

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**ESTIMACION DE EVAPOTRANSPIRACION REAL EN EL CULTIVO DE  
TOMATE (*Lycopersicon esculentum Mill*) BAJO CONDICIONES DE  
INVERNADERO EN BASE A LECTURAS DEL TANQUE  
EVAPORIMETRO TIPO “A”**

**Por:**

**HEBER HERNANDEZ PEREZ**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:  
Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Mayo 2006**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**ESTIMACION DE EVAPOTRANSPIRACION REAL EN EL CULTIVO DE  
TOMATE (*Lycopersicon esculentum Mill*) BAJO CONDICIONES DE  
INVERNADERO EN BASE A LECTURAS DEL TANQUE  
EVAPORIMETRO TIPO “A”**

**TESIS**

**Realizado Por:**

**Heber Hernández Pérez**

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

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

**Aprobada:**

---

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

---

**Dr. Juan P. Munguía López**  
**Coasesor**

---

**Dr. M<sup>a</sup> Del Rosario Quezada Martín**  
**Coasesor**

---

**Dr. Raúl Rodríguez García**  
**Coasesor**

---

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

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Mayo 2006**

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Por haberme dado la oportunidad de ser parte de este universo, y a su vez por que en el transito de este nunca me has abandonado, al contrario, a través de la lucha y con las bendiciones has moldeado mi carácter para poder enfrentar cualquier adversidad y poder seguir adelante con los objetivos que yo me imponga, y sobre todo por haberme bendito una gran y maravillosa familia que son mi motor para hacer cumplir mis sueños, te pido siempre me los bendigas.

### **A MIS PADRES:**

**José Cirilo Hernández Natividad  
Sonia Pérez Hernández**

Por haberme dado la vida y con ello los cuidados, amor, cariño, comprensión y los consejos que han logrado ser de mi un hombre de bien, por todo el apoyo incondicional que me han brindado, a ustedes mis mas sincero respeto y admiración.

### **A MIS HERMANOS:**

**Victoria, Cirilo, Sara, Jacinto, Omar y Zeferina**

Por ser parte importante en este proceso de formación profesional, por sus consejos, motivación y comprensión que alentaron para concluir una etapa más en vida académica. Para todos y cada uno de ustedes con mucho cariño amor y respeto.

### **A MI NOVIA**

**Edith López Ortega**

Por el amor, cariño y comprensión que me has brindado, por compartir conmigo los momentos buenos y malos, por los consejos y motivaciones que recibo de ti para seguir adelante en las metas que yo me fije, a ti que formas parte de mi vida, con mucho amor y cariño.

## **AGRADECIMIENTO.**

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por haberme dado la oportunidad de ser parte de su comunidad estudiantil y permitirme desarrollar mis conocimientos a través de sus servicios.

**A MIS ASESORES:**

Dr. Juan P. Munguía López

Mc. Luís Edmundo Ramírez

Dr. M<sup>a</sup> del Rosario Quezada Martín

Dr. Raúl Rodríguez García

Por ser las personas que hicieron posible que este trabajo se realizara, por todo esto siempre se los agradeceré.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** A través del fondo sectorial y de investigación en materia agrícola, pecuaria, acuacultura, agrobiotecnología y recursos filogenéticos a través del proyecto titulado: modelo en base a los componentes del balance de energía para medir el consumo de agua en los cultivo de tomate, chile y papa, con numero de registro 133 de la convocatoria SAGARPA 2003-2002

**Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)** por facilitarme la realización de este trabajo dentro de sus instalaciones, en específico en el departamento de agroplásticos, bajo la supervisión del Doctor Juan P. Munguía López.

**Al Dr. Juan P. Munguía López**, por darme la oportunidad de trabajar con el en la realización de esta tesis, por la asesoría y revisión de este, así como los conocimientos transmitidos para la elaboración de este trabajo en el tiempo que se desarrollo, y sobre todo por la confianza y paciencia durante todo este tiempo.

**A mis padres**

Por todo el esfuerzo que han realizado para que haya concluido una etapa importante en vida, por el apoyo económico que me han brindado para que en este proceso de formación se haya realizado, por su cariño amor y comprensión que he recibido por parte de ustedes “muchas gracias” que dios siempre los bendiga.

**A mis hermanos**

Por su amistad, apoyo moral incondicional y sus buenos deseos para que en mi búsqueda del éxito siempre sea de lo mejor por todo mil gracias y que donde quiera que se encuentren dios los bendiga y que sus deseos y metas sean todo un éxito.

**INDICE DE CONTENIDO**

<b>INDICE DE CONTENIDO</b> .....	i
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Objetivos</b> .....	4
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b> .....	5
2.1. Generalidades del cultivo.....	5
2.1.1. Importancia del tomate.....	5
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	7
2.1.3. Descripción botánica.....	8
2.2. Exigencias de clima y suelo.....	11
2.2.1. Exigencias climáticas.....	11
2.2.2. Exigencias de suelo.....	12
2.3. Agronomía del tomate.....	13
2.4. Evapotranspiración.....	15
2.4.1. Evapotranspiración potencial.....	16
2.4.2. Evapotranspiración máxima.....	16
2.4.3. Evapotranspiración real.....	16
2.5. Descripción general de los sustratos.....	16
2.5.1. Propiedades físicas.....	17
2.5.2. Propiedades químicas.....	19
2.5.3. Otras propiedades.....	20
2.6. Métodos para estimar la evapotranspiración.....	21
2.6.1. Métodos indirectos.....	21
2.6.1.1. Lisímetros de pesada.....	22
2.6.2. Métodos indirectos.....	23
2.6.2.1. Métodos climatológicos.....	23
2.6.2.2. Método del tanque evaporímetro tipo “A”.....	23
2.6.2.3. Método de Penman – Monteith (1965).....	27
2.6.2.4. Estudios realizados.....	28
2.7. Estación meteorológica.....	29
2.8. Expresiones para el cálculo del TTA.....	30
2.9. Efecto de la salinidad en el suelo.....	33
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	35
3.1. Descripción del sitio experimental.....	35
3.1.1. Localización.....	35
3.1.2. Clima.....	35
3.1.3. Material vegetativo.....	36
3.1.4. Establecimiento del experimento.....	36
3.1.5. Preparación del invernadero.....	37
3.1.6. Producción de plántulas.....	38
3.1.7. Transplante.....	39
3.1.8. Fertilización.....	39
3.1.9. Riego.....	40
3.2. Labores culturales.....	40
3.2.1. Entutorado.....	40
3.2.2. Poda de tallos o brotes.....	40
3.2.3. Poda de hojas.....	41

3.2.4. Poda de frutos.....	41
3.2.5. Control de plagas y enfermedades.....	41
3.3. Materiales y metodologías utilizados.....	42
3.3.1. Estación meteorológica.....	42
3.3.2. Método del tanque evaporímetro tipo "A".....	43
3.3.2.1. Descripción.....	43
3.3.2.2. Metodología en la toma de datos.....	44
3.3.3. Método de la bandeja de drenaje.....	46
3.3.3.1. Descripción.....	47
3.3.3.2. Metodología en la toma de datos.....	47
3.4. Tiempo Térmico Acumulado (TTA).....	49
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>51</b>
4.1. Análisis de resultados de evaporación acumulado en campo abierto e invernadero (2004 y 2005).....	52
4.2. análisis de resultados de evapotranspiración acumulado en campo abierto e invernadero (2004 y 2005).....	53
4.3. Análisis de resultados de la evapotranspiración acumulado ( $ET_{oac}$ ) en invernadero contra la ecuación de Penman-Montieth...	55
4.4. Análisis de resultados de evapotranspiración acumulado ( $ET_{oac}$ ) en la estación meteorológica contra la ecuación de Penman-Montieth.....	56
4.5. Análisis del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) obtenido por la metodología del (TTA) en el cultivo de tomate (2004 y 2005).....	57
4.6. Análisis del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) obtenido por la metodología de la (FAO) para el cultivo de tomate (2004 y 2005).	59
4.7. Análisis del comportamiento de la evapotranspiración cultivo ( $ET_r$ ) estimado por diferentes metodologías.....	60
4.8. Análisis del coeficiente real del cultivo tomate ( $K_{cr}$ ) en perlita por el método del (TTA y la FAO).....	62
4.9 Análisis de coeficiente real de cultivo ( $K_{cr}$ ) en suelo por el método del (TTA y la FAO).....	64
4.10 análisis de evapotranspiración real ( $ET_r$ ) del cultivo de tomate bajo invernadero en condiciones de perlita con los métodos del (TTA y la FAO).....	66
4.11 análisis de la evapotranspiración real ( $ET_r$ ) del cultivo de tomate en suelo con base al método del (TTA y la FAO).....	67
4.12 Análisis de consumo de agua acumulado en el cultivo de tomate bajo invernadero en suelo y perlita.....	68
4.13 Análisis rendimiento acumulado en el cultivo de tomate bajo invernadero en suelo y perlita.....	69
4.14. análisis de área foliar en cultivo de tomate bajo invernadero en 2 sistemas de producción (suelo y perlita)	70
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>VI. RESUMEN.....</b>	<b>73</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>74</b>

## INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1	Comportamiento del tomate mexicano bajo invernadero hacia los estados unidos del 1998 – 2004.....	5
Figura 3.1	Representación del invernadero.....	38
Figura 3.2	Estación meteorológica del “CIQA.....	43
Figura 3.3	Tanque evaporimetro tipo “A”.....	44
Figura 3.4	Bandeja de drenaje.....	47
Figura 4.1	Relación de la $Ev_{ca}$ contra la $Ev_{inv}$ en los años 2004 (a) y 2005 (b).....	53
Figura 4.2	Relación de la evapotranspiracion ( $ET_{o.ca}$ ) contra la $ET_{o.inv}$ . En los años 2004 (a) y 2005 (b)	54
Figura 4.3	Relación de la $ET_{o.inv}$ . Contra la ec. De Penman-Montieth (1965).....	55
Figura 4.4	Relación de la $ET_{o.est}$ contra la ec. De Penman – Montieth (1965).....	56
Figura 4.5	Curva de $K_c$ . obtenido por la metodología del TTA para el cultivo del tomate en los años 2004 (a) y 2005 (b).....	58
Figura 4.6	Comportamiento del $K_c$ . obtenido por la metodología de la FAO para el cultivo del tomate en los años 2004 (a) y 2005 (b).....	60
Figura 4.7	Comportamiento de $E_{Tr}$ . Estimados por diferentes metodologías.....	62
Figura 4.8	Comportamiento de $K_{cr}$ para el manejo del cultivo del tomate en perlita obtenido por dos métodos: TTA (a) Y FAO (b).....	64
Figura 4.9	Comportamiento de $K_{cr}$ para el manejo del cultivo del tomate en suelo obtenido por dos métodos: TTA (a) Y FAO (b).....	65
Figura 4.10	Relación $E_{Tr}$ cultivo del tomate en perlita por 2 métodos TTA (a) y FAO (b).....	66
Figura 4.11	Relación $E_{Tr}$ cultivo del tomate en suelo por 2 métodos TTA (a) y FAO (b).....	67
Figura 4.12	Relación Consumo de agua del cultivo del tomate en suelo (a) y perlita (b).....	68
Figura 4.13	Relación de rendimiento del cultivo del tomate en suelo (a) y perlita (b).....	69
Figura 4.14	Índice de área foliar del cultivo de tomate en 2 sistemas de producción, suelo (a) y pelita (b).....	70

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1 Coeficientes de cultivo para los distintos estados fenológicos del cultivo del tomate bajo invernadero.....	26
Cuadro 2.2 Valores de temperatura base, óptima y umbral superior para cada cultivo.....	30
Cuadro 3.1 Fertilización para el cultivo del tomate.....	39



## I. INTRODUCCIÓN

La Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluyen a más de 6,000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo veintiuno con una grave crisis del agua. Todas las señales parecen indicar que la crisis se está empeorando y que continuará haciéndolo, a no ser que se emprenda una acción correctiva. Se trata de una crisis de gestión de los recursos hídricos, esencialmente causada por la utilización de métodos inadecuados en la aplicación y distribución.

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente 2.53% del total es agua dulce de esta cantidad el 70% se encuentra congelada en los casquetes polares, el resto esta presente en la humedad del suelo, esto hace que menos del 1% de los recursos mundiales del agua dulce sea accesible para el consumo humano. En México los porcentajes que se disponen para cada actividad son los siguientes: actividad agropecuaria el 76%; abastecimiento publico 14% y la actividad industrial utiliza el 10%. El resto es agua salada. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmovilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas.

Aproximadamente 1,000 millones de personas viven actualmente en lo que se define como pobreza absoluta, es decir, con ingresos diarios inferiores a un dólar. La tendencia actual no es disponer de autosuficiencia alimentaría sino depender parcialmente de la importación de alimentos. Una de las razones principales de esta tendencia es la escasez de agua, causada por el crecimiento de la población que ha reducido la disponibilidad de tierra y de agua per cápita. Al mismo tiempo, la demanda de abastecimiento urbano ha aumentado siendo los recursos hídricos limitados,

para adquirir alimentos importados que sembrar cultivos que consumen mucha agua.

La seguridad alimentaría también depende de maximizar tanto los alimentos producidos como el empleo creado por cada m<sup>3</sup> de agua utilizada, ya sea en riego o de temporal. La agricultura bajo riego ha tenido un papel importante en el aumento de la producción de alimentos en las décadas recientes, pero su contribución absoluta es aún menor que la de la agricultura de temporal. De los 1 500 millones de hectáreas cultivadas en el mundo, solamente se riegan unos 250 millones de hectáreas (17 por ciento). Sin embargo, este 17 por ciento proporciona alrededor del 40 por ciento de la producción mundial de alimentos; el 60 por ciento restante proviene de la agricultura de temporal. En las regiones tropicales con escasez de agua como en África , la agricultura de temporal se practica en más del 95 por ciento del área cultivada, y continuará siendo la principal fuente de abastecimiento de alimentos de las poblaciones que allí aumentan constantemente.

La utilización de los recursos de agua dulce deja mucho que desear, especialmente en la agricultura. En algunos casos, estos recursos son sobreexplotados si el consumo supera al suministro de recursos renovables, originándose así una situación insostenible. Generalmente, el despilfarro en una zona priva a otras áreas del agua que necesitan, disminuyendo allí la producción agrícola y el empleo. Otros casos de mala utilización del agua se deben a la extracción de agua de buena calidad y al retorno al sistema hidrográfico de aguas de calidad inaceptable. Los retornos de riego a menudo están contaminados por sales, pesticidas y herbicidas. La industria y los centros urbanos también retornan agua contaminada tanto al agua superficial como a la subterránea.

El tomate (*Lycopersicon esculentum*) es uno de los cultivos hortícolas con mayor área cultivada y producción global. México ocupó el noveno puesto en la producción con 2.1 millones de toneladas, siendo China el mayor productor con 31.6 y Estados Unidos el segundo con 12.7. En cuanto a la

exportación de tomate fresco, España, los Países Bajos y México se disputan las tres primeras posiciones con cifras que rondan mil millones de dólares, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, por sus siglas en inglés (FAO, 2004).

Dada la importancia económica de este cultivo, se hace más patente el esfuerzo tecnológico en cuanto a producción, identificación, tratamiento de plagas y enfermedades, así como en la producción de semillas resistentes, nutrición y técnicas de cultivo adecuadas a la zona productora.

El tomate es la hortaliza más utilizada 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.

El tomate es una de las especies hortícolas más importantes de nuestro país debido al valor de su producción y a la demanda de mano de obra que genera. Es el principal producto hortícola de exportación, ya que representa el 37% del valor total de las exportaciones de legumbres y hortalizas y el 16% del valor total de las exportaciones agropecuarias, solo superado por el ganado vacuno.

La evapotranspiración real (ET<sub>r</sub>) es una de las principales variables de entrada en la metodología para estimar el consumo de agua del cultivo durante su ciclo de crecimiento. La metodología más ampliamente usada para estimar el consumo de agua de los cultivos es la recomendada por Allen et al. (1998) en la publicación de la FAO, donde la ET es estimada en función de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y de un coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>). La ET<sub>r</sub> es calculada usando la ecuación de Penman-Monteith que requiere mediciones simultáneas de temperatura, humedad relativa,

velocidad del viento y radiación solar. El coeficiente  $K_c$  depende del estado fenológico del cultivo y de las condiciones específicas de suelo y clima.

Diversos trabajos han mostrado que la Evapotranspiración en invernadero se reduce un 70% respecto a campo abierto, y la eficiencia en el uso del agua aumenta un 50 %.

El término sustrato, que se aplica en agricultura, se refiere a todo material, natural o sintético, mineral u orgánico, de forma pura o mezclado, cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo a las plantas, permitiendo su anclaje y soporte a través del sistema radical, favoreciendo la absorción de agua, nutrientes y oxígeno.

Los cultivos hidropónicos o hidroponía pueden ser definidos como la tecnología de cultivar plantas sin utilizar suelo, aunque usando un medio o sustrato inerte tales como grava, arena, turba, aserrín, cascarilla de arroz, perlita, vermiculita o lana de roca a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales para su normal crecimiento, desarrollo y producción. Puesto que muchos de los métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio de cultivo, se les denomina "cultivo sin suelo", mientras que el cultivo de plantas, utilizando solamente agua con nutrientes, sería el verdadero cultivo hidropónico.

### **1.1. Objetivos**

Determinar la evapotranspiración real del cultivo de tomate con base a lecturas de tanque evaporimetro tipo "A" y dos metodologías para determinar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para condiciones de invernadero en sustrato y suelo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del cultivo

#### 2.1.1. Importancia del tomate

Los tomates se pueden cultivar en el terreno abierto o en invernaderos. La mayoría de la producción de invernadero tiene lugar en Norteamérica y Europa, donde los sistemas de producción son extremadamente intensivos y pueden dar un rendimiento muy alto (hasta 700 toneladas/ha/año).

El tomate de invernadero es cada vez más importante en el mercado de Estados Unidos, servicio de la investigación económica y el departamento de agricultura de los estados unidos de América (ERS – USDA 2004). En seis años el tomate de invernadero mexicano incrementó en siete veces su participación en Estados Unidos, desplazando a Europa y alcanzando a Canadá que era el principal proveedor hasta 2004

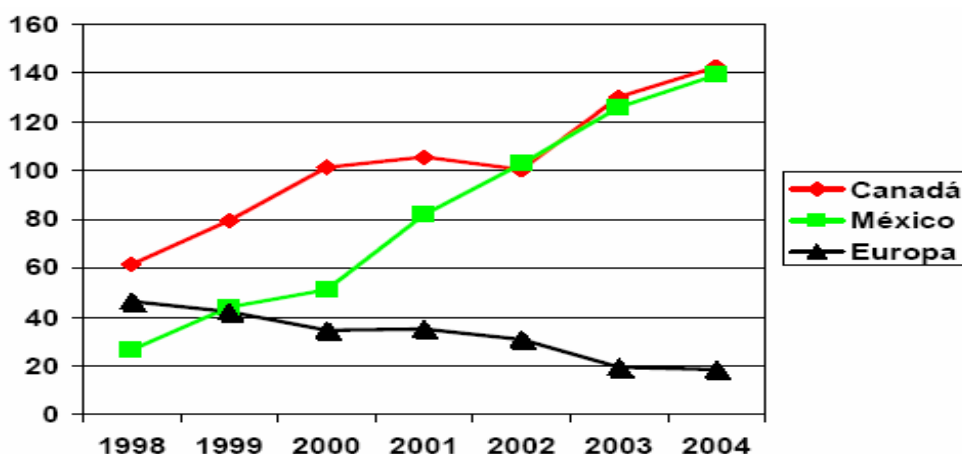


Figura 2.1. Comportamiento del tomate mexicano bajo invernadero hacia estados unidos del 1998 - 2004

Fuente: FAO 2004.

