

COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) A DIFERENTES
PERIODOS DE SATURACION DEL SUELO

ALBERTO GONZALEZ JIMENEZ

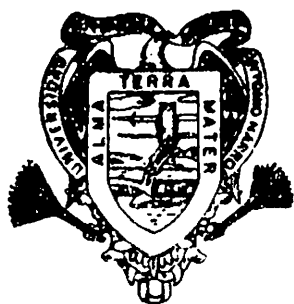
T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista. Saltillo, Coah.
ENERO DE 1997

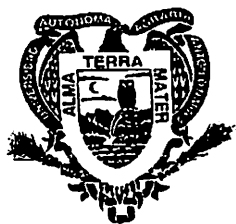
**COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL
TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) A
DIFERENTES PERIODOS DE SATURACION
DEL SUELO**

ALBERTO GONZALEZ JIMENEZ

TESIS

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

**Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro**



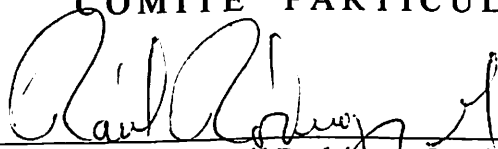
PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah.
Enero de 1997

Tesis 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**


COMITE PARTICULAR

Asesor principal:


Dr. Raúl Rodríguez García

Asesor

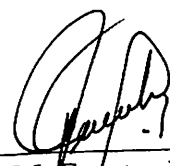
:


Dra. Diana Jasso Cantú

Asesor

:


Dr. Alfonso Reyes López


Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Enero de 1997

AGRADECIMIENTOS

En este espacio hago patente mi agradecimiento a las instituciones y personas que me brindaron su apoyo como guías y amigos durante la realización de mis estudios de postgrado.

A las instituciones del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) por el apoyo brindado para realizar los estudios de postgrado.

A mi Alma Mater por permitirme la oportunidad de poder superarme personalmente, y así alcanzar un logro más como profesionista.

A los Doctores Raúl Rodríguez García, Diana Jasso Cantú y Alfonso Reyes López por su asesoría y sugerencias, así como el apoyo brindado para lograr realizar el presente trabajo.

A la Biol. Silvia Guerrero Martínez y L. C. Ma del Socorro Mireles Vázquez, laboratoristas del laboratorio de calidad de aguas del departamento de Riego y Drenaje, por su apoyo en la realización de los análisis de agua y suelo, y a la L.C.Q. Edith Chaires Colunga, por su apoyo en la colecta de muestras de agua para la determinación de oxígeno disuelto del presente estudio.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Sr. Silviano González López y Sra. Clemencia Jiménez Casanova. Quienes me brindan su amor y apoyo incondicional.

A MI ESPOSA E HIJOS:

Sra. Josefina Gutiérrez Zavala, José Alberto, Gerardo Daniel y Bianca Margarita. Con amor y respeto, por su apoyo y paciencia durante el transcurso de los estudios de maestría.

A MIS HERMANOS:

Armida, Raúl, Margarita, Arturo, Rosenda, Silviano, Efraín y Daniel por el estímulo brindado en todo momento.

COMPENDIO

Comportamiento Fisiológico del Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a Diferentes Períodos de Saturación del Suelo.

POR
ALBERTO GONZALEZ JIMENEZ

MAESTRIA

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. ENERO 1997.

Dr. Raúl Rodríguez García - Asesor -

Palabras claves: *Lycopersicon esculentum* Mill., tomate, exceso de humedad, deficiencia de oxígeno, resistencia estomatal, potencial hídrico, antitranspirantes.

El presente estudio se realizó con el cultivo de tomate en invernadero, durante 1996, se evaluaron 26 tratamientos con diferentes tiempos de estrés, con el objetivo de cuantificar los cambios en la concentración del oxígeno disuelto en el agua del suelo, y los cambios físicos de resistencia estomatal; potencial hídrico, y además, encontrar alguna alternativa de escape al estrés.

El exceso de humedad provoco una disminuci3n del contenido de oxigeno disuelto en el agua del suelo, a las 24 horas baj3 a 55 µg/l y a las 72 horas fue casi cero.

El exceso de humedad provoco que el potencial hídrico disminuyera (valores mäs negativos) despu3s de un perıodo de dos horas de estr3s, y 3ste ocasion3 que la resistencia estomatal aumentara y a su vez la transpiraci3n se redujo.

La plantas de tomate lograron sobrevivir con un perıodo de exceso de humedad de 24 horas, y el daño a la planta fue un marchitamiento; una caıda del pecıolo (epinasty) y amarillamiento de las hojas inferiores. Ademäs, de que el rendimiento baj3 en un 44 por ciento.

Se utilizaron antitranspirantes para evitar que las plantas se deshidrataran con el estr3s, y se logr3 mantener un potencial hídrico elevado en las plantas de tomate con estr3s hasta por 48 horas, sin presentarse la marchitez de las plantas.

ABSTRACT

PHYSIOLOGICAL BEHAVIOR OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) TO DIFFERENT SOIL WATERLOGGED PERIODS

By
ALBERTO GONZALEZ JIMENEZ

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JANUARY 1997.

Dr. Raúl Rodríguez García - Advisor -

Key words: *Lycopersicon esculentum* Mill., tomato, soil waterlogged, deficiency of oxygen, stomatal resistance, hydric potential, antitranspiration.

The present study was performed with tomato cultivation, 26 treatments were evaluated under greenhouse conditions during 1996. The objective were quantify the changes in the soil; the concentration of dissolved oxygen in the soil water, and the physics changes of stomatal resistance; hydric potential; and to find some alternative of stress scape.

The soil waterlogged cause disminution of the content of dissolved xygen in the water, to 24 hours under to 55 µg/l of O₂ and to 72 hours already not existence dissolved oxygen in the soil water.

The soil waterlogged cause that the hydric potential reduced (value but negative) after a period of two hours of stress, and this cause that the stomatal resistance is increased and at the same time the transpiration was reduced.

The tomato plants achieved to survive with a period of soil waterlogged of 24 hours, tough, the damage to the plant is a wilted; a fallen of the petiole (epinasty) and yellow of the lower leaves. Furthemore, of the fact that the yield reduce in a 44 percent.

We were used antitranspirations to avoid that the plants are dehydrated with the soil waterlogged, and be achievement maintained a hydric potential is increased in the tomato plants with stress of up to 48 hours.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	xi
INDICE DE FIGURAS	xii
INTRODUCCION.	1
Objetivos.	2
Hipótesis	3
REVISION DE LITERATURA	4
Efectos del exceso de humedad del suelo	4
Intercambio de Gas en Suelos Drenados	5
Abatimiento del Oxígeno Molecular.	6
Expansión de Coloides	8
Respuesta a el Exceso de Humedad de los Cultivos ...	8
Comportamiento del Etileno en Plantas Bajo	
Condiciones anaeróbicas	9
Potencial Hídrico de las Hojas de las	
Plantas	11
Resistencia Estomatal	13
Curvatura Epinasty de los Pecíolos	15
Formación de Raíces Adventicias	16
Biomasa y Rendimiento	17
MATERIALES Y METODOS	20
Descripción del Área de Estudio	20
Aspectos Climáticos	20
Suelo	21
Agua de Riego	21
Trabajo de Campo	23
Suelo y Preparación de macetas	23
Manejo del Cultivo	23
Fertilización	25
Riegos	25
Estacado	25

Plagas y Enfermedades	27
Metodología para Someter las Plantas al Estrés por Exceso de humedad	27
Aplicación del estrés	27
Forma de controlar el estrés	27
Diseño Experimental y Tratamientos	28
VARIABLES DE RESPUESTA	29
Oxígeno Disuelto en el Agua del Suelo	29
Potencial Hídrico	29
Resistencia estomatal	30
Curvatura Epinasty	31
Rendimiento	31
Antitranspirantes.....	32
 RESULTADOS Y DISCUSION	 34
Características Agronómicas	34
Comportamiento del Oxígeno Disuelto en el Agua	36
Potencial Hídrico	39
Resistencia estomatal	42
Transpiración	43
Caída del Pecíolo (epinasty)	44
Rendimiento	46
SEGUNDA PARTE	48
Características Agronómicas	48
Potencial Hídrico	48
Comportamiento de la Resistencia Estomatal	58
Transpiración	67
CONCLUSIONES	77
RESUMEN	79
LITERATURA CITADA	81
APENDICE	85

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Página
3.1.	Características químicas del agua de riego usada en el presente estudio.	22
3.2.	Niveles de los factores en estudio.	28
4.1.	Temperatura ambiente media (°C) registrada por la estación agrometeorológica de la UAAAN.	35

INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Página
3.1.	Forma en que se realizó el estacado en el presente estudio.	26
3.2.	Forma en que se hicieron las mediciones del ángulo del peciolo de las plantas.	31
4.1.	Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en el agua del suelo durante 72 horas.	37
4.2.	Relación entre el contenido de oxígeno disuelto en el agua y el potencial hídrico de las plantas de tomate.	38
4.3.	Comportamiento del potencial hídrico en la planta durante 104 horas de exceso de humedad.	40
4.4.	Relación entre el potencial hídrico y la resistencia estomatal de las plantas con y sin exceso de humedad.	41
4.5.	Comportamiento de la resistencia estomatal durante 120 horas con y sin exceso de humedad.	42
4.6.	Comportamiento de la transpiración de la hoja con y sin exceso de humedad durante 120 horas.	44
4.7.	Comportamiento del ángulo de los peciolos durante el periodo de estudio.	45

Figura
No.

Página

4.8. Rendimiento de tomate comercial por corte y total (gramos por planta) para las plantas con y sin estrés. 47

4.9. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con dos horas de exceso de humedad con antitranspirantes. 50

4.10. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con ocho horas de exceso de humedad con antitranspirantes. 51

4.11. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con 24 horas de exceso de humedad con antitranspirantes. 52

4.12. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con 28 horas de exceso de humedad con antitranspirantes. 54

4.13. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con 32 horas de exceso de humedad con antitranspirantes. 55

4.14. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con 48 horas de exceso de humedad con antitranspirantes. 56

4.15. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con 72 horas de exceso de humedad con antitranspirantes. 57

4.16.	Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con dos horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	59
4.17.	Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con ocho horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	60
4.18.	Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 24 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	61
4.19.	Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 28 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	62
4.20.	Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 32 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	63
4.21.	Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 48 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	64
4.22.	Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 52 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	65
4.23.	Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 72 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	66

4.24.	Comportamiento de la transpiración de las plantas drenadas (0.0) y plantas con dos horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	69
4.25.	Comportamiento de la transpiración de las plantas drenadas (0.0) y plantas con ocho horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	70
4.26.	Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 24 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	71
4.27.	Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 28 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	72
4.28.	Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 32 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	73
4.29.	Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 48 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	74
4.30.	Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 52 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	75
4.31.	Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 72 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.	76

INTRODUCCION.

En el Oriente de San Luis Potosí y Norte de Veracruz, se establece una superficie de 1 500 a 2 000 ha con el cultivo de tomate, durante el ciclo agrícola primavera-verano, la importancia de este cultivo es la generación de empleo ya que se requieren más de 200 jornales por hectárea.

La explotación de este cultivo se realiza bajo condiciones de temporal y de riego, se establece principalmente en suelos vertisoles pellicos, las características físicas del suelo (arcillosos y baja conductividad hidráulica), las precipitaciones que son de alta intensidad y duración, así como la utilización deficiente del riego (sobreriego). Lo mencionado anteriormente origina el problema de exceso de humedad, que causa cambios físicos y químicos (potencial hídrico, resistencia estomatal, balance hormonal, concentración de etileno, etc.) a la planta y los cuales actualmente no se

tienen cuantificados. El presente trabajo se estableció bajo condiciones de invernadero, como una primera fase, para lo cual se planteó los siguientes objetivos e hipótesis.

Objetivos.

Cuantificar el abatimiento del oxígeno disuelto en el agua, conforme transcurrió el período de exceso de humedad.

Determinar los efectos físicos (cambios en el potencial hídrico y resistencia estomatal) que se presentan en la planta de tomate bajo condiciones de exceso de humedad en el suelo.

Determinar que período puede resistir la planta de tomate bajo estrés y cuales son las consecuencias.

Demostrar si la aplicación de antitranspirantes es una alternativa al problema del exceso de humedad.

Hipótesis

Al disminuir el contenido de oxígeno en el agua en un suelo saturado provoca trastornos físicos (potencial hídrico, resistencia estomatal y transpiración) en el cultivo de tomate.

Evitando la transpiración de la planta de tomate es posible disminuir el daño ocasionado por el exceso de humedad.

REVISION DE LITERATURA

Efectos del exceso de humedad del suelo

El término estrés por exceso de humedad del suelo, en el presente trabajo se aplicó cuando se presentó una lámina de agua sobre la superficie del suelo, es decir el suelo se encontraba a saturación. La respuesta fisiológica de las plantas, bajo estrés por exceso de humedad, se considera similar al estrés que sufren las plantas debido a la sequía (Bradford y Hsiao, 1982).

El problema del exceso de humedad, puede ser causado por lluvias excesivas, escurrimientos o irrigación y a menos que se cuente con un drenaje satisfactorio se puede reducir el daño a los cultivos (Treshow, 1961; Sanchez-Blanco, et al., 1994).

La composición adecuada de un suelo franco en condiciones ideales para el desarrollo de cultivos es de: 45 por ciento de material mineral; cinco por ciento de materia

orgánica; 25 por ciento de agua y 25 por ciento de aire (Ortiz y Ortiz, 1980).

El estrés por exceso de humedad de un suelo como el mencionado anteriormente tiene una serie de procesos: físicos, químicos, y biológicos que influyen drásticamente en la calidad del suelo como medio para el desarrollo de los cultivos (Ponnamperuma, 1984; Schafer et al., 1992).

Intercambio de Gas en Suelos Drenados

Del 10 al 60 por ciento del volumen de un suelo seco que sostiene plantas es aire. La proporción de aire, agua, y sólidos es alta en suelos cultivables con buena estructura y buen drenaje. En estos suelos la composición de aire es estable, a pesar del consumo de oxígeno, producción de dióxido de carbono, y fijación de nitrógeno por organismos del suelo (Ponnamperuma, 1984).

En el proceso de intercambio de aire, la difusión es más importante (Ponnamperuma, 1984) y aplicó la ley de Fick.

$$dq = -DA \frac{dc}{dx} * Tdt$$

ecuación 1.

donde: D es el coeficiente de difusión, dq es el número de moles de la sustancia en difusión, en tiempo dt , a través de una área transversal A , bajo un gradiente de concentración dc/dx , a temperatura T .

Cuando se aumenta el contenido de agua en el suelo, ésta desplaza de los poros del suelo el volumen de aire que contiene dicho suelo, observándose sobre la superficie del suelo la salida de gases en forma de burbujas (Ponnamperuma 1984; Treshow, 1961) y disminuye A en la ecuación 1.

Así si el espacio de poros de aire es ocupado totalmente por agua la difusión gaseosa se suspende. El exceso de agua del suelo puede eliminar parcial o totalmente los poros llenos de aire y limitan el intercambio de gas entre suelo y aire en difusión molecular en el agua del suelo, ya que este proceso es 10 000 veces más lento que en el aire (Ponnamperuma, 1984).

Abatimiento del Oxígeno Molecular.

Diversos trabajos concuerdan con que la respuesta de la planta al exceso de humedad, está respaldado por la

limitación de la difusión del oxígeno a la raíz (Kramer y Jackson, 1954; Patrick, 1977; Trought y Drew, 1980; Reddy, et al., 1980; Bradfod y Yang, 1981; Box, 1986; Huang, et al., 1994; Musgrave, 1994).

En pocas horas de iniciado el exceso de humedad de un suelo, éste se hace prácticamente libre de oxígeno (anaeróbico), debido a la pérdida hacia la atmósfera y el que queda presente en el agua o entrampado en el suelo es usado rápido por parte de los microorganismos y las raíces de las plantas, causando daño o muerte a las raíces y consecuentemente a las plantas (Trought y Drew, 1980; Reddy, et al., 1980).

Jackson y Kowalewska (1983), señalaron que a las cuatro horas de exceso de humedad en el suelo bajo condiciones de invernadero, la concentración de oxígeno disminuyó a menos del tres por ciento. Mientras que bajo condiciones de campo la concentración de oxígeno en la zona de las raíces se redujo de 0.24 mmol/l a 0.04 mmol/l, esto en un lapso de dos días (Sanchez-Blanco, et al., 1994).

Expansión de Coloides

Cuando se presenta el exceso de humedad en un suelo, los coloides del suelo absorben agua y el suelo se expande. Cuando el contenido de arcilla es mayor en un suelo la expansión es mayor y ésta se completa generalmente en un período de uno a tres días (Ponnamperuma, 1984).

Respuesta a el Exceso de Humedad de los Cultivos

En suelos bien drenados, la respiración aeróbica de raíces de plantas y microorganismos de suelo bajo condiciones imperantes consumen entre 5 y 24 g de oxígeno por metro cuadrado de superficie de tierra por día durante el ciclo de desarrollo (Jackson y Drew, 1984).

Las plantas pueden sobrevivir períodos cortos con bajo contenido de oxígeno 0.5 por ciento, ya que las raíces requieren de dos a ocho por ciento de oxígeno para un óptimo desarrollo (Treshow, 1961). Cuando desciende el nivel de oxígeno en el suelo se reduce el peso de raíces, área foliar y se retarda la cosecha (Sojka, et al., 1975; Gilbert y Shive, 1942).

La imposición del exceso de agua alrededor de las raíces afecta su desarrollo en el avance del abatimiento total de oxígeno del tejido (anoxia). Esta primera respuesta principalmente incrementa el contenido de etileno y disminución en la concentración interna de oxígeno (hipoxia).

La resistencia a la absorción de agua se aumenta por parte de las raíces que se desarrollan bajo condiciones de exceso de humedad (Kramer, 1951; Bradford y Hsiao, 1982; Sanchez-Blanco, et al., 1994).

Comportamiento del Etileno en Plantas Bajo Condiciones anaeróbicas

El etileno se produce en gran cantidad en tejidos de frutos al madurar, pero se ha comprobado su síntesis en el tallo, los efectos característicos en interacción con otras hormonas es un factor en la caída de hojas, flores y frutos, por lo que el etileno acelera el envejecimiento de los órganos (Rojas y Ramírez, 1987).

En plantas de tomate desarrollándose bajo condiciones anaeróbicas, la precursora del etileno es la enzima 1-

aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC), los niveles de la ACC en la raíz y savia del xilema se incrementa significativamente en respuesta a condiciones (anaeróbicas) de exceso de humedad en el suelo (Bradford y Yang, 1980 a y b; Bradford y Yang, 1981; Bradford y Hsiao, 1982).

