

**EFFECTO DE SUBSTANCIAS HÚMICAS, FÚLVICAS Y UN POLÍMERO  
EN LAS RELACIONES HÍDRICAS Y RENDIMIENTO DEL TOMATE**

**NELLYBETH RODRÍGUEZ MARTÍNEZ**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial  
para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias  
en Riego y Drenaje**



**Universidad Autónoma Agraria**

**Antonio Narro**

**PROGRAMA DE GRADUADOS**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila**

**Mayo de 2002**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**EFFECTO DE SUBSTANCIAS HÚMICAS, FÚLVICAS Y UN POLÍMERO EN LAS  
RELACIONES HÍDRICAS Y RENDIMIENTO DEL TOMATE**

**TESIS**

**POR**

**NELLYBETH RODRÍGUEZ MARTÍNEZ**

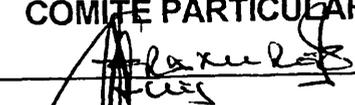
**Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada  
como requisito parcial para optar al grado de**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

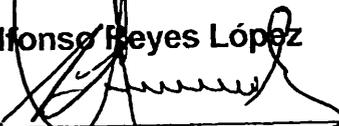
**EN RIEGO Y DRENAJE**

**COMITÉ PARTICULAR**

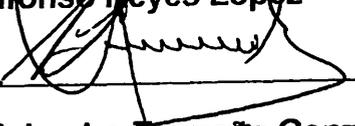
**Asesor Principal:**

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos**

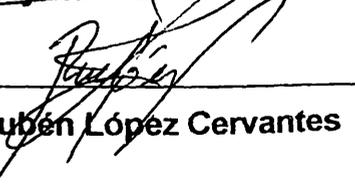
**Asesor:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Alfonso Reyes López**

**Asesor:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Alejandro Zermeno González**

**Asesor:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Rubén López Cervantes**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Ramiro López Trujillo**  
**Subdirector de Postgrado**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mayo de 2002**

# COMPENDIO

## EFFECTO DE SUBSTANCIAS HÚMICAS, FÚLVICAS Y UN POLÍMERO EN LAS RELACIONES HÍDRICAS Y RENDIMIENTO DEL TOMATE

POR

NELLYBETH RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

MAESTRIA EN RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mayo 2002.

MC. Luis Edmundo Ramírez Ramos -Asesor-

**Palabras clave:** *Lycopersicon esculentum* Mill, fúlvicos, húmicos, estrés, polímero, arcilla.

Se estudió el efecto de un ácido húmico (0.2 ml L<sup>-1</sup> de agua) un fúlvico (0.2 ml L<sup>-1</sup>) y un polímero (400 ml de gel ya expandido) sobre el rendimiento, potencial hídrico en la hoja, resistencia estomática, transpiración y productividad del agua

de tomate. Se evaluaron tres criterios de riego: 100, 75 y 50 por ciento de la evapotranspiración diaria. El rendimiento en las plantas tratadas en los tres criterios de riego y ácidos fúlvicos, fue superior a los testigos con 14.3, 7.39 y 4.16 por ciento, respectivamente. La mayor productividad del agua fue en las plantas tratadas con los ácidos fúlvicos y en los tres criterios de riego en 15, 7.38 y 4.2 por ciento superior a sus testigos, respectivamente. La resistencia estomática se incrementó al adicionar los ácidos fúlvicos en un 78 por ciento con respecto a su testigo en el criterio de riego de 50 por ciento del agua evapotranspirada, este mismo tratamiento produce la menor transpiración. El potencial hídrico menos negativo(-0.842 Mpa) se registró en las plantas tratadas con el criterio de riego de 100 por ciento y ácidos fúlvicos, sin embargo, en los criterios de riego de 75 y 50 por ciento los valores menos negativos (-1.110 y -1.10 Mpa respectivamente) fueron al adicionar el polímero.

La masa seca de follaje registra un decremento lineal en función de la disminución del criterio de riego al que fue sometida la planta.

De acuerdo a los resultados se concluye que con la adición de ácidos fúlvicos se mantiene la turgencia en la planta, se evita la excesiva transpiración, la productividad del agua se incrementa y por consiguiente se obtiene la más alta producción de tomate.

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF HUMIC SUBSTANCES, FULVICS AND A POLYMER IN THE RELATIONSHIP WATER AND YIELD OF TOMATO**

**By**

**NELLYBETH RODRÍGUEZ MARTÍNEZ**

**MASTER IN SCIENCE**

**IRRIGATION AND DRAINAGE**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, May 2002**

**MC Luis Edmundo Ramirez Ramos- Advisor-**

**Key words:** *Lycopersicon esculentum* Mill, fulvic, humic, stress, polymer, clay.

Was studied the effect of a humic acid (0.2 ml L<sup>-1</sup> of water), a fúlvic (0.2 ml L<sup>-1</sup>) and a polymer (400 ml of gel already expanded) on the tomato yield, leaf water potential, stomatal resistance, transpiration and productivity of water.

Three criteria of watering were evaluated: 100, 75 and 50 per cent of the daily evapotranspiration. The yield in the plants treated in the three criteria of watering and fulvic acids, it was superior to the controls with 14.3, 7.39 and 4.16 per cent, respectively. The water productive higher, was treating the plants with the fulvic acid and the three criteria of watering with 15, 7.38 and 4.2 per cent on the controls. The stomatic resistance it was increased when adding the fulvic acid in 78 per cent with respect to control in the criteria of watering of 50 per cent of the evapotranspiration. This same treatment produced the less transpiration. The leaf water potential less negative(-0.842 Mpa) it was registered in the plants treated with criteria of watering of 100 per cent and fulvic acid, however, in the criteria of watering of 75 and 50 per cent the less negative values (-1.110 and -1.10 Mpa respectively) was adding the polymer.

The mass dry foliage register a function line in of the decrease of the criteria of watering it was submitted to the plant.

According to the results it concludes that with the addition of fulvic acid its maintain turgence in the plant, they avoid the excessive transpiration, there is a higher water productive and consequently the highest tomato production.

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	ix
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
Origen de las sustancias húmicas .....	4
Atributos de las sustancias húmicas.....	5
Estrés hídrico.....	8
Ajuste Osmótico.....	11
Los polímeros.....	15
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	17
Localización del sitio de estudio.....	17
Producción de plántula y establecimiento del estudio.....	17
Evapotranspiración del cultivo.....	18
Método experimental.....	18
Variables fisiológicas.....	19
Variables agronómicas.....	19
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	21

VARIABLES FISIOLÓGICAS.....	21
VARIABLES AGRONÓMICAS.....	25
Variables fenológicas.....	25
Rendimiento.....	27
Relación entre resistencia estomatal, transpiración, potencial hídrico y rendimiento.....	29
<b>CONCLUSIONES</b> .....	30
<b>RESUMEN</b> .....	31
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	34
<b>APÉNDICE</b> .....	39

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
3.1	Distribución de los tratamientos aplicados a tomate en invernadero.....	20
4.1	Medias obtenidas de los tratamientos para las variables evaluadas.....	22

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
4.1	Productividad del agua en tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero..	22
4.2	Potencial hídrico en tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero...	23
4.3	Resistencia estomatal del tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero...	24
4.4	Transpiración del tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero.....	24
4.5	Masa seca de follaje en tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero...	26
4.6	Masa seca de raíz en tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero...	27
4.7	Rendimiento de tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero.....	28

## INTRODUCCIÓN

En México el tomate es la especie de hortaliza más importante por la superficie ocupada, producción obtenida, valor de la misma, captación de divisas, generación de empleos, consumo per cápita y tecnología de producción, etc.,. No obstante, es poco lo que en el país se ha generado con respecto a la tecnología de producción en sistemas intensivos. Los estados que se destacan por sus niveles de rendimiento en el ciclo otoño - invierno son Baja California Norte, Baja California Sur y Sinaloa, con promedios de 42.51, 37.19 y 30.93 Ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En conjunto estas tres entidades cubren más de 75 por ciento de la producción anual. El ciclo otoño - invierno es el de mayor producción al aportar el 57 por ciento del total nacional, mientras que el restante 43 por ciento se obtiene del ciclo primavera – verano (Contreras y Sánchez, 1997).

Con la finalidad de incrementar la eficiencia del uso del agua en la hortaliza se han realizado investigaciones desde hace varios años por especialistas en el área, de ahí la introducción de una amplia gama de técnicas de manejo del agua que han permitido mejorar su uso. Entre estas técnicas se pueden citar, el mejoramiento de los métodos de riego, que van desde coberturas plásticas para

evitar la evaporación hasta la utilización de super absorbentes o hidrogeles de origen sintético, estos polímeros o monómeros de alto peso molecular, absorben agua, difieren entre sí por el monómero específico que constituye el bloque o molécula, la cantidad de agua que absorben por gramo de materia, el tamaño de la partícula, su durabilidad y costo (Johnson y Veltkamp, 1985). Por otra parte, las sustancias húmicas, de color oscuro, ácidas, predominantemente aromáticas, hidrófilas, químicamente complejas, tal como los materiales polielectrólitos que van de rango en peso molecular de unos centenares a varios miles (Schnitzer y Khnan, 1978, Schnitzer, 1991 y Schitzer, 2000), a quienes se les atribuye las propiedades de mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención del agua, evitar la retrogradación de los cationes del suelo y desbloquear sus elementos minerales, fijan los abonos, evitan la pérdida por lixiviación, activar la flora microbiana, estimular la germinación, favorecer el desarrollo del sistema radical y facilitar la absorción de nutrientes con el aumento de la permeabilidad celular (Chen y Aviad, 1990).

La aclimatación de las plantas a los estrés involucra respuestas fisiológicas, estructurales y modificaciones morfológicas a corto y largo plazo, éstos cambios ayudan a minimizar el estrés en la planta y maximizar el uso de los recursos internos y externos (Mooney *et al.* 1991).

