

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISION DE INGENIERIA.**



**Programación de riegos en base a la temperatura del follaje y del aire en el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) en invernadero.**

**Por:**

**Jorge Aimir Ríos Estudillo.**

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial Para

Obtener el título de:

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN.**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Abril del 2005.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
DIVISIÓN DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Programación de riegos en base a la temperatura del follaje y del aire en el cultivo de  
tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) en invernadero.

PRESENTADA POR:

JORGE AIMIR RÍOS ESTUDILLO.

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 Edmundo Ramírez Ramos

Asesor Principal

---

Dr. Juan P. Munguía López

Coasesor

---

Ing. Tomás Reyna Cepeda

Ing. Felipe Hernández Castillo

Coasesor

Coasesor

EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA.

---

M.C. LUIS EDMUNDO RAMIREZ RAMOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Abril del 2005.

Le pedí a Dios...

Le pedí a Dios estar en primera fila ...

Él me colocó en el último lugar para que conociera la paciencia y la humildad.

Le pedí ser el centro del mundo ...

Él me enseñó que la vanidad me aparta del centro de cualquier cosa.

Le pedí a Dios un auto que viajara veloz ...

Él me concedió un paso firme por el sendero correcto para que no atropellara mis sentimientos.

Le pedí poseer dinero para tener muchos amigos pero ... Él me concedió algo mejor: me ofreció Su amistad no a cambio de mi dinero sino de mi sinceridad.

Le Pedí a Dios poseer mucha belleza y sin embargo ...Él me dio sensibilidad y belleza espiritual para que no me sintiera más que los demás.

Le pedí a Dios ser siempre feliz, pero ...Él me hizo conocer la tristeza para que comprendiera que la vida no sólo esta compuesta de cosas bellas y para que tuviera compasión por el sufrimiento de los demás.

Le pedí un carácter fuerte pero ... Él me concedió un corazón blando y un

carácter pasivo para que pudiera amar y ayudar a los demás.

Le pedí tener el mundo a mis pies pero ...Él me hizo comprender que es mejor tener amigos en el corazón.

Por todo eso Dios mío ... nunca me concedas todo lo que te pido ... concédeme lo que hasta hoy he tenido la dicha de poseer.

**Autor desconocido.**

### **AGRADECIMIENTOS.**

**A “Dios”**, creador del universo y dueño de mi vida, por la oportunidad de vivir y permitirme realizar uno de mis anhelos mas preciados.

**A mi “ALMA TERRA MATER”** por que solo unas palabras no bastan para manifestar mi gratitud en mi superación profesional por la que quedo en deuda por todo lo que me dió.

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

**Así como a todos los maestros que de una u otra forma me dieron palabras de aliento a mi formación profesional:**

Porque son ellos quienes tienen la vocación de vivir con pasión, la ciencia y el arte, de esculpir la mente y el espíritu:

Al Dr. Salvador Muñoz Castro.

Al Dr. Javier J. Cortés Bracho.

Al M.C. Luis Samaniego Moreno.

Al Ing. Sergio Garza Vara

Al Ing: Fernando Villareal Reina.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte.

Al Dr. Alejandro Zermeño González.

**Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)** por haberme dado la oportunidad de realizar el presente trabajo de investigación y obtener más conocimientos sobre el tema.

**Al Consejo Estatal de Ciencia Y Tecnología (COECYT)** por apoyarme en el sentido económico para solventar este trabajo.

Así también quiero manifestar mi mas sincero agradecimiento al Dr. Juan Munguía López por su valioso tiempo en la asesoría y dirección de este trabajo, por su paciencia en orientarme hacia lo correcto y además de sus consejos por ello mil gracias.

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

Al Ing. Felipe Hernández Castillo por su amistad, participación y asesoría de igual forma al Ing. Tomás Reyna Cepeda mil gracias.

### **DECICATORIAS.**

A mis padres *por todo el amor y apoyo ilimitado*: por darme la vida..... por su amor, por enseñarme a crecer a través del sufrimiento, por el ejemplo de la honradez y del entusiasmo.....

*A mi PADRE †*

Por todos los regaños que me hicieron la persona que soy, por que atrás de mis errores y tristezas siempre estuvo con los brazos abiertos para consolarme, porque en mis grandes triunfos también estuvo para disfrutar conmigo las grandes felicidades. Por todos los hermosos recuerdos de mi infancia, porque gracias a el llegué hacer el gran ser humano que fue él.

*A mi MADRE...*

Por darme la vida, por darme su sangre, por darme su tiempo, por hacer de mi un hombre de bien. Por darme el regalo de la vida, por darme su amor incondicional a su manera.

Porque Madre es aquella mujer sumamente pobre que no toma en cuenta su miseria, pero si toma en cuenta la vida de su hijo.

*A mis hermanos...*

Por ser y estar, por compartir el espacio y los buenos y malos momentos que pasamos juntos, por que ellos fueron un motivo más hacia mi superación profesional: Javier

Alba  
Eliseo  
Dalia  
Consuelo  
Luis Fernando  
Gabriel H.

Por todo los momentos en que luchamos. Por que ellos me enseñaron a ver en lo difícil de la vida las grandes y maravillosas cosas que se puede conseguir con tan solo desearlo y luchar por ellas.

A todos y cada uno de mis familiares que son parte de mi vida y a los que siempre tengo en mi mente, a los que me dan su cariño y amor tan tierno y cálido.

*A mis compañeros de generación* , por sus constantes palabras y acciones de aliento, por toda la compañía, cooperación y apoyo a lo largo de la carrera: Jacobo, Melquicedec, Yonny, Gregorio, Roman, Ricardo, Ofelia, Avelino,

Enrique, Juan, Cesar, Lázaro, Melquiades, por los buenos y malos momentos que pasamos juntos, por sus consejos y que todos ellos fueron un motivo para culminar esta meta.

*A ADRIANA...*

A esa niña que tiene la magia del amor, a esa pequeña flor que perfumò mis sueños, llenando de vida de colores y de amor a mi corazón y que con un solo roce de sus manos, con tan solo mirar mis ojos despertò en mi el cariño y el deseo de estar siempre a su lado, por su apoyo y consejos mil gracias.

*A todos mis amigos* Norma, Anita, Octavio, José Alonso, Obet, por los sabios consejos alentadores y por llenar de felicidad mi vida, gracias por su amistad que con gusto conservare, por su fe que depositaron en mi, por reconocer mis valores.

Amigo es...

El que siendo leal y sincero, te comprende,

El que te ayuda desinteresadamente y no abusa de tu bondad.

El que con sabios consejos te ayuda a construir y pulir tu personalidad.

El que goza con las alegrías que llegan a tu corazón.

El que respetando tu intimidad, trata de conocer tu dificultad para ayudarte.

El que levanta tu ánimo cuando estas caído.

El que te perdona con generosidad, olvidando tu ofensa.

## INDICE DE CONTENIDO.

	Pag.
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iv

<b>DEDICATORIAS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	xiv
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. OBJETIVO.....	3
1.2. HIPÓTESIS.....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. Generalidades del cultivo.....	4
2.1.1. Importancia económica y distribución geográfica del tomate...	4
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	6
2.1.3. Descripción botánica.....	6
2.1.4. Fisiología del tomate.....	8
2.1.5. Agronomía del tomate.....	12
2.1.6. Elección del material vegetal.....	16
2.2. Evapotranspiración.....	17
2.2.1. Evapotranspiración potencial.....	17
2.2.2. Evapotranspiración máxima.....	17
2.2.3. Evapotranspiración real.....	17
2.3. Factores climáticos que influyen en el consumo de agua bajo invernadero.....	18
2.3.1. Humedad atmosférica.....	18
2.3.2. Concentración de dióxido de carbono.....	19
2.3.3. Temperatura.....	19
2.3.4. Fotosíntesis.....	20
2.3.5. Temperatura de la hoja.....	20
2.3.6. Temperatura del follaje.....	21
2.3.7. Resistencia del follaje (Rc).....	22

2.3.8. Resistencia del aire (Ra).....	22
2.4. Necesidades hídricas.....	22
2.5. Programación de riegos en invernadero bajo riego localizado.....	22
2.6. Invernaderos.....	26
2.6.1. Tipos de invernaderos.....	26
2.7. Hidroponia.....	26
2.8. Los sustratos hortícolas.....	27
2.8.1. Clasificación de los sustratos.....	27
2.8.2. Propiedades físicas de los sustratos.....	28
2.8.3. Propiedades químicas de los sustratos.....	30
2.9. Métodos para estimar la evapotranspiración.....	31
2.9.1. Métodos directos.....	32
2.9.1.1. Método gravimétrico.....	32
2.9.1.2. Método lisimétrico.....	32
2.9.1.3. Método de la bandeja de drenaje.....	34
2.9.1.4. Método de la bandeja a la demanda.....	36
2.9.2. Métodos indirectos.....	37
2.9.2.1. Métodos basados en dispositivos evaporimétricos.....	37
2.9.2.2. Método del tanque evaporímetro tipo "A".....	38
2.9.2.3. Métodos basados en la temperatura.....	42
2.9.2.4. Métodos de humedad relativa.....	42
2.9.2.5. Método de Time Domain Reflectometry (TDR).....	42
2.10. Ley de Stefan-Boltzmann.....	44
2.11. Algunos trabajos sobre termometría.....	45
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>52</b>
3.1. Descripción del sitio experimental.....	52
3.1.1. Localización.....	52

3.1.2. Clima.....	52
3.2. Material vegetativo.....	53
3.3. Establecimiento del experimento.....	53
3.3.1. Tamaño del invernadero.....	53
3.3.2. Producción de plántulas.....	53
3.3.3. Siembra.....	53
3.3.4. Preparación del invernadero.....	53
3.3.5. Transplante.....	55
3.3.6. Fertilización.....	55
3.4. Labores culturales.....	55
3.4.1. Entutorado.....	55
3.4.2. Poda de tallos o brotes.....	56
3.4.3. Poda de hojas.....	56
3.4.4. Control de plagas y enfermedades.....	56
3.5. Equipo utilizado.....	57
3.5.1. Sensores infrarrojos (IR).....	57
3.5.1.1. Descripción de los sensores infrarrojos.....	58
3.5.1.2. Especificaciones.....	58
3.5.2. Termopar de alambre fino (FWT).....	58
3.5.2.1. Descripción del termopar de alambre fino.....	59
3.5.2.2. Características.....	59
3.5.2.3. Especificaciones.....	59
3.5.3. Pluviómetros.....	59
3.5.3.1. Descripción de los pluviómetros.....	60
3.5.4. Sensores TDR.....	61
3.5.4.1. Descripción de los sensores TDR.....	61
3.5.4.2. Especificaciones.....	62

3.5.5. Tanque evaporímetro tipo A.....	62
3.5.5.1. Método del tanque evaporímetro.....	63
3.5.5.2. Método volumétrico.....	64
3.6. Metodología en la toma de datos.....	64
3.6.1. Sensores infrarrojos (IR).....	64
3.6.2. Termopar de alambre fino (FWT).....	65
3.6.3. Pluviómetros.....	65
3.6.4. Sensores TDR.....	65
3.6.5. Tanque evaporímetro tipo A.....	65
3.6.6. Bandeja de drenaje.....	65
3.7. Metodología para la obtención del Índice Grado Día.....	66
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>67</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>VI. RESUMEN.....</b>	<b>81</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>82</b>
<b>APENDICE.....</b>	<b>88</b>

**INDICE DE FIGURAS.**

	Pág.
Figura 1.1 El Sector riego Tradicional Mexicano frente a la Competencia Internacional.....	4
Figura 3.1 Gotero de 4 LPH, Distribuidor, Tubin y Estaca de gotero individual utilizados en la Producción de Tomate en Invernadero.....	54
Figura 3.2 Arreglo del Sensor Infrarrojo para medir la Temperatura sobre una hoja a 5 cm de separación en una planta representativa del nvernadero.....	57
Figura 3.3 Termopar de Alambre Fino (FWT) tipo E.....	59

Figura 3.4	Pluviómetro Texas Electronic, Modelo TR-5251.....	60
Figura 3.5	Pluviómetro Li-cor, Modelo 1000-20.....	61
Figura 3.6	TDR Campbell SCI, Modelo CSG615- L.....	62
Figura 3.7	Tanque Evaporímetro Tipo “A” del Invernadero y de la Estación Meteorológica del CIQA.....	63
Figura 4.1	Temperaturas Máxima, Media y Mínima Diarias en el interior del Invernadero, en los días después del Transplante 28–203.....	67
Figura 4.2	Consumo de Agua/Planta/Día medida a partir de la Bandeja de Drenaje en relación al Índice Grado Día para la Sección a 2 tallos en el Cultivo de Tomate bajo condiciones de Inv.....	68
Figura 4.3	Consumo de Agua/Planta/Día medida a partir de la Bandeja de Drenaje en relación al Índice Grado Día para la Sección a 1 tallo en el Cultivo de Tomate bajo condiciones de Invernadero.....	70
Figura 4.4	Consumo de Agua/Planta/Día medida a partir de los Pluviómetros en relación al Índice Grado Día para la Sección a 2 tallos en el Cultivo de Tomate bajo condiciones de Inv...	71
Figura 4.5	Consumo de Agua/Planta/Día medida a partir de los Pluviómetros en relación al Índice Grado Día para la Sección a 1 tallo en el Cultivo de Tomate bajo condiciones de Inv...	72

Figura 4.6	Evolución del Riego, Drenaje y Consumo de Agua por Planta de Tomate, según el tipo de manejo a un tallo ( <b>a</b> ) y a dos tallos ( <b>b</b> ) medidos a partir de la Bandeja de Drenaje en los Días Después del Transplante (DDT) 56 – 140.....	73
Figura 4.7	Evolución del Riego, Drenaje y Consumo de Agua por Planta de Tomate, medidos con los Pluviómetros.....	74
Figura 4.8	Riego, Drenaje y Consumo Promedio Diario de Agua por Planta de Tomate (en el Invernadero) en los Días Después del Transplante 56- 187.....	74
Figura 4.9	Relación del Consumo de Agua Acumulado y el Índice Grado Día Acumulados en el Cultivo de Tomate Variedad Gabriela en Invernadero.....	75
Figura 4.10	Rendimiento Total en Ton/Ha del Cultivo de Tomate Variedad Gabriela condiciones de Invernadero.....	76

#### **INDICE DE CUADROS.**

	Pág.
Cuadro 2.1 Principales Países Productores de Tomate en el año 2002. Fuente: F.A.O.....	4
Cuadro 2.2 Coeficientes de Cultivo (Kc) para los Distintos Estados Fenológicos del Cultivo de Tomate bajo Invernadero.....	40

Cuadro 2.3	Valores de Temperatura Base, Optima y Umbral Superior para cada Cultivo.....	41
Cuadro 3.1	Aportación Proporcional de Nutrientes para el Cultivo de Tomate Variedad Gabriela en Condiciones de Invernadero...	55
Cuadro 4.1	Rendimiento Total en Toneladas por Hectárea del Cultivo de Tomate Variedad Gabriela bajo Condiciones de Invernadero.	77
Cuadro 4.2	Temperaturas del Follaje y del Aire promediadas por hora medidas con el FWT para la Sección a 2 tallos en el Cultivo de Tomate Variedad Gabriela en invernadero.....	89
Cuadro 4.3	Temperaturas del Follaje y del Aire promediadas por hora medidas con el FWT para la Sección a 1 tallo en el Cultivo de Tomate Variedad Gabriela en Invernadero.....	93

## I. INTRODUCCION.

La agricultura es sin duda un tema que explica el desarrollo de la civilización, y es también la base alimentaria de la humanidad. Estudios realizados por la FAO en

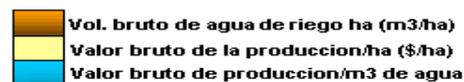
1979, estiman que la superficie que se cultiva bajo condiciones de riego en el mundo es aprox. 233, 637 millones de hectáreas, lo cual representa un 13 % del área global arable, este análisis muestra el papel tan importante que desempeña el agua en la producción de alimentos; este porcentaje se encuentra distribuido en los países que potencialmente poseen grandes superficies de riego como: E.U.A, Unión Soviética, China, India, Pakistán, etc. 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.

México cuenta con una superficie de 197,089 millones de hectáreas, de las cuales el 67 % esta clasificada como zonas áridas y semiáridas, el 33 % como zonas húmedas y subhúmedas. La agricultura en nuestro país se practica aproximadamente en 23,369 millones de hectáreas, de las cuales 5.4 millones de hectáreas se cultivan bajo condiciones de riego, que representa el 23 % de la superficie agrícola cultivada; esta superficie genera el 50 % del valor total de la producción agrícola nacional, el resto de la superficie, 77 % se explota bajo condiciones de temporal

La mayor parte del agua consumida, se dedica a la agricultura, un 79,5%; para regar a unas 3,500,000 ha. El resto, un 20% lo usamos en industrias y en nuestros hogares. *La agricultura es en gran parte responsable del agotamiento del agua subterránea disponible y del 70% de su contaminación.* Consecuencia de esto es la sobreexplotación de los acuíferos. En 1975 existían 35 acuíferos sobreexplotados, cifra que se elevó a 36 en 1981, 80 en 1985 y a 96 en el 2000; para el 2002 esta cifra disminuyó a 83 (CNA, 2002). El volumen estimado de agua que se extrae de los acuíferos, según la FAO (1994) es de 18, 994 hm<sup>3</sup>/año y la CNA reporta 13, 600 hm<sup>3</sup>/año.

Dada esta situación, es necesario lograr un manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos, hacer un uso mas eficiente, reusando volúmenes y sobre todo inducir a la sociedad en su conjunto a reconocer el valor económico del agua.

El uso de plásticos e invernaderos es otra de las soluciones a tal problema, por ejemplo el caso de la provincia de Almería, España, que ha logrado pasar de una agricultura de subsistencia a una agricultura empresarial (Molina, 1999). Hoy, a nivel mundial, es el área con la mayor concentración de invernaderos, por lo que algunos gobiernos han considerado como modelo de desarrollo agrícola a implementar en otros países (Costa y Heuvelink, 2000).



Fuente: CNA/OMM/Banco Mundial-PROMMA/MASAS & J.M. Naredo y J. López-Galvez (España).

Figura 1.1. El Sector Riego Tradicional Mexicano frente a la Competencia Internacional.



En la figura anterior se observa el impacto que tendría la reconversión productiva de la agricultura en México, con un fuerte desarrollo de la plasticultura tanto en términos financieros y de bienestar social, como en términos de ahorro de agua; finalmente, con la plasticultura se podría alcanzar la sostenibilidad de los recursos hídricos logrando una mayor producción agrícola con *menos gotas de agua*.

Durante muchos años los agricultores del Norte de México y de otras partes del mundo utilizan irracionalmente el agua para riego, la que aplican en exceso a los cultivos, con la creencia equivocada, que al aplicar mayor cantidad de agua, mayor es la producción. 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. Por lo que dada la situación actual, el presente trabajo se orientó a la programación de riegos tomando como base la temperatura (del follaje y del aire) para suministrar a la planta la cantidad de agua necesaria para su crecimiento y desarrollo. Cuando las plantas transpiran, la temperatura de las hojas permanece constante, ya que la energía radiante es compensada con la transferencia de calor latente (Monteith, 1981). Al continuar este proceso, el agua perdida por la evapotranspiración será suministrada por la humedad aprovechable del suelo, pero cuando esta sea escasa, habrá un aumento de la temperatura de la hoja debido a que el proceso de enfriamiento (transpiración) se ha minimizado, que es cuando se debe regar para evitar que las plantas sufran estrés hídrico.

**OBJETIVO:**

- Hacer la programación de riegos para el cultivo de tomate en invernadero en base a diferenciales térmicos entre el follaje y el aire.

**HIPÓTESIS:**

- Es posible aplicar las cantidades necesarias de agua al cultivo de tomate cuando se toma en cuenta la Temperatura del follaje y del aire.

**II. REVISION DE LITERATURA.****2.1. Generalidades del cultivo.****2.1.1. Importancia económica y distribución geográfica.**

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada.

Cuadro 2.1. Principales Países Productores de Tomate en el Año 2002. Fuente: F.A.O.

<b>Países</b>	<b>Producción tomates año 2002 (toneladas)</b>
China	25.466.211
Estados Unidos	10.250.000
Turquía	9.000.000
India	8.500.000
Italia	7.000.000
Egipto	6.328.720
España	3.600.000
Brasil	3.518.163
Rep. Islámica de Irán	3.000.000
México	2.100.000
Grecia	2.000.000
Federación de Rusia	1.950.000
Chile	1.200.000
Portugal	1.132.000
Ucrania	1.100.000
Uzbekistán	1.000.000
Marruecos	881.000
Nigeria	879.000
Francia	870.000
Túnez	850.000
Argelia	800.000
Japón	797.600
Argentina	700.000

En lo que respecta a su importancia, el cultivo del tomate ocupa un lugar valioso con relación al desarrollo económico y social de la agricultura a nivel mundial, elevando así el nivel de vida de los productores.

Gallegos et al. (1980), citan que gracias a la gran adaptabilidad que posee el cultivo, es posible obtener elevadas producciones, ya que permite establecerse tanto en climas tropicales como templadas de diversas regiones del país.

Por otro lado el cultivo del tomate en México se encuentra dentro de las primeras cuatro hortalizas más importantes, debido a la superficie cultivada tanto en campo abierto como en invernaderos y a las divisas que genera por concepto de las exportaciones principalmente a los estados unidos (SAGARPA, 2000).

En la actualidad se estima que la superficie de invernaderos, incluidas las casas sombras en México, son del orden de 2,500 hectáreas (Urrutia, 2004). Siendo los principales estados productores de hortalizas en invernadero: Sinaloa (492 ha), Baja California Sur (480 ha), Baja California Norte (475 ha), Jalisco (292) y Colima (118 ha).

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

compensar así por las pérdidas que hemos tenido en la balanza comercial de granos.

### 2.1.2. Clasificación taxonómica.

Según Flores (1980), el tomate tiene la siguiente clasificación:

Reino.....	Vegetal
División.....	Tracheophyta
Subdivisión.....	Pteropsidae
Clase.....	Angiospermae
Subclase.....	Personatae
Familia.....	Solanaceae
Genero.....	Lycopersicon
<b>Especie.....</b>	<b>Esculentum</b>
Nombre científico.....	Lycopersicon esculentum Mill
Nombre común.....	Tomate o jitomate

### 2.1.3. Descripción botánica.

Es una solanacea, perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas). Originaria de la región andina en Sudamérica (Perú, Chile, Ecuador, Colombia y Bolivia). Las plantas de tomate en invernadero requieren de mucho manejo, por ello es importante conocer su morfología. A continuación se

describen brevemente los órganos de la planta (Marín, 2001).

**Sistema radical:** Raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias. Seccionando transversalmente la raíz principal y de fuera hacia dentro encontramos: epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes, cortex y cilindro central, donde se sitúa el xilema (conjunto de vasos especializados en el transporte de los nutrientes).

**Tallo principal:** Eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Su estructura, de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales.

**Hoja:** Compuesta e imparipinnada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada, es rica en cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés, y constan de un nervio

principal.

**Flor:** Es perfecta, regular e hipogina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de  $135^\circ$ , de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racemoso, generalmente en número de 3 a 10 en variedades comerciales de tomate calibre M y G; es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta, de forma que se han descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal.