El mercado de Estados Unidos se ha ido alimentando en forma creciente por producción de invernadero. De estas importaciones las de México son las que muestran mayor dinamismo porque se ha iniciado un proceso muy importante de construcción de invernaderos de alta tecnología. México es el séptimo lugar en áreas y se está creciendo, pero se requiere estar atentos a las tendencias en este mercado que es de constante innovación, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, por sus siglas en inglés (FAO 2002)

El cultivo del tomate en México tiene una trascendencia social muy importante, puesto que una parte considerable de la población económicamente activa se encuentra relacionada directa o indirectamente con el cultivo del tomate. El cultivo del tomate es una importante fuente de empleo para un considerable número de familias en México. Se estima que para la producción de 75,000 hectáreas de tomate se emplean a 172 mil trabajadores de campo. El cultivo del tomate trae aparejado consigo mismo una fuerte fluctuación migratoria de personas originarias de estados como Oaxaca, Zacatecas, Guanajuato, Guerrero y Veracruz, principalmente; por ser éstos estados que aportan una proporción considerable de trabajadores agrícolas a las principales regiones de cultivo del tomate, según, los Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA, 1998). El tomate es la hortaliza más importante en numerosos países y su popularidad aumenta constantemente.

En el 2001 el estado productor de tomate más importante fue Sinaloa, alrededor de 42.56% de la producción total del país se produjo en dicho estado, seguido por Baja California Norte (10.20%), Michoacán y San Luis Potosí (9.32% y 6.02% respectivamente), lo que cubre el 73.01% de la producción total.

La exportación de tomate representa para nuestro país una importante fuente de divisas, al ser ubicado como el tercer país exportador de tomate en el mundo. Para México, el tomate representa el 41% del total de las exportaciones agrícolas, las cuales, el 22% son exclusivamente

tomates (Moor, 1994). La exportación de tomate le generó a México divisas por un monto de 539.4 millones de dólares en 1996, 523.4 millones en 1997, 638.1 millones 1998; 534.8 millones en 1999 y 462.6 millones de dólares en el año 2000 (INEGI, 2002: El Sector Alimentario en México, Edición 2002, INEGI; con datos del Sistema de Información Agropecuaria de Consulta [SIACON, 1980-2001]).

### 2.1.2. Clasificación taxonómica

El tomate (*Lycopersicon esculentum*) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. Los miembros de esta familia presentan haces bicolaterales y una estructura floral modelo (K85) [C (5) A (5)] G (2). Esto es, sus flores son radiales y con cinco estambres. El ovario, supero, bicarpelar, contiene numerosos primordios seminales, produciendo bayas polispermas. Los carpelos se presentan en posición oblicua con respecto al plano mediano de la flor.

Con la domesticación y cultivo es frecuente observar flores con mayor número de pétalos y sépalos, así como ovarios multiloculares, en adición al bilocular que podríamos considerar normal. De acuerdo a Hunziker (1979), la taxonomía generalmente aceptada del tomate es:

Reino: vegetal  
División *Tracheophyta*  
Subdivisión *Pteropsidae*  
Clase: Dicotiledóneas.  
Orden: Solanales (Personatae).  
Familia: Solanaceae.  
Subfamilia: Solanoideae.  
Tribu: Solanae.  
Genero: *Lycopersicon*.  
Especie: *esculentum* Mill  
Nombre común: tomate o jitomate

Según el hábito de crecimiento, se pueden distinguir dos tipos distintos: los determinados y los indeterminados. La planta de crecimiento determinado es de tipo arbustivo, de porte bajo, pequeño y de producción precoz. Se caracteriza por la formación de las inflorescencias en el extremo del ápice. El tomate de tipo indeterminado crece hasta alturas de 4 metros o más, según el tutoreo que se utilice. El crecimiento vegetativo es continuo. Unas seis semanas después de la siembra inicia su comportamiento generativo, produciendo flores en forma continua y de acuerdo a la velocidad de su desarrollo. La inflorescencia no es apical sino lateral. Este tipo de tomate tiene tallos axilares de gran desarrollo. Según las técnicas culturales, se eliminan todos o se dejan algunos de éstos. Para la producción mecanizada se prefieren las variedades de tipo determinado, que son bajos o arbustivos. Los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo de la planta de tomate dependen de las condiciones del clima, del suelo y de las características genéticas de la variedad.

### **2.1.3. Descripción botánica**

El tomate, es una solanácea 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 radicular**

Según Maroto (1995), La planta de tomate tiene un sistema radicular amplio, constituido por una raíz principal que puede alcanzar hasta 50-60cm de profundidad, provista de una gran cantidad de ramificaciones secundarios y reforzado por la presencia de un gran numero de raíces adventicias surgida desde la base de los tallos. Aunque el sistema radicular puede



profundizar hasta 1.5m, la mayor parte del mismo se sitúa en los primeros 50cm.

## **Tallo**

La planta de tomate es herbácea, perenne y relativamente de vida corta, cultivada como anual, es ramificada de tallos sarmentosos pubescentes en toda su superficie, semileñosos sin dominancia apical, con crecimiento indeterminado o determinado por un racimo floral, predominado el primero. El tallo es el eje sobre el cual se desarrollan las hojas, flores y frutos, por ello es importante vigilar su vigor y sanidad; el diámetro puede ser de 2 a 4 cm y el porte puede ser de crecimiento determinado (tallos que al llegar a cierto número de ramilletes detienen su crecimiento) e indeterminado (tallos que no detienen su crecimiento) (Marín, 2001).

En las axilas de las hojas del tallo principal surgen los tallos secundarios que son eliminados mediante poda para una buena conformación de la planta. El desbrote debe ser oportuno, cuando los brotes desarrollen unos 5 cm, de esta manera las cicatrices son pequeñas y con ello un menor riesgo de enfermedades. Por cuestiones hormonales en la planta, el brote inmediato inferior al racimo es más vigoroso, y por ello hay que vigilar que su desbrote sea oportuno (Muñoz, 2003).

## **La hoja**

Las hojas son sencillas, pecioladas de limbo muy hendido, parecen compuestas sin serlo, foliolos lobulados, ovales y acuminados, con bordes dentados, de color verde intenso en el haz y verde claro en el envés. Sobre el tallo las hojas surgen de modo alterno. Al igual que el tallo, también están recubiertas de pelos glandulares. Normalmente aparecen tres hojas por simpodio, es decir entre ramilletes. Las hojas son las responsables de la fotosíntesis por lo que deben tener una buena disposición para una mayor interceptación de la radiación. Por ello es importante que el emparrillado

para entutorado, quede simétricamente establecido y además para que no interfiera con las labores de manejo del cultivo (Wien, 1997).

La transpiración ocurre principalmente por los estomas, estructuras epidérmicas cuyas células tienen una conformación especial. Cuando están turgentes la presión sobre la pared las hace separarse una de otra, dejando un orificio entre ellas; a través de éste escapa el vapor de agua; cuando están flácidas la presión de la pared las hace juntarse entre sí y el orificio se cierra. (Rojas, 2003)

## **La flor**

La flor es perfecta, regular e hipógea, consta de: 5 ó más sépalos, 5 ó más pétalos dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi o plurilocular. Las flores, en número variable, se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (Greyson y Sawhney, 1992).

La primera flor se forma en la yema apical y las demás flores se desarrollan lateralmente por debajo de la primera, alrededor de un eje principal (Varga y Bruinsma, 1986).

La flor está unida al eje floral por un pedicelo articulado que contiene la zona de abscisión, la cual se distingue por un engrosamiento con un pequeño surco producido por una reducción del espesor del córtex. Durante la recolección la separación del fruto puede realizarse por la zona de abscisión o por la inserción del fruto al pecíolo.

## **Fruto**

Los frutos de tomate son vayas carnosas 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).

## **2.2. Exigencias de Clima y Suelo**

### **2.2.1. Exigencias climáticas**

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.

#### **Temperatura**

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. No obstante, los valores de temperatura descritos son meramente indicativos, debiendo tener en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de los parámetros climáticos.

#### **Luminosidad**

Tomando de referencia a Cerisola (1991), podemos definir la intensidad de la luminosidad óptima para el cultivo de tomate, la cual se

encuentra entre  $200 \text{ Wm}^{-2}$  para temperaturas de  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $500 \text{ Wm}^{-2}$  para temperaturas de  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo anterior en base a una correlación con la intensidad de luz y la temperatura.

### **Humedad relativa**

La humedad relativa óptima oscila entre 60 y 80%, humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento de fruto y dificultan la fecundación debida 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 periodo de estrés hídrico, también una humedad baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Elizalde 2002).

### **2.2.2. Exigencias en suelo**

Valadez (1993), cita que el tomate esta clasificado como una hortaliza tolerante a la acidez, cuyos valores de pH se ubica entre 5.0 y 6.8 en lo referente a la salinidad, se clasifica como medianamente tolerante, teniendo valores máximos de 6400 ppm, con respecto a la textura del suelo, el tomate se desarrolla en suelos livianos (arenosos) y en suelos pesados (arcillosos), siendo los mejores los arenosos y limo-arenosos con buen drenaje.

### **2.3. Agronomía del tomate**

#### **Transplante**

Hernández (1999) menciona que el transplante es el paso de la planta desde el semillero al sitio 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 trasplante 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 trasplante. 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**

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, 1996). 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 Gironda) se requiere una longitud de 11 m (Muñoz, 2003).

Cuando las plantas desarrollan una altura de 10 a 20 cm se atan a la rafia. 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) desarrollado para este fin. 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, cuando se hace con estos, la tarea es más ágil y se reduce el tiempo invertido en esta labor. Si este es el caso, con 4 a 8 anillos por planta son suficientes, siempre y cuando se vayan desplazando los que van

quedando por debajo de los ramilletes cosechados hacia la parte de crecimiento de la planta. Lo anterior, se define en función del costo que represente (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; Muñoz, 2003).

## **Poda**

La poda es una práctica obligada en variedades de tomate de crecimiento indeterminado. Cuando se dejan los tallos por planta, puede ser desde el semillero, despuntando el tallo principal por encima de las hojas de los cotiledones, para que de las axilas de estas salgan los brotes que serán los tallos principales. De lo contrario, se deja el brote inmediato inferior del primer ramillete, estos brotes tienen un mayor vigor, por lo que se deben utilizar para generar un nuevo tallo en caso de que una planta vecina haya fallado, para este fin y otros se pueden manipular y sacar ventaja de ellos. No obstante, si no se podan oportunamente se convierte en bajas en el rendimiento (Cárdenas, 1999).

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

Escudero, (1993) con el deshojado se consigue una mayor ventilación y mejora el color de los frutos. Cuando las plantas han adquirido un exceso de vigor (hojas muy grandes y tallos muy gruesos) es recomendable entresacar las hojas. El deshojado se hace periódicamente no quitando más de dos o tres hojas en cada planta en una sola vez, para no estresar la planta en su balance hídrico y energético.

## **2.4. Evapotranspiracion**

La evapotranspiración ó ET es un fenómeno que tiene como base el paso de agua del estado líquido a gaseoso, por lo que se requiere una fuente de energía que es proporcionada por la radiación solar. Además, es necesario que haya una diferencia de presión de vapor (déficit de presión de vapor, DPV) entre la superficie evaporante y el aire que la rodea. El viento actúa mezclando las capas con mayor contenido de agua con otras de menor contenido, evitando de esta forma que las capas próximas a la superficie evaporante se saturen, y por tanto se detenga el proceso de la ET. Bajo invernadero, el viento no tiene un efecto directo sobre el consumo de agua, pero sí en la ventilación del invernadero. Sin embargo, en la mayoría de los invernaderos de Almería la superficie de ventana es baja, así como las tasas de ventilación (Baeza, 2000).

### **2.4.1. Evapotranspiracion potencial**

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

### **2.4.2. Evapotranspiración máxima**

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).

### **2.4.3. 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 de temporal y que recibe el nombre de necesidades hídricas (NH), que corresponden a ciertos valores reducidos de la ET<sub>o</sub> (Allen et al.; Elizondo y Contreras, 1996).

## **2.5. Descripción general de los sustratos**

Según Abad (1991), indica que el término sustrato se aplica en horticultura a todo material sólido distinto del suelo, natural o sintético, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando por lo tanto, un papel de soporte para la planta.

Según San Martín (2002), desde el punto de vista hortícola, la finalidad de cualquier sustrato de cultivo es producir una “plántula de calidad” en el más corto tiempo, y con los más bajos costos de producción.

Según San Martín (2002), para obtener buenos resultados durante la germinación de las semillas, el enraizamiento y crecimiento de las plántulas, se requiere de las siguientes características:



### **2.5.1 Propiedades físicas de los sustratos:**

En general, las propiedades físicas de un sustrato no pueden predecirse, de forma sencilla, a partir de las características de los materiales que lo conforman, pues éstos varían significativamente de una zona a otra. Además, las mezclas de los distintos materiales producen complejas interacciones que alteran las propiedades físicas de la mezcla final (Ansorena, 1994).

#### **Elevada capacidad de retención de agua disponible**

La cantidad total de agua retenida por un sustrato en un contenedor dependerá de la proporción de microporos de pequeño tamaño y del volumen del contenedor. Sin embargo, aunque la retención de agua sea elevada, puede ocurrir que una parte de ésta se encuentre adsorbida a las partículas del sustrato con una fuerza superior a la succión o tensión que la planta es capaz de ejercer, por lo que no se encontrará disponible. Interesa conocer, por tanto, la cantidad de agua disponible en el sustrato, la que dependerá del tamaño de los poros más pequeños y de la concentración de sales en la solución acuosa, un sustrato es considerado como adecuado, cuando el agua fácilmente disponible fluctúe entre 20 a 30 % del volumen total del agua del medio (Ansorena, 1994).

#### **Nivel capacidad aireación**

Se define 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. El nivel óptimo de capacidad de aireación oscila entre el 20 y el 30 % en volumen. (Abad et al., 1993)

## **Granulometria**

Se recomienda una granulometria mediana a gruesa, con tamaños de 0.25 a 2.6 mm que produzcan poros de 30 a 300 micras, lo que produce una suficiente retención de agua aunque buena aeración. También es importante que el tamaño de las partículas sea estable en el tiempo.

Las partículas mayores de 0.99 mm dan lugar a poros grandes (de mas de 100 micras) y conforman sustratos con poca retención de agua, aunque buena aireación, mientras que las partículas menores de 0.25 mm tienen poros de tamaño pequeño (menores de 30 micras), lo que hace que el sustratos de esas características retengan una gran fracción de agua difícilmente disponible para las plantas y posea una aireación deficiente. (Abad 1993)

## **Baja densidad aparente**

No debe superar los  $0.4 \text{ g/cm}^3$  bajo condiciones de cultivo protegido y se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del medio húmedo. Esto significa que incluye el espacio poroso entre las partículas (Abad, 1996).

## **Elevada porosidad total**

Se define como el volumen porcentual del sustrato no ocupado por sus propias partículas. Una parte de este volumen corresponde a los poros que dan aeración a las raíces y son los de tamaño mayor a 30 micras. El resto de la porosidad es de tamaño pequeño (menores de 30 micras) y ofrecen una fuerte retención de agua, pues esta queda en forma de película alrededor de las partículas del sustrato, después del riego. Se estima óptimo un valor del 70 al 90 % del volumen del sustrato (Alvarado 1999)

## **2.5.2 Propiedades químicas:**

### **pH**

El pH ejerce efectos muy importantes sobre la disponibilidad de los nutrientes en el sustrato, así como la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Raviv et al., 1986; Bunt, 1988); bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH (pasta saturada) entre 5.5 y 6.8 (Escudero, 1993). Cuando el pH es menor a 5.0 pueden presentarse deficiencias de K, Ca, Zn y Cu (Peterson, 1981). En caso de algunos sustratos orgánicos como la turba, que tiene en forma natural el pH ácido, debe ser neutralizada con carbonato de calcio para poder ser usada como sustrato, no es el caso de la fibra de coco y el tezontle, los cuales presentan un pH dentro del rango óptimo.

### **Relación carbono nitrógeno (C/N)**

Burés (1997) menciona que la relación C/N se usa tradicionalmente como un índice de origen de la materia orgánica, de su madurez y su estabilidad. Los daños que aparecen sobre las plantas cultivadas en materiales orgánicos inmaduros son debidos tanto a una inmovilización del nitrógeno como a una baja disponibilidad de oxígeno en la rizosfera. Esta situación está provocada por la actividad de los microorganismos, que descomponen los materiales orgánicos crudos y utilizan el nitrógeno para la síntesis de sus proteínas celulares. El oxígeno es también consumido por la actividad microbiana. (Nuez, 1995) indica que una relación C/N inferior a 20 es considerada como óptima para el cultivo en sustrato y es un índice de un material orgánico maduro y estable.

### **Salinidad**

Se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato. La respuesta de la planta del tomate a la salinidad depende de

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

### **Capacidad de intercambio catiónico**

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

#### **2.5.3 Otras propiedades:**

- Libre de semillas de malezas, nematodos, hongos, otros patógenos y de sustancias fototóxicas.
- Fácil disponibilidad del producto.
- Fácil de preparar y de manejar (llenado de bandejas)
- Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

El empleo de invernaderos asociado con riego por goteo para la producción de hortalizas se presenta como una excelente alternativa para obtener una alta eficiencia en el uso de agua, y además sembrar las hortalizas en diferentes sistemas de cultivo para aumentar los rendimientos y calidad de los productos y obtener una elevada rentabilidad.

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

Para determinar el valor de la evapotranspiración existen métodos que pueden ser clasificados como “directos” e “indirectos”. Dentro de los primeros se encuentran los, Método del tanque evaporímetro tipo “A”, Lisímetros, utilización del estado energético del agua en el suelo (como la bomba de Scholander) y el método de balance de agua. Dentro del grupo de los métodos indirectos encontramos el Método de equilibrio de energía, Método aerodinámico o de flujo de vapor y el Método de Penman – Monteith (1965), (Gurovich, 2001; FAO, 2002). El sistema de medición indirecta de la evapotranspiración más utilizado es el de Penman-Monteith (Gurovich, 2001; FAO, 2002).

Los cultivos en invernadero presentan una evapotranspiración comparativamente más baja que el cultivo al aire libre, resultando por tanto un uso del agua más eficiente en relación con la producción, por ser esta última más alta en invernadero. (Antón et al. 2004)

### **2.6.1 Métodos directos**

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

### **2.6.1.1 Lisímetros de pesada**

Existen en la actualidad diferentes tipos de lisímetros, sin embargo los mas utilizados son los de tipo gravimétrico y volumétrico, 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.

Para determinar la evapotranspiración pesa 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.

### **2.6.2 Métodos Indirectos**

Estos métodos determinan la evapotranspiración en forma indirecta, para ello es necesario la aplicación de fórmulas empíricas que permiten obtener los consumos del agua a través del ciclo de la planta; los mismos se han clasificado en climatológicos y micrometeorológicos (Doorenbos y Pruitt, 1997).

#### **2.6.2.1 Métodos climatológicos**

Los métodos climatológicos estiman la evapotranspiración en periodos mínimos de una semana, dentro de estos por mencionar algunos, Tanque evaporímetro tipo "A" y el de Penman-Monteith (1965).

### **2.6.2.2 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 (Doorenbos y Pruitt, 1990). 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 (La bandeja debe ser instalada en campo abierto, evitando la cercanía de árboles o cualquier tipo de construcción, Debe ser pintada de color blanco con algún tipo de pintura resistente a las condiciones climáticas y debe mantener limpia, debe ser instalada sobre una estructura de madera de 10 cm de alto, teniendo el cuidado de dejarla bien nivelada al momento de instalarla, Posteriormente debe ser llenada de agua. La altura del agua no debe sobrepasar los 5 cm del borde superior de la bandeja, se debe cubrir la superficie con una rejilla para evitar que los animales beban el agua), sigue estando justificado su empleo para predecir las necesidades de agua de los cultivos en periodos de diez días o de más tiempo (Allen, 1994). 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 ecuación (Doorenbos y Kassam, 1979):

$$ET_o = K_p * E_p$$

Donde:

$ET_o$  = Evapotranspiración de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ )



$K_p$  = Coeficiente del tanque (adimensional)

$E_p$  = Evaporación del tanque ( $\text{mm día}^{-1}$ )

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

$$E_{Tr} = K_c * E_{To}$$

Donde:

$E_{Tr}$  = Evapotranspiración real ( $\text{mm día}^{-1}$ )

$E_{To}$  = Evapotranspiración del cultivo de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ )

$K_c$  = Coeficiente del cultivo (adimensional)

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

Cuadro 2.1. Coeficientes de cultivo para las distintas etapas fenológicas del cultivo del 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>Kc</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 Kc y el tiempo térmico acumulado (TTA) que es función de la temperatura. Esta relación está dado por el modelo Kc-TTA (Fernández, 2000).