La escasez de agua hace patente la necesidad de explorar todas las posibilidades que nos ofrece la ciencia para asegurar una producción óptima, ante esta problemática el presente estudio pretende explicar los procesos

internos que ocurren en la planta bajo un suministro de sustancias húmicas y un polímero.

### **Objetivo**

Determinar el efecto de dos sustancias húmicas y un polímero sobre las relaciones hídricas y rendimiento del tomate.

### **Hipótesis**

Los derivados húmicos y el polímero son capaces de mantener la producción de tomate en condiciones de limitación de agua.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen de las Sustancias Húmicas

Las sustancias húmicas provienen de la degradación química y/o biológica de residuos de plantas y animales y de actividades sintetizadores de microorganismos (Kanonova, 1981). Los productos formados tienden a asociarse en estructuras químicas complejas más estables que los materiales de donde provienen (Kingman, 1973).

Aleksandrova (1994) establece que las sustancias húmicas son productos de la condensación de unidades estructurales, como los fenoles y compuestos orgánicos nitrogenados, cuya formación es catalizada por oxidación enzimática de los microorganismos. Todos los componentes de los tejidos de las plantas, incluyen los productos de su descomposición (compuestos fenólicos de lignina), productos del metabolismo de las plantas (fenoles originados de la conversión de carbohidratos por microorganismos) y los productos de su resíntesis pueden servir como fuente inicial de las estructuras de sustancias húmicas.

En general las sustancias húmicas son de color oscuro, ácidas, predominantemente aromáticas, hidrofílicas, químicamente complejas, polielectrolíticas, con un amplio rango de peso molecular, del cual va desde algunos cientos a algunos miles y por su solubilidad en álcalis o ácidos se clasifican en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas residuales (Schnitzer, 2000)

Ambos, ácidos fúlvicos y ácidos húmicos se encuentran en el suelo resultado de la degradación química y biológica de organismos muertos. La formación de esas sustancias pueden ocurrir por los cambios oxidativos de los fragmentos orgánicos, síntesis microbial o condensación química después del deterioro o de la misma digestión de la biomasa húmica.

### **Atributos de las Sustancias Húmicas**

Los ácidos húmicos y fúlvicos, son el resultado de la descomposición de residuos de origen vegetal o animal (MacCarthy *et al.*, 1990) a los cuales se les atribuyen las propiedades de, mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención del agua, evitar la retrogradación de los cationes del suelo y desbloquear sus elementos minerales, fijar los abonos al disminuir la pérdida por lixiviación, activar la flora microbiana, estimular la germinación, favorecer el desarrollo del sistema radical y facilitar la absorción de nutrientes con el aumento de la permeabilidad celular (Chen y Aviad, 1990). Además, estimulan el

crecimiento del tallo en varias plantas (Reyes, 1997) cuando se aplica con soluciones nutritivas a diversas concentraciones, provoca elongación de tallos y raíces e incrementa la absorción de hierro (Reyes, 1993 y Cuevas, 2001).

Las sustancias húmicas actúan como suministradores y reguladores de nutrientes de las plantas similarmente a los iones sintéticos intercambiables (Schnitzer y Khan, 1978) estimulan la germinación de las semillas, el crecimiento de hipocotilos y epicotilos, mayor biomasa radical y producción de raíces, la formación de raíces adventicias y las síntesis de proteínas (Schnitzer y Papst, 1978)

También poseen un efecto estimulante en el transporte hídrico de la planta. Esto fue demostrado a partir de las mediciones del total de las exudaciones producidas por las hojas y por los cortes seccionados del tallo de trigo (*Triticum aestivum*).

Los resultados de algunos experimentos indican que los ácidos fúlvicos tienen efectos ligeramente superiores a los ácidos húmicos, de aquí que las concentraciones de los materiales húmicos sean importantes y generalmente la respuesta disminuye a altas concentraciones. Los ácidos húmicos presentan ciertos efectos en la planta como el traslado de nutrimentos desde las raíces hasta la parte aérea y del exterior de las hojas hasta los sitios de acumulación, son activadores y estabilizadores de algunas enzimas. Ayudan al desarrollo

temprano de las plantas al recuperar la tensión (estrés) de transplante, mayor expansión foliar e incremento del sistema radical (Flores, 1993).

Una de las valiosas características de las sustancias húmicas es la habilidad de absorber y retener grandes cantidades de agua. En adición, los ácidos fúlvicos ayudan a la penetración del agua a las células de la planta, ya que favorecen a la captación de nutrientes, almacenamiento de agua, así como a su balance durante las condiciones de sequía, en la acumulación de azúcar soluble, por lo que previene el marchitamiento, así también, las sustancias húmicas tienen un efecto positivo sobre la capacidad de sostenimiento del agua en el suelo, permiten la reducción en el abastecimiento de agua en la membrana para las raíces de las plantas ya que es muy delgada lo que hace más fácil la liberación de las sustancias en condiciones de sequía.

Chen y Aviad (1990) mencionan que una adecuada nutrición vegetal arroja resultados positivos sobre la biomasa de la planta. La estimulación del crecimiento de la raíz es generalmente mas aparente que la del tallo. La típica respuesta muestra incrementos en el crecimiento a medida que se amplía la concentración de sustancias húmicas en la solución nutritiva, seguida por una disminución del crecimiento a concentraciones muy altas. Las aplicaciones foliares mejoran el crecimiento de la raíz y elongan la estructura foliar. Además, las sustancias húmicas pueden formar complejos con cationes metálicos, los que mejoran la absorción. Una pequeña fracción de bajo peso molecular de las sustancias

húmicas puede ser tomada por las plantas, estos componentes al parecer incrementan la permeabilidad de la membrana celular y tiene efectos similares al de las hormonas.

Flaig (1965) encontró que el efecto de las sustancias húmicas eleva la actividad de los fermentos sintetizadores, en especial endolosa y sacarosa, lo que conduce a la acumulación de carbohidratos dentro de la planta. Reyna (1996) establece que lo anterior está relacionado con la elevación de la presión osmótica de la planta, que contribuye a una mayor resistencia al marchitamiento en los periodos de sequedad en el aire. Además establece que la participación de estas sustancias húmicas activa los procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas. Señala que las dosis bajas de dichas sustancias contribuyen a la elevación de la intensidad de respiración, metabolismo y crecimiento de los organismos vegetales.

En un estudio en papa y rábano, Isaki (1995) donde aplicó ácidos húmicos comerciales y fertilizantes químicos sintéticos, encontró que los primeros repercutieron en el rendimiento.

### **Estrés Hídrico**

Un estrés es cualquier factor que limite el crecimiento de las plantas (Grime, 1977) lo cual implica que la aclimatación de éstas al estrés involucra respuestas

fisiológicas estructurales y modificaciones morfológicas a corto y a largo plazo, estos cambios ayudan a minimizar el estrés en la planta y maximizar el uso de los recursos internos y externos (Mooney *et al.*, 1991). Levitt (1974) utilizó el término estrés para describir cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos. El término estrés hídrico expresa la disminución de la energía libre del agua (potencial hídrico) debido a la reducción en el contenido de agua en los tejidos, afectando los procesos fisiológicos de las plantas, mientras que Kramer y Duke (1974) lo definen como aquellas deficiencias de humedad en el medio de la planta que reducen su crecimiento al modificar los procesos fisiológicos y las condiciones que controlan su crecimiento.

Barr (1968) señala que el déficit de agua que ocurre en el tejido vegetal, es un término indicativo de que el contenido de agua en la planta ha caído por debajo de un valor óptimo y causa un grado de perturbación metabólica, Hsiao (1973) cuantificó rangos de deficiencia hídrica en los tejidos vegetales: a) déficit medio: potencial en solo unos cuantos bars, b) déficit moderado: hasta 12 a 15 bars, y c) déficit severo: potencial mayor de  $-15$  bares.

En la relación agua-suelo-planta-atmósfera, el crecimiento de las plantas es controlado directamente por el déficit hídrico y sólo indirectamente por el déficit hídrico del suelo y el estrés atmosférico (Ritchie, 1974). El potencial hídrico es de las medidas más útiles del estado hídrico en la planta (Art, 1985).

Slayter (1969) señala que el movimiento del agua hacia la planta es el resultado de un gradiente de energía. Si el potencial hídrico total en la planta disminuye, generalmente origina un déficit hídrico, o bien, si hay una elevada demanda atmosférica, también puede producirse estrés hídrico en la planta.

Slayter (1967), Kramer (1974), Salisbury y Ross (1978) mencionaron como el estrés hídrico se desarrolla debido a que los déficits hídricos en la planta son causados por la remoción del agua del tejido de la misma para compensar la diferencia entre pérdida de absorción de agua y son eliminados durante la noche, cuando la absorción de agua excede la pérdida. Sin embargo, a medida que se agota la humedad del suelo la absorción se torna más lenta y el déficit hídrico aumenta hasta que finalmente ocurre el marchitamiento permanente.

Las plantas desarrollan mecanismos que les ayudan a resistir los déficits hídricos que se presentan en su ciclo de vida. Una de las definiciones más aceptadas para la sequía es la propuesta por Kumar (1980) que menciona que la sequía es un estrés ambiental de suficiente duración, para producir un déficit o estrés de agua en la planta el cual causa disturbios en los procesos fisiológicos.

Fischer (1978) determinó que a falta de agua habrá una importante fuerza de selectividad en la evolución de la planta y la habilidad para arreglárselas con déficits de agua será un importante determinante de la distribución natural de

plantas y de distribución y productividad de los cultivos.

Las respuestas metabólicas de las plantas por déficits hídricos pueden ser observados en dos diferentes direcciones: como trastornos que son originados por daños de inducción del estrés en sitios vulnerables del metabolismo, o como cambios potencialmente adaptativos que se reflejan ordenando operaciones de mecanismos metabólicos regulatorios y que favorecen el rendimiento de la planta durante o después del estrés.