**Semillas:** La semilla del tomate es de forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5x4x2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión lo forman una yema apical, dos cotiledones, el hipocotilo y la radícula. La testa o cubierta seminal es de un tejido duro e impermeable. La germinación de las semillas ocurre de manera relativamente fácil (Escudero, 1999).

**Fruto:** Baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpo, el tejido placentario y las semillas. El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de abscisión del pedicelo, como ocurre en las variedades industriales, en las que es indeseable la presencia de parte del pecíolo, o bien puede separarse por la zona peduncular de unión al fruto. Con diferencias en forma (lisos, asurcado, aperado,

etc.) e intensidad de coloración rojiza o amarillo en caso de ciertas variedades de tomate cherry, con cavidades o lóculos internos variables, en donde se desarrollan las semillas de forma reniforme y aplanadas (Sánchez, 2002).

#### **2.1.4. Fisiología del tomate.**

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

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación sobre uno de estos incide sobre el resto.

Según Muñoz (2003) la productividad de los cultivos de tomate en cierto grado suelen estar limitada por luz, temperatura, nutrición y abastecimiento de agua. A gran escala, la importancia relativa de estos factores depende de la latitud y a nivel región o área depende de la fisiografía y condiciones ambientales particulares del lugar; en cambio, en cultivos en invernaderos sin calefacción como en los que cultivan los productores del sur de Europa y Medio Oriente, la luz y la temperatura, ambos vienen siendo limitantes. Esto también ocurre en México, sobre todo en la región del Altiplano Norte Centro, donde no es posible producir tomate de calidad durante el invierno, sin el apoyo de calefacción. La producción de cultivos en casa sombra o Bioespacios (Bustamante, 1997), con gran auge en el Noroeste del país (Sinaloa, Sonora y Baja California), cuyo principio fundamental a diferencia de los invernaderos, es el de reducir la temperatura y funcionar de barrera para los insectos, lo cual ha derivado a dicho concepto, que conjunta a prácticas agronómicas y la modificación microambiental, en zonas con alta irradiación y temperatura y baja humedad relativa para favorecer el

crecimiento y desarrollo de las plantas (particularmente hortalizas de fruto).

### **Temperatura.**

Para conseguir un desarrollo óptimo el tomate necesita una determinada alternancia de temperaturas (termoperiodismo), siendo de especial interés el valor alcanzado por la temperatura nocturna, sobre todo durante la fructificación. Para cubrir su ciclo el tomate necesita como media una integral térmica comprendida entre 3000 y 4400°C.

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30°C durante el día y entre 1 y 17°C durante la noche; temperaturas superiores a los 30-35°C afectan a la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12-15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10°C así como superiores a los 30°C originan tonalidades amarillentas.

Se ha establecido que la disminución de temperaturas ambientales limita severamente el desarrollo de las plantas (Vallejos et al, 1983).

Serrano (1978), menciona que la actividad vegetativa del tomate se paraliza con temperaturas inferiores a 10°C durante 24 Hrs. Y con temperaturas superiores a 35°C; si la humedad relativa es baja, puede deshidratarse la planta,

con temperaturas similares y humedades relativas altas, ocasiona que la planta se deshidrate, cuando las plantas están en floración causando una mala fecundación.

Muñoz (2003) menciona que el óptimo termino para el desarrollo del tomate es de 23 a 25 °C y de 15 a 17 °C, durante el día y la noche respectivamente y una humedad relativa del 70 por ciento.

### **Luz.**

Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad. La calidad de la luz y el fotoperiodo no son tan importantes para el crecimiento del tomate como la radiación integral diaria. Tratar de superar las limitaciones de luz a nivel comercial, económicamente rara vez se justifica. Por lo que generalmente es mejor maximizar la iluminación natural (González, 199).

El tomate es un cultivo de *alta saturación lumínica* cuyo dosel no llega a saturarse, incluso a la máxima radiación que se puede alcanzar al medio día solar en un día despejado del solsticio de verano ( $1400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$  en el interior del invernadero (Lorenzo *et al.*, 2003).

**Humedad.**

La humedad relativa óptima oscila entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor.

**pH.**

Se desarrolla correctamente con pH próximos a la neutralidad, aunque no tiene excesivos problemas en terrenos con pH algo básico, asimismo resiste condiciones de cierta acidez.

**Salinidad.**

La tolerancia a la salinidad está relacionada con las características varietales y puede ser un factor heredable (Rush y Epstein, 1981). Es bastante resistente a salinidad; de forma que según estudios del Soil Improvement Committee & California Fertilizer Association (1975) una conductividad de 4 dS/m hace decrecer el rendimiento en un 10 % sobre el normal y para que se produzca una disminución del rendimiento de un 50% es necesaria una conductividad en suelo de 8 dS/m a 25°C.

**Suelo.**

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados.

En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego.

**Desarrollo vegetativo.**

En un sentido estricto la fase vegetativa, es relativamente corta, ya que la transición floral ocurre en la mayoría de las variedades cuando la tercera hoja es expandida, aproximadamente tres semanas después de la expansión de las hojas de los cotiledones. Usualmente solo 6 ó 11 hojas son producidas por debajo de la primera inflorescencia (Cárdenas, 1999). Una alta disponibilidad de asimilados en condiciones altas de luminosidad, ambas estimulan la actividad del meristemo y el crecimiento foliar. Pero cuando las plantas están limitadas en fotoasimilados (bajo altas temperaturas o baja luminosidad) el crecimiento de las hojas jóvenes es favorecido a expensas del desarrollo apical. Este efecto es contrarrestado con la continua remoción de hojas jóvenes o poda temprana de hojas. Mediante el manejo hay que alcanzar un equilibrio entre la fase vegetativa y reproductiva (Muñoz, 2003).

### Fructificación.

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

Si las condiciones ambientales por temperatura y humedad no son ideales, lo cual puede llegar a ocurrir en invierno. En tal caso, el cuaje de frutos se recurre al empleo de hormonas del grupo de las auxinas. En caso de que no sea así, se emplean métodos auxiliares para remover los ramilletes florales mediante vibradores, turbinas de aire o con abejorros (*Bombus sp.*) de preferencia, los cuales han tenido buen rendimiento y evitan el uso de hormonas (Muñoz, 2003).

### **2.1.5. Agronomía del tomate.**

#### **Producción de Plántulas.**

En la producción de Plántulas se requiere atender todos los detalles, desde la siembra hasta el embarque para el trasplante. Así por ejemplo, se debe desinfectar las charolas que contendrán el sustrato (40 % de cloro activo). Desde la siembra de la semilla hasta antes del trasplante el sustrato -por ejemplo Peat moss- debe tener buena humedad y aireación. Los valores óptimos de temperatura y humedad relativa para la germinación de semillas son: 20-30 °C y una humedad relativa del 55-60 %. Por lo general la germinación ocurre en 3 días y la nascencia a los 4 días. Cuando se presenta la primera hoja verdadera de la plántula la temperatura se debe mantener en los 25 °C y una humedad relativa de 85 %. El riego en las plántulas a menudo se realiza con nebulizadores para mantener alta la humedad relativa (Muñoz, 2004).

Aguas con CE > 1.4 dS/m y > 1 ppm de B, no son aptas para semillero (De la Torre, 1999; Navarro, 1999). En cuanto a la fertirrigación es recomendable utilizar la solución nutritiva que se aplica al cultivo bajo sustrato en el invernadero, pero diluida en un principio de la etapa de crecimiento al 50 %, y luego se va aumentando la concentración hasta llegar a 75 % pudiendo llegar en caso necesario hasta el 100 %.

El aporte de Nitrógeno nunca debe exceder las 300 ppm, la CE debe ser de 1.5-2.0 dS/m. Los fertilizantes con alto contenido de  $\text{NH}_4$  promueven el crecimiento del vástago, largos entre nudos y hojas largas y verdes sin embargo el crecimiento de la raíz no es promovida, los fertilizantes con  $\text{NO}_3$  mantienen las plantas compactas; favorece el crecimiento radical sobre el crecimiento del vástago resultando en entrenudos cortos y hojas pequeñas y ligeramente verdes, pero hojas y tallos gruesos.

### **Transplante.**

Hernández (1999) menciona que el transplante es el paso de la planta desde el semillero al asiento definitivo del cultivo. El riego por goteo estará colocado según el marco, la densidad y la orientación de la plantación. En el cultivo en suelo, previo al transplante se da un riego a capacidad de campo para desplazar las sales y bajar la conductividad eléctrica (CE), la cual debe ser menor que la CE del sustrato de transplante. Posteriormente se abren los hoyos y se depositan y se fijan las plantas, debe haber un buen contacto entre el suelo y el cepellón de la plántula. Posteriormente se da un riego de asiento para asegurar un buen contacto entre la humedad del suelo y el cepellón. Puede ayudar, la aplicación de un enraizante y algún fungicida contra hongos de raíz – cuello. Si la plantación es

en verano, a la hora de regar debe ser cuando aún el agua en las líneas regantes no esté caliente, por lo que el riego es más propicio durante las primeras o últimas horas del día (Nuez, 1999).

### **Entutorado.**

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (destallado, recolección, etc.). Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades. En consecuencia con el crecimiento de los tallos, estos se van guiando con un hilo de rafia. La rafia debe ser especial para utilizarse en invernadero, esta se enrolla en gancho que existe para tal fin. La longitud de la rafia, varía dependiendo de la altura del emparrillado para tutoreo, de la longitud de entrenudos de la variedad. Los tomates Cherry desarrollan tallos ligeramente más delgados y mucho más largos (González, 1999). Para las condiciones de El Bajío, en Guanajuato, con una altura de emparrillado a 4.5 m, y 10 meses de

cultivo de tomate bola (variedad Girona) se requiere una longitud de 11 m

(Muños, 2003).

Es fundamental hacerlo con oportunidad, antes que las plantas se vuelquen, la rafia se sujeta al tallo, ya sea mediante un nudo o un clip (anillo). Al anudar la rafia al tallo, el ojal debe quedar holgado, para no estrangular el tallo. Conforme se va desarrollando el tallo, este se va liando con la rafia o bien mediante clips, todo depende del costo de los mismos (Escudero, 1999).

Normalmente el tutoreo se hace cada ocho días, pero varía conforme va apareciendo un ramillete. Acortándose el tiempo en verano y alargándose en invierno. Cuando las plantas han alcanzado una altura de 2 a 2.5 m, se proceden a descolgar de manera progresiva y no de manera súbita. El descuelgue consiste en desenrollar la rafia 1 ó 2 vueltas. Esta operación tiene que ser oportuna, un retraso en el mismo aumenta el riesgo de daño en los brotes (Escudero, 1999; Muños, 2003).

### **Poda de tallos.**

Consiste en la eliminación de brotes axilares para mejorar el desarrollo del tallo principal. Debe realizarse con la mayor frecuencia posible (semanalmente en verano-otoño y cada 10-15 días en invierno) para evitar la pérdida de biomasa fotosintéticamente activa y la realización de heridas. Los cortes deben ser limpios para evitar la posible entrada de enfermedades. En épocas de riesgo es aconsejable realizar un tratamiento fitosanitario con algún fungicida-bactericida cicatrizante, como pueden ser los derivados del cobre. No obstante, si no se

podan oportunamente el desbrote a destiempo se convierte en bajas en el rendimiento (Cárdenas, 1999).

### **Poda de hojas.**

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

### **Poda de frutos.**

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

### **Polinización.**

Para el cuajado de los frutos se utilizan varias técnicas: mecánico, mediante insectos o con fitorreguladores (Escudero, 1993; Muños, 2003).

La polinización a través de medios mecánicos es eficiente, siempre y cuando las condiciones de humedad relativa y temperatura sean favorables, cuando haya un mayor desprendimiento del polen de la flor.

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

#### **2.1.6. Elección del Material Vegetal.**

Principales criterios de elección:

- Características de la variedad comercial: vigor de la planta, características del fruto, resistencias a enfermedades.
- Mercado de destino.
- Estructura de invernadero.
- Suelo.
- Clima.
- Calidad del agua de riego.

La variedad tiene que ser del tipo de tomate que demande el mercado y buen comportamiento en vida de anaquel. Además, debe ser productiva tanto cuantitativa como cualitativamente las condiciones de clima, suelo, sistema de cultivo e infraestructura y medios de que se dispongan (Muñoz, 2003).

Cook (2003) menciona que en México, el 80 por ciento de la producción de tomate se destina al consumo interno y principalmente los tomates son del tipo Saladette. Mientras que para exportación, los tomates “bola” o tipo Beef (grandes y carnosos) son los que demanda el consumidor norteamericano. También se buscan variedades con opciones de aprovechamiento (pintón o en rojo, sueltos o en ramillete). Así mismo, que sean tomates con larga vida en anaquel, sin que hayan perdido su buen sabor (Marín, 2001).

## **2.2. Evapotranspiración.**

Es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar sus funciones de transpiración, mas el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cual se desarrolla (Aguilera y Martínez, 1996).

### **2.2.1. Evapotranspiración potencial.**

Trava (1976), dice que si se toma como base que cualquier reducción en el uso consuntivo debido a una deficiencia en la humedad del suelo es independiente de las condiciones climáticas, el concepto de evapotranspiración potencia introducido por Thornthwaire (1944) citado por Trava (1976), se utiliza ampliamente. Este ultimo autor definió el termino como “la perdida de agua que ocurriría si en ningún momento hubiera una deficiencia de agua en el suelo para el uso de la vegetación”. Penman (1956) citado por Trava (1976), sugirió que la definición original se modificara para incluir la especificación que la superficie estuviera cubierta totalmente por vegetación verde, pues se ha encontrado que la evapotranspiración depende de la densidad de cubierta vegetal sobre el suelo y de la edad de la planta.

### **2.2.2. Evapotranspiración máxima.**

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

### **2.2.3. Evapotranspiración real.**

La evapotranspiración real (ET<sub>r</sub>), es la cantidad de agua que un cultivo a evapotranspirado realmente, en condiciones de campo; es decir, en las condiciones limitadas del cultivo comercial bajo riego, cuyo límite inferior corresponde a la ET<sub>r</sub> de un cultivo pluvial o de temporal y que recibe el nombre de necesidades hídricas (NH), que corresponden a ciertos valores reducidos de la ET<sub>p</sub> (Bastaanssein et al., 1998; Elizondo y Contreras, 1996).

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

Según Tarantino et al., (1982) del agua absorbida por la planta, la mayor parte se pierde en forma de vapor de agua y este fenómeno se le conoce como transpiración. Del resto, una pequeña parte es retenida para cubrir las necesidades de crecimiento de las partes jóvenes de la planta y llenar los frutos, otra parte más pequeña es utilizada en la fotosíntesis y otra empleada en la necesidad de contribuir como medio dispersante y transporte en la planta. Siendo la transpiración el fenómeno más importante de la pérdida de agua en las plantas, puede ser afectado este fenómeno por otros fenómenos que son (Hatfield et al., 1996; De Medeiros et al., 2001):

##### 2.3.1. Humedad atmosférica.

En el interior del invernadero, la humedad absoluta es siempre superior a la de la exterior. Ello es debido a que en el interior del invernadero existe una gran densidad de plantas, que debido a la transpiración, elevan la humedad absoluta

del interior. Es por ello, que al ventilar, cambiamos aire con más vapor de agua por aire con menos vapor de agua. Es decir, con la ventilación provocamos una disminución de la humedad dentro de un invernadero, con el menor riesgo de enfermedades para el cultivo. Si aumenta la humedad atmosférica, disminuye la transpiración. La humedad atmosférica favorece una mayor apertura estomática, con lo que en cierto modo podría incrementar la transpiración. De estos efectos siempre predomina el primero, y en realidad disminuye la velocidad de transpiración, favoreciendo en cambio la entrada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para la fotosíntesis (Michel, 1983; Jones, 1990; Ruiz, 1993; Elizondo y Contreras).

#### 2.3.2. Concentración de dióxido de carbono.

La concentración de  $\text{CO}_2$  en el exterior se mantiene más o menos constante alrededor de 300-350 ppm, mientras que en el interior puede ser hasta de 600 ppm. En el interior del invernadero la concentración de  $\text{CO}_2$  va variando a lo largo del día; durante el día la planta realiza los procesos de fotosíntesis (en la que consume  $\text{CO}_2$ ) y respiración (en la que produce  $\text{CO}_2$ ). Pero el proceso de fotosíntesis es más importante que el de respiración, por lo que la planta durante el día es consumidora neta de  $\text{CO}_2$ . Durante la noche la planta sólo respira, es por ello que la planta es una generadora de  $\text{CO}_2$ . Desde que anochece empieza a aumentar la concentración de  $\text{CO}_2$  en el interior del invernadero. Si en el invernadero se mantienen las ventanas cerradas, la máxima concentración de  $\text{CO}_2$  se suele dar justo antes de que amanezca. Llega un momento en que la

concentración de CO<sub>2</sub> es inferior en el interior, que en el exterior del invernadero.

A partir de este momento es cuando sería conveniente ventilar, ya que cambiaríamos aire con menos CO<sub>2</sub>, por aire con más CO<sub>2</sub>. Es por ello que mantener las ventanas cerradas de noche nos permite acumular CO<sub>2</sub>, que será usado el resto del día (infoagro, 2002).

#### 2.3.3. 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. Así mismo, al aumentar la temperatura, aumenta también el coeficiente de difusión del vapor de agua, y por eso aumenta más la transpiración.

Las temperaturas superiores a 30 y 40 °C favorecen el cierre de estomas (con estas temperaturas se favorecen los procesos respiratorios con lo que el aumento del CO<sub>2</sub> produce el cierre del estoma). Las temperaturas elevadas provocan la insensibilidad del estoma al CO<sub>2</sub>, con lo cual permanece abierto y el efecto refrigerante de la transpiración evita las quemaduras que se producirían en las hojas (Villalobos-Reyes et al., 2003).

#### 2.3.4. Fotosíntesis.

Russildi (1981), menciona que la fotosíntesis es un proceso bioquímico por el cual las plantas transforman la energía del sol en energía química para realizar

sus procesos metabólicos, también menciona que la luz es la única fuente de energía para llevarse a cabo la fotosíntesis.

Miller (1981), menciona que la cantidad de agua que necesita la fotosíntesis es sumamente pequeña, comparada con todo el volumen que circula dentro de la planta por transpiración, en realidad es menor al 1% de toda el agua absorbida.

#### 2.3.5. Temperatura de la hoja.

Los mecanismos de disipación de energía para una comunidad de plantas son: transpiración, convección y re-radiación. Siendo relativamente diferentes cada uno de los mecanismos para una hoja que los de un cultivo completo. Cuando el agua se evapora desde la superficie húmeda de la hoja, la temperatura de la hoja permanece constante, ya que la pérdida de calor latente es compensada por la pérdida de energía radiante del sol (Monteith, 1981).

Askenasy, (1875), realizó mediciones de la temperatura de la hoja de plantas suculentas colocando un termómetro de mercurio en una incisión hecha en la hoja superior de las plantas y encontrando que la temperatura de la hoja era mayor de 4 a 5 °C que la temperatura del aire; reconoció el efecto que provoca la re-radiación, el movimiento del aire y la transpiración en el enfriamiento de la hoja (Jackson et al 1982).

#### 2.3.6. Temperatura del follaje.

Mediciones de variables del follaje en lugar de hojas individuales son posibles gracias al desarrollo de la termometría infrarroja, debido a que hoy en día se cuenta con radiotermómetros portátiles capaces de medir la radiación térmica

del cultivo. Los radiómetros portátiles que miden la radiación térmica reflejada y emitida son usados para evaluar parámetros agronómicos. Se presenta un ejemplo del uso que demuestra que las medidas térmicas pueden detectar la tensión del agua antes de que aparezcan las muestras visuales (estrés hídrico). Las medidas solares reflejadas se pueden utilizar para documentar la historia de la tensión, y son útiles para calibrar el parámetro termal en varios grados de la tensión (Jackson et al, 1981).

Se han presentado varias discusiones sobre la teoría de la temperatura de la superficie vegetal. Moteith et al (1962) presentaron la existencia de una relación entre el calentamiento de la superficie vegetal y la resistencia estomatal.

Clawson y Blas (1982) desarrollaron el índice temperatura día, definido como la diferencia de temperaturas entre el follaje para parcelas sin stress hídrico y parcelas con stress hídrico.

El índice de stress-grado-día desarrollado por Jackson et al (1977) e Idso (1977) demostró insuficiencia para estimar el stress hídrico del maíz, ya que plantas con stress hídrico presentaron temperaturas inferiores a la temperatura del aire por mucho tiempo, sugiriendo que el maíz es mas sensitivo al stress hídrico que el trigo (Gardner et al, 1981). La suposición de que la temperatura de la hoja es una medición del stress hídrico se basa en observaciones cualitativas, debido a que los procesos fisiológicos antes y después de que se presente un stress hídrico son diferentes para cada una de las especies de cultivo (Hsiao, 1973). Por otro lado, el potencial total de agua en la planta es ampliamente aceptado como una medición fundamental del status del agua en la planta por lo que se han realizado investigaciones para predecir el potencial del agua en base

a la temperatura del follaje (Jalali y Farahai, 1987).

### **2.3.7. Resistencia del follaje ( $R_c$ ).**

La resistencia del follaje ha sido determinada experimentalmente y teóricamente para varios cultivos. Monteith, et al 1965, reportaron que la resistencia del follaje para el cultivo de cebada fue independiente 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 resistencia del follaje se ha estimado de varias maneras; utilizando el promedio de todas las hojas del follaje o para un grupo de hojas preseleccionadas.

### **2.3.8. Resistencia del aire ( $R_a$ ).**

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.**

Entre las sustancias necesarias para el crecimiento de las plantas, el agua es, sin lugar a dudas, la que se utiliza en mayor medida. Sin embargo, menos del 5 % de la que penetra en las plantas es retenida en los tejidos, ya que la mayor parte de ella pasa a la atmósfera por medio de la transpiración de las hojas. En la práctica del riego es de suma importancia la determinación del momento óptimo para su aplicación y de la cantidad de agua a suministrar en cada riego.

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

Las técnicas de programación de riegos permiten decidir cuándo regar y cuánta agua aplicar para cubrir las necesidades de los cultivos, y su importancia se pone de manifiesto cuando el agua es un recurso escaso y su coste es elevado.

Ante la certeza de obtener una disminución en la producción con un riego deficitario y unido a la falta de información sobre las necesidades de agua de los cultivos, esto puede conducir a aplicar riegos excedentes. Pero el regar en exceso puede conducir a problemas de asfixia radicular, condición que reduce la producción y aumenta los costes de agua y fertilizantes (Jensen y Robb, 1970), y a procesos de contaminación de las aguas subterráneas.