Bradford y Dilley (1978), señalaron, que las planta de tomate desarrollándose bajo condiciones anaeróbicas, la síntesis de etileno en el tallo de la planta es incrementada. El etileno es el agente responsable de los síntomas del exceso de humedad en el suelo (condición anaeróbica).

En plantas de tomate bajo condiciones anaeróbicas por un período superior a las 24 horas, se incrementó el contenido de etileno, de cuatro a seis veces respecto al testigo, en pecíolos, tallo principal y secciones de tallos y el mayor contenido de etileno, ocurrió cuando el potencial hídrico no se incrementó (Jackson, et al., 1978).

Bradford et al. (1982), indicaron, que la producción de etileno, es una característica de respuesta de plantas de tomate sometidas a estrés de exceso de humedad en el suelo, la ACC de las raíces, creciendo con bajo contenido de

oxígeno, al tallo es un factor importante de la fisiología del etileno de plantas sometidas a exceso de humedad en el suelo.

Potencial Hídrico de las Hojas de las Plantas

Singh, *et al.* (1991), señalaron, que en plantas de frijol bajo condiciones de excesos de humedad por períodos de uno; tres; cinco y siete días, el potencial hídrico de la hoja decreció cuadráticamente.

Lakitan, *et al.* (1992), consignaron, que en la evaluación de dos variedades de frijol, bajo condiciones de exceso de humedad en el suelo, el potencial hídrico de la hoja disminuyó desde el primer día en un material, mientras que en el otro material menos susceptible al exceso de humedad, el valor del potencial hídrico disminuyó hasta el tercer día.

En plantas de chícharo sometidas a exceso de humedad del suelo por un período de cinco a siete días el potencial hídrico no cambió, lo que lo atribuyeron a el cierre de los

estomas y disminución de la transpiración (Jackson y Kowalewska, 1983).

En el cultivo de maíz bajo condiciones de exceso de humedad, se evaluó el comportamiento del potencial hídrico y potencial osmótico de la hoja de las plantas bajo estrés, donde reportaron que tanto el potencial hídrico como el osmótico no cambiaron a una tasa dada de transpiración (Wenkert, et al., 1981).

Sanchez-Blanco, et al. (1994), indicaron, que en el cultivo frutal de almendra, bajo condiciones de exceso de humedad en el suelo (la cual se alcanzó a los dos días bajo condiciones de campo) el potencial hídrico descendió, lo cual pudo deberse a que la resistencia a la extracción de agua por parte de las raíces se aumentó, el continuo descenso del potencial hídrico provocó daños irreversibles al cultivo. La reducción en la conductancia bajo estrés puede relacionarse con el potencial hídrico.

Las raíces de plantas de tomate que se expusieron a concentraciones, menores del uno por ciento y por un período de 30 horas o mayor, el potencial hídrico se incrementó

(menos negativo), lo cual lo relacionan (Jackson, et al., 1978) con el cierre estomatal y la reducción de la transpiración.

Las plantas de tomate bajo condiciones de exceso de humedad del suelo, el potencial hídrico de las hojas no se afectó, lo que explicaron que es debido a que la conductancia estomatal se disminuyó (Bradford y Hsiao, 1982).

Resistencia Estomatal

Diversos estudios en trigo de invierno, tomate, tabaco, árboles forestales (*Froxinus pennsylvanica*) indicaron, que cuando se presenta estrés por el exceso de humedad y/o se provoca condiciones de deficiencia de aire (falta de oxígeno) en el suelo, los estomas de las hojas de las plantas se cierran, lo anterior se ha constatado con las mediciones de resistencia de los estomas y al aumentar ésta indicaron que el estoma está cerrado (Sojka et al., 1975; Kozlowski y Pallardy, 1979).

Musgrave (1994), señaló, que en ocho variedades de trigo de invierno bajo condiciones de exceso de agua en

Luisiana, USA, por factores prevaletientes en la costa del Golfo de México, la ausencia de oxígeno en la zona de las raíces ocasionó que en todas las variedades se redujera la conductancia estomatal, lo cual indica que los estomas se cerraron parcialmente.

Dos variedades del cultivo de frijol desarrollándose bajo condiciones de exceso de humedad, se disminuyó significativamente la conductancia estomatal, en ambas variedades, a pesar de que una se recuperó del estrés (Lakitan, et al., 1992). En otro experimento con plantas de frijol desarrollándose bajo invernadero se sometieron a exceso de humedad por períodos de uno, tres, cinco y siete días, los valores de la conductancia estomatal decrecieron en forma cuadrática (Singh, et al., 1991).

Con el establecimiento del cultivo de chícharo (Jackson y Kowalewska, 1983) señalaron, que cuando el suelo sufrió inundación por un período de cinco a siete días, causó disecación en las hojas de las plantas, y el cierre de los estomas ocurrió dentro de las primeras 24 horas, y la concentración de oxígeno del suelo a las cuatro horas disminuyó por abajo de un tres por ciento.

El cultivo de maíz desarrollándose bajo condiciones de exceso de humedad, la resistencia estomatal aumentó después de dos a tres días (Wenkert, et al., 1981). Cuando el cultivo de tomate sufrió exceso de humedad, después de 24 horas se disminuyó la transpiración y la conductancia estomatal de un 30 a 40 por ciento (Bradford y Hsiao, 1982).

Curvatura Epinasty de los Pecíolos

En condiciones de exceso de humedad, las plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sufren una caída de las hojas, lo que se conoce como epinasty, este movimiento de las hojas es causado por la rápida expansión de las células del lado superior (adaxial) del pecíolo respecto a las células del lado (abaxial) inferior (Bradford y Yang, 1981).

Jackson, et al. (1978), señalaron, que en el cultivo de tomate bajo condiciones de ausencia de oxígeno en el suelo, después de 24 horas, en los pecíolos se presentó la curva epinasty, lo cual se atribuye a la alta concentración de etileno que se presentó en los tallos.

Cuando las plantas sufren períodos de exceso de humedad (condiciones anaeróbicas en el suelo) se promueve la epinasty de los pecíolos (Jackson y Campbell, 1979; Bradford et al., 1982). Las hojas de la planta de tomate después de un período de 24 a 48 horas de exceso de humedad en el suelo (anaerobiosis), muestran curvatura epinasty (Kramer, 1951).

En el cultivo de tabaco los daños por exceso de humedad en el suelo, ocurren después de una o dos horas y si se drena el suelo dentro de ese período las plantas no sufren daño. Sin embargo, si el período de exceso de humedad es mayor de 24 horas los daños que se presentan en la planta son permanentes, observándose con frecuencia la curvatura epinasty de los pecíolos (Kramer y Jackson, 1954).

Formación de Raíces Adventicias

Huang, et al. (1994), señalaron, que seis variedades de trigo, desarrollándose bajo condiciones de hipoxia durante períodos de 14 y 21 días, se recobraron entre los cinco y diez días, después de la hipoxia y generaron más raíces adventicias.

De dos variedades de frijol evaluadas bajo condiciones de exceso de humedad en el suelo, la variedad menos susceptible al período de deficiencia de oxígeno en el suelo, presentó mayor biomasa en raíces adventicias (Lakitan, et al., 1992).

Jackson y Campbell (1979), indicaron, que en plantas de tomate desarrollándose en solución anaeróbica por un período de seis días, se promovió el crecimiento de raíces adventicias, y con aplicaciones de benzyladine y ácido giberélico se redujo la cantidad de raíces adventicias en la base del tallo.

Kramer (1951), indicó, que las plantas de tomate bajo estrés por exceso de humedad por períodos superiores a 48 horas, desarrollaron raíces adventicias en la base de los tallos.

Biomasa y Rendimiento

El cultivo de trigo bajo condiciones de bajo contenido de oxígeno en el suelo, presentó una reducción total de área foliar y de los componentes de peso seco (Sojka, et al., 1975).

Gilbert y Shive (1942), señalaron, que cuando las plantas de tomate crecieron bajo condiciones de solución nutritiva y se sometieron a tratamiento por 10 días, cuando se les incrementó el suministro de oxígeno hasta 16 ppm, se obtuvo la máxima ganancia en peso fresco y cuando se redujo en el agua la concentración de oxígeno hasta cero partes por millón, se redujo significativamente el peso fresco.

Huang et al. (1994), señalaron, que en la evaluación de seis variedades del cultivo de trigo bajo condiciones de hipoxia, durante 14 y 21 días, se inhibió el crecimiento de tallos y raíces. En otro trabajo con ocho variedades de trigo de invierno (Musgrave, 1994) bajo condiciones de ausencia de oxígeno en la zona de las raíces, el peso del grano disminuyó de 37 a 45 por ciento, con respecto a los tratamientos que no sufrieron exceso de humedad.

Trought y Drew (1980), indicaron, que en las plantas de trigo bajo condiciones de exceso de humedad, se disminuyó la acumulación de peso fresco en los brotes, extensión de la hoja y crecimiento de la raíz, causó muerte de raíces seminales y una senescencia prematura en las hojas de la parte

inferior de las plantas, los daños causados a la planta los atribuyen a la disminución o ausencia de oxígeno en el suelo.

Kramer y Jackson (1954), consignaron, que el tabaco sometido a períodos de saturación del suelo por períodos mayores a 24 horas, el tallo de las plantas suspendió la elongación y las hojas se tornan amarillas y posteriormente mueren, iniciando esta respuesta al exceso de humedad de la parte inferior de la planta hacia arriba.

Box (1986), indicó, que el cultivo de trigo de invierno, desarrollándose durante dos años en un suelo franco arenoso, cuando sufrió exceso de humedad en el suelo durante la fase reproductiva, se afectó el rendimiento, debido a la disminución de oxígeno en el suelo, ya que cuando la tasa de difusión de oxígeno gaseoso para cada uno de los años fue de, $33 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$, el rendimiento fue de $240 \text{ g}/\text{m}^2$ y $393 \text{ g}/\text{m}^2$, respectivamente.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del Area de Estudio

Los trabajos se desarrollaron durante los meses de febrero a agosto de 1996, en un invernadero con estructura de madera (sin control de: temperatura, humedad relativa, etc.), ubicado en terrenos (jardín hidráulico del departamento de Riego y Drenaje) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en la latitud norte 25° 22' y longitud oeste 101° 00' y una altura media sobre el nivel del mar de 1743 metros.

Aspectos Climáticos

Según la clasificación de Köpen y de acuerdo a las modificaciones de Enriqueta García, el tipo de clima es BSoK(x')(e), donde: Bso = es el más seco de los BS con un coeficiente de $P/T(22.9)$; K = templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18 °C. La del mes más

frío entre (-3 y + 8 °C) y la del mes más caliente de 18 °C; x' = el régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno; e = extremoso con oscilación entre 7.0 y 14 °C.

Precipitación

Las lluvias son escasas aproximadamente 400 mm anuales y con frecuencia se presentan sequías prolongadas. Los meses lluviosos del año son de junio a septiembre, siendo el mes más lluvioso el mes de julio.

Suelo

Los experimentos se establecieron en una mezcla de: 80 por ciento de suelo; 10 por ciento de perlita y 10 por ciento de peat most, se tomó una muestra y según el análisis físico-químico efectuado en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Depto. de Riego y Drenaje de la UAAAN, resultó un suelo migajón, con un pH de 5.6.

Agua de Riego

El agua de riego que se utilizó procede de la pila ubicada a un lado del invernadero y con ésta se irrigan los diferentes cultivos establecidos en el bajío de la UAAAN.

Las determinaciones químicas que se realizaron al agua con la que se irrigó el cultivo se presentan en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Características químicas del agua de riego usada en el presente estudio.

Característica	Valor
pH	8.022
Ce micromhos/cm a 25 °C	1037.0
RAS	0.26
Na+	0.59
Ca++	7.54
Mg++	2.65
K+	0.04
Cationes meq/l	10.82
HCO ₃	2.48
Cl	0.40
SO ₄	7.88
Aniones meq/l	10.76

Fuente: Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje (UAAAN).

En base a la clasificación (Richards, 1980) de las aguas para riego y de acuerdo a la CE, es clasificada como C₃, es aceptada para ser usada en riego, siempre y cuando exista un buen manejo del suelo y drenaje para el control de la salinidad.

En cuanto al RAS, se clasifica S₁ y puede usarse para riego en cualquier suelo sin peligro de alcanzar niveles altos de sodicidad.

Trabajo de Campo

Suelo y Preparación de macetas

La mezcla que se utilizó, se cubrió totalmente con plástico transparente durante siete días, después de los cuales se le aplicó una libra de bromuro de metilo (30 de marzo de 1996) y a los cuatro días se descubrió, con lo que el suelo quedó desinfectado, se depositaron cuatro kilogramos de éste en bolsas de plástico color negro de 0.23 m de alto y 0.15 m de diámetro.

Manejo del Cultivo

El manejo del cultivo se dividió en las etapas de: Almácigo y Trasplante.

Almácigo

La siembra del almácigo, se efectuó el 28 de febrero de 1996, con la variedad Río Grande, en la

localidad de Rancho Nuevo, Municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

Se preparó una cama de siembra de un metro de ancho y 10 metros de largo, y a los lados de esta se levantaron bordos de 0.40 m, posteriormente se construyó un microtúnel de 0.50 m de altura utilizando alambres, el que se cortó en tramos de un metro y se dobló en forma de arco, estos se introdujeron al suelo y sobre los arcos se colocó plástico transparente el cual se amarró a la estructura y durante los períodos de mayor temperatura el plástico se corrió hacia un lado para que el viento corriera libremente y el cultivo disminuyera su temperatura.

Los riegos (ligeros) se aplicaron diariamente, la cantidad aplicada fue de acuerdo a observación visual de los requerimientos de las plántulas, con el objetivo de mantener una humedad constante.

Transplante

Se realizó en forma manual, el ocho de abril, cuando las plántulas tenían una edad de 40 días, antes de

realizar esta actividad se aplicó tres litros de agua por maceta. Se plantó una planta por maceta y la separación entre plantas e hileras fue de 0.30 m y 0.60 m., respectivamente.

Fertilización

Se fertilizó únicamente vía foliar y esta actividad se realizó cada semana, durante el desarrollo del cultivo.

Riegos

Para la aplicación del riego se utilizaron tensiómetros previamente calibrados, se colocaron dentro de cada una de las macetas y cuando éstos en promedio (cinco tensiómetros) registraron entre 25 y 30 centibares (Díaz, 1995) se aplicó el riego.

Estacado

El estacado consiste en formar una espaldera a base de estacones, varas, hilo y alambre galvanizado # 16. Los estacones se colocaron en fila, cada tres metros,

posteriormente se amarraron con alambre galvanizado en la parte superior y en cada extremo al finalizar la fila.

El hilo de ixtle se amarró a la base de cada planta y el alambre galvanizado, para sostener las plantas y así evitar el contacto de los frutos con la superficie del suelo (Figura 3.1). Esta practica se realizó a los 50 días.

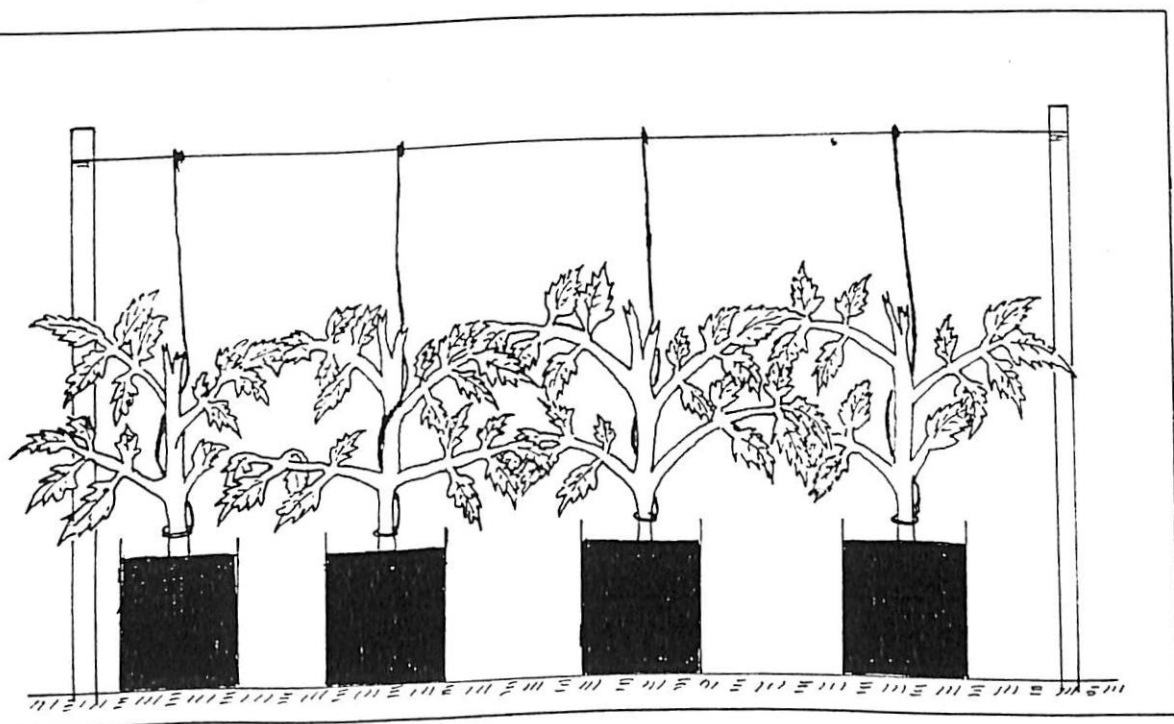


Figura 3.1. Forma en que se realizó el estacado en el presente estudio.

Plagas y Enfermedades

Las incidencias de plagas y enfermedades fueron controladas de acuerdo a las recomendaciones sugeridas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Campo Experimental Ebano (Ramírez, et. al., 1992).

Metodología para Someter las Plantas a Estrés por Exceso de Humedad

Aplicación del estrés

El estrés por el exceso de humedad en el suelo se aplicó cuando las plantas se encontraban en la etapa de desarrollo de floración-fructificación.

Forma de controlar el estrés

Se colocó doble bolsa de plástico con la finalidad de eliminar fugas de agua, ésta se aplicó gradualmente para que el frente de humedad avanzara en forma homogénea y así evitar que el centro de la maceta quedara seco. La lámina

sobre la superficie del suelo fue entre dos y tres centímetros, con lo que se tenía la certeza de que el suelo estaba saturado, se cuantificó el tiempo y una vez concluido el período que correspondía a cada tratamiento inmediatamente se drenaron.

