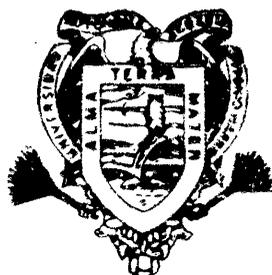


**EVALUACION DE RELACIONES HIDRICAS EN SEIS
LINEAS DE MAIZ DETERMINADAS MEDIANTE
DIFERENCIALES TERMICOS ENTRE EL AIRE
Y EL FOLLAJE**

JUAN PLUTARCO MUNGUA LOPEZ

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**

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

Junio de 1988

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de
asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar al
grado de

MAESTRO EN CIENCIAS ESPECIALIDAD
EN RIEGO Y DRENAJE

COMITE PARTICULAR

Asesor principal:

S. Muñoz C.

Ing. M.S. Salvador Muñoz Castro

Asesor:

Raúl Rodríguez

Dr. Raúl Rodríguez García

Asesor:

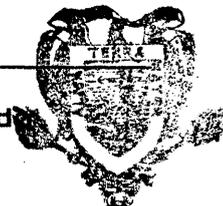
Cristina Vega

Ing. M.C. Cristina Vega Sánchez

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Eleuterio López Pérez

Dr. Eleuterio López Pérez
Subdirector de Asuntos de Postgrado



BIBLIOTECA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Junio 1988

DEDICATORIA

A MI DIOS

POR DARME ESE HERMOSO DETALLE DE LA VIDA Y SER HIJO SUYO

POR HABER NACIDO DE PADRES BUENOS

POR HABERME DADO UNOS HERMANOS Y FAMILIARES

POR TODA SU CREACION Y DARME LA OPORTUNIDAD DE ESTUDIAR UNA PEQUENISIMA PARTE DE ELLA

POR SU AMOR, GUIA Y PERMITIRME LLEGAR A UNA META MAS EN MI CAMINO Y DARME LA ESPERANZA DE UN MANANA MEJOR.

A MIS PADRES:

JUAN MUNGUIA C.

MA. DEL ROSARIO LOPEZ DE M.

EXPRESANDO TODO EL AMOR DEL MUNDO EN SACRIFICIOS Y DESVELOS POR LA SUPERACION DE SUS HIJOS, ASI COMO ALIENTOS Y CONSEJOS SABIOS QUE SIEMPRE ESTARAN EN MI MENTE

AGRADECIMIENTOS

AL M.S. SALVADOR MUNOZ CASTRO POR EL PROFESIONALISMO MOSTRADO EN LA DIRECCION DE ESTE TRABAJO, POR LA AMISTAD BRINDADA, LOS CONSEJOS Y LAS ENSEÑANZAS RECIBIDAS QUE NOS PREPARAN PARA LA VIDA, HACIENDONOS LIBRES Y CAPACES DE BASTARNOS POR NOSOTROS MISMOS.

AL DR. RAUL RODRIGUEZ GARCIA POR SUS SUGERENCIAS Y COMENTARIOS EN LA REVISION DEL MANUSCRITO.

AL ING. M.C. CRISTINA VEGA SANCHEZ POR SU AYUDA DESINTERESADA Y REVISION DEL MANUSCRITO.

COMPENDIO

Evaluación de relaciones hídricas en seis líneas de maíz determinadas mediante diferenciales térmicos entre el aire y el follaje

POR

JUAN PLUTARCO MUNGUÍA LOPEZ

MAESTRIA EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD : RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA " ANTONIO NARRO "

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JUNIO 1988.

Ing. M.S. Salvador Muñoz Castro - Asesor-

Palabras claves: Maíz, relaciones hídricas, termometría infrarroja.

Con la finalidad de cuantificar el status del agua en el suelo y los requerimientos hídricos de seis líneas de maíz, utilizando mediciones del follaje con un radiotermómetro infrarrojo, se evaluarón cuatro modelos del índice de stress hídrico del cultivo, dos empíricos y dos teóricos que fueron originalmente propuestos por Idso et al, (1981a) y Jackson et al, (1981) respectivamente.

El experimento se estableció en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" en Buenavista, Saltillo, Coah., durante el verano de 1987, las líneas de maíz fueron proporcionadas por el Instituto Mexicano del Maíz, las cuales se desarrollaron bajo condiciones de tres niveles de stress hídrico.

Los cuatro modelos presentaron una buena correlación con el contenido de humedad en el suelo para el estrato 00-30 y se encontró una relación inversa entre el rendimiento y los valores del índice de stress hídrico del cultivo, para los cuatro modelos estudiados

ABSTRACT

Evaluation of water relations on six corn lines determined by means of canopy-air thermic differential

BY

JUAN PLUTARCO MUNGUIA LOPEZ

MASTER OF SCIENCE

MAYOR SUBJECT: IRRIGATION AND DRENAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA JUNIO 1988

Salvador Muñoz Castro M.S. -Adviser-

Key Words: Corn, water relation,
infrared thermometry.

An evaluation was made of four models of the crop water stress index for the assessment of the water status of six corn lines. Two of these models were previously proposed by Idso et al (1981a) who arrived at them empirically. The other two models tried were originally proposed by Jackson et al (1981) following a theoretical approach. Measurements carried out in the field included temperature values of the crop canopy by

means of an infrared thermometer, soil water status through gravimetric sampling methods, and grain yield for each of the crop materials involved.

A field trial was established on grounds of the Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", in Buenavista, Saltillo, Coah, during the summer of 1987. Corn materials were provided by The Mexican Institute of Corn, and were tested under three water stress levels

All four CWSI models showed acceptable correlation to soil moisture in the 00-30 cm soil depth, meaning that the actual availability of moisture in the root zone may be monitored through the observation of temperature differences between the crop canopy and the surrounding air. It was also evident that the grain yield of all corn materials was inversely correlated with the values the CWSI took.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	xi
INDICE DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS	4
REVISION DE LITERATURA	6
TEMPERATURA DE LA HOJA	6
TEMPERATURA DEL SUELO	9
EMISIVIDAD DE LA HOJA Y DEL FOLLAJE	10
TEMPERATURA DEL FOLLAJE	11
BASES TEORICAS DEL INDICE DE STRESS HIDRICO DEL CULTIVO	17
FORMULACION DEL INDICE DE STRESS HIDRICO DEL CULTIVO	26
MATERIALES Y METODOS	34
DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL	34
• CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL SITIO EXPERIMENTAL	35
DISENO EXPERIMENTAL Y DISTRIBUCION DE TRATAMIENTOS	35
MATERIAL GENETICO	35
NIVELES DE STRESS HIDRICO	36
DISENO EXPERIMENTAL.....	37
MEDICIONES TERMOMETRICAS Y METEOROLOGICAS	37

INDICE DE STRESS HIDRICO DEL CULTIVO	39
MODELOS EMPIRICOS	39
MODELOS TEORICOS	42
RESULTADOS Y DISCUSIONES	46
ANALISIS DE LOS PARAMETROS EMPIRICOS	46
MODELO 1	46
MODELO 2	52
ABATIMIENTO DE LA HUMEDAD EN EL SUELO Y SU EFECTO SOBRE EL CWSI	54
EFECTO DEL CWSI SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
LITERATURA CITADA.....	72
APENDICE	78

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Descripción	Pag.
3.1	Resultados del Análisis Físico-Químicos de Sitio Experimental.....	36
4.1	Resultado del Análisis de Regresión entre la Diferencia de Temperaturas y el Déficit de Presión de Vapor, para Obtener la Línea Base del Modelo 1	47
4.2	Resultado del Análisis de Regresión Lineal Múltiple entre la Diferencia de Temperaturas vs Radiación Neta y Déficit de Presión de Vapor para Obtener la Línea Base del Modelo 2.....	53
1.A	Indice de Area Foliar (IAF)	79
2.A	Rendimiento de las Líneas de Maíz en Tn/Ha.....	79
3.A	Eficiencia en el Uso del Agua en Kilogramos de Grano /m ³ de Agua Aplicada	80
4.A	Resultados Promedios del CWSI y el Rendimiento en Ton/Ha.....	81

1.B	Valores Diarios del CWSI para los Tres Niveles de Stress hídrico Calculados con el Modelo 1.....	81
2.B	Valores Diario del CWSI para los Tres Niveles de Stress Hídrico Calculados con el Modelo 2.....	83
3.B	Valores Diarios del CWSI para los Tres Niveles de Stress Hídrico Calculado con el Modelo 3.....	84
4.B	Valores Diarios del CWSI para los Tres Niveles de Stress Hídrico Calculados por el Modelo 4.....	86
1.C	Datos Climatológicos de Radiación Neta, Déficit de Presión de Vapor y Diferencias de Temperaturas entre follaje y el aire.	88

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Pg.
3.1	Curva Característica de Retención de Humedad en el Suelo	38
4.2	Limite Superior a 30°C y 35°C de Temperatura del Aire y el Limite Inferior o Línea Base de la Diferencia de Temperaturas entre el Follaje y el Aire vs el Déficit de Presión de Vapor para la Líneas de Maíz A.....	49
4.3	Limite Superior a 30°C y 35°C de Temperatura del Aire y el Limite Inferior o Línea Base de la Diferencia de Temperaturas entre el Follaje y el Aire vs el Déficit de Presión de Vapor para la Líneas de Maíz B.....	49
4.4	Limite Superior a 30°C y 35°C de Temperatura del Aire y el Limite Inferior o Línea Base de la Diferencia de Temperaturas entre el Follaje y el Aire vs el Déficit de Presión de Vapor para la Líneas de Maíz C	50

4.5	Límite Superior a 30°C y 35°C de Temperatura del Aire y el Límite Inferior o Línea Base de la Diferencia de Temperaturas entre el Follaje y el Aire vs el Déficit de Presión de Vapor para la Líneas de Maíz D	50
4.6	Límite Superior a 30°C y 35°C de Temperatura del Aire y el Límite Inferior o Línea Base de la Diferencia de Temperaturas entre el Follaje y el Aire vs el Déficit de Presión de Vapor para la Líneas de Maíz E.....	51
4.7	Límite Superior a 30°C y 35°C de Temperatura del Aire y el Límite Inferior o Línea Base de la Diferencia de Temperaturas entre el Follaje y el Aire vs el Déficit de Presión de Vapor para la Líneas de Maíz F	51
4.8	Relación de la Radiación Neta en una Parcela Bien Regada $R_n(w)$ y la Radiación Neta para una Parcela Bajo Condiciones de Stress Hídrico Severo $R_n(d)$	53
4.9	Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm de la Línea de Maíz de D sin Stress Hídrico. Modelo 1.....	55

4.10	Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea de Maíz D Bajo Condiciones de Stress Hídrico Moderado. Modelo 1	55
4.11	Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea de Maíz D Bajo Condiciones de Stress Hídrico Severo. Modelo 1.....	56
4.12	Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. para los Tres Niveles de Stress Hídrico en la Línea de Maíz D. Modelo 1	56
4.13	Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea de Maíz de E sin Stress Hídrico. Modelo 1.....	57
4.14	Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea	

	de Maíz E Bajo Condiciones de Stress Hidrico Moderado. Modelo 1	57
4.15	Relación entre el Índice de Stress Hidrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea de Maíz E Bajo Condiciones de Stress Hidrico Severo. Modelo 1	58
4.16	Relación entre el Índice de Stress Hidrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. y los Tres Niveles de Stress Hidrico en la Línea de Maíz E. Modelo 1	58
4.17	Relación entre el Índice de Stress Hidrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea de Maíz D sin Stress hidrico. Modelo 2.....	59
4.18	Relación entre el Índice de Stress Hidrico del Cultivo* y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea de Maíz D Bajo Condiciones de Stress Hidrico Moderado. Modelo 2	59
4.19	Relación entre el Índice de Stress Hidrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea	

de Maíz D Bajo Condiciones de Stress Hídrico Severo. Modelo 2 60

4.20 Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. para los Tres Niveles de Stress Hídrico en la línea de Maíz D. Modelo 2 60

4.21 Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea de Maíz de E sin Stress hídrico. Modelo 2..... 61

4.22 Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea de Maíz E Bajo Condiciones de Stress Hídrico Moderado Modelo 2 61

4.23 Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. de la Línea de Maíz E Bajo Condiciones de Stress Hídrico severo. Modelo 2 62

4.24 Relación entre el Índice de Stress Hídrico del Cultivo y el Abatimiento de la Humedad en el Suelo para el Estrato 00-30 cm. y los Tres

Niveles de Stress Hídrico en la Línea de Maíz

E. Modelo 2.....	62
4.25 Relación entre el Rendimiento y el CWSI. Modelo 1.....	66
4.26 Relación entre el Rendimiento y el CWSI. Modelo 2.....	66
4.27 Relación entre el Rendimiento y el CWSI. Modelo 3.....	67
4.28 Relación entre el Rendimiento y el CWSI. Modelo 4.....	67

INTRODUCCION

México es un país eminentemente árido donde el riego es indispensable en un 63 por ciento de su superficie para obtener cosechas comercialmente productivas y probablemente en un 90 por ciento del mismo, el riego es necesario para obtener cosechas comercialmente competitivas en los mercados mundiales.

En zonas semiáridas, el riego es cada vez más ampliamente aplicado para complementar la precipitación luvial, mientras que en áreas normalmente húmedas, se instalan sistemas de riego para compensar la reducción de la producción inducida por diversos niveles de stress hídrico resultantes de la ausencia de lluvias en períodos críticos.

En agricultura de riego, el uso inadecuado de los recursos hidráulicos es un problema que cada vez reclama mayor eficiencia, tanto por agricultores como por técnicos en la materia. Hoy en día, este problema se ha agudizado a consecuencia de la sobreexplotación de los recursos hidráulicos, el acelerado aumento de los costos de la producción agrícola y a la gran demanda que representan los

consumos de agua para uso doméstico, urbano e industrial, debido al exagerado crecimiento de la población.

Por lo anterior es necesario incrementar la eficiencia en el uso del agua en los sistemas de producción agrícola, a través de la aplicación de métodos y técnicas de riego que permitan adecuar la cantidad y el tiempo de aplicación del riego a los requerimientos reales del cultivo.

Un aspecto de la irrigación que ha tomado gran importancia hoy en día, es la programación de riegos. Básicamente la programación de riegos se puede clasificar en tres categorías: la basada en parámetros del suelo, la que utiliza datos climatológicos y la que considera parámetros fisiológicos de la planta.

Combinaciones de éstas tres categorías son también utilizadas para hacer estimaciones del status del agua en la planta o en el suelo.

Cada una de éstas técnicas de programación ofrece ventajas y desventajas. Las principales desventajas de los métodos actualmente utilizados son: su carácter puntual, que hace imprescindible realizar múltiples observaciones; y la inferencia a partir de estos datos puntuales de las condiciones generales a que el cultivo se ve sujeto en toda su extensión.

Por otra parte, modelos basados en datos meteorológicos han sido desarrollados por innumerables investigadores (Thornthwaite, 1948; Penman, 1948; Blaney & Criddle, 1950; Jensen & Haise, 1963; Jensen et al 1971) que sin embargo requieren en unos casos de información climatológica de reducida disponibilidad y en otros son de aplicabilidad solo en casos de periodos largos que no permiten el seguimiento adecuado de las condiciones de humedad en que el cultivo se desarrolla y el efecto sobre su crecimiento y rendimiento.

Todas las metodologías estiman la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración desde un cultivo desarrollándose en óptimas condiciones, por lo cual la mayoría de estos modelos necesitan el uso de coeficientes del cultivo que se derivan empíricamente y son aplicables sólo para el área donde fueron derivados. Por ello, la mayoría de éstas metodologías pierden su sensibilidad al ser utilizadas en diferentes condiciones climáticas y agronómicas, pues las constantes implicadas no son universales y en la mayoría de los casos son válidas únicamente para las condiciones climáticas y de cultivo en las cuales se desarrollaron originalmente.

Mediciones directas de parámetros de la planta han sido utilizados como indicadores más exactos para determinar el *status del agua en las plantas y determinar el cuánto y cuándo*

regar, pues la planta responde a cambios ambientales y del suelo a que se ve expuesta durante su desarrollo. Tales metodologías se limitan a mediciones en plantas individuales o en partes de éstas como pueden ser la hoja o el pecíolo. Ejemplo de estas mediciones fisiológicas de la planta son: el potencial total del agua en la planta, determinado por la cámara de presión (Scholander et al, 1975); resistencia a la difusión del estoma (Kanemasu et al, 1975); contenido relativo de agua en el pecíolo y la hoja (Langenecnecker y Lyerly, 1965).

Estas metodologías consumen mucho tiempo y son además tediosas porque es necesario tomar numerosas mediciones con la finalidad de caracterizar una región determinada y poder determinar relaciones para su utilización futura.

Durante la década pasada se desarrollaron equipos para medir la radiación térmica de la superficie de los cuerpos, que en la actualidad se ha perfeccionado contando con sensores remotos infrarrojos que permiten determinar el status del agua en la planta con datos confiables, rápidos y válidos para grandes extensiones de cultivo.

Por lo anterior se plantea la realización de este estudio con los siguientes objetivos:

Cuantificar el status del agua y requerimientos hídricos de las líneas de maíz, sometidas a diferentes grados

de stress hídrico usando gradientes de temperatura entre el follaje y el aire.

Determinar la utilidad potencial de la termometría infrarroja para la programación de riegos y predicción del rendimiento de las líneas de maíz en sustitución de técnicas tradicionales de mayor costo y laboriosidad.

REVISION DE LITERATURA

TEMPERATURA DE LA HOJA

Los mecanismos de disipación de energía para una unidad de plantas son: transpiración, convección y radiación. Siendo relativamente diferentes cada uno de los mecanismos para una hoja que los de un cultivo completo. Cuando el agua se evapora desde la superficie húmeda de la hoja, la temperatura de la hoja permanece constante, ya que la pérdida de calor latente es compensada por la pérdida de energía radiante del sol (Monteith, 1981). Si el proceso de evaporación continúa desde los cultivos vegetales, el agua perdida por evaporación será suministrada por la humedad aprovechable del suelo, pero cuando la humedad del suelo llega a ser limitada, el resultado será un aumento de la temperatura de la hoja, debido a que el proceso de enfriamiento que es la evaporación, ha sido minimizado.

Durante la transpiración, el proceso de difusión desde el mesófilo hasta la atmósfera tiene lugar en el estoma, el cual presenta variaciones en su apertura debido a la interacción de los factores ambientales, parámetros del suelo y la planta misma.

Las primeras mediciones de la temperatura de la hoja datan de la primera mitad del siglo pasado. Ya en 1843, Rameaux cubrió un termómetro de mercurio con las hojas de la parte superior de plantas de jardín en un intento por cuantificar su temperatura y Askenasy, en 1875, realizó mediciones de la temperatura de la hoja de plantas suculentas colocando un termómetro de mercurio en una incisión hecha en la hoja superior de las plantas y encontrando que la temperatura de la hoja era mayor de 4 a 5 ° C que la temperatura del aire; este último reconoció el efecto que provoca la re-radiación, el movimiento del aire y la transpiración en el enfriamiento de la hoja (Jackson et al 1982).

Una serie de experimentos se realizaron utilizando termopares en lugar de termómetros de mercurio para medir la temperatura de la hoja de varios cultivos, demostrando que la temperatura de la hoja es fuertemente influenciada por las variaciones de la humedad del suelo, del grado de luminosidad y de la humedad relativa (Jackson et al 1982).