En la práctica del riego, además de tratar de cubrir la necesidad hídrica de la planta, hay que asegurarse de que las raíces estén bien oxigenadas, esto depende de varios factores (Escudero, 1993; Villalobos-Reyes, 2003):

- Características físicas del sustrato. El sustrato ideal debe tener un 30 por ciento de su volumen lleno de aire.
- Volumen de sustrato por planta. Los volúmenes de sustrato que se emplean suelen ser reducidos por razones de economía, y no almacenan las necesidades de agua para el cultivo durante un día.
- Drenajes. Hay otros factores que también tienen influencia en la oxigenación de las raíces. A mayor temperatura, menor concentración de CO<sub>2</sub> en el aire, la solubilidad del oxígeno en agua disminuye y las necesidades de oxigenación de las raíces son mayores por ser mayor el metabolismo. Es preciso

realizar varios riegos a lo largo del día. El número de riegos que se deba dar dependerá de varios factores: de las características físicas del sustrato y volumen del sustrato por planta, de la planta y estado de desarrollo y de la climatología. Si el riego está mal diseñado tenemos que tomar en cuenta la uniformidad del riego durante el tiempo del mismo, llenado de tuberías al inicio del riego y la descarga de tuberías al finalizar el riego (Escudero, 1993).

### **Ciclo de riego.**

Es la cantidad de agua que se aporta en un riego. Cada sistema de riego tendrá un ciclo mínimo que no debe ser alterado. Aforamos el volumen de agua durante el riego y el volumen de descargas después del riego, el coeficiente de uniformidad debe ser el 90 por ciento.

### **Frecuencia de riego.**

Es el número de riegos que se dan por unidad de tiempo. En los cultivos sin suelo la frecuencia es de varios riegos por día. 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; las necesidades de agua de la planta son variables, y se acumulan en las horas centrales del medio día solar. Para los sistemas de cultivo sin suelo que se utilizan, con baja capacidad de almacenamiento de agua, si se mantiene a lo largo del día una frecuencia de riego constante, las plantas van a tener deficiencia de agua en las horas del medio día, y en los riegos de la mañana y la tarde se va a perder mucha agua. Por la noche no es necesario regar. Solo dar algún riego de lavado de sales. La frecuencia de riegos está en función de la fase del cultivo y la climatología del momento.

**Drenaje.**

El drenaje es un método para controlar el agua. El drenaje es necesario cuando hay una mayor cantidad de agua de la que necesitan las plantas para su desarrollo.

Los sistemas de drenaje pueden ser fundamentalmente dos. Es decir, el que se hace en las superficies mediante canales abiertos, y el que se realiza en el subsuelo por medio de tubos subterráneos. El volumen del drenaje es el tanto por ciento de volumen de agua sobrante con respecto al total de agua aportada en cada riego, el porcentaje de drenaje obtenido es el mismo para todos los riegos. Al agua de drenaje se le mide también la conductividad y el pH. Cuanto más concentrada es la solución nutritiva, menos diferencia de presión osmótica existe entre la solución nutritiva y la planta y por lo tanto la absorción de agua y sales minerales es menor. Otro efecto desfavorable de las altas conductividades es la posibilidad de que se produzcan precipitados de sales de baja solubilidad.

**Control del riego.**

El agua de riego que se recoge diariamente de los goteros para calcular el porcentaje de agua drenada, se le debe medir también la CE y el pH. Variaciones de +/- 0.5 unidades en la CE o el pH aconsejan realizar comparaciones sobre: posibles cambios en la composición del agua de riego, variaciones en el contenido de bicarbonatos, funcionamiento deficiente de los sistemas de inyección, errores en la preparación de las soluciones madres y cambios en las riquezas. La CE y el pH en el sustrato o en el agua de drenaje admiten variaciones porcentajes mayores. La CE del agua de drenaje tiende a aumentar al subir la temperatura. En un sustrato de drenaje deficiente esta solución puede resultar peligrosa por la posible falta de oxígeno para las raíces. Se puede

asegurar que cuando los aniones se absorben en cantidades superiores a los cationes hay tendencia a la subida del pH en la solución nutritiva del sustrato y una tendencia a la acidificación si la proporción es la inversa.

### **Programación de riego.**

La programación del riego es un conjunto de procedimientos técnicos desarrollados para predecir **cuánto** y **cuándo** regar (Fernández Fernández, M.D.).

Los métodos de programación del riego se basan en:

- Medida del contenido de agua en el suelo
- Medida del estado hídrico de la planta
- Medida de parámetros climáticos

Entiende por programación del riego la enunciación, para un cultivo y lugar concreto, del ciclo y frecuencia de riego.

### **2.6. Invernaderos.**

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. (Nuez, 1995) menciona que un aspecto relevante de esta mejora dirigida a una mayor adaptación ha sido realizada frente a las condiciones ambientales adversas tales como baja luminosidad y frío o calor en sus efectos negativos sobre el cuajado. En este sentido se han impuesto los híbridos  $F_1$  por su aptitud para cuajar en condiciones difíciles. Bajo invernadero a menudo la temperatura y luminosidad están por debajo del óptimo.

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

Existen diferentes tipos de invernaderos, según los elementos que se consideren para su clasificación. Según Muñoz et al. (1998) y Muñoz-Ramos (2003) los invernaderos se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista: materiales de estructura, del recubrimiento, forma, etc. Atendiendo a su forma los invernaderos se clasifican en: Plano (plano con pendiente), Capilla (Capilla simétrica, Capilla asimétrica, Multicapilla y Diente de sierra) y Curvo (Túnel y Multitúnel; Multitúnel simétrico, Multitúnel asimétrico y Multitúnel apuntado).

### **2.7. Hidroponia.**

Sánchez y Escalante (1989) definen a la hidroponia como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en el agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato u material generalmente inerte y estéril, o simplemente la misma solución nutritiva, con el objeto de proporcionar las condiciones físicas, químicas y sanitarias más adecuadas para el desarrollo vegetal.

Jensen (1999), menciona que la hidroponia es una tecnología para producir plantas en soluciones nutritivas de agua y fertilizantes, donde las raíces se desarrollan en agua o en un sustrato inerte en vez de suelo. Los sistemas hidropónicos se categorizan en sistemas hidropónicos líquidos y con agregados. En los sistemas líquidos las raíces están directamente expuestas a la solución nutritiva, sin ningún otro medio de crecimiento y la solución es reutilizada o reciclada. En los sistemas con agregados, un medio sólido inerte da apoyo a las plantas. Entre los comunes destacan la arena, la grava, la vermiculita, la turba de musgo o cualquier otro material típico de la región que permite reducir los costos. En ambos sistemas, la solución se suministra directamente a las raíces.

El tomate es la hortaliza que con más frecuencia se cita en la bibliografía

referente a los cultivos hidropónicos realizados en todo el mundo; en la mayoría de los casos se señalan mas altos rendimientos en promedio (100 a 400 toneladas por hectárea por año) y más calidad cuando se les compara con los sistemas convencionales de cultivo en suelo (20 a 30 toneladas por hectárea por cosecha y con mucho más riego). Esto constituye un atractivo comercial para agricultores con poca extensión de terreno, con poco agua o con serias limitantes del suelo (Sholto, 1976; Sánchez y Escalante, 1989; Resh, 2001).

## **2.8. Los sustratos hortícolas.**

Abad (1991) define al sustrato como aquel material sólido distinto del suelo, natural o de síntesis, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. Este material puede o no intervenir en el complejo proceso de la nutrición vegetal.

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

Terres V. et al. (1997) mencionan que entre los diferentes criterios de clasificación de los sustratos, merece ser destacado el que se basa en las propiedades de los materiales:

#### **Químicamente inertes.**

Estos materiales actúan única y exclusivamente como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes. Estos han de suministrarse mediante la solución fertilizante, que debe ajustarse al máximo con objeto de no crear disfunciones en la planta. El cultivo en este tipo de sustratos es en la práctica un verdadero cultivo hidropónico, exigiendo una avanzada tecnología de las instalaciones y una elevada especialización del personal. Es decir que no

intervienen en la nutrición vegetal. Para el manejo de estos materiales se necesita una avanzada tecnología y elevada especialización (Canovas y Díaz, 1993).

### **Químicamente activos.**

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 (Urrestarazu, 1997).

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

Las propiedades físicas de los sustratos de cultivo son de primerísima importancia. Una vez que el sustrato esté en el contenedor, y la planta esté creciendo en él; no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato. Esto contrasta con el status químico de los sustratos, que puede ser modificado mediante técnicas de cultivo apropiadas, realizadas por el propio agricultor (Candahía, 2002).

### **Espacio poroso total.**

Abad et al. (1993) mencionan que el espacio poroso total deseable en un sustrato para obtener buenos resultados de crecimiento y desarrollo del tomate, debe ser de alrededor del 85 por ciento del volumen total. El total de poros existentes en un sustrato se divide entre: 1) poros capilares, de tamaño pequeño ( $< 30 \mu$ ), que son los que requieren el agua, y 2) poros no capilares o macroporos, de mayor tamaño ( $> 30 \mu$ ), que son los que se vacían después de que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación (Bunt, 1991).

### **Agua fácilmente disponible.**

Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial, y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de columna de agua, el valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre el 20 por ciento y el 30 por ciento del volumen (Abad et al., 1993).

#### **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 por ciento y el 10 por ciento en volumen. No se recomienda para plantas ornamentales cultivadas en sustrato, que la tensión del agua supere los 100 cm de columna de agua durante el cultivo. En el caso de las plantas hortícolas, se pueden alcanzar tensiones de hasta 300 cm. Sin afectar el modo significativo al crecimiento vegetativo.

#### **Capacidad de aireación.**

Abad et al. (1993) y Candahía (2000) la definen como la proporción del volumen del sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar, usualmente a 10 cm de tensión. La capacidad de aireación deseable en un sustrato para obtener buenos resultados de crecimiento y desarrollo en plantas de tomate oscila entre 30 por ciento y 40 por ciento del volumen total.

#### **Distribución del tamaño de las partículas o granulometría.**

Muchos sustratos están constituidos por una mezcla de partículas con tamaños diferentes. Las propiedades físicas de estos sustratos varían en función de la distribución del tamaño de sus partículas, siendo por tanto de importancia

fundamental la caracterización granulométrica de los materiales. Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 0.9 mm, con poros grandes, superiores a 100:μm, retienen cantidades reducidas de agua y están bien aireados.

Los materiales finos, con partículas inferiores a 0.25 mm y tamaño de poros inferior a 30:μm, retienen grandes cantidades de agua difícilmente disponible y están mal aireados. El mejor sustrato se define como aquel material de textura media a gruesa, con una distribución del tamaño de los poros entre 30: μm y 300:μm, equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 mm y 2.5 mm, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y presenta, además, un adecuado contenido en aire (Puustjärvi, 1994).

### **Densidad aparente.**

Se 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 (Candahía, 2000).

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 mas fuertes, con densidades aparentes comprendidas entre  $0.50 \text{ g/cm}^3$  y  $0.75 \text{ g/cm}^3$ .

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

Ansorena (1994) menciona que la reactividad de un sustrato se plasma en un intercambio de materia entre el material sólido que forma el sustrato y la solución del mismo. La reactividad química de los sustratos es el conjunto de reacciones químicas que tienen lugar por la interacción del agua con el material (reactividad química principalmente por disolución e hidrólisis), por interacción de

las cargas electroestáticas en la superficie del material que dan lugar al intercambio de iones entre la fase sólida y la fase líquida (reacciones de origen físico-químico). Y por la biodegradación de la materia orgánica (reacciones de tipo bioquímico).

#### Capacidad de intercambio catiónico

Se define como la suma de cationes cambiables que pueden ser adsorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos sustratos quedan así retenidos frente al efecto lixiviante del agua y están usualmente disponibles por las plantas (Burés, 1997).

El valor óptimo para la capacidad de intercambio catiónico de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación (Lamiare et al., 1985).

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

Algunos actores han indicado que los materiales para el cultivo hidropónico de hortalizas, como el tomate, deberían presentar una bajísima o nula capacidad de intercambio catiónico, es decir, deberían químicamente inertes, con objeto de permitir un mejor control nutricional de las plantas (Canovas, 1993; Martínez y García, 1993).

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

Los procedimientos para estimar la evapotranspiración, pueden clasificarse en métodos directos y métodos indirectos (Aguilera y Martínez , 1996).

Ambos son usados en invernadero, pues tienen ventajas que deben de ser aprovechadas.

### **2.9.1. Métodos directos.**

Son aplicables para zonas donde se tiene una agricultura establecida, proporcionan valores muy apegados a la realidad y sirven a la vez para ajustar los parámetros de los métodos empíricos (Aguilera y Martínez, 1996).

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.**

Este método se basa en la obtención del contenido de humedad a muestras de suelos tomadas a una profundidad semejante a la que tiene las raíces. Dichas

muestras se obtienen a través del ciclo vegetativo; la cantidad de agua consumida por la planta en un tiempo fijado se determina calculando las laminas de riego consumidas, a partir de los datos de humedad del suelo (Aguilera y Martínez, 1996).

#### **2.9.1.2. Método lisimétrico.**

Consiste en estimar la evapotranspiración potencial por procedimientos de medición de pérdida de agua, en recipientes que se llenan de suelo y se siembran con el cultivo en cuestión (Aguilera y Martínez, 1996).

Trava (1972), define el lisímetro como una estructura que contiene una masa de suelo y esta diseñado de tal forma que permita la medida del agua que drena a través del perfil del suelo.

#### **Clasificación de los lisímetros:**

##### **❖ Lisímetros de drenaje.**

Al medir diariamente los volúmenes agregados y los recogidos en el drenaje, por diferencia se obtiene el evapotranspirado, que dividido por la superficie da la evapotranspiración en lámina por unidad de tiempo (Aguilera y Martínez, 1996).

##### **❖ Lisímetros de pesada.**

El consumo de agua por evapotranspiración se determina pesando diariamente el conjunto del suelo, planta, agua y aparato, y por diferencia de pesadas se obtiene el valor consumido. Estos pueden ser mecánicos, hidráulicos, electrónicos y combinados. Existen en la actualidad diferentes tipos de lisímetros,

sin embargo los mas utilizados son los de tipo Gravimétrico y volumétrico, estos equipos para su instalación es importante realizar una excavación en el campo de prueba, su tamaño dependerá del tipo de lisímetro, así como de los recursos económicos con que se cuente.

Este equipo esta formado por un recipiente de lámina galvanizada, el lisímetro forma un depósito o pequeña área, donde es colocado el suelo que será utilizado para la siembra del cultivo que se desea estudiar, tanto el suelo como el cultivo deben ser representativos de la región que se encuentre en estudio, es decir las características físicas y las propiedades de los parámetros de campo conocidas previamente deben ser aproximadamente las mismas tales como:

- Capacidad de campo
- Punto de Marchitez Permanente
- Densidad Aparente
- y Otros

Por debajo de la estructura es colocada una balanza que es utilizada para conocer el peso total del equipo.

La evapotranspiración se determina pesando directamente todo el conjunto que comprende el suelo, planta, agua y estructura; por diferencias de pesos se obtiene la humedad que ha sido consumida durante cierto periodo de tiempo, para llevar a cabo esta determinación existen equipos muy sencillos hasta equipos con un control automático del sistema.

### **2.9.1.3. Método de la bandeja de drenaje.**

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. 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.

### **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.

e) Se procede a medir el consumo de agua por las plantas (CA) a través de la ecuación 2.1.

$$CA = [(VE - VD) / Npb] * Npm \quad \text{Ec. 2.1}$$

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)

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

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

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.

$$VE = Vg * Ngb \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

VE = Volumen de entrada o de riego (litros)

Vg = Volumen aplicado por un gotero (litros)

$N_{gb}$  = Número de goteros que riegan en la bandeja

Cuando se tiene más de un gotero de control o de referencia, se considera la media del volumen aplicado por todos los goteros como  $V_g$  en el cálculo del volumen de entrada en la bandeja (ecuación 2.2).

g) El volumen de entrada ( $V_D$ ) es el volumen de agua recibido en el recipiente colector del drenaje.

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

Villalobos-Reyes et al., (2003) menciona que 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.

Las raíces salen de los recipientes aproximadamente a los 20 días después del transplante, o en más tiempo dependiendo del clima. Cuando las raíces salen de los recipientes comienzan a agua del reservorio a través de la manta por capilaridad. El volumen de agua que se almacena entre el electrodo de menor profundidad y el punto de drenaje del reservorio es el equivalente al volumen de agua que se almacena dentro de los recipientes con sustrato cuando se hace la perforación a una cierta altura para el drenaje; por lo tanto, el reservorio simula el estado del agua en los recipientes con sustratos.

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. La bandeja a la demanda es de gran ayuda para definir la frecuencia de los riegos, pero el volumen de riego se define a partir de la capacidad de almacenamiento de agua en el sustrato y se ajusta a través del procedimiento realizado en el caso de la bandeja de drenaje.

### **2.9.2. Métodos indirectos.**

Obtienen una estimación de agua a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la utilización de formulas empíricas (Aguilera y Martínez, 1996).

Varios investigadores han tratado de relacionar los diferentes datos climatológicos con la evapotranspiración logrando formulas que permiten estimarla con diferentes aproximaciones, algunas son validas únicamente para las condiciones particulares en las que fueron elaboradas.

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

Estos son instrumentos de muy diversa forma, tamaño y modo de operar en los cuales se mide la lamina de agua evaporada. Esta puede ser convertida en valores de evapotranspiración mediante un factor de corrección. Grassi (1966) dice: "Las medias de evaporación de una superficie libre de agua en el tanque evaporímetros, 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.

Cháves (1973), menciona que frecuentemente se encuentra una estrecha proporcionalidad entre la evaporación, medida por ejemplo en un evaporímetro estándar y la evapotranspiración de un cultivo bien provisto de agua.

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

Este método es bien conocido en el mundo dado que es el más simple y barato para estimar la evapotranspiración (Amayreth, 1999). Además de que es el más destacado entre muchos métodos para estimar la evapotranspiración en el cultivo de tomate producido en invernadero (Castilla et al., 1990).

Los tanques evaporímetros varían en tamaño y forma. El tanque evaporímetro tipo “A” es el más popular en los Estados Unidos y en muchos otros países, 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. La capacidad de reflexión de la radiación que tiene una superficie de agua es tan solo de un 5 a 8 por ciento a diferencia de que en la mayoría de las superficies vegetales es de un 20 a 25 por ciento de la radiación solar recibida. 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. Además de que puede influir la transferencia de calor por los costados del tanque evaporímetro (Allen et al., 1998).

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 (FAO, 1976). 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):

$$ET_o = K_P * E_p$$

Donde:

$ET_o$  = Evapotranspiración de referencia (mm/día<sup>-1</sup>)

$K_p$  = Coeficiente del tanque (adimensional)

$E_p$  = Evaporación del tanque (mm/día<sup>-1</sup>)

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  $ET_o$  con la  $ET_r$ . 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, las fechas de plantación o siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo y la duración del periodo vegetativo, las condiciones climáticas; especialmente durante la primera fase de crecimiento, y la frecuencia del riego. (USDA, 1967).

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

$$ET_c = K_c * ET_o$$

Donde:

$ET_r$  = Evapotranspiración real (mm/día)

$ET_o$  = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

$K_c$  = Coeficiente del cultivo (adimensional)

En atención a lo anterior se presenta en el cuadro 2.1 coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) para los distintos estados fenológicos del cultivo del tomate bajo condiciones de invernadero (Giaquinto et al., 1990).

Cuadro 2.2. Coeficientes de Cultivo ( $K_c$ ) para los distintos estados fenológicos del Cultivo de Tomate bajo Invernadero.

<b>Estado fenológico</b>				
Transplante a inicio de floración	Inicio de floración a tercer racimo cuajado	Tercer racimo cuajado a inicio de cosecha	Inicio de cosecha a 50 % de cosecha	50 % de cosecha a final de cosecha
<b><math>K_c</math></b> 0.1 – 0.4	0.4 – 0.95	0.95 – 1.4	1.4 -1.2	1.2

Por otra parte, en ocasiones cuando no se cuenta con información referente a coeficientes de cultivo para un determinado lugar, como es el caso de muchos invernaderos, se puede adoptar una metodología donde se establece una relación empírica entre el  $K_c$  y el tiempo térmico acumulado (TTA) que es función de la temperatura. Esta relación está dado por el modelo  $K_c$ -TTA.

#### **Expresiones para el cálculo del TTA.**

El tiempo térmico acumulado desde la emergencia o transplante se obtiene a partir de las temperaturas máximas ( $T_{máx}$ ) y mínimas ( $T_{mín}$ ) diarias y de tres valores de temperatura, característicos de cada cultivo, y que definen su respuesta a la temperatura (Cuadro 2.3):  $T_b$  (Temperatura base),  $T_{op}$  (temperatura óptima) y  $T_{us}$  (temperatura umbral superior).

Cuadro 2.3. Valores de Temp. Base, Optima y Umbral Superior para cada Cultivo.

Cultivo	$T_b$	$T_{op}$	$T_{us}$
Solanáceas	10	30	40
Cucurbitáceas	12	32	42

Para el cálculo del TTA, primeramente se tiene que calcular el tiempo térmico diario (TTd) de acuerdo a las siguientes expresiones:

**a)** Si  $T_{máx} < T_{op}$  y  $T_{mín} < T_b$ :

**b)** Si  $T_{máx} < T_{op}$  y  $T_{mín} < T_b$ :

**c)** Si  $T_{máx} > T_{op}$ :

Una vez calculado los valores del tiempo térmico diario, se prosigue a calcular el tiempo térmico acumulado, de acuerdo al siguiente modelo:

Donde:

0 = Fecha de emergencia

t = Día actual

Finalmente se aplica el modelo de Kc-TTA para el cultivo en estudio. A continuación se muestra el modelo para el tomate:

- Si  $TTA < 200$

$K_c = 0.2$

- Si  $200 < TTA < 722$

$$Kc = Kc_{\min} + 0.00268 * (TTA - 200)$$

Donde,  $Kc_{\min}$  es el  $Kc$  mínimo

- Si  $TTA > 722$  hasta el primero de enero

$$Kc = Kc_{\max}$$

Donde  $Kc_{\max}$  es el  $Kc$  máximo

- Desde 1 de enero a 1 de marzo

$$Kc = Kc_{t-1} - 0.01$$

Donde,  $Kc_{t-1}$  es el  $Kc$  del día anterior

- A partir del primero de marzo

$$Kc = 1.0$$

### **2.9.2.3. Métodos basados en la temperatura.**

Dentro de este grupo de métodos se pueden citar: el de Hedke (1928), que utiliza la temperatura del aire. El de Lowry y Johnson (1942), que toma como base el calor efectivo; el de Thornthwaite que utiliza la temperatura fundamentalmente; Blaney y Criddle desarrollan su método en base a temperatura y porcentaje de horas luz; el de García y López (1972), utiliza la temperatura y la humedad relativa en condiciones tropicales para Venezuela.

### **2.9.2.4. Métodos de humedad relativa.**

Dentro de este grupo se puede citar el de Blaney y Morin (1942), citados por SRH (1968), quienes obtuvieron una fórmula empírica para relacionar la evaporación en tanque y la evapotranspiración con la humedad relativa, temperatura y duración del día en horas.

### **2.9.2.5. Método del Time Domain Reflectometry (TDR).**

La técnica de reflectometría en el tiempo es un método que mide la constante dieléctrica del suelo por medio del tiempo de recorrido de un pulso electromagnético que se introduce en el suelo a través de dos varillas de acero inoxidable. El tiempo de recorrido es proporcional a la constante dieléctrica del suelo y únicamente varía con el contenido de agua del mismo.