Generalmente, todas las plantas se ven sujetas a algún grado de estrés hídrico durante su ciclo vegetativo. Aún aquellas que crecen en suelos húmedos (suelos a capacidad de campo), donde se crean déficits moderados de agua en días calurosos. Este déficit ocurre porque el equilibrio interno y el grado de estrés hídrico dependen de la relación entre la absorción y la pérdida de agua. Los factores que controlan las tasas de estos procesos no están perfectamente sincronizados, ya que siempre existe un desbalance entre la absorción de agua por las raíces y la transpiración de las plantas, que es debido a la alta resistencia que se oponen al movimiento del agua a través de éstas (Kumar, 1980).

### **Ajuste Osmótico**

El ajuste osmótico durante el estrés hídrico es considerado como un fenómeno de todas las relaciones hídricas de la planta, debe ser basado en los

cambios metabólicos celulares asociados con la acumulación de solutos orgánicos y con el incremento y mantenimiento de gradientes de iones celulares, así como la translocación dentro de la planta (Raven, 1976 y Begg y Turner, 1976) consideran que la respuesta de los cultivos al ajuste osmótico, debería ser considerado como el más importante mecanismo de tolerancia.

La osmorregulación es provocada por mecanismos hormonales y la reducción del potencial osmótico (Villarreal y Larqué-Saavedra, 1983). Taylor *et al.* (1982) mencionan que esto puede ocurrir por una acumulación de solutos en las células, siendo que estos solutos pueden originarse por producción interna y absorción de solutos o bien por translocación de solutos que estén presentes en la planta. Así, la tasa de cambio en el potencial de turgencia por unidad de cambio en el potencial de agua en la hoja es un indicador de la capacidad de ajuste osmótico (Ackerson *et al.*, 1979).

Turner (1980) ejemplifica que durante un estrés hídrico prolongado quizás el ajuste osmótico esta satisfaciendo las principales actividades que involucran el mantenimiento de la turgencia y de ambos gradientes entre la planta y el suelo que son requeridos para la extracción de agua. La respuesta metabólica de las plantas por déficit hídrico puede ser observado en dos formas diferentes: como trastornos que son originados por lesiones de inducción de estrés en las partes vulnerables del metabolismo, o como cambios potencialmente adaptativos que se reflejan ordenando mecanismos de operación reguladores del metabolismo y que favorecen el rendimiento de la planta durante todo el período o después del

estrés.

Hanson y Hitz (1982) afirman que la falta de agua ha sido la mayor fuerza selectiva en la evaluación en las plantas y la habilidad para contener los déficit de agua, lo cual es una determinación importante de la distribución natural de las plantas y de la distribución de los cultivos en la productividad. Acorde a conocimientos de los mecanismos que confirman adaptación al medio ambiente con sequía se han obtenido valores teóricos y prácticos. La adaptación de las plantas a ese medio ambiente puede ser expresado en cuatro niveles: fenológico o desarrollo morfológico, fisiológico y metabólico. De estos niveles las adaptaciones metabólicas y bioquímicas al medio ambiente de sequía son los menos conocidos y entendibles, de cualquier manera los datos bioquímicos comparativos para otros estrés y otros eucariontes indican que existen. Aún más, algunas adaptaciones de los niveles bioquímicos de los animales al medio ambiente de estrés son respuestas que concurren demasiado lento, solamente se hace si otras adaptaciones son imposibles o no son efectivas.

Kramer (1974) mencionó que la reducción de la turgencia causa un descenso del agrandamiento de la célula, la cual a su vez reduce el alargamiento del vástago, de la raíz y el agrandamiento de la hoja. También interfiere con otros procesos dependientes de la turgencia celular, por ejemplo la apertura de los estomas. La mayor parte de los efectos de la tensión hídrica, quizá puedan atribuirse a la deshidratación del protoplasma. Al retirarse parte

del agua que circunda a las moléculas de proteína, se pueden provocar cambios de configuración que afectan a la permeabilidad, la hidratación, la viscosidad y la actividad enzimática.

La tensión hídrica puede reducir la fotosíntesis al disminuir la superficie foliar, cerrará los estomas y minimizará la actividad de la maquinaria protoplasmática deshidratada. Algunos investigadores afirman que el efecto más grave de la sequía consiste en reducir la superficie fotosintetizadora y la producción de materia seca. La gran reducción de fotosíntesis por unidad de superficie foliar que se produce en las plantas sometidas a tensión hídrica suele atribuirse al cierre de los estomas. Esta opinión se encuentra respaldada en el hecho de que la transpiración y la fotosíntesis se reducen a menudo más o menos en el mismo grado. Sin embargo como lo señala Slayter (1967) y otros, se supone que hay una resistencia mesofílica adicional en el camino del bióxido de carbono, de modo que un grado dado de cierre de los estomas debería de reducir la transpiración más que la absorción de bióxido de carbono.

Otro mecanismo que también se presenta es cuando las plantas alteran sus relaciones hídricas internas como el potencial de solutos que se hace más negativo produciendo un gradiente de concentración con la acumulación de sales, presentándose el punto a plasmolisis a diferentes valores de contenido relativo de agua (CRA), dependiendo en la forma en que se presente el déficit (Jones y Turner, 1978, Cutler *et al.*, 1980 y Bolaños y Longstreht, 1984). Cuando existe un

déficit hídrico se origina una tensión y compresión en las membranas que provocan un mecanismo sensible a turgencia evitando afectar los procesos internos durante la sequía (Zimmerman *et al.*, 1976 y Hsiao *et al.*, 1984).

La relación entre resistencia a la difusión estomatal y la transpiración fueron medidas cada hora en un cultivo de frijol de soya en una etapa de experimentación bajo condiciones de estrés, se obtuvieron diferencias significativamente altas, que muestran un decremento sustancial en la tasa de transpiración a medida que se incrementó la resistencia, aun a diferentes rangos de radiación (Barrs, 1971).

### **Los Polímeros**

Los hidrogeles son polímeros hidrofílicos de alto peso molecular que pueden ser sintetizados de una variedad de monómeros. La composición química de estos polímeros hidrofílicos incluye: acrilamida vía entrecruzada, poliacrilatos de sodio, almidones, copolímeros de acrilato y acrilamida (Tess y Poehlin, 1985)

Lishtuan *et al.* (1986) reportaron que el incremento en el contenido de humedad influye sobre la periodicidad del riego, alargando los intervalos de riego, además de que no afecta la actividad biológica del suelo. Wallace y Collete (1984) reportaron que el hidrogel interviene directamente en la nutrición

de las plantas puesto que existe un mejor intercambio iónico suelo-planta, esto fue comprobado al analizar plantas de tomate que se desarrollaron en medios que contenían gel y se encontró que las plantas presentaron mejor composición nutricional.

Jonson y Veltkmap (1985) reportaron que la mayoría de los polímeros específicos para la industria hortícola son fabricados al considerar los siguientes criterios: incremento en la capacidad de retención, en la porosidad del suelo, en la proporción de sobrevivencia en el trasplante, en el porcentaje de germinación, la disminución del efecto de la compactación del suelo en el crecimiento de las plantas. Además, el autor señala que es sustituido sodio por potasio, y se degradan al perder de 10 a 15 por ciento de su actividad cada año. La degradación de los hidrogeles se debe a la acción de microorganismos, así como la modificación de la estructura física con el tiempo y a la descomposición química.

Rodríguez y Jasso (1996) al analizar un estudio en tomate donde se evaluaron cuatro dosis de hidrogel en función de tres regímenes de riego, encontraron que el incremento en el contenido de humedad a capacidad de recipiente y porosidad, fueron para la mayor dosis de hidrogel, sin embargo, determinaron que la retención real no fue igual a la teórica, al retener solo un tercio del valor teórico. El rendimiento presentó diferencias altamente significativas entre intervalos de riego, no así entre las dosis de hidrogel ni para la interacción intervalo-dosis.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización del Sitio de Estudio**

El estudio se realizó durante los meses de diciembre del 2000 a Junio del 2001 en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", en Buenavista, Saltillo, Coahuila, localizado a 25° 12' 36" de latitud Norte y 100° 47' 1" de longitud Oeste y a una Altitud de 1742 msnm.

### **Producción de Plántula y Establecimiento del Estudio**

El cultivo de tomate fue el híbrido "Río Grande", el cual es de hábito de crecimiento determinado. Las plántulas fueron producidas en charolas germinadoras de unicel de 200 cavidades, como sustrato se utilizó Peat Moss y se trasplantaron cuando presentaron cuatro hojas verdaderas, en macetas con 20 Kg de suelo migajón-arenoso (arcilla 16, limo 30 y arena 54 por ciento) cada una, con un contenido de materia orgánica de 1.94 por ciento, pH de 8.22 medianamente alcalino, carbonatos totales de 18.6 por ciento (volumetría) y una densidad aparente de 1.71 gr cm<sup>3</sup> (método de parafina).

Los tratamientos fueron: 0.2 ml de ácido fúlvico y un húmico por L<sup>-1</sup> de agua, provenientes del mineral fósil denominado leonardita, ya comerciales, con una concentración de 25 y 12 por ciento, respectivamente y el polímero Soilfix IR, a razón de cuatro gramos por maceta (400 ml de gel expandido) y tres niveles de humedad (Cuadro 1). El polímero fue adicionado al suelo al momento del transplante.

### **Evapotranspiración del Cultivo**

La aplicación del riego se realizó diariamente basándose en un Tanque Evaporímetro Tipo "A", construido con un molde de aluminio de 34 cm de diámetro, la evapotranspiración se estimó con la evaporación obtenida del tanque evaporímetro y el coeficiente por desarrollo de cultivo (Kc) (Palacios, 1999).

### **Método Experimental**

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3 X 4 y 10 repeticiones, donde el factor A fueron los compuestos y factor B los niveles de humedad y una comparación de medias (Tukey  $P \leq 0.01$ ).