La posición de la hoja también influye en su temperatura. Las hojas de la parte superior presentan mayor temperatura que las hojas inferiores. Se ha demostrado que el ángulo de inclinación de la hoja influye en la temperatura de la misma debido a que las hojas horizontales se calientan más que las hojas orientadas verticalmente.

Se hicieron mediciones de la temperatura de la hoja en el cultivo de algodón usando termopares y termómetro infrarrojo, observando que se requieren de 30 a 45 segundos para alcanzar el equilibrio de temperaturas cuando se presentan cambios en la insolación debido a la presencia de nubes, encontrándose así mismo que la temperatura de la hoja se incrementa linealmente conforme se incrementa la insolación y que decrece linealmente conforme aumenta el contenido relativo de agua en la hoja. Con respecto a la diferencia de temperaturas entre el aire y la hoja, ésta se incrementó linealmente conforme se incrementa la insolación y esta diferencia de temperaturas varía de acuerdo al grado de stress hídrico. De éstas investigaciones se concluye que para interpretar mejor la temperatura de la hoja es necesario hacer mediciones simultáneas de radiación neta y que las mejores condiciones para hacer las mediciones es en las primeras horas de la tarde y bajo cielo despejado (Jackson et al, 1982).

Trabajos encaminados a determinar cuáles son los mecanismos de disipación de energía para una hoja y un cultivo han sido realizados utilizando la relación de Bowen (la relación de cambio de calor sensible a calor latente). Para el caso de una sola hoja, la relación de Bowen se incrementó durante la mañana de 0.5 a las 8:27 horas a 6.0 para las 11:45 horas. Esto ha sido atribuido al proceso de enfriamiento convectivo siendo el mecanismo dominante en la disipación de

energía. La transpiración tuvo su límite superior determinado por la resistencia estomatal. Las hojas sombreadas de la parte inferior del follaje presentaron menor temperatura con valores substancialmente más bajos de la relación de Bowen. Cuando se reportaron valores de esta relación para el total del follaje del cultivo fueron relativamente más bajos que las de una sola hoja. Esto indica que la transpiración es el proceso dominante en la disipación de energía para el follaje de los cultivos (Idso y Baker, 1964; Gates, 1964).

En trabajos encaminados a tratar de programar el riego mediante gradientes térmicos entre la superficie de la hoja-aire en el cultivo de algodón se observaron cambios en la diferencia de temperaturas para periodos del déficit de presión de vapor, también se encontró una relación lineal entre el gradiente térmico y el déficit de presión de vapor.

TEMPERATURA DEL SUELO

El uso de sensores remotos permite hacer estimaciones del contenido de humedad en el suelo para unos cuantos centímetros del perfil del suelo.

Tres técnicas en base a sensores remotos se han utilizado para estimar el contenido de humedad en el suelo: la primera relaciona mediciones de la superficie con el contenido

de humedad del suelo; la segunda relaciona la temperatura del suelo y su contenido de humedad; la tercera utiliza mediciones de microondas activas y pasivas. Esta última técnica permite hacer estimaciones a profundidades de 10 centímetros del perfil del suelo.

Utilizando estas tres técnicas se han realizado varios experimentos tomando mediciones intensivas del albedo, temperatura del suelo, evaporación, radiación neta y contenido de humedad en el suelo. Estas mediciones han permitido definir las tres etapas clásicas del secado de un suelo y demostrar que en el suelo se pierde de un 20 a un 25 por ciento del agua aplicada en un riego o después de una lluvia en la primera parte que es la evaporación potencial, independientemente de las variaciones estacionales de las demandas evaporativas de la atmósfera. También se ha demostrado que las muestras de suelo tomadas de las 11:00 a las 12:00 horas representan el promedio del contenido de humedad en el suelo durante las 24 horas (Idso et al, 1975; Idso et al, 1974; Jackson et al, 1976; Reginato, 1975; Reginato, 1980).

EMISIVIDAD DE LA HOJA Y DEL FOLLAJE

La emisividad en la banda del infrarrojo térmico del espectro electromagnético de la mayoría de las superficies vegetales tienen un rango de 1.0 a 0.95 Mm. Gates (1964b)

estableció que la mayoría de las hojas se encuentran entre 0.97 y 0.98 Mm. Eso también fué establecido por Idso et al (1969), quienes encontraron que sólo dos de 32 especies de las plantas estudiadas presentaron una emisividad menor a 0.98 Mm. La emisividad del follaje generalmente se considera mayor que la de hojas individuales (Fuchs y Tanner, 1966; Bland y Rosenberg, 1973).

TEMPERATURA DEL FOLLAJE

Mediciones de variables del follaje en lugar de hojas individuales son posibles gracias al desarrollo de la termometría infrarroja, debido a que hoy en día se cuenta con radiotermómetros portátiles capaces de medir la radiación térmica del cultivo (Jackson et al, 1981).

Se han presentado varias discusiones sobre la teoría de la temperatura de la superficie vegetal. Moteith et al (1962) presentaron la existencia de una relación entre el calentamiento de la superficie vegetal y la resistencia estomatal. Por otro lado, también se ha presentado la teoría de las mediciones radiométricas de la temperatura del follaje basadas en la ley de Stefan-Boltzman, la cual expresa la proporcionalidad entre la intensidad de flujo de energía radiante emitida por la superficie y la cuarta potencia de la temperatura absoluta (Fuchs y Tanner, 1966; Lorenz, 1968; Gates, 1968).

$$R = E C T^4 \dots\dots\dots 2.1$$

- Donde : R = radiación térmica emitida
 T = temperatura absoluta
 E = emisividad de la superficie
 C = constante de Stefan-Boltzman

Mediciones de la temperatura del follaje para todas las etapas del crecimiento del cultivo se han realizado en numerosos experimentos con la finalidad de desarrollar índices que permitan evaluar el stress hídrico de tales cultivos. Estas determinaciones han sido realizadas mediante sensores remotos y con un mínimo de mediciones.

Suponiendo que los factores ambientales (déficit de presión de vapor, radiación neta y velocidad del viento) se manifiestan fuertemente en la temperatura del follaje. Idso et al (1977) y Jackson et al (1977) definieron el índice de stress- grado-día (SDD) como la diferencia de temperatura del follaje y del aire encontrando que el SDD se incrementa conforme se incrementa el stress hídrico del cultivo. También observaron que el rendimiento final y el SDD presentan una relación inversamente proporcional para los cultivos de trigo y frijol (Walker y Hatfield, 1979; Heermann y Duke, 1978). Cuando se graficó el valor acumulado de SDD y la cantidad de agua extraída por el sistema radicular del cultivo, se encontró

también una relación inversamente proporcional, demostrándose con ello que existe una relación entre la temperatura del follaje y la evapotranspiración. A partir de lo anterior se presentó un modelo empírico para estimar la evapotranspiración en función del gradiente térmico hoja-aire. (Jackson et al 1977). Este modelo se comparó con datos de evapotranspiración medidos en un lisímetro de pesada.

$$ET = R_n - 0.064 * (t_c - t_a) \dots\dots\dots 2.2$$

- donde: ET = evapotranspiración para un período mínimo de una semana
- Rn = radiación neta
- tc = temperatura del follaje
- ta = temperatura del aire

Posteriormente Jackson et al (1977), Segui y Petit (1980) probaron en Francia el modelo de Jackson para calcular evapotranspiración y concluyeron que los resultados presentan una variación del 10 al 15 por ciento comparados con el método de balance de energía que fué el método de referencia. La ventaja de la aproximación del modelo de Jackson es que no fué necesario evaluar la resistencia de la superficie de la hoja.

El índice grado-día se utilizó para programar el riego relacionando el contenido de humedad del suelo con los valores acumulados de SDD (cuando se presentaron valores negativos se consideraron como ceros). Se ha concluido que para el cultivo

del trigo, el momento del riego ocurre cuando el valor acumulado de SDD es de 10 (Jackson, 1977; Geiser et al, 1982). También se ha utilizado la desviación estandar de los datos de la temperatura del follaje, para programar el riego. Los resultados encontrados para parcelas de maíz bien regadas presentaron valores de 0.3° y para parcelas bajo condiciones de stress hídrico los valores de la desviación estandar fueron de 4.2°C y se ha propuesto aplicar el riego al momento de observar que se presentan desviaciones estandar de 0.3° (Gardner et al, 1981a).

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

Evaluaciones de campo del índice temperatura-día demostraron que el momento del riego fué cuando el promedio de las temperaturas medidas en la parcela de interés durante un período determinado fué de un grado centígrado mayor que la parcela bien regada. Cuando se graficó el rendimiento en función del índice de temperatura-día para dos variedades de sorgo se encontró una relación cuadrática entre el rendimiento y dicho índice, en contraste con la relación lineal entre el rendimiento y el índice stress-grado-día encontrado por Idso et al (1977) y Gardner (1981b).

El índice de stress-grado-día desarrollado por Jackson et al (1977) e Idso (1977) demostró insuficiencia para estimar el stress hídrico del maíz, ya que plantas con stress hídrico presentaron temperaturas inferiores a la temperatura del aire por mucho tiempo sugiriendo que el maíz es más sensitivo al stress hídrico que el trigo (Gardner et al, 1981a y Gardner et al, 1981c).

Tratando de obtener datos más confiables, se han desarrollado modelos de regresión múltiple para programar el riego, usando la diferencia de temperaturas como variable dependiente y la radiación neta, humedad relativa, tensión de agua en el suelo y déficit de presión de vapor como variables independientes.

Estos modelos han sido evaluados en la parte central de Minnesota, comparándolos con la programación de riegos usando bloques de yeso y balance hídrico. El modelo de programación de riegos en base a temperatura del follaje no fue significativamente diferente a los otros modelos con respecto a la producción, pero el modelo de balance hídrico y el de bloques de yeso usaron 39 y 18 por ciento más agua respectivamente (Slack et al, 1981; Geiser et al, 1982; Slack et al, 1983).

La suposición de que la temperatura de la hoja es una medición del stress hídrico se basa en observaciones

cualitativas, debido a que los procesos fisiológicos antes y después de que se presente un stress hidrico son diferentes para cada una de las especies de cultivo (Hsiao, 1973). Por otro lado, el potencial total del agua en la planta es ampliamente aceptado como una medición fundamental del status del agua en la planta, por lo que se han realizado investigaciones para predecir el potencial del agua en la planta en base a temperatura del follaje (Jalali-Farahai, 1987).

El potencial del agua en la planta puede ser medido mediante el uso de la cámara de presión tal como lo describe Scholander et al., (1965) para toda la planta o parte de ella, dependiendo de las dimensiones de la cámara. También se puede utilizar el psicrómetro. Cualquiera de estas formas de medición del potencial del agua en la planta es puntual y no representa el status del agua para grandes extensiones de cultivo.

En experimentos de trigo bajo diferentes niveles de irrigación, se midió el potencial de agua en la planta y al mismo tiempo la temperatura del follaje bajo condiciones de

cielo despejado. Los resultados demuestran que conforme se incrementa el grado de stress hídrico (valores más bajos de potencial del agua en la planta) la diferencia entre temperaturas follaje-aire se incrementa rebasando los cinco grados centígrados. Las fluctuaciones del potencial del agua en la planta fueron de -0.1 a 1.6 MPa para parcelas sin déficit hídrico y 2.1 a 4.3 MPa para parcelas con stress hídrico.

Se puede concluir que el gradiente térmico follaje-aire y el potencial de agua en la planta se correlacionan fuertemente (Fuchs y Tanner, 1966).

BASES TEORICAS DE INDICE DE STRESS HIDRICO DEL CULTIVO

Es ampliamente aceptado que un cultivo que crece sanamente con su sistema radicular totalmente desarrollado y un adecuado suministro de agua, presenta su tasa de transpiración potencial. Sin embargo, la magnitud de ésta transpiración potencial estará definida por la disponibilidad de energía radiante y por los parámetros del cultivo como la apertura estomática. Evidencias experimentales demuestran que el estoma responde a estímulos de: radiación neta, concentración de bióxido de carbono, presión de vapor, temperatura del follaje y parámetros del suelo (Penman 1951; Lee, 1967; van Bavel, 1968, Idso, 1983,).

La relación de evapotranspiración real y potencial es un indicador adecuado para predecir la asociación entre la producción y el stress hídrico de los cultivos.

Esta relación ha sido llamada evapotranspiración relativa, la cual será válida sólo si se realizan estimaciones precisas de la evapotranspiración potencial. Para ésto se requiere un cabal conocimiento de los procesos físicos y fisiológicos involucrados en el proceso de evapotranspiración en una comunidad de cultivos.

Consideraciones de la Ecuación de Balance de Energía

La radiación neta es la principal fuente de energía incidente sobre la superficie vegetal. Dicha energía se disipará por el calor latente de evaporación, el calor sensible y el calor al suelo.

Esta es una versión de la ecuación de balance de energía para la superficie del suelo o del follaje, tomando en cuenta además la energía asociada a la fotosíntesis y al calor almacenado en los tejidos vegetales. Para grandes extensiones de cultivo, el efecto de orilla tiende a compensarse, al igual que el efecto de advección, por lo que no se considera significativo en la ecuación de balance de energía (Jackson, 1982; Monteith, 1976).

Teóricamente el balance de energía para la superficie del follaje, puede escribirse de la siguiente manera:

$$R_n = LE + H + G \dots\dots\dots 2.3$$

donde: R_n = radiación neta

LE = flujo de calor latente

H = flujo de calor sensible

G = flujo de calor al suelo

L = calor latente de evaporación

En su forma más simple, LE y H pueden expresarse de la siguiente manera:

$$H = D C_p (T_c - T_a) / r_a \dots\dots\dots 2.4$$

$$LE = D C_p (E_c^* - E_a) / W(r_a + r_c) \dots\dots\dots 2.5$$

donde: D = densidad del aire

C_p = capacidad calorífica del aire

T_c = temperatura del follaje

T_a = temperatura del aire

r_a = resistencia del aire

r_c = resistencia del follaje

*
 E_c = presión de vapor a saturación para la temperatura del follaje

E_a = presión de vapor a saturación para la temperatura del aire

W = constante psicrométrica

Sustituyendo estas ecuaciones en la ecuación de balance de energía y resolviendo para LE y $(T_c - T_a)$.

$$LE = (R_n - G) - C_p (T_c - T_a) / r_a \dots \dots \dots 2.6$$

$$(T_c - T_a) = (r_a (R_n - G) / C_p) - ((E_c - E_a) / (W (1 + r_c / r_a))) \dots \dots \dots 2.7$$

La linearización de la pendiente de la curva de presión de vapor a saturación para una temperatura determinada como:

$$A = (E_c - E_a) / (T_c - T_a) \dots \dots \dots 2.8$$

Donde E_a es la presión de vapor a saturación para la temperatura del aire y A es la pendiente. Esta linearización sólo es válida cuando $(T_c - T_a)$ no tiene un amplio rango de variaciones. Cuando la diferencia de temperaturas se incrementa, es necesario la evaluación de A para la diferencia de temperaturas entre el follaje y el aire (Jackson et al, 1981). Cuando la temperatura del aire se incrementa más de 45°C la aproximación lineal de la pendiente de la curva de presión de vapor a saturación y la temperatura, no presenta buena estabilidad (Idso et al, 1986). De las ecuaciones presentadas se puede expresar el flujo de

calor latente de evaporación y la diferencia de temperaturas (Tc-Ta) de la siguiente manera:

$$LE = \frac{A (R_n - G) D C_p (E_a^* - E_a)}{A + W (1 + r_c/r_a)} \dots\dots\dots 2.7$$

$$(T_c - T_a) = \frac{r_a R_n}{D C_p} \times \frac{W (1 + r_c/r_a)}{A + W (1 + r_c/r_a)} - \frac{(E_a^* - E_a)}{A + W (1 + r_c/r_a)} \dots\dots\dots 2.8$$

La primera de estas expresiones es la ecuación de Penman-Monteith para calcular la evapotranspiración en términos de resistencia del follaje y del aire. Se puede apreciar que la diferencia de temperaturas del follaje y del aire es una función continua de las variables ambientales y del cultivo. Las variables que presentan mayor problema para su estimación son las resistencias del aire y del follaje.

Resistencia del Follaje y del Aire

La resistencia del follaje ha sido determinada experimentalmente y teóricamente para varios cultivos. Monteith, et al 1965 a reportaron que la resistencia del follaje (rc) para el cultivo de cebada fue independiente de la velocidad del viento. Esto implica que rc en cebada es principalmente una resistencia fisiológica que depende del estoma. Valores de resistencia del follaje bajo condiciones

donde la evaporación del suelo es substancial (en las primeras etapas del cultivo) son propicias para cometer errores. Tanner (1963) tribuye esos errores a que la superficie del suelo está regulada por un comportamiento totalmente diferente a la resistencia del estoma. Tales errores han sido reportados como insignificantes conforme se incrementa el índice de área foliar. La resistencia del follaje se ha estimado de varias maneras; utilizando el promedio de todas las hojas del follaje o para un grupo de hojas preseleccionadas. Otros han establecido relaciones empíricas entre r_c y variables ambientales como la radiación neta, déficit de presión de vapor, la humedad aprovechable en el suelo y la resistencia del aire.

Szeicz y Long, (1969) propusieron una expresión para estimar r_c en función de parámetros del cultivo:

$$r_c = r_s / IAF_{efc} \dots \dots \dots 2.11$$

donde: r_s = resistencia del estoma

IAF_{efc} = índice de área foliar efectivo

Ellos estimaron el índice de área foliar como la mitad del máximo valor observado de índice de área foliar (basados en la suposición de que sólo la mitad de las hojas participan en el proceso de transpiración siempre bajo condiciones de humedad Monteith et al (1965)).

Esta suposición es más válida para un cultivo de crecimiento elevado en donde las deficiencias de luminosidad pueden inducir el cierre estomático de las hojas inferiores. Se han observado variaciones de r_s para el follaje de sorgo y soya, detectando valores altos para las hojas inferiores de éstos cultivos (Tanner 1963)

La resistencia del follaje a la evapotranspiración potencial ha sido llamada resistencia potencial del follaje (rcp). Esta es el límite inferior de la resistencia del follaje para condiciones dadas.

Se han reportado valores de rcp para alfalfa de 25 seg/m cuando el índice de área foliar fué de seis. Para evaluar la resistencia del follaje en trigo, se utilizó la ecuación de balance de energía para datos tomados a medio día, reportando que para parcelas totalmente expuestas a la radiación solar el valor de rcp fué de 20-25 seg/m y en parcelas sombreadas fué de 40-50 seg/m. También se ha reportado una relación inversa entre r_a y la humedad disponible en el suelo.

Resistencia del Aire

La resistencia del aire ha sido evaluada de diferentes maneras: Szeics, (1967) estableció que sobre un cultivo con

amplio rango de estabilidad ($Ri < 0.01$ para $Z - (d + Z_0) = 150$ cm) los cambios de vapor de agua y de calor son gobernados por la turbulencia atmosférica y los perfiles de temperatura, presión de vapor y el viento son usualmente similares. Cuando estas condiciones son estables, los coeficientes de transferencia de momento pueden ser usados para estimar, el flujo de vapor de agua y calor.

Cuando las variables de momento de flujo se mantienen entre Z y $Z_0 + d$ para la diferencia potencial de la velocidad del viento (U), se encontraron las resistencias de aire. Estas resistencias del aire al calor y al vapor de agua fueron expresados por Monteith y Szeics, (1962) como:

$$r_a = \frac{(\ln (Z-d)/Z_0)^2}{K U} \dots \dots \dots 2.12$$

donde: Z = altura de referencia desde la superficie del suelo

d = plano de desplazamiento cero

Z_0 = rugosidad de la superficie

U = velocidad del viento para la altura Z .