Ventajas:

1. es muy preciso.
2. no necesita calibración.
3. las medidas no están afectadas por la salinidad.
4. miden directamente el contenido de agua del suelo.

Inconvenientes:

1. alto costo
2. requiere tiempo para realizar las medidas
3. presenta problemas en suelos con alto contenido en materia orgánica y suelos de textura fina (Hanson y Peters, 1999).

Hasta la fecha, la aplicación dominante del TDR ha sido la medición de humedad (o contenido de agua) de suelos no saturados. Esta aplicación ocurre con una sonda en el extremo del cable o de la línea de transmisión de dos hilos.

De ésta manera, se define la localización de la sonda y el tiempo de colocación. Las medidas de la humedad (contenido de agua) se hacen en el suelo para la investigación y el control de la irrigación en los cultivos.

**Descripción.**

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 alta velocidad de los componentes electrónicos situados en la tarjeta de circuito son configurados como un multivibrador. La salida del multivibrador es conectado a las varillas de la sonda las cuales actúan como una guía para las ondas. La frecuencia de oscilación del multivibrador es dependiente de la constante dieléctrico del medio que está siendo medido. La constante dieléctrica es predominantemente dependiente del contenido de agua.

#### **2.10. Ley de Stefan-Boltzmann.**

La planta, al igual que todos los cuerpos sobre el cero absoluto, emite radiación térmica, pero al recibir mayor cantidad de radiación que la que emite, debe disipar este exceso por convección y/o transpiración para mantener el balance de energía (Salisbury y Ross, 1994).

Habitualmente, el balance energético diario de cultivos esta compuesto por la perdida de energía a través de la transpiración, convección y radiación por parte de la hoja, y las ganancias dadas por la radiación procedente del sol y otros cuerpos cercanos (Jensen y Salisbury, 1988). La radiación emitida por la hoja se caracteriza por estar compuesta principalmente por la parte infrarroja del espectro, y su magnitud depende de la *temperatura de la hoja*.

Esto se expresa en la **Ley de Stefan-Boltzmann**, la cual postula la cantidad de energía emitida por un cuerpo es función de la cuarta potencia de su temperatura absoluta:

$$Q = e \sigma T^4$$

Donde:

Q: cantidad de energía radiada (cal)

e: emisividad

$\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-4}$ )

T: temperatura absoluta ( $^\circ\text{K}$ )

Es decir, cuando la temperatura de una hoja expuesta a la luz solar se eleva, la energía radiante que emite también se incrementa, pero en una mayor magnitud.

Basados en la ley de Stefan-Boltzmann, se desarrollaron sensores capaces de determinar a distancia la temperatura de los cuerpos, midiendo la cantidad de radiación infrarroja proveniente de ellos (Tanner, 1963).

El desarrollo de estos instrumentos permitió mejorar y fomentar el estudio de

las relaciones temperatura foliar-estrés hídrico, ya que otorga facilidad y rapidez en la determinación de la temperatura de la planta, además de ser una técnica no destructiva y que no afecta las condiciones del ambiente ni de la planta (Gurovich, 1989).

### **2.11. Algunos trabajos sobre termometría.**

La temperatura es de fundamental importancia en afectación de tasas de la actividad metabólica en los tejidos de las plantas. Todos los organismos interactúan con su medio físico por efecto de los procesos de intercambio de energía, para las hojas, estos procesos incluyen absorción de radiación, reflejo, convección y transpiración. Se presentan diferentes temperaturas de la hoja debido a una combinación de cambios en la temperatura del aire circundante de la hoja y cambios en el balance de energía de la hoja. A equilibrio, la tasa de absorción de energía por una hoja es igual a la tasa de energía perdida. Si estos componentes de energía no están en balance, entonces la temperatura de la hoja cambiará (incrementa o decrece) hasta que sea alcanzada una situación de equilibrio. A causa de alta superficie, misma a las proporciones de volumen de la mayor parte de las hojas, el cambio de energía es rápido y el equilibrio en el cambio de energía es dentro de muy pocos segundos. Los acoplamientos entre la temperatura de hoja y el ambiente físico son hechos por factores que se asocian a la hoja. Estos factores acoplados tampoco representan las propiedades físicas de la hoja o son parámetros basados específicamente característica de la hoja. Los cambios en la hoja son por los factores asociados que las plantas se adaptan y se ajustan a diferentes medios físicos. Los factores asociados a la hoja implicados con la radiación solar son la absorbancia de la hoja de la radiación solar total y la emisividad. La orientación de una hoja o cualquier otra superficie es importante

para entender los modelos diurnales y estacionales de la radiación solar incidente en dicha superficie. Para las hojas, estas intensidades de radiación solar influirán significativamente en la tasa de fotosintética y en la temperatura de la hoja. Para superficies de suelo, la cantidad de radiación solar influirá en el calentamiento de la superficie, y por lo tanto afectará enormemente el suelo y los perfiles de temperaturas del aire (Ehleringer J., 1969).

**La transferencia de energía es un proceso complejo, y los modelos desarrollados para describir transferencia de energía en invernaderos son complejos (Kimball, 1973; Kindelán, 1980; Levit y Gaspar, 1988). Los modelos mecánicos contienen a menudo muchas variables que son difíciles de cuantificar y difícil de adaptarse a diversa situación del invernadero. Los modelos funcionales cuentan con pocas variables que utilizan medidas ambientales y se adaptan más fácilmente a diversas localizaciones (Ritchie y Johnson, 1990).**

Un conocimiento de la relación entre el retoño y la temperatura del aire mejora la habilidad para precisar el tiempo de desarrollo del cultivo para encontrar fechas específicas (Faust y Heins, 1993). Los modelos de desarrollo del cultivo típicamente usan mínimas y máximas temperaturas del aire o datos de temperatura media del aire. Una estimación cuantitativa de la tensión inminente del agua de la planta es un requisito previo, crítico para la programación de riegos eficientes.

Desafortunadamente, muchos de los métodos para cuantificar la tensión fisiológica de la planta dependen de trabajo intensivo y tedioso; además, están conforme a error experimental y de muestreo considerable (Ritchie e Hinckley, 1975). En hecho, la variabilidad entre las plantas es a menudo tan grande que

obscurace cualquier diferencia verdadera que pudieran de otra manera estar atribuidas al estado del agua en la planta. La relación entre las temperaturas de la hoja de la planta y la tensión de la humedad se ha documentado cualitativamente por un número de años (Wiegand y Namken, 1966; Ehrler, 1972; Jackson), y la evidencia ahora está acumulada en lo que establece la termometría (IR) infrarroja como un sustituto confiable para ciertas medidas fisiológicas basadas en medidas de la tensión del agua. Ehrler et al. (1978) demostraron una relación inversa entre el parámetro del grado de la tensión en días [ Le., SDD = temperatura del pabellón ( $T_c$ ) menos temperatura del aire ( $T_a$ ) ] y el potencial de la presión del xilema.

Más adelante, Idso et al. (1981a) refinaron el SDD tomando en cuenta la demanda evaporativa de la atmósfera.

Erie (1962) determinó que para varios cultivos en Arizona, los riegos deben ser dados cuando el 60-70 % del agua disponible se haya utilizado del metro superior de suelo. Adaptando este concepto al trigo, al 65 %, Jackson Et al, en un experimento encontraron que los riegos deben ser aplicados cuando 9-10 centímetros de agua se hayan agotado del perfil de 0 a 110 centímetros.

Así :

TENSIÓN EN GRADOS DIA. (SDD)

Se definió tensión en grados días como:

$$SSD = \sum_{N-n=i} (T_c - T_a)_n$$

la cuál  $T_c$  es la temperatura de la cubierta de la planta menos  $T_a$  temperatura del aire a 150 centímetros sobre el suelo, sumado los días  $N$  que comienzan en el día  $i$ .

Idso et al. (1977) han demostrado que bajo condiciones climáticas áridas de Phoenix, las producciones serán reducidas si el SDD llega a ser positivo.

En general, si una planta tiene agua adecuada,  $T_c - T_a$  estará cerca de cero o negativo; si es agua tensionada,  $T_c - T_a$  será mayor de cero.

**Así la suma de los valores positivos de Tc-Ta puede servir como índice de cuándo regar.**

En cuanto a las investigaciones recientes que usaron la termometría infrarroja (IRT) han proporcionado los resultados que han permitido el desarrollo de un nuevo método para calcular el etc sobre una base diaria bajo condiciones locales del cultivo en campo. Los resultados de estos estudios fueron publicados en un artículo científico titulado: "un acercamiento de cómputo para determinar la transpiración de la resistencia aerodinámica y del dosel," por J. Ben-Asher, D.W. Meek, R.B. Hutrnacher, y c.J. Phene. (Agron. J. 1989 pp. 776-781).

Las estimaciones de evapotranspiración del cultivo (Et) se utilizan para tomar las decisiones para programar la cantidad y la frecuencia del uso del agua de riego. Hay un número de métodos bien conocidos para estimar la evapotranspiración (Et) de cultivos agrícolas. El método más popular de valoración del Etc requiere la utilización de los coeficientes empíricos del cultivo; una aproximación para estimar la cantidad de agua agotada de la zona radicular es utilizando una ecuación de evapotranspiración basada en la diferencia de la temperatura Tc-Ta.

De los numerosos modelos de evapotranspiración publicados en la literatura la ecuación:

$$ET = R_n - G - f(u) C (T_c - T_a) \quad (3)$$

es el modelo más simple que tiene  $T_c - T_a$  como factor explícito.

ET es la evapotranspiración, el  $R_n$  es la radiación neta, G es el flujo de calor del suelo, el  $f(u)$  es una función de la velocidad del viento, y C es la capacidad de calor volumétrica del aire.

Brown y Rosenberg (1973), Stone y Horton (1974), y Blad y Rosenberg (1976) han discutido detalladamente y han demostrado que es confiable para predecir la evapotranspiración del cultivo.

Por otro lado, la detección alejada de las temperaturas de la superficie del suelo y de la hoja con los termómetros infrarrojos ofrece un método de medida que no disturbe la superficie. Las investigaciones pioneras de Fuchs y Tanner (1966) y Conaway y Van Bavel (1967a) documentan los potenciales de esta nueva técnica sin contacto, ambos informes indican que las exactitudes cerca de  $\pm 0,2$  °C se pueden alcanzar rutinariamente, si la emitancia de la superficie es conocida y la radiación del fondo (cielo) se considera.

Una investigación reciente (Idso y Jackson (1968)) referente a los valores anómalos altos de la radiación del cielo reportados por Conaway y Van Bavel (1967b), demostraron que algunos termómetros infrarrojos pueden rendir resultados erróneos en las altas temperaturas ambiente y pueden ser sensibles a los cambios naturales de temperaturas diurnas.

La ventaja del método de IRT a los agricultores es que éstos pueden calcular requisitos diarios del agua del cultivo bajo condiciones ambientales locales específicas y la tensión del agua del cultivo puede ser prevenida, significando que

el agricultor pueda mejorar la eficiencia del uso del agua y potencialmente mejorar sus producciones.

Otra ventaja que la termometría IR ofrece a técnicas convencionales excesivas del gravamen de la tensión es la facilidad y la rapidez con la cual las medidas de la temperatura de la planta pueden ser hechas (Pinter, 1982; Jackson, 1982). Puesto que los campos enteros se pueden examinar en un período de corto tiempo, esta técnica parece ofrecer el potencial para la programación de riegos sobre una base rentable (Jackson et al. 1980; Geiser et al., 1982). Así un granjero, irrigador, o consultor con un termómetro infrarrojo y acceso a un ordenador personal y a un software IRT-Etc puede saber cuánta agua fue utilizada por el cultivo en su campo el día anterior. Tal información, recopilada durante varios días, puede ser utilizada para tomar decisiones sobre programación riegos y el consumo de agua del cultivo.

Las medidas solares reflejadas se pueden utilizar para documentar la historia de la tensión, y son útiles para calibrar el parámetro termal en varios grados de la tensión.

Los instrumentos pequeños, que miden la radiación termal solar reflejada y emitida han estado disponibles por varios años. El propósito principal para el desarrollo de los radiómetros de la reflexión era proporcionar la verificación de datos adquiridos por satélite. Los radiómetros infrarrojos también utilizados para este propósito, pero, para la mayor parte, fue desarrollado para los usos industriales donde las medidas sin contacto de la temperatura fueron requeridas.

Recientemente, Conaway y Van Bavel reportaron largas fluctuaciones diurnas en emitancia de radiación de cielo despejado en los  $600$  a  $1300\text{ cm}^{-1}$  (16-

7.5  $\mu$ ) de longitud de onda. Estas observaciones, obtenidas con un termómetro infrarrojo Modelo IT-2 S supone la necesidad de monitorear frecuentemente la emitancia de radiación en el curso de la superficie del suelo, de la hoja o medidas de temperatura del dosel por termometría infrarroja.

La evidencia por la realidad de las fluctuaciones que Conaway y Van Bavel han reportado es tentador, pero no concluyente. Demostraron una correlación remarcable en el tiempo entre la punta de la emitancia de la radiación observada y la concentración de ozono en la superficie de la capa aérea. Teóricamente las consideraciones ahora indican que esto es imposible para el ozono es responsable para fluctuaciones de la magnitud que observaron.

La teoría también arroja dudas sobre la proposición de que algún constituyente atmosférico u otra combinación que pueda causar variación semejante (Idso B y R. Jackson, 1968).

Un método relativamente simple para la determinación de la emitancia infrarroja de las hojas dan resultados reproducibles que son un buen acuerdo con dos otros métodos usados actualmente para determinar la emitancia infrarroja de suelos. La emitancia determinada por termómetros infrarrojos de diferente sensibilidad espectral no están únicamente relacionada, de ese modo se hace énfasis a la importancia de las medidas de emitancia.

El conocimiento exacto de la emitancia infrarroja de la superficie terrestre es requerida en diversas aplicaciones ecológicas. De particular importancia es en

estos estudios donde el balance de energía son evaluados en términos de la temperatura de una planta (Knoerr y Gay, 1965), suelo (Fuchs y Tanner, 1968), o animal (Bartlett y Gates, 1967).

### **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 2004, 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 Köppen 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.**

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

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

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

El experimento se realizó en un invernadero de doble capilla de una superficie de 1250 m<sup>2</sup>, con dimensiones de 50 m de largo (Este - Oeste) y 25 m de ancho (Norte - Sur), de estructura metálica PTR de 2" con cubierta de polietileno térmico PVC "larga duración" de 188 micras de espesor (calibre 752). El invernadero cuenta con equipo de control de clima y equipo de fertirriego computarizado.

#### **3.3.2. Producción de Plántulas.**

El 13 de febrero de 2004 se preparó la semilla para sembrarse en charolas de unicel de 200 cavidades con peat moss, se depositó la semilla en cada cavidad y se humedeció el sustrato, posteriormente se dejaron en un invernadero todas las charolas apiladas y cubiertas con un plástico color negro para proporcionarles la temperatura adecuada se revisaba todos los días para ver que las semillas hubieran germinado.

#### **3.3.3. Siembra.**

Una vez que las plántulas emergieron, las charolas se acomodaron sobre las mesas del invernadero para evitar que se maltraten, permanecieron así por dos meses aproximadamente.

#### **3.3.4. Preparación del invernadero.**

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

1. Se hicieron las camas a mano, a lo largo de esta se dejó un canal con cierto desnivel hacia el canal principal de drenaje, esto con la intención de que el agua drenada de cada taco se vertiera por esta vía y finalmente fuera drenado al canal principal. Además se procuró dejar más ancho un costado de cada cama para colocar los tacos. La distancia entre camas fue aproximadamente de 1.80 m. Las camas se acolcharon con un plástico de color blanco, haciendo que el plástico tomara la forma del diseño de la cama para no tener problemas con la distribución del drenaje.
2. A continuación se colocaron los tacos sobre el costado más ancho de cada cama.
3. Se construyó el canal principal de drenaje (hecho de aluminio).
4. Se tendieron las mangueras de poliducto de  $\frac{1}{2}$ " en cada cama con sus respectivos goteros de 4 lph, cada gotero con su respectivo distribuidor y estaca como se ilustra en la figura 3.1.



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

5. Se instalaron 4 ventiladores de flujo horizontal, uno en cada sección o válvula del experimento.

6. Se colocó el tanque evaporímetro tipo "A" en una de las secciones (sección 6) del experimento.

### 3.3.5. Transplante.

El transplante se llevó a cabo el 13 de Abril de 2004 en el invernadero, se colocaron 6 plantas por taco.

### 3.3.6. Fertilización

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

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

PERIODO	N ppm (g/m <sup>3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm (g/m <sup>3</sup> )	K <sub>2</sub> O ppm (g/m <sup>3</sup> )
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	180-225

## 3.4. Labores culturales.

### 3.4.1. Entutorado.

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales. Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades. 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 fué 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.**

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

#### **3.4.3. 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 trató que la poda fuera lo más uniforme y equilibrada posible y que se realizara con cuidado para evitar estresar la planta en su balance hídrico y energético. Se realizó aproximadamente cada 15 días, sacando inmediatamente del invernadero todas aquellas hojas enfermas para evitar una posible disipación de patógenos; al igual que en la poda de brotes esta práctica se hizo con tijeras especiales.

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

Los primeros días después del transplante se hizo presente la enfermedad “damping-off” provocando la caída de plantas, este hongo fue atacado con el fungicida Rally 40w, además de tener un mejor cuidado en el drenaje de los sacos, las plantas que presentaron este problema se desecharon del invernadero inmediatamente para evitar reproducción del hongo. También se presentaron enfermedades provocados por los siguientes virus: virus del rizado amarillo del tomate (TYLV), virus del bronceado del tomate (TSWV), y el virus del enanismo ramificado del tomate (TBSV). Para combatir estos tipos de enfermedades se aplicaron insecticidas como el Trevanil, Promyl, Tecto, Previcuir, Cupravit, y Endosulfan. Siguiendo con el control de virus, se eliminaron las plantas afectadas, se eliminaron las malas hierbas dentro y fuera del invernadero y se hicieron aplicaciones

de insecticidas para combatir insectos vectores tales como mosca blanca (*Bemisia tabaci* G. y *Trialeurodes vaporariorum* W.) y trips (*Frankliniella occidentalis* P.)

A partir del periodo de producción se hizo manifiesto alteración en el fruto apareciendo la podredumbre apical (Blossom-end rot). Esta fisiopatía estuvo relacionada con los niveles deficientes de calcio en el fruto, el estrés hídrico y la salinidad, para la solución de este problema se aplicaron fertilizantes foliares tales como Foltron plus, Poliquel, Bionex y Quelatos de calcio, ya que esta alteración en ocasiones es debido a que la planta puede necesitar más calcio del que puede asimilar por medio de las raíces. También se presentó rajado de frutos, esta alteración se debió a los desequilibrios tanto en los riegos como en la fertilización y a la disminución brusca de las temperaturas nocturnas después de un periodo de calor, para no tener tantos problemas de este tipo fue necesario tener un mayor control del riego.

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

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

**La temperatura de la hoja fue medida con un sensor infrarrojo marca Apogge; este instrumento, mide la cantidad de radiación infrarroja emitida por los cuerpos, la cual depende de la temperatura y la emisividad de estos; basándose 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 de 5 centímetros del haz en la tercera hoja de la parte superior, estos sensores se colocaron en una planta representativa por cada sección.**



**Figura 3.2. Arreglo del Sensor Infrarrojo para medir la Temperatura sobre una hoja a 5 cm de separación en una planta representativa del Invernadero.**

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

Para alcanzar esta exactitud, la precisión del IRT de los instrumentos del apogee 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.

#### 3.5.1.2. 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:  $-5^{\circ}$  a  $45^{\circ}\text{C}$ .

❖ Exactitud:

$\pm 0.4^{\circ}\text{C}$  de  $-5$  a  $45^{\circ}\text{C}$ ;

$\pm 0.3$  °C de 10 a 35 °C;

$\pm 0.1$  °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 para medir las 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 atmosféricas de la temperatura. 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.

#### 3.5.2.2. Características:

Marca OMEGA

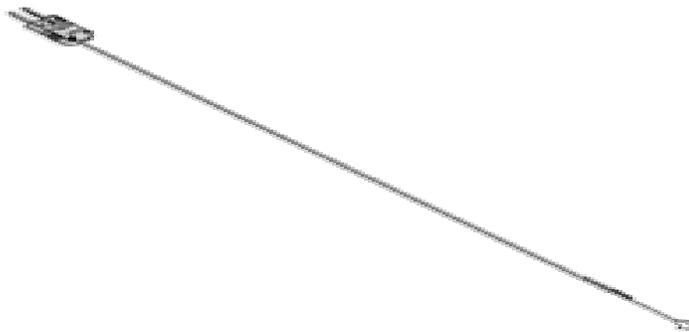
- ❖ FW1 tiene un diámetro de 0,001 pulgadas.
- ❖ Los diámetros extremadamente pequeños eliminan el calentamiento.
- ❖ Los Termopares del tipo E, la salida típica es de  $60 \mu V/^{\circ}C$ .

❖ Típicamente miden flujo atmosférico de la temperatura con exactitud del grado de la investigación.

### **3.5.2.3. Especificaciones:**

Peso: 2 onzas (45 g)

longitud: 14.5"(36,8 centímetros)



**Figura 3.3. Termopar de Alambre Fino (FWT) Tipo E**

### **3.5.3. PLUVIÓMETROS.**

**Se utilizaron dos pluviómetros para medir el volumen de agua aplicado y otro registraba el volumen drenado:**

#### **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)
- ❖ Límites de humedad: 0-100 %
- ❖ Peso: 2.5 lbs. (1.2 kg)
- ❖ Altura: 10" (255 mm)
- ❖ Nivel: Nivel De Burbuja de aire Integral



**Fig. 3.4. 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. 3.5. 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 ( $\text{cm}^3_{\text{agua}}/\text{cm}^3_{\text{suelo}}$ ) en los tacos.**

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 dieléctrica del medio que está siendo medido. La constante dieléctrica es predominantemente dependiente del contenido de agua.

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

**Marca comercial: Campbell SCI.**

**Modelo CSG615-L\*282316**

### 3.5.4.2. 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)

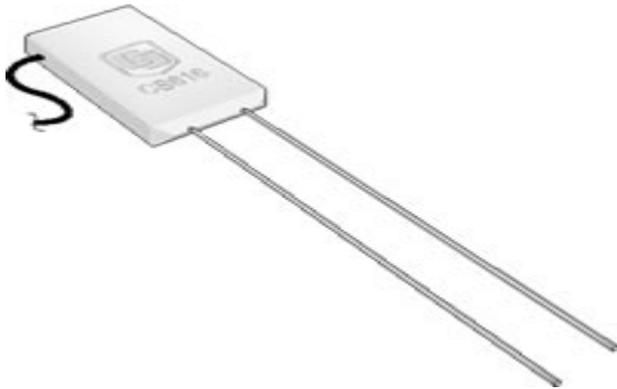


Fig. 3.6. TDR Campbell SCI, Modelo CSG615-L.

### 3.5.5. TANQUE EVAPORÍMETRO TIPO A.

**Según Palacios (1977), este tipo de tanque ha resultado parte de las variaciones o inconsistencias del coeficiente C, sin embargo, uno de los problemas mayores en la estimación de c, es la ubicación del tanque y el medio que lo rodea.**

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).