## **Variables Fisiológicas**

Las Variables de respuesta medidas fueron: transpiración ( $\mu\text{mols}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ), resistencia ( $\text{seg cm}^{-1}$ ), para lo cual se uso el Porómetro (Steady State Porometer modelo LI-600 manufacturado por LI-COR, inc.); el potencial hídrico (Mpa) fue medido con la Cámara de Scholander (Soil Moisture Equipement Corp. Plant Water Status Console Model 3000). Estas variables fueron evaluadas por medio de dos muestreos en el ciclo del cultivo en las hojas superiores de la planta en etapas de desarrollo y floración, las mediciones fueron hechas al medio día solar. Así mismo, la productividad del agua (PA), la masa seca de follaje ( $\text{g planta}^{-1}$ ) y la masa seca de raíz se determinaron después de secar las muestras durante 72 horas en la estufa a  $80^\circ \text{C}$ .

## **Variables Agronómicas**

En relación a los componentes de rendimiento total por planta ( $\text{Kg. Planta}^{-1}$ ) este fué determinando mediante el promedio de 8 cortes durante el ciclo de producción del cultivo. En el presente estudio no se evaluaron parámetros de rendimiento de exportación, nacional o rezaga, por no ser éste el objetivo.

Cuadro 3.1.- Distribución de los tratamientos aplicados a tomate en invernadero.

Numero	Tratamiento (Dosis L <sup>-1</sup> )**	Criterios de riego (% de agua evaporada)
1	0	100
2	4 gr. Polímero*	100
3	0.2 ml de AF	100
4	0.2 ml de AH	100
5	0	75
6	4 gr. Polímero *	75
7	0.2 ml de AF	75
8	0.2 ml de AH	75
9	0	50
10	4 gr. Polímero *	50
11	0.2 ml de AF	50
12	0.2 ml de AH	50

\*Aplicados por maceta

\*\* Mezclados con la Solución.

AF: Ácido Fúlvico.

AH: Ácido Húmico.

Las sustancias húmicas fueron mezcladas con la solución nutritiva Hoagland's (Hoagland y Arnon, 1938), y adicionadas tres veces por semana.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables Fisiológicas

En el Cuadro 4.1 se muestra el análisis de medias de las variables analizadas. A partir de este se puede observar que la productividad del agua con el tratamiento de 0.2 ml de ácidos fúlvicos por L<sup>-1</sup> de agua con el criterio de riego del 50 por ciento fue estadísticamente superior en 4.2 por ciento con respecto al testigo (50 por ciento de agua evapotranspirada) (Figura 4.1). El mismo comportamiento se presenta en los criterios de riego del 75 y 100 por ciento, donde la productividad del agua es superior a sus testigos. Esto hace asegurar que el uso de ácidos fúlvicos ante una restricción de agua proporcionan a la planta una mejor productividad del agua, ya que aunque la planta presente déficit hídrico, como lo establece Turner (1980) la respuesta metabólica se puede manifestar en dos formas diferentes, como trastornos originados por lesiones de inducción de estrés en las partes vulnerables del metabolismo, o como cambios potencialmente adaptativos que se reflejan ordenando mecanismos de operación reguladores del metabolismo y que favorecen el rendimiento de la planta durante todo el período o después del estrés.

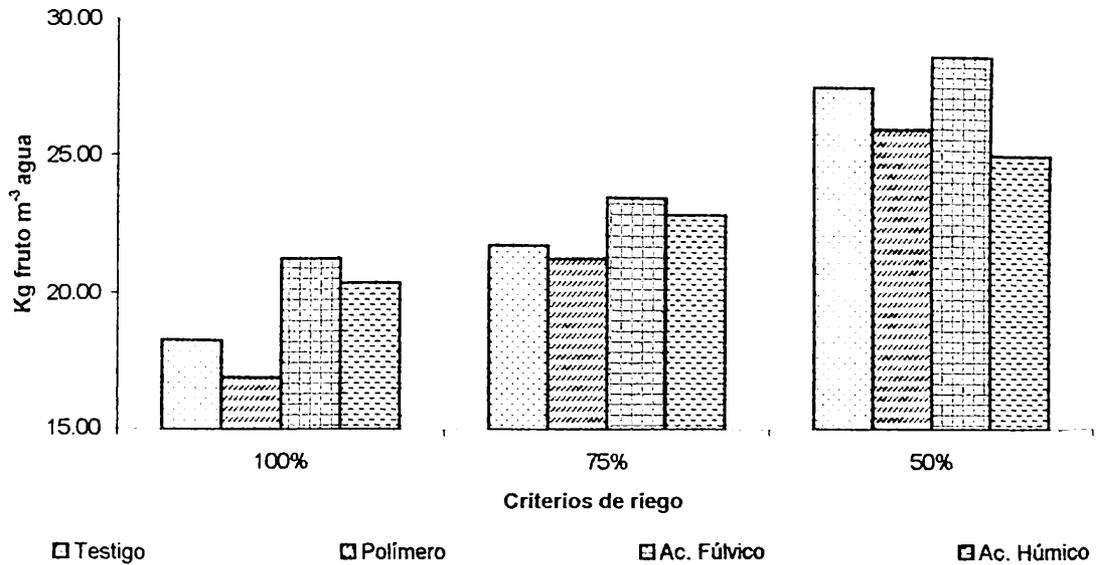


Figura 4.1.- Productividad del agua en tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero.

Cuadro 4.1.- Medias obtenidas de los tratamientos para las variables evaluadas.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO kg planta <sup>-1</sup>	PRODUCTIVIDAD DE AGUA kgm <sup>-3</sup>	MASA SECA DE FOLLAJE g planta <sup>-1</sup>	MASA SECA DE RAÍZ g planta <sup>-1</sup>	POTENCIAL HÍDRICO Mpa	RESISTENCIA ESTOMÁTICA s cm <sup>-1</sup>	TRANSPIRACIÓN μmol s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>
1 Testigo 100%	2,3780 ab	18,29 ab	96.18 ab	42.9 a	-1.645 a	1,3560 bc	11,01 ab
2 Polímero 100%	2,2020 ab	16,92 b	114.48 a	35.4 a	-0.883 d	1,6020 bc	10,48 ab
3 Ac. Fúlvico 100%	2,7760 a	21,34 ab	109.13 a	36.2 a	-0.842 d	2,2160 bc	7,93 bc
4 Ac. Húmico 100%	2,5680 ab	20,44 ab	92.4 ab	42.1 a	-1.044 cd	0,8920 c	13,10 ab
5 Testigo 75%	2,1280 ab	21,81 ab	87.12 ab	39.7 a	-1.273 abcd	0,6890 c	18,28 a
6 Polímero 75%	2,0820 ab	21,34 ab	84.8 ab	38.4 a	-1.110 bcd	2,044 bc	9,56 bc
7 Ac. Fúlvico 75%	2,2980 ab	23,55 ab	84.3 ab	31.4 a	-1.226 abcd	1,9620 bc	7,18 bc
8 Ac. Húmico 75%	2,2360 ab	22,93 ab	94.16 ab	33.3 a	-1.301 abcd	1,6550 bc	11,47 ab
9 Testigo 50%	1,7960 ab	27,58 ab	64.73 b	31.9 a	-1.473 abc	2,0250 bc	7,90 bc
10 Polímero 50%	1,6960 b	26,03 ab	79.54 ab	39.4 a	-1.100 bcd	4,592 b	5,08 bc
11 Ac. Fúlvico 50%	1,8740 ab	28,79 a	84.13 ab	42.5 a	-1.286 abcd	9,168 a	2,12 c
12 Ac. Húmico 50%	1,6340 b	25,10 ab	76.73 ab	39.7 a	-1.516 ab	3,46 bc	7,33 bc

Medias con la misma letra son iguales según Tukey ( $P \leq 0.01$ )

El potencial hídrico fue inferior (-0.842 Mpa) al adicionar 0.2 ml de ácido fúlvico con el 100 por ciento de humedad (Figura 4.2), sin embargo, en el criterio de riego del 75 por ciento el valor menos negativo es para el tratado con la dosis de 4 gramos de polímero (-1.110 Mpa), registrando la misma tendencia para el criterio de riego del 50 por ciento con un valor de -1.10 Mpa.

Al aplicar 0.2 ml de ácidos fúlvicos en el criterio de riego del 50 por ciento la resistencia estomática fue estadísticamente superior al testigo en un 78 por ciento (Figura 4.3) . Para la transpiración se tiene que el tratamiento con 0.2 ml de ácidos fúlvicos en el criterio de riego del 50 por ciento fue inferior a su testigo en un 73 por ciento (Figura 4.4). Esta relación es de tipo inverso al obtenido por la resistencia estomática, lo que resulta lógico por ser de esta naturaleza su relación.

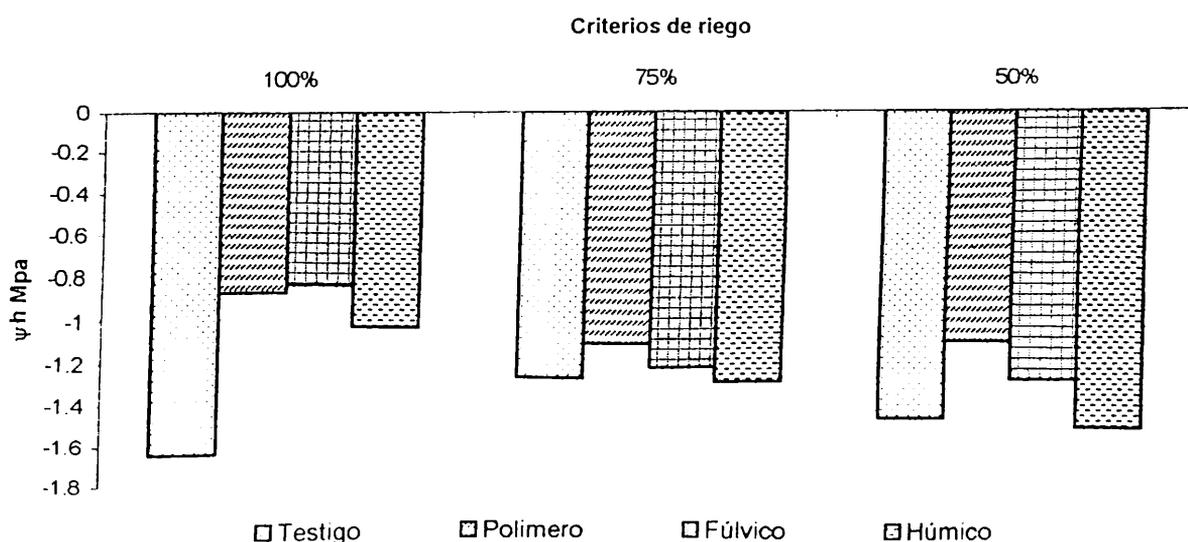


Figura 4.2.- Potencial Hídrico en tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero.