K = constante de Van Karman

Para pequeñas perturbaciones de estabilidad, por ejemplo $Ri < 0.003$ para $Z = (d + Z_0) = 150$ cm, se utiliza la corrección lineal del número de Richardson, pero para

perturbaciones mayores es necesario realizar correcciones más complejas. Cuando Z permanece constante, r_a es una función de $1/U$ en ésta última ecuación. Sin embargo, Z_0 puede permanecer constante para superficies de porte bajo como es el caso de los pastos o con elementos de rugosidad rígidos. Szeicz et al, (1969) Mostraron que tres cultivos (pino forestal, papa y alfalfa) llegaron a ser aerodinámicamente lisos con el incremento de la velocidad del viento, mientras que las variaciones de r_a con respecto a U fueron insignificantes. Ellos graficaron U vs. Z_0 mostrando una disminución insignificante de Z_0 cuando la velocidad del viento se incrementó de 0.5 a 2 m/seg, pero para valores mayores, Z_0 permaneció constante.

Monteith, (1963) mostró que la estabilidad puede ser considerada por el número de Richerdson en conjunto con la misma ecuación para obtener una resistencia del aire corregida por estabilidad, que toma la siguiente relación:

$$r_{ca} = \frac{r_a \cdot (1 - n \cdot g \cdot (Z - d) \cdot (T_c - T_a))}{TU^2} \dots \dots \dots 2.14$$

donde: r_{ca} = resistencia del aire corregida

g = aceleración debida a la gravedad

T_a = temperatura absoluta del aire

T_c = temperatura absoluta del follaje

n = constante empírica

Relaciones empíricas para describir la resistencia del aire en función de la velocidad del viento han sido desarrolladas principalmente resolviendo la ecuación de balance de energía o usando modelos de regresión entre la resistencia del aire y la velocidad del viento. Sin embargo estas relaciones empíricas son afectadas por las condiciones climatológicas prevaletientes en el momento de las mediciones.

FORMULACION DEL INDICE DE STRESS HIDRICO DEL CULTIVO

El índice de stress hídrico del cultivo (CWSI) propuesto por Idso et al (1981a,) y Jackson et al (1981) ha mostrado ser un eficiente indicador del stress hídrico de los cultivos, el cual se ha comparado con el potencial del agua en la planta, la tasa de extracción del agua en el suelo, y el rendimiento final de los cultivos (Pinter y Reginato, 1982; Halfield, 1982 ; Reginato, 1982).

La información necesaria para la obtención del CWSI se obtiene instantáneamente por el monitoreo de la temperatura del follaje, usando termometría infrarroja, temperatura del aire, temperatura del bulbo húmedo y bulbo seco del psicrómetro ventilado.

El CWSI se calcula de la relación de la diferencia entre la temperatura del follaje y la temperatura del aire reales menos la diferencia de temperatura del follaje y el aire para el límite inferior, sobre la diferencia entre el límite inferior y superior de la diferencia de temperaturas para condiciones prevalecientes de déficit de presión de vapor.

$$\text{CWSI} = \frac{(T_c - T_a)_o - (T_c - T_a)_p}{(T_c - T_a)_u - (T_c - T_a)_p} \dots\dots\dots 2.17$$

donde: $(T_c - T_a)_o$ = diferencia de temperaturas observadas

$(T_c - T_a)_p$ = diferencia de temperaturas para el límite inferior

$(T_c - T_a)_u$ = diferencia de temperaturas para el límite superior

Este es el CWSI derivado empíricamente por Idso et al (1981a). Este índice es análogo a $1 - ET_a/ET_p$, que resulta de la derivación teórica del CWSI propuesta por Jackson (1981).

El límite inferior se obtiene de la relación de la diferencia de temperatura del follaje y del aire, cuando el cultivo presenta su tasa de transpiración potencial y el déficit de presión de vapor.

$$(T_c - T_a)_p = a + b (DPV) \dots\dots\dots 2.18$$

donde: $(T_c - T_a)_p$ = diferencia de temperaturas para la línea base

a y b = constante y coeficientes de regresión entre $(T_c - T_a)_p$ y DPV

DPV = déficit de presión de vapor

El límite superior se obtiene con la extrapolación de la línea base hasta un punto en el cual el gradiente de presión de vapor es cero para la temperatura del follaje y del aire.

Usando la ecuación de balance de energía, Jackson, et al (1981) derivó la relación entre $(T_c - T_a)$, déficit de presión de vapor y la radiación neta, para obtener el índice de stress hídrico del cultivo y demostrar que es igual a $1 - ET_a/ET_p$.

Una ventaja de esta derivación es que no es necesario obtener previamente los límites superior e inferior. Sin embargo es necesario conocer los valores de r_a y r_c .

$$CWSI = 1 - \frac{ET_a}{ET_p} = \frac{W (1+r_c/r_a) - W^*}{A + W (1+r_c/r_a)} \dots\dots 2.20$$

$$W^* = W (1 + r_{cp}/r_a) \dots\dots\dots 2.21$$

$$r_a/r_c = \frac{W^* r_a R_n / (D C_p) - (T_c - T_a) (A + W) - (E_a - E_a^*)}{W (T_c - T_a) - r_a R_n / (D C_p)} \dots\dots\dots 2.23$$

$$r_a = \frac{4.72 (\ln*(Z-d)/Z_o)^2}{1+0.54 U} \dots\dots\dots 2.25$$

A partir de los trabajos de Idso et al (1981a) y Jackson et al (1981) que derivaron el índice de stress hídrico del cultivo (CWSI) empírico y teórico respectivamente, varios investigadores han relacionado el CWSI con la tasa de extracción de agua en el suelo, la tasa de evapotranspiración del cultivo, potencial del agua en la planta, resistencia a la difusión de la hoja, fotosíntesis y rendimiento final de varios cultivos. También se han realizado investigaciones para cuantificar el efecto de las variables climatológicas tales como la radiación neta, déficit de presión de vapor, la velocidad del viento, y grado de luminosidad sobre los valores de CWSI.

Valores de CWSI obtenidos de la diferencia de temperaturas entre el follaje y el aire para el cultivo de algodón bajo condiciones de stress hídrico, en Phoenix Arizona muestran que el CWSI alcanza su valor más bajo (cero) después de un riego, para posteriormente incrementarse hasta su valor más alto (uno) conforme se abate la humedad aprovechable en el suelo. El incremento de CWSI se observa uno ó dos días después de la aplicación del riego debido a que, tanto el sistema radicular como las hojas requieren un lapso de tiempo determinado para rehidratarse (Hsiao, 1973). Similares

tendencias se han encontrado para trigo: cuando se graficó el CWSI contra el contenido de humedad en el suelo a través del tiempo (Jackson et al, 1982; Nakayama y Bucks, 1984 ; Hatfield, 1985; Choudhury e Idso, 1984).

Se ha demostrado que mediciones fisiológicas tales como la resistencia a la difusión de la hoja y potencial del agua en la planta, están altamente correlacionados con los valores de CWSI.

El índice de stress hídrico del cultivo guarda una relación directamente proporcional con la resistencia a la difusión de la hoja. El efecto de la resistencia a la difusión potencial (rcp) y la resistencia del aire sobre los valores del CWSI se cuantificaron mediante un análisis de sensibilidad, demostrando que cambios de 1 seg/m en ra y rcp producen cambios del uno por ciento en los valores diarios de CWSI. Keener y Kircher, (1983) y Pinter y Reginato, (1982) utilizaron análisis de regresión múltiple para predecir el potencial del agua en el cultivo de algodón, demostrando que el CWSI fué la variable del agua en la planta. Cuando el CWSI fué combinado con la edad del cultivo y el déficit de presión de vapor, el potencial del agua en la planta se estimó para todas las etapas fenológicas del algodón (O'toole y Hatfield, 1983).

El comportamiento de la fotosíntesis neta decreció linealmente hasta llegar a un valor negativo para un valor de

CWSI de 0.9. A partir de la fotosíntesis neta se derivó la eficiencia en el uso del agua, teniendo un comportamiento inicial principio ascendente conforme se incrementa el valor de CWSI. Posteriormente cae hasta un valor cercano a cero conforme se sigue incrementando el CWSI (Idso et al 1984).

El índice de stress hídrico del cultivo ha sido evaluado para diferentes condiciones climatológicas desde húmedas hasta semiáridas (Missouri, Minnessota, Logan, Utah, Arizona y California).

En el estado de Utah se evaluaron el índice de stress hídrico del cultivo, el índice de stress temperatura-día (TSD) y el índice de stress grado día (SDD) para estimar el rendimiento y la evapotranspiración para el cultivo de trigo. Se demostró que ninguno de los índices fué superior. El CWSI se evaluó basándose en la derivación teórica propuesta por Jackson et al (1981) con valores constantes de rcp de 5 seg/m para todo el ciclo vegetativo (Díaz et al 1983 y Werner, 1984).

El efecto de la cobertura del cultivo sobre el índice de stress hídrico del cultivo fué estudiado por Wanjura et al, (1984) quienes reportaron que para valores del 50 por ciento de cobertura del cultivo la pendiente de la línea base reduce su

valor la mitad con respecto a la pendiente de la línea base para un cultivo que presenta cobertura efectiva.

Como se ha notado en la literatura revisada, los factores del cultivo y del medio interaccionan, lo cual complica la evaluación o cuantificación del efecto de cada una de las variables ambientales en el índice de stress hídrico del cultivo.

Para determinar el límite inferior, Idso et al (1981) relacionaron la diferencia de temperaturas del follaje y del aire con el déficit de presión de vapor para un cultivo que presenta su tasa de evapotranspiración potencial, encontrando una relación lineal. Hoy en día, se han reportado relaciones curvilíneas. Esto ha sido reportado por el efecto del clima específico, especie de cultivo, propiedades del suelo y etapa fenológica del cultivo.

Se ha demostrado teóricamente que la relación lineal entre el límite inferior y el déficit de presión de vapor pueden solo existir si la radiación neta y el transporte turbulento de calor permanecen constantes. O'toole y Real, (1986) mencionan que r_a y r_{cp} deben de permanecer constantes para obtener la linealidad y demostraron que el límite inferior presenta una tendencia convexa cuando se utilizan valores de déficit de presión de vapor constantes y valores de temperatura variables, pero que se presenta una relación

cóncava cuando la temperatura del aire permanece constante y variable el déficit de presión de vapor.

De esto se puede concluir que el límite inferior o línea base será mejor descrito probando todas las posibles combinaciones de radiación neta, déficit de presión de vapor, resistencia del follaje y resistencia del aire (Walker y Hatfield, 1986; Idso et al, 1984; Idso, 1982; Hipps et al, 1985; Choudhury, 1983).

El efecto de la velocidad del viento sobre los valores del CWSI y principalmente sobre el límite superior de cultivos como sorgo, frijol y maíz bajo condiciones de stress hídrico severo proporciona valores de diferencia de temperatura en un rango de 2.5 a 8.5°C. Usando análisis de regresión lineal múltiple entre el límite superior y la radiación neta, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento como variables independientes, revelaron que ésta última fué el principal factor causante de errores en la estimación del índice de stress hídrico del cultivo. La radiación neta y el déficit de presión de vapor no presentaron significancia sobre el límite superior $(T_c - T_a)_p$.

MATERIALES Y METODOS

DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL

El experimento se estableció durante 1987 en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coah. Buenavista se encuentra al sur de la ciudad de Saltillo y sus coordenadas geograficas son: 25° y 23' de latitud norte y 101° y 6' de longitud oeste, con una altitud de 1743 m.s.n.m.

De acuerdo a la clasificación de Koeppen modificada por García para la República Mexicana, el clima de Saltillo se define como: Seco estepario, siendo su fórmula climática $BSok(x)(e)$, donde BSo es el más seco de los BS, K es templado con verano cálido, (x), lo define con régimen de lluvias intermedias entre el verano e invierno y (e) como extremoso con oscilaciones de temperatura de 7 a 14°C. La temperatura y la precipitación anual son de 18°C y 360 mm respectivamente. La evaporación media mensual medida en tanque evaporómetro tipo A es de 178 mm registrándose los valores más altos en los meses de mayo y junio con 234 y 236 respectivamente.

Características Físico-Químicas del Sitio Experimental

El análisis físico-químico del suelo se realizó en los laboratorios de Relación- Agua- Suelo-Planta -Atmósfera y de Calida de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Los resultados de estos análisis son presentados en el cuadro 3.1.

En la figura 3.1 se muestra la curva de retención de humedad del suelo en términos de potencial mátrico en atmósferas y el contenido de humedad en el suelo en base a volumen para el estrato 00-30 cm de profundidad.

El primer estrato del suelo (00-30 cm) presentó el mayor contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, disminuyendo su contenido con la profundidad del suelo. El potencial hidrógeno en promedio fué de 8.03, considerándose al suelo medianamente como alcalino. De acuerdo a la conductividad eléctrica (CE) se clasifica como un suelo no salino.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Materiales Genéticos.

Se evaluaron seis líneas de maíz proporcionadas por el

Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma Agraria

"Antonio Narro" las que a continuación se enlistan:

- | | |
|---------------|-------------------|
| 1.- AN-43 | (línea de maíz A) |
| 2.- SSE-18-19 | (línea de maíz B) |
| 3.-AN-20 | (línea de maíz C) |
| 4.-Nepoprec | (línea de maíz D) |
| 5.-Nepoprec | (línea de maíz E) |
| 6.-B | (línea de maíz F) |

1
2
3

Cuadro 3.1. Propiedades físico-químicas del suelo en el sitio experimental.

Parámetro	Profundidad en cm.			
	00-30	30-60	60-90	90-120
Materia orgánica (%)	5.060	4.260	3.760	2.711
Nitrógeno total (%)	0.253	0.213	0.188	0.135
Fosforo aprovechable (Kg/Ha.)	34.560	22.500	23.400	10.350
Potasio intercambiable (Kg/Ha.)	936.000	436.000	144.000	144.000
C.E. milimhos/cm	1.350	0.600	0.620	0.640
Potencial hidrógeno	8.030	8.160	7.960	7.970
Carbonatos totales	56.950	78.400	93.350	96.900
Arena (%)	17.600	26.700	21.600	15.600
Limo (%)	30.000	22.000	24.000	18.000
Arcilla (%)	52.000	50.400	54.400	66.400
Clase textural	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Densidad aparente (grs/cm)	1.083	1.048	0.921	0.989

Niveles de Stress Hídrico

Se manejaron tres niveles de stress hídrico: El primero se definió como bien regado (sin stress hídrico), aplicando

el riego cuando el suelo alcanzó una tensión del agua en el suelo de 3 atmósferas. Se asumió que con esta tensión, las líneas de maíz presentan su tasa de transpiración potencial.

Se puede mencionar que el verdadero estado de transpiración potencial se logra para condiciones de campo si el suelo no presenta limitaciones en el suministro de agua, pero en un determinado momento o fase fenológica, la densidad y profundidad radicular pueden limitar la tasa de absorción del agua por el cultivo.

Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado fué un factorial con arreglo en parcelas divididas y distribución de tratamientos en bloques al azar, asignándose a las parcelas principales los niveles de tensión del agua en el suelo y a las subparcelas las líneas de maíz. Las dimensiones de la parcela principal fueron de 14 m de largo y 5.6 m de ancho. Dentro de cada parcela principal se formaron seis subparcelas, cada una de las cuales estaba constituida por dos surcos de 5 m de longitud con 21 plantas cada uno de ellos (Croquis en Apéndice A).

Mediciones Termométricas y Meteorológicas

La temperatura del follaje se midió con un termómetro infrarrojo marca Li-Cor, modelo 8160-00, con un ángulo de vista

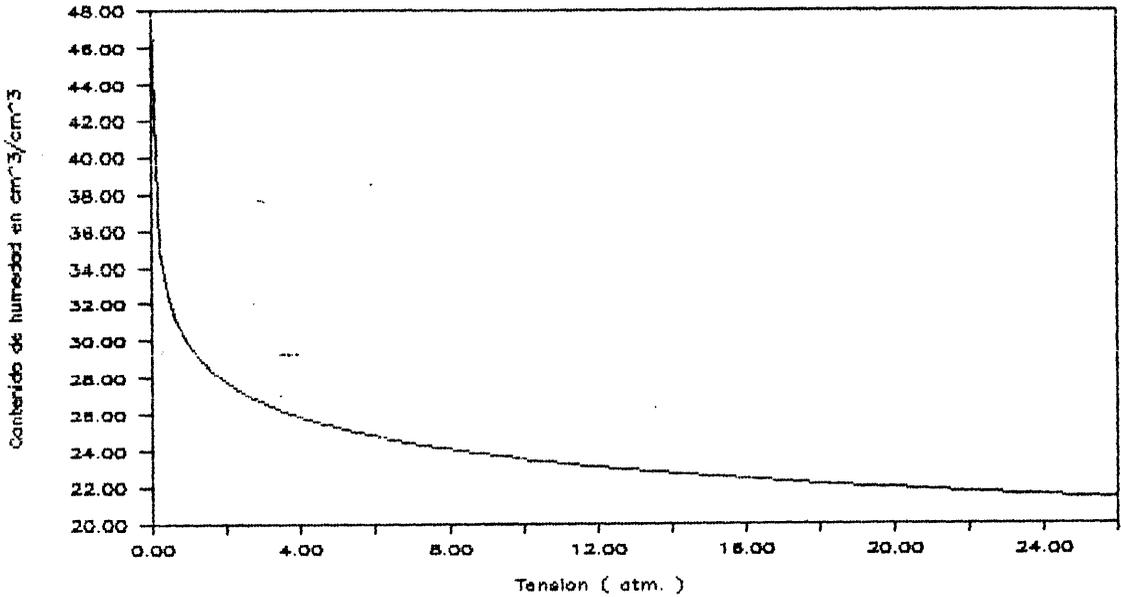


Figura 3.1 Curva característica de retención de humedad para el estrato 00-30 cm de profundidad del suelo del sitio experimental

de 4°. Las mediciones se realizaron entre las 14 y 15 hr bajo condiciones de cielo despejado. Se tomaron dos lecturas por unidad experimental utilizándose el promedio de las dos lecturas para cada unidad experimental. Las mediciones con el termómetro infrarrojo se tomaron con una orientación E-O y formando un ángulo de 15 ° con respecto a la horizontal con la finalidad de no captar porciones de suelo desnudo que nos causarían errores en las lecturas. Las lecturas se tomaron a una distancia de 15 cm del follaje y se asumió una emisividad de 0.98 Mm. Las mediciones psicrométricas se realizaron con un psicrómetro ventilado tipo Hassma, colocado a una altura de 1.7 m sobre la superficie del suelo en forma simultánea con las mediciones de temperatura del follaje. La temperatura del aire se tomó del bulbo seco del psicrómetro y los datos de

liación neta se obtuvieron de la estación climatológica de Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", situada a 200 del sitio experimental.

ÍNDICE DE STRESS HÍDRICO DEL CULTIVO

Los datos climatológicos y del cultivo recolectados a partir del 28 de julio de 1987 se utilizaron para evaluar los modelos empíricos y teóricos del índice de stress hídrico del cultivo propuestos por Idso et al (1981), y Jackson et al, (1981) respectivamente.