### **Estudios realizados para determinar el coeficiente de cultivo (Kc)**

Se realizó un estudio para validar un modelo para estimar el del coeficiente de cultivo (Kc) en tomate, con propósito agroindustrial (Heinz 9665), usando los grados días acumulados (GDA) durante la temporada 2000-2001. Este estudio fue realizado en la Estación Experimental Panguilemo, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca ubicado en el país de Chile, con las siguientes coordenadas geográficas (35° 23 13" L.S., 71° 40' 42" LW., 110,5 m.s.n.m.).

Para ello se midieron variables climáticas y balances de energía a través de sistemas meteorológicos automatizados, ubicados sobre una cubierta vegetal (referencia) y en un cultivo de tomate respectivamente. El sistema de riego fue por surco y la programación del riego fue realizada, mediante el "Time Domain Reflectometry (TDR)". Las mediciones fenológicas fueron hechas en forma semanal para obtener un valor de Kc para cada etapa del cultivo y compararlos con los Kc estimados por el modelo de los GDA.

Una buena comparación entre los valores de Kc observado (Kco) y estimado (Kce), obteniendo un error absoluto 2.04% y una desviación estándar del error (DDE) de 0,1. Por otro lado, los errores absolutos (Ea) entre Kce y los Kco para cada etapa fenológica, no afectaron la estimación de la frecuencia de riego y el consumo de agua total para tomate industrial. Además, se observó que el consumo acumulado de agua durante el ciclo del cultivo se diferencia solo en 9 mm (577 mm para kco y 586 mm para kce). Finalmente, el modelo de los GDA es una buena herramienta para estimar tanto Kc como los requerimientos hídricos en tomate industrial, en las condiciones edafoclimáticas de Talca. (Henríquez, S, G. 2001)

### **2.6.2.3 Método de Penman-Monteith (1965)**

Por otro lado el gran desarrollo de la electrónica en los últimos años ha permitido el uso de sensores capaces de tomar los datos necesarios con rapidez y exactitud.

Estos métodos han evolucionado con el desarrollo de la tecnología y al avance del conocimiento científico, sobre las necesidades hídricas de los cultivos, en una reciente reunión de expertos (Doorenbos and Pruitt, 1990) se determinó recomendar universalmente el método de Penman-Monteith (1965), para estimar la ET.

En un considerable número de estudios se ha demostrado que el procedimiento de Penman-Monteith (1965) es mucho más consistente y preciso que otros. Esta ecuación incluye la mayor parte de los factores que influyen en la pérdida de agua de la superficie de los cultivos a diferencia de otros procedimientos, por lo tanto, las estimaciones obtenidas se esperan más precisas.

En el pasado no se había utilizado en aplicaciones prácticas, dada la complejidad de los cálculos y la necesidad de definir valores normalizados para el cultivo de referencia. El pasto, como cultivo de referencia, se ha

utilizado para estimaciones diarias, sin embargo, algunos otros métodos derivados de ecuaciones empíricas dan resultados diarios similares e inclusive mejores; pero con las capacidades de los microprocesadores, la mayor parte de las limitaciones han sido superadas y gran parte de las variables físicas se pueden medir o estimar de manera operacional.

$$ET_o = \frac{\Delta (R_n - G)}{\lambda (\Delta + \gamma^*)} + \frac{\gamma^* M_w (e_s - e_a)}{R K r_v (\Delta + \gamma^*)}$$

Donde:

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiración de referencia, Kg \* m<sup>-2</sup> \* s<sup>-1</sup> o mm \* s<sup>-1</sup>

R<sub>n</sub> = Radiación neta (kw m<sup>-2</sup>)

G = Flujo de calor en el suelo (kw m<sup>-2</sup>)

M<sub>w</sub> = Masa molecular del agua (0.018 kg. Mol<sup>-1</sup>)

R = Constante universal de los gases (8.3\*10<sup>-3</sup> KJ k<sup>-1</sup>)

K = Temperatura, Kelvin (273 K)

e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub> = Déficit de presión de vapor del aire (KPa)

λ = Calor latente de vaporización del agua (2450 KJ kg<sup>-1</sup>)

r<sub>v</sub> = Resistencia al flujo de vapor de la cubierta vegetal (s m<sup>-1</sup>)

Δ = Pendiente de la función de presión de vapor a saturación (Pa °C<sup>-1</sup>)

γ<sup>\*</sup> = Constante psicrométrica aparente (Pa °C<sup>-1</sup>)

#### 2.6.2.4 Estudios realizados con respecto a la evapotranspiración del cultivo

Con el propósito de estudiar cuáles métodos micrometeorológicos estiman mejor la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) en tiempo real para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), se compararon los métodos Thornthwaite–Holzman, Aerodinámico, Balance de energía (Relación de Bowen) y Penman–Monteith

(1965), con la evapotranspiración medida en el lisímetro de pesada como referencia. El estudio se realizó en el lote experimental del Colegio de Postgraduados donde se localiza la estación agrometeorológica. Para el registro de las variables meteorológicas utilizadas por cada uno de los métodos antes indicados, se instalaron dos estaciones automatizadas colocadas a 5 m del lisímetro de pesada en los lados este y oeste. Las mismas se equiparon con sensores de humedad, temperatura y velocidad del viento a 1.5 y 2.5 m de altura por arriba del nivel del suelo, quedando el más bajo a 0.25 m por encima del nivel del dosel del cultivo de maíz. Para estimar la temperatura del suelo se midió a 0.02 y 0.12 m de profundidad con los geotermómetros de la estación CR10, y con los geotermómetros del Sistema de Bowen se midió a 0.02, 0.06 y 0.08 m de profundidad. Ambas estaciones se programaron para registrar el promedio de las variables meteorológicas cada 20 minutos. Se hizo la comparación del cálculo de la evapotranspiración acumulada para cada día por los métodos indicados, con respecto a la medida en el lisímetro de pesada, la cual se utilizó como referencia. Los resultados indican que la evapotranspiración calculada por el método de Penman-Monteith, el Balance de energía y la medida con el Sistema de Bowen fueron los que mejor estimaron la ET. (Villaman et al. 2001).

En la zona semiárida de Quibor, estado Lara en la región centro occidental de Venezuela, se estimaron los valores de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), concepto básico en el manejo de agua y la planificación de riego. Se utilizaron los métodos de Penman-Monteith y el tanque evaporímetro tipo "A", sobre la base de datos climáticos de registro diario y decadal. Las estimaciones con ambos métodos en 2 periodos (abril-julio y julio-noviembre, 2001), fueron comparadas y presentaron una correlación mayor a 75 y 80% en cada caso respectivo, los valores de ET<sub>o</sub> fueron muy similares para ambos métodos en el primer periodo, mientras que en el segundo los resultados de ET<sub>o</sub> fueron mayores para el método del Tanque evaporímetro tipo "A". Al comparar los valores calculados del coeficiente de tanque (K<sub>p</sub>) con valores tabulados, fue mayor que el K<sub>p</sub> calculado.

Los valores de Kp tabulado estuvieron relacionados con valores diferentes de velocidad del viento en cada época del año, (López et al. 2005)

## **2.7. Estación meteorológica**

Las estaciones meteorológicas son una herramienta que cada vez está entrando con más fuerza a los campos de cultivo, siempre en la búsqueda de conocer mejor el ambiente que rodea a los cultivos y de esa manera poder estimar bien el consumo de agua de éstos. Existen instituciones privadas y públicas que utilizan constantemente estaciones meteorológicas, por poner un ejemplo, la CONAMA posee una interesante red de estaciones en la región metropolitana. Red de estaciones meteorológicas, gobierno de Chile, (CONAMA, 2003).

Estas estaciones meteorológicas y sus instrumentos deben ajustarse a las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Estas especificaciones están recogidas con detalle en publicaciones como Doorenbos (1981), WMO (1983) y Gómez y Arteaga (1988). En libros sobre agrometeorología como Seemann *et al.* (1979), Rosenberg *et al.* (1983), Elías y Castellvi (1996), etc. pueden encontrarse, además, detalles sobre medidas más específicas de microclimatología.

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

El tiempo térmico acumulado desde la emergencia o transplante se obtiene a partir de las temperaturas máximas ( $T_{\text{máx}}$ ) y mínimas ( $T_{\text{mín}}$ ) diarias y de tres valores de temperatura, característicos de cada cultivo, y que definen su respuesta a la temperatura (cuadro 2.2):  $T_b$  (Temperatura base),  $T_{\text{op}}$  (temperatura óptima) y  $T_{\text{us}}$  (temperatura umbral superior).

Cuadro 2.2. Valores de temperatura base, óptima y umbral superior para cada cultivo.

Cultivo	T <sub>b</sub>	T <sub>op</sub>	T <sub>us</sub>
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  $T_{mín} < T_b$ :

$$TT = \frac{(T_{máx} - T_b)^2}{[2(T_{máx} - T_{mín})]}$$

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

$$TT = 0.5 * (T_{mín} + T_{máx}) - T_b$$

**c)** Si  $T_{máx} > T_{op}$ :

$$TT = \frac{1}{(T_{máx} - T_{mín})} * \left[ \frac{(T_{op} - T_{mín})^2}{2} + (T_{mín} - T_b) * (T_{op} - T_{mín}) + \left( (T_{máx} - T_{op}) * (T_{op} - T_b) * \left( 0.5 + \frac{0.5 * (T_{us} - T_{máx})}{T_{us} - T_{op}} \right) \right) \right]$$

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

$$TTA = \sum_{i=0}^n TT_i$$

Donde:

i = Fecha de emergencia o transplante

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 (Fernández, 2000):

- Si  $TTA < 200$   
 $Kc = 0.2$
- 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  
 $Kc = 1.0$

Allen (1994) divide el ciclo del cultivo del tomate en cuatro fases fenológicas que son las siguientes: fase inicial que dura 30 días, fase de desarrollo del cultivo que tarda 40 días, fase de mediados del cultivo que tiene una duración de 45 días y fase de finales de cultivo que dura 30 días; en total el ciclo del cultivo dura 145 días. A todo esto es importante mencionar que es para aquellos cultivos de tomate establecidos en primavera y de crecimiento determinado.

Siguiendo con lo anterior también se puede seguir las recomendaciones o adoptar los criterios que toma Allen (2000) para el cálculo del Kc en las diferentes etapas fenológicas para el cultivo del tomate, donde se menciona



que el valor inicial de Kc para este cultivo es de 0.6, el valor máximo de Kc es de 1.18 y el valor de finales del cultivo es de 0.9.

## **2.9. Efecto de la salinidad en el suelo**

La salinidad del suelo se refiere a la presencia de cantidades excesivas de solutos inorgánicos disueltos (Rhoades y Miyamoto, 1990). Se han definido ciertas características de la salinidad en función de la predominancia de los iones cloruro, sulfato, bicarbonato, carbonato y sodio. La relación entre estos iones condiciona la serie de procesos que pueden ocurrir en los suelos. Esto trae como consecuencia diferentes condiciones para el desarrollo de las plantas y diferentes respuestas de acuerdo con el tipo de relaciones iónicas, en función de la presión osmótica generada, y por efectos específicos de algún ion en particular o alguna relación iónica (Singer y Munns, 1999).

En campo, un cultivo puede sufrir diferentes grados de salinidad a través de su ciclo de desarrollo. Esto es originado por los cambios que se producen en la concentración de la solución del suelo, favorecidos por los procesos de evaporación y absorción de agua por las plantas, aun cuando la calidad del agua de riego se mantenga constante y el cultivo se desarrolle sin deficiencia de agua. Al modificarse el contenido de humedad del suelo durante el ciclo de desarrollo del cultivo, la concentración de sales y el potencial osmótico varían. Este efecto puede ser mayor cuando el cultivo se encuentra bajo déficit de humedad, situación característica que se observa en las regiones áridas donde la demanda evaporativa es muy alta. Los suelos salinos se presentan generalmente en las zonas áridas y semiáridas (Ortega, 1993) y es el principal factor que limita la productividad en el mundo en dichas áreas (Flowers et al., 1997). En estas condiciones ambientales se desarrollan una gran diversidad de cactáceas, las cuales representan una alternativa de producción en lugares donde los cultivos tradicionales no prosperan.

Cayuela et al. (2001), al irrigar con agua salina (100 mM NaCl) plantas de *Lycopersicon esculentum*, encontraron que la concentración de  $K^+$  se incrementa en las hojas jóvenes de las plantas adaptadas con respecto a las no adaptadas y que las diferencias aumentan en la medida en que el periodo de salinización se incrementa también. Las plantas adaptadas a la salinidad manifiestan mayor habilidad en el transporte de iones  $K^+$  a las hojas jóvenes, lo que se considera una estrategia utilizada por las plantas para incrementar su tolerancia a las sales.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

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

##### **3.1.1. Localización**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo durante el ciclo Primavera-Verano de 2005, en uno de los invernaderos del campo agrícola experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila; cuyas coordenadas geográficas son: 25° 27' de latitud Norte, 101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altura de 1610 msnm. Se realizó con la finalidad de hacer comparaciones en 2 ciclos del cultivo de tomate, correspondiente al 2004 y 2005, cabe mencionar que en 2004 fue realizado por el ing. Abiel Roblero Velásquez; para analizar el comportamiento del consumo de agua en el cultivo.

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

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen y modificada por García (1973) el clima de Saltillo corresponde a un 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).

### **3.1.3. Material vegetativo**

Para la realización de este experimento se utilizó un híbrido de tomate de crecimiento indeterminado de nombre Gabriela de la casa comercial Hazera, esta híbrido 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.

### **3.1.4. Establecimiento del experimento**

El experimento tuvo lugar en un invernadero de doble capilla de una superficie de 1250 m<sup>2</sup>, con dimensiones de 50 m de largo (Este - Oeste) y 25 m de ancho (Norte - Sur), de estructura metálica con una cubierta de polietileno térmico PE "larga duración" de color blanco translúcido, de 188 micras de espesor (calibre 720). El invernadero estuvo equipado con control de clima y equipo de fertirriego computarizado como se muestra en la figura 3.1

### **3.1.5. Preparación del invernadero**

Antes del establecimiento de las plántulas en el invernadero, este se acondicionó para llevar a cabo el experimento, para esto se desarrollaron los siguientes pasos:

#### **Preparación invernadero para el sistema de cultivo en perlita**

- En la parte sur del invernadero hicieron 6 camas dejando un desnivel hacia la parte del canal principal, con la intención de que el agua drenada de cada saco o taco se vertiera por esta vía y finalmente fuera depositado en el canal principal de drenaje.
- se procuró dejar más ancho un costado de cada cama para colocar los tacos.
- La distancia entre camas fue aproximadamente de 1.80 m.
- Se prosiguió a acolchar las camas con un plástico de polietileno de color blanco, haciendo que el plástico tomara la forma del diseño de la cama para no tener problemas con la distribución del drenaje.
- A continuación se colocaron los tacos o sacos de plástico, color blanco calibre 400, aproximadamente 90 cm. Y 40 cm. de ancho, en cada taco fueron colocados 6 plantas, cada cama contenía un total de 40 sacos
- Cada taco constaba de 6 goteros tipo estaca, unidos por un tubin y un distribuidor, el cual estaba unido a la manguera de riego por un gotero de 4 litros
- El sustrato utilizado fue perlita mineral expandida de la marca comercial multiperl; los riegos empezaban a las ocho de la mañana con frecuencia de 30 minutos por 4 minutos de duración, esta frecuencia se manejo hasta los 30 días después del transplante, posteriormente se cambio a cada 15 minutos con la misma duración.

## Preparación invernadero para el sistema de cultivo en suelo

- Se puso el canal principal de drenaje el cual fue de aluminio.
- En la parte norte del invernadero se hicieron seis camas “normales”, las cuales fueron acolchadas de igual manera con plástico blanco, en cada cama fueron colocadas 3.4 plantas por m<sup>2</sup>
- Se establecieron las cintas de riego de flujo horizontal en cada cama con sus respectivos goteros para cada taco.
- Se agregaron 4 ventiladores que fueron instalados uno en cada sección o válvula del experimento.
- Se colocó el tanque evaporímetro tipo “A” en el centro del experimento

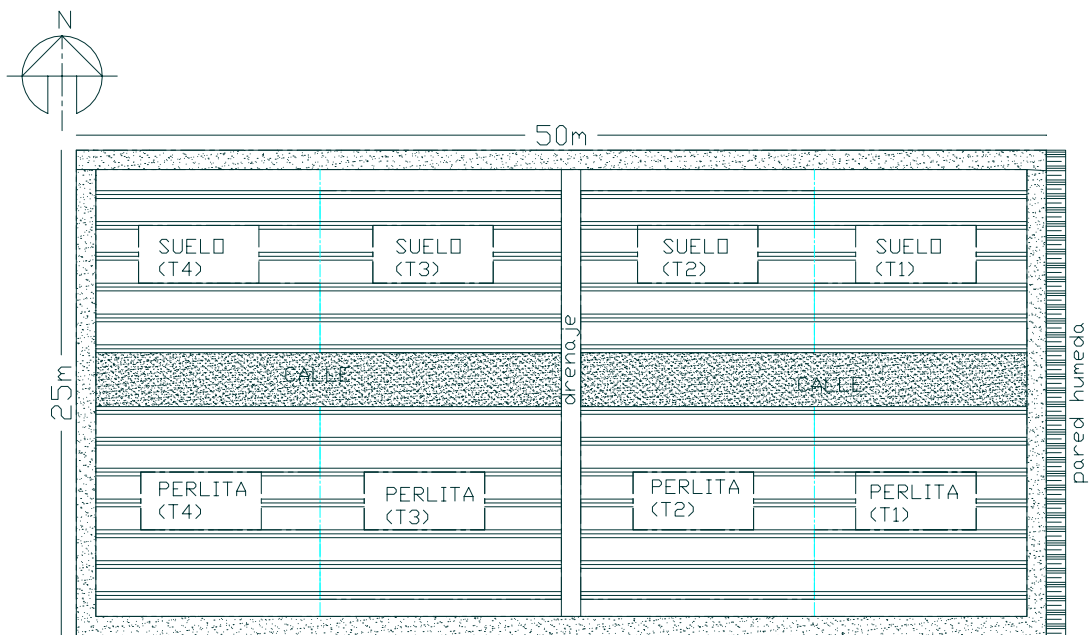


Figura 3.1 Representación del invernadero

### 3.1.6. Producción de Plántulas

El 17 de enero del 2005 se inició con la desinfección de las charolas de polietileno de 200 cavidades, las cuales se llenaron con el sustrato de peat moss. El 04 de febrero de 2005 se preparó la semilla para sembrarse, se depositó la semilla en cada cavidad y se humedeció el sustrato,

posteriormente se trasladaron a un invernadero donde se apilaron y fueron cubiertas con un plástico color negro para proporcionarles la temperatura adecuada, se revisaba todos los días para ver que las semillas hubieran germinado, una vez aparecida la plúmula, se retiraban y recibían dos riegos por día de dos minutos cada uno. Posteriormente los riegos fueron cambiados a cuatro de un minuto de duración cada uno, las plántulas estuvieron en estas condiciones aproximadamente 2 meses.

Los fertilizantes que se utilizaron para la producción de plántulas fueron los siguientes:

LOBI, Raizal, Superfos, Grofal.

### 3.1.7. Transplante

El transplante se realizó el 27 de Abril de 2005 en el invernadero, en donde tuvo lugar el experimento.