Diseño Experimental y Tratamientos

La distribución de los tratamientos en el invernadero se realizó, en un factorial llamado parcelas divididas con diseño completamente al azar y tres repeticiones.

Los tratamientos se formaron con dos factores, el factor A fue humedad con dos niveles y el factor B fue horas con 26 niveles (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Niveles de los factores en estudio.

Factor	Nivel	Descripción
A. humedad	A1	Con exceso.
	A2	Sin exceso.
B. horas	B1... B25	2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 72, 96 98, 100, 102, 104, 106, 120.

Variables de Respuesta

Oxígeno Disuelto en el Agua del Suelo

Para la determinación se utilizó una técnica espectrofotométrico, utilizando el método de Indigo Carmín con un reactivo específico AccuVac. Las macetas con las plantas bajo tratamiento (tres por tratamiento) con diferentes horas de inundación fueron muestreadas con un dispositivo especial, transportadas en condiciones adecuadas al laboratorio de fitoquímica del departamento de Fitomejoramiento e inmediatamente se les hizo reaccionar con el reactivo específico para oxígeno disuelto en agua y se hicieron las lecturas en un aparato espectrofotómetro LAMBDA 3-B de Perkin Elmer a una longitud de onda de 610 nm y la concentración de oxígeno fue reportada en $\mu\text{g}/\text{l}$ de O_2 .

Potencial Hídrico

La medición del potencial hídrico en la planta se realizó con la cámara de presión Scholander marca soil moisture serie 3 000, a las 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 72, 96, 98, 100, 102,

104, 106 y 120 horas después de iniciado el período del exceso de humedad, para lo cual se seleccionaron hojas del tercer y cuarto nudo, las que se cortaron con una navaja y se introducían a la cámara, para después aplicarle presión y con una lupa se observó hasta que el pecíolo de la hoja exudó la savia y ese valor fue el potencial hídrico que tenía la planta en ese momento.

Resistencia estomatal

Estas mediciones se realizaron utilizando un porómetro de estado estable marca Li-Cor, INC, LI-1600, para lo cual se etiquetaron en cada planta las hojas (siempre se realizó la observación en dichas hojas) del tercer y cuarto nudo, y simultáneamente (en zigzag) las lecturas se realizaron en el tratamiento sin exceso de humedad (testigo), en las hojas situadas en la misma posición. Dichas lecturas se efectuaron a las 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 72, 96, 98, 100, 102, 104, 106 y 120 horas después de iniciado el período del exceso de humedad. Tanto las mediciones de potencial hídrico y resistencia estomática coincidieron con horas del día.

Curvatura Epinasty

Esta se midió con un transportador de 360° en el pecíolo de la tercer y cuarta hoja de mayor edad y se tomó como referencia el tallo principal (Figura 3.2).

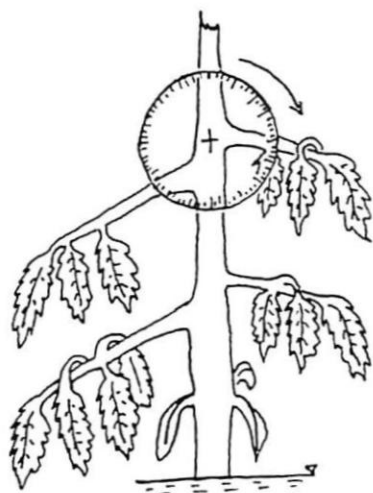


Figura 3.2. Forma en que se efectuaron las mediciones del ángulo del pecíolo.

Rendimiento

Se realizaron dos cortes, uno el 23 de julio y otro el 6 de agosto, el criterio para cortar los frutos fue de

que presentaran un color rosado en el ápice, éstos se clasificaron en primeras y segundas según su tamaño, de acuerdo a normas convencionales de mercado nacional, la cuantificación del peso se realizó en una balanza granataria (sartorius 1103) en el laboratorio de relación agua-suelo-planta.

Antitranspirantes

El problema de exceso de humedad en el suelo puede ser disminuido con la instalación de un sistema de drenaje a nivel parcelario, pero los costos de este tipo de infraestructura y la rehabilitación y mantenimiento de la red general de drenaje del distrito es elevado, los productores no lo realizan, aunque es indispensable realizar este tipo de obras para evitar los daños a los cultivos y la pérdida de rendimiento.

Sin embargo como una alternativa a corto plazo, sin señalar que es la respuesta en un 100 por ciento para el problema del exceso de humedad, se puede realizar aplicaciones de antitranspirante a las plantas, en este caso de tomate. Para la segunda parte del presente

trabajo, se trató de disminuir el daño causado por el exceso de humedad al cultivo de tomate.

En este experimento se aplicaron diferentes antitranspirantes experimentales elaborados a base de resinas de origen: a) ácido,, b) natural y c) sintético. En dosis de 0.2, 0.4 , 0.6 mililitros por litro de agua asperjados al follaje, más un testigo.

Estas aplicaciones se realizaron el 18 de junio de 1996 por la tarde (19:00 horas) para efectuar las lecturas al siguiente día de las variables: a) potencial hídrico, b) resistencia estomatal, c) transpiración, la cuantificación de estas variables se efectuó a las 2, 8, 48, 52 y 72 horas después del exceso de humedad, coincidieron con las horas del día, y se analizaron (para cada una de las horas) en el mismo diseño antes mencionado.

Las hojas que se seleccionaron y se etiquetaron, así como el equipo con que se realizaron las mediciones fueron idénticas a las que se detallaron anteriormente, en las variables de potencial hídrico, resistencia estomatal.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para la primera parte del trabajo donde se evaluó el exceso de humedad para el cultivo de tomate se tiene lo siguiente.

Características Agronómicas

Durante el desarrollo del cultivo no presentó ningún problema serio de enfermedades y/o plagas, en cuanto a las condiciones de temperatura dentro del invernadero fueron superiores en 3 °C, respecto a las temperaturas medias reportadas por la estación agrometeorológica de la UAAAN (Cuadro 4.1), para el área de Buenavista, debido a que se levantaba el plástico de los lados del invernadero y esta acción permitía una buena ventilación, la cual evitaba un sobrecalentamiento del invernadero y durante el ciclo las temperaturas permitieron el buen desarrollo del cultivo.

En cuanto a la cosecha únicamente se efectuaron dos cortes (23 de julio y seis de agosto), en los testigos, y en los tratamientos con exceso de humedad, en el de 24 horas se efectuó un corte (seis de agosto), mientras que en los tratamientos con exceso de humedad por un periodo superior a las 24 horas, no se realizó corte de frutos, debido a que las plantas sufrieron muerte.

Cuadro 4.1. Temperatura ambiente media ($^{\circ}\text{C}$) registrada por la estación agrometeorológica de la UAAAN.

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Temperatura ambiente	14.1	12.9	18.5	23.0	22.7	23.1

En los tratamientos hasta con 24 horas de exceso de humedad en el suelo, después de las 24 horas, las hojas de la parte inferior de las plantas comenzaron a tornarse amarillas y se inició la caída de pecíolos. Las plantas que se drenaron después de un tiempo de 24 horas con exceso de humedad, se lograron recuperar parcialmente transcurridos ocho días, mientras que en los tratamientos con períodos mayores de las 24 horas, no se presentó sobrevivencia de plantas.

En la parte inferior de los tallos se inició la formación de protuberancias y posteriormente la emergencia de raíces adventicias, lo cual concuerda con lo reportado por diversos autores (Kramer, 1951, Jackson y Campbell, 1979, Huang, et al., 1994), en las plantas que lograron sobrevivir al exceso de humedad.

Comportamiento del Oxígeno Disuelto en el Agua

En la figura 4.1 se observa, que en las primeras 24 horas existió una caída vertiginosa de valores de 800 $\mu\text{g/l}$ de O_2 descendió hasta menos de 200 $\mu\text{g/l}$ de O_2 , y después de este periodo con exceso de humedad la pendiente de la concentración del oxígeno disuelto en el agua fue menor y a las 56 horas se alcanzó un valor mínimo de 4.17 $\mu\text{g/l}$ de O_2 , pero a las 72 horas no existe oxígeno en la solución del suelo. En base a lo anterior, se puede inferir que las plantas de tomate que sufrieron daño pero lograron sobrevivir necesitaron cantidades de 55 $\mu\text{g/l}$ de O_2 , y cuando existen cantidades inferiores de oxígeno a la mencionada anteriormente, las plantas de tomate sufren un daño irreversible que les provoca la muerte.

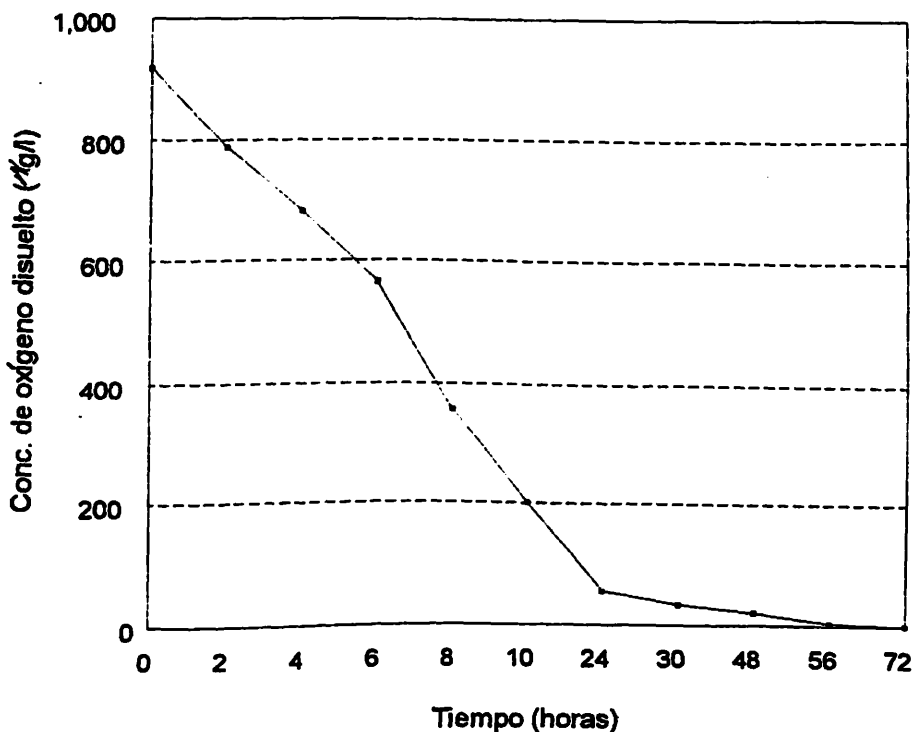


Figura 4.1. Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en el agua del suelo durante 72 horas.

Cuando el suelo donde se desarrollan las plantas se le aplica una cantidad excesiva de agua ya sea por causas naturales (lluvia intensa, suelos de baja conductividad hidráulica) o por causas artificiales por una mala aplicación del riego (sobreriego), la cantidad de oxígeno presente en la zona de las raíces disminuye rápidamente lo cual provoca una serie de reacciones físicas y químicas a las plantas (Kramer y Jackson, 1954; Patrick, 1977; Trought y Drew, 1980; Reddy, et al., 1980; Bradford y Yang, 1981;

Jackson y Kowalewska, 1983; Box, 1986; Huang, et al., 1994; Musgrave, 1994).

Existe una correlación positiva de 68 por ciento de la concentración de oxígeno disuelto en el agua y el potencial hídrico (figura 4.2). Por lo que se puede atribuir que la falta de oxígeno en el suelo fue el que provocó la disminución del potencial hídrico.

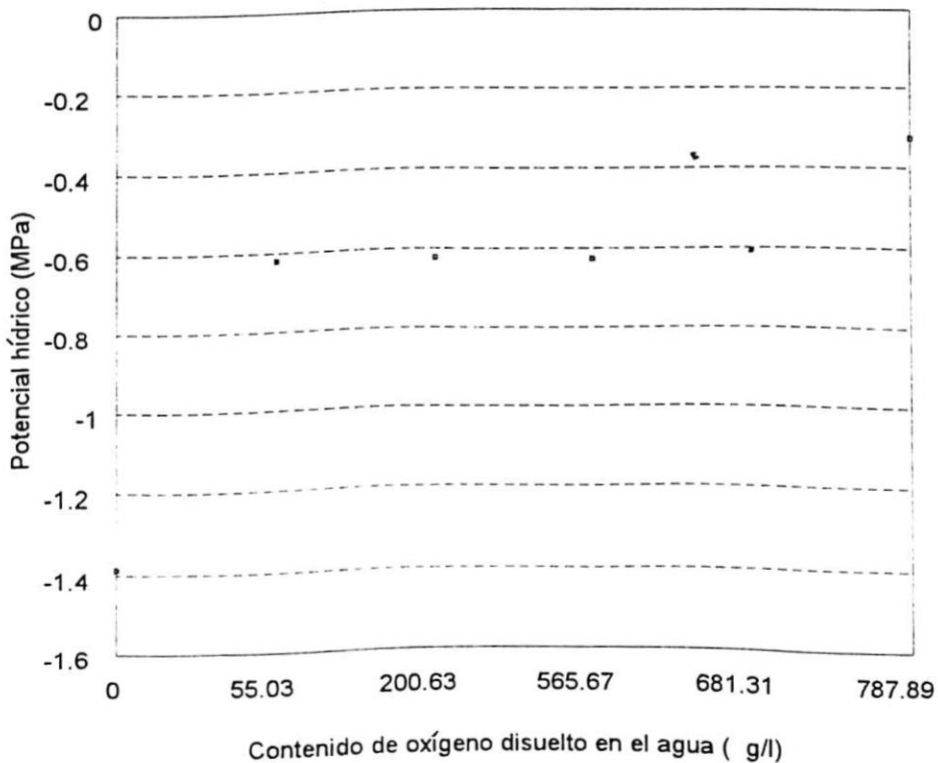


Figura 4.2. Relación entre el contenido de oxígeno disuelto en el agua y el potencial hídrico de las plantas de tomate.

Potencial Hídrico

Para las variables potencial hídrico, resistencia estomatal y transpiración, el ANVA (Cuadro A.1) reportó diferencias altamente significativas, para nivel de humedad en el suelo (factor A), horas bajo estrés (factor B), así como para la interacción. Los coeficientes de variación oscilaron de 3.82 por ciento a 19.9 por ciento, los valores son aceptables y se pueden considerar los resultados como confiables, a excepción del último valor que es alto.

El potencial hídrico (figura 4.3) después de dos horas comenzó a disminuir y en promedio en las plantas bajo estrés durante un tiempo de 72 horas fue menor en 0.11 MPa, con respecto al testigo. El potencial hídrico disminuyó 144 por ciento (valores más negativos) cuando las plantas duraron 98 horas bajo estrés, y a las 104 horas con exceso de humedad el potencial hídrico alcanzó valores de - 1.8 MPa menos de 1.0 MPa que el testigo, y la planta para ese lapso de estrés se encontraba totalmente flácida y las hojas comenzaron a secarse. Esto concuerda con lo reportado por (Singh, et al., 1991; Lakitan, et al., 1992; Sanchez-Blanco, et al., 1994), pero difiere de lo reportado

por (Jackson y Kowalewska, 1983; Jackson, et al., 1978) ya que los investigadores antes mencionados reportaron aumento del potencial hídrico, y explicaron que se debe al cierre de los estomas.

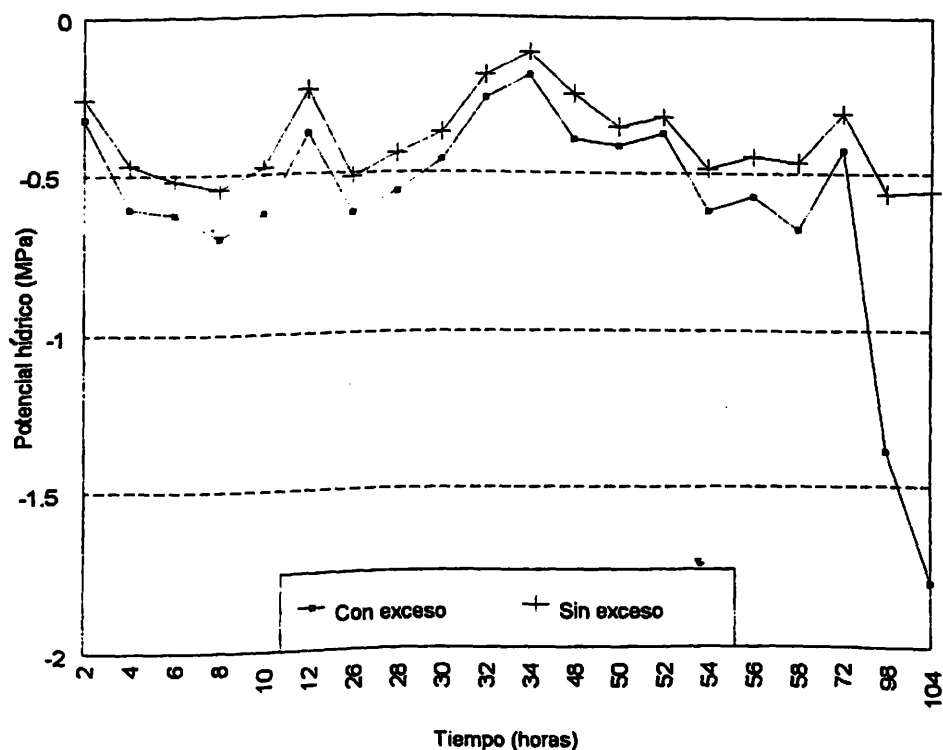


Figura 4.3. Comportamiento del Potencial hídrico en la planta durante 104 horas de exceso de humedad.

Como el potencial hídrico (figura 4.3) disminuyó, después de iniciado el período de exceso de humedad y la resistencia estomatal comenzó a incrementarse, lo que indicó que el estoma se cerró parcialmente con respecto al

testigo, y este cierre del estoma fue debido a la disminución del potencial hídrico en la hoja de la planta, ya que cuando se efectuó un análisis de correlación estas dos variables presentaron una correlación negativa del 93 por ciento. Mientras que en las plantas sin estrés se presentó una correlación negativa del 50 por ciento, para las mismas variables (figura 4.4).