DE LOS EMPÍRICOS

Los parámetros del índice de stress hídrico del cultivo (WSI) fueron simplificados a la versión de la ecuación de balance de energía (2.1) y se derivó el CWSI empíricamente usando análisis de regresión lineal simple, como lo propuso originalmente Idso et al, (1981):

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_o - (T_c - T_a)_p}{(T_c - T_a)_o - (T_c - T_a)_p} \dots \dots \dots 3.1$$

Los datos utilizados son la diferencia de temperaturas entre el aire y el follaje del cultivo y el déficit de presión de vapor.

La evaluación de la línea base de diferencia de temperaturas $(T_c - T_a)_p$ se determinó para un período de datos pertenecientes a la etapa fenológica de completo desarrollo del cultivo en parcelas sin stress hídrico (parcelas del primer nivel de stress hídrico), y sus correspondientes valores de déficit de presión de vapor, radiación neta y temperatura del aire.

La selección de los datos se realizó asegurándose que la temperatura del follaje fuera representativa del cultivo a la tasa de transpiración potencial y que no se incluyeran datos de mediciones bajo condiciones de cambios climáticos bruscos (nubosidad y precipitación).

Los modelos 1 y 2 difieren de acuerdo al número de variables independientes usadas en las determinaciones estadísticas del límite inferior o línea base y el límite superior.

El modelo 1 describe el límite inferior $(T_c - T_a)_p$ para un cultivo que presenta su tasa de transpiración potencial como una función del déficit de presión de vapor.

$$(T_c - T_a)_p = a + b (DPV) \dots \dots \dots 3.2$$

El límite superior que representa a un cultivo que no presenta transpiración se expresó de la siguiente manera:

$$(T_c - T_a)_u = a + b * (GPV) \dots \dots \dots 3.3$$

donde: GPV = gradiente de presión de vapor

a = constante de regresión del límite inferior

b = coeficiente de regresión del límite inferior

En el modelo 2 se seleccionó un periodo de datos correspondientes a parcelas bien regadas (primer nivel de stress hídrico), usando la diferencia de temperaturas $(T_c - T_a)$, radiación neta y déficit de presión de vapor a fin de determinar el límite inferior. Para ello se utilizó regresión lineal múltiple, tomando como variables independientes a la radiación neta y el déficit de presión de vapor y como variable dependiente a la diferencia de temperaturas $(T_c - T_a)_p$. Se obtuvo la siguiente expresión:

$$(T_c - T_a)_p = a + b (R_n) + c (DPV) \dots \dots \dots 3.4$$

En la literatura revisada se reporta que la resistencia del follaje se aproxima a un valor máximo para un cultivo sometido a condiciones máximas de stress (r_c tiende a infinito), de tal manera que la diferencia de temperaturas $(T_c - T_a)_u$ será una función lineal única de la radiación neta.

Las mediciones de la radiación neta tuvieron que ser ajustadas para representar los valores de radiación neta para una parcela con un stress hídrico severo. Esta será expresada como:

$$Rn(d) = Rn - C E (Tcu^4 - Tcp^4) \dots \dots \dots 3.5$$

donde: C = constante de Stefan-Boltzman

E = emisividad del follaje

Tcu^4 = la temperatura del follaje para el límite superior

Tcp^4 = la temperatura del follaje para el límite inferior

En la estimación de $Rn(d)$, la Tcp se obtuvo usando la ecuación del límite inferior del modelo 2.

La dependencia de la diferencia de temperaturas $(Tc-Ta)_u$ para un cultivo con un stress hídrico severo. (sin presentar transpiración) con respecto a $Rn(d)$, se probó estadísticamente usando regresión lineal y se expresó de la siguiente manera:

$$(Tc-Ta)_u = a + b (Rn(d)) \dots \dots \dots 3.6$$

MODELOS TEORICOS

El modelo teórico del índice de stress hídrico del cultivo fué originalmente propuesto por Jackson et al, (1981), y se define como el déficit de evapotranspiración relativa:

$$CWSI = 1 - ETa/ETp.....3.7$$

donde: ETa = evapotranspiración actual

ETp = evapotranspiración potencial

Bajo condiciones limitantes de agua en el suelo, el total de la transpiración cae por debajo de la tasa de transpiración potencial debido a un cierre estomatal parcial o completo y al secado del suelo. Esto induce cambios en la transferencia de calor latente, el cual es balanceado por un incremento de la temperatura del follaje. En este caso, los términos de la ecuación de balance de energía (R_n, G, H, LE) son una función de la temperatura del follaje. La magnitud no será idéntica para los diferentes grados de stress hídrico.

Los modelos teóricos evaluados en este trabajo se plantean como una alternativa para la obtención del índice de stress hídrico del cultivo, utilizando la ecuación de balance de energía para la superficie del follaje y la ecuación de Penman-Monteith para la evapotranspiración.

Los modelos teóricos presentan la ventaja de que no es necesario la obtención previa de los límites superior e inferior como lo propone Idso et al, (1981), de manera que los cálculos del CWSI serán más rápidos.

$$LE = \frac{A R_n + D C_p (DPV)/r_a}{A + W (1 + r_c/r_a)} \dots\dots\dots 3.8$$

Esta es la ecuación de Penman-Monteith para la evapotranspiración en términos de resistencia del follaje y del aire (Monteith 1973: Thom y Oliver 1977). Tomando la relación de actual (LE para r_c) y potencial (LE para r_c igual a r_{cp}) se obtiene el índice de stress hídrico del cultivo.

$$CWSI = 1 - \frac{ET_a}{ET_p} = \frac{W (1 + r_c/r_a) - W^*}{A + W (1 + r_c/r_a)} \dots\dots\dots 3.9$$

Para calcular los valores del CWSI usando la ecuación 3.9 se requiere el valor de la relación de r_c/r_a . Esta relación se ha obtenido de la ecuación 2.23.

El modelo 3, que utiliza la ecuación 3.9 y la pendiente de la curva que relaciona la presión de vapor a saturación con la temperatura; se evaluó para la temperatura del aire y del follaje; utilizando el valor de la resistencia potencial del follaje de 10 seg/m, resistencia del aire de 20

Los modelos teóricos presentan la ventaja de que no es necesario la obtención previa de los límites superior e inferior como lo propone Idso et al, (1981), de manera que los cálculos del CWSI serán más rápidos.

$$LE = \frac{A R_n + D C_p (DPV)/r_a}{A + W (1 + r_c/r_a)} \dots\dots\dots 3.8$$

Esta es la ecuación de Penman-Monteith para la evapotranspiración en términos de resistencia del follaje y del aire (Monteith 1973; Thom y Oliver 1977). Tomando la relación de actual (LE para r_c) y potencial (LE para r_c igual a r_{cp}) se obtiene el índice de stress hídrico del cultivo.

$$CWSI = 1 - \frac{ET_a}{ET_p} = \frac{W (1 + r_c/r_a) - W^*}{A + W (1 + r_c/r_a)} \dots\dots\dots 3.9$$

Para calcular los valores del CWSI usando la ecuación 3.9 se requiere el valor de la relación de r_c/r_a . Esta relación se ha obtenido de la ecuación 2.23.

El modelo 3, que utiliza la ecuación 3.9 y la pendiente de la curva que relaciona la presión de vapor a saturación con la temperatura; se evaluó para la temperatura del aire y del follaje; utilizando el valor de la resistencia potencial del follaje de 10 seg/m, resistencia del aire de 20

eg/m y se asumió que el flujo de calor latente no es significativo.

El modelo 4 se presentó con la finalidad de evaluar la sensibilidad del CWSI a los cambios de resistencia potencial del follaje, por lo que se estableció un valor de rcp igual a 5 eg/m y resistencia del aire de 20 seg/m.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el período comprendido del 8 de Julio al 28 de Octubre, se realizó la observación de los datos climatológicos y del cultivo, que se utilizaron en la estimación de los parámetros requeridos en la derivación de los cuatro modelos del índice de stress hídrico del cultivo CWSI.

ANALISIS DE LOS PARAMETROS DEL CWSI EMPIRICO

Como se discutió en la revisión de literatura el modelo 1 fué originalmente propuesto por Idso et al (1981), describiendo la diferencia de temperaturas como un función del déficit de presión de vapor y la máxima diferencia de temperaturas a la temperatura del aire. Se utilizó regresión lineal simple entre $(T_c - T_a)_p$ y el déficit de presión de vapor, para cada una de las líneas de maíz evaluadas, los resultados se presentan en el cuadro 4.1. De estos resultados y considerando que en un cultivo el mecanismo de disipación de energía es la transpiración, el valor de la interceptación es el flujo de calor abajo del follaje. Como se puede observar, los valores mas bajos de las constantes del modelo fueron obtenidas para las líneas que presentaron los valores del índice de area foliar más alto (Apéndice A). De acuerdo a los

coeficientes de determinación de las líneas base, el déficit de presión de vapor permite estimar un promedio de 80 por ciento de las variaciones de las diferencias de temperaturas para un cultivo que presenta su tasa de transpiración potencial.

Cuadro 4.1 Resultados del análisis de regresión para el límite inferior o línea base de las seis líneas de maíz para el modelo 1

PARAMETRO	LINEAS DE MAIZ					
	A	B	C	D	E	F
Constante de regresión	2.75	5.2	4.43	5.03	5.26	6.60
E. Estandar de la Estimación	1.73	1.61	1.63	1.87	1.48	1.71
Coefficiente de Regresión	-0.63	-0.73	-0.65	-0.70	-0.66	-0.72
Error Estandar del Coef. de Regresión	0.07	0.06	0.07	0.08	0.06	0.07
Coef de determinación	0.79	0.86	0.82	0.81	0.85	0.84
Grados de libertad	21.00	21.0	21.00	21.00	21.00	21.00

El límite superior de la diferencia de temperaturas fué determinado resolviendo la ecuación (2.11) usando los coeficientes de regresión de la línea base para cada una de las línea de maíz, obteniendo las siguientes ecuaciones:

Línea de Maíz A

$$(T_c - T_a)u = 2.75 + 0.63 (GPV) \dots\dots\dots 4.7$$

Línea de Maíz B

$$(T_c - T_a)u = 5.25 + 0.73 (GPV) \dots\dots\dots 4.8$$

Línea de Maíz D

$$(T_c - T_a)u = 4.43 - 0.65 (GPV) \dots\dots\dots 4.9$$

Línea de Maíz D

$$(T_c - T_a)_u = 5.03 - 0.7 (GPV) \dots\dots\dots 4.10$$

Línea de Maíz E

$$(T_c - T_a)_u = 5.26 - 0.66 (GPV) \dots\dots\dots 4.11$$

Línea de Maíz F

$$(T_c - T_a) = 6.60 - 0.72 (GPV) \dots\dots\dots 4.12$$

Los límites superior e inferior del modelo 1 se presentan en las figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6. En las que se observa que las líneas A, B, y C presentan los valores más bajos del límite superior que representa a un cultivo con un fuerte stress hídrico esto nos da una idea de que estas líneas de maíz son susceptibles a sequía, y la línea D y E que presenta los valores más altos son tolerantes a sequía. O'toole y Real, (1986) mostraron que la forma de la línea base presentó una tendencia cóncava cuando la ecuación de balance de energía se resolvió para valores constantes de temperatura del aire mientras que el déficit de presión de vapor es variable. Tales condiciones prevalecieron durante la conducción del experimento, con una temperatura media de 19.55°C y una desviación estandar de 3.11°C, mientras que el rango de la humedad relativa fué de 30 a 88 por ciento. Las ecuaciones obtenidas asumen básicamente valores constantes de radiación neta, flujo de calor al suelo, resistencia del aire y resistencia potencial del follaje del cultivo. Sin embargo, se ha demostrado que el límite inferior $(T_c - T_a)_p$ es sensible a la

LIMITE SUPERIOR E INFERIOR DEL MODELO 1
LINEA DE MAIZ A

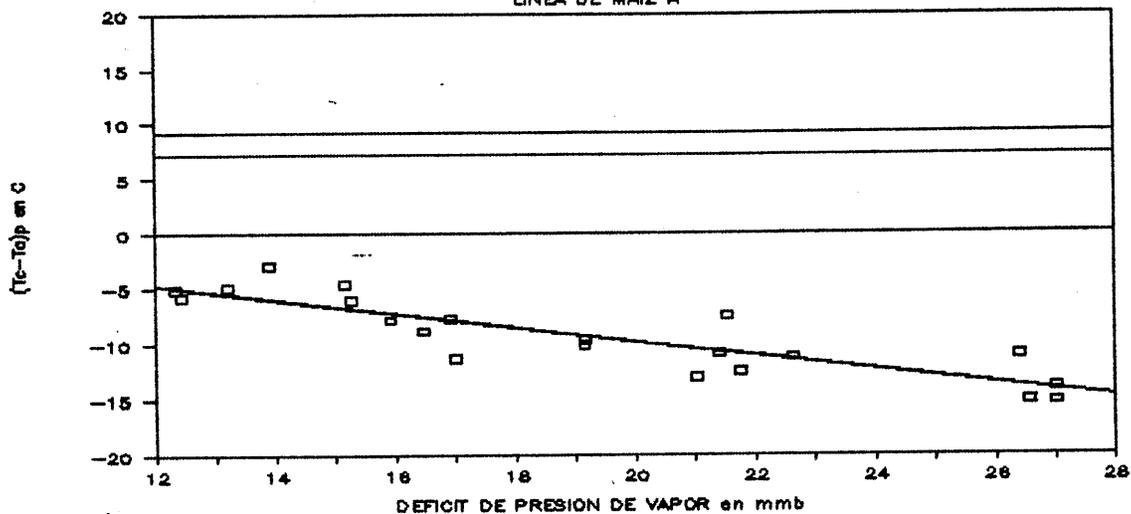


Figura 4.2 Limite superior a 30°C y 35°C de temperatura del aire y el limite inferior o linea base de la diferencia de temperaturas entre el follaje y el aire vs el déficit de presión de vapor para la línea de maíz A

LIMITE SUPERIOR E INFERIOR DEL MODELO 1
LINEA DE MAIZ B

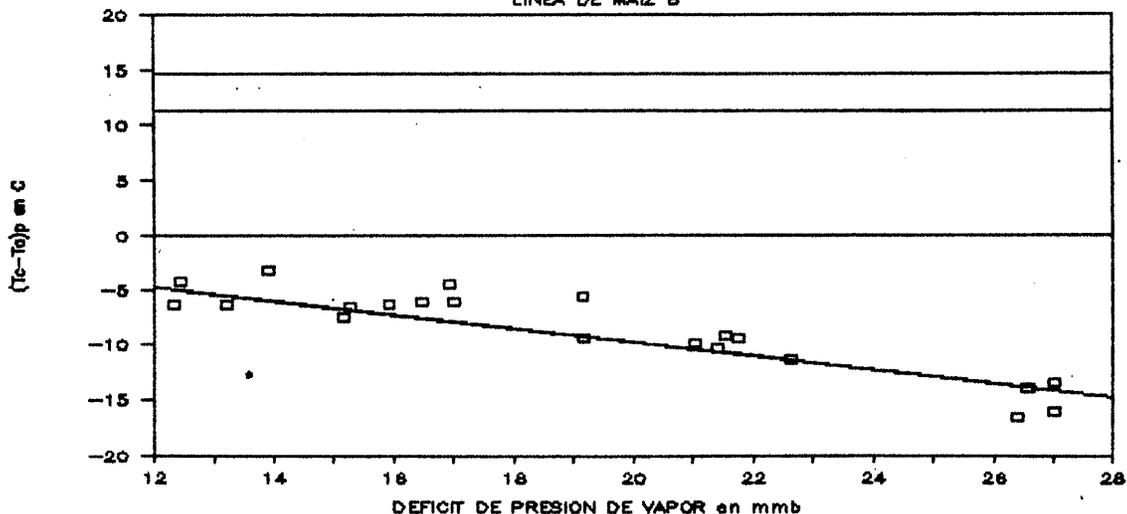


Figura 4.3 Limite superior a 30°C y 35°C de temperatura del aire y el limite inferior o linea base de la diferencia de temperaturas entre el follaje y el aire vs el déficit de presión de vapor para la línea de maíz B

LIMITE SUPERIOR E INFERIOR DEL MODELO 1

LÍNEA DE MAIZ C

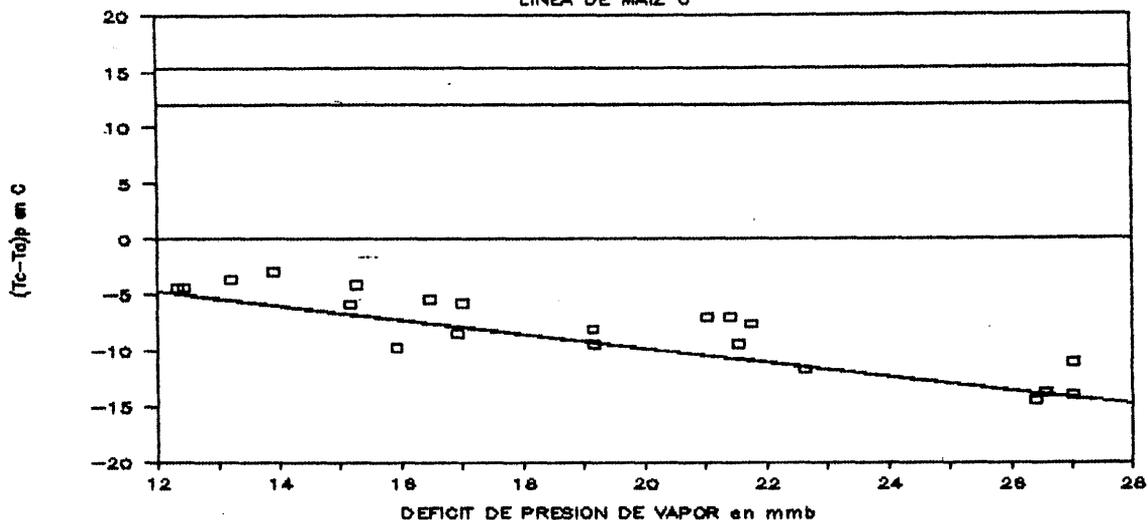


Figura 4.4 Limite superior a 30°C y 35°C de temperatura del aire y el límite inferior o línea base de la diferencia de temperaturas entre el follaje y el aire vs el déficit de presión de vapor para la línea de maíz C

LIMITE SUPERIOR E INFERIOR DEL MODELO 1

LÍNEA DE MAIZ D

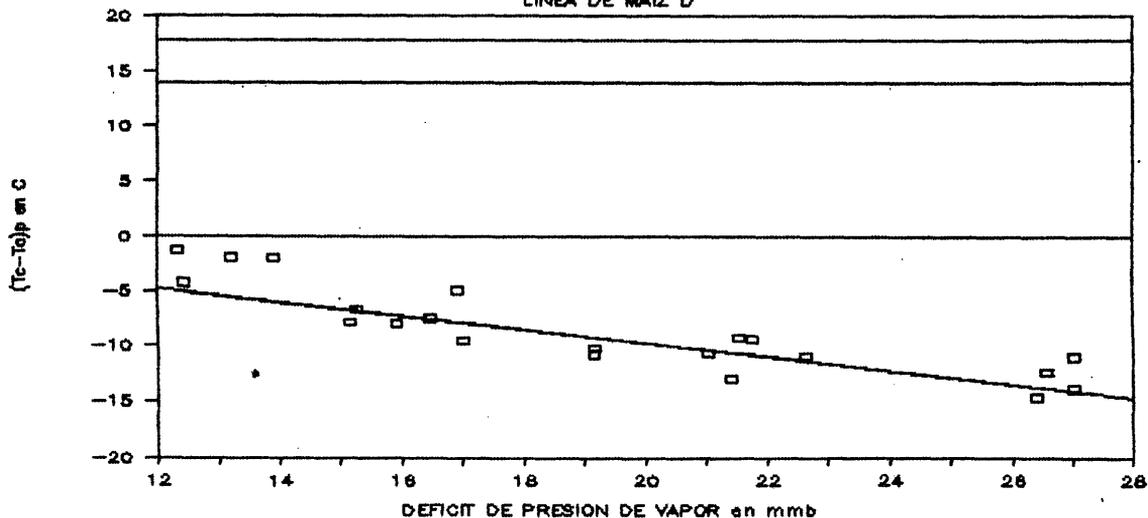


Figura 4.5 Limite superior a 30°C y 35°C de temperatura del aire y el límite inferior o línea base de la diferencia de temperaturas entre el follaje y el aire vs el déficit de presión de vapor para la línea de maíz D