### 3.1.8. Fertilización

**Cuadro3.1. Fertilización para el cultivo del tomate**

<b>Periodo</b>	<b>N ( g/ha/día)</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (g/ha/día)</b>	<b>K<sub>2</sub>O (g/ha/día)</b>
Del Transplante al primer racimo	750-1000	750-1000	750-1000
Del primer racimo hasta el cuajado completo del 5º racimo	2000-3000	1200-1800	3000-4500
Del 5º racimo al comienzo de la cosecha	5000-8000	3000-4800	7500-12000
Cosecha	6000-8000	3600-4800	9000-12000
Últimas 8 semanas hasta el fin de la cosecha	2000-3000	1200-1800	3000-4500

### **3.1.9. Riego**

Se utilizó un equipo de fertirriego automatizado

## **3.2 Labores culturales**

### **3.2.1. Entutorado**

Este tipo de prácticas también es importante, ya que de un buen entutorado depende un buen crecimiento de las plantas. El entutorado se inicio desde el momento del transplante para ambos tipos de manejo del cultivo, en el caso de las secciones 4 y 5 el entutorado del segundo tallo se hizo aproximadamente a los 20 días después del transplante, esta práctica se prolongó hasta el final del ciclo cultivo, realizándose aproximadamente cada ocho días. Conforme se iban desarrollando los tallos, estos se iban guiando con el tutor, una vez que las plantas alcanzaron más o menos una altura de 3 metros se procedió a descolgar de manera progresiva. El material que se utilizó como guía de los tallos fue hilo de rafia; estos antes de comenzar la práctica fueron atados y enrollados en ganchos especiales para tal fin, así como también se usaron anillos o clips que fueron sujetos a uno de los extremos de cada hilo o tutor para después acomodarlos en los tallos de cada planta.

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

Es bien sabido que la poda tanto de tallos como de hojas es obligatoria en variedades o híbridos de tomate de crecimiento indeterminado. Es por eso que en este experimento no podía faltar estos tipos de podas. La poda de tallos o brotes se llevó a cabo aproximadamente cada 10 días, tratando de que fuera lo más oportuno posible. La poda se realizó con tijeras especiales que se desinfectaban antes de cada uso, esto con la intención de no transmitir alguna enfermedad en las plantas.



### **3.2.3. Poda de hojas**

La poda de hojas se realizó aproximadamente cada 15 días, al igual que en la poda de brotes esta práctica se hizo con tijeras especiales desinfectadas previamente a cada uso. En la poda se eliminaron todas aquellas hojas inferiores senescentes por debajo del último racimo que iba madurando (racimo rayado). Se trató que la poda fuera lo más uniforme y equilibrada posible y que fuera ejecutada con cuidado, esto con la finalidad de evitar estresar la planta en su balance hídrico y energético y crear problemas de entrada de patógenos.

### **3.2.4. Poda de frutos**

Este tipo de poda no fue tan frecuente como lo fue en el caso de las prácticas anteriores, pero las veces que se realizó esta práctica se trató de que se realizara lo más oportuno como fuera posible, llevándose a cabo en aquellas inflorescencias o ramilletes con gran número de flores o frutos (más de 6). Esto se hizo con la intención de que los frutos desarrollaran buen tamaño y evitar el desprendimiento total de los ramilletes.

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

Los primeros días después del transplante se hizo presente en algunas plantas enfermedades como fusarium, esta fue atacada con funguicida, las plantas que presentaron este problema se desecharon inmediatamente para evitar reproducción del hongo. También se presentaron algunas durante el ciclo del cultivo problemas de tizón y cenicilla vellosa atacándose regularmente con Previcuir, Pro F + B, Cupravit, 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.) para estos insectos se aplicaron productos como endosulfan, entre otros.

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 nitrato de calcio vía foliar y al suelo.

### **3.3. Materiales y metodología utilizados**

#### **3.3.1. Estación meteorológica**

En la estación Agrometeorológica del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) se encuentra ubicado en un área de interés, en donde se realizan observaciones y mediciones de elementos meteorológicos con el fin de comprender de mejor manera los efectos del tiempo cuenta con instrumental, para medir las variables más importantes; temperatura del aire, precipitación, evaporación, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento.

La información que se toma en la estación Agrometeorológica, es procesada, y almacenada en gráficas, y en computadora.

En nuestro caso en las estaciones Agrometeorológicas se realizaron observaciones de forma horaria.



**Figura 3.2. Estación meteorológica**

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

Para aplicar este método se usaron dos tanques evaporímetros tipo “A” que fueron instalados en el sitio de interés, uno ubicado en la estación meteorológica, superficie con pasto, y el otro se colocó dentro del invernadero, en donde se estableció el cultivo del tomate, de los cuales se tomaron los datos de evaporación diaria para cada caso, para después ser sustituidas en la ecuación

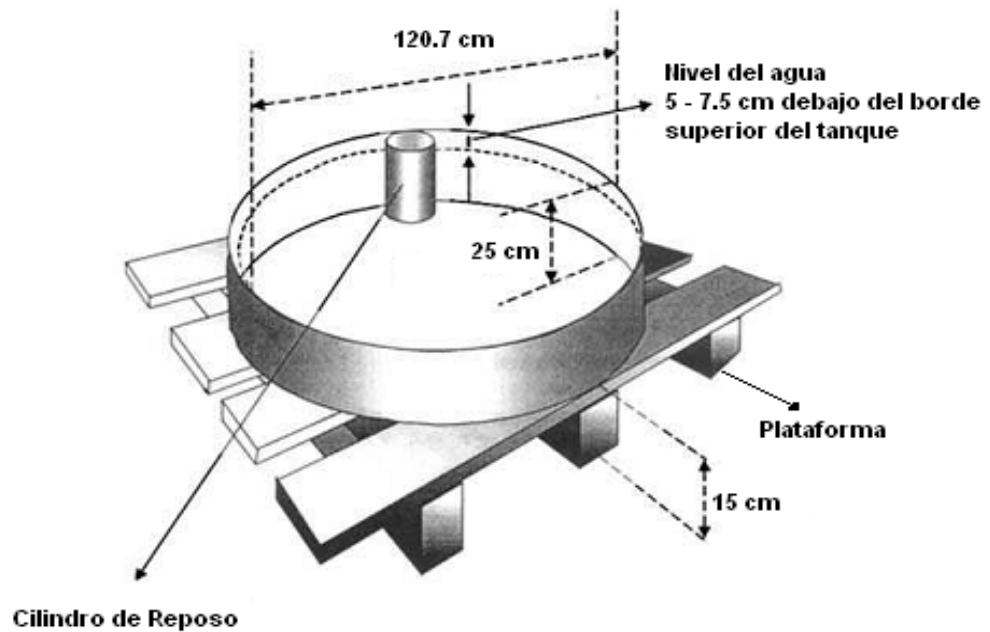
#### **3.3.2.1. Descripción del tanque evaporímetro tipo “A”**

Se usaron dos tanques evaporímetro tipo “A” 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 ó 7.5 cm del borde, como se aprecia en la figura 3.3

**Figura 3.3.** Tanque evaporimetro tipo “A” ubicado en la estación meteorológica del Centro de Investigación en Química aplicada (CIQA)



### 3.3.2.2. Metodología en la toma de datos

La evaporación desde el suelo ( $E_{vs}$ ) es un componente importante de la evapotranspiración de los cultivos ( $E_{Tr}$ ) en especial cuando el dosel no es completa, la principal estrategia para incrementar la eficiencia del uso del agua consiste en acortar el tiempo desde la siembra y hasta el cierre total del dosel (Cooper et. al., 1987; Montieth, 1993), debido a que la radiación solar incidente sobre el suelo provee la energía necesaria para la evaporación.

#### Toma de lecturas

- La altura del agua evaporada se midió y registro diariamente a una hora determinada con un tornillo micrométrico (entre 8:00 y 9:00 a.m.).

- Si el nivel del agua esta por debajo de los 7 ó 5 cm se requiere reponerla hasta alcanzar el nivel indicado.
- La evaporación diaria en mm. se obtuvo calculando la diferencia de la lectura actual y la del día anterior, durante el tiempo que duro el experimento.

### **Evapotranspiracion (ETo)**

- Para estimar el la evapotranspiracion potencial (ETo) se parte de las lecturas de evaporación tomadas en el tanque evaporimetro tipo “A” (Ev).
- Posteriormente se aplica la siguiente relación:  $ETo = K_p * Ep$ , donde:  $K_p$  es el coeficiente de tanque, es un factor adimensional, que toma en cuenta las características y ubicación del tanque evaporimetro tipo “A”, velocidad del viento y humedad relativa. Su valor normalmente se encuentra entre 0.6 y 0.8.

### **Evapotranspiración del cultivo (ETr)**

Como ya se ha indicado la ETo refleja sólo los efectos del clima sobre el consumo de agua de los cultivos y es un valor común para todos los cultivos de una zona dada.

La cantidad efectiva de agua evapotranspirada por un cultivo determinado en una localidad y un tiempo dado, sin limitaciones de abastecimiento de agua, se denomina evapotranspiración del cultivo (ETr).

La ETr puede ser estimada como  $ETr = Kc * ETo$ , En la fórmula el coeficiente  $Kc$  corresponde al coeficiente de cultivo. El  $k_c$  nos permite considerar las diferencias que existen en la necesidad de agua del cultivo según el estado de desarrollo vegetativo de éste

## **Coeficiente de cultivo (Kc)**

Los factores que influyen en el valor del coeficiente de cultivo (Kc), son principalmente:

- Las características del cultivo (estructura y resistencia estomatal),
- Las fechas de plantación o siembra.
- El ritmo de desarrollo del cultivo.
- La duración del período vegetativo

Metodología para obtener el coeficiente real del cultivo de tomate (Kcr)

Para obtener los valores de Kcr para el manejo de cultivo se utilizó la siguiente ecuación:

$$K_{cr} = \frac{ET_r}{ET_p}$$

Donde:

Kcr = Coeficiente de cultivo real

ETr = Evapotranspiración real (mm día<sup>-1</sup>)

ETp = Evapotranspiración potencial (mm día<sup>-1</sup>)

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

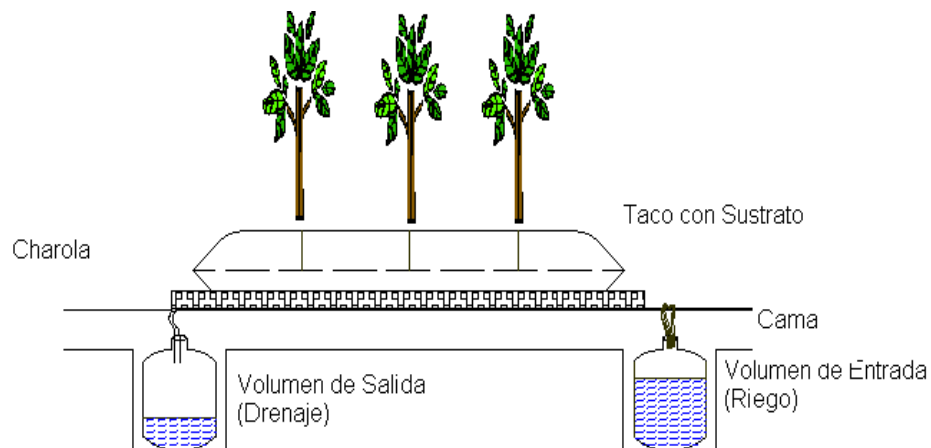
Estos dispositivos se basan en medir el volumen de agua de entrada en la bandeja y el volumen de salida en el drenaje. Para calcular el volumen de agua que consumió el cultivo se aplicó la ecuación.

### 3.3.3.1. Descripción de la bandeja de drenaje

La elección del material de la bandeja se hizo de acuerdo a lo que dice la literatura. Se usaron charolas ligeramente más grandes que los tacos o sacos que contenían el sustrato como se observa en la figura 3.4. A continuación se describen los componentes de la bandeja de drenaje. (Villalobos – Reyes, et. al. 2003)

- Bandeja de drenaje de 1 m de largo por 30 cm. de ancho.
- Taco o saco con sustrato.
- 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 litros).
- Goteros de control o de referencia.

**Figura 3.4. Componentes de la bandeja de drenaje**



### 3.3.3.2. Metodología en la toma de datos

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.

Para el cálculo del consumo de agua de forma directa se hizo por el método volumétrico; en este se llevó a cabo el procedimiento de la bandeja de drenaje. Se basa en medir el volumen de agua de entrada en la bandeja y el volumen de salida en el drenaje. El volumen de agua que consumió el cultivo se calculo por la siguiente ecuación.

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

Donde:

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

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

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

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

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

La elección del material de la bandeja se hizo de acuerdo a lo que dice la literatura (Baixauli et al., 2002). Se usaron charolas ligeramente más grandes que los tacos que contenían el sustrato. Los componentes de la bandeja de drenaje son los siguientes:

La toma de los datos se hizo con dos bandejas, una bandeja automatizada equipada con dos pluviómetros electrónicos que registraban datos de riego y drenaje durante todo el día, y una bandeja manual en la que las lecturas de riego y drenaje fueron tomadas diariamente a las 8:00 de la mañana poco antes de que se diera el primer riego, para que de esta forma se obtuviera el consumo del día anterior mediante la diferencia de los datos de riego menos los de drenaje



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

Los volúmenes de agua aplicados (de seis 6 goteros) y drenados de un taco de perlita (con seis plantas) se obtuvieron utilizaron los siguientes pluviómetros: pluviómetro modelo 1000-20 de LI-COR conectado a un datalogger modelo LI-1200 (que daba un valor total integrado diariamente) y otro pluviómetro modelo TR-525I de Texas Electronics, Inc. conectado a un micrologger modelo CR 23 X de Campbell SCI (que registraba valores cada 15 minutos las 24 hrs)

Para poder obtener consumo instantáneo, estuvo instalada en la parte central del invernadero una bandeja que contenía un saco de perlita, la bandeja estaba equipada con 2 pluviómetros electrónicos Texas Electronic, Modelo TR-5251, de los cuales uno media el riego instantáneo y otro el drenaje. De esta manera se obtuvo el consumo instantáneo al hacer la diferencia del riego menos el drenaje instantáneo

#### **3.4. Tiempo Térmico Acumulado (TTA)**

Para obtener los valores de  $K_c$  dentro de un invernadero es necesario estimarlo por medio del modelo  $K_c - TTA$ , debido a las podas, deshojados y destallados como es el caso del cultivo de tomate, se establece una relación empírica entre el  $K_c$  y el tiempo térmico, que es función de la temperatura.

La base para establecer esta relación fue la dependencia de la evolución del  $K_c$ , hasta alcanzar cobertura completa, con el desarrollo del cultivo, y éste con la temperatura. En todos los casos, se consideró que el  $K_c$  aumentaba linealmente con el tiempo térmico desde un valor inicial de  $K_c$  de 0,2 hasta el valor máximo de  $K_c$ . Se describe en el apartado de revisión de literatura. (Fernández. 2000.)

#### IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para discutir los resultados de esta investigación, se hará por medio de técnicas de regresión y análisis de graficas.

En este análisis y discusión de los resultados se presentaran en un orden cronológico, iniciando por el comportamiento de la evaporación (Ev), lecturas tomadas en el tanque evaporimetro tipo "A" del departamento de agricultura de los estados unidos (USDA). Los datos obtenidos en el tanque evaporimetro tipo "A" se evaluaron en 2 condiciones, en campo abierto ( $Ev_{CA}$ ) y bajo condiciones de invernadero ( $Ev_{Inv}$ ), comparando en 2 ciclos del cultivo de tomate (2004 y 2005).

Posteriormente se discutirán los datos de evapotranspiracion de referencia para condiciones de campo abierto ( $ETo_{ca}$ ) y evapotranspiracion de referencia para condiciones en invernadero ( $ETo_{inv}$ ) en los años (2004 y 2005) para esto se utilizaron coeficientes de tanque ( $Kp$ ) propuestos por el manual 24 de la FAO. Continuando con el análisis se prosigue a discutir los valores de la  $ETo_{inv}$  y  $ETo_{est.}$  con base a la ecuación de Penman – Montieth (1965). Posteriormente se analizara las curvas de coeficientes de cultivo obtenido por diferentes metodologías de la FAO y tiempo térmico acumulado (TTA) en los 2 años (2004 y 2005), posteriormente se analizara los diferentes comportamientos de la evapotranspiracion del cultivo de tomate estimado por los métodos de la ecuación de Penman- Montieth (1965), de la FAO, y el tiempo térmico acumulado (TTA), en la estación meteorológica y en el invernadero. Prosiguiendo con el análisis de se discuten los valores de coeficientes de cultivo real para el cultivo de tomate ( $Kcr$ ) obtenidos para los 2 sistemas de producción: (suelo y perlita) y por los dos métodos (TTA y la FAO). Continuando con esta discusión se procede con el análisis de la evapotranspiracion real del cultivo ( $ETr$ ) con base a los coeficientes reales del cultivo, para los dos sistemas de producción

Finalmente se analiza el consumo de agua para el cultivo de tomate por método de la bandeja de drenaje los dos sistemas de producción (suelo y perlita). Así también, se discuten los valores de rendimiento del cultivo de tomate en los dos sistemas de producción en condiciones de invernadero.

### **Análisis de los resultados de evaporación en campo abierto ( $Ev_{ca}$ ) y en invernadero ( $Ev_{inv}$ ) en los años 2004 y 2005**

se analizara como se comporta la evaporación acumulada que se obtuvo por medio del tanque evaporimetro tipo "A" instalado en la estación meteorológica y dentro del invernadero con las características adecuadas para que reporten datos confiables, para esto se tomaron lecturas diarias en los tanques cada 24 hrs (8:00 a.m.), con los datos reportados se calculo la diferencia de lecturas, día actual menos la lectura del día anterior para obtener la evaporación. Posteriormente se prosiguió a obtener la suma acumulada de evaporación en los 2 casos y estos datos se graficaron (estación e invernadero)

De acuerdo a la figura 4.1 (a) nos muestra un coeficiente de relación ( $r^2$ ) de 0.99 para el año 2004 que nos indica las diferencias existentes en la variable dependiente, en la cual se observa que dependen de un 99 por ciento de la variable independiente. Por otra parte se observa que el valor de la evaporación de tanque se reduce en un 24 por ciento en condiciones de invernadero, lo que nos permite hacer un uso más eficiente del agua de riego en invernadero esto debido a que en estas condiciones se minimiza la velocidad así como la radiación. Por otro lado en la figura 4.1 (b) se tiene un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.96 para el año 2005, indicándonos que existen diferencias en las variables independientes, observando que dependen de un 96 % de la variable independiente. Por lo tanto se llega a la conclusión de que si existe una variación de un 3% en los 2 años puesto que en el 2005 el coeficiente de relación menor que en el año 2004, podría deberse a que en año 2005 se vio afectado más por los factores climáticos que el año anterior.

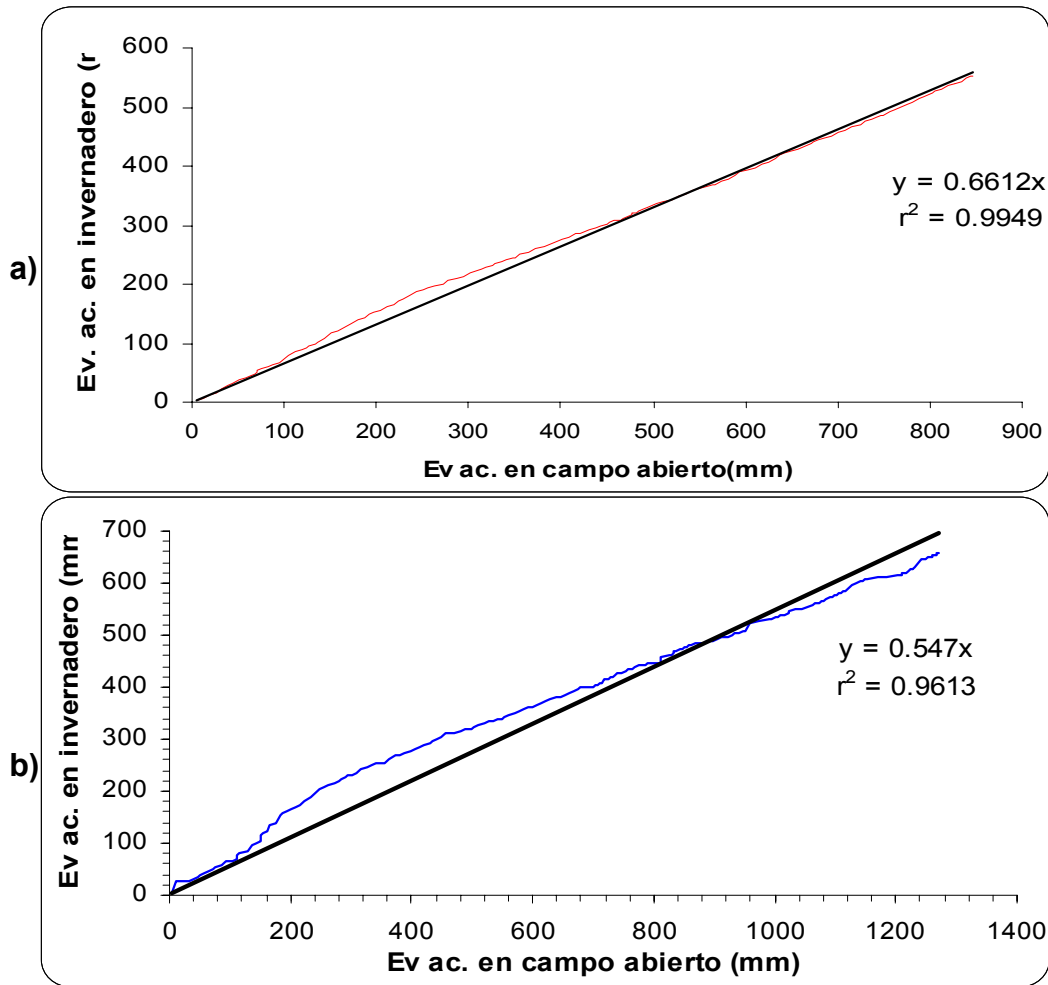


Figura 4.1. Relación de la  $Ev_{ca}$  contra la  $Ev_{inv}$  en los años 2004 (a) y 2005 (b) en la estación meteorológica y dentro del invernadero

### **Análisis de los resultados de evapotranspiración en campo abierto ( $ETo_{ca}$ ) y en invernadero ( $ETo_{inv}$ )**

A continuación se explica como es el proceso de evapotranspiración acumulado del cultivo de tomate, para esto la  $ETo$  fue calculada de acuerdo a los datos de evaporación que se obtuvieron mediante el tanque evaporímetro tipo "A" en ambas condiciones (estación meteorológica e invernadero) y para ver cual es la diferencia que existe en los casos se trabajó con diferentes coeficiente de tanque ( $K_p$ ), en la estación meteorológica se utilizo un  $K_p$  de 0.65 y en el invernadero de 0.7 respectivamente, estos valores de coeficiente depende de las características del tanque, ubicación , condiciones climáticas, etc.