#### **3.5.5.1. Método del tanque evaporímetro**

Para llevar a cabo este método se utilizó dos tanques evaporímetros con los que cuenta el CIQA, uno de ellos es de acero inoxidable, el cual se ubicó en una superficie con pasto, el otro es fibra de vidrio y este se puso dentro del invernadero, de los cuales se tomaron los datos de evaporación diaria para cada caso.

#### **Descripción del tanque evaporímetro**

Se usaron dos tanques evaporímetros los cuales cuentan con los siguientes elementos:

- Tanque evaporímetro
- Cilindro de reposo
- Tornillo micrométrico
- Plataforma de madera

Para obtener lecturas representativas de evaporación fue necesario mantener el agua que contenía el tanque en buen estado y no dejar que este descendiera a menos de 5 o 7 cm del borde.



Figura 3.7. Tanque Evaporímetro Tipo "A" del Invernadero y de la Estación Meteorológica del CIQA respectivamente.

### 3.5.5.2. Método volumétrico.

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 (Ec. 3.1).

$$CA = \left[ \frac{(VE - VD)}{N_{pb}} \right] * N_{pm} \quad (3.1)$$

Donde:

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

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

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

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

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

### **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 1 m de largo por 30 cm de ancho.
- 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 l).
- 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 20 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. Tanque evaporímetro.**

El valor de la evaporación ( $E_v$ ) se obtuvo con las lecturas diarias del tornillo micrométrico en el tanque evaporímetro tipo "A", y por diferencia de lecturas entre la actual y la del día anterior se obtuvo la evaporación diaria en mm durante el tiempo que tardó el experimento.

### **3.6.6. Bandeja de drenaje.**

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

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

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

Donde:

**T<sub>c</sub>**= Temperatura del follaje

T<sub>a</sub>= Temperatura del aire

Para obtener este índice, primeramente todos los datos registrados se pasaron a un formato de Excel para facilitar su procesamiento, se ordenaron en base a días después del transplante, como estos datos se registraron en periodos de 15 minutos, se hizo un promedio para cada hora por cada día, esto se realizó para los datos que registraron los sensores infrarrojos como para los termopares de alambre fino; se hizo un análisis para cada una de las secciones (2 tallos y 1 tallo), se obtuvo un promedio de temperaturas del follaje registradas por los sensores infrarrojos ( $T_c$ ) entre la sección a 2 tallos (válvula 4 y 5), posteriormente se hizo una diferencia de este promedio con la temperatura del equipo que es la temperatura del aire ( $T_a$ ), obteniendo así el Índice Grado Día; se hizo otros cálculos semejantes para esta misma sección pero ahora se utilizó los datos de temperatura del aire registradas por los termopares de alambre fino obteniendo así la diferencia ( $T_a - T_c$ ). Todo este procedimiento se realizó para la sección a 1 tallo (válvula 6 y 7), haciendo el promedio de las temperaturas del follaje de las secciones 6 y 7, solo que ahora la temperatura del aire ( $T_a$ ) se tomó de la estación Bowen, lo mismo para el otro cálculo para la misma sección tomando como temperatura del aire los datos del termopar de alambre fino.

Finalmente se hizo unas gráficas para ver el comportamiento de este índice respecto al consumo de agua por planta por día. 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 conjunto.

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

De acuerdo con los análisis realizados considerando Temperaturas diarias, Índice Grado Día (IGD), Consumo de agua, Uso Eficiente del Agua (UEA) y Rendimiento se encontraron los siguientes resultados:

- Temperaturas máximas, medias y mínimas diarias.

El factor temperatura es de suma importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas, puesto que altas y bajas temperaturas fuera de las óptimas pueden alterar el funcionamiento fisiológico y como consecuencia disminución en la producción, tomando en cuenta lo anterior se controló estrictamente las condiciones de temperatura dentro del invernadero, adecuándolas a las óptimas (23 a 25 °C y de 15 a 17 °C, durante el día y la noche respectivamente Muñoz, 2003) como se indica en la figura 4.1. Las temperaturas promedio fueron; máxima 29.9, media 15.5 y mínima 21.4; sin embargo hubieron algunos días con temperaturas muy bajas (< 15 °C) lo que no es adecuado en la noche y se presentaron algunas temperaturas muy altas (>35°C) lo que provoca que la planta sufra estrés hídrico cuando la humedad relativa no la favorece (humedad relativa baja).

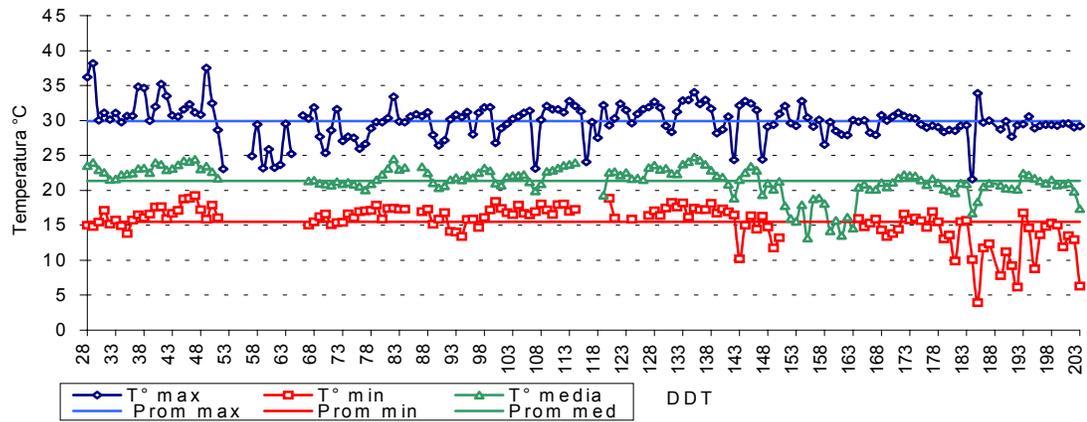


Fig. 4.1. Temperaturas Máxima, Media y Mínima diarias en el interior del Invernadero, en los Días Después del Transplante 28 – 203.

Con el propósito de conocer el comportamiento del consumo de agua del cultivo de tomate se calculó el Índice Grado Día (IGD) por medio de diferenciales termicos entre el follaje y el aire, y como puede observarse en las figuras 4.2-4.5 la relación entre el IGD y el consumo de agua presentan una misma tendencia; analizando la figura 4.2, que según la literatura, el Índice Grado Día entre mas negativo sea, mejores son las condiciones en las que se encuentran las plantas, pero a medida que tiende a ser positivo indica que hay condiciones de estrés hídrico, Itso et al, (1977) bajo condiciones áridas de Phoenix, las producciones fueron reducidas cuando obtuvieron un  $IGD = 10$  como una condición de estrés y para optimas condiciones de humedad  $IGD= 0$ ; analizando el caso a) se observa que hay buenas condiciones de humedad puesto que la línea del IGD se localiza entre valores negativos, caso diferente al b), debido a que la temperatura del follaje se mantuvo sobre la temperatura del aire por lo que la línea del IGD se localiza entre valores positivos.

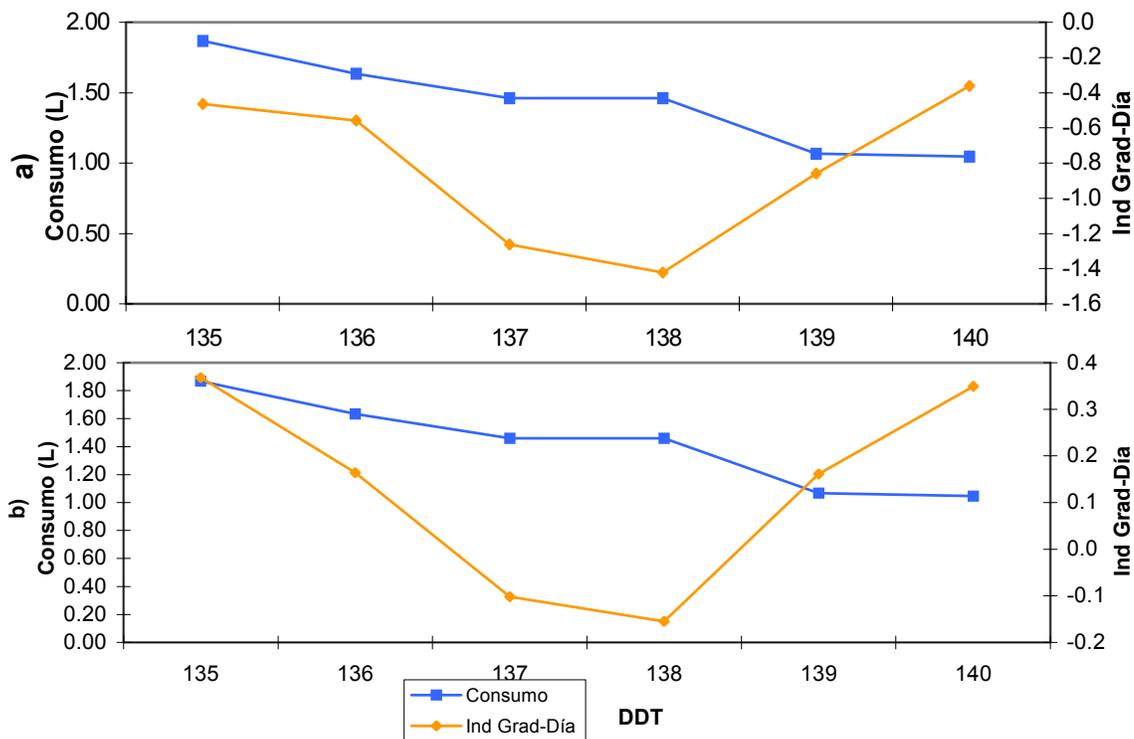


Figura 4.2. Consumo de Agua/Planta/Día medida a partir de la Bandeja de Drenaje en relación al Índice Grado Día para la Sección a 2 tallos en el Cultivo de Tomate bajo condiciones de Invernadero.

Para el caso de la figura 4.3, los consumos fueron mucho menores que los anteriores (fig. 4.2) debido a las condiciones (1 tallo). En esta figura se presenta un comportamiento fuera de lo esperado porque para el caso b) los valores de IGD no son acordes para las condiciones de humedad relativa en las que se encontraba puesto que estaba favorecida por la pared húmeda. Pero esta sección (b) presentó una baja uniformidad del riego por lo que se hizo una prueba del Coeficiente de uniformidad para las cuatro secciones del invernadero obteniendo los siguientes resultados:

Condiciones de 2 tallos	Sección 4= 94.59
	Sección 5= 95.33
Condiciones de 1 tallo	Sección 6= 92.92
	Sección 7= 71.22

Se observa que el coeficiente de uniformidad para la sección 7 es muy bajo y eso afectó notablemente en la temperatura de las plantas y por consiguiente al IGD, esto justifica el comportamiento presente en el caso b).

Los valores de IGD (fig. 4.2.a) son mas negativos por ejemplo  $IGD = -0.37$  con un consumo de 1.06 litros debido a que la temperatura del aire fue mas alta que la del follaje. En la figura 4.2.b indica que la temperatura del follaje fue mayor que la del aire,  $IGD = 0.70$  con un consumo de 1.238 litros.

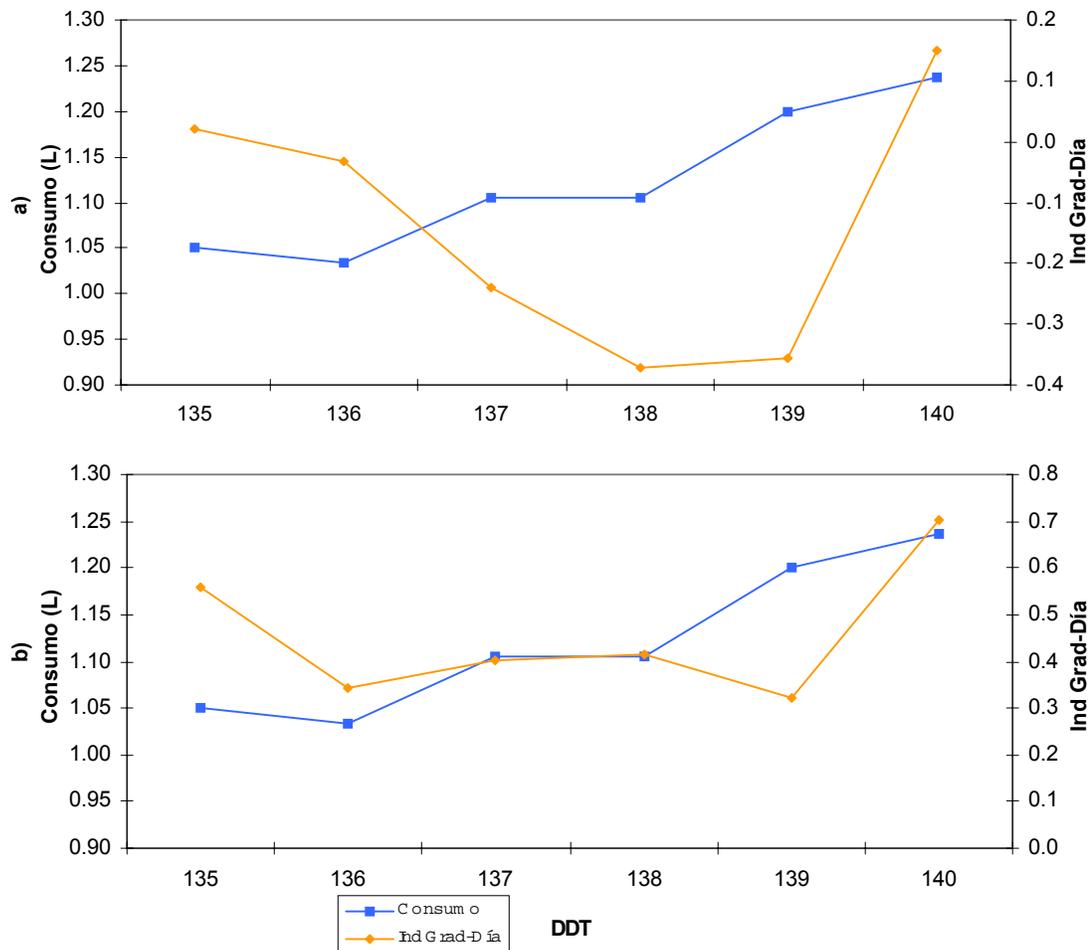


Figura 4.3. Consumo de Agua/Planta/Día medida a partir de la Bandeja de Drenaje en relación al Índice Grado Día para la Sección a 1 tallo en el Cultivo de Tomate bajo condiciones de Invernadero.

Continuando con el análisis de la figura 4.3 y haciendo un promedio de los valores de IGD, se tiene que para un valor de IGD= -0.139 se tiene condiciones óptimas de humedad (a) y para IGD= 0.456 se tiene condiciones de estrés hídrico (b).

Para los siguientes casos, las figuras 4.4 y 4.5 fueron obtenidas a partir de datos de los pluviómetros, diferente a las anteriores obtenidas de las bandejas de drenaje.

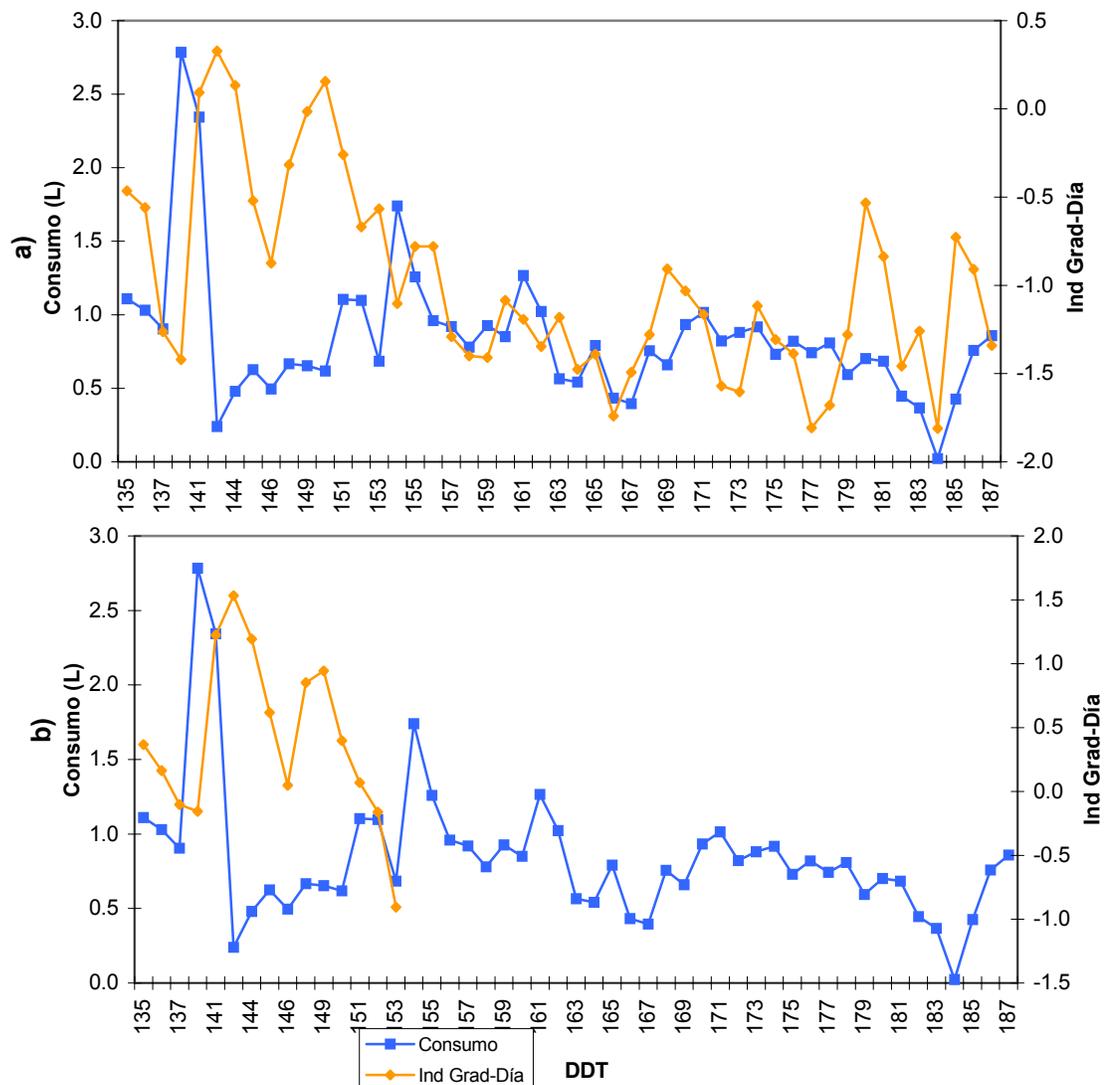
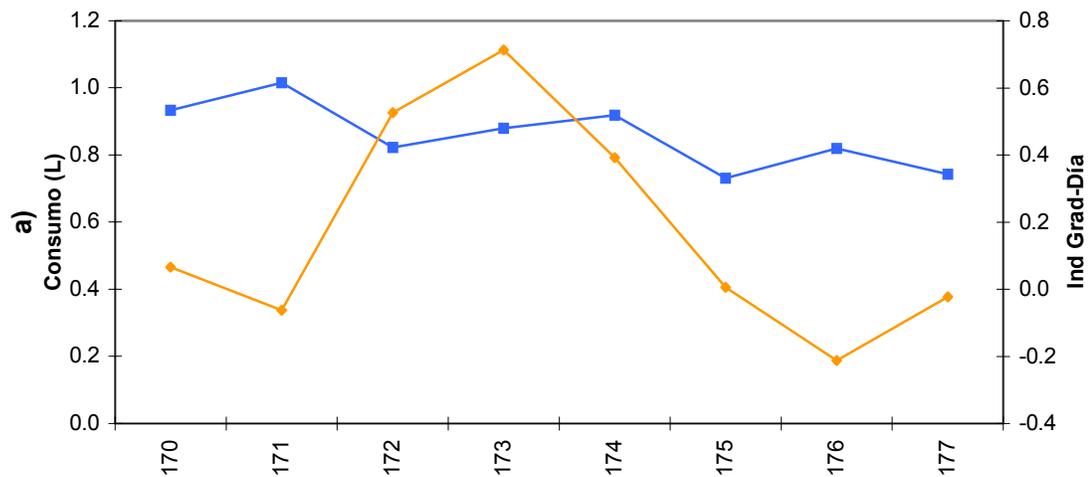


Figura 4.4. Consumo de Agua/Planta/Día medida a partir de los Pluviómetros en relación al Índice Grado Día para la Sección a 2 tallos en el Cultivo de Tomate bajo condiciones de Invernadero.

Cabe mencionar que la tendencia que presentan las gráficas de la figura 4.4 es la misma, es decir tienen el mismo comportamiento en condiciones de 2 tallos.

La figura 4.5 muestra lo que menciona Idso et al (1977), además a medida que aumenta el consumo, el IGD tiende a ser mas negativo lo que representa que no existe estrés hídrico. Para el caso a) cuando el consumo fue de 0.933 litros el IGD= 0.066 a medida que aumento el consumo a 1.016 litros el IGD= -0.062.

Esto recalca que la temperatura del follaje es un indicador del estrés hídrico, así por ejemplo cuando el IGD= 0.880



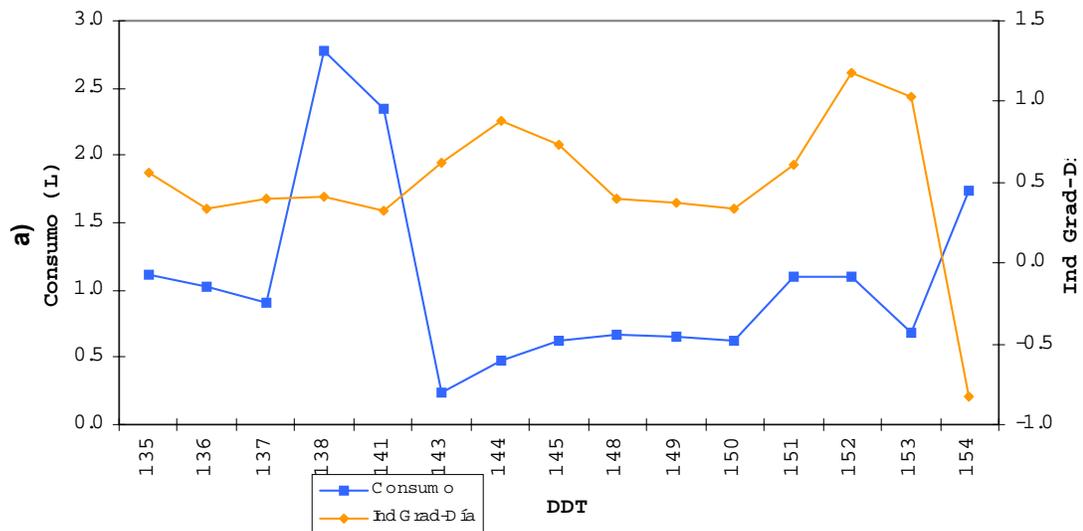


Figura 4.5. Consumo de Agua/Planta/Día medida a partir de los Pluviómetros en relación al Índice Grado Día para la Sección a 1 tallo en el Cultivo de Tomate bajo condiciones de Invernadero.