LIMITE SUPERIOR E INFERIOR DEL MODELO 1

LÍNEA DE MAÍZ E

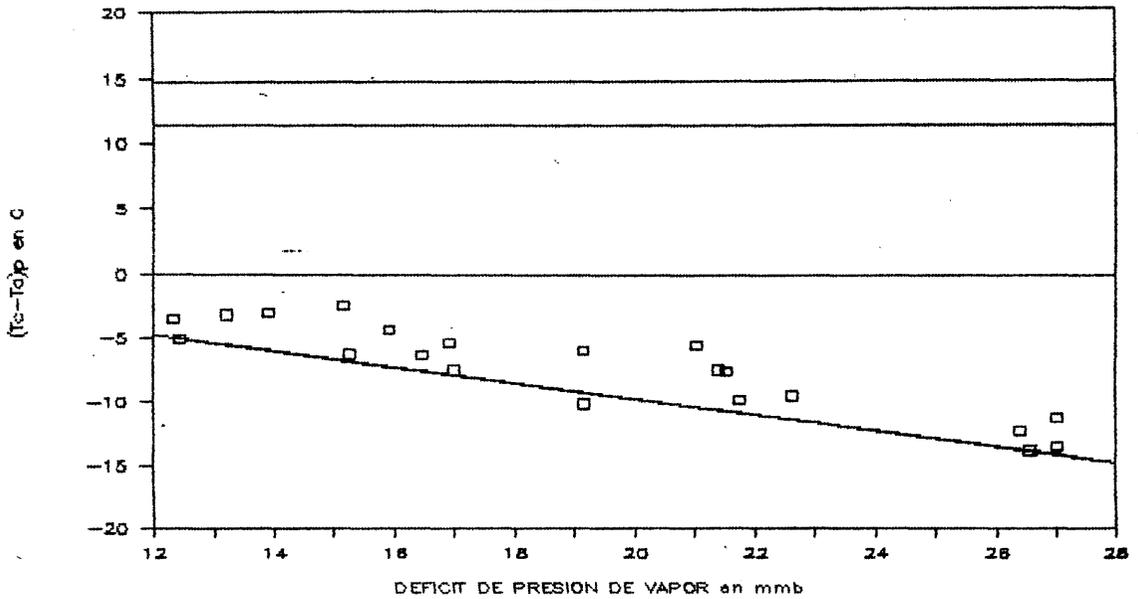


Figura 4.6 Límite superior a 30°C y 35°C de temperatura del aire y el límite inferior o línea base de la diferencia de temperaturas entre el follaje y el aire vs el déficit de presión de vapor para la línea de maíz E

LIMITE SUPERIOR E INFERIOR DEL MODELO 1

LÍNEA DE MAÍZ F

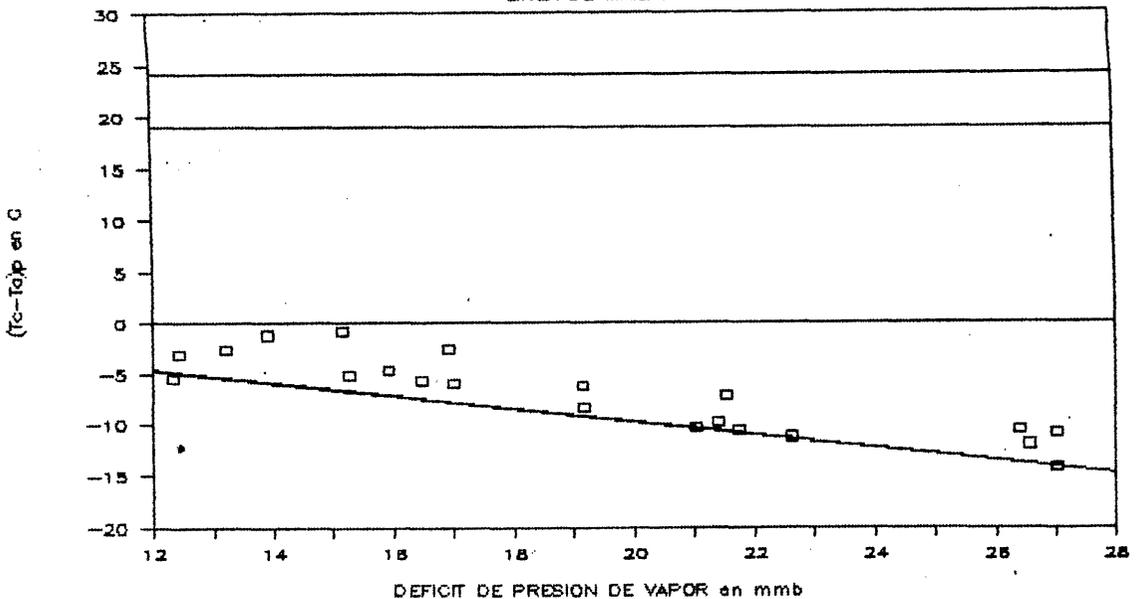


Figura 4.7 Límite superior a 30°C y 35°C de temperatura del aire y el límite inferior o línea base de la diferencia de temperaturas entre el follaje y el aire vs el déficit de presión de vapor para la línea de maíz F

radiación neta (Walker y Hatfield, 1983); (Werener 1984, Hipps et al, 1985); (Smith et al, 1986), la velocidad del viento (O'toole y Hatfield, 1983), resistencia del follaje (Jackson, 1982) y etapas fenológicas del cultivo (Idso 1982).

MODELO 2

Datos de parcelas bien regadas (Apéndice C), fueron procesados estadísticamente usando regresión lineal múltiple con la radiación neta y el déficit de presión de vapor como variables independientes y $(T_c - T_a)_p$ como variable dependiente.

Una comparación del análisis de regresión para ambos modelos indica que para el caso de algunas líneas de maíz la incorporación de la radiación neta no incrementa significativamente el coeficiente de determinación. El coeficiente de regresión de la variable radiación tiende a cero lo cual no concuerda con los resultados obtenidos por (Jalali - Farahai 1987); (Walker y Hatfield 1983); (Smit et al, 1986).

Todas las mediciones de la radiación neta fueron registradas en la estación meteorológica de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" en Buenavista. En la figura 4.7 se muestra la linealidad entre la radiación para una parcela con stress hídrico ($R_n(d)$) y la radiación en una parcela bien regada ($R_n(w)$), en una de las líneas de maíz estudiadas.

La dependencia de la diferencia de temperaturas para las parcelas que no presentan transpiración (debido a un stress hídrico) se ha probado estadísticamente usando regresión lineal simple, entre $(T_c - T_a)u$ y $R_n(d)$, y utilizando la ecuación 3.6 para obtener el límite superior de las líneas de maíz.

EL ABATIMIENTO DE LA HUMEDAD EN EL SUELO Y SU EFECTO SOBRE EL CWSI

El comportamiento del CWSI con respecto a el abatimiento de la humedad en el suelo para las líneas de maíz D y E se muestran en las figuras 4.9 - 4.26 en las que se aprecia una relación directamente proporcional entre las variables, con un buen grado de correlación. Se puede observar que los modelos empíricos son sensibles a los cambios de nubosidad como se puede observar en el período comprendido de los días julianos 197 al 212 y del 217 al 223.

En dichos períodos se presentaron eventos de precipitación y alto grado de nubosidad, respectivamente provocando subestimaciones del grado de stress hídrico del cultivo. Es necesario mencionar que por las condiciones climatológicas presentadas, los niveles de stress moderado y stress severo fueron cubiertos con plástico para que no se uniformaran los niveles, pero esto provocó condiciones

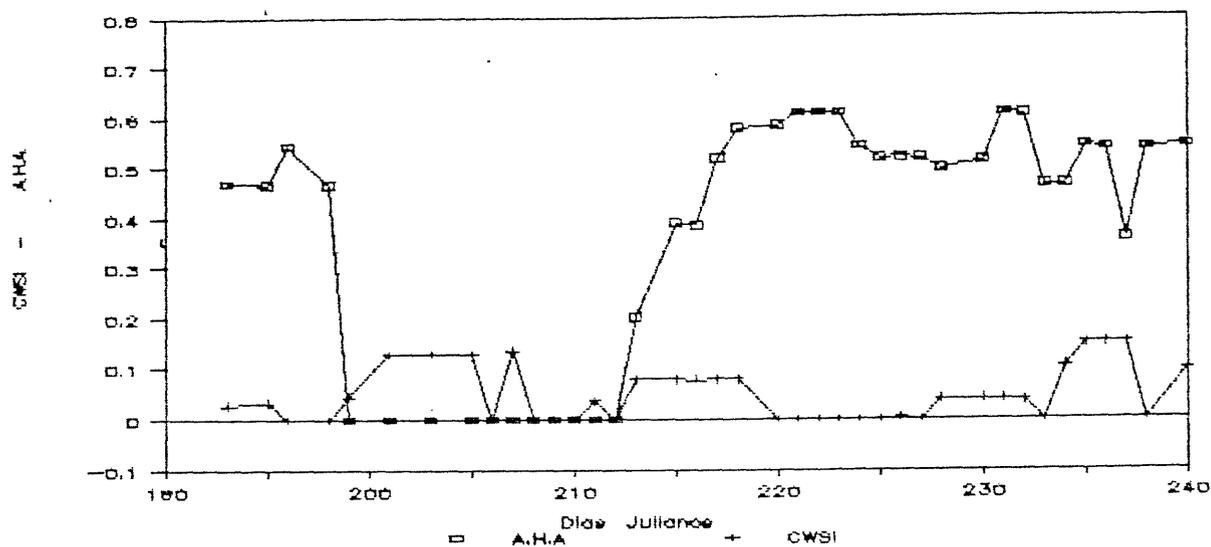


Figura 4.9 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz D sin stress hídrico, modelo 1

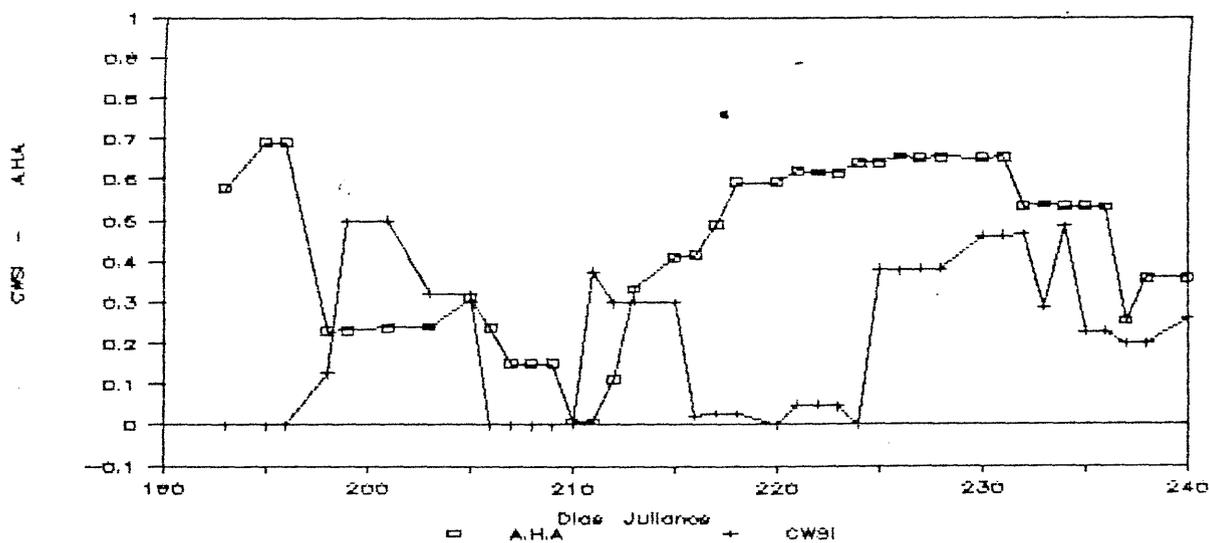


Figura 4.10 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz D bajo condiciones de stress hídrico moderado, modelo 1

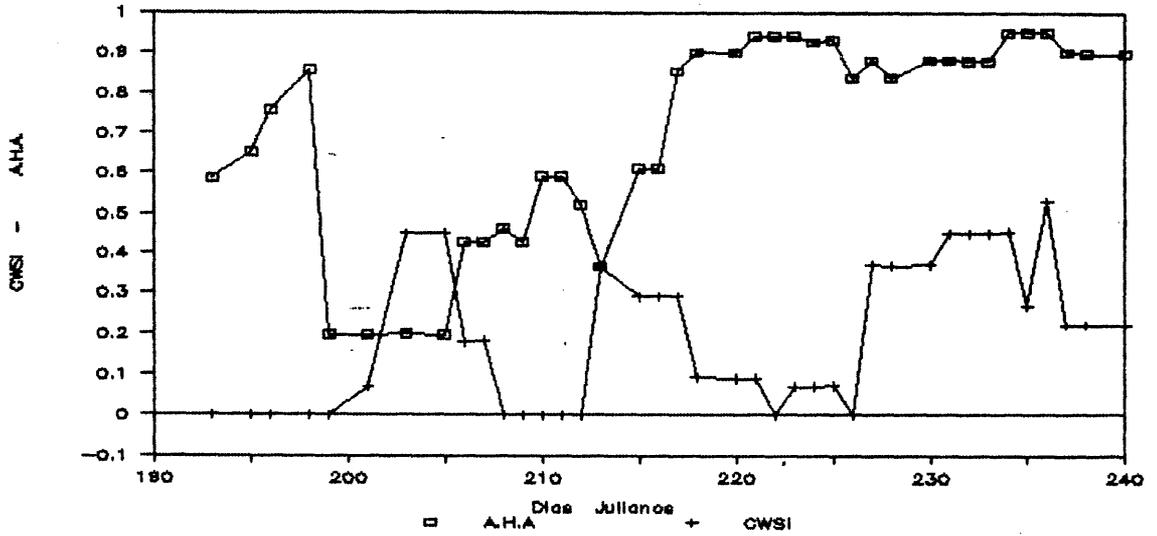


figura 4.11 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz D bajo condiciones de stress hídrico severo, modelo 1

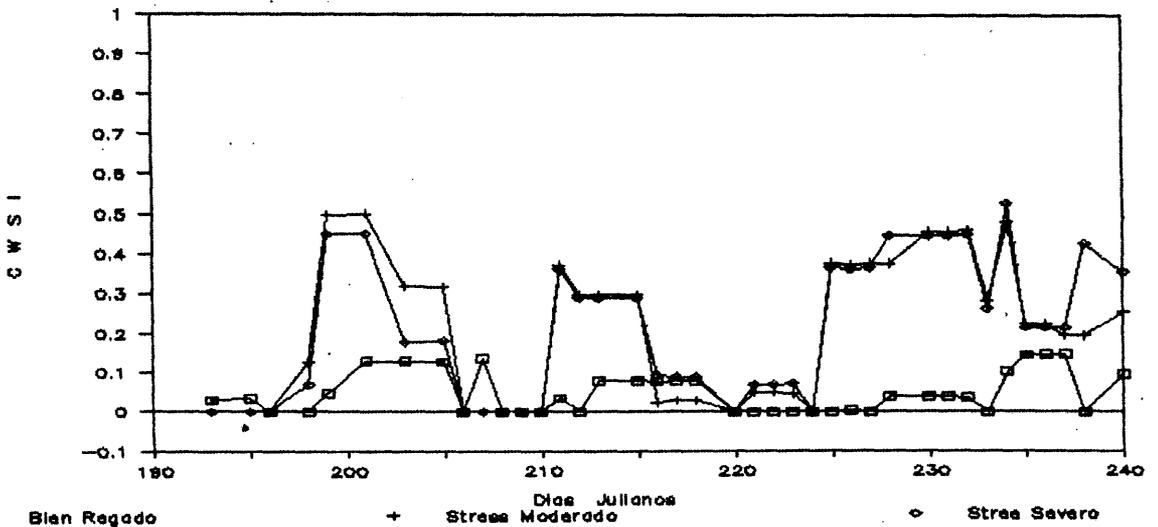


Figura 4.12 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz D con los tres niveles de stress hídrico, modelo 1

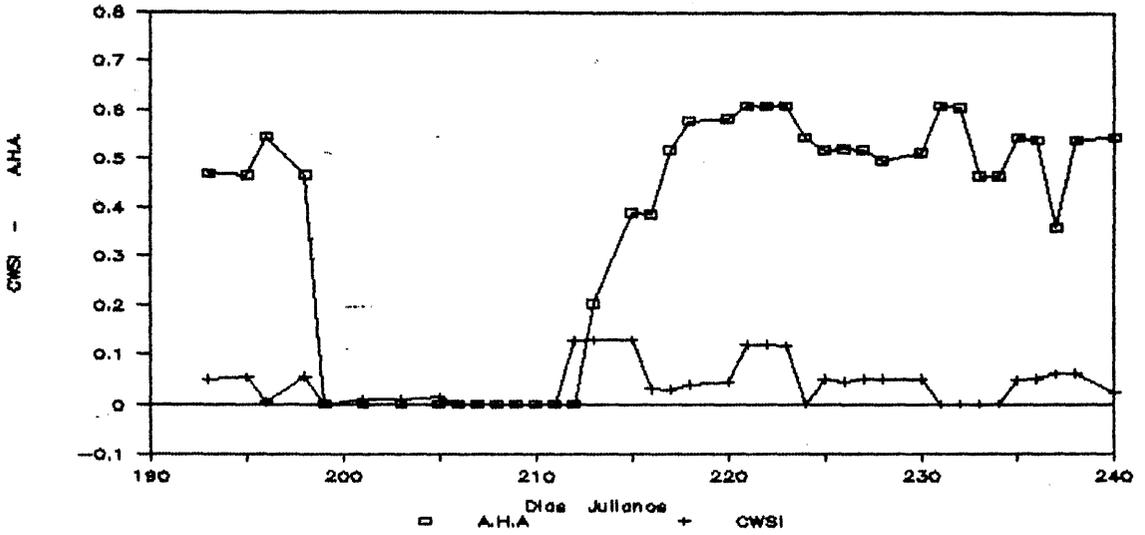


Figura 4.13 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz E sin stress hídrico modelo 1