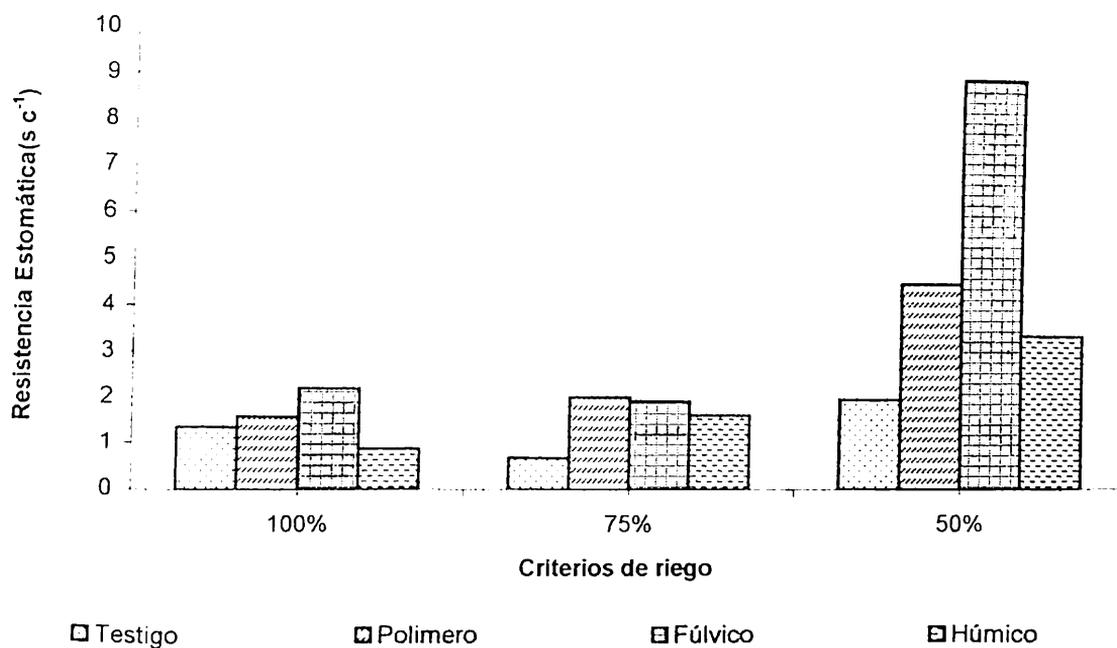


Figura 4.3.- Resistencia estomatal del tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero.

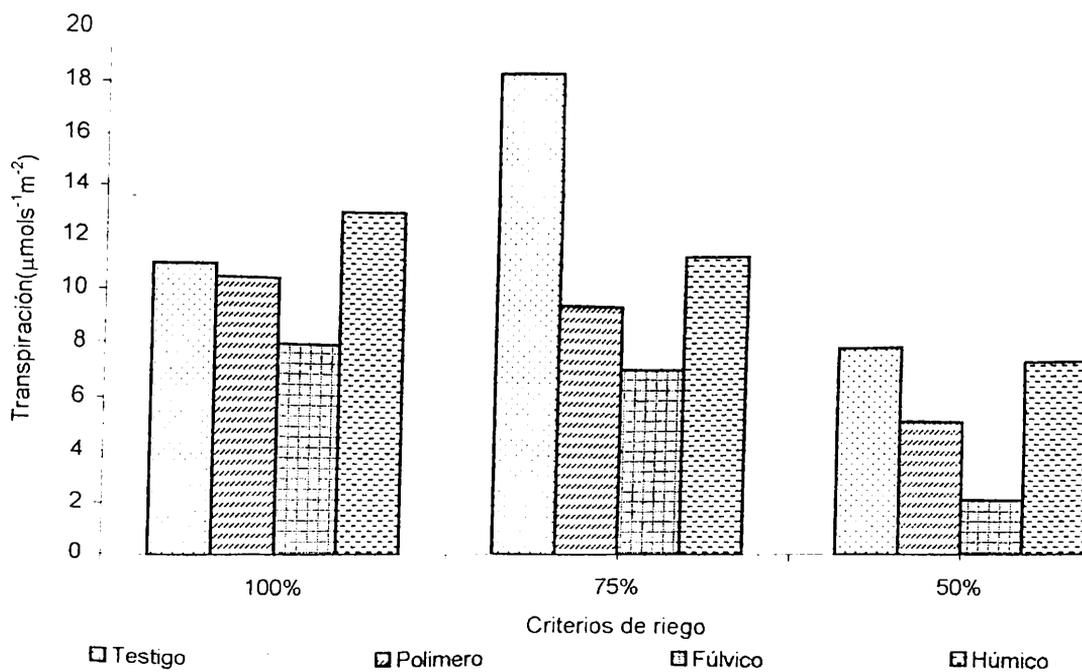


Figura 4.4.- Transpiración de tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero.

## Variables Agronómicas

### Variables Fenológicas

En el Cuadro 4.1 los valores en cuanto a la masa seca de follaje (Figura 4.5) se refiere, decrecen de acuerdo al criterio de riego utilizado. En el criterio de riego de 100 por ciento las plantas tratadas con 4 gramos de polímero, registran valores de 114.48 g lo cual supera al testigo (96.16 g) en un 16 por ciento, sin embargo, en el criterio de riego del 75 por ciento aunque son estadísticamente iguales, la menor producción de masa seca es para el tratamiento de 0.2 ml L<sup>-1</sup> de ácidos fúlvicos con 84.3 g, esto con respecto al testigo (87.12), cabe mencionar que las plantas tratadas con estas dosis registran la mayor productividad de agua, esto podría indicar que los ácidos fúlvicos canalizan su efecto a la producción de fruto y el efecto del polímero es mas enfocado a la producción de follaje ya que este presenta valores altos (114.48 g de masa seca) en presencia del criterio de riego de 100 por ciento pero no el más alto rendimiento (2.20 kg), el efecto del polímero en este trabajo puede ser atribuido a lo encontrado por Rodríguez y Jasso (1996) donde la retención real no fue igual a la teórica establecida por el fabricante, al retener solo un tercio del valor teórico.

En el mismo cuadro, los valores de las medias para la masa seca de raíz (Figura 4.6) aunque son estadísticamente iguales, las sustancias húmicas como lo menciona Schnitzer y Khan (1978) actúan como suministradores y reguladores de

nutrientes de las plantas similarmente a los iones sintéticos intercambiables, estimulan la germinación de las semillas, el crecimiento de hipocotilos y epicotilos, mayor biomasa radical y producción y formación de raíces adventicias y la síntesis de proteínas (Schnitzer y Papst, 1978) el mayor efecto se observa en el criterio de riego del 50 por ciento, donde la dosis de  $2\text{ml l}^{-1}$  de ácidos fúlvicos y húmicos obtienen el mas alto valor de masa seca de raíz (42.5 y 39.7 g) produciendo aún mas que el testigo de su mismo criterio de riego (31.9 g).

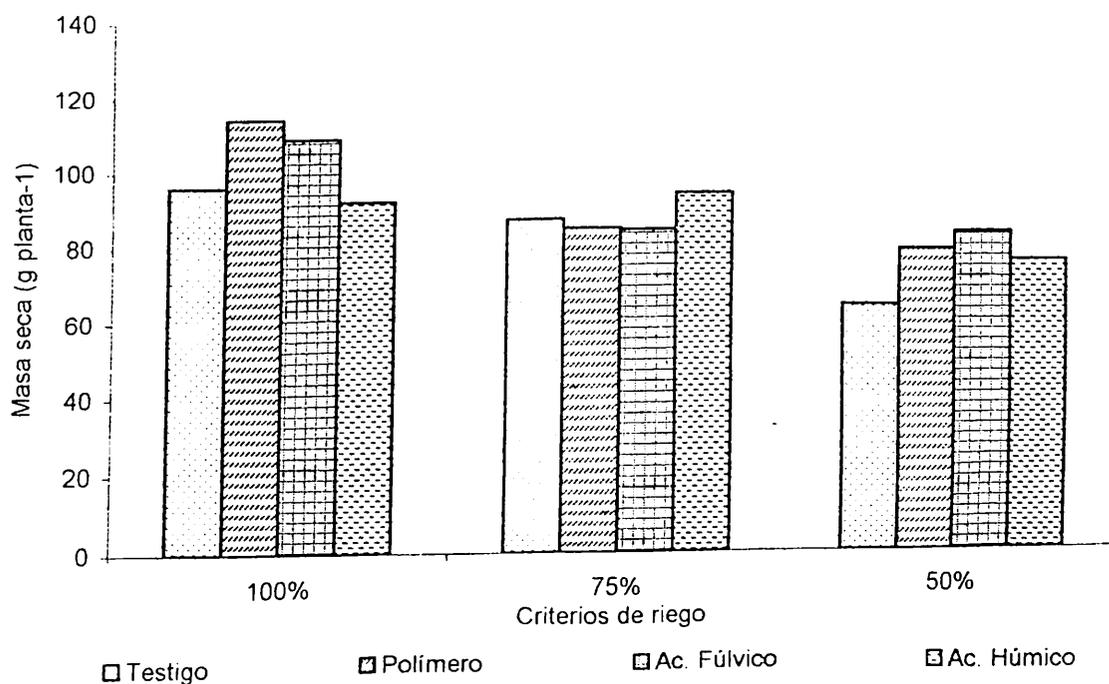


Figura 4.5.- Masa seca de follaje en tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero.