En las figura 4.2 (a) se aprecia un  $r^2$  de 0.99 para el año 2004 (a) que indica que los cambios o diferencias existentes en la variable dependiente, dependen de un 99 por ciento de la variable independiente. Además se observa que para condiciones de invernadero se tiene un 24 por ciento menos de evapotranspiración potencial, debiéndose a los factores como el viento y la radiación que son menores en condiciones controladas de ambiente.

Por otra parte debido a los cambios en las condiciones climáticas que ocasiona la producción en invernadero es importante realizar investigaciones que nos permitan ajustar los nuevos valores de  $K_p$ .

En el año 2005, figura 4.2 (b) se tiene un coeficiente de correlación  $r^2$  de 0.96 indicándonos los cambios que existen con respecto a la variable dependiente, dependen de un 96 % de la variable independiente.

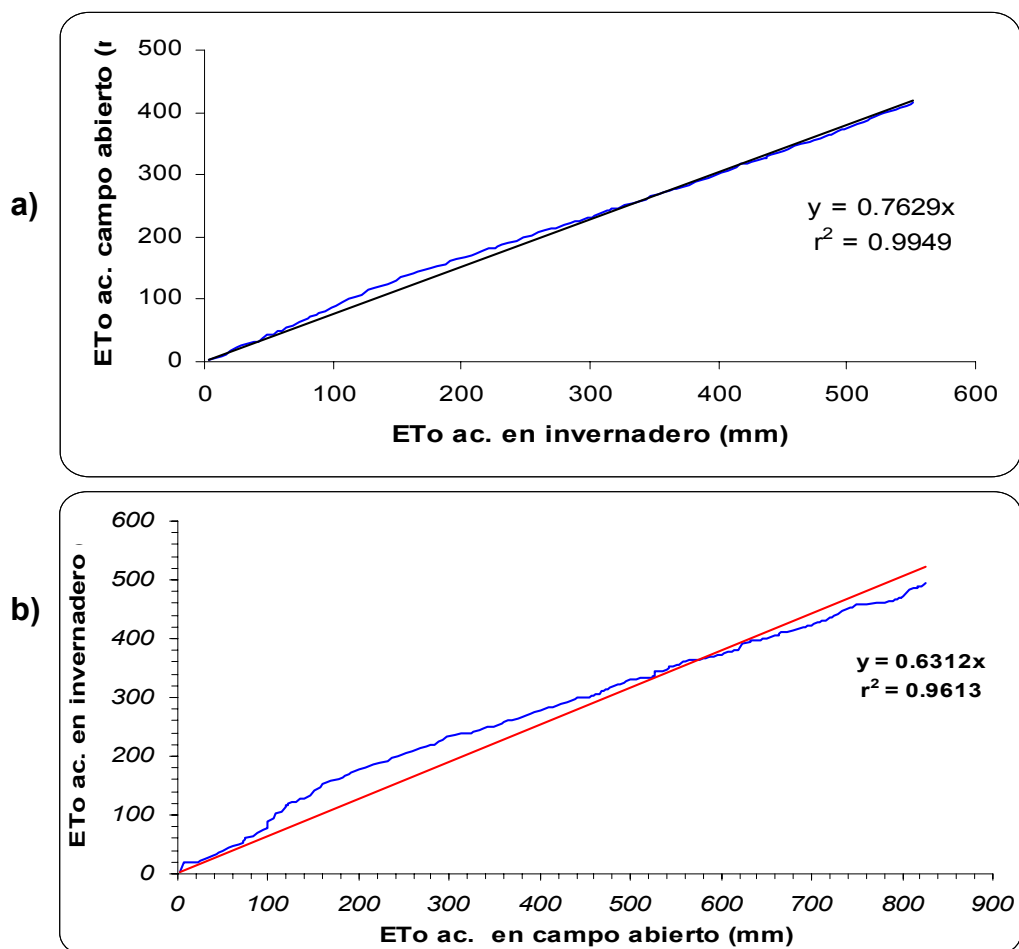


Figura 4.2. Relación de la evapotranspiración acumulada en campo abierto ( $ET_{oca}$ ) contra la evapotranspiración acumulada en invernadero ( $ET_{oiv.}$ ) En los años 2004 (a) y 2005 (b), respectivamente.

### **Análisis de los resultados de $ETo_{inv}$ y la Ec. De Penman-Montieth (1965)**

El propósito de este análisis de resultados, es la comparación de los resultados de evapotranspiración potencial acumulado ( $ETo_{ac}$ ), en el cultivo de tomate bajo invernadero, obtenidos por los dos métodos; método de la FAO y la ecuación de Penman – Montieth (1965).

De acuerdo a la figura 4.3 nos muestra un coeficiente  $r^2$  de 0.95 % lo cual nos indica los cambios que existen entre la variable dependiente, como podemos observar dependen de un 95 por ciento de la variable independiente. También se observa que la evapotranspiración potencial calculada por el método de la FAO dentro de un invernadero se reduce a un 40 % de evapotranspiración potencial esto se debió a que dentro del invernadero se controla los factores principales que afectan al cultivo.

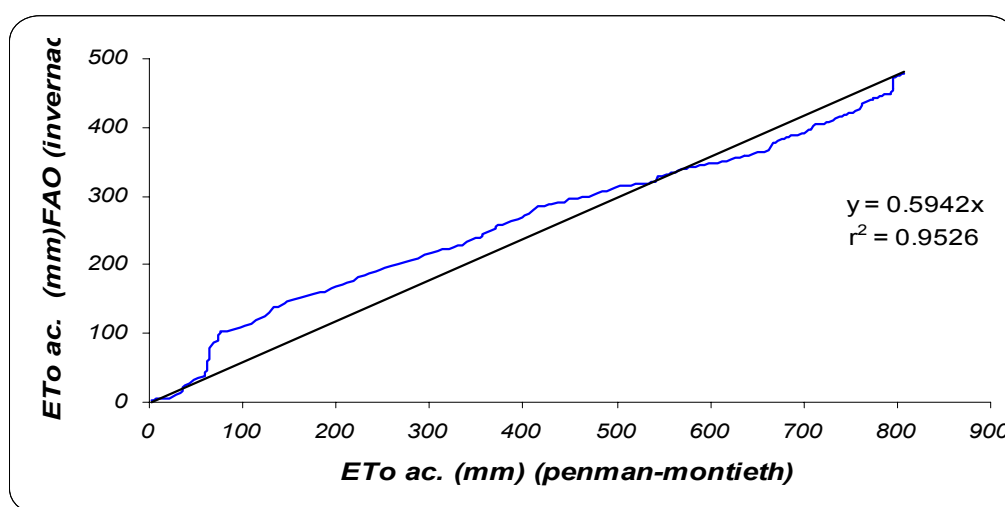


Figura 4.3. Relación de la evapotranspiración potencial del cultivo de tomate en invernadero ( $ETo_{inv}$ .) Contra la ec. De Penman Montieth

### **Análisis de los resultados de $ETo_{est}$ y la Ec. De Penman-Montieth (1965)**

En esta discusión se hace la comparación de los resultados de evapotranspiración potencial acumulado ( $ETo_{ac}$ ), obtenidos por los dos métodos; método de la FAO (en la estación meteorológica) y la ecuación de Penman – Montieth (1965).

En la figura 4.4 tomando en cuenta el coeficiente de correlación  $r^2$  de 0.99. Obtenido entre los valores de evapotranspiración potencial (ETo) acumulado en ambos métodos utilizados, podemos apreciar que existe una estrecha relación entre las dos variables.

Haciendo comparación de las figuras 4.3 y 4.4 donde se hizo la relación de la evapotranspiración potencial (ETo), se observa que el método que da un mejor grado de confiabilidad es el obtenido por el método de la FAO con datos tomados en la estación meteorológica, siempre y cuando los factores climáticos que se requiera para el cálculo sean tomados y procesados correctamente. Estos valores son comparados por Investigaciones realizadas por (López et al. 2005) en 2 periodos, el primero (Abril y Julio) obtuvo valores diarios de ETo calculados por los métodos de Penman – Montith y tanque evaporimetro tipo “A” muestran un coeficiente de correlación de 0.75, significativo estadísticamente. El coeficiente de tanque vario entre 0.6 y 0.75, y en un segundo periodo (Julio y Noviembre), la comparación entre valores de la ETo derivados de los métodos mostró una mayor relación ( $r = 0.83$ ), estadísticamente significativa. El coeficiente de tanque  $K_p$  para este periodo vario entre 0.6 y 0.8

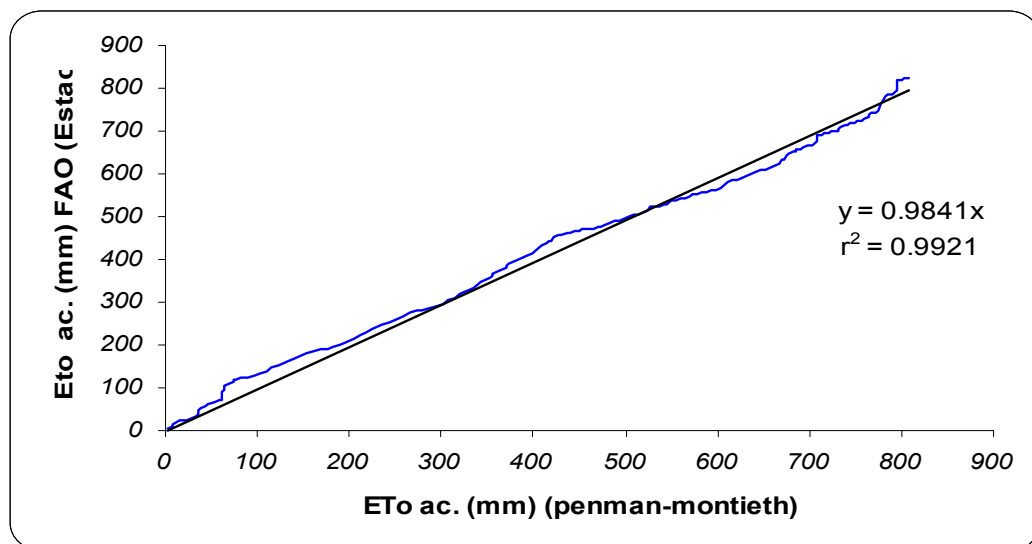


Figura 4.4. Relación de la evapotranspiración de referencia en la estación meteorológica ( $ETo_{est}$ ) estimada por el método de la FAO contra la evapotranspiración (ETo) por medio de la ec. De Penman Montith

## **Análisis del coeficiente de cultivo (Kc.) Obtenido por la metodología del TTA para el cultivo de tomate en los años 2004 y 2005**

En este apartado se discute el comportamiento de la curva obtenida con el coeficiente del cultivo (Kc.) contra los días después del trasplante, los valores de (Kc.) se calcularon de acuerdo a la metodología del tiempo térmico acumulado (TTA) propuesta por (Fernández, M. 2003), dentro del invernadero; se hace la comparación de dos gráficas correspondientes a 2 ciclos de cultivo establecidos en los años (2004 y 2005).

En la figura 4.5 del inciso a) correspondiente al año 2004 se observa que el valor de Kc inicial es de 0.2 perteneciente a la etapa inicial del cultivo y este duro 13 días, también se observa que la etapa vegetativa tiene valores de Kc que inician desde 0.2 hasta 1.59 que es el valor máximo de Kc en dicho cultivo y este termino el día 45, por ultimo se aprecia que los valores empiezan a descender hasta 1.12 que corresponden a la etapa de producción y finales del cultivo, se da a partir del día 46 hasta el día 139 DDT.

Por otro lado apreciamos la figura 4.5 del inciso b) correspondiente al año 2005, aquí notamos que al igual que en el año 2004 el valor del Kc inicial corresponde a 0.2 que duro un periodo de 17 días, a partir de ahí el Kc empieza a ascender hasta alcanzar un Kc máximo de 1.57 que corresponde a la etapa de desarrollo del cultivo, dicho periodo tarda 41 días. Posteriormente inicia la etapa de media del cultivo que tarda 71 días (floración y fructificación) teniendo un Kc de 1.57, conforme transcurre el ciclo, entra a la etapa de maduración y final del cultivo, donde el coeficiente Kc desciende hasta alcanzar valores de 0.73. Dicha fase tarda 83 días. Como se puede notar la curva de Kc que se tiene en base al método de (TTA) y de acuerdo a los 2 años tienen las mismas tendencias con la única diferencia que en el año 2004 no se trabajó con todo el ciclo del cultivo es por ello que difieren los días de las fases del cultivo. En general se aprecia que el coeficiente de cultivo (Kc.) comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de Kc se



alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración.

Desde el punto de vista agronómico, se considera que el cultivo de tomate evoluciona de acuerdo al estado fonológico y a la estación de crecimiento, los requerimientos hídricos mínimos de agua ocurren durante las 2 primeras semanas, cuando la transpiración es menos debido a las pocas hojas que tiene la planta, en este estado la mayor parte de  $E_{Tr}$  ocurrió como evaporación de la superficie del suelo, el máximo requerimiento hídrico se presenta en la etapa de floración y fructificación.

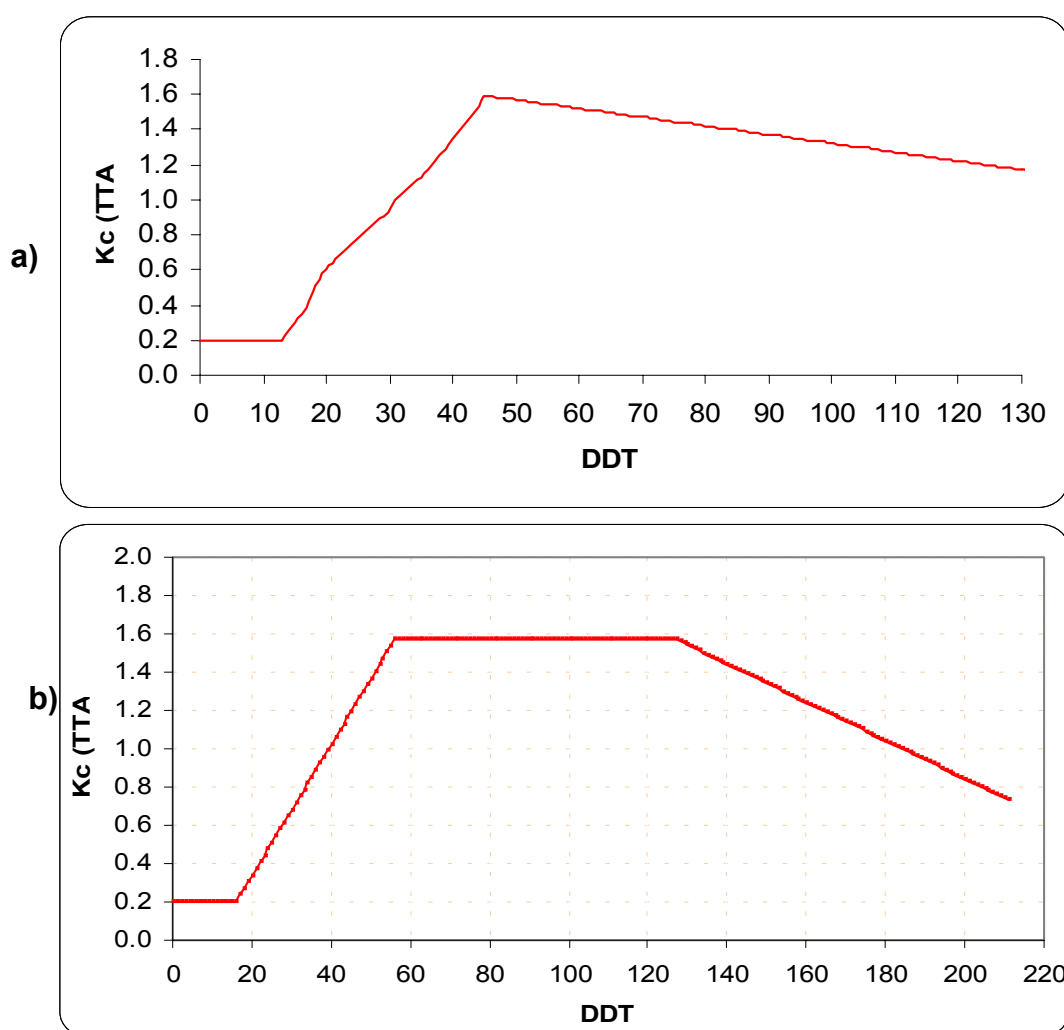


Figura 4.5. Comportamiento de la Curva de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) obtenido por la metodología del TTA para el cultivo del tomate bajo invernadero en los años 2004 (a) y 2005 (b)

## **Análisis de coeficiente de cultivo (Kc). Obtenido por la metodología de la FAO para el cultivo de tomate en los años 2004 y 2005**

En esta sección se explica como fue el comportamiento del coeficiente de cultivo (Kc) contra los días después de transplante (DDT) en sus diferentes etapas de desarrollo del cultivo de tomate utilizando la metodología propuesta por la FAO, en 2 años (2004 y 2005)

De acuerdo a la figura 4.6 (a), año (2004) la etapa fenológica inicial del cultivo tiene un valor de Kc de 0.6 que dura 30 días. Por su parte en la etapa de desarrollo tiene valores de Kc desde 0.6 hasta alcanzar un valor máximo de 1.15 que va desde el día 31 DDT hasta el día 69 DDT, el valor 1.15 permanece constante en un periodo de 41 días, correspondiente a la etapa de mediados del cultivo, partiendo del día 111 DDT los valores de Kc descienden hasta alcanzar un valor de 0.9 que corresponde a la etapa final del cultivo y dura 27 días.