- Consumo diario de agua / planta.

Este parámetro se midió de dos formas, una con los pluviómetros y la otra con las bandejas de drenaje, obteniendo lo siguiente:

De acuerdo a la figura 4.6, el consumo de agua diaria por las plantas de tomate se relaciona con el tipo de manejo (1 y 2 tallos) por lo que fue mayor el consumo en condiciones de 2 tallos.

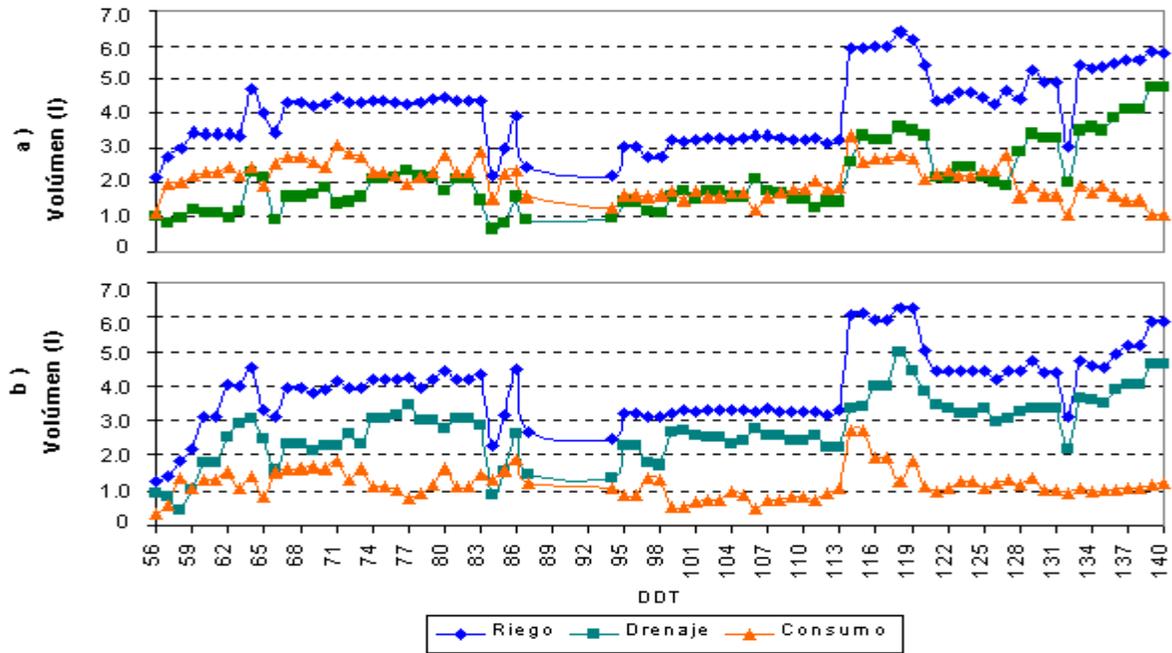


Fig. 4.6. Evolución del Riego, Drenaje y Consumo de Agua por Planta de Tomate, según el tipo de manejo a un tallo (a) y a dos tallos (b) medidos a partir de la Bandeja de Drenaje en los Días Después del Transplante (DDT) 56 – 140.

También se observa que hay variaciones en los volúmenes de riego aplicados debido a las frecuencias y tiempos en los cuales se estuvo programando el equipo de fertirriego a lo largo del ciclo del cultivo. Además en la figura 4.7 el consumo de agua disminuye en los últimos días del final del ciclo.

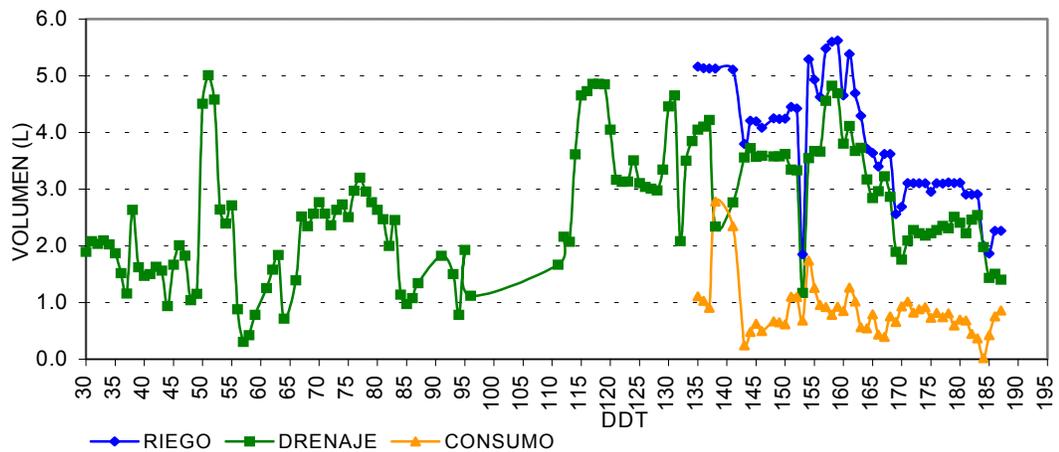


Fig. 4.7. Evolución del Riego, Drenaje y Consumo de Agua por Planta de Tomate, medidos a partir de los Pluviómetros.

El consumo de agua / planta responde altamente a la temperatura, es decir a mayor temperatura mayor consumo, también puede deberse a fallas en el equipo de fertirriego.

En la figura 4.8 se observa la evolución del volumen del riego, drenaje y consumo diario de agua / planta, y en la cual se aprecia que una reducción del volumen de riego implica reducción en el consumo de agua diaria, en otras palabras a medida que disminuye el riego disminuye el consumo.

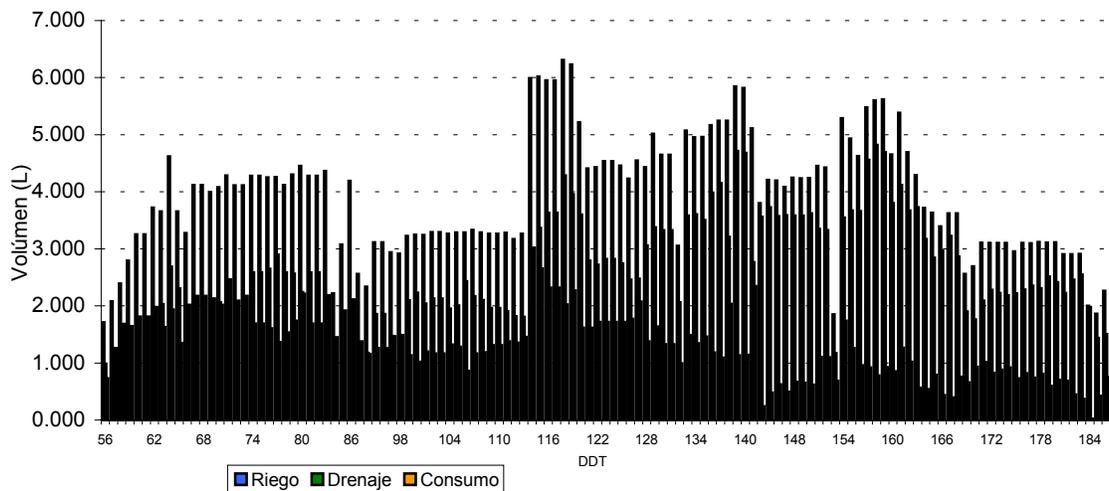
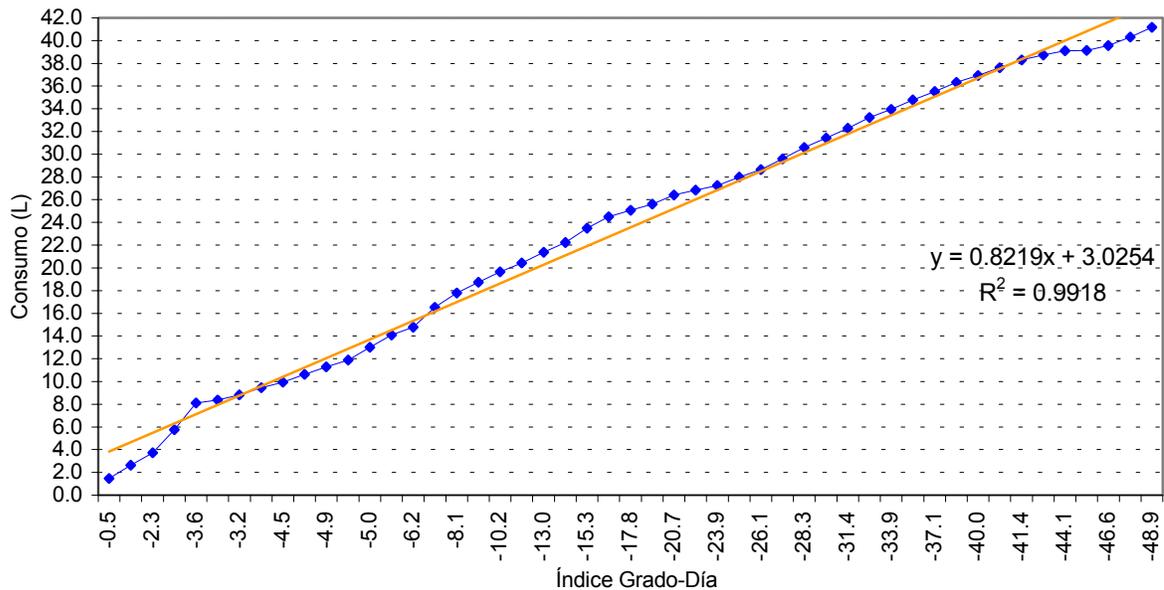


Figura 4.8. Riego, Drenaje y Consumo Promedio Diario de Agua por Planta de Tomate (en el Invernadero) en los Días Después del Transplante 56- 187.

La correlación que existe entre el consumo acumulado y el Índice Grado Día acumulado se muestra en la figura 4.9, en la cual se observa, que el coeficiente de determinación es muy aceptable ( $r^2 = 0.9918$ ).

Figura 4.9. Relación del Consumo de Agua por Planta Acumulado y el Índice Grado Día Acumulado en el Cultivo de Tomate Variedad Gabriela en Invernadero y Sustrato.



- Uso Eficiente del Agua (UEA).

Otro aspecto evaluado fue el Uso Eficiente del Agua (UEA) tanto del riego aplicado al cultivo así como la que consumió, de acuerdo a los resultados obtenidos el UEA de riego fue  $13.171 \text{ kg/m}^3$  que fue muy bajo en comparación con el UEA consumida que fue  $38.950 \text{ kg/m}^3$ , que expresado de otra forma sería  $76 \text{ l/kg}$  y  $26 \text{ l/kg}$  respectivamente mencionando que se tuvo un 50 % de drenaje, pero si se hubiera manejado un drenaje del 30 % que es el óptimo, el  $\text{UEA} = 7.903 \text{ kg/m}^3$  estos valores indican que se aplicó más agua de la que el cultivo necesita y que el agua consumida fue realmente eficiente para la producción de frutos en las condiciones proporcionadas.

- Rendimiento del cultivo de tomate variedad Gabriela en invernadero respecto al tipo de manejo (1 y 2 tallos).

A continuación se presenta el comportamiento de la producción en ton/ha según el tipo de manejo, donde se observa que el rendimiento fue mayor en

condiciones de 2 tallos (55.4 %) que a 1 tallo (44.6 %). Para las primeras 6 cosechas el rendimiento fue aumentando, pero a partir de la séptima cosecha este presentó fluctuaciones, esto se debió al manejo agronómico que se le dio o por alguna falla en el equipo de fertirriego o por condiciones ambientales, este comportamiento no debió suceder sino que tuvo que mantenerse constante hasta finalizar la producción.

Es importante mencionar que este comportamiento es consecuencia del IGD que al igual presentó fluctuaciones en el que se encontraba en condiciones óptimas de humedad y de estrés, y por eso el rendimiento aumentaba y disminuía conforme al IGD; de no haber sido así el rendimiento hubiese sido constante.

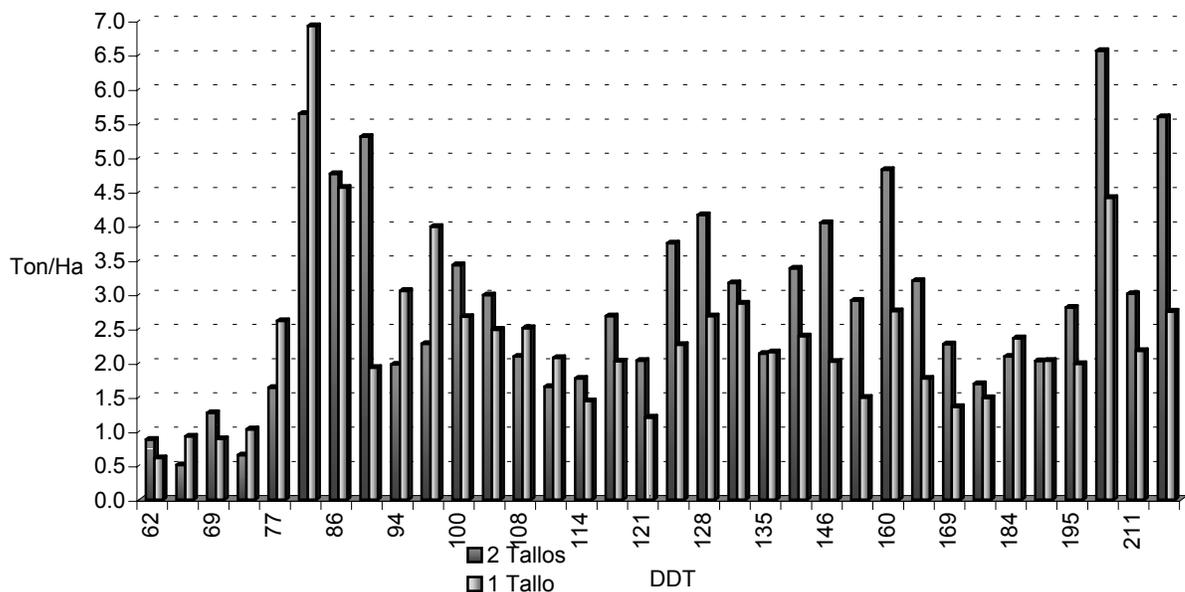


Figura 4.10. Rendimiento total en toneladas por hectárea del cultivo de tomate variedad Gabriela bajo condiciones de invernadero.

Cuadro 4.1. Rendimiento total en toneladas por hectárea del cultivo de tomate variedad Gabriela bajo condiciones de invernadero.

Cosechas	Fecha	DDT	Rendimiento Total (Ton/Ha)		
			Total	2 Tallos	1 Tallo
1	14-Jun-04	62	1.483	0.875	0.608
2	17-Jun-04	65	1.427	0.503	0.923
3	21-Jun-04	69	2.151	1.265	0.885
4	24-Jun-04	72	1.678	0.651	1.028
5	29-Jun-04	77	4.241	1.632	2.608
6	5-Jul-04	83	12.553	5.634	6.919
7	8-Jul-04	86	9.317	4.759	4.558
8	12-Jul-04	90	7.227	5.301	1.925
9	16-Jul-04	94	5.023	1.974	3.049
10	19-Jul-04	97	6.263	2.277	3.985
11	22-Jul-04	100	6.096	3.426	2.670
12	26-Jul-04	104	5.467	2.985	2.482
13	30-Jul-04	108	4.596	2.090	2.505
14	2-Ago-04	111	3.719	1.648	2.071
15	5-Ago-04	114	3.207	1.768	1.439
16	9-Ago-04	118	4.698	2.680	2.018
17	12-Ago-04	121	3.229	2.030	1.199
18	16-Ago-04	125	6.009	3.746	2.263
19	19-Ago-04	128	6.838	4.158	2.680
20	23-Ago-04	132	6.028	3.164	2.864
21	26-Ago-04	135	4.289	2.133	2.156
22	30-Ago-04	139	5.764	3.375	2.389
23	6-Sep-04	146	6.058	4.043	2.015
24	13-Sep-04	153	4.397	2.909	1.488
25	20-Sep-04	160	7.572	4.817	2.755
26	27-Sep-04	167	4.966	3.197	1.769
27	29-Sep-04	169	3.627	2.271	1.356
28	7-Oct-04	177	3.175	1.689	1.487
29	14-Oct-04	184	4.445	2.089	2.357
30	18-Oct-04	188	4.053	2.025	2.029
31	25-Oct-04	195	4.786	2.804	1.982
32	3-Nov-04	204	10.965	6.557	4.408
33	10-Nov-04	211	5.178	3.004	2.174
34	18-Nov-04	219	8.338	5.591	2.747
	<b>total</b>		<b>178.859</b>	<b>99.066</b>	<b>79.793</b>

## **V. CONCLUSIONES.**

**Al finalizar el presente trabajo de investigación, se cuentan con los elementos suficientes para concluir que:**

- Esta comprobado que la temperatura del follaje es un factor muy importante, ya que de esta depende del consumo de agua, es decir a mayor temperatura mayor es el consumo de agua por la planta para que mantenga un equilibrio entre esta y su ambiente dicho de otra manera regular la cantidad de agua que se pierda a la atmósfera y así no sufrir estrés hídrico.
- El Índice Grado Día (IGD) es un indicador del estado del agua de la planta;  
Si el IGD nunca llega a ser positivo, las plantas probablemente no se estresan.

Si una planta tiene agua adecuada, el IGD estará cerca de cero o negativo; si es agua no disponible, el IGD será mayor de cero.

- Para el consumo diario de agua / planta, de acuerdo a los resultados obtenidos, este factor obedece a la temperatura del follaje presente, es decir a mayor temperatura mayor consumo de agua por la planta, y a los tipos de programa de riego que se estuvieron manejando. Hay otro factor que puede afectar el consumo que sería las fallas en el sistema de riego, como una mala distribución del agua, que aunque la planta este en excelentes condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa puede sufrir de estrés hídrico. En cuanto al consumo de agua / planta

acumulado, en los resultados obtenidos, es muy notable que éste tiene una alta relación con el Índice Grado Día (IGD) integrado. Por lo que se presenta una muy buena correlación, de los valores acumulados, entre estas dos variables; y el resultado del tipo de función es muy aceptable debido a que según el valor del coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.9918$ ), el consumo de agua durante el día depende en un 99% del IGD.

- De acuerdo al tipo de manejo agronómico del cultivo (a uno y a dos tallos); en el tipo de manejo a dos tallos, el volumen de agua consumida por planta es mayor, debido a que hubo mayor temperatura y por lo tanto mayor rendimiento. Pero el rendimiento a un tallo solo fue de 44.6 % menor que el de dos tallos (55.4 %) o sea que la diferencia no estuvo muy marcada, por lo que la calidad del fruto es mejor a un tallo, además se le puede dar mejor manejo agronómico a un tallo evitando maltratar a las plantas que esto es un factor principal para afectar el rendimiento.
- Los programas de riego que se estuvieron manejando influyen en el consumo de agua / planta ya que cambios bruscos en las frecuencias de riego provocan alteraciones en la planta así como en el fruto, debido a la tensión que hay en la planta cuando el sustrato está abatido de agua y la repentina recarga de agua del sustrato (esto fue notable en las últimas cosechas las cuales corresponde a los días con este tipo de programas).

## **RECOMENDACIONES.**

La programación del riego en tiempo real (considerando la temperatura del follaje y del aire) puede ser un de las formas más prácticas y eficientes de suministrar el agua a los cultivos, de tal forma que estos presenten el menor estrés posible durante el día, por lo que se tendría ahorro y eficiencia de agua, pues cuando se presentan días con temperaturas bajas, la frecuencia de riego se prolongará y la cantidad de agua aplicada y consumida será menor, y lo contrario sucederá cuando existan periodos de altas temperaturas.

Al tener un control muy estricto de temperatura (23 a 25°C durante el día) y humedad relativa (mayor de 60 % – menor de 80 % HR), además de la radiación y del riego, se puede lograr grandes producciones con un alto uso eficiente del agua.

Por otro lado este trabajo se le puede dar un seguimiento mediante un diseño experimenta para tener un conocimiento mas profundo sobre el comportamiento de las dos condiciones que se manejan el cultivo (1 y 2 tallos).

## VI. RESUMEN.

En este trabajo se consideró la relación que presenta la temperatura del follaje en el consumo de agua en el cultivo de tomate en invernadero, ya que la temperatura del follaje es de suma importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La investigación se llevó a cabo durante el ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2004 en un invernadero tipo doble capilla del Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), con coordenadas 25° 27' Latitud Norte, 25° 27' Longitud Oeste y a una altura de 1610 msnm. Se utilizó la variedad Gabriela de crecimiento indeterminado de la casa comercial Hazera, es de madurez tardía, de vida prolongada apta para producción en invernadero y recomendada para cultivarse durante los ciclos de otoño, invierno y primavera temprana.

En esta investigación se analizó en primer lugar la respuesta al tipo de manejo (a uno y dos tallos) que se le dio al cultivo, así como las diferencias en cuanto a consumo de agua, y sobre todo el efecto que provoca la temperatura del follaje (medida con sensores infrarrojos para determinar el IGD) sobre el agua consumida además del rendimiento obtenido en las dos condiciones antes mencionadas, que fue mayor el consumo de agua en la condición a 2 tallos, debido a la densidad, aunque en cuestiones de rendimiento no fue muy notoria la diferencia como se esperaba, debido a labores de manejo agronómico, aspectos ambientales y problemas en el equipo de fertirriego.

El Índice Grado Día es un es muy confiable para programar riegos y para indicarnos el grado de estrés en la planta ya que es un método de programación directa en tiempo real que utiliza datos recientes que para este trabajo fueron diferenciales de temperaturas entre el follaje y el aire, obteniendo así este indicador.

## VII. LITERATURA CITADA.

**Aguilera, C. M. y Martínez E. R. 1996. Relaciones Agua Suelo Planta  
Atmósfera, Departamento de irrigación, UACH, 4ta Edición. Chapingo.**

Alpi, A. y Tognoni , F. Cultivo en invernadero. 3<sup>a</sup>. Edición.

[Anderlini, R. 1996. El cultivo del tomate.](#)

Azcon, B. J. y Talon, M. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Editorial McGraw-Hill. Interamericana. Madrid, España. 581 p.

Baldocchi, D., Hicks, B. and Meyers, T. 1988. Measuring Biosphere-Atmosphere Exchanges of Biologically Related Gases With Micrometeorological Methods, *Ecology*, 69 (5), 1331-1340.

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.*

Bunt , A. 1991. The relationship of oxygen diffusion rate to the air-filled porosity of potting substrates. *Acta Horticulturae*. 294: 215-224.

Burke, S., Milligan, M. and Thornes, J. 1999. Optimal irrigation efficiency for maximum plant productivity and minimum water loss. *Agricultural water Management*. 40: 337- 391.

Castaños, C. M. 1993. Horticultura manejo simplificado, 1ra edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 527.

**Coras M. P. M. 1996. Evapotranspiración y Programación de Riegos. UACH, Chapingo, México.**

Domínguez, V., 1993. Fertirrigación. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. 217 p.