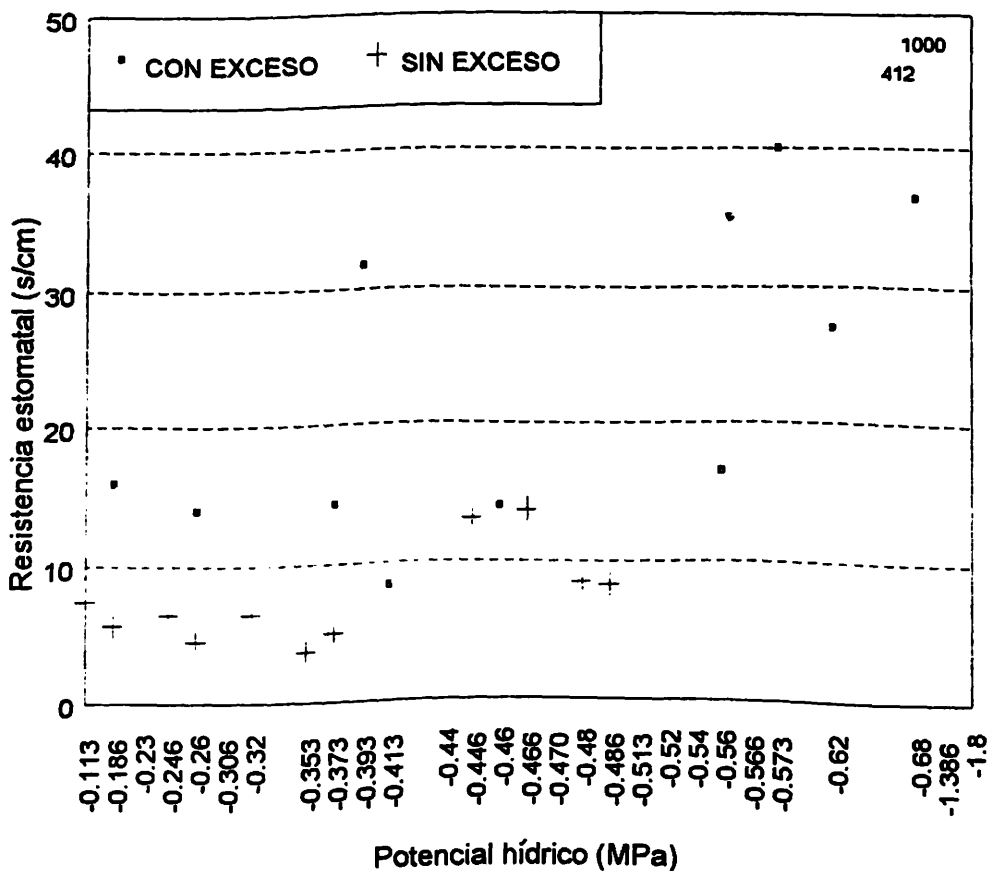


Figura 4.4. Relación entre el potencial hídrico y la resistencia estomatal de las plantas con y sin exceso de humedad.

Resistencia estomatal

En la figura 4.5, y se observa que la resistencia estomatal de las hoja de las plantas después de dos horas con exceso de humedad comenzó a aumentar ligeramente y a las 26 horas se presentó un aumento más marcado, alcanzando 16.2 s/cm, mientras las plantas sin estrés presentaron una resistencia estomatal de 3.62 s/cm, como se puede apreciar en los valores mencionados existió un aumento significativo de la resistencia estomática por lo que los estomas estaban prácticamente cerrados.

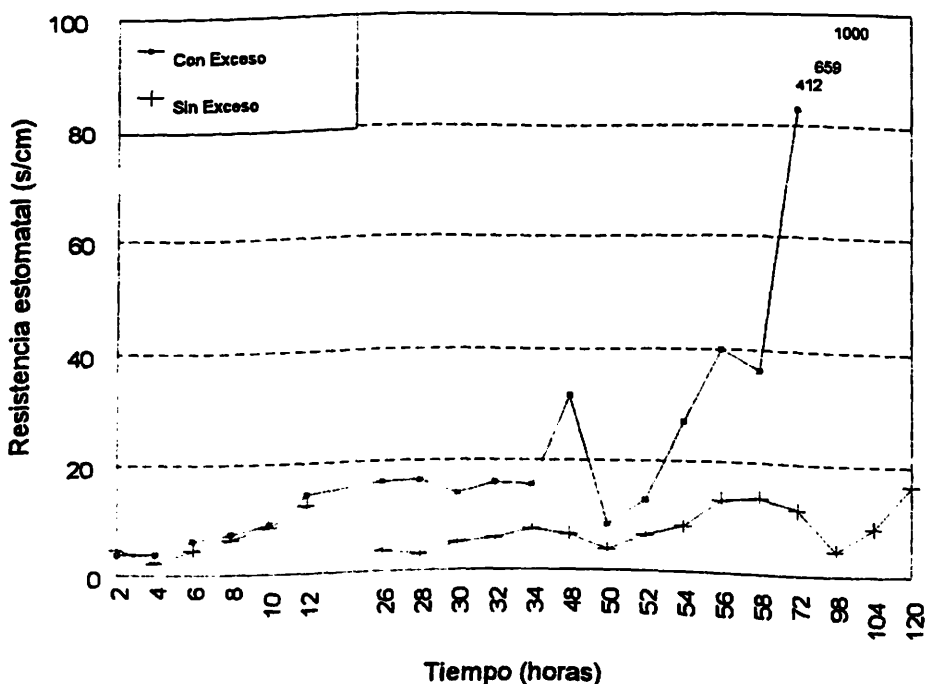


Figura 4.5. Comportamiento de la resistencia estomatal durante 120 horas con y sin exceso de humedad.

Después de las 72 horas con exceso de humedad la resistencia alcanzó valores demasiado elevados (82.83 s/cm) y a las 104 horas el estoma se cerró totalmente ya que el aparato registró infinito y se le asignó un valor arbitrario de 1 000 s/cm. La respuesta de la planta bajo el estrés de exceso de humedad fue cerrar los estomas, esta respuesta ha sido ampliamente reportada por diversos investigadores (Sojka et al., 1975; Kozlowski y Pallardy, 1979; Musgrave, 1994; Lakitan, et al., 1992; Jackson y Kowalewska, 1983).

Transpiración

La transpiración disminuyó inmediatamente después iniciado el período del exceso de humedad (figura 4.6), esto debido a que el estoma se cerró parcialmente y evitó que la hoja de la planta transpirara al mismo ritmo que el testigo, y como el estoma no cerró totalmente después de las 24 horas de exceso de humedad, la hoja de la planta continuó transpirando, y esto originó que la planta se deshidratara y sufriera un daño irreversible. Diversos trabajos reportados por (Jackson y Kowalewska, 1983; Jackson, et al., 1978; Wenkert, et al., 1981) indican que

la transpiración disminuye en las plantas que se desarrollan en un suelo con deficiencia de oxígeno y esa reducción es debida al cierre de los estomas.

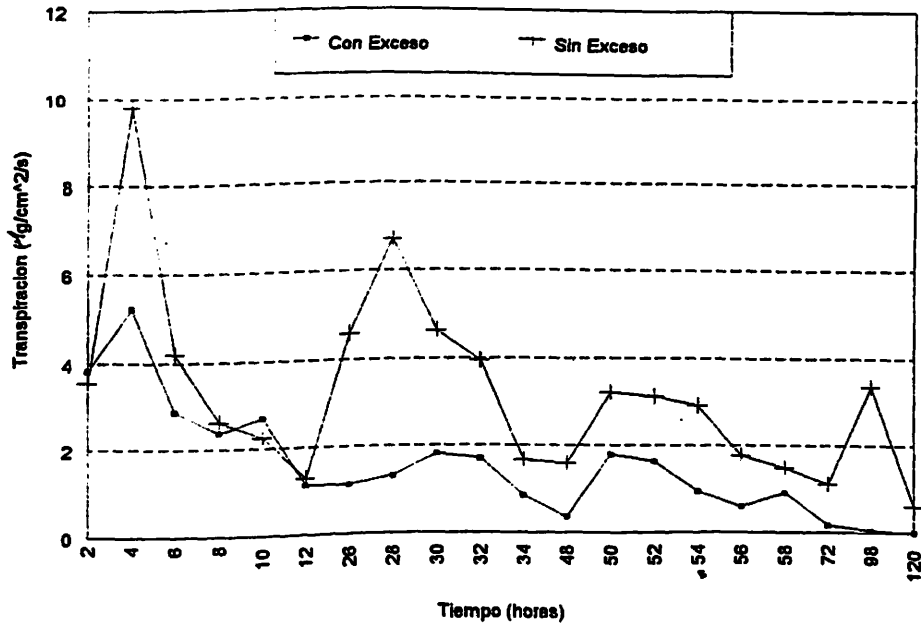


Figura 4.6. Comportamiento de la transpiración de la hoja con y sin exceso de humedad durante 120 horas.

Caída del Pecíolo (epinasty)

Las plantas sin estrés presentaron un ángulo del pecíolo de 57 grados en promedio, mientras que las plantas con estrés por 24 horas el pecíolo sufrió un cambio y el ángulo que se registró fue de 68 grados, 19 por ciento

mayor con respecto al ángulo promedio de los pecíolos de las plantas sin estrés y el valor mayor del ángulo del pecíolo se alcanzó a las 120 horas y fue de 76 grados (figura 4.7). La caída del pecíolo fue estudiado ampliamente

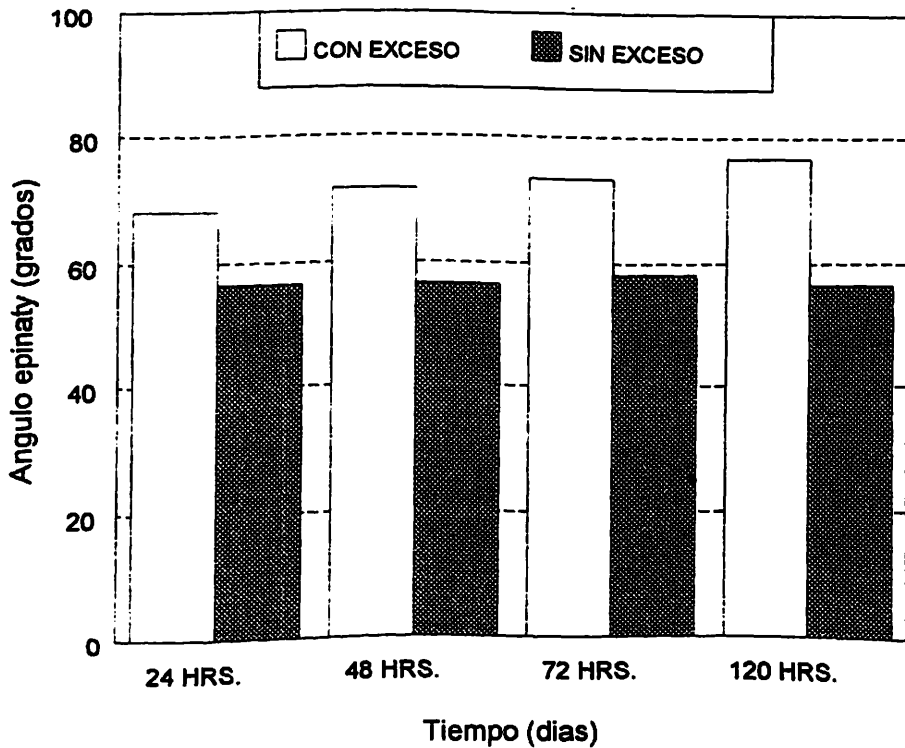


Figura 4.7. Comportamiento del ángulo de los pecíolos durante el período de estudio.

por varios investigadores (Jackson, et al., 1978; Jackson y Campbell, 1979; Bradford, et al., 1982) y reportaron que en plantas de tomate la epinasty se presentó, después de un

período de 24 a 48 horas de exceso de humedad, en pecíolos de plantas de tomate y esta caída del ángulo se debe según los autores antes mencionados a la cantidad de etileno presente en la planta, y es debido a que bajo condiciones anaeróbicas la inmediata precursora del etileno, la enzima 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico, bajo estas condiciones se incrementa y sube a los tallos y hojas de la planta y en estos órganos se produce el etileno.

Rendimiento

Se efectuaron dos cortes en las plantas sin estrés, uno el 23 de julio y el otro 14 días después (6 de agosto), mientras que las plantas bajo estrés por 24 horas se les efectuó un corte y éste se retrasó 14 días con respecto al primer corte de las plantas sin estrés, y las plantas con estrés por más de 24 horas no se realizó ningún corte.

Se registró únicamente el rendimiento de tomate comercial por planta y la calidad que se obtuvo fue de tomates de segunda, el rendimiento promedio por planta fue de 329.87 gramos, para las plantas sin estrés y el de las plantas bajo estrés por 24 horas 49 gramos, el

rendimiento se redujo en un 85 por ciento con respecto al de las plantas sin estrés (figura 4.8). Esta disminución en el rendimiento concuerda con lo reportado en trabajos de investigación (Box, 1986; Huang, et al., 1994) los cuales indicaron que las plantas de trigo sometidas a períodos de exceso de humedad durante la fase reproductiva el rendimiento se abatió significativamente.

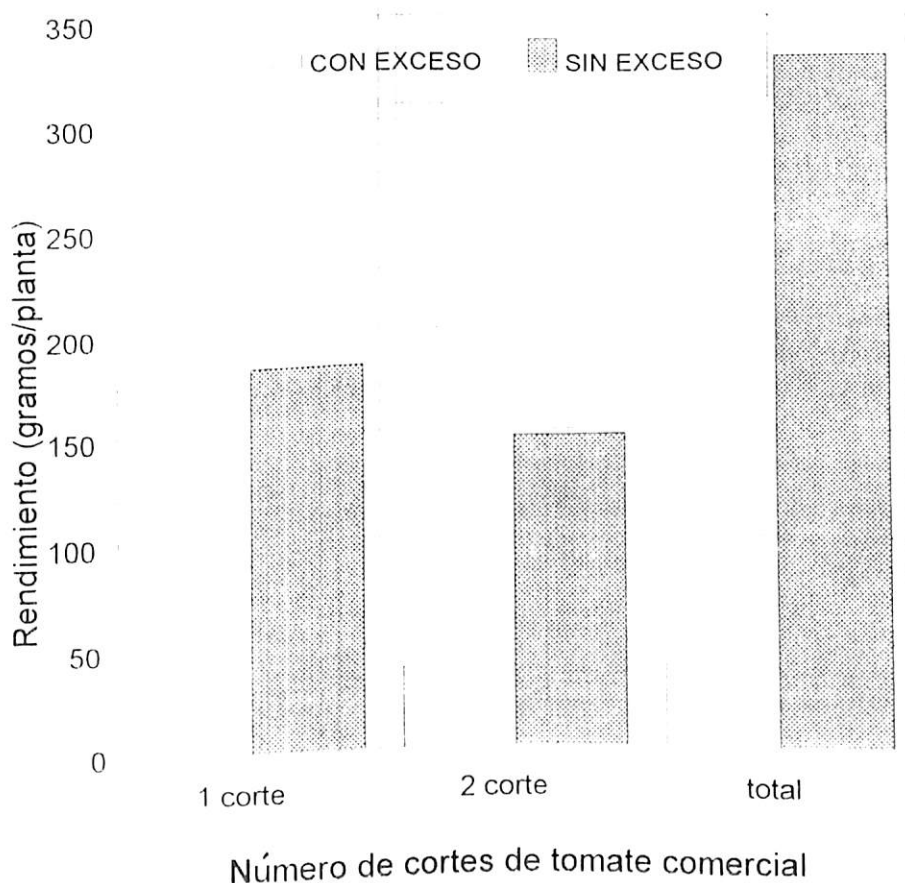


Figura 4.8. Rendimiento de tomate comercial por corte y total (gramos/planta) para las plantas con y sin estrés.

SEGUNDA PARTE

Características Agronómicas

Con la aplicación de los diferentes antitranspirantes las plantas se observaron aparentemente sin daño, después de un período de 48 horas con exceso de humedad, ya que las plantas no se marchitaron, ni los pecíolos formaron ángulo (epinasty), en forma visual se apreció el daño a las 58 horas con exceso de humedad en el suelo.

Potencial Hídrico

En el cuadro A.2 se presentan los cuadrados medios de los ANVA, para el potencial hídrico, cuando las plantas fueron sometidas a exceso de humedad en el suelo por períodos de dos; ocho; 24; 28; 32; 48 y 72 horas. Se observa que a las dos horas existió diferencia significativa, para las dosis de antitranspirante, a las ocho horas de estrés se presentó diferencia altamente significativa para antitranspirantes (factor A) ; para

dosis de antitranspirantes (factor B) y para la interacción.

En las plantas con 24 horas de estrés, el ANVA no detectó diferencias estadísticas, a las 28 horas de estrés, se detectó diferencias altamente significativas para los factores A y B, después de 32 horas de estrés, el ANVA detectó significancia para el factor A, a las 48 horas bajo estrés se detectó diferencia altamente significativa para el factor B y la interacción y después de 72 horas de estrés se presentó alta significancia para los factores A ; B y interacción. Los coeficientes de variación fueron de 2.16 por ciento a 3.27 por ciento, lo cual indica que los resultados son confiables.

En la figura 4.9, se presenta el comportamiento del potencial hídrico de hojas de las plantas con la aplicación de antitranspirantes y dos horas de exceso de humedad. Cuando se aplicó, en dosis de 0.6 ml/l de antitranspirante sintético el potencial hídrico fue (-0.34 MPa) ligeramente mayor en un dos por ciento con respecto a las plantas que se les aplicó antitranspirante el ácido y natural, respectivamente. Mientras que las plantas sin

antitranspirante y con drenaje alcanzaron un valor de -0.39 MPa. Por lo que el aumento de la resistencia estomática en éste mismo tiempo bajo estrés, fue debido a la aplicación de los antitranspirantes ya que el potencial hídrico fue mayor en las plantas con exceso de humedad con respecto a las plantas con drenaje.