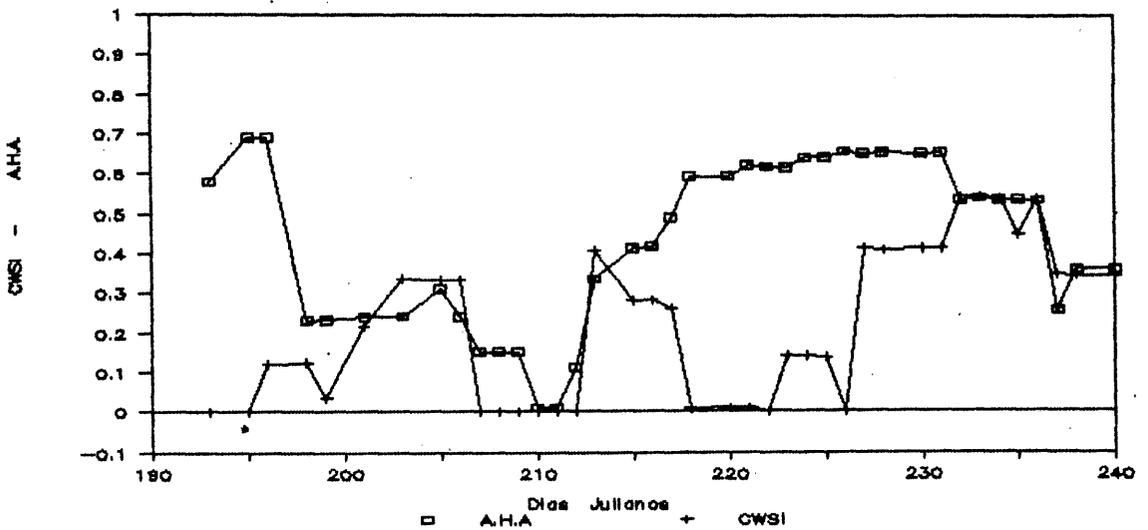


Figura 4.14 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz E bajo condiciones de stress hídrico moderado, modelo 1

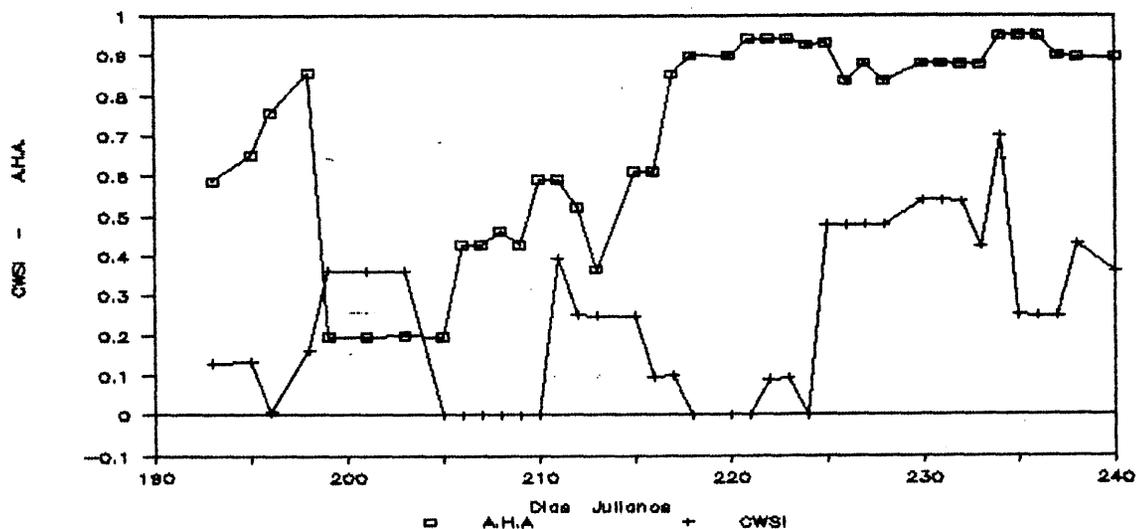


Figura 4.15 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz E bajo condiciones de stress hídrico severo, modelo 1

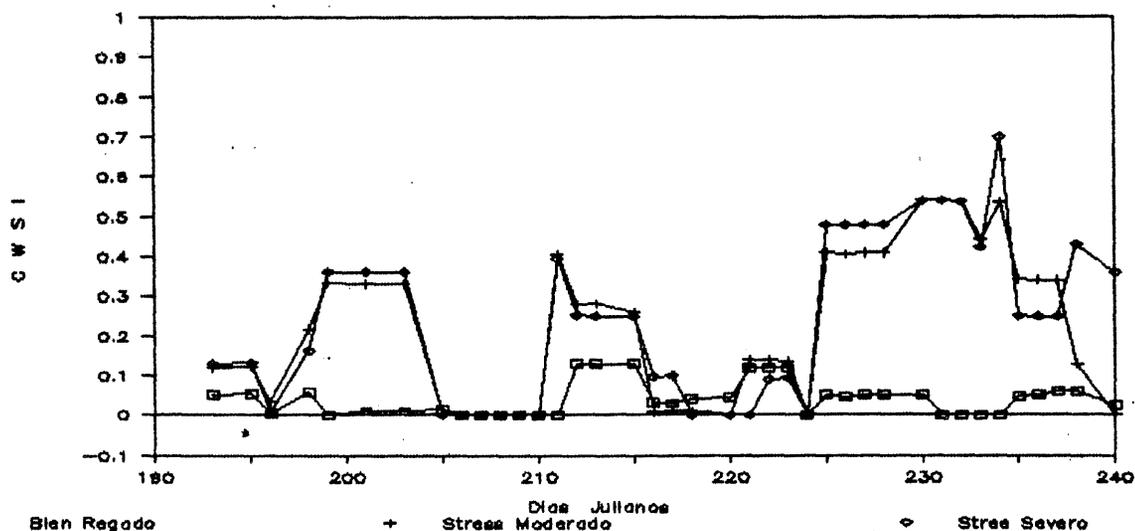


Figura 4.16 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz E con los tres niveles de stress hídrico, modelo 1

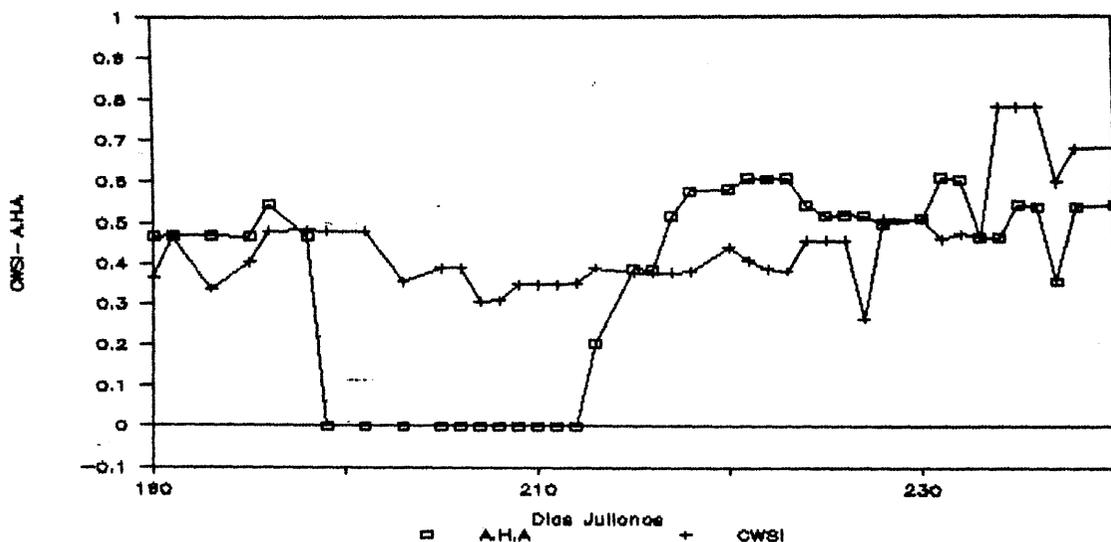


Figura 4.17 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz D sin stress hídrico modelo 3

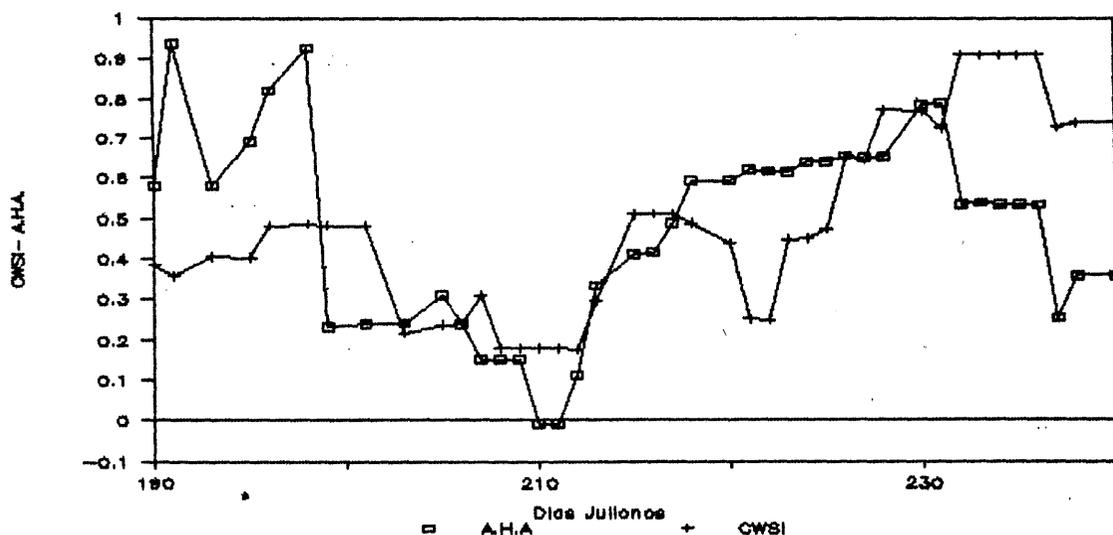


Figura 4.18 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz D bajo condiciones de stress hídrico moderado modelo 3

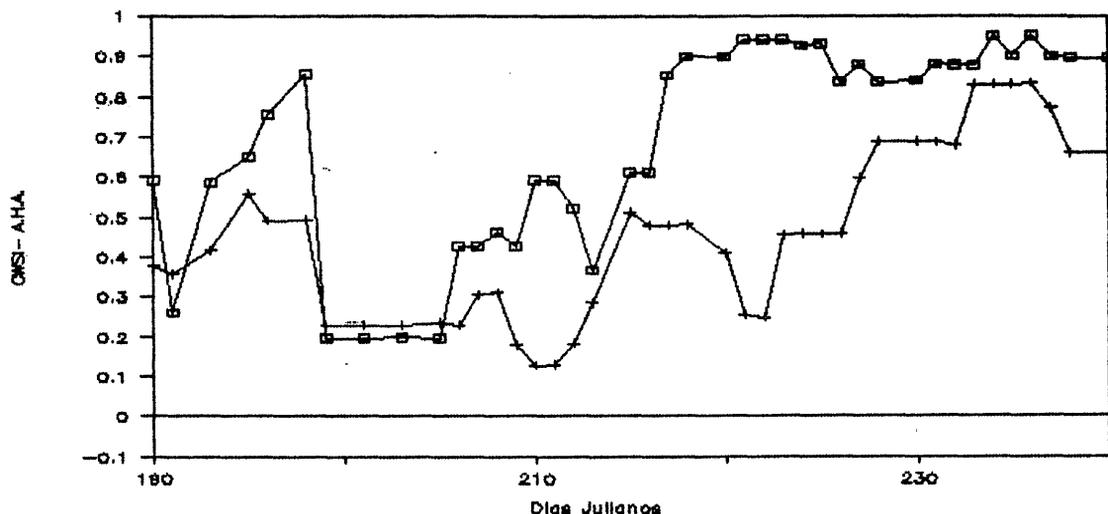


Figura 4.19 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz D bajo condiciones de stress hídrico severo, modelo 3

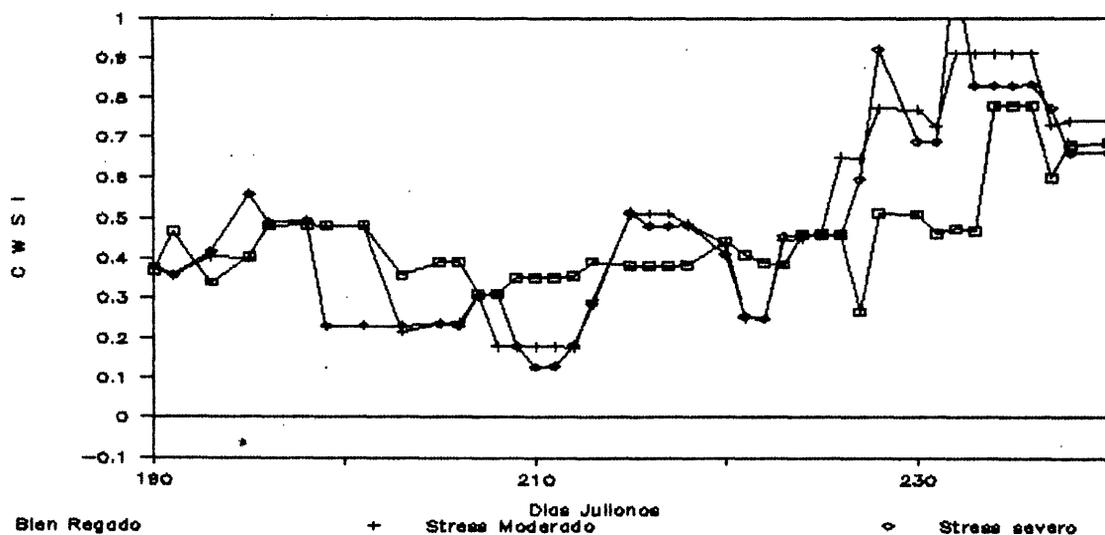


Figura 4.20 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz D con los tres niveles de stress hídrico, modelo 3

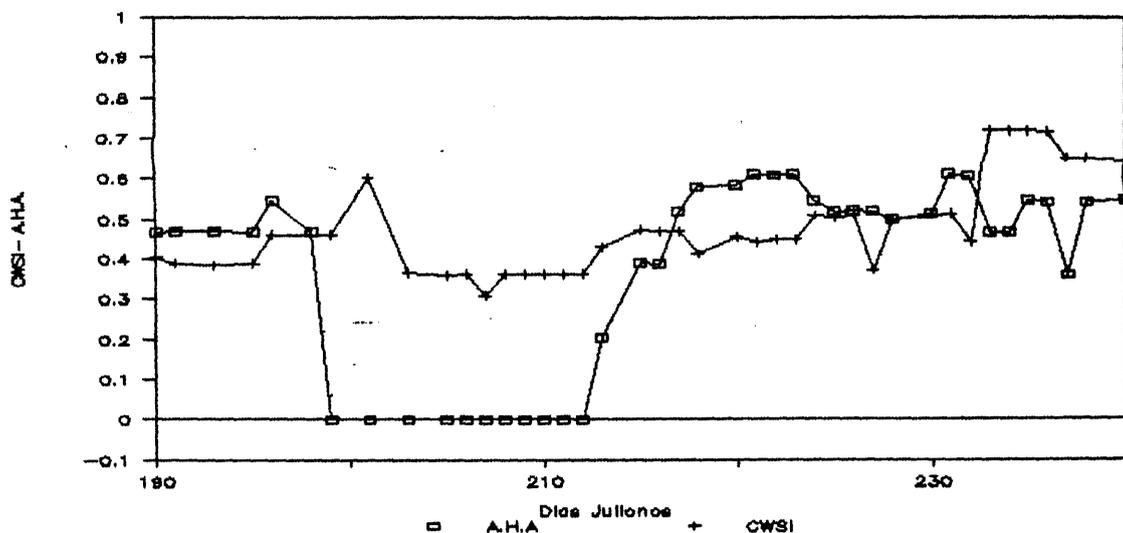
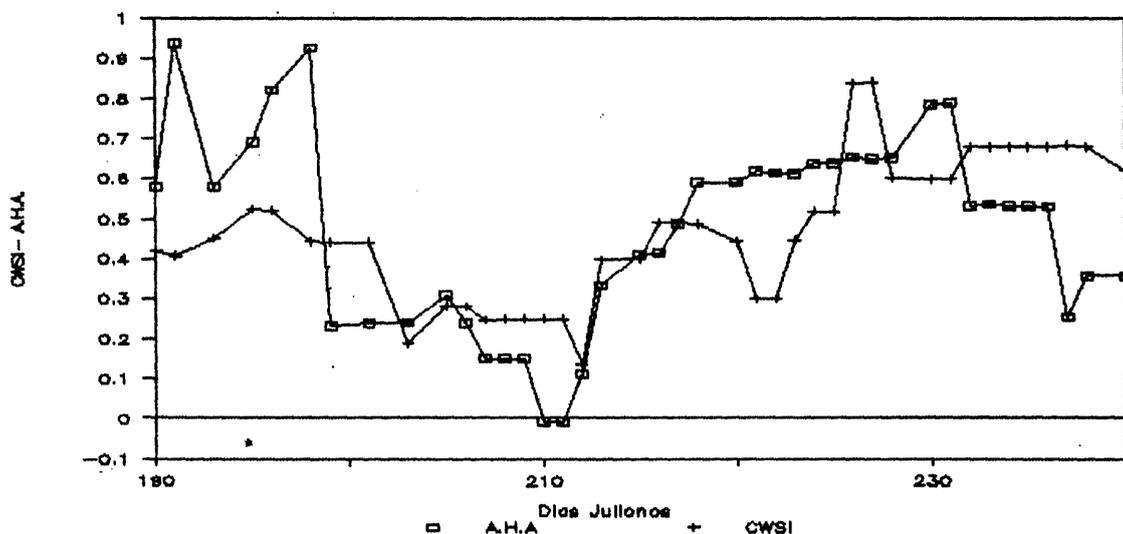


Figura 4.21 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz E sin stress hídrico, modelo 3



Fifura 4.22 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz E bajo condiciones de stress hídrico moderado, modelo 3

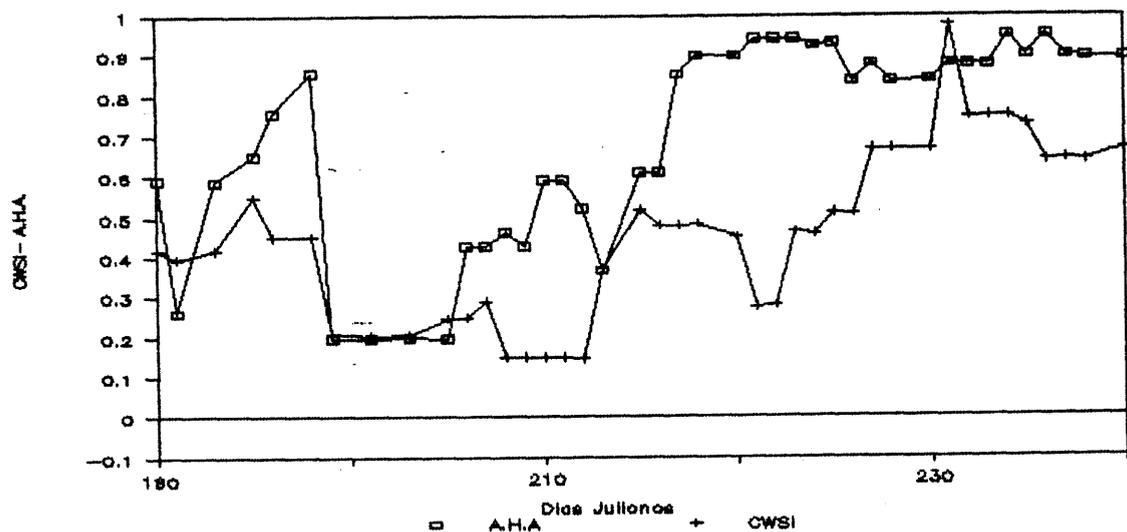


Figura 4.23 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz E bajo condiciones de stress hídrico severo, modelo 3

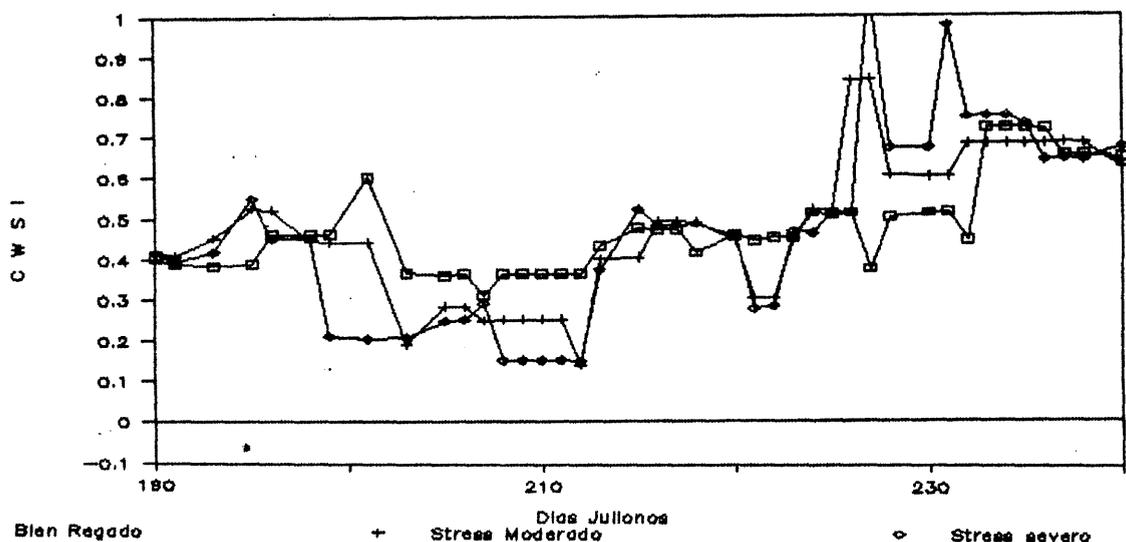


Figura 4.24 Relación entre el índice de stress hídrico del cultivo y el abatimiento de la humedad en el suelo para el estrato 00-30 cm de la línea de maíz E con los tres niveles de stress hídrico, modelo 3

ambientales de stress como se observa en el segundo período en el cual se presentan valores altos del CWSI.