Doss, B. D. 1977. "Influence of Subsoil Acidity on Tomato Yield and Fruit size". J. American Soc. Hort. Sci. No. 102 (5). pp. 643 a 645.

Escudero, J., 1993. Cultivo hidropónico del tomate. Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. Universidad de Almería. Almería, España. pp. 263-270.

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, F. M. D. Et al. 2001. Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Publicación propia. Cajamar.

Fernández, F. M. D. Et al. 2000. Dosis de riego para cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Publicación propia. Cajamar.

**Folquer, F. 1976. El Tomate, estudio de la planta y su producción comercial, Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina, p. 49.**

**Grimstad, S. O. 1995. Low-temperature pulse effects growth and development of young cucumber and tomato plants. Journal of Hort. Sci. 70 (1): 75-80.**

**Hernández M. F. 2000. Simulación de la evapotranspiración Orientada a la Operación de Sistemas de Riego en el Cultivo de papa (Solanum Tuberosum L) Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Méx.pag. 87.**

Idso, S. B., Jackson, R. D. And Reginato R. J. 1976. Determining Emittances for Use in Infrared Thermometry: A simple Technique for Expanding the Utility of Existing Methods. U. S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona. Journal of Applied Meteorology. Vol. 15.

Idso, S. B. and Jackson, R. D., Ehrlar, W. L. and Mitchell, S. T. 1969. A Method for Determination of Infrared Emittance of Leaves.Reprinted form Ecology.

Idso, S. B. and Jackson, R. D. 1968. A note on the Role of Sky Radiance in Infrared Thermometry. U. S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona. Journal of Applied Meteorology. Vol. 7.

Idso, S. B. and Jackson, R. D. 1968. Significance of Fluctuations in Sky Radiant Emittance for Infrared Thermometry. U. S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona. Journal of Applied Meteorology. Vol. 60.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1997. VII Censo Agropecuario. México.

Jackson R., Idso S. and Pinter, P. 1981. "Canopy temperature as a crop water stress indicator," Water Resources Res. Vo1.17, pp. 1133-1138.

Jackson, R.1983. Assessing moisture stress in wheat with hand-held radiometers. U.S. Dep. of Agriculture, Agricultural Research Service U.S.Water Conservation Laboratory, Phoenix,Arizona 85040.

Jackson, R. and Idso, S. 1969. "Ambient temperature effects in infrared". Agronomy Journal. Vol. 61. Pp. 324-325.

Márquez, M. Y. 1978. Guía para el control de hongos del suelo en el cultivo de tomate utilizando el sistema de Tectirrigación. División Agropecuaria. Merck Sharp Domme de México. México. pp. 22 - 24.

Martínez, C. y M. García Lozano. 1993. Cultivos sin suelo. Hortalizas de Clima Mediterráneo. Compendio de Horticultura Número 3. Ediciones de Horticultura. Barcelona, España. 123 p.

Matallana, G. A. y Montero, C. J. I. Invernaderos, diseño, construcción y climatización. 2ª edición. 1995

Maya, T. 1994. Riego Localizado y Fertirrigación. Ediciones Mundi-prensa. España. Pp. 78-82.

**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. Méx.**

Nuez, Rodríguez, F., Tello, R. A., Cuartero, J., y Segura, J. 1996. El Cultivo del Tomate. Editorial Aedos. S. A. Primera edición. Barcelona, España.

Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.

Pietsch, G. M., Carlson, W. H., Heins, R. D. and Faust, J. E. 1995. The effect of day and night temperature and irradiance on development of *Catharanthus roseus* (L.) "Grape Cooler". Department of horticulture, Michigan State University, East Lansing, MI 48824.

Pinter, P. 1982. "Remote sensing of microclimatic stress," In Hatfield, J. L. and I. J. Thomason, eds., *Biometeorology in Integrated Pest Management*, Academic Press, New York, pp. 101-146.

Pinter, P., Reginato, R. 1982. A Thermal Infrared Technique for Monitoring Cotton Water Stress and Scheduling Irrigations. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, pp. 1651-1655.

**Priestley, C. and Taylor, R. 1972. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. Monthly Weather Review 100:81-92.**

Ramírez, M. R. 1998. Evaluación de genotipos sobresalientes de tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) bajo condiciones de suelo acolchado y sin acolchado en una localidad de altas temperaturas. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. Méx.

Raúl, N. A. 1998. Fisiología Vegetal. Auxiliares Didácticos. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 235 p.

Riego y drenaje. 1991. Manuales para la educación agropecuaria. Editorial Trillas.

Rojas P. y Ramírez R. 1998. USO Y MANEJO DEL AGUA. 1ª. Edición. Editorial UAAAN. Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Rojas, P. L. Y Briones, S. G. Sistemas de riego. 1ª. Edición. Editorial UAAAN. Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Salisbury, F. and Ross, C. 1994. Fisiología Vegetal. Editorial Iberoamericana. México, D. F. 759 p.

Sánchez del C. F. y E. Escalante R. 1989. Hidroponia un sistema de producción. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.

SanMartín, J. 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.

Serrano, C. 2. 1978. Tomate, Pimiento y Berenjena en Invernadero. Publicaciones de Extensión Agraria. Bravo Murillo, Madrid, España.

Shevenell, L. 1998. Regional potencial evapotranspiration in arid climates based on temperature, topography and calculated solar radiation. Nevada Bureau of Mines and Geology, University of Nevada, .U.S.A.

Stegman, E., Musick, J., Stewart, J. 1980. Irrigation Water management. Design and operation of farm irrigation system. Michigan, USA. pp. 763-779.

Resh, H. M. 2001. Cultivos Hidropónicos. Quinta edición. Mundi-Prensa. Madrid España. pp. 357-390.

Tanner, C. 1960. Energy Balance Approach to Evapotranspiration from Crops. Soil Sci, Soc. Amer. Proc., 24, 1-9.

*A P É N D I C E .*

**Cuadro 4.2. Temperaturas del follaje y del aire promediadas por hora medidas con el FWT para la sección a 2 tallos en el cultivo de tomate variedad Gabriela en invernadero.**

DDT	hora	Tc4	Tc5	Tfwt	DDT	hora	Tc4	Tc5	Tfwt
135	1:00	20.645	22.693	21.210	137	15:00	26.468	27.225	26.190
135	2:00	20.023	22.710	20.880	137	16:00	25.050	26.153	25.938
135	3:00	19.508	22.413	20.188	137	17:00	25.358	26.403	26.188
135	4:00	18.890	22.013	19.538	137	18:00	24.855	25.520	25.898
135	5:00	18.640	21.798	19.203	137	19:00	24.325	24.560	25.278
135	6:00	18.115	21.408	18.703	137	20:00	24.555	24.633	25.323
135	7:00	17.798	21.198	18.578	137	21:00	21.218	21.685	22.353
135	8:00	17.343	20.633	17.975	137	22:00	20.370	20.883	21.490
135	9:00	20.125	22.860	20.403	137	23:00	20.068	20.483	20.845
135	10:00	26.370	27.763	25.925	137	0:00	20.033	20.285	20.688
135	11:00	25.978	26.308	26.638	138	1:00	19.733	19.925	20.423
135	12:00	26.800	27.080	26.010	138	2:00	18.995	19.033	19.403
135	13:00	27.648	27.485	26.075	138	3:00	19.298	19.153	19.630
135	14:00	28.138	27.598	26.115	138	4:00	19.360	19.033	19.480
135	15:00	28.768	28.365	26.745	138	5:00	18.583	18.935	18.998
135	16:00	28.968	28.713	27.390	138	6:00	18.130	18.595	18.545
135	17:00	27.390	27.610	27.213	138	7:00	17.998	18.210	18.220
135	18:00	26.898	27.735	28.278	138	8:00	17.898	18.155	18.265
135	19:00	26.488	26.410	28.115	138	9:00	19.593	19.905	19.843
135	20:00	26.378	26.033	26.648	138	10:00	25.118	24.100	23.890
135	21:00	23.433	22.773	24.058	138	11:00	27.490	26.088	25.678
135	22:00	22.855	22.363	24.430	138	12:00	25.578	25.880	25.793
135	23:00	22.295	22.463	23.385	138	13:00	26.128	26.320	25.630
135	0:00	21.490	22.405	22.368	138	14:00	25.558	25.980	25.563
136	1:00	20.628	21.923	21.205	138	15:00	24.975	24.850	25.465
136	2:00	19.673	21.300	20.223	138	16:00	26.235	26.125	26.453
136	3:00	19.348	21.068	20.338	138	17:00	25.738	26.225	25.715
136	4:00	18.915	20.608	19.530	138	18:00	25.373	25.898	26.135
136	5:00	18.490	20.303	18.968	138	19:00	24.725	24.875	25.420
136	6:00	17.760	19.748	18.245	138	20:00	22.525	22.290	23.228
136	7:00	17.525	19.518	18.625	138	21:00	20.060	19.810	20.565
136	8:00	17.168	19.155	17.840	138	22:00	19.195	19.110	19.555
136	9:00	19.905	22.305	20.403	138	23:00	19.025	19.048	19.218
136	10:00	25.823	29.250	26.828	138	0:00	18.845	19.043	18.973
136	11:00	25.943	25.955	27.340	139	1:00	18.653	18.993	18.680
136	12:00	26.578	27.183	26.125	139	2:00	18.355	18.748	18.213
136	13:00	27.040	27.938	25.748	139	3:00	17.610	18.318	17.590
136	14:00	27.560	28.513	26.190	139	4:00	17.225	18.268	17.393
136	15:00	27.715	28.240	26.223	139	5:00	17.218	18.433	17.413
136	16:00	27.763	28.338	27.375	139	6:00	16.838	18.243	17.120
136	17:00	26.978	28.105	26.960	139	7:00	17.138	18.440	17.368
136	18:00	24.708	26.213	25.970	139	8:00	17.610	18.763	17.728
136	19:00	25.315	26.090	26.685	139	9:00	18.938	19.973	19.095
136	20:00	24.918	25.193	25.690	139	10:00	21.715	22.015	21.213
136	21:00	23.278	23.610	24.300	139	11:00	29.053	27.570	26.810
136	22:00	22.515	22.950	23.655	139	12:00	27.845	29.533	27.293
136	23:00	21.985	22.490	22.820	139	13:00	26.413	28.213	27.858
136	0:00	21.460	21.603	22.063	139	14:00	26.515	27.808	27.143
137	1:00	20.628	21.008	21.313	139	15:00	26.823	27.745	26.790
137	2:00	19.858	20.245	20.390	139	16:00	25.475	26.223	26.183
137	3:00	19.475	19.660	19.760	139	17:00	25.685	26.078	26.340
137	4:00	18.978	19.233	19.270	139	18:00	25.560	25.953	26.400
137	5:00	18.443	18.985	18.895	139	19:00	25.200	25.128	25.598
137	6:00	17.693	18.625	18.255	139	20:00	23.358	23.343	23.888
137	7:00	17.420	18.585	17.835	139	21:00	20.708	20.828	21.200
137	8:00	17.195	18.460	17.600	139	22:00	20.213	20.040	20.205
137	9:00	19.610	20.458	19.755	139	23:00	19.478	19.398	19.398
137	10:00	26.830	25.103	24.920	139	0:00	18.825	19.000	18.963
137	11:00	26.413	25.903	26.193	140	1:00	18.185	18.545	18.423

137	12:00	26.168	26.915	26.475	140	2:00	17.950	18.415	18.155
137	13:00	26.848	27.388	25.888	140	3:00	17.800	18.478	18.183
137	14:00	26.810	27.453	25.968	140	4:00	17.555	18.490	18.053
Continúa									
140	5:00	17.353	18.368	17.843	142	23:00	17.538	19.913	17.253
140	6:00	17.475	18.360	17.755	142	0:00	17.370	19.540	17.085
140	7:00	17.555	18.350	17.603	143	1:00	17.348	19.335	17.060
140	8:00	17.520	18.683	17.810	143	2:00	17.250	19.113	16.968
140	9:00	19.803	20.968	19.778	143	3:00	17.163	19.113	16.873
140	10:00	27.908	26.765	25.625	143	4:00	17.035	18.803	16.778
140	11:00	30.623	28.565	27.820	143	5:00	16.983	18.688	16.720
140	12:00	26.918	28.253	27.650	143	6:00	17.000	18.613	16.758
140	13:00	26.775	28.223	27.665	143	7:00	16.920	18.545	16.680
140	14:00	27.255	29.240	27.208	143	8:00	16.843	18.430	16.623
140	15:00	26.510	28.160	27.645	143	9:00	17.893	19.645	17.883
140	16:00	25.468	26.515	25.615	143	10:00	22.430	23.960	21.545
140	17:00	25.255	25.590	25.043	143	11:00	27.925	30.255	25.848
140	18:00	27.378	27.258	26.955	143	12:00	28.060	32.690	25.860
140	19:00	27.540	27.705	27.743	143	13:00	27.458	31.000	25.463
140	20:00	24.783	25.080	24.743	143	14:00	26.020	28.430	25.905
140	21:00	19.720	20.135	19.700	143	15:00	27.098	27.940	26.650
140	22:00	18.910	19.668	19.085	143	16:00	26.333	27.133	25.815
140	23:00	18.540	20.023	18.718	143	17:00	25.963	27.000	26.208
140	0:00	18.243	20.228	18.345	143	18:00	25.930	27.578	25.745
141	1:00	17.773	20.145	17.878	143	19:00	26.728	28.180	26.508
141	2:00	17.545	20.170	17.805	143	20:00	24.233	26.430	24.225
141	3:00	17.575	20.118	17.875	143	21:00	20.195	22.960	19.715
141	4:00	17.845	20.003	17.795	143	22:00	18.543	21.420	18.243
141	5:00	17.408	19.493	17.275	143	23:00	18.135	21.148	17.840
141	6:00	17.243	19.175	17.120	143	0:00	17.775	20.480	17.390
141	7:00	17.193	19.013	17.080	144	1:00	17.508	19.793	17.190
141	8:00	17.093	18.928	17.055	144	2:00	17.325	19.538	16.993
141	9:00	18.440	20.295	18.555	144	3:00	17.373	19.728	16.963
141	10:00	23.353	24.943	22.540	144	4:00	17.245	19.643	16.835
141	11:00	28.455	29.823	26.390	144	5:00	17.188	19.438	16.810
141	12:00	30.270	29.548	27.695	144	6:00	17.018	19.050	16.638
141	13:00	29.843	28.983	27.510	144	7:00	16.730	18.695	16.425
141	14:00	27.005	26.500	26.285	144	8:00	16.800	18.575	16.568
141	15:00	26.198	26.443	26.038	144	9:00	18.655	20.395	18.410
141	16:00	24.958	25.855	25.110	144	10:00	26.210	27.870	24.863
141	17:00	21.663	23.738	22.135	144	11:00	29.980	33.120	28.235
141	18:00	22.428	25.563	22.420	144	12:00	28.820	30.460	26.580
141	19:00	21.323	24.548	21.468	144	13:00	26.958	27.670	25.745
141	20:00	19.523	22.910	19.948	144	14:00	27.563	27.890	26.593
141	21:00	17.813	20.728	17.803	144	15:00	26.968	27.655	26.388
141	22:00	17.003	20.105	17.093	144	16:00	26.118	27.153	26.073
141	23:00	16.630	19.478	16.650	144	17:00	25.778	27.063	26.138
141	0:00	16.730	19.263	16.610	144	18:00	25.420	26.830	26.130
142	1:00	16.713	19.033	16.565	144	19:00	24.910	26.370	26.270
142	2:00	16.740	18.835	16.605	144	20:00	24.693	25.600	25.523
142	3:00	16.768	18.615	16.600	144	21:00	21.080	22.158	21.170
142	4:00	16.743	18.660	16.663	144	22:00	19.825	21.668	19.830
142	5:00	16.648	18.535	16.608	144	23:00	19.670	21.973	19.533
142	6:00	16.708	18.295	16.580	144	0:00	19.233	21.955	19.110
142	7:00	16.635	18.005	16.480	145	1:00	18.598	21.633	18.645
142	8:00	16.578	18.025	16.595	145	2:00	18.915	21.703	18.818
142	9:00	18.060	19.473	18.098	145	3:00	19.083	21.680	18.988
142	10:00	19.908	21.530	19.458	145	4:00	18.805	21.283	18.650
142	11:00	23.585	25.183	22.125	145	5:00	17.878	20.585	17.895
142	12:00	25.103	28.423	22.610	145	6:00	17.845	20.495	17.803
142	13:00	19.238	21.335	18.825	145	7:00	16.923	19.693	17.055
142	14:00	20.985	23.553	20.735	145	8:00	16.405	19.160	16.670
142	15:00	22.098	25.610	21.925	145	9:00	19.110	21.198	19.033
142	16:00	21.023	24.410	21.073	145	10:00	26.933	26.648	24.965

142	17:00	19.438	22.355	19.433	145	11:00	28.185	27.155	26.008
142	18:00	20.273	23.590	20.323	145	12:00	26.095	26.718	26.768
142	19:00	19.673	22.985	19.733	145	13:00	26.735	26.723	25.963
142	20:00	18.763	21.693	18.653	145	14:00	27.223	26.810	26.530
142	21:00	17.878	20.278	17.640	145	15:00	27.568	27.340	26.450
142	22:00	17.808	20.300	17.570	145	16:00	27.298	27.773	26.648
<i>Continúa</i>									
145	17:00	25.855	27.200	26.115	149	11:00	29.473	25.928	25.673
145	18:00	24.855	26.485	26.290	149	12:00	27.908	25.800	25.153
145	19:00	25.115	25.740	26.815	149	13:00	26.890	24.793	25.190
145	20:00	24.598	24.623	25.335	149	14:00	27.445	25.680	25.128
145	21:00	21.685	21.223	22.128	149	15:00	27.620	25.283	24.328
145	22:00	20.728	20.538	20.978	149	16:00	27.338	25.265	24.635
145	23:00	20.113	20.165	20.288	149	17:00	27.035	25.423	25.148
145	0:00	19.825	20.150	19.915	149	18:00	26.263	25.093	25.800
147	1:00	19.428	19.858	19.105	149	19:00	26.725	26.240	26.885
147	2:00	18.808	19.333	18.573	149	20:00	24.453	23.630	24.013
147	3:00	18.640	19.290	18.488	149	21:00	19.345	18.333	18.890
147	4:00	18.638	19.393	18.525	149	22:00	17.740	16.990	17.555
147	5:00	18.438	19.315	18.328	149	23:00	17.010	16.778	16.920
147	6:00	18.180	19.103	18.113	149	0:00	16.573	16.943	16.475
147	7:00	17.975	19.030	18.055	150	1:00	15.915	17.055	15.983
147	8:00	17.445	18.730	17.865	150	2:00	15.505	17.513	15.668
147	9:00	18.555	19.900	18.993	150	3:00	15.073	17.140	15.173
147	10:00	23.033	23.578	22.275	150	4:00	14.853	17.198	14.988
147	11:00	26.135	25.475	23.753	150	5:00	14.785	17.223	14.748
147	12:00	20.920	22.060	21.073	150	6:00	14.193	16.840	14.285
147	13:00	20.075	21.700	20.600	150	7:00	13.863	16.523	13.988
147	14:00	19.915	21.580	20.478	150	8:00	13.575	16.263	13.710
147	15:00	19.658	21.163	20.145	150	9:00	15.855	18.985	15.588
147	16:00	19.228	20.688	19.673	150	10:00	23.843	26.525	21.965
147	17:00	19.783	20.978	20.068	150	11:00	28.933	28.683	25.685
147	18:00	20.500	21.735	20.530	150	12:00	27.780	27.095	25.223
147	19:00	20.530	21.918	20.510	150	13:00	26.238	25.685	25.820
147	20:00	20.185	21.785	20.190	150	14:00	26.460	25.985	25.288
147	21:00	17.110	18.000	17.055	150	15:00	27.010	26.503	25.648
147	22:00	16.733	17.375	17.013	150	16:00	26.133	26.103	25.468
147	23:00	16.650	17.268	16.915	150	17:00	25.308	25.748	25.523
147	0:00	16.465	17.115	16.708	150	18:00	24.755	25.483	25.765
148	1:00	16.178	16.805	16.393	150	19:00	25.090	25.938	26.200
148	2:00	15.695	16.485	16.158	150	20:00	23.995	24.295	24.245
148	3:00	15.238	16.310	15.993	150	21:00	20.888	21.100	20.438
148	4:00	15.055	16.195	15.963	150	22:00	20.283	20.313	19.645
148	5:00	15.035	16.160	15.895	150	23:00	19.595	19.725	18.965
148	6:00	14.900	16.140	15.748	150	0:00	18.800	19.115	18.198
148	7:00	14.578	15.438	15.370	151	1:00	18.408	19.125	17.748
148	8:00	14.608	15.318	15.273	151	2:00	18.130	18.880	17.430
148	9:00	17.135	18.093	17.203	151	3:00	18.243	19.433	17.738
148	10:00	25.065	26.978	23.508	151	4:00	17.895	19.063	17.278
148	11:00	30.043	32.363	28.028	151	5:00	17.528	18.813	16.995
148	12:00	25.540	27.878	26.458	151	6:00	17.473	18.875	16.940
148	13:00	24.515	25.138	25.293	151	7:00	16.943	18.248	16.425
148	14:00	24.215	25.463	24.940	151	8:00	16.960	18.198	16.498
148	15:00	25.208	25.730	24.665	151	9:00	18.273	14.540	17.835
148	16:00	24.288	25.165	24.780	151	10:00	24.523	22.720	23.100
148	17:00	24.435	24.833	25.260	151	11:00	30.293	27.583	27.250
148	18:00	24.295	24.980	25.968	151	12:00	28.373	27.325	27.078
148	19:00	25.165	26.075	27.103	151	13:00	28.085	27.340	26.875
148	20:00	23.550	24.130	24.628	151	14:00	27.973	26.995	26.535
148	21:00	19.090	18.698	19.093	151	15:00	28.150	27.448	27.225
148	22:00	17.475	17.360	17.423	151	16:00	28.025	27.608	27.385
148	23:00	16.288	17.005	16.385	151	17:00	26.565	26.815	27.180
148	0:00	15.478	16.800	15.620	151	18:00	26.403	27.008	27.405