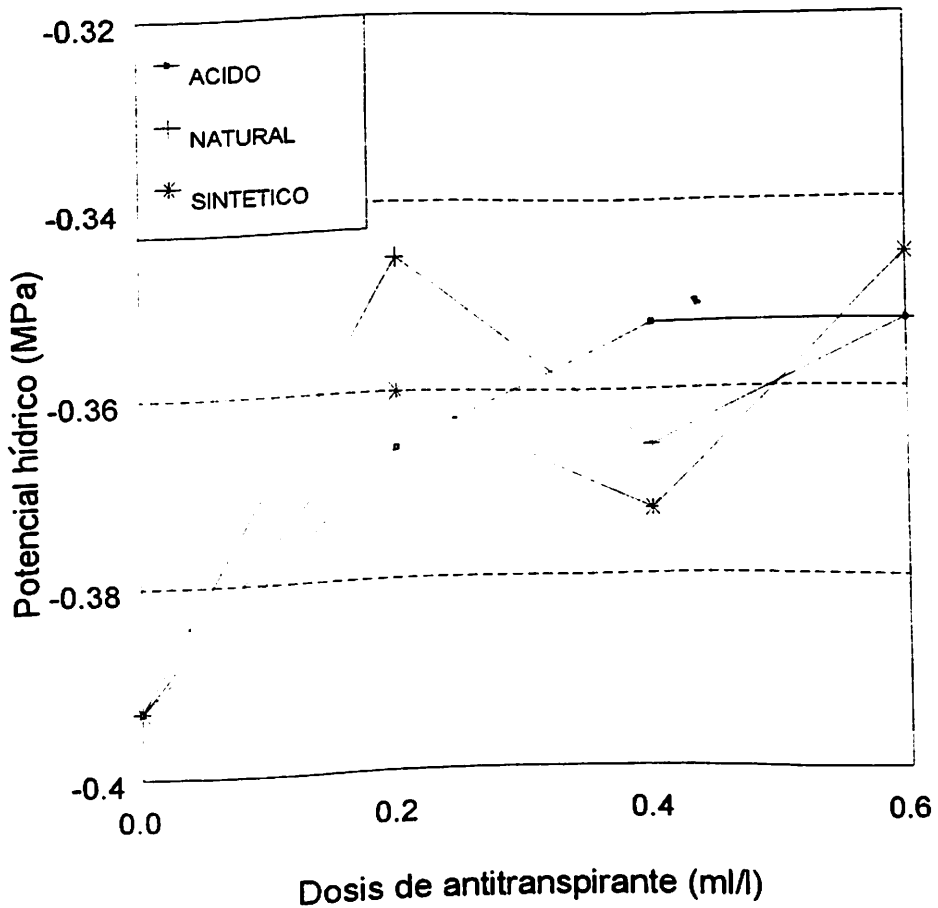


Figura 4.9. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con dos horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Las plantas con ocho horas de exceso de humedad y la aplicación de antitranspirantes a una dosis de 0.6 ml/l, las plantas que se les aplicó el antitranspirante sintético se comportó ligeramente mejor (- 0.42 MPa) en un seis por ciento, con respecto a las plantas con antitranspirante ácido, y las plantas sin antitranspirante y con drenaje presentaron valores de -0.48 de potencial hídrico (figura 4.10). Por lo que se sigue observando en base a los valores presentados que el potencial hídrico es mayor en las plantas con estrés que en las plantas sin estrés

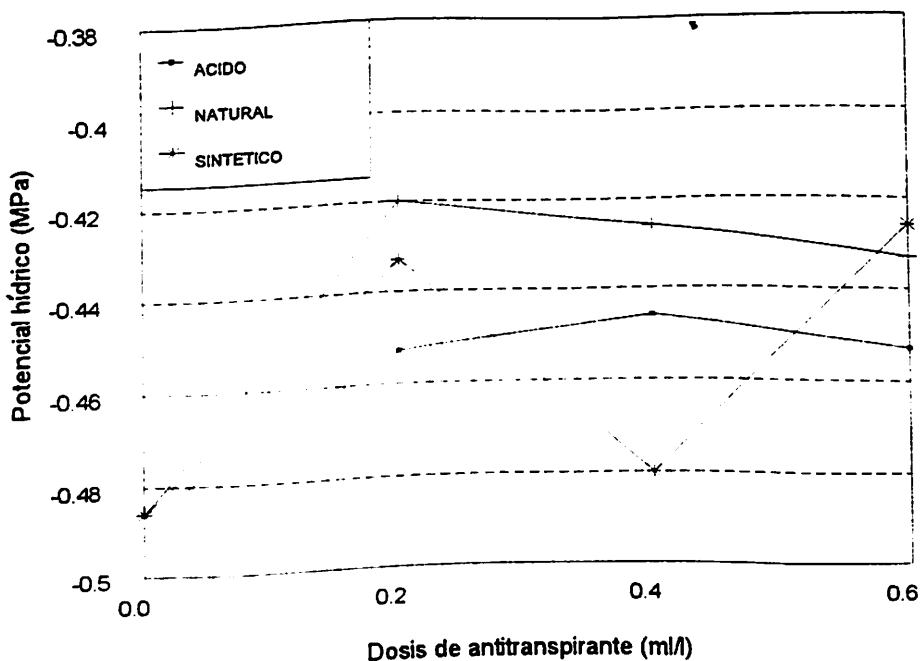


Figura 4.10. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con ocho horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

En la figura 4.11, se observa que el comportamiento de las plantas con estrés por 24 horas y con la aplicación de antitranspirante sintético a dosis de 0.6 ml/l fue el que presentó el potencial hídrico (- 0.31 MPa) mayor en un seis por ciento, con respecto a las plantas que se les aplicó antitranspirante ácido y natural, respectivamente. Mientras que las plantas con drenaje y sin antitranspirantes presentaron valores de - 0.32 MPa. Por lo que se observa que el empleo de antitranspirante es útil, ya que el potencial hídrico fue ligeramente mayor que en las plantas sin estrés y sin antitranspirante.

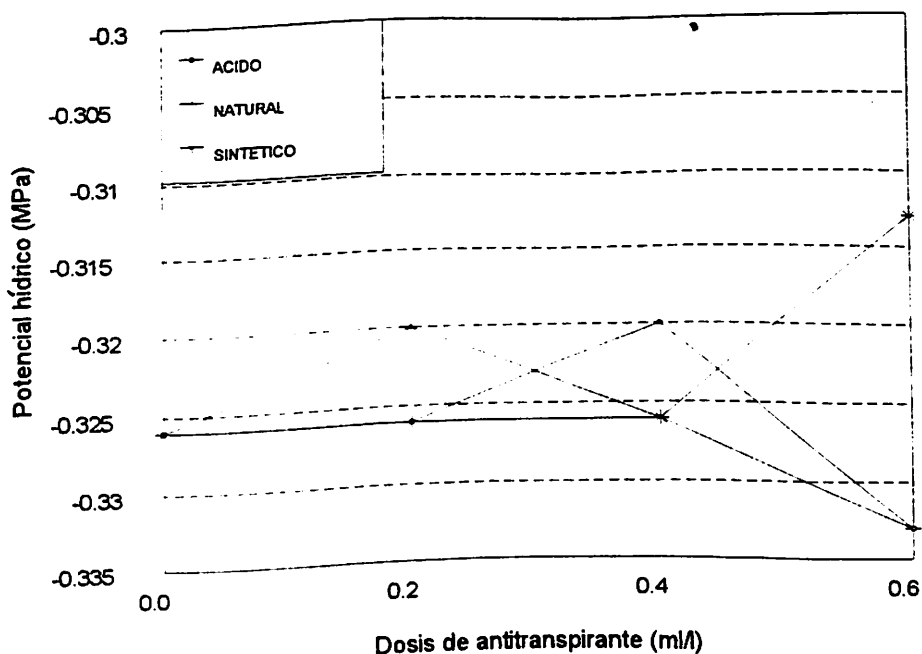


Figura 4.11. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con 24 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Las plantas con 28 horas de estrés y uso de antitranspirantes (figura 4.12) en dosis de 0.6 ml/l, cuando se aplicó el antitranspirante natural a unas plantas y el ácido a otras, los valores del potencial hídrico fueron de - 0.46 MPa y - 0.47 MPa, respectivamente, superando (potencial hídrico mayor) en un cinco por ciento con respecto a las plantas que se les aplicó antitranspirante sintético. Mientras que las plantas sin antitranspirante y sin estrés, presentaron un valor de -0.57 MPa. En base a lo anterior se puede decir que las plantas con antitranspirante y con exceso de humedad siguen hidratadas, ya que las plantas sin antitranspirante y con drenaje tienen un menor potencial hídrico.

Las plantas con 32 horas de exceso de humedad y la aplicación de antitranspirante natural a dosis de 0.6 ml/l, presentó un valor de - 0.48 MPa, fue mayor en un cinco por ciento con respecto a las plantas que se les aplicó antitranspirante sintético. Mientras las plantas sin aplicación de antitranspirante y sin estrés presentaron un valor de - 0.49 MPa de potencial hídrico (figura 4.13). Las plantas a las 32 horas de iniciado el exceso de humedad

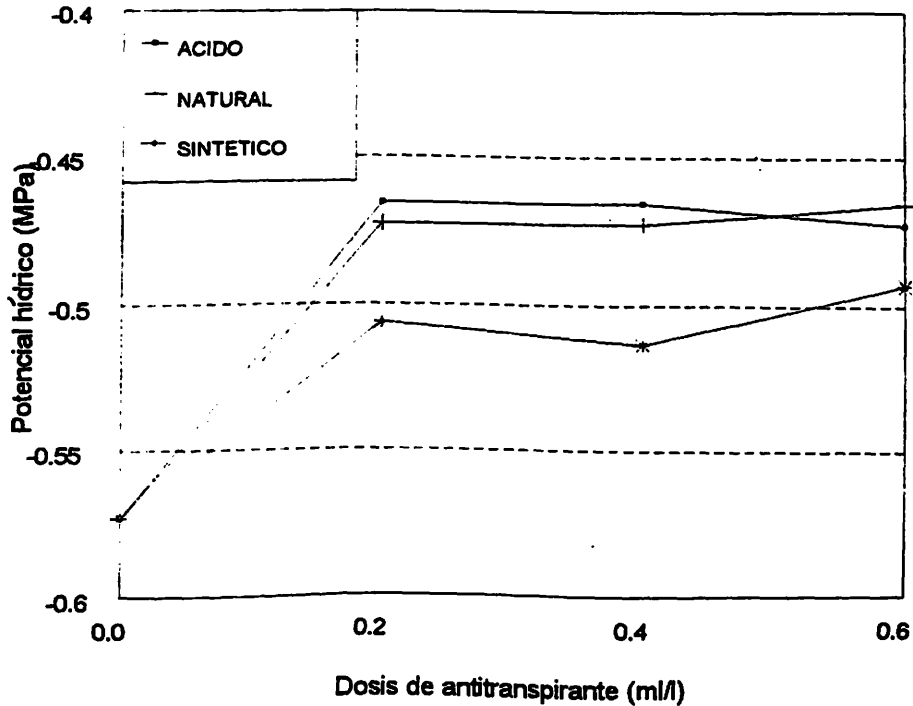


Figura 4.12. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con 28 horas de estrés y con antitranspirantes.

presentan valores parecidos a los de plantas sin estrés y sin la aplicación de antitranspirantes, por lo que se puede decir que el antitranspirante después de un período de 32 horas sigue funcionando.

En la figura 4.14, se observa que la dosis de 0.6 de antitranspirante sintético aplicado en plantas con 48 horas de estrés, sigue funcionando, ya que el potencial hídrico (- 0.37 Mpa) fue igual al de las plantas sin estrés

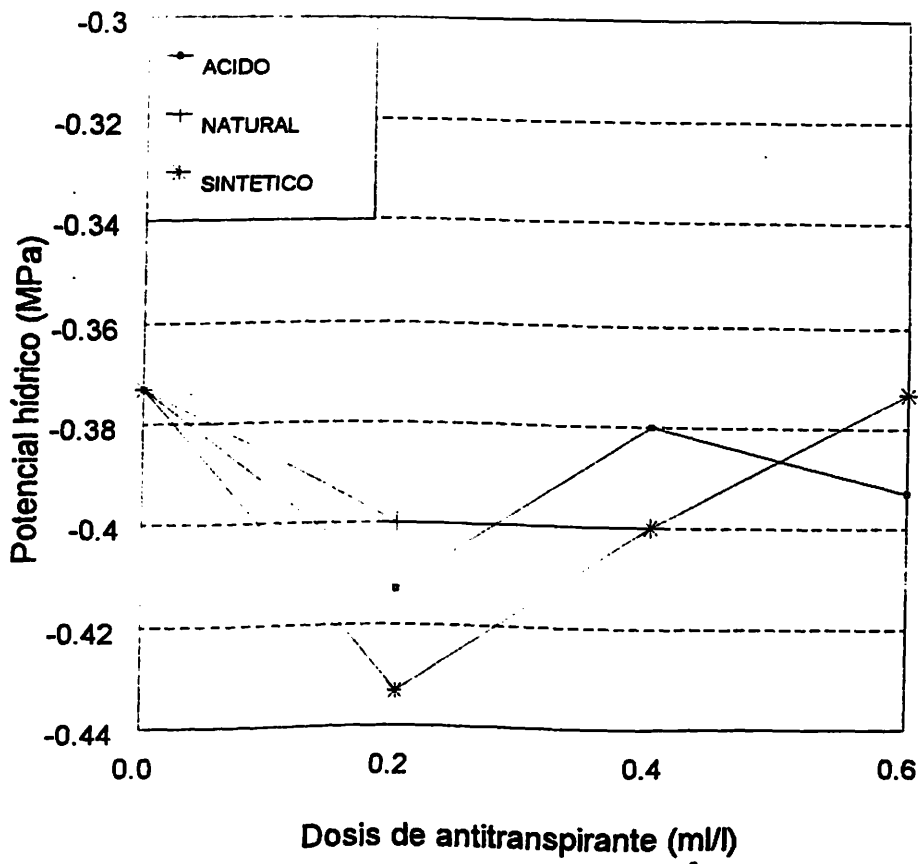


Figura 4.14. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con 48 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Las plantas con 72 horas de estrés y con la aplicación de antitranspirantes, se presentaron valores del potencial hídrico de - 0.51 MPa, para las plantas con antitranspirante natural, mientras que las plantas con antitranspirante ácido y sintético fueron menores en un dos por ciento, y las plantas sin estrés y sin antitranspirante presentaron un valor de - 0.38 MPa (figura 4.15).

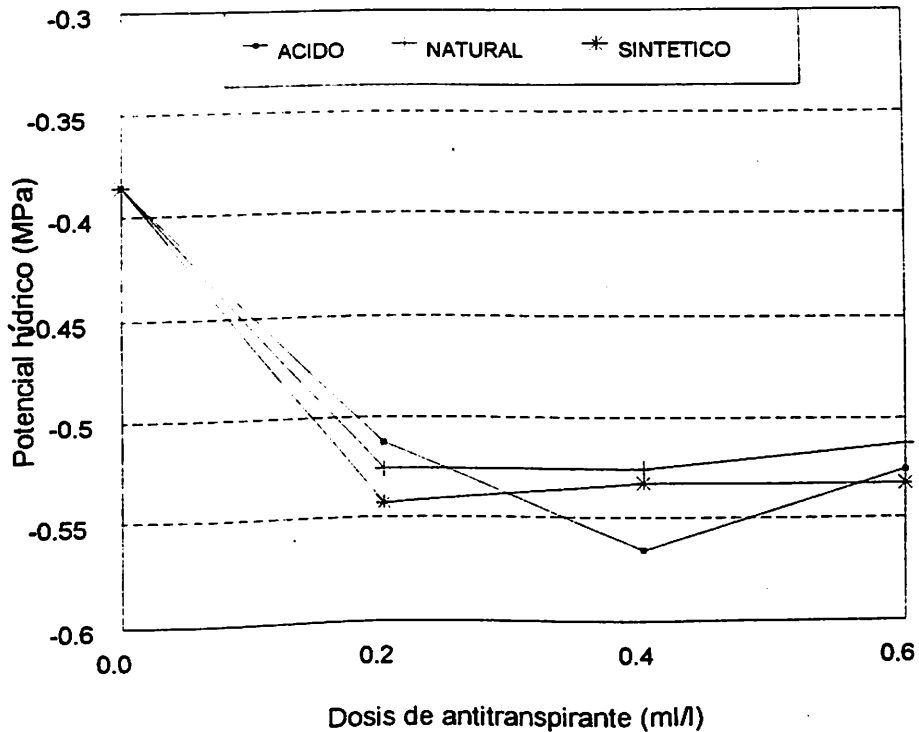


Figura 4.15. Comportamiento del potencial hídrico de la hoja de plantas drenadas (0.0) y plantas con 72 horas de exceso de humedad y con antitranspirantes.

Cuando las plantas se sometieron a estrés por un período de 72 horas y al inicio del estrés se les aplicó antitranspirantes, éstos dejaron de funcionar adecuadamente (protegiendo las plantas de la deshidratación) debido a que el potencial hídrico fue mas bajo (32 por ciento) que el de las plantas sin estrés. Por lo que se puede señalar que el cierre parcial de los estomas fue provocado por un efecto del potencial hídrico, como ya se planteó en la primer

parte de este trabajo, en donde las variables de potencial hídrico y resistencia estomática presentaron una alta correlación negativa del 93 por ciento.

Comportamiento de la Resistencia Estomatal

Después de dos; ocho; 24; 28; 32; 48; 52 y 72 horas con exceso de humedad en el suelo, los ANVA (cuadro A.3) reportaron diferencias altamente significativas, entre antitranspirantes (factor A); dosis de antitranspirantes (factor B) y la interacción.

Las plantas con un estrés de dos horas y con la aplicación de antitranspirantes se presenta en la figura 4.16, y se observa que a las plantas que se les aplicó el antitranspirante sintético fueron las que presentaron los valores máximos de resistencia estomatal (entre 9.41 y 10.33 s/cm), la diferencia entre dosis para éste fueron mínimas. Aunque para cada uno de los antitranspirantes ácido y natural aplicado en las plantas, las mejores dosis fueron las de 0.6 ml/l, con valores de 8.8 y 8.15 s/cm, respectivamente. Mientras que las plantas con drenaje y sin dosis de antitranspirante, presentaron 4.16 s/cm.