Con el modelo_1 los tratamientos bien regados presentan un valor promedio de CWSI igual a 0.03 mientras que para los tratamientos bajo condiciones de stress moderado, el valor de CWSI es de 0.17 y para los tratamientos bajo stress severo es de 0.19.

Comparando los cuatro modelos del CWSI se puede observar que los modelos teóricos no presentaron la misma sensibilidad que los modelos empíricos (Apéndice B) debido al efecto de la resistencia potencial del follaje que se asumió constante para todo el ciclo vegetativo, y la cual ocasionó valores de CWSI más altos que los obtenidos por los modelos empíricos.

RELACION ENTRE EL CWSI Y EL REDIMIENTO DEL CULTIVO.

El CWSI y el rendimiento presentaron una relación inversa como se muestra en las figuras 4.21 a 4.22 donde se graficó el rendimiento para los tres niveles de stress hídrico contra los valores del CWSI.

En la figura 4.21 se observa el nivel de stress hídrico 1 (bien regado) que presenta un valor promedio de 0.03 y el nivel 2 (stress hídrico moderado). de 0.16 y el nivel 3 de 0.3

ara el período comprendido entre el 18 de julio al 28 de octubre de 1987.

Se puede observar que la línea de maíz que presentó los rendimientos más altos en condiciones del nivel de stress hídrico 1 es la línea A con un rendimiento de 7.84 Ton/Ha y un valor de 0.03. Esta es una línea para condiciones de trópico húmedo, por lo que se desarrolla bien para niveles de humedad altos. También se presentó una relación inversamente proporcional entre el valor del CWSI, lo que demuestra que el CWSI es capaz de estimar el grado de stress hídrico del cultivo. Por otro lado, las líneas de maíz que también presentan altos rendimientos para el nivel de stress hídrico 1 son las líneas D y E con 7.42 y 7.20 Ton/Ha y valores del CWSI de 0.04 y 0.05. Estas líneas son materiales para condiciones de temporal, tolerantes a sequía, y presentan una relación inversamente proporcional pero no con la pendiente tan pronunciada que las líneas A y B. Esta última es recomendada para condiciones del Bajío de la República Mexicana.

Los resultados obtenidos en los modelos teóricos se presentan en las gráficas 4.27 y 4.28. El promedio de los valores del CWSI para el nivel 1 es de 0.47, para el nivel 2 es de 0.45 y para el nivel 3 es de 0.52. Si comparamos los valores promedios del modelo 3 y el modelo 4, siendo los valores de este último de 0.51, 0.51 y 0.48 para los tres

iveles de stress hidrico respectivamente, se observa que el WSI es sensible a los cambios de la resistencia potencial del follaje en un 2 por ciento por cada unidad de cambio de resistencia potencial de follaje.

El rendimiento se relaciona en forma inversamente proporcional con los valores de CWSI obtenidos de dos modelos teóricos. Se puede mencionar que los modelos teóricos sobreestiman el grado de stress hidrico del cultivo debido a que en comparación con los modelos empíricos presentan valores mucho más altos para el nivel de stress hidrico 1.

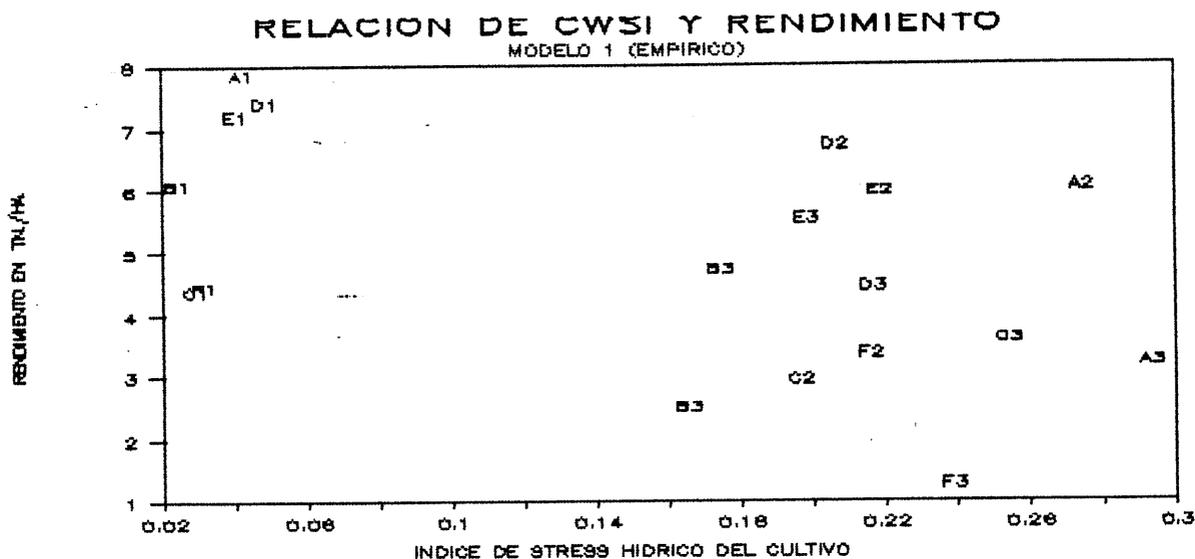


Figura 4.25 Relación entre el rendimiento y el índice de stress hídrico del cultivo calculados con el modelo 1 para los tres niveles de stress hídrico (A,B,C) y las seis líneas de maíz (A,B,C,D,E,F)

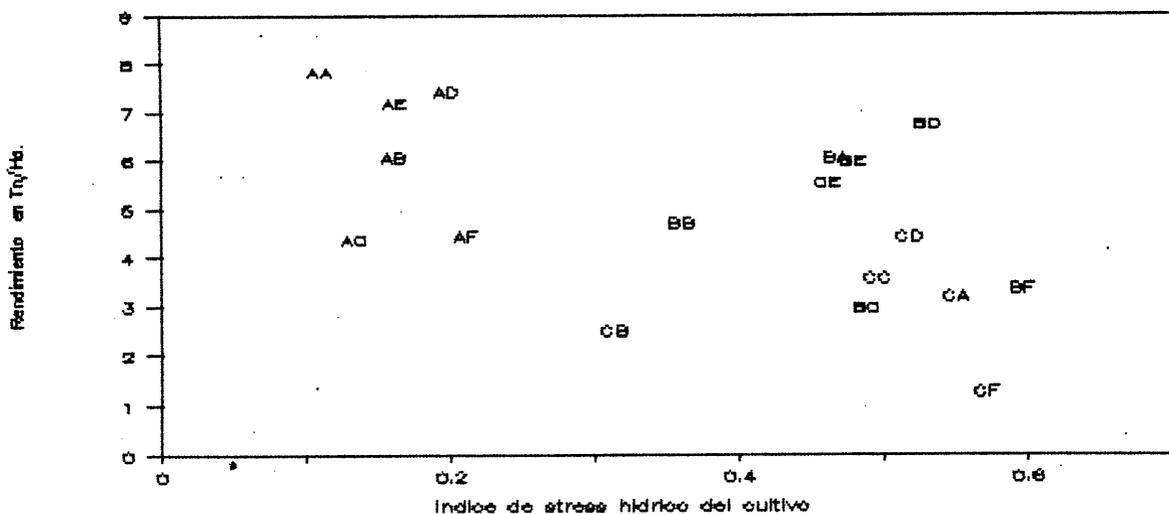


Figura 4.26 Relación entre el rendimiento y el índice de stress hídrico del cultivo calculados con el modelo 2 para los tres niveles de stress hídrico (A,B,C) y las seis líneas de maíz (A,B,C,D,E,F)

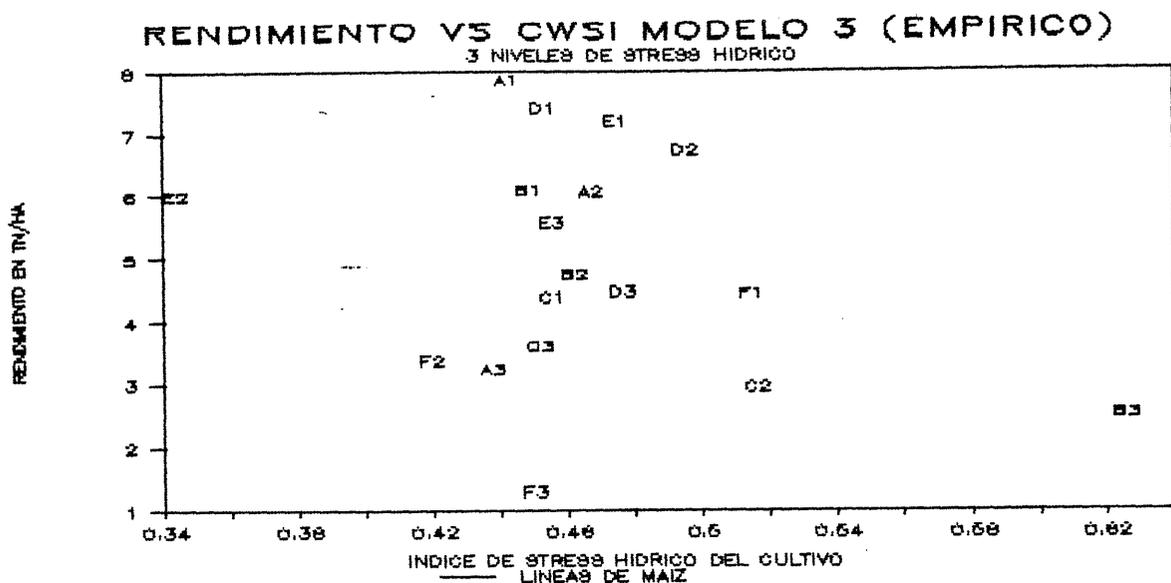


Figura 4.27 Relación entre el rendimiento y el índice de stress hídrico del cultivo calculados con el modelo 3 para los tres niveles de stress hídrico (A,B,C) y las seis líneas de maíz (A,B,C,D,E,F)

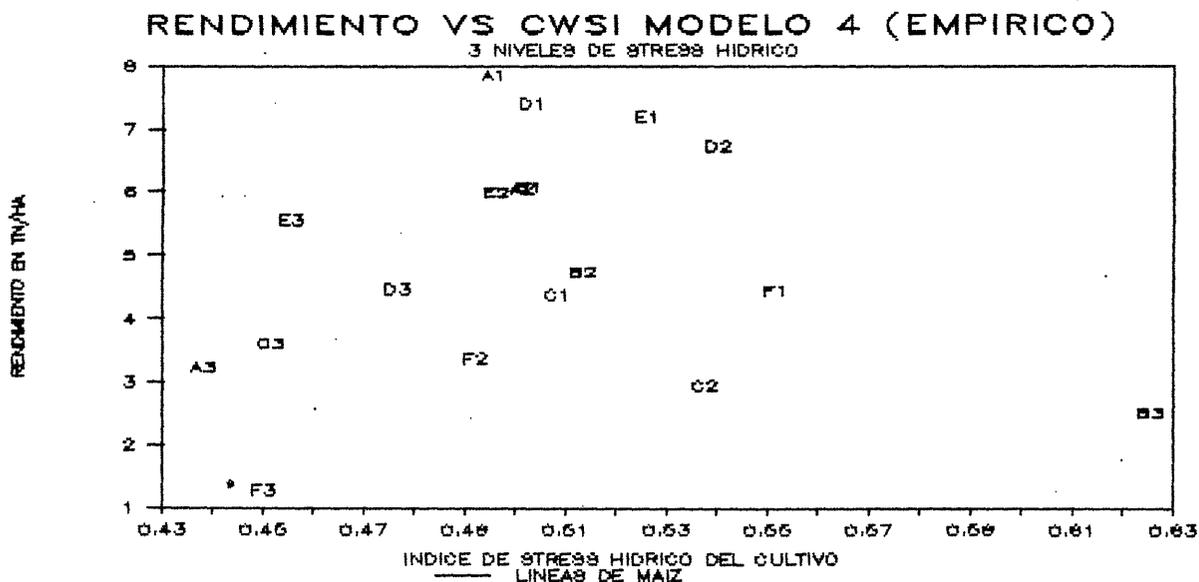


Figura 4.28 Relación entre el rendimiento y el índice de stress hídrico del cultivo calculados con el modelo 4 para los tres niveles de stress hídrico (A,B,C) y las seis líneas de maíz (A,B,C,D,E,F)

CONCLUSIONES

De los resultados presentados se puede concluir que :

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

La técnica de la termometría infrarroja es una herramienta práctica, rápida, y confiable para la determinación de la disponibilidad del agua del suelo para el cultivo de maíz, así como de la capacidad de éste para satisfacer los requerimientos evapotranspiracionales, bajo diferentes regímenes de humedad.

Las diferencias fisiológicas de materiales genéticos de tolerancia diferencial al stress hídrico en el cultivo de maíz, se reflejan en el comportamiento de los valores del índice de stress hídrico del cultivo, y en los rangos que éste puede tomar.

La cuantificación de los rendimientos obtenidos de las líneas de maíz estudiadas y su correlación con los valores registrados del índice de stress hídrico del cultivo, posibilitan la diferenciación entre materiales genéticos de características variables con respecto su tolerancia a condiciones de stress.

RECOMENDACIONES

Para trabajos posteriores se recomienda:

Realizar muestreos de humedad más frecuentes con la finalidad de tener datos simultáneos con la temperatura del follaje y obtener una mejor correlación.

Determinar la zona de mayor actividad radicular con la finalidad de correlacionar los valores del CWSI para dicha profundidad del suelo.

Realizar mediciones de radiación en la parcela de cultivo y compararlos con datos tomados en la estación climatológica cuando ésta se encuentra alejada del sitio experimental.

Utilizar un termómetro de mayor resolución con la finalidad de obtener datos más confiables y determinar los valores de r_{cp} y r_c en base a la ecuación de balance de energía para los cultivos agrícolas que es la limitante de los modelos teóricos propuesto por Jackson et al 1981.

Relizar investigaciones más profundas con la finalidad de obtener valores de CWSI para todo el ciclo vegetativo y poder cuantificar el efecto de la temperatura del suelo para cuando el cultivo no presenta cobertura efectiva.

LITERATURA CITADA

- Blad, B.L., B.R. Gardner, D.G. Watts, and N.J. Rosenberg. 1981. Remote sensing of crop moisture status. *Remote Sens. Q.* 3: 4-20
- Danley H.T., and W.D. Criddle, 1950 Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, SCS-TP96.
- Moudhury, B. 1983. Simulating the effects of weather variables and soil water potential on corn canopy temperature. *Agric. Meteorol.* 29: 169-182
- Moudhury, B. and S.B. Idso. 1984 Simulating sunflower canopy temperature to infer root-zone soil water potential. *Agric. For. Meteorol.* 31: 69-78.
- Lawson, K.L., and B.L. Blad. 1982. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. *Agro. J.* 74: 311-316
- Liaw, R.A., A.D. Matthias, and R.J. Hanks. 1983. Evapotranspiration and yield estimation of spring
- Muehls, M., and C.B. Tanner. 1966. Infrared thermometry of vegetation. *Agron. J.* 58:597-601.
- Gardner, B.R., B.L. Blad. 1980. Plant canopy temperature in corn as influenced by differential moisture stress. *Agric. Meteorol. Progress Report 80-1 Center for Agricultural Meteorology and Climatology. Univ. of Nebraska-Lincoln.* 119pp.
- Gardner, B.R., B.L. Blad, D.P. Garrity, and D.G. Watts. 1981. Relationships Between crop temperature, grain yield, evapotranspiration and phenological development in two hybrids of moisture stressed sorghum. *Irrig. Sci.* 2: 231-224.
- Gardner, B.R., B.L. Bland, and D.G. Watts. 1981. Plant and air temperature in differentially irrigated corn. *Agric. Meteorol.* 25: 207-217.

- Gates, D.M. 1964. Leaf temperature and transpiration. *Agron. J.* 56:273-277
- Gates, D.M. 1968 Sensing biological environments with a portable radiation thermometer. *Appl. Opt.* 7;1803-9.
- Geiser, K.M., D.C. Slack, E.R. Allred and K.W. Stange. 1982 Irrigation scheduling crop canopy-air temperature difference. *ASAE Transaction.* p689-694
- Hatfield, J.L. 1983. Evapotranspiration obtained from remote sensing methods. In: D. E. Hillel (Ed.), *Advances in Irrigation. Academic techniques.* Academic Press. New York, NY, 2: 395-416.
- _____ 1985. Wheat canopy resistance determined by energy balance techniques. *Agron. J.* 77: 279-283
- _____ 1986. Research priorities in ET: Evolving methods. *Pap.-Am. Soc. Agric. Eng.* 86-2628, 1-23.
- Heermann, D.F., and H.R. Duke. 1978. Evaluation of crop water stress under limited irrigation. *Pap.-Am. Soc. Agric. Eng.* 78-2556, 1-12.
- Hipps, L.E. G. Asrar and E. T. Kanemasu. 1985. A theoretically-based normalization of environmental effects on foliage temperature. *Agric. For. Meteorol.* 35: 113-122.
- Hsiao, T.C. (1973) Plant response to water stress *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24, 519-570
- Idso, S.D. 1982. Non-water-stress baselines: A Key to measuring and interpreting plant water stress. *Agric. Meteorol.* 27 59-70
- _____ 1983. Stomatal regulation of evaporation from well-watered plant canopies: A new synthesis. *Agric. Meteorol.* 29: 213-217.
- Idso, S. B. and Jackson, R. D. 1969. Comparison of two methods for determining infrared emittance of bare soils. *Jour. Appl. Meteorol.* 8(1):168-169.