Por su parte la figura 4.6 (b), año (2005) nos muestra que la etapa inicial del cultivo tiene un valor de coeficiente Kc de 0.48 con un periodo de 43 días, mientras tanto el periodo de desarrollo alcanza valores máximos de Kc de 1.15 iniciando el día 44 hasta el día 103 DDT, este valor máximo permanece estable durante toda la etapa media del cultivo que tardó aproximadamente 66 días, para posteriormente empezar a descender hasta alcanzar un valor de Kc de 0.8 correspondiente a la etapa final del cultivo de tomate, este periodo duró 42 días. Cabe mencionar que de acuerdo al análisis de las 2 figuras en los 2 años y 2 métodos utilizados para obtener la curva de Kc de acuerdo al año y las metodologías si hay variaciones puesto que el Kc obtenido por el TTA es exclusivo para obtener los coeficientes de cultivo (Kc) dentro de un invernadero mientras que el método de la FAO es aplicable para campo abierto, por lo tanto los 2 métodos son confiables, las diferencias que existen de acuerdo a los dos años si hay cambios, y esto se debe por que el año 2004 solo se trabajo con 130 días

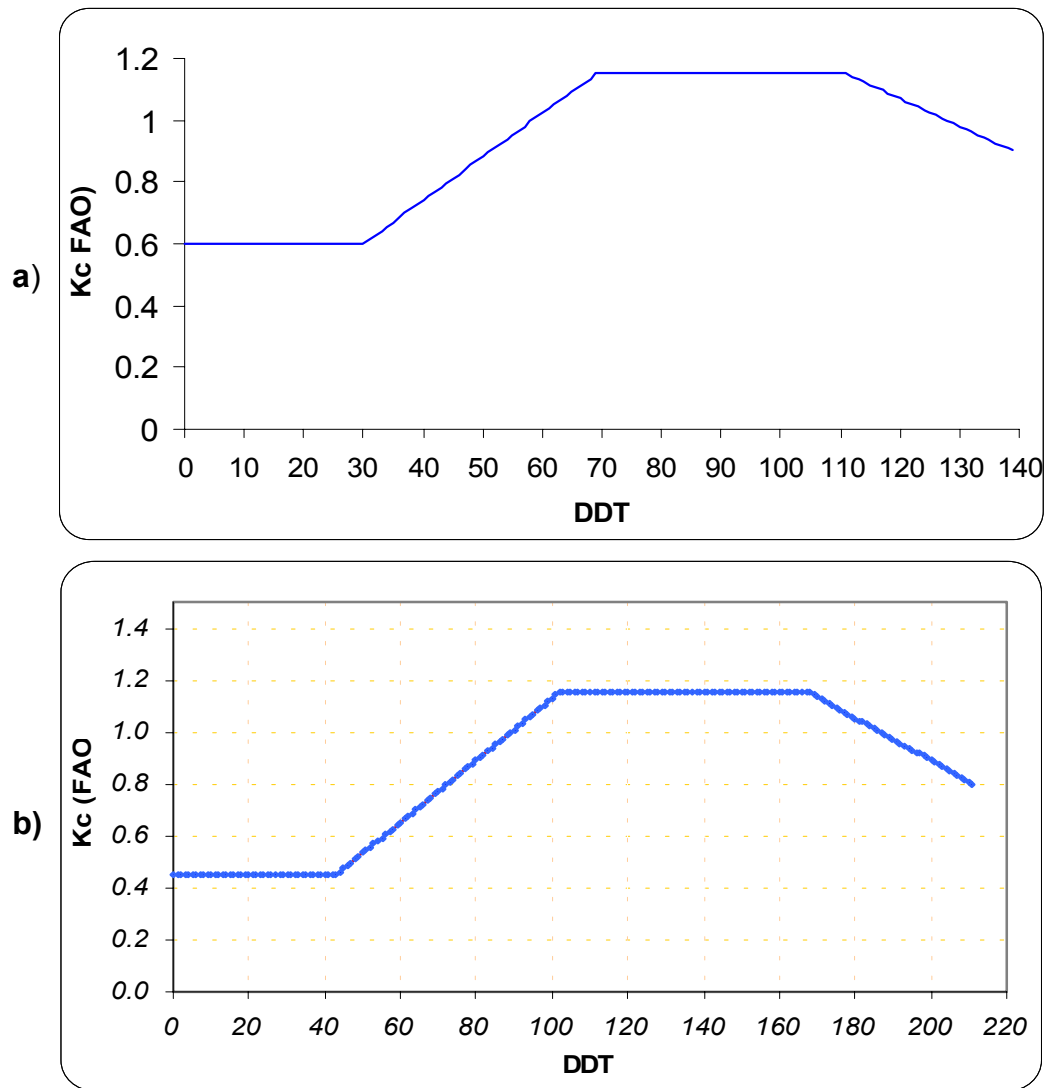


Figura 4.6 comportamiento del coeficiente del cultivo (Kc) obtenido por la metodología de la FAO para el cultivo del tomate bajo condiciones de invernadero en los años 2004 (a) y 2005 (b)

### **Análisis del comportamiento de la evapotranspiración del cultivo estimado por diferentes métodos**

El propósito de esta discusión consiste en analizar los diferentes procedimientos o métodos para estimar la evapotranspiración de cultivo, así como también observar el comportamiento de las curvas de (ETr y discutir cual es el método que ayuda a reducir el consumo de agua y en que etapas del cultivo.

Con respecto a la figura 4.7, se observa como es el comportamiento de la evapotranspiración de cultivo, estimado por diferentes métodos para obtener la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) así como también el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ).

Como podemos apreciar en las 2 primeras curvas de  $E_{Tr}$ , donde la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) es una variable que fue calculada con la ecuación de Penman – Monteith(1965) y por otro lado se estimó por el método de la (FAO) datos de la estación meteorológica y el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) es una constante que fue estimado de acuerdo al tiempo térmico acumulado (TTA) se aprecia como la ( $E_{Tr}$ ) calculada con la ecuación de Penman- Monteith (1965) es mayor (880mm) que el calculado por el método de la FAO (823mm), la diferencia es de 57 mm. Por lo tanto si se estima el uso consuntivo por cualquier variable es confiable, de acuerdo a (Ortega, J.1997)

Por otro lado se observan otras 2 curvas de  $E_{Tr}$  que siguen las mismas tendencias, aquí también para el cálculo de los valores de  $E_{To}$  se obtuvieron por el método de la ecuación de Penman-Monteith y datos de la estación meteorológica, este parámetro fue la variable mientras que el valor del coeficiente de cultivo fue otra vez la constante obtenida por el método de la FAO, Podemos notar que ambas se comportan igual puesto que la  $E_{Tr}$  que utilizó valores de  $E_{To}$  obtenidos por la ec. De Penman-Monteith (1965) y  $E_{To}$  obtenido por el método de la FAO respectivamente se aprecia como el consumo de agua por el cultivo es casi similar, 815mm y 764mm en los días 167 y 168 DDT, que corresponde en la etapa de floración y fructificación donde dicho cultivo es cuando se encuentra en su etapa crítica.

Por su parte la  $E_{Tr}$  fue estimada por variables totalmente diferentes, una donde la  $E_{Tr}$  fue estimada con la evaporación dentro de un invernadero, con un coeficiente de tanque ( $K_p$ ) de 0.7 correspondiente al ambiente que lo rodea, y el coeficiente de cultivo  $K_c$  utilizado fue calculado de acuerdo a las temperaturas que registró el invernadero (TTA), en esta gráfica se observa que el consumo de agua disminuyó significativamente, el máximo uso consuntivo en la etapa de producción y fructificación que es donde el cultivo

demanda una mayor cantidad de agua, la grafica los demuestra puesto que se consumió 502 mm, en el día 138 DDT, con esto se comprueba que un sistema de producción bajo invernadero ayuda hacer un uso mas eficiente del agua. Por lo contrario si se hace uso de un coeficiente de cultivo (Kc) que propone la FAO, se nota claramente que también hace un ahorro de agua, por lo tanto es mas confiable programar los riego con las temperaturas del invernadero, o en su defecto el que propone la FAO. Según (Rojas, V.2002)

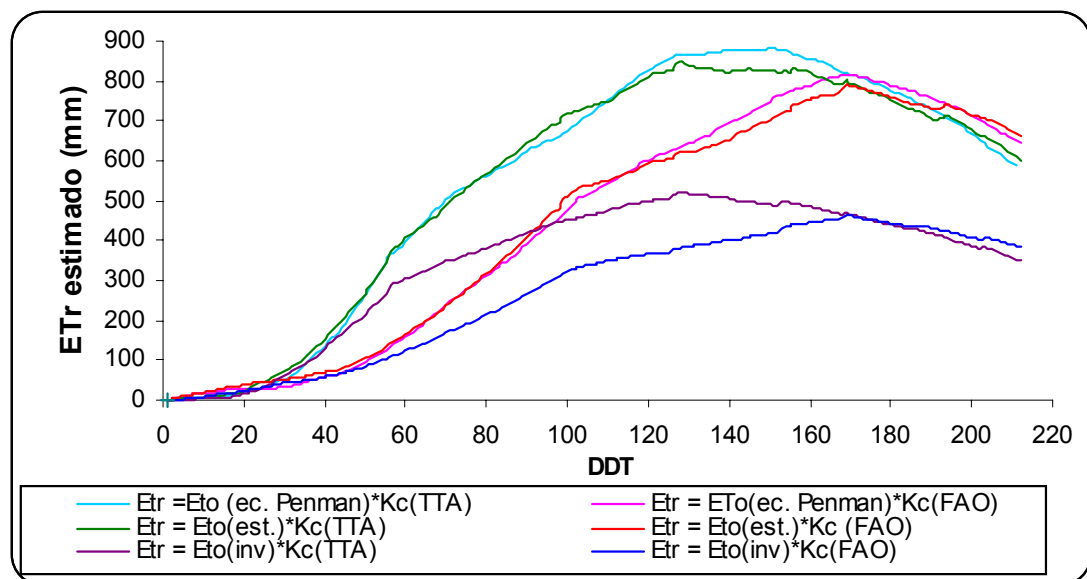


Figura 4.7. Comportamiento de evapotranspiración de cultivo (ETr) en el cultivo de tomate bajo invernadero, estimados por diferente metodología

### Análisis del coeficiente real (Kcr) para el manejo del cultivo de tomate en perlita y por el método de (TTA) y la (FAO)

Este apartado se explica el comportamiento de la curva del coeficiente real (Kcr) del cultivo de tomate bajo invernadero de acuerdo a sus etapas fonológicas del cultivo en un sistema de producción semihidroponico con sustrato de perlita. Para esto se el Kcr se obtuvo con la siguiente relación  $Kcr = ETr / ETo$ ; donde

ETr = evapotranspiración real (mm/día)

ETo = evapotranspiración potencial (mm/día).

La evapotranspiración de referencia utilizada es el que se calculo con los valores de coeficiente de tanque instalado dentro del invernadero, y los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) obtenidos por el método del tiempo térmico acumulado (TTA) y por el método de la FAO.

En la figura 4.8 (a) se aprecia que los valores iniciales de  $K_{cr}$  (fase inicial) son de 0.75 que empieza desde el día cero hasta el día 43 DDT, así mismo se observa que los valores de la fase vegetativa van desde 0.75 hasta el máximo valor que se obtiene de que es de 1.57 esta fase empezó a partir del día 44 hasta el día 105 DDT. A partir de este día el valor máximo permaneció estable hasta el día 170 DDT, a esta fase le denominamos fase de producción o de mediados del cultivo. Por último podemos notar que los valores empiezan a descender hasta un valor de 1.37 esto sucede a partir del día 171 hasta el 211 DDT, a esta fase se le llamó fase de finales del cultivo. Esto se dio con los valores de  $K_{cr}$  que se obtuvo por medio del tiempo térmico acumulado (TTA), mientras tanto en la figura 4.8 (b) existe una variación en el comportamiento del coeficiente real del cultivo ( $K_{cr}$ ) debido a los valores se obtuvieron de acuerdo al manual 24 de la FAO, notamos los valores iniciales de  $K_{cr}$  (fase inicial) son de 0.66 que empieza desde el día cero hasta el día 46 DDT, los valores de la fase vegetativa van desde 0.66 hasta el máximo valor que se obtiene de 1.15 esta fase empezó a partir del día 47 hasta el día 106 DDT. A partir de este día el valor máximo permaneció estable hasta el día 167 DDT, fase de producción del cultivo. Por último se observa que los valores empiezan a descender hasta un valor de 1 esto pasa a partir del día 168 hasta el 211 DDT, fase final del cultivo. Esto sucede en la parte donde el cultivo estuvo en condiciones de perlita.

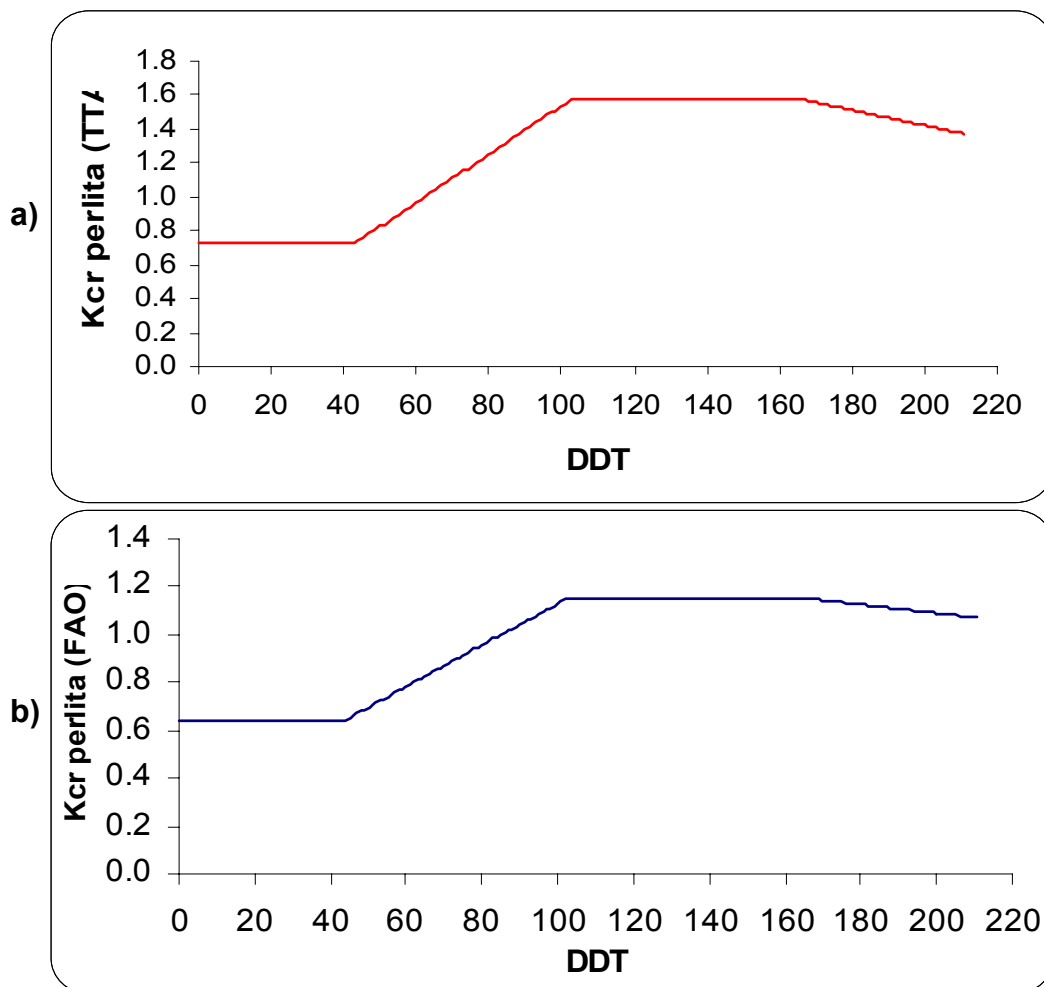


Figura 4.8. Comportamiento del coeficiente real (Kcr) para el manejo del cultivo del tomate en perlita bajo invernadero obtenido por dos métodos: TTA (a) Y FAO (b)

#### **Análisis coeficiente real (Kcr) para el manejo del cultivo de tomate en suelo por el método de (TTA) y la (FAO)**

Este apartado se explica el comportamiento de la curva del coeficiente real (Kcr) del cultivo de tomate bajo invernadero establecido en suelo con acolchado.

Por su parte en la figura 4.9 (a) apreciamos valores iniciales de Kcr (fase inicial) de 1.43 que empieza desde el día cero hasta el día 43 DDT valores obtenidos, por la metodología del tiempo térmico acumulado (TTA), los valores de la fase vegetativa van desde 1.43 hasta el máximo valor que se obtenido que es de 1.57 esta fase empezó a partir del día 44 hasta el día

104 DDT. A partir de este día dicho valor máximo permaneció constante hasta el día 190 DDT, que pertenece a la fase de producción.

Por otro lado tenemos la figura 4.9 (b) donde los valores de Kcr fueron calculados por el método de FAO, al igual que las figuras anteriores notamos que el Kcr inicial tiene un valor de 1,1 dura 42 días aproximadamente , a partir de ahí empieza a ascender hasta alcanzar un valor máximo (etapa de desarrollo del cultivo) que es de 1.15, esta etapa inicia del día 43 al 103 DDT, permaneciendo constante hasta el día 190, correspondiente a la etapa de floración y fructificación, como se observa en las diferentes figuras, de acuerdo en las condiciones que encuentre el cultivo varia el Kcr, esto se debe a que intervienen varios factores que provocan que el cultivo demande mas ó menos agua.

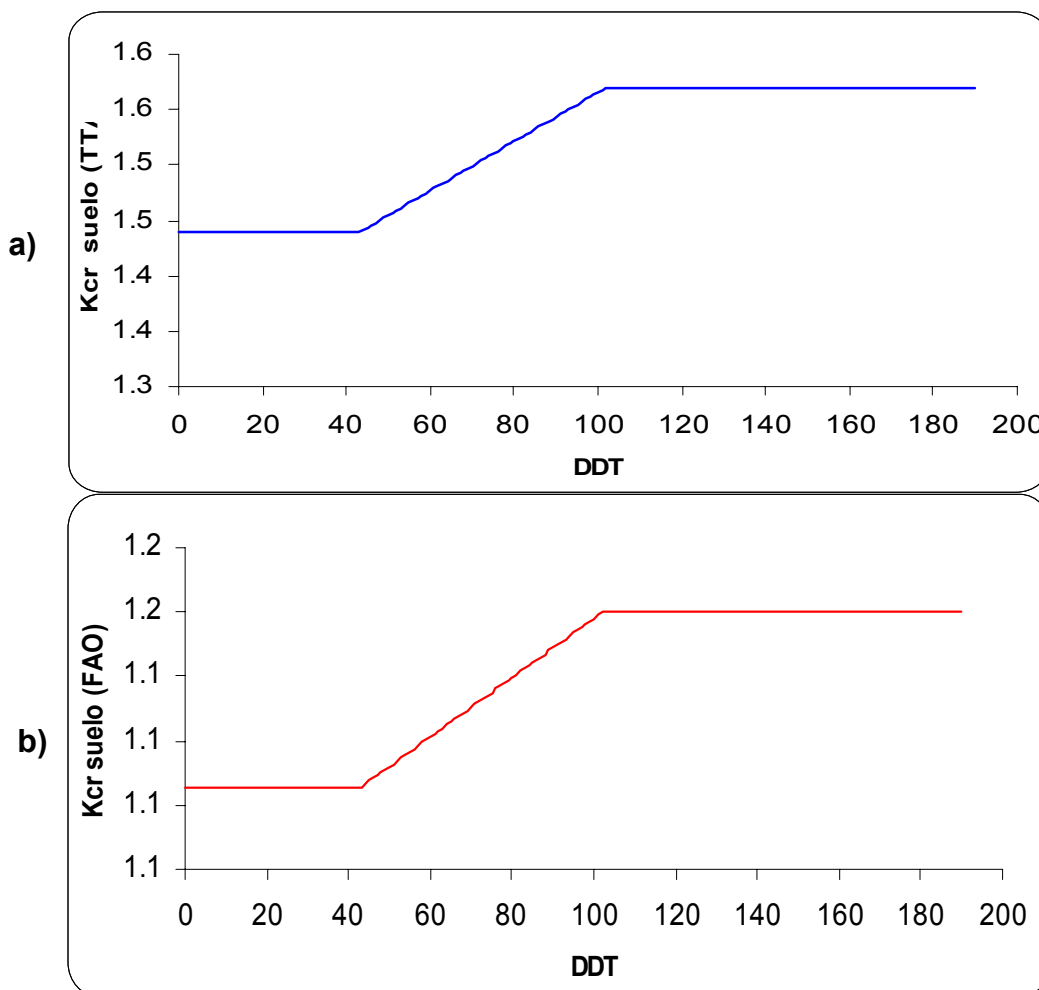


Figura 4.9. Comportamiento del coeficiente real (Kcr) para el manejo del cultivo del tomate en suelo obtenido por dos métodos: TTA (a) Y FAO (b)



## Análisis de la evapotranspiración real del cultivo de tomate bajo invernadero en condiciones de perlita con los métodos del TTA y la FAO

En las figura 4.10 (a) y (b) se aprecia un  $r^2$  de 0.999 y 0.996 respectivamente, lo que nos indica que las variables tienen una relación proporcional en ambos casos ya que la variable independiente depende de un 99 % de la variable dependiente en los 2 casos, por lo tanto la (ETr) va aumentando conforme transcurre el desarrollo del cultivo, esto se debe a que en las diferentes etapas demanda mas agua para poder realizar los procesos fisiológicos de dicho cultivo.