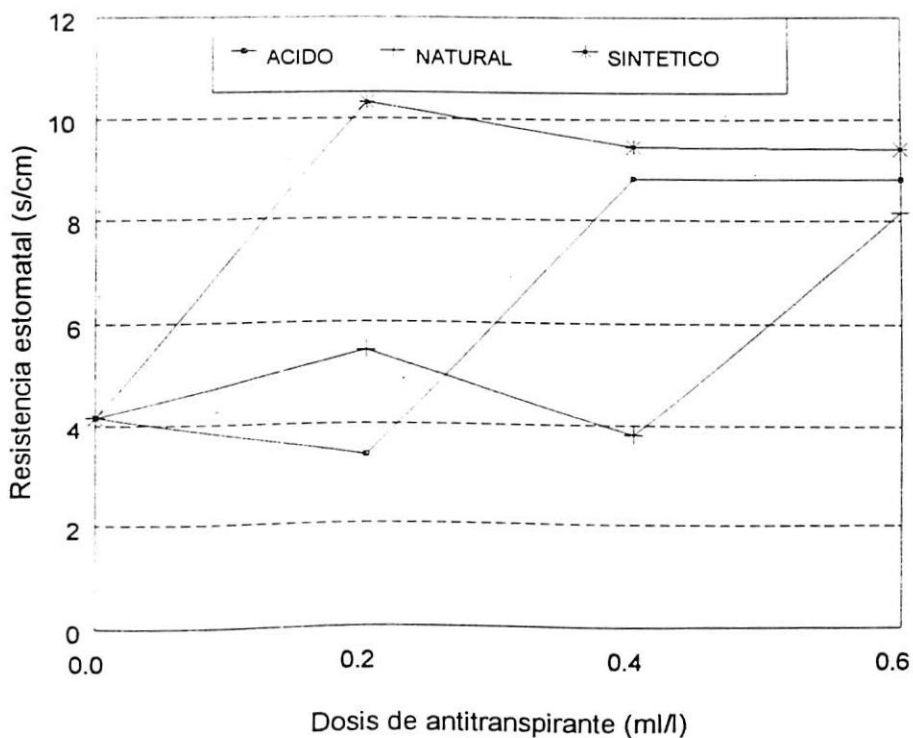


Figura 4.16. Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con dos horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Las plantas con ocho horas de estrés y la aplicación de antitranspirantes, con la dosis más elevada, las plantas alcanzaron valores de 14.6 s/cm con el antitranspirante sintético, mientras que las plantas con antitranspirante ácido la resistencia estomatal fue mas baja en 22 por ciento, respecto a las plantas con antitranspirante sintético. Las plantas sin

antitranspirante y con drenaje presentaron valores de 7.45 s/cm (figura 4.17).

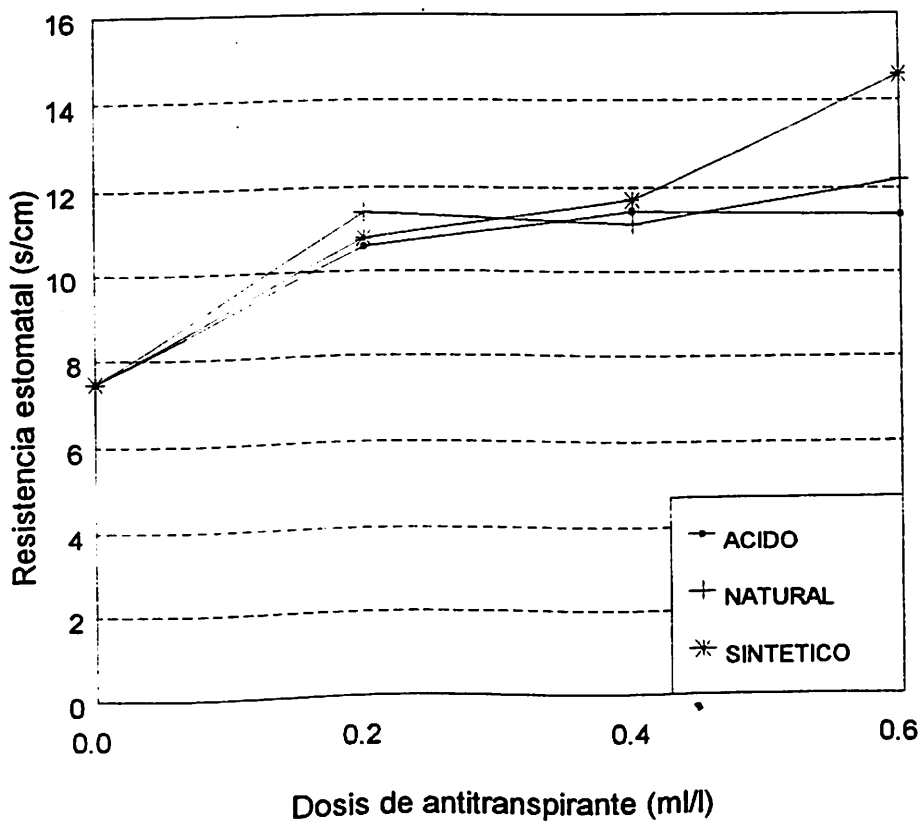


Figura 4.17. Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con ocho horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Después de las 24 horas con exceso de humedad en el suelo, (figura 4.18) las plantas con antitranspirante ácido se comportaron con los valores mas elevados (24.76), superando en más de un 100 por ciento al valor alcanzado por las plantas con antitranspirante sintético, este valor

se debe tomar con reserva ya que pudo haber existido un error en el momento de la lectura. Mientras que la dosis de 0.6 ml/l fue la que presentó valores máximos para cada uno de los tres antitranspirantes aplicados a las plantas y las plantas con drenaje presentaron 4.78 s/cm.

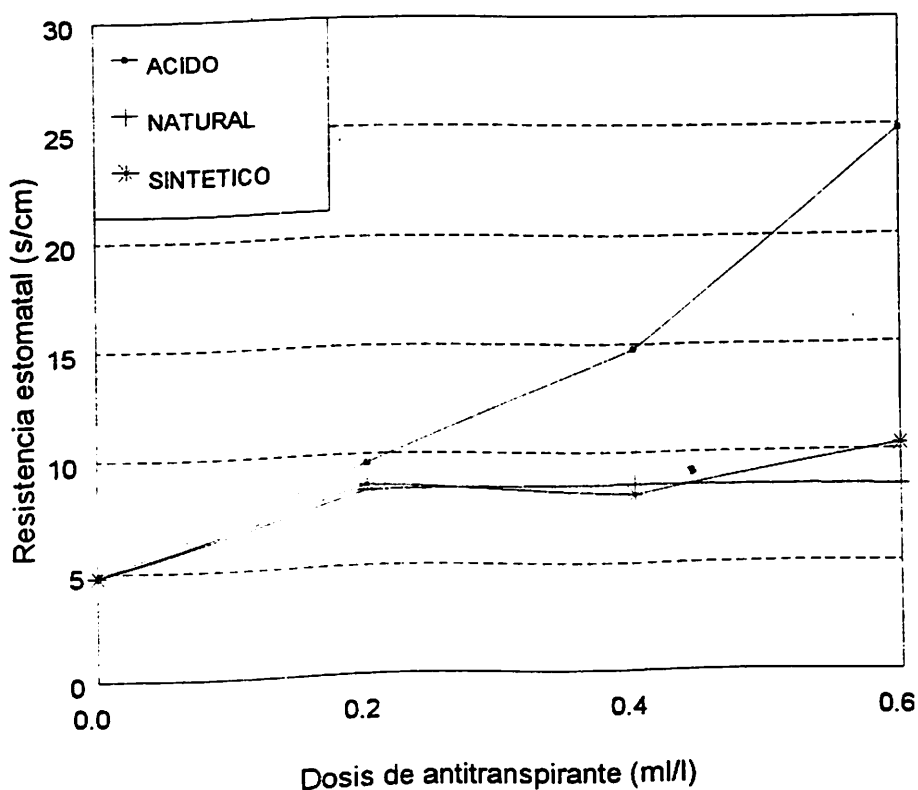


Figura 4.18. Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 24 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Las plantas con 28 horas bajo exceso de humedad y empleo de antitranspirantes (figura 4.19), las plantas con

antitranspirante sintético presentaron un valor de 24.9 s/cm y las plantas con antitranspirante natural fue mas bajo en un 22 por ciento, con respecto al valor alcanzado por las plantas con antitranspirante sintético, para la dosis de 0.6 ml/l. Mientras que las plantas que no se les aplicó antitranspirante y con drenaje la resistencia estomática fue de 11.07 s/cm.

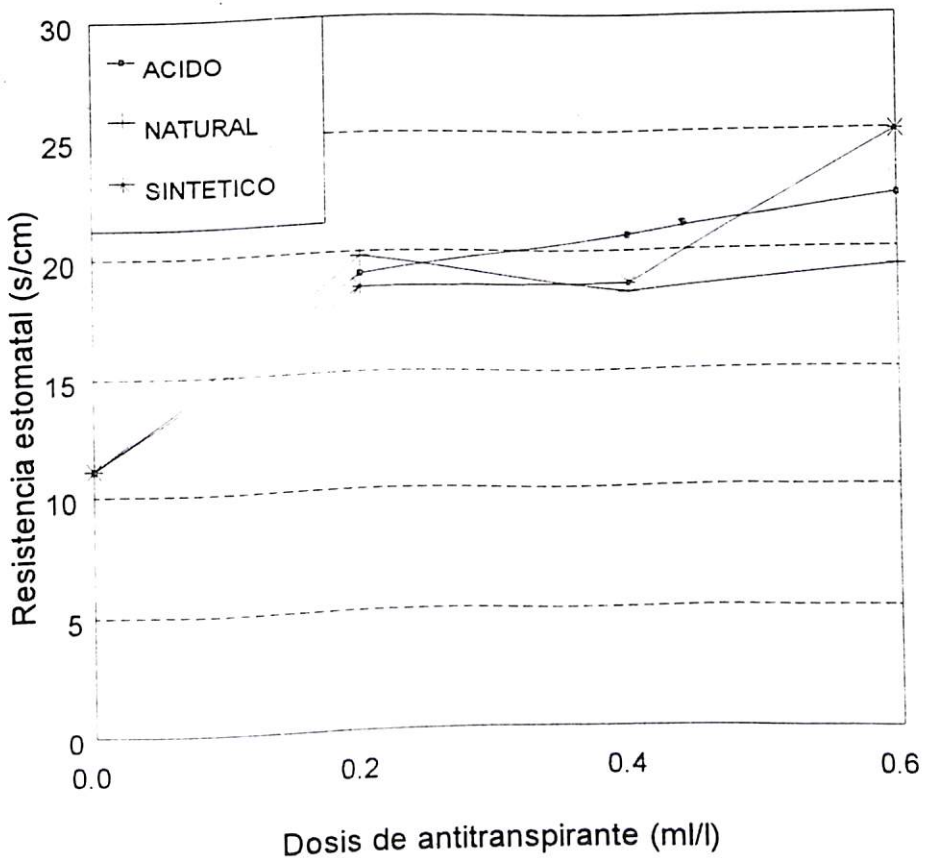


Figura 4.19. Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 28 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Con el empleo de antitranspirantes en plantas con 32 horas de exceso de humedad, las plantas con antitranspirante sintético fue mayor (29.16 s/cm) para la dosis de 0.4 ml/l y los valores más bajos en 21 por ciento fueron con la dosis de 0.6 ml/l, con respecto a la dosis media y las plantas con antitranspirante natural fue mas bajo en un 38 por ciento, con respecto a las plantas con antitranspirante sintético. Mientras que las plantas sin antitranspirantes y con drenaje, alcanzaron un valor de 6.42 s/cm (figura 4.20).

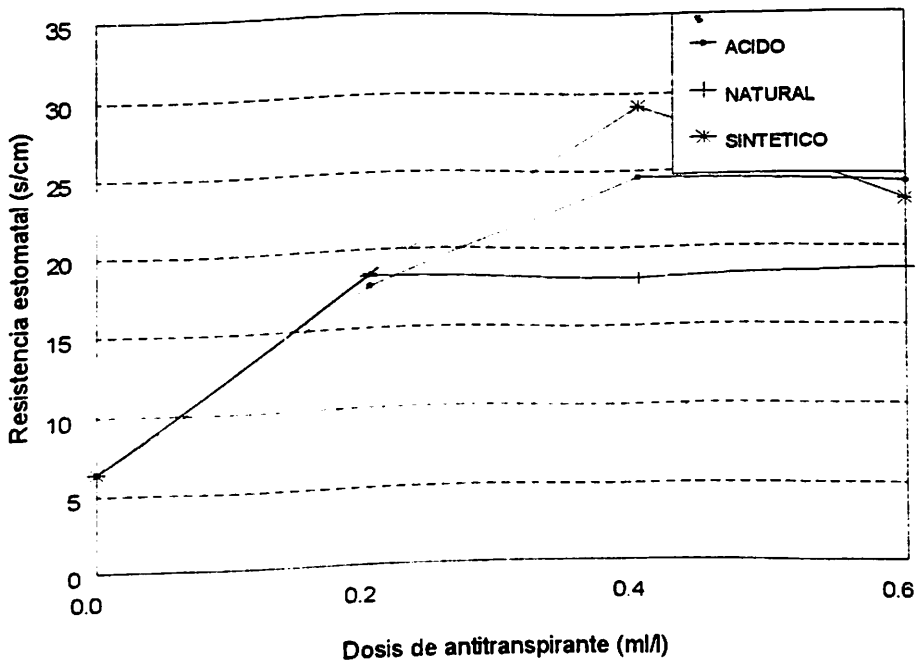


Figura 4.20. Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 32 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

En la figura 4.21, se observa el comportamiento de las plantas con 48 horas de estrés y con antitranspirantes, las plantas con antitranspirante sintético fue el mayor (91.1 s/cm) con la dosis de 0.6 ml/l y las plantas con antitranspirante natural fue menor en un 66 por ciento, con respecto a las plantas con antitranspirante sintético y a la misma dosis. Mientras que plantas sin antitranspirantes y con drenaje alcanzó 7.08 s/cm.

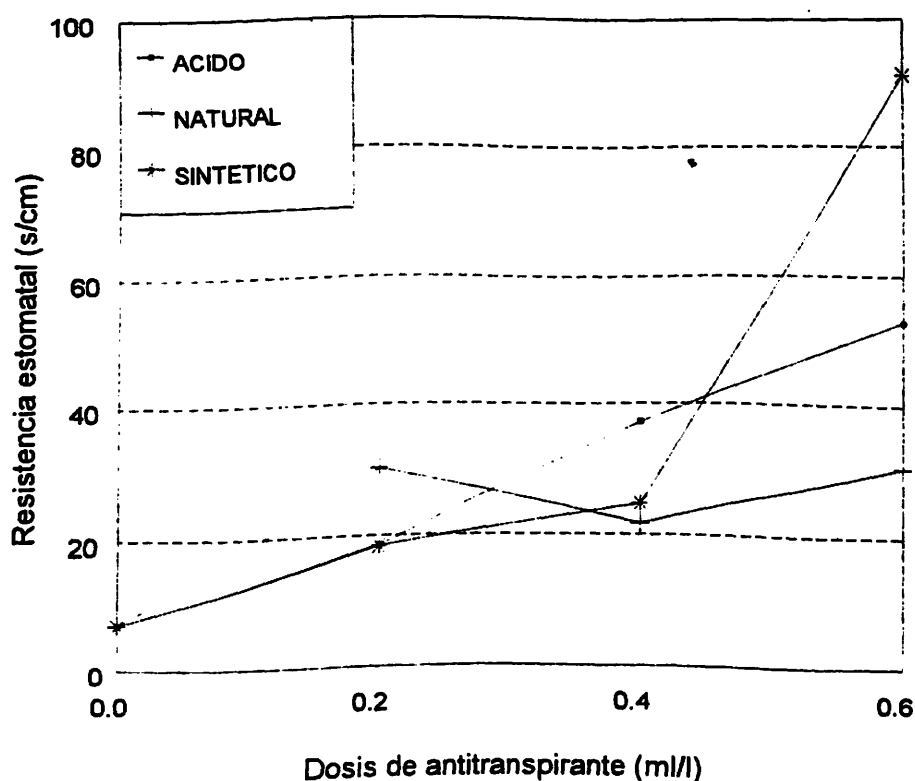


Figura 4.21. Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 48 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Las plantas con 52 horas bajo estrés, la dosis más alta fue la que alcanzó los valores mayores de resistencia estomatal y las plantas con antitranspirante ácido alcanzaron el valor más elevado de 83.0 s/cm, seguido de las plantas con antitranspirante sintético y el valor alcanzado por las plantas con antitranspirante natural fue más bajo en un 46 por ciento, con respecto a las plantas con antitranspirante ácido. Mientras que las plantas sin antitranspirante y con drenaje presentaron 6.04 s/cm (figura 4.22).

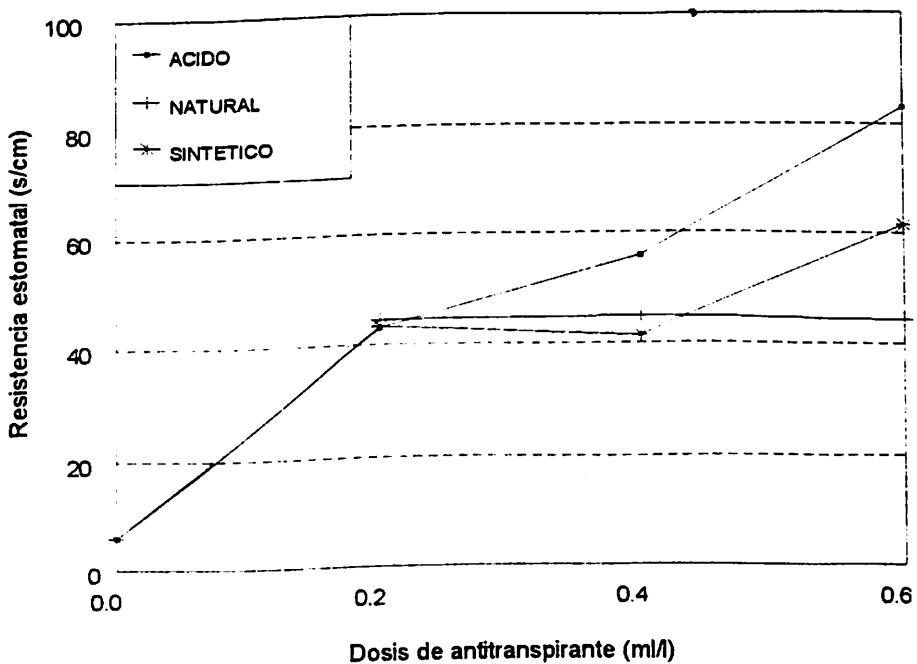


Figura 4.22. Comportamiento de la resistencia estomatal de plantas drenadas (0.0) y plantas con 52 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Transpiración

En los resultados de los cuadrados medios de los ANVA (cuadro A.4), se observa que a las dos horas bajo estrés, las diferencias fueron altamente significativas, para los factores A; B y la interacción. Cuando las plantas duraron ocho horas bajo estrés, para el factor B se presentó diferencia altamente significativa y la interacción fue significativa.

Las plantas con 24 horas de estrés, para los factores A; B y la interacción, se detectaron diferencias altamente significativas. Cuando las plantas duraron 28 y 32 horas de estrés, para los factores A; B y interacción fueron altamente significativos. Las plantas con 48 horas de estrés, presentaron para el factor B y la interacción diferencias altamente significativas.

Las plantas con 52 horas de estrés, para los factores A; B y interacción, las diferencias fueron altamente significativas. Cuando las plantas duraron 72 horas con estrés, el factor B, fue altamente significativo.