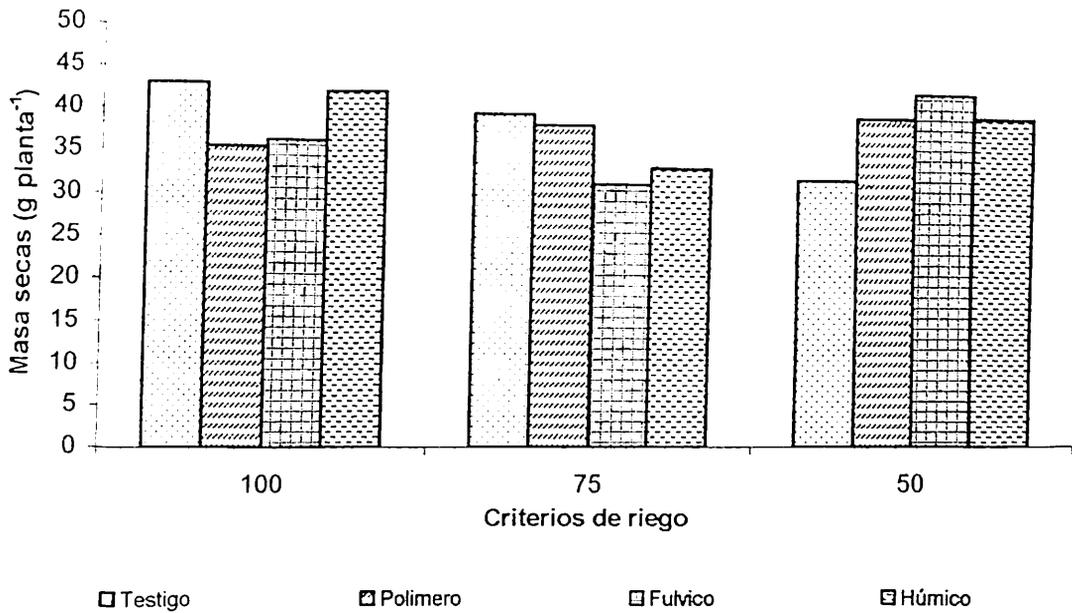


Figura 4.6.- Masa seca de raíz en tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero.

## Rendimiento

Por lo que al rendimiento se refiere, el mismo cuadro manifiesta que 0.2 ml L<sup>-1</sup> de agua de ácidos fúlvicos con el criterio de riego del 100 por ciento es superior a su testigo en un 14.3 por ciento (Figura 4.7). Cabe mencionar que para todos los criterios de riego conjuntados con ácidos fúlvicos a razón de 0.2 ml L<sup>-1</sup> los rendimientos fueron superiores en comparación a sus propios testigos con 0.398, 0.170 y 0.078 kg planta<sup>-1</sup>. Con la utilización de 0.2 ml L<sup>-1</sup> de ácidos húmicos en los criterios de riego de 100 y 75 por ciento se obtienen rendimientos de 2.56 y 2.23 kg respectivamente, esta tendencia se pierde al someter a las plantas a un criterio de riego del 50 por ciento, atribuyendo esto a que la efectividad de los ácidos húmicos se minimiza en condiciones de déficit

de agua.

Las plantas tratadas con 4 gramos de polímero, registran valores de rendimiento de 7.40 y 2.25 por ciento por debajo de sus testigos del 100 y 75 del porcentaje de agua evapotranspirada, este comportamiento puede ser atribuido a resultados similares encontrados por Rodríguez y Jasso (1996), donde al analizar un estudio en tomate donde se evaluaron cuatro dosis de hidrogel en función de tres regímenes de riego encontraron que el incremento en el contenido de humedad fue para la mayor dosis de hidrogel, sin embargo, determinaron que la retención real no fue igual a la teórica, al retener solo un tercio del valor teórico.

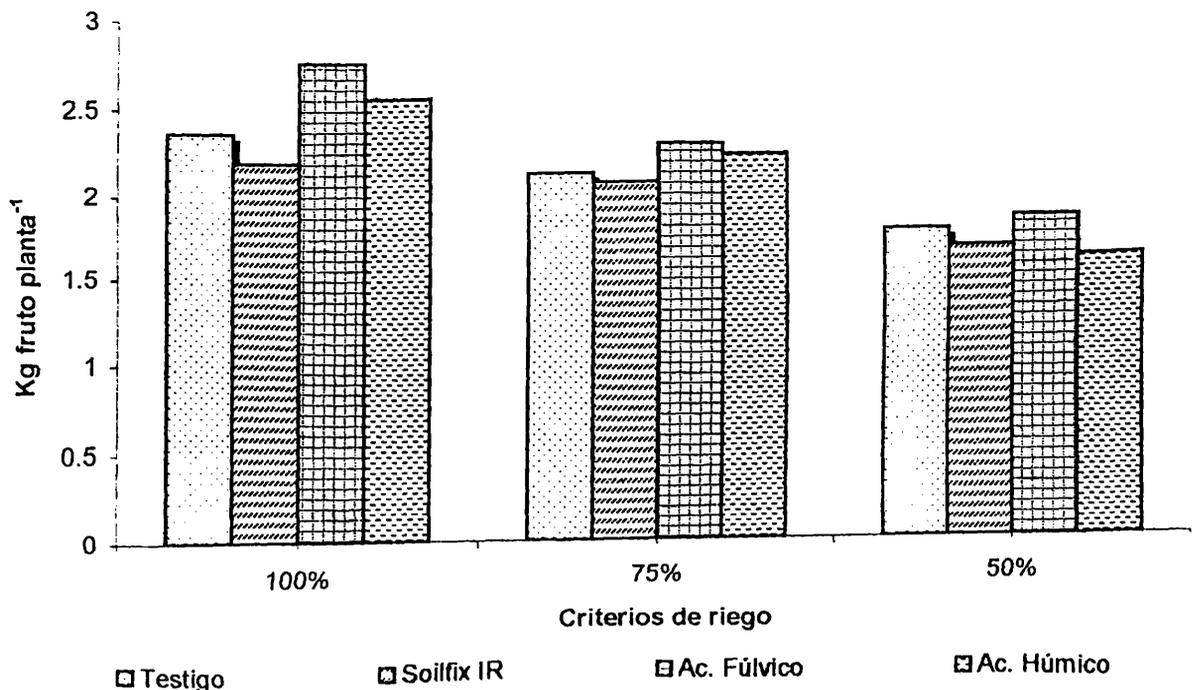


Figura 4.7.- Rendimiento de tomate al adicionar dos sustancias húmicas, un polímero y tres criterios de riego en invernadero

## Relación entre Resistencia Estomatal, Transpiración, Potencial Hídrico y Rendimiento

El incremento de la resistencia estomatal en las plantas tratadas con ácidos fúlvicos y la localización en estos mismos de los más bajos valores de transpiración, sin afectar con esto los procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas, aunado a la presencia de valores de potencial hídrico más negativos en niveles de humedad restringida, y la obtención de mayores rendimientos en comparación a su testigo, podría sugerir que ante un estrés prolongado quizá el ajuste osmótico este satisfaciendo las principales actividades que involucra el mantenimiento de la turgencia y de ambos gradientes entre la planta y el suelo requeridos para la extracción de agua (Turner, 1980) basando este ajuste a cambios metabólicos celulares asociados con la acumulación de solutos orgánicos y con el incremento y mantenimiento de gradientes de iones celulares, así como la translocación dentro de la planta, Raven (1976) y Begg y Turner (1976). Lo anterior establece que la adición de ácidos fúlvicos generan mecanismos que propician turgencia a la planta, favorecen mayores rendimientos y una mayor productividad del agua.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis derivados de las variables evaluadas se concluye que:

Al adicionar ácidos fúlvicos se evita la excesiva transpiración, propiciando el cierre estomático, a pesar de esto, los procesos fisiológicos de la planta no son afectados. Lo anterior quizá por mecanismos osmorregulativos.

El polímero propició menos estrés, pero no favoreció altos rendimientos, canalizando su condición hacia la producción de follaje y raíz.

Al adicionar ácidos fúlvicos se propició una mayor productividad del agua y mayores rendimientos en todos los criterios de riego utilizados.

## RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar las relaciones hídricas del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) con adición de sustancia húmicas y un polímero y su influencia en el rendimiento, desde el punto de vista relación agua, suelo y planta. El trabajo se desarrolló en el área experimental del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Latitud Norte 25° 12' 36" y Longitud Oeste 100° 47' 1" y 1743 msnm) bajo condiciones de invernadero. El genotipo utilizado fue la variedad Río Grande de hábito determinado. Las plantas producidas en charolas germinadoras flotantes de 200 cavidades y Peat Moss como sustrato, trasplantadas en macetas de plástico de 20 litros con suelo migajón arenoso (16 % de Arcilla, 30 % de Limo y 54 % de Arena) cada una con un contenido de materia orgánica de 1.94%, pH de 8.22 y densidad aparente de 1.71 gr cm<sup>-3</sup>. Se aplicó ácidos fúlvicos y húmicos conocidos en forma comercial como K-tionic y Humitrón, respectivamente, en dosis de 0.2 ml L<sup>-1</sup> de agua, provenientes del mineral fósil denominado leonardita con una concentración de 25% y 12% respectivamente y el polímero Soilfix IR, a razón de 4 g. La fertilización fue a través de la solución Hoagland's en forma

completa aplicada tres veces por semana incorporando las sustancias húmicas simultáneamente. La aplicación del riego se realizó diariamente basándose en un Tanque Evaporímetro Tipo "A". Se calculó la Evapotranspiración con el registro de la evaporación y el coeficiente por desarrollo de cultivo ( $K_c$ ). Cada tratamiento estuvo conformado de 10 plantas y tres criterios de riego (100, 75 y 50% del agua evapotranspirada) conformando un total de 120 unidades experimentales evaluados bajo un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 3 X 4 y la prueba de medias (Tukey,  $P \leq 0.01$ ). Las variables fisiológicas evaluadas fueron: productividad del agua, potencial hídrico de la planta, transpiración, resistencia estomática. Las variables agronómicas: masa seca de follaje, masa seca de raíz y rendimiento.