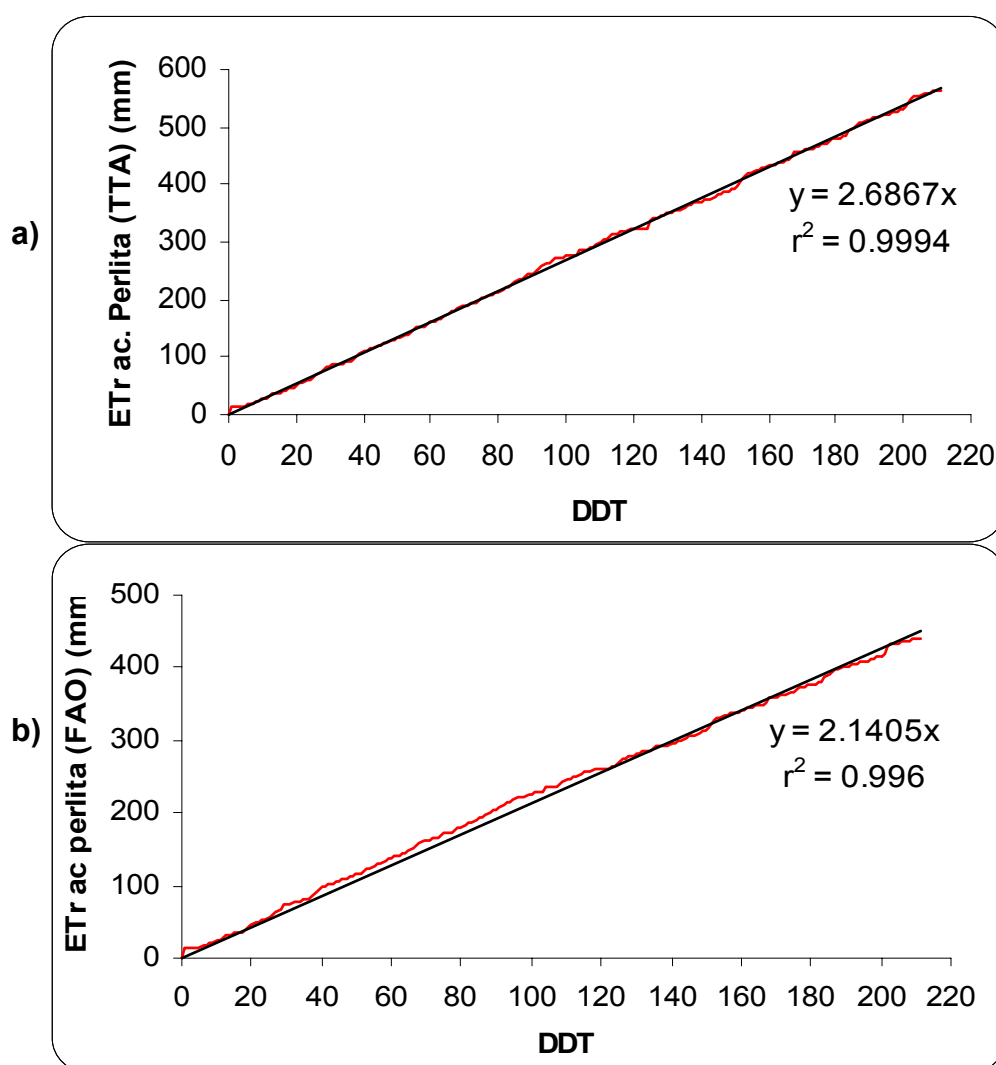


Figura 4.10. Relación de evapotranspiración real (ETr) cultivo del tomate en perlita por 2 métodos TTA (a) y FAO (b)

## Análisis de la evapotranspiración real (ETr) del cultivo de tomate en suelo en base al método de L. TTA y la FAO

En la figura 4.11 (a) y (b), donde el cultivo se desarrolló bajo condiciones de invernadero y plantado en suelo con acolchado y las variables fueron los  $K_c$ , que se obtuvieron por 2 metodologías (TTA) y la (FAO), se observa que en la figura 4.11 del inciso (a) se tiene un coeficiente de correlación de 0.94 % indicándonos los cambios que existen con respecto a la variable independiente, y notamos que la variable independiente, depende de un 94%. Mientras tanto en la figura 4.11 (b), se tiene un coeficiente de correlación de 0.93% la variable lo que nos indica que las variables dependen un 93%

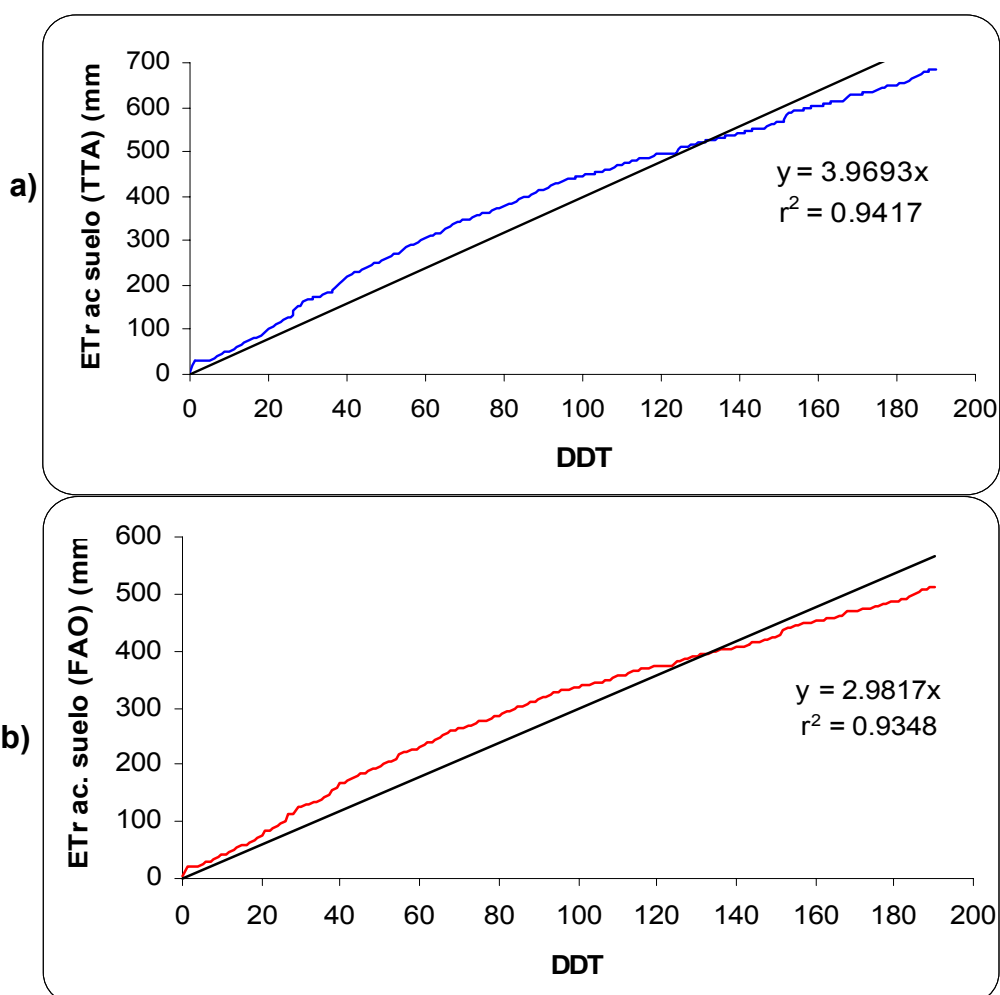


Figura 4.11. Relación de Evapotranspiración real (ETr) cultivo del tomate en suelo bajo invernadero por 2 metodologías TTA (a) y FAO (b)

## Análisis de consumo de agua acumulado en el cultivo de tomate bajo invernadero en suelo y perlita

Se discute como fue el consumo y aplicación de agua acumulado en el cultivo de tomate bajo invernadero, en los diferentes sistemas de producción, en suelo y perlita, durante el ciclo de cultivo primavera –verano del año 2005.

Con respecto a las figuras 4.12 (a) mostrada se observa como fue el volumen de agua aplicado en el cultivo de tomate bajo invernadero durante el ciclo primavera – verano del año 2005, en condiciones de suelo, notamos que el cultivo en suelo la aplicación acumulada durante todo el ciclo es de 738 lts. /planta, mientras tanto el cultivo en perlita figura 4.12 (b) tuvo un consumo acumulado de 220 lts/planta de de agua. Por lo tanto, el cultivo bajo invernadero semihidroponico ayuda a hacer un uso más eficiente de agua., y esto se tiene que ve reflejado en la eficiencia y uso del agua.

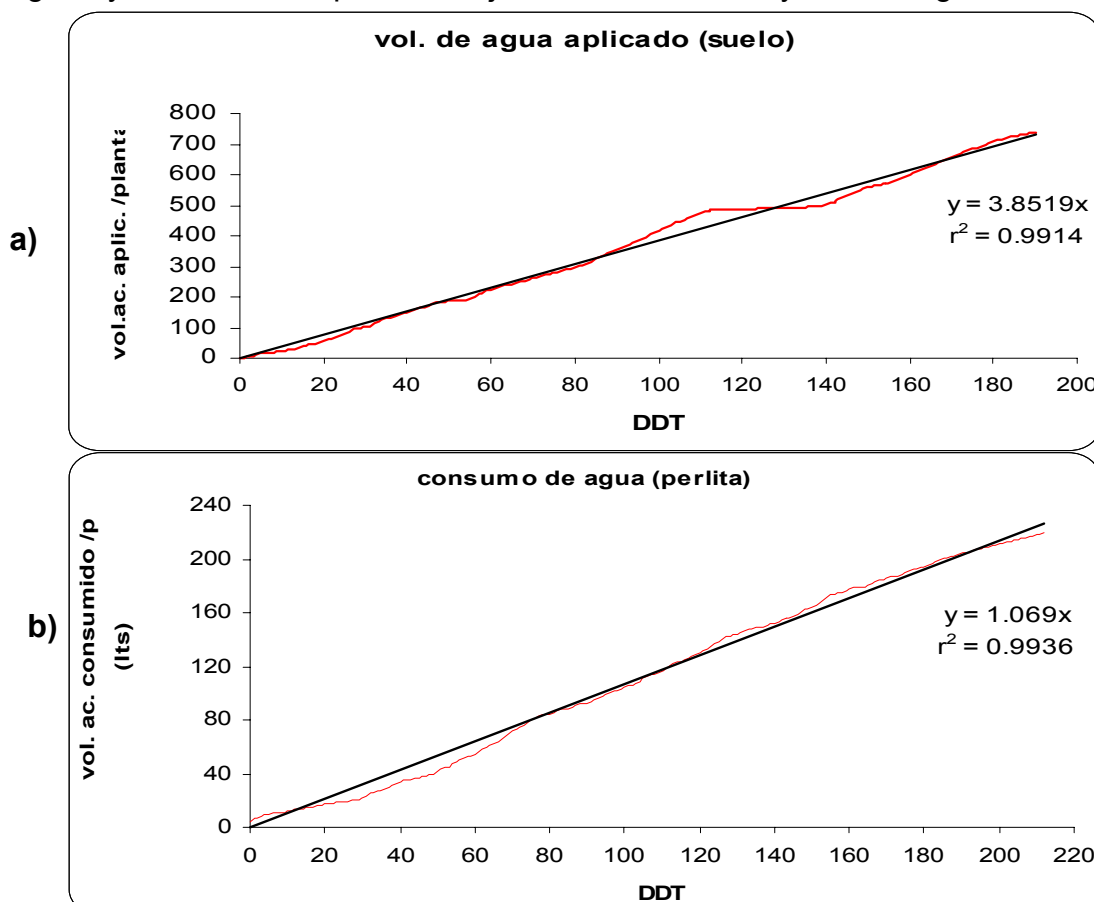


Figura 4.12. Relación de Consumo de agua del cultivo del tomate en suelo (a) y perlita (b)

## Análisis de rendimiento acumulado en el cultivo de tomate bajo invernadero en suelo y perlita

En la figura 4.13 (a) y (b), se muestran el comportamiento de rendimiento del cultivo de tomate bajo condiciones de invernaderos cultivados en perlita y suelo. Y se observa que hubo mayor rendimiento en el sistema semihidroponico con un total de 157 ton/ha. Mientras que en el sistema de suelo y acolchado disminuyo, obteniendo una producción de 153 ton/ha. Si notamos la diferencia no es mucho, nos da una idea de que los cultivo bajo cubiertas como lo es el invernadero se obtienen mejores rendimientos y se hace un uso mas racional del agua.

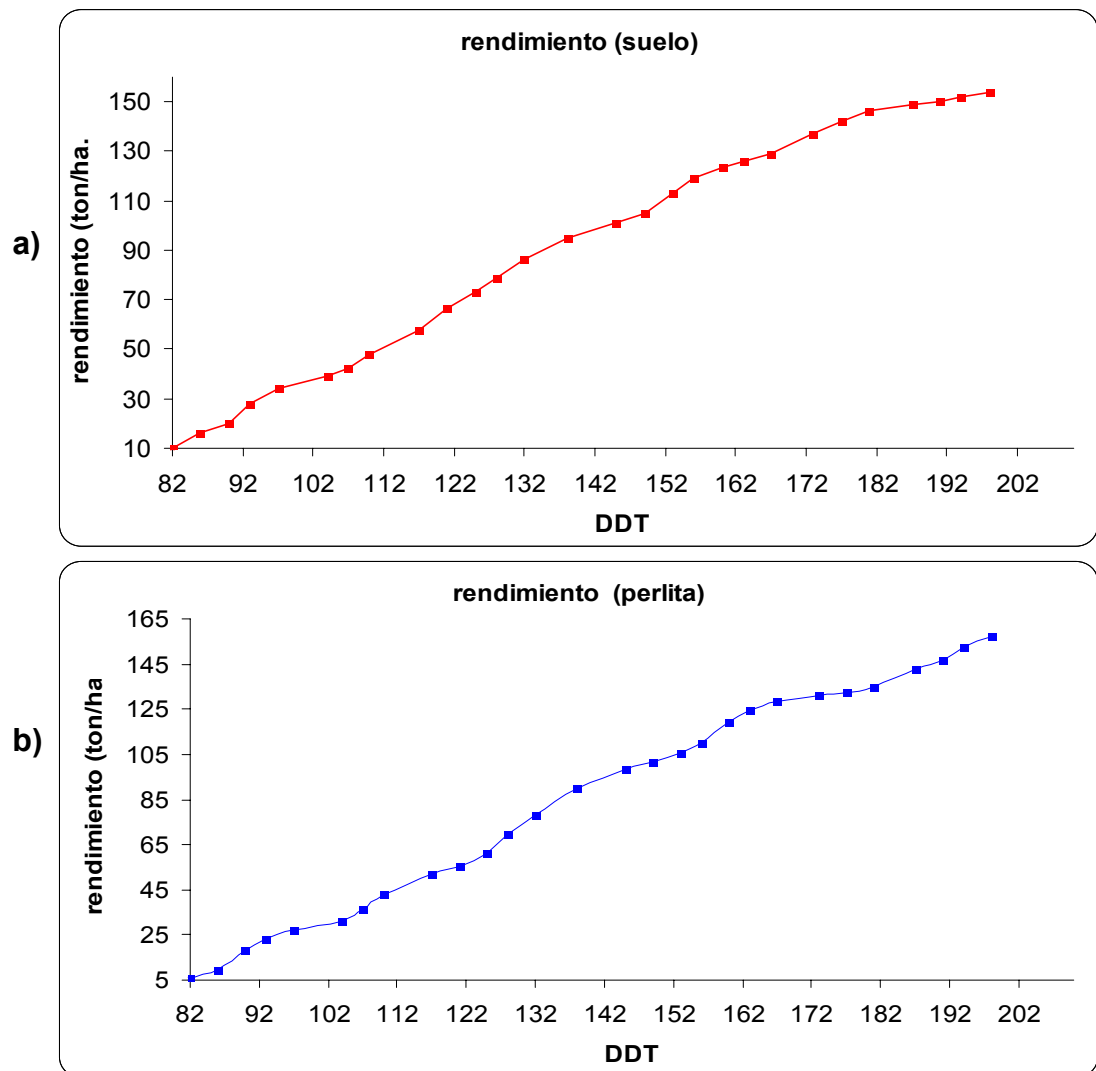


Figura 4.13. Relación de rendimiento del cultivo del tomate en suelo (a) y perlita (b)

### Análisis del índice de área foliar (IAF) en el cultivo de tomate bajo invernadero en dos sistemas de producción (Suelo y perlita).

En la figura 4.14 (a) correspondiente al cultivo establecido en suelo se observa que el índice de área foliar IAF máximo se alcanza el DIA 251DDT con un valor de 3.88 y el mínimo alcanza en el día 281 DDT con un valor de IAF de 1.82.

Con lo que respecta el cultivo establecido en perlita figura 4.14 (b) se tiene un índice de área foliar máximo (IAF) de 2.86 en el día 241 DDT y el valor mínimo alcanza el día 267 DDT con un valor de 1.29. Como se aprecia no es un comportamiento normal para el índice de área foliar, esto se debe por que se realizaron podas y no se tuvo un control sobre esto.

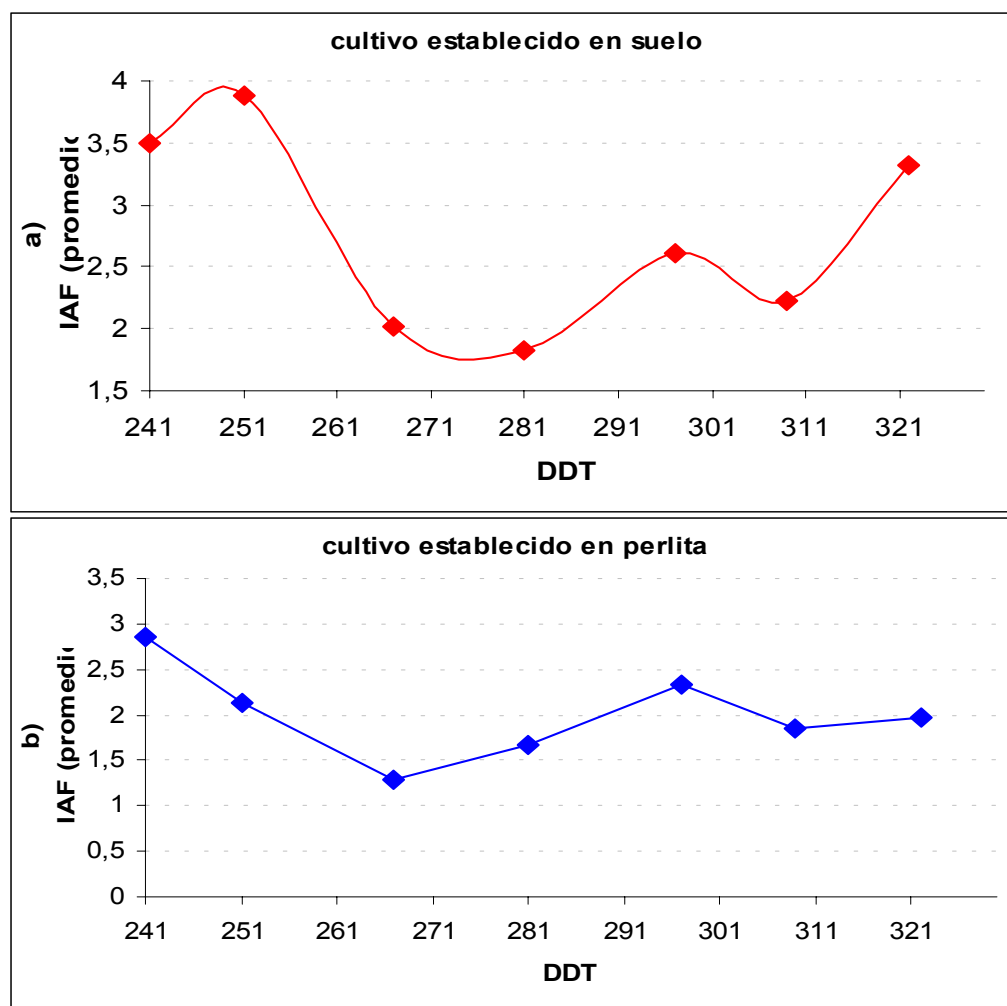


Figura 4.14 relación del índice de área foliar en el cultivo de tomate en 2 sistemas de producción suelo (a) y perlita (b)

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en la realización del experimento se concluye a lo siguiente:

La evaporación dentro del invernadero es menor que la evaporación que se da en campo abierto, esto se debe que dentro del invernadero esta controlado los factores climáticos que influyen directamente en el proceso de evaporación como es la velocidad del viento y la radiación solar.