Los coeficientes de variación variaron de 3.68 por ciento a 10.11 por ciento, por lo que se puede sugerir que los resultados son aceptables. Aunque, el valor de 10 por ciento, es elevado considerando que es bajo condiciones de invernadero, las variaciones en el C.V se puede explicar debido a que no se tenía control sobre variables climáticas dentro del invernadero.

En la figura 4.24 se observa, que las plantas bajo estrés por dos horas y aplicación de antitranspirante sintético en dosis de 0.6 ml/l, se presentó la menor transpiración ($1.81 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$) debido a que el estoma se encontraba parcialmente cerrado y en las plantas con antitranspirante natural, fue mayor la transpiración en un 56 por ciento.

Mientras que las plantas con drenaje y sin antitranspirante, transpiraron $5.18 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$. La transpiración se redujo en un 65 por ciento, por efecto de la aplicación de los antitranspirantes que cubrieron los estomas de las hojas.

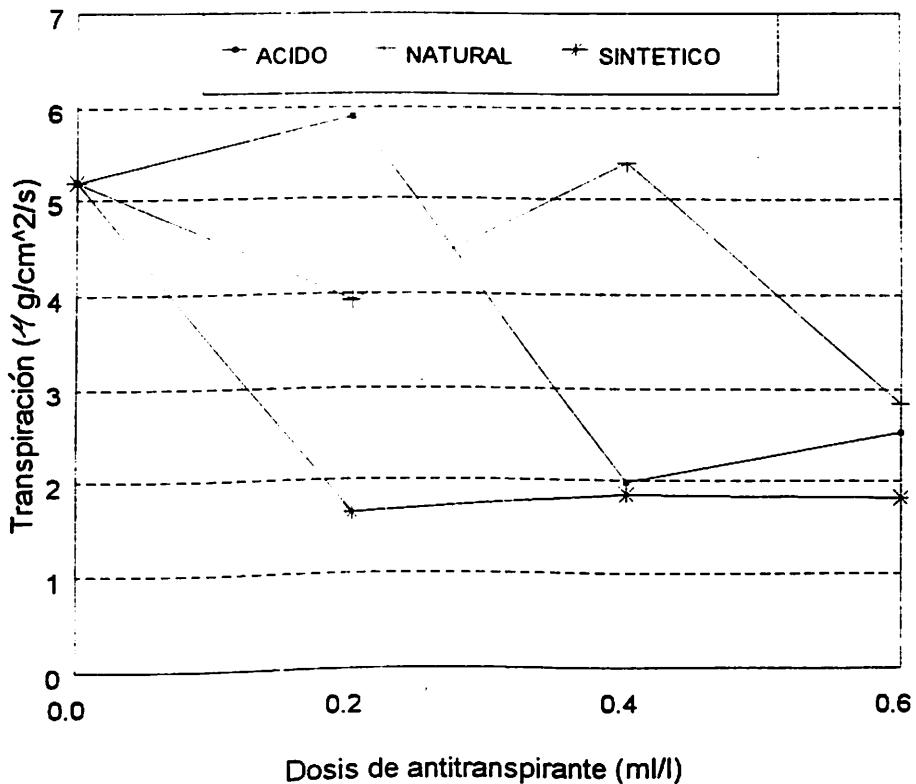


Figura 4.24. Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con dos horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Las plantas con estrés por ocho horas (figura 4.25) y con la aplicación de antitranspirante en la dosis de 0.6 ml/l, presentó la menor transpiración para los tres antitranspirantes y las plantas con antitranspirante sintético presentaron una transpiración de $1.78 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$, menor en 50 por ciento, con respecto a las plantas con antitranspirante ácido. Mientras que las plantas sin

antitranspirante y sin estrés transpiraron $3.54 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$.

Con el empleo de antitranspirantes la transpiración se redujo en 49 por ciento, debido al cierre parcial del estoma (valores más elevados de resistencia estomática).

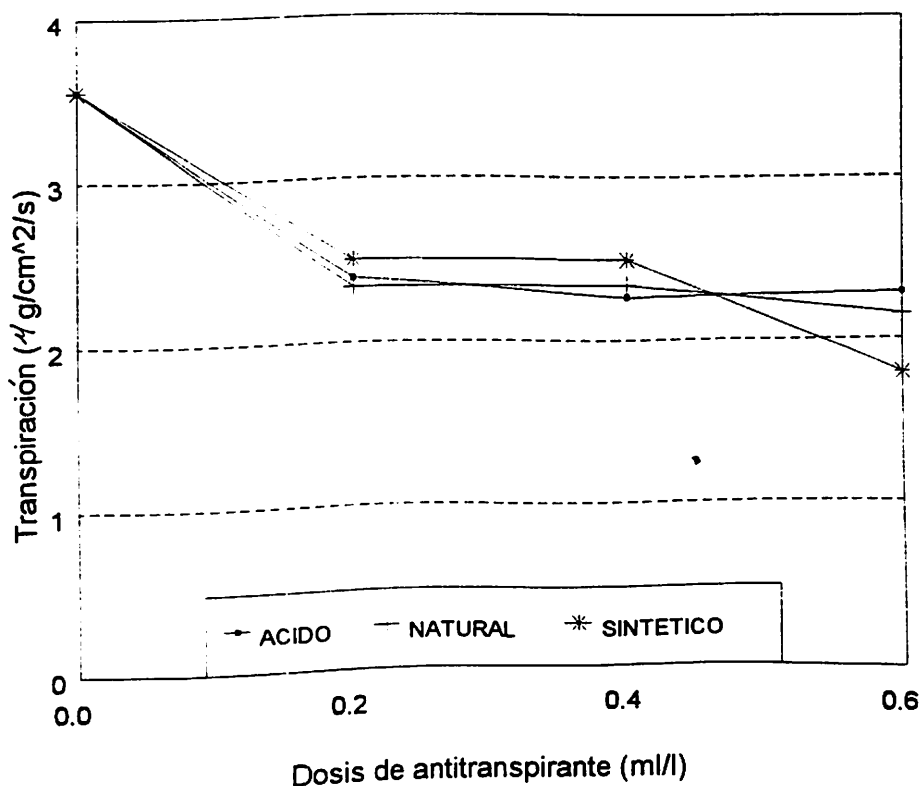


Figura 4.25. Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con ocho horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Las plantas con 24 horas de exceso de humedad en el suelo (figura 4.26) y con la aplicación de antitranspirante

ácido en dosis de 0.6 ml/l presentó la menor transpiración ($0.51 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$), 67 por ciento menos que las plantas con antitranspirante natural. Mientras que la transpiración fue de $2.57 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$ para las plantas sin estrés y sin antitranspirante, con la utilización del antitranspirante la transpiración fue 80 por ciento menor, respecto a las plantas sin estrés.

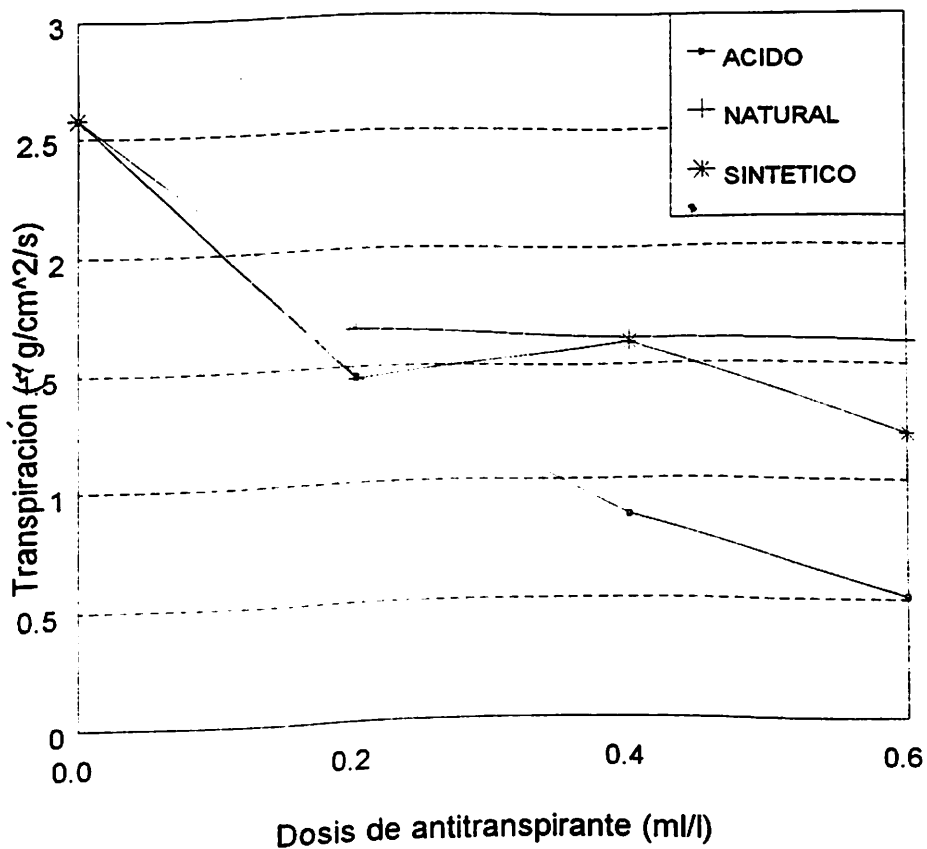


Figura 4.26. Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 24 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

En la figura 4.27, se presenta el comportamiento de las plantas bajo estrés por 28 horas a las cuales se les aplicó antitranspirantes, en dicha figura se puede observar que la transpiración de las plantas con antitranspirante sintético con dosis de 0.6 ml/l fue de 1.14 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$, valor mas bajo en un 37 por ciento, con respecto a las plantas que se le aplicó antitranspirante natural. Mientras que las plantas sin estrés transpiraron 2.56 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$, el uso de antitranspirantes redujo la transpiración en un 55 por ciento.

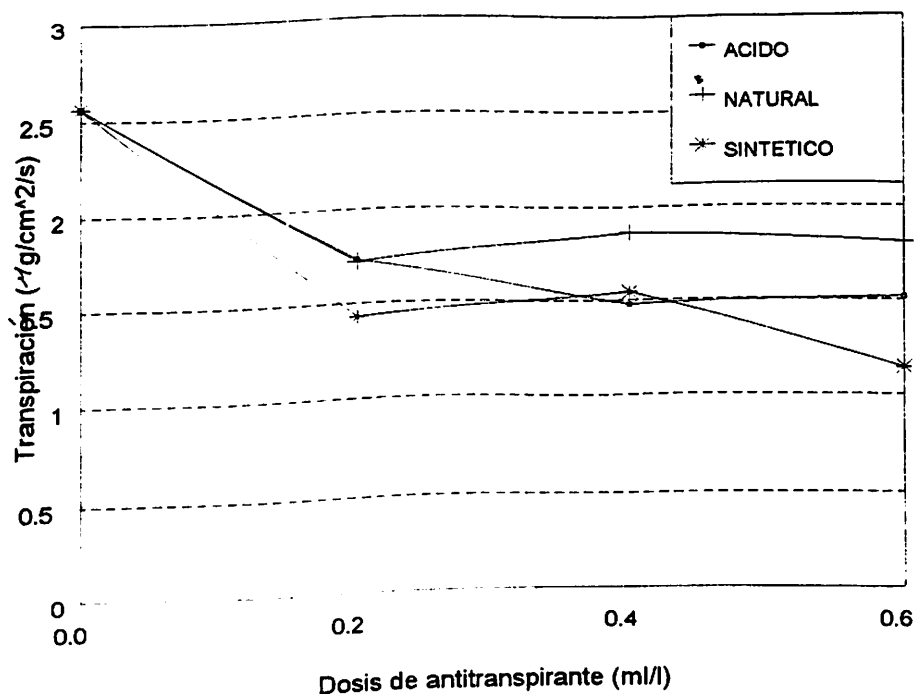


Figura 4.27. Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 28 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Las plantas con estrés por 32 horas y que se les aplicó antitranspirante (figura 4.28), las plantas con antitranspirante ácido en la dosis de 0.6 ml/l, la transpiración fue de 1.25 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$ mas baja en un 17 por ciento que la de plantas con antitranspirante natural. La transpiración fue menor en un 69 por ciento cuando se aplicó antitranspirante, con respecto a la transpiración (4.16 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$) de las plantas sin estrés.

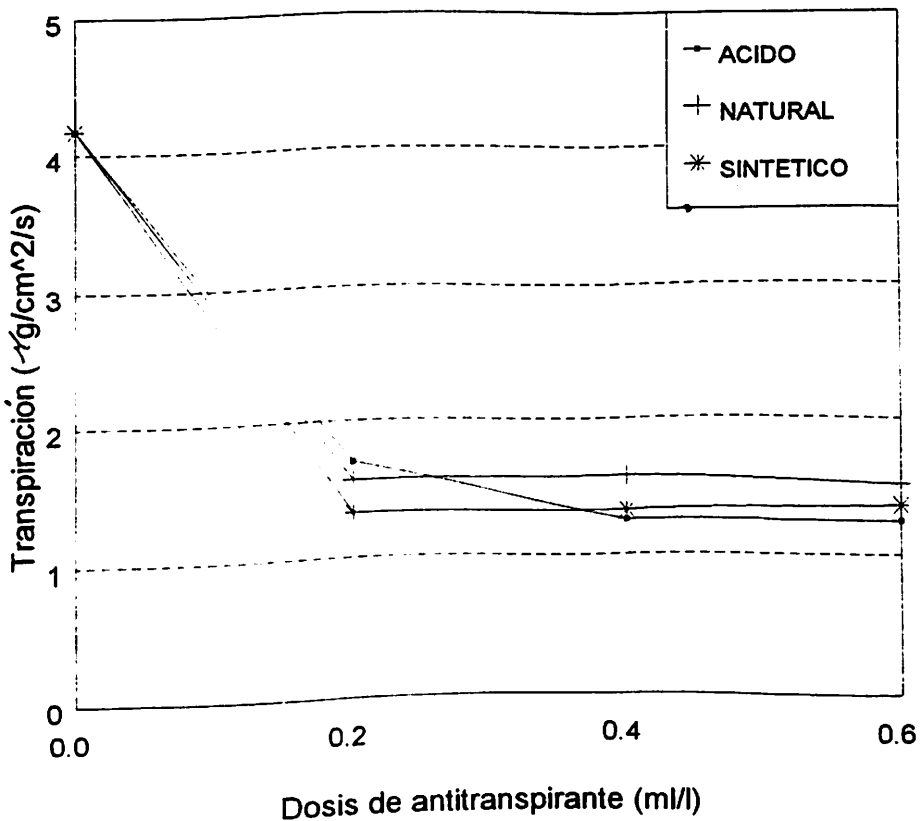


Figura 4.28. Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 32 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

En la figura 4.29, se presenta el comportamiento de las plantas bajo estrés por 48 horas con la aplicación de antitranspirantes, las plantas que se les aplicó antitranspirante sintético con la dosis de 0.6 ml/l la transpiración fue de 0.18 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$ mas baja en un 68 por ciento con respecto a las plantas que se les aplicó antitranspirante natural. Mientras que la transpiración de las plantas sin estrés fue de 2.47 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$, por lo que se puede inferir que el estoma permaneció parcialmente cerrado.

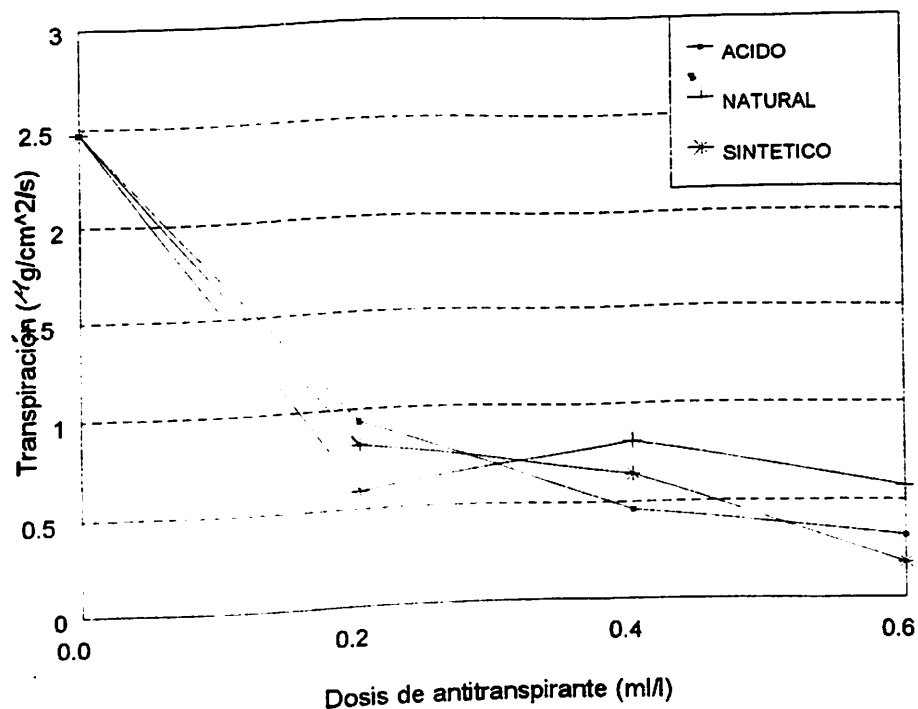


Figura 4.29. Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 48 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

Las plantas con 52 horas de estrés y la aplicación de antitranspirantes (figura 4.30), las plantas con antitranspirante ácido y sintético la transpiración fue de $0.49 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$ y las plantas con antitranspirante natural transpiraron $0.81 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$. Mientras que las plantas sin estrés la transpiración fue de $4.80 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$, los estomas de las plantas bajo estrés están más cerrados que el de las plantas sin estrés, pero ya durante este tiempo de exceso de humedad no se le puede atribuir totalmente el cierre de los estomas a la aplicación de los antitranspirantes, debido a que como no se cuenta con la evidencia del potencial hídrico en la planta.