En todos los criterios de riego las plantas tratadas con  $0.2 \text{ ml L}^{-1}$  de ácidos fúlvicos generaron mas rendimiento y productividad del agua dándose esta concordancia por tener estos parámetros una relación directamente proporcional. En general la masa seca de follaje se ve minimizada al exponer a la planta a los diferentes criterios de riego. Los ácidos fúlvicos en el criterio de riego de 50% propician un mayor crecimiento radicular. La transpiración en los tratamientos adicionados con ácidos fúlvicos, registraron valores de transpiración mas bajos que el testigo guardando una relación inversamente proporcional con la resistencia estomática, mecanismo que la planta activa para no perder grandes cantidades de agua, sin embargo, este mecanismo se llevo a cabo sin afectar los procesos fisiológicos y fenológicos de la planta. Los valores de potencial hídrico reflejan que las plantas tratadas con  $0.2 \text{ ml L}^{-1}$  de ácidos

fúlvicos y el polímero obtienen los valores menos negativos, sin embargo, aunque existe teóricamente menos estrés, solo las plantas tratadas con ácidos fúlvicos canalizaron esta condición a la producción de fruto, no así el polímero.

Con lo anterior se concluye que: 1) Al adicionar ácidos fúlvicos se evita la excesiva transpiración, propiciando el cierre estomático, sin afectar con esto procesos fisiológicos y fenológicos propios de la planta, lo anterior quizá por mecanismos osmorregulativos. 2). El polímero propició menos estrés, pero no favoreció altos rendimientos, canalizando su condición hacia la producción de follaje y raíz. 3) Al adicionar ácidos fúlvicos se propició una mayor productividad del agua y mayores rendimientos en todos los criterios de riego utilizados.

## LITERATURA CITADA

- Ackerson, R.C., D.R. Krieg and F.J.M. Sung. 1979. Leaf Conductance and Osmoregulation of field grown sorghum genotypes. *Crop. Sci.* 20:10-14.
- Aleksandrova, I. V. 1994. Interactions of structural units and the strength of their fixation in molecules of humic-like substances. *Eurasian Soil Science*, 26 (2): 35-43.
- Art, S. L. 1985. Techniques for measuring plant water. *Hort Science*. 20:1021-1028.
- Barrs, H. D. 1971. Cyclic Variations in Stomatal Aperture, Transpiration and Leaf Water Potential under Constant Environmental Conditions. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 22:223-236.
- Barr, H. H. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. In water deficits and plant growth. T. T. Kozlowski. Academic Press. New York. USA. 1: 235 – 250 P.
- Begg, J. E. and N. C. Turner. 1976. Crop water deficits. *Adv. Agron.* 28: 161 – 217 P.
- Bolaños, A. J. And D.J. Longstreth, 1984. Salinity effects on water potential components and bulk elastic modulus of *Alternanthera piloxeroides* Mart. Griseb. *Plant Physiol.* 75:281-284.
- Chen, Y and Aviad, 1990. Effects of humic substances on plant growth; contribution from seagram center of soil and water sciences. In "humic substances in soil crop sciences: Selected readings", MacCarthy, C. E.; R. L. Clapp; Malcon and P.R. Bloom (eds) *Sci.* 1990. Soc. Am. Inc., Madison Wisconsin, U.S.A. p 161-182.
- Contreras, M. y C.F. Sánchez. Efecto de algunos reguladores del crecimiento sobre rendimiento de tomate manejado en altas densidades. *Revista Chapingo serie horticultura*. Vol. III Núm.1-1997.

- Cuevas, P. A. 2001. Control de la clorosis férrica en tomate por fulvato de fierro. Tesis Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Cutler, J. M., K.W. Shahan and P.L. Steponkus, 1980. Influence of deficits and osmotic adjustment in rice. *Crop. Sci.* 20:314-318.
- Fischer, Z. A. and M.C. Turner, 1978. Plant Productivity in the arid and semiarid zones. *Ann rev. Plant Physiol.* 29:277-317.
- Flaig, W. 1965. Effect of lignin degradation products on plant growth , isotopes and radiation in soil-plant nutrition studies Intera. Atomic Energy Agency, Vina.
- Flores A. J. 1993. Evaluación de los Ácidos Húmicos (Humiplex Plus) a diferentes dosis en el desarrollo del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) V. Atlantic en la Región de Galeana, N. L. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Grime, J.P. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Am. Nat* 111:1169-1194.
- Hanson, A. E. and W. D. Hitz. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant Physiology* 44: 261 – 267 P.
- Hoagland, D.R. And D.I. Arnon. 1938. The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil. To circulate number 347 of the University of California Agricultural Experiment Station.
- Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiology.* 24: 519 – 570 P.
- Hsiao, T.C. J.C. O'Toole, E.B. Yambau and N.C. Turner, 1984. Influence of Osmotic Adjustment on Leaf Rolling and Tissue Death in Rice (*Oriza sativa* L.), *Plant Physiol.* 75: 338-341.
- Isaki, H. 1995. Efecto de las sustancias húmicas en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L) y rábano (*Rhapanus sativus*). Tesis Maestría. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. P 8-20, 56-58.

- Johnson, M. S. And Veltkmap. 1985. Degradation of water-absorbing polymers used as Soil ameliorants. Arab. Gulf. J. Science Res. 3(2): 745 – 750 P.
- Jones, M.U. and N.C. Turner, 1978. Osmotic adjustement in leaves of sorghum in response to water deficits. Plant Physiol. 61:122-126.
- Kanonova, M. M. 1981. Materia Orgánica del Suelo. Su Naturaleza propiedades y Métodos de Investigación. España.
- Kingman, A.R. 1973. A Review of humus and Humic Acid. Clemson University, Dept. Of horticulture, Research series No. 145. March.
- Kramer, P.J. 1974. Water relations of plants, Academic Press, N.Y.
- Kramer, P. J. and Duke J. B. 1974. Relaciones Hídricas de Suelo y Planta. Ed. Edutex. México. 1 – 7 y 393 – 443 P.
- Kumar, D. and L.L. Tieszen. 1980. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of Light and Temperature. Experimental Agriculture. 16(1):13-19
- Levitt, J. P. 1974. Responses of plant to Environmental stresses. Academic Press, Inc. New York. USA. 697 P.
- Lishtuan, I. I.; A. A. Terent'yev; A. J. Surokin; A. M. Kushir. 1986. Change in the hydro physical properties of peatbog soils after application of hydrolyzed polyacrilanitrile. Soviet Soil Science. Vol. 16 (5): 116 – 121 P.
- Mooney, H.A., W.E. Winner and E.J. Pell. 1991. Response of plants to multiple stresses. Academic Press, INC. E.U.A.
- Palacios, V. E. 1999. Manual para usuarios y técnicos del agua. Colegio de Postgraduados. México. 35 P.
- Raven, J.A. 1976. The quantitative role of dark respiratory processes in heterotrophic and pctholithotrophic plant growth. Ann Bot. 40: 587-602. R
- Reyna, B.B. 1996. Reducción de fertilizante de fondo en papa (*Solanum tuberosum* L.) al aplicar bioactivadores húmicos y fertilizantes foliares, en Arteaga, Coahuila. Tesis Maestria, programa de graduados de la UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

- Reyes L. A. 1993. Humic Acid Effect on the stomata conductance and leaf abscission on Apple cv. *Golden delicious*. *Acta Horticulturae*. ISHS: 329:253.
- Reyes L. A. 1997. Estudio Preliminar de la asociación de Ácidos Húmicos y Sulfato de Fierro en aspersiones foliares. *La investigación Edafológica en México*. P 155.
- Ritchie, J.T. 1974. Atmospheric and soil water influences on the plant water balance. *Agric. Meteorol* 14:183-198.
- Rodríguez G. R. y Jasso C. D. 1996. Efectos de Dosis de Hidrogel en el Rendimiento de Tomate Bajo Riego. *Agraria, UAAAN*.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1978. *Plant Physiology* Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont, CA. U.S.A. p 422.
- Schnizer, M 1991. Soil Organic Matter, The Next 75 years. *Soil Science*. Vol. 151 No 1. pp. 41-51.
- Schnizer, M. 2000. *Advances in agronomy*. Academic Press. Pp 5
- Schnizer, M. and S. U. Khan. 1978. Humic substances: Chemistry and reactions. In "Soil Organic Matter" , pp 1-64. Elsevier, Amsterdam.
- Schnizer, M. and S. I. M. Papst. 1978. Effects of soil humic compound on root initiation. *Nature*. 213: 383-390.
- Slayter, R.A. 1969. *Plant-water relationships* third Printing Academic Press. London and New York. 135 p.
- Slayter, R.A. 1967. Some physiological aspects of internal control of leaf transpiration. *Agric. Meteorol*. 3:281-292.
- Taylor, A. G. Montes, J. E. Kirkham M. B. 1982. Osmotic Regulation in Germinating Tomato Seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(3):387-390.
- Tess, R. W. and G. W. Phoelin. 1985. *Applied polymer science*. ACS. Symp. Ser. 285. Amer. Chem. Soc. Washinton, D. C.
- Turner, N.C. 1980. Concurrent comparisons of stomatal behavior, water status, and evaporation of maize in soil at high or low water potential. *Plant Physiology*. 55:932-936.