149	1:00	14.778	16.385	14.890	151	19:00	25.793	26.935	27.415
149	2:00	14.043	15.855	14.140	151	20:00	25.108	25.675	25.975
149	3:00	13.463	15.595	13.720	151	21:00	22.343	21.985	22.613
149	4:00	12.975	15.148	13.265	151	22:00	21.320	20.878	21.463
149	5:00	12.680	14.875	12.893	151	23:00	20.460	20.245	20.548
149	6:00	12.295	14.430	12.538	151	0:00	19.773	19.795	19.780
149	7:00	11.853	14.243	12.040	152	1:00	18.888	19.178	18.983
149	8:00	11.620	14.173	11.970	152	2:00	18.280	18.770	18.383
149	9:00	14.503	16.770	14.563	152	3:00	18.130	18.765	18.183
149	10:00	23.020	23.930	21.035	152	4:00	18.038	18.748	18.088
Continúa									
152	5:00	17.353	18.248	17.455	154	23:00	19.063	18.838	19.685
152	6:00	16.463	17.390	16.563	154	0:00	19.260	18.820	20.055
152	7:00	16.058	17.028	16.140					
152	8:00	15.760	16.790	15.835					
152	9:00	17.523	18.625	17.383					
152	10:00	24.478	23.798	23.203					
152	11:00	28.838	26.218	27.198					
152	12:00	26.998	27.123	26.755					
152	13:00	27.398	27.620	26.910					
152	14:00	27.530	27.100	26.625					
152	15:00	27.943	27.338	27.240					
152	16:00	27.413	27.083	27.430					
152	17:00	25.805	26.648	27.153					
152	18:00	25.523	26.813	27.208					
152	19:00	24.518	25.983	26.260					
152	20:00	22.655	23.105	23.438					
152	21:00	20.838	20.880	21.158					
152	22:00	19.720	19.750	19.975					
152	23:00	19.065	19.123	19.338					
152	0:00	18.553	18.833	18.830					
153	1:00	17.793	18.318	18.138					
153	2:00	17.398	18.193	17.700					
153	3:00	16.918	17.803	17.223					
153	4:00	16.313	17.295	16.605					
153	5:00	15.825	16.923	16.078					
153	6:00	15.363	16.428	15.620					
153	7:00	14.895	16.058	15.165					
153	8:00	14.468	15.595	14.778					
153	9:00	16.298	17.395	16.265					
153	10:00	19.673	20.975	19.215					
153	11:00	22.480	23.773	22.965					
153	12:00	24.698	25.668	25.755					
153	13:00	24.618	25.785	24.828					
153	14:00	25.688	26.458	25.180					
153	15:00	26.018	27.823	25.418					
153	16:00	25.148	26.898	25.550					
153	17:00	23.875	25.055	25.388					
153	18:00	22.220	23.188	24.350					
153	19:00	21.435	22.633	23.525					
153	20:00	22.238	22.468	23.948					
153	21:00	18.558	18.755	19.803					
153	22:00	17.715	17.840	19.185					
153	23:00	17.425	17.373	18.453					
153	0:00	16.998	17.373	17.810					
154	1:00	16.673	17.030	17.553					
154	2:00	16.575	16.670	17.320					
154	3:00	15.998	16.310	16.628					
154	4:00	15.673	16.118	16.248					
154	5:00	15.020	15.715	15.525					
154	6:00	14.533	14.910	15.285					
154	7:00	14.408	14.653	15.250					
154	8:00	13.978	14.273	14.723					

154	9:00	16.545	16.640	16.603
154	10:00	23.578	23.570	23.200
154	11:00	27.503	26.670	26.390
154	12:00	26.865	26.070	27.783
154	13:00	27.755	27.958	29.793
154	14:00	28.970	29.733	31.075
154	15:00	25.823	26.168	28.030
154	16:00	26.475	26.805	29.673
154	17:00	25.745	26.820	27.808
154	18:00	24.558	25.445	26.673
154	19:00	22.398	23.138	23.978
<hr/>				
154	20:00	20.623	21.018	21.928
154	21:00	19.243	19.418	19.975
154	22:00	18.698	18.578	19.228

*Cuadro 4.3. Temperaturas del follaje y del aire promediadas por hora medidas con el FWT para*

*la sección a 1 tallo en el cultivo de tomate variedad Gabriela en invernadero.*

DDT	hora	Tc6	Tc7	Tfwt	DDT	hora	Tc6	Tc7	Tfwt
135	1:00	21.618	21.528	21.528	137	15:00	30.645	28.148	27.200
135	2:00	21.170	21.085	21.160	137	16:00	29.230	26.948	27.058
135	3:00	20.565	20.433	20.408	137	17:00	29.965	27.550	27.203
135	4:00	19.908	19.768	19.838	137	18:00	28.243	26.663	26.845
135	5:00	19.558	19.403	19.440	137	19:00	26.650	25.923	26.230
135	6:00	19.075	18.953	18.958	137	20:00	26.628	25.783	26.108
135	7:00	18.800	18.690	18.785	137	21:00	22.690	21.810	21.920
135	8:00	18.405	18.263	18.165	137	22:00	21.285	21.035	21.508
135	9:00	21.043	20.793	20.923	137	23:00	21.105	20.888	21.163
135	10:00	25.980	24.370	26.535	137	0:00	21.018	20.875	21.055
135	11:00	28.613	26.225	27.445	138	1:00	20.645	20.523	20.640
135	12:00	29.168	26.045	26.658	138	2:00	19.733	19.605	19.525
135	13:00	30.133	26.575	27.048	138	3:00	19.885	19.880	19.870
135	14:00	31.018	26.993	26.790	138	4:00	19.745	19.743	19.758
135	15:00	32.133	28.413	27.418	138	5:00	19.323	19.205	19.183
135	16:00	32.668	29.058	27.828	138	6:00	18.860	18.708	18.688
135	17:00	31.290	28.190	27.398	138	7:00	18.678	18.518	18.603
135	18:00	31.178	28.225	27.825	138	8:00	18.625	18.460	18.570
135	19:00	28.778	27.120	28.495	138	9:00	20.140	20.055	20.030
135	20:00	27.755	26.795	27.020	138	10:00	24.438	23.305	24.193
135	21:00	24.793	23.893	23.615	138	11:00	28.120	25.075	26.710
135	22:00	24.083	23.448	24.070	138	12:00	29.450	26.425	26.993
135	23:00	24.045	22.765	23.328	138	13:00	30.568	26.970	26.783
135	0:00	22.290	21.968	22.438	138	14:00	30.173	27.070	27.003
136	1:00	21.275	20.973	21.498	138	15:00	27.063	25.918	25.890
136	2:00	20.450	20.048	20.568	138	16:00	28.288	26.908	26.850
136	3:00	20.018	19.688	20.440	138	17:00	29.683	26.758	26.313
136	4:00	19.715	19.168	19.688	138	18:00	28.305	26.598	26.930
136	5:00	19.523	18.793	19.323	138	19:00	27.235	26.223	26.278
136	6:00	18.898	18.130	18.540	138	20:00	24.483	24.025	23.850
136	7:00	18.508	17.938	18.875	138	21:00	21.670	20.983	20.780
136	8:00	18.278	17.643	17.968	138	22:00	20.005	19.543	19.620
136	9:00	21.783	20.480	20.915	138	23:00	19.643	19.148	19.363
136	10:00	28.030	25.555	27.220	138	0:00	19.488	19.155	19.180
136	11:00	29.073	26.650	28.025	139	1:00	19.213	18.855	18.785
136	12:00	29.373	26.093	26.603	139	2:00	18.803	18.463	18.368
136	13:00	29.698	26.113	26.545	139	3:00	18.258	17.798	17.743
136	14:00	30.555	26.870	27.100	139	4:00	17.998	17.578	17.523
136	15:00	31.195	27.495	26.920	139	5:00	18.005	17.598	17.615
136	16:00	31.133	27.568	26.700	139	6:00	17.718	17.398	17.313
136	17:00	31.108	27.800	27.343	139	7:00	17.740	17.560	17.525
136	18:00	28.395	26.193	26.848	139	8:00	18.053	17.970	17.898
136	19:00	27.953	26.783	27.555	139	9:00	19.488	19.368	19.200
136	20:00	26.770	26.025	26.460	139	10:00	21.625	21.255	21.408

136	21:00	24.328	23.770	24.043	139	11:00	26.695	25.160	26.830
136	22:00	23.193	23.060	23.293	139	12:00	30.693	27.918	27.440
136	23:00	22.790	22.695	22.950	139	13:00	29.915	27.468	28.285
136	0:00	22.160	22.105	22.298	139	14:00	29.353	27.568	27.678
137	1:00	21.503	21.410	21.620	139	15:00	29.248	27.635	27.280
137	2:00	20.695	20.545	20.645	139	16:00	28.263	26.688	27.110
137	3:00	20.055	19.883	19.933	139	17:00	28.103	26.558	27.143
137	4:00	19.600	19.385	19.540	139	18:00	28.435	26.285	27.238
137	5:00	19.200	18.953	19.080	139	19:00	27.368	26.013	26.330
137	6:00	18.610	18.360	18.513	139	20:00	25.348	24.290	24.480
137	7:00	18.190	17.948	18.048	139	21:00	22.008	21.428	21.470
137	8:00	17.923	17.715	17.723	139	22:00	20.875	20.620	20.530
137	9:00	20.530	20.275	20.178	139	23:00	20.108	19.835	19.668
137	10:00	25.705	24.118	25.570	139	0:00	19.620	19.385	19.243
137	11:00	27.645	25.583	27.108	140	1:00	19.065	18.710	18.708
137	12:00	29.383	27.125	27.113	140	2:00	18.670	18.313	18.378
137	13:00	30.203	27.078	26.670	140	3:00	18.603	18.160	18.340
137	14:00	30.830	28.005	27.088	140	4:00	18.625	17.955	18.208
Continúa									
140	5:00	18.393	17.628	17.988	142	23:00	17.933	17.725	17.368
140	6:00	18.255	17.593	17.920	142	0:00	17.705	17.475	17.235
140	7:00	18.145	17.558	17.850	143	1:00	17.635	17.395	17.200
140	8:00	18.213	17.705	17.918	143	2:00	17.535	17.625	17.113
140	9:00	20.200	19.815	19.903	143	3:00	17.430	17.603	17.030
140	10:00	25.928	24.678	25.520	143	4:00	17.358	17.625	16.905
140	11:00	30.060	27.158	27.948	143	5:00	17.250	17.483	16.870
140	12:00	30.978	28.020	28.110	143	6:00	17.288	17.445	16.860
140	13:00	31.718	28.150	28.208	143	7:00	17.248	17.315	16.820
140	14:00	33.598	29.058	26.960	143	8:00	17.180	17.255	16.730
140	15:00	30.880	27.898	28.148	143	9:00	18.313	18.243	18.103
140	16:00	28.563	26.380	26.085	143	10:00	21.993	21.630	21.563
140	17:00	27.443	25.628	25.298	143	11:00	26.180	25.333	26.235
140	18:00	29.085	27.308	27.143	143	12:00	25.280	20.095	26.558
140	19:00	29.633	27.480	27.785	143	13:00	27.530	25.463	26.263
140	20:00	26.450	24.975	25.095	143	14:00	29.045	27.583	26.773
140	21:00	21.288	19.820	19.593	143	15:00	30.093	29.030	27.293
140	22:00	19.900	19.103	18.965	143	16:00	30.325	28.988	26.865
140	23:00	19.063	18.753	18.615	143	17:00	27.718	27.395	26.615
140	0:00	18.555	18.398	18.258	143	18:00	27.610	26.993	25.973
141	1:00	18.125	18.005	17.838	143	19:00	27.905	27.525	26.723
141	2:00	18.008	17.858	17.800	143	20:00	25.983	25.615	24.808
141	3:00	17.995	17.883	17.883	143	21:00	21.708	21.418	20.013
141	4:00	18.030	17.890	17.820	143	22:00	19.065	19.428	18.218
141	5:00	17.790	17.480	17.425	143	23:00	18.385	18.733	17.750
141	6:00	17.618	17.335	17.268	143	0:00	17.820	18.105	17.323
141	7:00	17.460	17.273	17.193	144	1:00	17.465	17.678	17.073
141	8:00	17.395	17.220	17.183	144	2:00	17.243	17.565	16.913
141	9:00	18.840	18.725	18.905	144	3:00	17.640	17.820	17.108
141	10:00	23.240	22.450	22.725	144	4:00	17.603	17.470	17.015
141	11:00	27.175	25.548	26.368	144	5:00	17.545	17.268	17.013
141	12:00	28.233	26.145	27.695	144	6:00	17.343	17.148	16.775
141	13:00	28.463	27.253	27.575	144	7:00	17.053	16.908	16.553
141	14:00	28.190	26.400	26.860	144	8:00	17.075	16.795	16.720
141	15:00	28.835	26.175	26.738	144	9:00	18.978	18.760	18.660
141	16:00	29.300	25.838	26.118	144	10:00	25.090	23.960	24.718
141	17:00	23.905	23.230	22.768	144	11:00	28.105	25.680	27.835
141	18:00	24.023	23.388	23.040	144	12:00	30.488	27.703	26.940
141	19:00	23.125	22.295	22.130	144	13:00	30.655	27.095	27.008
141	20:00	21.350	20.668	20.663	144	14:00	31.728	28.843	27.630
141	21:00	18.750	18.365	17.968	144	15:00	31.428	29.228	27.323
141	22:00	17.815	17.448	17.165	144	16:00	30.095	28.448	26.775
141	23:00	17.268	16.888	16.745	144	17:00	29.523	28.138	26.758
141	0:00	17.263	16.905	16.718	144	18:00	28.988	27.910	26.585

142	1:00	17.168	16.963	16.685	144	19:00	28.095	27.223	27.013
142	2:00	17.163	16.918	16.718	144	20:00	27.030	26.378	26.305
142	3:00	17.148	16.853	16.710	144	21:00	21.973	21.905	21.435
142	4:00	17.190	16.988	16.778	144	22:00	20.038	20.348	19.903
142	5:00	17.000	16.955	16.733	144	23:00	19.773	20.040	19.668
142	6:00	16.813	16.893	16.698	144	0:00	19.428	19.535	19.270
142	7:00	16.753	16.765	16.600	145	1:00	18.950	18.993	18.783
142	8:00	16.858	16.873	16.685	145	2:00	19.013	19.160	19.058
142	9:00	18.398	18.380	18.308	145	3:00	19.045	19.115	19.193
142	10:00	20.150	19.955	19.800	145	4:00	18.845	18.920	18.845
142	11:00	22.880	22.205	22.253	145	5:00	18.278	18.228	18.038
142	12:00	24.030	22.948	22.863	145	6:00	18.083	18.090	17.925
142	13:00	19.373	19.300	19.180	145	7:00	17.395	17.343	17.213
142	14:00	21.953	21.550	21.228	145	8:00	16.875	16.940	16.663
142	15:00	24.633	22.973	22.870	145	9:00	19.753	19.420	19.418
142	16:00	22.583	21.990	21.820	145	10:00	25.645	23.610	25.518
142	17:00	19.943	20.113	19.750	145	11:00	27.578	24.000	26.933
142	18:00	21.298	20.890	20.843	145	12:00	29.773	26.898	27.488
142	19:00	21.028	20.323	20.315	145	13:00	30.268	28.030	26.810
142	20:00	19.720	19.275	19.073	145	14:00	30.685	29.630	27.695
142	21:00	18.150	17.970	17.880	145	15:00	30.690	30.743	27.308
142	22:00	18.168	17.908	17.718	145	16:00	30.448	30.743	27.340
Continúa									
145	17:00	29.465	29.438	26.868	149	11:00	26.283	22.865	26.240
145	18:00	28.613	28.168	26.693	149	12:00	27.523	24.555	26.223
145	19:00	27.748	27.000	27.098	149	13:00	29.010	25.815	26.413
145	20:00	26.728	25.963	26.025	149	14:00	29.675	25.753	25.758
145	21:00	22.135	22.343	21.935	149	15:00	29.813	25.675	24.933
145	22:00	21.215	21.568	21.070	149	16:00	29.745	26.260	25.280
145	23:00	20.665	20.945	20.510	149	17:00	29.455	25.865	25.608
145	0:00	20.318	20.540	20.043	149	18:00	28.658	25.755	25.985
147	1:00	19.925	19.995	19.365	149	19:00	28.583	27.205	27.265
147	2:00	19.180	19.220	18.708	149	20:00	25.845	24.110	24.123
147	3:00	18.965	18.898	18.660	149	21:00	20.260	19.238	18.990
147	4:00	18.853	18.795	18.603	149	22:00	17.948	17.638	17.693
147	5:00	18.735	18.328	18.370	149	23:00	17.060	16.678	17.028
147	6:00	18.438	18.328	18.140	149	0:00	16.568	16.133	16.538
147	7:00	18.360	18.655	18.138	150	1:00	16.073	15.688	16.090
147	8:00	18.148	18.558	17.960	150	2:00	15.733	15.518	15.790
147	9:00	19.295	19.595	19.408	150	3:00	15.180	15.115	15.205
147	10:00	22.813	22.413	22.588	150	4:00	15.038	15.000	15.065
147	11:00	24.420	22.910	24.108	150	5:00	14.883	14.763	14.710
147	12:00	22.413	22.140	21.445	150	6:00	14.355	14.280	14.223
147	13:00	22.293	21.868	21.253	150	7:00	14.028	13.925	13.965
147	14:00	22.318	21.738	21.060	150	8:00	13.683	13.598	13.738
147	15:00	21.215	21.198	20.430	150	9:00	16.490	16.130	16.005
147	16:00	20.903	20.325	19.915	150	10:00	22.635	20.920	22.258
147	17:00	21.040	20.315	20.418	150	11:00	24.730	23.433	26.333
147	18:00	21.688	20.850	20.935	150	12:00	27.335	24.585	26.325
147	19:00	21.813	20.810	20.918	150	13:00	29.278	26.148	26.855
147	20:00	21.500	20.455	20.583	150	14:00	29.563	26.393	26.065
147	21:00	18.090	16.910	17.155	150	15:00	30.233	26.885	26.258
147	22:00	17.315	16.535	17.110	150	16:00	29.605	26.430	26.083
147	23:00	17.165	16.418	17.030	150	17:00	28.968	26.068	26.283
147	0:00	16.953	16.235	16.785	150	18:00	28.180	25.663	26.458
148	1:00	16.628	16.033	16.418	150	19:00	27.983	26.398	27.090
148	2:00	16.293	15.825	16.210	150	20:00	25.883	24.708	24.943
148	3:00	16.050	15.580	16.088	150	21:00	21.658	20.768	20.090
148	4:00	15.935	15.673	16.158	150	22:00	20.098	19.795	19.430
148	5:00	15.875	15.740	16.130	150	23:00	19.230	19.125	18.885
148	6:00	15.643	15.503	15.905	150	0:00	18.458	18.478	18.220
148	7:00	15.203	14.885	15.633	151	1:00	18.025	18.203	17.738
148	8:00	15.028	14.728	15.450	151	2:00	17.570	17.705	17.408

148	9:00	18.033	17.590	17.585	151	3:00	17.885	18.055	17.750
148	10:00	24.895	23.173	23.363	151	4:00	17.448	17.490	17.210
148	11:00	29.668	26.043	27.680	151	5:00	17.178	17.175	16.965
148	12:00	29.698	26.258	27.093	151	6:00	17.148	17.113	16.933
148	13:00	29.923	25.583	26.433	151	7:00	16.465	16.470	16.400
148	14:00	29.788	24.905	25.665	151	8:00	16.728	16.603	16.540
148	15:00	30.858	25.010	25.183	151	9:00	18.195	17.825	18.028
148	16:00	29.468	24.918	25.430	151	10:00	23.825	21.510	23.495
148	17:00	29.243	24.918	25.588	151	11:00	27.673	24.705	27.855
148	18:00	28.500	25.360	26.095	151	12:00	29.398	27.365	28.138
148	19:00	28.340	26.755	27.280	151	13:00	30.710	27.823	28.368
148	20:00	26.085	24.200	24.630	151	14:00	30.975	29.208	28.248
148	21:00	20.400	18.973	19.248	151	15:00	31.523	29.433	28.670
148	22:00	17.758	17.128	17.523	151	16:00	32.160	30.565	28.940
148	23:00	16.498	15.845	16.415	151	17:00	30.750	29.418	28.485
148	0:00	15.620	14.958	15.660	151	18:00	29.468	29.178	28.090
149	1:00	14.865	14.200	14.865	151	19:00	29.425	29.465	28.368
149	2:00	14.088	13.355	14.128	151	20:00	27.733	27.635	26.878
149	3:00	13.513	12.870	13.800	151	21:00	23.710	24.460	23.153
149	4:00	13.210	12.620	13.275	151	22:00	22.148	23.103	21.755
149	5:00	12.830	12.203	12.668	151	23:00	21.055	22.023	20.723
149	6:00	12.478	11.770	12.380	151	0:00	20.198	21.098	19.823
149	7:00	12.285	11.348	12.098	152	1:00	19.328	20.248	18.993
149	8:00	12.393	11.518	12.178	152	2:00	18.670	19.558	18.358
149	9:00	15.510	15.045	15.045	152	3:00	18.458	19.295	18.248
149	10:00	21.925	20.028	21.490	152	4:00	18.410	19.123	18.088
Continúa									
152	5:00	17.753	18.425	17.398	154	22:00	19.163	18.695	18.875
152	6:00	16.818	17.515	16.488	154	23:00	19.505	18.980	19.463
152	7:00	16.340	17.045	16.058	154	0:00	19.820	19.105	19.948
152	8:00	16.005	16.683	15.773					
152	9:00	18.065	18.183	17.708					
152	10:00	23.393	22.115	23.650					
152	11:00	26.378	26.775	27.915					
152	12:00	27.675	28.778	28.023					
152	13:00	30.490	31.798	28.390					
152	14:00	31.405	32.630	28.183					
152	15:00	32.263	33.390	28.628					
152	16:00	31.713	33.073	28.555					
152	17:00	30.445	31.225	28.340					
152	18:00	30.458	30.480	28.530					
152	19:00	28.755	28.378	27.468					
152	20:00	25.363	25.208	24.443					
152	21:00	22.503	23.090	21.945					
152	22:00	20.950	21.828	20.528					
152	23:00	20.118	21.025	19.720					
152	0:00	19.340	20.248	18.955					
153	1:00	18.550	19.313	18.168					
153	2:00	18.053	18.738	17.725					
153	3:00	17.538	18.198	17.158					
153	4:00	16.843	17.508	16.500					
153	5:00	16.315	16.970	15.983					
153	6:00	15.798	16.415	15.485					
153	7:00	15.305	15.913	15.013					
153	8:00	14.883	15.453	14.640					
153	9:00	16.800	16.950	16.520					
153	10:00	20.493	19.348	19.545					
153	11:00	24.000	22.863	23.160					
153	12:00	27.410	27.153	26.563					
153	13:00	28.285	29.040	25.150					
153	14:00	29.325	30.245	25.558					
153	15:00	29.658	27.638	25.988					
153	16:00	27.490	26.233	25.395					

153	17:00	26.280	24.710	24.030
153	18:00	24.560	24.008	22.623
153	19:00	23.373	23.853	21.965
153	20:00	23.503	23.753	23.915
153	21:00	19.548	19.315	18.620
153	22:00	18.573	18.528	18.198
153	23:00	18.188	18.278	18.090
153	0:00	17.778	17.883	17.775
154	1:00	17.358	17.548	17.615
154	2:00	17.015	17.338	17.383
154	3:00	16.540	16.715	16.605
154	4:00	16.230	16.358	16.293
154	5:00	15.483	15.428	15.488
154	6:00	15.143	15.103	15.320
154	7:00	14.898	14.968	15.365
154	8:00	14.445	14.480	14.838
154	9:00	17.165	16.978	17.045
154	10:00	22.858	21.340	23.535
154	11:00	25.035	22.358	26.913
154	12:00	26.410	24.230	27.478
154	13:00	26.873	25.750	28.795
154	14:00	29.325	28.790	31.080
154	15:00	25.955	25.958	28.005
154	16:00	26.873	27.410	29.733
154	17:00	27.628	26.095	27.320
154	18:00	25.970	25.208	26.638
154	19:00	22.783	22.250	22.648
154	20:00	21.053	20.468	21.090
154	21:00	19.778	19.238	19.368

---