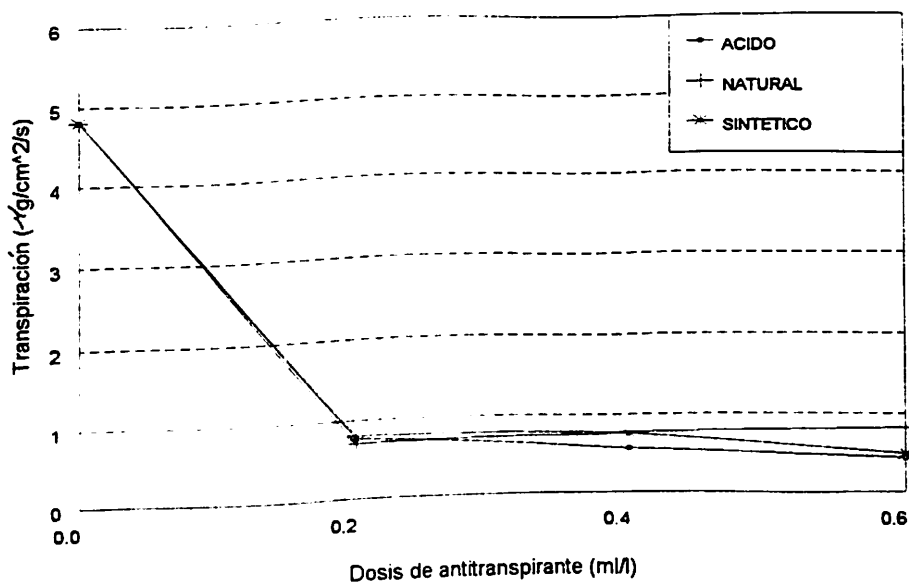


Figura 4.30. Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 52 horas de estrés con antitranspirantes.

En la figura 4.31 se presenta el comportamiento de las plantas bajo estrés por 72 horas y con la aplicación de antitranspirantes, las plantas transpiraron alrededor de $0.03 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$ con los tres antitranspirantes, considerando la magnitud de la transpiración y el alto valor de la resistencia estomática, se puede inferir que el estoma estaba prácticamente cerrado, pero este cierre del estoma es debido a que el potencial hídrico disminuyó y afectó la abertura de los estomas, como ya se vio en la primer parte de este estudio. Mientras que las plantas sin estrés transpiraron $1.22 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$.

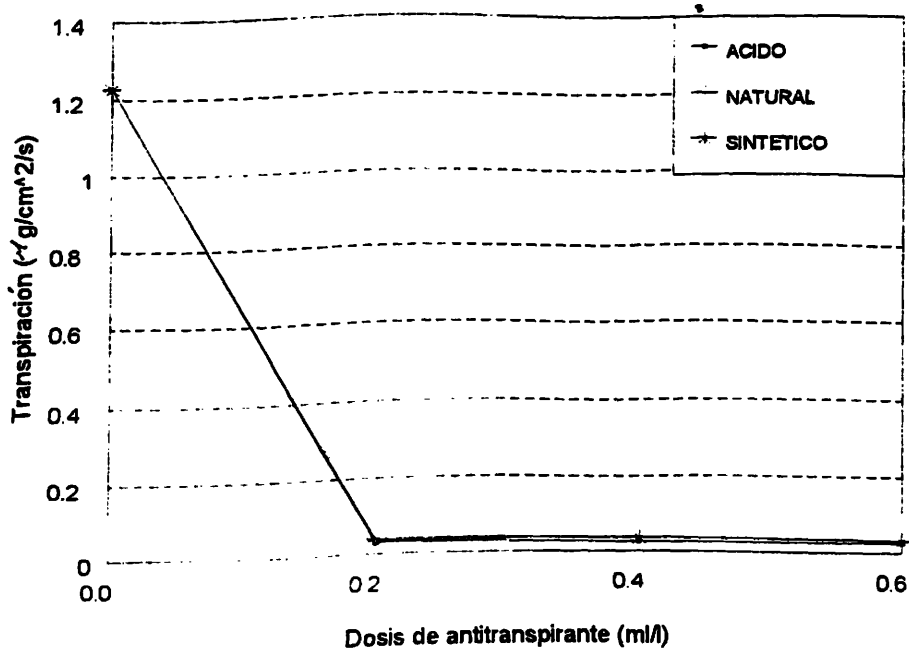


Figura 4.31. Comportamiento de la transpiración de plantas drenadas (0.0) y plantas con 72 horas de exceso de humedad con antitranspirantes.

CONCLUSIONES

Bajo condiciones de este experimento el contenido de oxígeno presente en el agua del suelo, a las 24 horas fue de un 6.8 por ciento y a las 72 horas no existe oxígeno en el agua.

Las plantas de tomate con un período de 24 horas de exceso de humedad lograron sobrevivir, mientras que con períodos mayores las plantas mueren.

El abatimiento de oxígeno en el agua (93.2 por ciento) del suelo causó disminución del potencial hídrico y éste provocó un aumento de la resistencia estomatal y a su vez una disminución de la transpiración.

Cuando las plantas son sometidas a estrés por 24 horas el rendimiento se disminuye un 85 por ciento con respecto al de las plantas sin estrés.

Hasta las 48 horas el potencial hídrico fue mayor en las plantas bajo condiciones de exceso de humedad que en el control, debido a que el antitranspirante incrementó la resistencia estomática y evitó la deshidratación de las hojas de la planta de tomate.

Con la dosis de 0.6 ml/l el potencial hídrico se mantuvo a un nivel más alto por 48 horas.

El empleo de antitranspirantes, debe ser estudiado más a fondo y así poderlo utilizar como una forma de escape inmediata para las plantas de tomate bajo estrés por exceso de agua.

RESUMEN

En el Oriente de San Luis Potosí y Norte de Veracruz, se establece una superficie de 1 500 a 2 000 ha con el cultivo de tomate, la importancia de este cultivo es la generación de empleo ya que se requieren más de 200 jornales por hectárea.

La explotación de este cultivo se realiza bajo condiciones de temporal y de riego, se establece principalmente en suelos vertisoles pellicos, las características físicas del suelo (arcillosos y baja conductividad hidráulica), las precipitaciones que son de alta intensidad y duración, así como la utilización deficiente del riego (sobreriego). Lo anterior origina el problema de exceso de humedad, que causa cambios físicos y químicos (potencial hídrico, resistencia estomatal, balance hormonal, concentración de etileno, etc.).

El presente trabajo se estableció en invernadero, durante 1996, con el objetivo de cuantificar el abatimiento

del oxígeno disuelto en el agua del suelo, y los cambios físicos en el potencial hídrico y resistencia estomatal y además, encontrar alguna alternativa de escape al estrés.

Con el exceso de humedad se disminuyó el contenido de oxígeno presente en el suelo, ya que a las 24 horas fue de 6.8 por ciento y a las 72 horas no existe oxígeno. Lo cual causó una disminución del potencial hídrico (valores más negativos) después de un período de dos horas de estrés, y éste ocasionó que la resistencia estomatal aumentara y a su vez la transpiración se redujo.

Las plantas de tomate lograron sobrevivir cuando el exceso de humedad fue hasta por 24 horas y con períodos mayores las plantas mueren, los daños visuales que se presentaron fueron amarillamiento de la hojas inferiores y la epinasty, así como una reducción en el rendimiento de 44 por ciento, respecto al testigo.

Se aplicaron antitranspirantes para evitar que las plantas se deshidrataran a causa del exceso de humedad en el suelo, y fue útil una única aplicación para proteger la planta de tomate por un período de 48 horas.

LITERATURA CITADA

- Box, J.E., Jr. 1986. Winter Wheat Grain Yield Responses to Soil Oxygen Diffusion Rates. *Crop Sci.* 26:355-361. United States of América.
- Bradford, K.J. and Dilley, D.R. 1978. Effects of root anaerobiosis on ethylene production, epinasty, and growth of tomato plants. *Plant physiol.* 61:506-509. United States of América.
- _____, K.J. and Hsiao, T.C. 1982. Stomatal Behavior and water Relations of Waterlogged Tomato Plants. *Plant Physiol.* 70:1508-1513. United States of América.
- _____, K.J., Hsiao, T.C. and Yang, S.F. 1982. Inhibition of Ethylene Synthesis in Tomato Plants Subjected to Anaerobic Root Stress. *Plant Physiol.* 70:1503-1507. United States of América.
- _____ and Yang, S.F. 1980 a. Xylem transport of 1 Aminocyclopropane-1-carboxylic acid, and ethylene precursor in waterlogged tomato plants. *Plant Physiol.* 35:322-326. United States of América.
- _____ and Yang, S.F. 1980 b. Stress-induced ethylene production in the ethylene-requiring tomato mutant diageotropica. *Plant physiol.* 65:327-330. United States of América.
- _____ and Yang, S.F. 1981. Physiological responses of plants to waterlogging. *Hort.Sci.* 16(1):3-8. United States of América.
- Díaz, P.J.C. 1995. Lectura de tensiómetro. *Productores de Hortalizas.* febrero. México. pp 18.

- Gilbert, S.G. and Shive, J.W. 1942. the significance of oxygen in nutrient substrates for plants: I. The oxygen requirement. *Soil Sci.* 53:143-152. United States of America.
- Huang, B., Johnson, J.W., NeSmith, D.S. and Bridges, D.C. 1994. Root and Shoot Growth of Wheat Genotypes in Response to Hypoxia and Subsequent Resumption of Aeration. *Crop Sci.* 34:1538-1544. United States of America.
- Jackson, M.B. and Drew, M.C. 1984. Effects of Flooding on Growth and Metabolism of Herbaceous Plants. In: Kozlowski, T.T. (Ed.) *Physiological Ecology a Series of Monographs, texts and treatises.* Department of Forestry, University of Wisconsin. Madison, Wisconsin. Academic Press, Inc. United States of America pp. 47-111.
- _____ and Campbell, D.J. 1979. Effects of Benzyladenine and gibberellic acid on the response of tomato plants to anaerobic root environments and to ethylene. *New Phytol.* 82:331-340. United States of America.
- _____, Gales, K., and D. Joan Campbell, D.J. 1978. Effect of waterlogged soil conditions on the production of ethylene and on water relationships in tomato plants. *J. of Exp. Bot.* 29(108):183-193. United States of America.
- _____ and Kowalewska, A.K.B., 1983. Positive and Negative Messages from Roots Induce Foliar Desiccation and Stomatal Closure in Flooded Pea Plants. *J. Exp. Bot.* 34(142):493-506. United States of America.
- Kozlowski, T.T. and Pallardy, S.G. 1979. Stomatal responses of *Fraxinus pennsylvanica* Seedlings during and after Flooding. *Physiol. Plants.* 46:155-158. United States of America.
- Kramer, P.J. 1951. Causes of injury to plants resulting from flooding of the soil. *Plant. Physiol.* 26:722-736. United States of America.

- _____ and Jackson, W.T. 1954. Causes of injury to flooded tobacco plants. *Plant Physiol.* 29:241-245. United States of America.
- Lakitan, B., Wolfe, D.W. and Zobel, R.W. 1992. Flooding Affects Snap Bean Yield and Genotypic Variation in Leaf Gas Exchange and Root Growth Response. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(5):711-716. United States of America.
- Musgrave, M.E. 1994. Waterlogging Effects on Yield and Photosynthesis in Eight Winter Wheat Cultivars. *Crop Sci.* 34:1314-1318. United States of America.
- Ortiz, V.B. y Ortiz, S.C. 1980. *Edafología*. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. pp. 30.
- Patrick, W.H., Jr. 1977. Oxygen content of soil air by a fiels method. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41:651-652. United States of America.
- Ponnamperuma, F.N. 1984. Effects of Flooding on Soils. In:Kozlowski, T.T. (Ed.) *Physiological Ecology a Series of Monographs, texts, and treatises.* Departament of Forestry, University of Wisconsin. Madison, Wisconsin. Academic Press, Inc. Unites Stated of América. pp. 10-42.
- Ramírez, M.M , González, J.A. y Del Ángel, S.R. 1992. Guía para cultivar tomate de riego en la planicie Huasteca. Folleto para productores Num. 1. SARH-INIFAP-CIR NORESTE- CAMPO EXPERIMENTAL EBANO, S.L.P., México. 24 p.
- Reddy, K.R., Rao, P.S.C. and Patrick. Jr. W.H. 1980. Factors Influencing Oxygen Consumption Rates in Fooded Soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44:741-744. United States of América.
- Richards, L.A. 1980. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos.* Ed. Limusa, México. 172 p.
- Rojas, G.M. y Ramírez, H. 1987. Control hormonal del desarrollo de las plantas, *Fisiología-Tecnología-Experimentación.* Ed. Limusa. México. pp. 33-34.

- Sanchez-Blanco, M.J., Alarcon, J.J., Planes, J. and Torrecillas, A. 1994. Differential flood stress resistance of two almond cultivars based on survival, growth and water relations as stress indicators. *J. of Hort. Sci.* 69(5):947-953. United States of América.
- Schaffer, B., Andersen, P.C. and Ploetz, R.C. 1992. Responses of Fruit Crops to flooding. In: Janic, J. (Ed.). *Horticultural reviews Vol.13:258-267*. Purdue University a Willey-Interscience publication. United States of América.
- Singh, B.P., Tucker, K.A, Sutton, J.D. and Bhardwaj, H.L. 1991. Flooding Reduces gas exchange and growth in snap bean. *Hort. Sci.* 26(4):372-373. United States of América.
- Sojka, R.E., Stolzy, L.H. and Kaufmann, M.R. 1975. Wheat Growth Related to Rhizosphere Temperature and Oxygen levels. *Agron. J.* 67(5):591-596. United States of América.
- Treshow, M. 1961. Environment and Plant Response. Mc. Graw-Hill. publications in the *Agr. Sci.* pp. 141-174. United States of América.
- Trought, M.C.T. and Drew, M.C. 1980. The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) I. Shoot and root growth in relation to changes in the concentrations of dissolved gases and solutes in the soil solution. *Plant and Soil* 54:77-94. United States of América.
- Wenkert, W., Fausey, N.R. and Watters, H.D. 1981. Flooding Responses in *Zea mais* L. *Plant and Soil* 62:351-366. United States of América.

APENDICE

Cuadro A.1. Cuadrados medios de los Análisis de Varianza (ANVA) para las variables: resistencia estomatal, potencial hídrico y transpiración.

Fuente	G.L	Resistencia. estomatal.	Potencial. hídrico	Transpiración.
Modelo	55	74502.596 **	31.878935 **	10.93359613 **
Factor A	1	1242206.526 **	245.333333 **	156.7108079 **
Factor B	25	168049.623 **	42.9632477 **	13.3377501 **
A*B	25	166160.513 **	16.8783333 **	4.4376561 **
Error A	4	45.711	0.0549275	0.0954764
Error B	100	25.176	0.043034	0.1978239
C.V.		5.20	3.82	19.94

** significativo al nivel de 0.01 %.

* significativo al nivel de 0.05 %

NS no significativo

C.V. coeficiente de variación en %, .

Cuadro A.2. Cuadrados medios de los ANVA de la potencial hídrico cuando se aplicó antitranspirantes en el presente estudio.

FUENTE	G.L	dos horas	ocho horas	24 horas	28 horas	32 horas
Modelo	17	0.06941176 **	0.13405229 **	0.01424837 **	0.38483660 **	0.031776471 NS
Factor A	2	0.00333333 NS	0.11444444 **	0.01444444 NS	0.26777778 **	0.103333333 *
Factor B	3	0.31111111 **	0.50185185 **	0.00148148 NS	1.90518519 **	0.04888889 NS
A*B	6	0.02111111 NS	0.08185185 **	0.01148148 NS	0.03962963 **	0.01888889 NS
Error A	6	0.01888889	0.00888889	0.02333333	0.00888889	0.01222222
Error B	18	0.01444444	0.01629630	0.00703704	0.01925926	0.02111111
C.V		3.27	2.81	2.57	2.75	2.88

* significativo, ** altamente significativo, NS no significativo, C.V. coeficiente de variación.

Cuadro A.2.....Continuación.

FUENTE	G.L	48 horas	72 horas
Modelo	17	0.07954248 **	0.88248366 **
Factor A	2	0.02111111 NS	0.04777778 **
Factor B	3	0.31222222 **	4.79407407 **
A*B	6	0.04777778 **	0.06851852 **
Error A	6	0.01444444	0.01888889
Error B	18	0.01148148	0.01148148
C.V		2.74	2.16

Cuadro A.3. Cuadrados medios de los ANVA de la resistencia estomatal cuando se aplicó antitranspirantes en el presente estudio.

FUENTE	G.L	dos horas	ocho horas	24 horas	28 horas	32 horas
Modelo	17	14.0313989 **	9.2903748 **	58.939234 **	39.7999033 **	111.891930 **
Factor A	2	27.3124528 **	2.6336111 **	132.2052194 **	5.4628861 **	49.880278 **
Factor B	3	33.9782250 **	45.5646037 **	145.0110917 **	202.9351852 **	552.198252 **
A*B	6	13.5838306 **	2.1939815 **	50.3849417 **	8.1899602 **	23.818796 **
Error A	6	0.0785361	0.4685750	0.0356028	1.2878778	0.482453
Error B	18	0.0880176	0.3154639	0.048303	1.0731741	0.477934
C.V		4.44	5.28	2.27	5.78	3.92

* significativo, ** altamente significativo, NS no significativo, C.V. coeficiente de variación.

Cuadro A.3.....Continuación.

FUENTE	G.L	48 horas	52 horas	72 horas
Modelo	17	1101.09157 **	1077.45920 **	74386.694 **
Factor A	2	499.91194 **	469.36861 **	21270.361 **
Factor B	3	4138.31571 **	5233.04778 **	400717.731 **
A*B	6	882.13676 **	276.77083 **	3261.843 **
Error A	6	1.82752	3.05014	51.470
Error B	18	2.87919	4.39133	65.070
C.V		5.88	5.24	2.48

Cuadro A.4. Cuadros medios de los ANVA de la transpiración cuando se aplicó antitranspirantes en el presente estudio.

FUENTE	G.L	dos horas	ocho horas	24 horas	28 horas	32 horas
Modelo	17	5.46874367 **	0.70914450 **	0.85057104 **	0.46599502 **	2.93774039 **
Factor A	2	9.54539411 **	0.00520000 NS	0.82734669 **	0.30759769 **	0.04370633 *
Factor B	3	12.91417084 **	3.76132092 **	3.79616852 **	2.20374259 **	16.52349107 **
A*B	6	5.67306715 **	0.08762511 *	0.22864499 **	0.08141529 **	0.09285581 **
Error A	6	0.18282314	0.03922383	0.00828981	0.03450008	0.01465667
Error B	18	0.07790755	0.03371946	0.00558425	0.02067575	0.01157396
C.V		7.71	7.05	4.56	7.86	4.68

* significativo, ** altamente significativo, NS no significativo, C.V. coeficiente de variación.

Cuadro A.4.....Continuación.

FUENTE	G.L	48 horas	52 horas	72 horas
Modelo	17	1.49355315 **	6.7851952 **	0.566661229 **
Factor A	2	0.02116869 NS	0.0770367 **	0.00012569 NS
Factor B	3	8.23433044 **	38.3300851 **	3.20930922 **
A*B	6	0.09285581 **	0.0324362 **	0.00001981 NS
Error A	.6	0.01465667	0.0015622	0.00068517
Error B	18	0.01157396	0.0039748	0.00073339
C.V		10.11	3.68	8.18