- Villareal, M.A. y A. Larqué-Saavedra. 1983. Condicionamiento a la sequía en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Ajuste Osmótico. Agrociencias. P 7-16.
- Wallace, G. P. and C. J. Colette. 1984. Effects of hydrogel incorporation in peat lite on tomato growth and water relations. Soil Sci. Plant. ANAL. 15(7): 799 – 810 P.
- Zimmerman. U.E. Steudle and P.I., Lelkes, 1976. Turgor pressure Regulation in *Volonia utriculis*. Plant Physiol. 58:608-613.

## APÉNDICE

**PAGINA WEB CONSULTADA**

<http://www.unifieldsystems.com/humicacids.htm>.

## Cuadro A.1.- Análisis Físico-Químico de Suelo.

PH (Saturación)	8.22
Materia Orgánica (%)	1.94
Nitrógeno Total (%)	0.09
Potasio Intercambiable (Kg ha <sup>-1</sup> )	Mas de 900
Fósforo Aprovechable (Kg ha <sup>-1</sup> )	38.25
Carbonatos totales (%)	18.6
% Arcilla	16
%Limo	30
%Arena	54
Textura	Migajón Arenoso
C.E. (dS m <sup>-1</sup> )	1.411
Na (Meq l <sup>-1</sup> )	0.5
Ca (Meq l <sup>-1</sup> )	2.0
Mg (Meq l <sup>-1</sup> )	16.25
Cl (Meq l <sup>-1</sup> )	9.45
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (Meq l <sup>-1</sup> )	15.53
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (Meq l <sup>-1</sup> )	4.5
HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (Meq l <sup>-1</sup> )	7.5
D. Ap. (gr cc <sup>-1</sup> )	1.71

Análisis realizado en el Laboratorio de Calidad de Agua del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Cuadro A.2.- Lamina de agua utilizado en cada para todo el ciclo de cultivo de tomate.

TRATAMIENTO	Lamina evapotranspirada (cm)
T1	184
T2	184
T3	184
T4	184
T5	138
T6	138
T7	138
T8	138
T9	92
T10	92
T11	92
T12	92

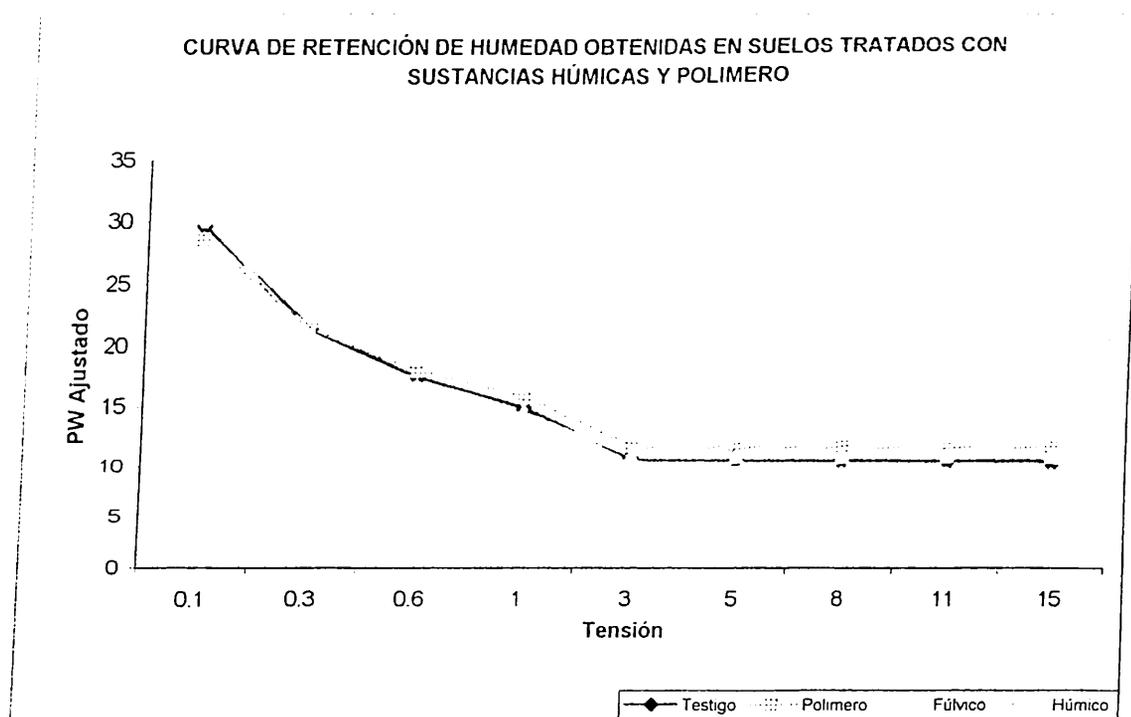


Figura A.1.- Esquema grafico de las curvas de retención de agua obtenidas en el Laboratorio de Relación Agua Suelo Planta del Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN.

Cuadro A.3.- Análisis de varianza de la variable Rendimiento en tomate.

	FV	GL	SC	CM	F	F $\alpha$
TRATAMIENTOS	11	6.640503	0.603682	3.5255	0.001	**
ERROR	48	8.219177	0.171233			
TOTAL	59	14.859680				

CV = 19.35 %

Cuadro A.4.- Análisis de varianza de la variable Potencial Hídrico en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	F $\alpha$
TRATAMIENTOS	11	3298248	299840.71	9.0225	0.000 **
ERROR	48	1595168	33232.66		
TOTAL	59	4893416			

CV = 14.88 %

Cuadro A.5.- Análisis de varianza de la variable Productividad del Agua en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	F $\alpha$
TRATAMIENTOS	11	703.578	63.9616	3.1989	0.003 **
ERROR	48	959.748	19.9941		
TOTAL	59	1663.32			

CV = 19.57 %

Cuadro A.6.- Análisis de varianza de la variable Masa Seca de Follaje en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	F $\alpha$
TRATAMIENTOS	11	10211.218	928.2926	3.6787	0.001 **
ERROR	48	12112.562	252.3450		
TOTAL	59	22323.781			

CV = 17.85 %

Cuadro A.7.- Análisis de varianza de la variable Masa Seca de Raíz en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	F $\alpha$
TRATAMIENTOS	11	905.57	82.32	0.72	0.709 NS
ERROR	48	5443.28	113.40		
TOTAL	59	6348.85			

CV = 28.19 %

Cuadro A.8.- Análisis de varianza de la variable Transpiración en tomate

FV	GL	SC	CM	F	F $\alpha$
TRATAMIENTOS	11	929.252	84.4774	8.472	0.000 **
ERROR	48	478.619	9.9712		
TOTAL	59	1407.871			

CV = 33.99 %

Cuadro A.9.- Análisis de varianza de la variable Resistencia estomática en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	F $\alpha$
TRATAMIENTOS	11	295.1428	26.8211	15.0171	0.000 **
ERROR	48	85.7617	1.7867		
TOTAL	59	380.9046			

CV = 50.66 %

Cuadro A.10.- Interacción entre factores para la variable Rendimiento en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	$F_{\alpha}$	
Tratamientos	3	0.810944	0.270315	1.5786	0.206	NS
Criterio de riego	2	5.409821	2.704910	15.7966	0.000	**
Interacción	6	0.419708	0.069951	0.4085	0.4085	NS
Error	48	8.219238	0.171234			
Total	59	14.859711				

CV = 19.35 %

Cuadro A.11.- Interacción entre factores para la variable Potencial Hídrico en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	$F_{\alpha}$	
Tratamientos	3	1648144	549381.31	16.5316	0.000	**
Criterio de riego	2	577400	288700	8.6874	0.001	**
Interacción	6	1072712	178785.32	5.3799	0.000	**
Error	48	1595144	33232.16			
Total	59	4893400				

CV = 14.88 %

Cuadro A.12.- Interacción entre factores para la variable Productividad del agua en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	$F_{\alpha}$	
Tratamientos	3	75.38476	25.128256	1.2567	0.299	Ns
Criterio de riego	2	587.28906	293.64453	14.6861	0.000	**
Interacción	6	40.90429	6.817383	0.3410	0.911	Ns
Error	48	959.74804	19.994751			
Total	59	1663.3261				

CV = 19.57 %

Cuadro A.13.- Interacción entre factores para la variable Masa seca de Follaje en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	$F_{\alpha}$	
Tratamientos	3	1042.3437	347.4479	1.3769	0.260	Ns
Criterio de riego	2	7230.8750	3615.4375	14.3274	0.000	**
Interacción	6	1937.9062	322.9843	1.2799	0.284	Ns
Error	48	12112.562	252.3450			
Total	59	22323.6875				

CV = 17.85 %

Cuadro A.14.- Interacción entre factores para la variable Masa Seca de Raíz en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	$F_{\alpha}$	
Tratamientos	3	26.1875	8.729167	0.0775	0.971	Ns
Criterio de riego	2	157.8203	78.910156	0.7009	0.505	Ns
Interacción	6	720.4531	120.075523	1.0665	0.396	Ns
Error	48	5404.257	112.588707			
Total	59	6308.7187				

CV = 28.16 %

Cuadro A.15.- Interacción entre factores para la variable Transpiración en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	$F_{\alpha}$	
Tratamientos	3	372.8940	124.29801	12.4657	0.000	**
Criterio de riego	2	416.3652	208.18261	20.8784	0.000	**
Interacción	6	139.9921	23.33203	2.3399	0.046	*
Error	48	478.6181	9.971211			
Total	59	1047.8696				

CV = 33.99 %

Cuadro A.16.- Interacción entre factores para la variable Resistencia estomática en tomate.

FV	GL	SC	CM	F	F $\alpha$	
Tratamientos	3	80.0153	26.671783	14.9245	0.000	**
Criterio de riego	2	141.7300	70.865036	39.6532	0.000	**
Interacción	6	73.38534	12.230891	6.8439	0.000	**
Error	48	85.781677	1.787118			
Total	59	380.912445				

CV = 50.66 %