Por otro lado la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) dentro del invernadero también se reduce, aun cuando se utilizo un coeficiente de tanque (K<sub>p</sub>) de 0.7, mientras tanto en campo abierto se utilizo un K<sub>p</sub> de 0.6. Esto se debe a que la evaporación tiene un estrecha relación con la evapotranspiración del cultivo, por lo tanto entre mayor evaporación mayor evapotranspiración se tendrá y viceversa.

Acerca de las metodologías que se utilizaron para obtener el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) el que mejor se adapta a las fases del cultivo es el que recomienda la FAO debido que se obtienen valores para un K<sub>c</sub> inicial mayor, un K<sub>c</sub> de mediados de cultivo menor, esto haciendo la comparación con la metodología del tiempo térmico acumulado (TTA). Que reporta valores más altos que el obtenido por la metodología de la FAO.

De acuerdo al rendimiento obtenido se concluye que el mejor sistema de producción es el semihidroponico debido que se obtuvo un rendimiento acumulado de 157 Ton/ha. Mientras que en sistema de producción en suelo se tiene un rendimiento acumulado de 153 ton/ha.

## VI. RESUMEN

Concientes de la necesidad de un uso mas eficiente del recurso agua urge la necesidad de contar con parámetros técnicos que permitan una mejor estimación de los requerimientos de agua para riego. Es en este sentido se planteó la ejecución del presente trabajo de investigación orientado a determinar el uso consuntivo del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), por el método del tanque evaporimetro tipo "A"; para esto se usaron diferentes valores de coeficiente de cultivo (Kc.) determinados por 2 metodologías: a base del Tiempo Térmico Acumulado (TTA) y por la metodología de la FAO, bajo condiciones de invernadero y en semihidroponico que se llevo acabo en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), ubicado en la ciudad de Saltillo Coahuila México, con coordenadas geográficas de 25° 27' lat. N, 25° 27' long. Oeste y a una altura de 1610 msnm, durante el ciclo de primavera verano de 2005, los análisis se compararon para el cultivo establecido en los dos sistemas de producción en perlita y suelo, comparando también en los ciclos 2004 y 2005.

Los resultados obtenidos en esta investigación fueron los siguientes, con lo que respecta en la evaporación acumulado se tuvo un  $r^2 = 0.99$  para el año 2004 y para el año 2005 se tuvo un  $r^2 = 0.96$  lo cual muestra una variación del 3%.

Por otro lado el análisis de evapotranspiración acumulado se tuvo un coeficiente de  $r^2 = 0.99\%$  para el año 2004 y para el 2005 un  $r^2 = 0.96$ , como se aprecia también existe una diferencia del 3%, aun cuando se utilizo un coeficiente de tanque (Kp) diferente, en el invernadero se utilizo un  $Kp = 0.7$  y en la estación meteorológica un  $Kp = 0.65$ .

Los resultados que se obtenidos en el análisis de la evapotranspiración potencial en invernadero y la estación meteorológica contra la ecuación de Penman – Montith (1965), existe una diferencia de 4%.

En el análisis de coeficiente de cultivo (Kc.) obtenido por la metodología del tiempo térmico acumulado (TTA), para el año 2004 se tuvo un Kc. inicial de

0.2; un Kc. Etapa de desarrollo que va desde 0.2 hasta alcanzar un valor máximo de 1.59, por ultimo se tiene un Kc final de 1.12.

Para el ciclo 2005 se tiene un Kc inicial de 0.2, un Kc en etapa media del cultivo que va de 0.2 hasta alcanzar el máximo de 1.57 que dura 71 días, por ultimo se tiene un Kc final de 0.73.

Los resultados que se obtuvieron con respecto al análisis del coeficiente de cultivo (Kc) obtenidos por la metodología de la FAO. Se tiene lo siguiente. Para el año 2004 se obtuvo un Kc inicial de 0.6, un Kc en etapa media del cultivo que va desde 0.6 hasta 1.15, este valor permanece constante durante 41 días, por ultimo un Kc final de 0.9.

En el año 2005 se tiene un Kc inicial de 0.48, un Kc en etapa media del cultivo que va desde 0.48 hasta alcanzar un valor máximo de 1.15. Un Kc final de 0.8, en los dos ciclos existe una variación debida que en el año 2004 no se trabajo con todo el ciclo del cultivo.

De acuerdo a los valores de coeficiente real del cultivo (Kcr) obtenidos por el método del tiempo térmico acumulado (TTA) para el sistema de producción en perlita se obtuvo lo sig. Kc inicial de 0.75, en la etapa media del cultivo, en la etapa de desarrollo va desde 0.75 hasta alcanzar un valor máximo de 1.57, un Kc final de 1.37. Por otro lado utilizando la metodología de la FAO se tuvo un Kc inicial de 0.66, para la fase etapa de desarrollo va desde 0.66 hasta alcanzar un valor máximo de 1.15, por ultimo se obtuvo un Kc final de 1. Para el sistema de producción en suelo por el método del (TTA) se tiene un Kcr inicial de 1.43, Kcr e etapa de desarrollo, va desde 1.43 hasta 1.57 valor máximo que permanece constante hasta el día 104 DDT. Por el método de la FAO se tiene un Kcr inicial de 1.1, en la etapa media del cultivo el Kcr va desde 1.1 hasta alcanzar el valor máximo de 1.15.

Para los resultados de ETr obtenidos por el TTA y la FAO para el sistema de producción en perlita se tiene un  $r^2 = 0.99$  valor muy significativo estadísticamente. Mientras que en el sistema de producción en suelo se tiene un  $r^2 = 0.94$  para la metodología TTA, para el método de la FAO se tiene un  $r^2 = 0.93$ , existe un diferencia del 1%.



## VII Literatura Citada

- Abad, M, 1991. Los sustratos hortícolas: características y manejo, p. 1-15.  
In: II congreso nacional de fertirrigación, septiembre 1991, fundación para la investigación agraria en la provincia de Almería, Almería, España.
- Anserona , J. 1995. Propiedades físicas de los sustratos. Chile Agrícola, 20(208): 217-218
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos, Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-prensa. Barcelona, España. 172 p.
- Amayreh, J. 1995. Lake evaporation: a model study. Ph. D. Diss. Utah State University. Logan, UT.,
- Alvarado, M. 1999 Reparación y desinfección de sustratos para la propagación de plantas hortícola. Curso de horticultura I. facultad de agronomía, universidad de costa rica, san pedro. 5p
- Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., Pereira, L. S., 1994. An Update for the definition of reference evapotranspiration. ICID Bull. 43 (2), 1-92.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Paper 56. FAO, Roma, Italia.
- Allen R. G. 2000 Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evaporation intercomparison study. J Hydrol 229: 27-41.
- Arteaga, R.R. y R.M. Elizondo. 1986. La evaporación como un indicador de la evaporación potencial. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo.

- Baeza E. 2000. Caracterización de la ventilación natural en el invernadero tipo parral. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior, Universidad de Almería.
- Baille, M.; Laury, J. C.; Baille, A. 1992. Same Comparative results on evapotranspiration of greenhouse ornamental crops, using lisimeter, greenhouse H<sub>2</sub>O balance and LVDT sensors. *Acta Horticulturae*: 304, 199-208.
- Baixauli et al., 2002 Cultivo sin Suelo de Hortalizas, Aspectos Prácticos y Experiencias, serie divulgación técnica.
- Bunt, A.C., 1988, media and mixes for container –Grown plants. 2nded. Unwin Hyman Ltd., London, 309pp
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S. L. Madrid, España. 17-25 pp.
- Cárdenas. T. F. 1999. El cultivo del tomate en El parador de Roquetas de Mar. Vol. 1/3. P. 293-333. En: Francisco Camacho F. Técnicas de producción de frutas y hortalizas en cultivos protegidos. Caja rural de Almería, España.
- Cayuela, E., M.T. Estañ, M. Parra, M. Caro y M. Bolarin. 2001. NaCl pre treatment at the seedling stage enhances fruit yield of tomato plants irrigated with salt water. *Plant Soil* 230: 231-238.
- CONAMA, 2003. Red de estaciones meteorológicas. Gobierno de Chile. [www.conama.cl/rm/568/article-1115.html](http://www.conama.cl/rm/568/article-1115.html)
- Coleman, W.K.; Greyson, R.I. (1976). The growth and development of the leaf in tomato (*Lycopersicon esculentum*). II. Leaf ontogeny. *Can. J. Bot.*, 54: 2421-2428.

- Cooper, P.J.M., Gregory, P.J., Tully, D., Harris, H.C., 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of west Asia and North Africa. *Experimental agriculture*. 23, 113-158.
- Castilla, N., F. Elías, y E. Ferenes.1990. Evapotranspiration en cultivos hortícolas en invernadero en Almería. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 5: 117-125.
- Doorenbos, J., and W.O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. FAO. Irrigation and Drainage Paper N° 24. Rome. Italy.
- Doorenbos, S. y W. O. Pruitt. 1977. Crop water requirements Irrigation and drainage. Paper No.: 24. FAO. Roma, Italia.
- Doorenbos, J. y A.H. Kassam. 1986. Yield response to water. FAO Irrig. And Drain. Paper No. 33. FAO, Rome, Italy.
- Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos, FAO Riego y drenaje No 24. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Roma. 194 p.
- Doorenbos J, Kassam AH (1979) Yield response to water. (FAO Irrigation and Drainage Paper 33) FAO, Rome.
- Eltez, R. y Tüzel, Y. 1994. Efecto de diferentes materiales utilizados en acolchamiento de suelo sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos de tomate bajo invernadero. *Plasticulture* N° 103: 23 -25.
- Elizalde R. 2000. Comisión para la investigación y defensa de la hortaliza (CIDH).

- Escudero, J., 1993. Cultivo hidropónico del tomate. Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. Universidad de Almería. Almería, España. pp. 263-270.
- Escudero, S. J. 1999. Cultivo hidropónico del tomate. P. 451\_483. In: Milagros Fernández F. e Isabel M<sup>a</sup>. Cuadrado G. (Eds.) Cultivo sin suelo II. Curso superior especialización. Junta de Andalucía, FIAPA, Caja Rural de Almería.
- Escudero, J. 1993. Cultivo hidropónico de tomate. En: curso superior de especialización sobre cultivos sin suelos. F. Canovas y J. R. Díaz (Eds.). I.E.A./F.I.A.P.A., Almería, pp. 261-297
- FAO, 2002. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage 56, 328 p.
- Fernando Nuez, (2001). El Cultivo del Tomate, 1<sup>a</sup> Edición 1995, Reimpresión 2001, Ediciones Mundi-Prensa, España, Barcelona: 15-41, 45-87, 95-128, 191-203, 229-239, 254-308, 313-348, 627-659, 673-663, 743-766.
- Fernández M<sup>a</sup>. D. 2000. Necesidades hídricas y programación de riegos en cultivos hortícolas en invernadero y suelo enarenado de Almería. Tesis doctoral. Universidad de Almería.
- Fimbres –Fontes, 1998. Tomate industrial con riego por cinta, Universidad Autónoma Chapingo.
- Flowers, T.J., A. García, M. Koyama y R. Yeo. 1997. Breeding for salt tolerance in crop plants: The role of molecular biology. Acta Physiol. Plant 19: 427-433.
- Garzón, T., A.; Becerra F., A.; Marín A. Mejía A., C. y B yerly M., K. F. 2003. Manejo Integrado de la enfermedad “permanente del tomate”, en el Bajío. 95-100 p. En: R. Bujanos M yA. Marín J. (coord.) Memoria del

taller sobre Insectos vectores de virus y Fitoplasmas en cultivos de solanáceas. SAGARPA, INIFAP. SDA, Fundación Produce A: C. Gto. 8ESAVEG, UARPAPA- Gto. CONAPA Celaya, Gto. Feb. 2003

González, V. F. 1996. El cultivo de tomate en la Cañada y Vega de Almería. Vol. 1/3: 255-292. En: Francisco Camacho F. (coord.) Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Instituto Rural, Almería, España.

Greyson, R.I.; Sawhney, V.K. (1972). Initiation and early growth of flower organs of *Nigella* and *Lycopersicon*: insights from allometry. Bot. Gaz., 133: 184-190.

Gurovich, L., 2001. Riego superficial tecnificado. Santiago, Ediciones Universidad Católica de Chile. 616pp.

Gurovich, L. 1985. Fundamentos y diseños de sistemas de riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José de Costa Rica. 433pp.

Gianquinto, G., P. Ceccon, and R. Giovanardi, 1990. Evapotranspiration, growth and yield of fresh market tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) at two irrigation levels. Acta Horticulturae 278: 579-586

Hargreaves, G. H., y Samani, 2.A. 1982. Estimating Potential Evapotranspiration. Tech note. J. Irrig. and drain. Engrg., ASCE, 108 (3): 225-230.

Haddad, R. y Villagran, V. 1988. Uso de acolchado plástico en plantaciones de frutillas. Chile Agrícola 13(134): 128-130.

Hanson B.R., D.W. Peters. 1999. Using dielectric soil moisture sensors for irrigation scheduling. Acta Horticulturae 537(1): 471-478.

- 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. UAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, pág. 87.
- Henríquez, S, G. 2001 validación de un método para estimar el consumo de agua en tomate industrial, cv. Heinz 9665.
- Hillel, D. 1990. Role of irrigation in agricultural systems. P. 5-31. In B.A.Stewart and D.R. Nielsen (Eds.). Irrigation of agricultural crops. Agronomy N° 30. . ASA, CSSA and SSSA .Wisconsin. USA.
- J. N. M. Von Haeff, (1983). Manuales para Educación Agropecuaria, Área: Producción Vegetal (16), 1ª Edición, Editorial Trillas, D.F., México: 9-53.
- Jensen, M. 1983. Design and operation of farm irrigation systems. 829 p. American Society of Civil Engineers, New York, USA
- Jensen, M.E. 1969. Plant and irrigation water requirements. Sprinkler Irrig. Assoc., Washington, D.C.
- Jensen, M.E., R.D. Burman, and R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE-Manuals and Reports on Engineering Practice, N° 70.
- J. N. M. Von Haeff, (1983). Manuales para Educación Agropecuaria, Área: Producción Vegetal (16), 1ª Edición, Editorial Trillas, D.F., México: 9-53.
- Klocke, N.L., D.E. Eisenhauer, and T.L. Bockstadter. 1991. Predicting the last irrigation for corn, grain sorghum, and soybeans. University of Nebraska–Lincoln Extension NebGuide G82-602.

- Lamaire, F. A. Dartigues and L. M. Riviere. 1985. Properties of substrate made with spent mushroom com-post. *Acta Horticultrae* 172: 13.29
- Manjarrez, J.R.S. 1980. Riegos. El cultivo del tomate para consumo fresco en el valle de Culiacán. CEVAS-CIAPAN-SARH. Norero, A. 1984. La evapotranspiración de los cultivos. Aspectos agrofísicos. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Montieth, J.L., 1993. The exchange of water and carbon by crops in a Mediterranean climate irrigation science. 14, 85 -91
- Muñoz- Ramos, J. J. 2003. Estructuras de invernaderos y cubiertas de protección. P. 18-39. En: J. J. Muñoz- Ramos y J. 2. Castellanos (Eds.). Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México
- Marín R. J. 2001. Portagrano 2001 Vademécum de Variedades Hortícolas. Ecir Ddit. p. 229, 237, 272, 292.
- Norero, A. 1984. La evapotranspiración de los cultivos. Aspectos agrofísicos. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Nuez, F. 1999. El cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa. 793 P
- Ortega-Farias, S., T. Rigetti, F. Sasso, C. Acevedo, F. Matus, and Y. Moreno. 2003. Site-specific management of irrigation water in grapevines. p. 55-71. IX Latin American Congress on Viticulture and Enology; Symposium on Precision Viticulture. 25 de noviembre de 2003. Pontificia Universidad de Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Ortega E., M. 1993. Causas del ensalitramiento y su efecto sobre los suelos. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México

- Palacios, V.E. 1981. Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer el cuando y el cuanto regar. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Peterson, J.C. 1981. Modify your Ph perspective. *Florists` Review*, 169: 34-35
- Raviv, M., Chen, y E invar. Y., 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container growth plant. En: the role of organic matter in modern agriculture. Y. Chen and y. Avimelech (Eds.) Martinus Nijhoff publishers, Dordrecht (The Netherlands), pp. 257-258.
- Robledo, F. y Martín, L. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 573 p.
- Rojas, V. 2002. Evaluación de la ecuación de Penman- Montieith modificada por la FAO para el distrito agroclimático de Talca.
- Rojas ,2003 la resistencia a la sequía, ciencia UANL/Vol., vi, no. 3, Julio Septiembre
- Rhoades, J.D. y S. Miyamoto. 1990. Testing soils for salinity and sodicity. pp. 299-336. In: Soil Science Society of America. Soil Testing and Plant Analysis. 3rd ed. SSSA Book Series 3.Madison, WI.
- San Martin, S. 2002. Propagación de hortalizas. En: cursos de producción de hortalizas,"metodología de producción de calidad, post cosecha, valor agregado y comercialización". Temuco; Chile. Pp. 2-24.
- Seniz, V.1994. Seedling production in solanaceae crops. *Acta horticulturae* 336: 243-250.



- Salas-S, M. C. y Urrestarazu G., M. 2001. Objetivos, Controles y métodos de fertirrigación en cultivo sin suelo. *Horticulturae* 157 Vol. XIX N. 8. p. 38-48.
- Singer, M.J. y D.N. Munns. 1999. *Soils: An introduction*. 4th ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Urrestarazu, G. M. 2000. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. P. 51-87. En: Miguel Urrestarazu (coord). *Manuel de cultivo sin suelo 2ª Edición. Manuales 5*. Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones.
- USDA, 1967. Department of Agriculture. Soil Requirement. Technical Release No. 21. Engineering DIV. SCS 83 p.
- Varas, E. 1991. Efectos del déficit de agua sobre los cultivos: Tomate. *Tecnologías de riego*. p. 74-75. Boletín Técnico N°168. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Quilamapu, Chillán, Chile
- Varga, A.; Bruinsma, J. (1986). Tomato. En "Monselise, S.P. (De). *Fruit set and development*. C.R.C. Press Inc., Boca Raton, Florida".
- Villalobos Reyes, Salvador. 2003. Rendimiento y calidad del Brócoli sometido a diferentes tensiones de humedad. Tesis. Maestro en ciencias. Programa en hidrocencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Villalobos – Reyes, J.Z. Castellanos y J.L. Ojodeagua. A. 2003. Manejo del riego en invernadero. P. 86 – 108. En: J.J. Muñoz – Ramos y J.Z. Castellanos (Eds). *Manual de la producción hortícola en invernadero*. INCAPA. México.

Wien, H. C. 1997. Transplanting. En: The Physiology of Vegetable Crops. H C. Wien, (Eds.) CAB International. P. 37-67.

Yonts, C.D. and N.L. Klocke. 1997. Irrigation scheduling using crop water use data. University of Nebraska–Lincoln Extension NebGuide G85-753