- Idso, S.B. and D.G. Baker. 1964. Relative importance of reradiation, convection and transpiration in heat transfer from plants. *Plant physiol.* 42: 631-640.
- Idso, S.B., Reginato, R.J., Jackson, R.D., Kimball, and Nakayama, F.S. 1974. The three stages of drying of a field soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38(5):831-837.
- Idso, S.B., R.D. Jackson, and R.J. Reginato. 1977. Remote sensing of crop yields. *Science.* 196: 19-25.
- Idso, S.B., Reginato, R.J. and Jackson, R.D. 1977. Albedo measurement for remote sensing of crop yields. *Nature* 266:625-628.
- Idso, S.B., R.D. Jackson, P.J. Pinter Jr., R.J. Reginato, and J.L. Hatfield. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 23: 45-55.
- Idso, S. B., Reginato, R.J., Reicosky, D.C. and Hatfield, J.L. 1981a. Determining soil-induced plant water potential depressions in alfalfa by means of infrared thermometry. *Agronomy Journal.* 73(5):826-830.
- Idso, S. B., Reginato, R.J., Jackson, R.D. and Pinter, F.J., Jr 1984 Reply to pae u's comments on foliage and air temperature: Evidence of a dynamic equivalence point. *Agricultural and Forest Meteorology* 31: 87-88.
- Idso, S.B., K.L. Clawson, and M.G. Anderson. 1986. Foliage temperature: Effects of environmental factors with implications for plant water stress assessment and the CO₂/climate connection. *Water Resour. Res.* 22: 1702-1716.
- Jackson, R. D. 1982. Canopy temperature and crop water stress. In: D.E. Hillel (Ed.) *Advances in irrigation.* Academic Press. New York. 1: 43-84.
- Jackson, R.D., Reginato, R.J. and Idso, S.B. 1976 Timing of ground truth acquisition during remote assesement of soil-water content. *Remote Sensing of environ.* 4(4): 249-255.
-
- 1977a. Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirementes. *Water Resour. Res.* 13: 651-656.
- Jackson, R.D., S.B. Idso, R.J. Pinter, Jr. 1981. Canopy Temperature as a crop water stress indicator. *Water Resour. Res.* 17: 1133-1138

- Jalali-Farahani, H.R. 1987. Crop water stress parameters for turfgrass and their environmental dependability. M Sc Thesis. University of Arizona.
- Jalali-Farahani, H.R., D.C. Slack, A.D. Matthias, and D.M. Kopec. 1986. Crop water stress parameters for turfgrass and their environmental dependability. Pap.-Am. Soc. Agric. Eng. 86-2595, 34 p.
- Jensen, M.E. and H.R. Haise. 1963. Estimating Evapotranspiration from solar radiation. J. Irr. And Drain. Div. Asce. Vol. 88pp. 15-41.
- Jensen, M.E., J.L. Wright and B.J. Pratt. 1971. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering 14(5): 954-959.
- Keebone, W.R. and I.L. Pepper. 1982. Consumptive water use by sub-irrigated turfgrasses under desert conditions. Agric. Meteorol. 28: 339-349.
- Keener, M.E., and Kircher. 1983. The use of canopy temperature as an indicator of drought stress in humid regions. Agric. Meteorolo. 28: 339-349.
- Lee, R. 1967. The hydrology importance of transpiration control by stomata. Water Resour. Res. 3: 737-752.
- Lorenz, D. 1968. Temperature measurements of natural surfaces using infrared radiometers. Appl. Opt. 7, 1705-1710.
- Monteith, J.L. 1962. Radiative temperature in the heat balance of natural surfaces. Quart. J. Roy. Met. Soc. 88:496-507.
- _____ 1963a. Gas exchange in plant communities. In: L.T. Evans (Ed.), Environmental Control of Plant Growth. Academic Press, New York, NY, 95-112.
- _____ 1981b Evaporation and surface temperatura. Quart. J Roy. Met. Soc. 107:1-27.
- Monteith, J.L., and G. Szeicz. 1962. Radiative temperature in heat balance of natural surfaces. Quart. J. Roy. Met. Soc. 88: 496-507.
- Nakayama, F.S., and D.A. Bucks. 1984. Crop water stress index, soil water, and rubber yield relations for the guayule plant. Agron. J. 76: 791-794.

- O'toole, J.C., and J.L. Hatfield. 1983. Effect of wind on thermometry. *Agron. J* 75: 811-817.
- O'toole, J.C., and J.G. Real. 1986. Estimation of aerodynamic resistance from canopy temperature. *Agron. J.* 78: 305-310
- Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. Lond. A* 193: 120-145.
- Penman, H.L., and R.K. Schofield. 1951. Some physical aspects of assimilation and transpiration. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 5: 115-129.
- Pinter, P.J., Jr. and R.J. Reginato. 1982. A thermal infrared technique for monitoring cotton water stress and scheduling irrigations. *Transactions of ASAE* 25(6): 1651-1655.
- Reginato, R.J. 1980. Remote assessment of soil moisture. *Proc. Seminar on Isotope & Radiation Techniques in Soil Water Studies. Khartoum, Sudan. A Technical Document Issued by the International Atomic Energy Agency, Vienna, pp 76-85.*
- Reginato, R.D., Idso, S.B., and Jackson R.D. 1975. Assessing soil moisture remotely. In *Hydrology and Water Resources in Arizona and The Southwest*, vol 5. pp 191-198. Univ. of Arizona Press.
- Seguin, B., and Petit, V. 1980. Utilisation de la thermographie infrarouge pour l'estimation de l'évaporation. Analyse critique des r'Phesultats des mesures sur le site de la Crau. *Tellus Newsl. No 16 Comm. Eur. Commun.*
- Slack, D.C., K.M. Geiser, K.W. Stage, and E.R. Allred. 1981. Irrigation Scheduling in subhumid areas with infrared thermometry. *Proceedings of the Irrigation Scheduling Conference. Am. Soc. St. Joseph. MI, 116-124.*
- Slack, D.C. B.R. Hansan, and H.D. Werner. 1983. Simplified irrigation scheduling using canopy-air temperature differences. *Pap-Am. Soc. Agric. Eng.* 83-2126.

- Smith, R.C.G., H.D. Barrs, and J.L. Steiner. 1986 Alternative models for predicting the foliage-air temperature difference of well irrigated wheat under variable meteorological conditions: Derivation of parameters. II. Accuracy of predictions. *Irrig. Sci.* 7: 225-236.
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E. D., and Hemmingen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148, 339-346.
- Szeicz, G., and I.F. Long. 1969. Surface resistance of crop canopies. *Water Resour. Res.* 5: 622-633.
- Szeicz G., G. Enrodi, and S. Tejchmon. 1969. Aerodynamic and surface factors in evaporation. *Water Resour. Res.* 5: 380-394.
- Tanner, C.B. 1963. Plant temperature. *Agron. J* 55: 210-211.
- Thom, A.S., and H.R. Oliver. 1977. On Penman's equation for estimating regional evaporation. *Q.J. Roy Meteorol. Soc.* 103: 345-357.
- Thorntwaite, C. W. 1948. An approach towards a national classification of climate. *Geogr. Rev.* 38: 55-94.
- van Bavel, C.H.M. 1966. Potential evaporation: The combination concept and its experimental verification. *Water Resour Res.* 4: 455-467.
- _____ 1968a Further to the hydrologic importance of transpiration control by stomata. *Water Resour. Res.* 4: 1387-1388.
- Wanjura, D.F., C.A. Kelly, C.W. Wendt, and J.L. Hatfiel. 1984. Canopy temperature and water stress of cotton crops with complete and partial ground cover. *Irrig. Sci.* 5: 37-47
- Werner, H.D. 1984. Infrared thermometry to evaluate crop water status in a subhumid climate. Ph. D. Dissertation. Univ. of Minnesota. St. Paul, Minnesota. 187 p.
- Wiegand, C.L. and L.N. Namken. 1966. Influences of plant moisture stress, solar radiation, and air temperature on cotton leaf temperature. *Agron. J.* 58: 552-556

APPENDICE A

Cuadro 1.A Índice de área foliar de las líneas de maíz estudiadas, bajo diferentes niveles de stress hídrico.

TENSION		LINEAS DE MAIZ					
BARS	REPT.	A	B	C	D	E	F
3.000	I	5.182	3.534	2.724	3.080	2.266	2.490
	II	5.181	3.532	2.723	3.255	2.267	2.490
	III	5.181	3.535	2.726	3.256	2.265	2.490
X		5.181	3.534	2.724	3.197	2.266	2.490
8.000	I	4.990	3.053	2.573	2.877	2.068	2.410
	II	4.980	3.053	2.573	2.877	2.069	4.414
	III	4.980	3.053	2.573	2.877	2.068	2.415
X		4.983	3.053	2.573	2.877	2.068	3.080
15.000	I	5.048	3.450	2.239	2.836	1.794	2.590
	II	5.046	3.499	2.241	2.835	1.793	2.586
	III	5.046	3.599	2.240	2.200	1.794	2.586
X		5.047	3.516	2.240	2.624	1.794	2.587

Cuadro 2.A Rendimiento de grano (Ton/Ha.) de las líneas de maíz de estudiadas, bajo diferentes niveles de stress hídrico.

TENSION		LINEAS DE MAIZ					
BARS	REPT.	A	B	C	D	E	F
3.000	I	6.795	5.669	4.871	7.682	7.085	4.429
	II	9.335	6.080	4.155	7.505	7.888	5.514
	III	7.393	6.474	4.147	7.081	6.612	3.442
X		7.841	6.074	4.391	7.423	7.195	4.462
8.000	I	6.770	4.819	3.464	6.740	5.041	2.883
	II	4.587	4.154	3.152	6.785	6.702	4.167
	III	6.873	5.283	2.131	6.706	6.280	3.076
X		6.077	4.752	2.916	6.744	6.008	3.375
15.000	I	2.990	1.287	3.907	5.714	5.681	2.512
	II	2.746	2.941	3.420	3.724	5.000	0.477
	III	3.991	3.324	3.498	3.971	6.000	0.862
X		3.242	2.517	3.608	4.470	5.560	1.284

Cuadro 3.A. Eficiencia de uso del agua (Kg grano/m³ aplicada) de los materiales en estudio en función del nivel de stress hídrico.

TENSION		LINEAS DE MAIZ					
BARS	REPT.	A	B	C	D	E	F
3.000	I	1.291	1.080	0.925	1.459	1.345	0.840
	II	1.773	1.155	0.789	1.425	1.498	1.047
	III	1.404	1.230	0.788	1.345	1.256	0.654
X		1.489	1.155	0.834	1.410	1.366	0.847
8.000	I	1.667	1.187	0.853	1.661	1.242	0.710
	II	1.130	1.023	0.776	1.671	1.651	1.026
	III	1.693	1.301	0.569	1.651	1.546	0.758
X		1.497	1.170	0.733	1.661	1.480	0.381
15.000	I	0.959	0.413	1.254	1.833	1.822	0.806
	II	0.881	0.942	1.097	1.195	1.604	0.153
	III	1.280	1.066	1.122	1.274	1.925	0.276
X		1.040	0.807	1.158	1.435	1.784	0.412

Cuadro 4.A Rendimiento y valores del CWSI obtenidos de los modelos de CWSI estudiados

TENSION EN BARS	LINEA DE MAIZ	RENDIMIENTO EN TON/HA	CWSI 1	CWSI 2	CWSI 3	CWSI 4
	A	7.840	0.040	0.110	0.440	0.500
	B	6.080	0.020	0.160	0.450	0.500
	C	4.390	0.030	0.130	0.460	0.510
	D	7.420	0.050	0.200	0.450	0.500
	E	7.200	0.040	0.160	0.470	0.530
	F	4.460	0.030	0.210	0.510	0.550
	A	6.080	0.270	0.470	0.470	0.500
	B	4.750	0.170	0.360	0.360	0.510
	C	2.980	0.200	0.490	0.490	0.540
	D	6.750	0.210	0.530	0.530	0.540
	E	6.010	0.220	0.480	0.480	0.500
	F	3.380	0.220	0.600	0.600	0.490
	A	3.240	0.290	0.550	0.550	0.480
	B	2.540	0.170	0.310	0.310	0.660
	C	3.610	0.250	0.500	0.500	0.500
	D	4.470	0.220	0.520	0.520	0.510
	E	5.560	0.200	0.460	0.460	0.490
	F	1.280	0.240	0.570	0.570	0.480

APPENDICE B

Cuadro 1.B. Valores diarios de CWSI calculados con el modelo 1 de las seis líneas de maíz estudiadas

JD	NIVEL DE STRESS HIDRICO A (BIEN REGADO)							NIVEL DE STRESS HIDRICO B			
	A.H.A	AA	AB	AC	AD	AE	AF	A.H.A.	BA	BB	BC
193.00	0.47	0.18	0.05	0.01	0.03	0.05	0.06	0.58	0.21	0.20	0.04
195.00	0.47	0.18	0.05	0.01	0.03	0.05	0.06	0.69	0.21	0.20	0.04
196.00	0.54	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.05	0.03	0.00
198.00	0.47	0.00	0.01	0.12	0.00	0.06	0.00	0.23	0.16	0.09	0.23
199.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.01	0.23	0.55	0.42	0.43
201.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.13	0.01	0.01	0.24	0.55	0.42	0.43
203.00	0.00	0.05	0.00	0.03	0.13	0.01	0.01	0.24	0.55	0.00	0.15
205.00	0.00	0.05	0.00	0.03	0.13	0.01	0.01	0.31	0.03	0.00	0.15
206.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00
207.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00
208.00	0.00	0.05	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00
209.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00
210.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
211.00	0.00	0.00	0.05	0.10	0.04	0.00	0.00	0.01	0.37	0.35	0.37
212.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.00	0.13	0.00	0.11	0.61	0.35	0.24
213.00	0.20	0.00	0.01	0.11	0.08	0.13	0.01	0.33	0.61	0.35	0.24
215.00	0.39	0.01	0.01	0.02	0.08	0.13	0.01	0.41	0.36	0.12	0.24
216.00	0.39	0.01	0.00	0.02	0.08	0.03	0.01	0.41	0.36	0.12	0.00
217.00	0.52	0.01	0.00	0.02	0.08	0.03	0.01	0.49	0.36	0.12	0.00
218.00	0.58	0.01	0.00	0.00	0.08	0.04	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00
220.00	0.58	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00
221.00	0.61	0.00	0.01	0.00	0.00	0.12	0.15	0.62	0.00	0.10	0.24
222.00	0.61	0.15	0.00	0.00	0.00	0.12	0.15	0.62	0.38	0.10	0.24
223.00	0.61	0.15	0.00	0.00	0.00	0.12	0.15	0.61	0.38	0.10	0.24
224.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00
225.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.64	0.46	0.33	0.40
226.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.66	0.46	0.33	0.40
227.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.65	0.46	0.33	0.40
228.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.06	0.65	0.46	0.33	0.40
230.00	0.51	0.06	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.65	0.35	0.25	0.40
231.00	0.61	0.06	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.65	0.35	0.25	0.45
232.00	0.61	0.06	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.53	0.35	0.25	0.45
233.00	0.47	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.54	0.33	0.22	0.37
234.00	0.47	0.01	0.04	0.08	0.10	0.00	0.00	0.53	0.54	0.35	0.51
235.00	0.54	0.23	0.09	0.10	0.15	0.05	0.10	0.53	0.27	0.18	0.15
236.00	0.54	0.23	0.09	0.10	0.15	0.05	0.01	0.53	0.27	0.27	0.15
237.00	0.36	0.00	0.14	0.10	0.15	0.06	0.03	0.25	0.27	0.27	0.15
238.00	0.54	0.00	0.14	0.00	0.00	0.06	0.03	0.36	0.27	0.27	0.13
240.00	0.54	0.01	0.12	0.00	0.10	0.02	0.12	0.36	0.13	0.11	0.00
X	0.37	0.04	0.02	0.03	0.05	0.04	0.03	0.46	0.27	0.17	0.20

Cuadro 1.B.....Continuación

JD	(STRESS MODERADO)				NIVEL DE STRESS HIDRICO C (STRESS SEVERO)					
	BD	BE	BF	A.H.A.	CA	CB	CC	CD	CE	CF
193.00	0.00	0.12	0.06	0.59	0.32	0.11	0.13	0.00	0.13	0.07
195.00	0.00	0.12	0.06	0.65	0.32	0.11	0.13	0.00	0.13	0.07
196.00	0.00	0.03	0.12	0.76	0.25	0.01	0.00	0.00	0.01	0.12
198.00	0.13	0.22	0.13	0.86	0.29	0.10	0.30	0.07	0.16	0.13
199.00	0.50	0.33	0.42	0.20	0.52	0.40	0.50	0.45	0.36	0.41
201.00	0.50	0.33	0.42	0.20	0.52	0.40	0.50	0.45	0.36	0.41
203.00	0.32	0.33	0.06	0.20	0.52	0.40	0.50	0.18	0.36	0.41
205.00	0.32	0.00	0.06	0.20	0.05	0.00	0.35	0.18	0.00	0.03
206.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
207.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
208.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.03	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00
209.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
210.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
211.00	0.37	0.40	0.41	0.59	0.39	0.26	0.45	0.36	0.39	0.42
212.00	0.30	0.28	0.26	0.52	0.60	0.35	0.26	0.29	0.25	0.23
213.00	0.30	0.28	0.26	0.37	0.60	0.35	0.26	0.29	0.25	0.23
215.00	0.30	0.26	0.26	0.61	0.60	0.35	0.26	0.29	0.25	0.23
216.00	0.03	0.01	0.05	0.61	0.19	0.00	0.00	0.09	0.10	0.07
217.00	0.03	0.01	0.05	0.85	0.19	0.00	0.00	0.09	0.10	0.07
218.00	0.03	0.01	0.05	0.90	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.07
220.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
221.00	0.05	0.14	0.00	0.94	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07
222.00	0.05	0.14	0.15	0.94	0.35	0.00	0.40	0.07	0.09	0.17
223.00	0.05	0.14	0.15	0.94	0.35	0.00	0.40	0.07	0.09	0.16
224.00	0.00	0.00	0.03	0.93	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
225.00	0.38	0.41	0.41	0.93	0.43	0.31	0.41	0.37	0.48	0.47
226.00	0.38	0.41	0.41	0.84	0.43	0.31	0.41	0.37	0.48	0.47
227.00	0.38	0.41	0.41	0.88	0.43	0.31	0.41	0.37	0.48	0.47
228.00	0.38	0.41	0.41	0.84	0.43	0.31	0.57	0.45	0.48	0.47
230.00	0.46	0.54	0.61	0.88	0.39	0.25	0.56	0.45	0.54	0.61
231.00	0.46	0.54	0.61	0.88	0.39	0.25	0.56	0.45	0.54	0.61
232.00	0.46	0.54	0.61	0.88	0.39	0.25	0.56	0.45	0.54	0.61
233.00	0.29	0.44	0.48	0.88	0.42	0.20	0.44	0.27	0.42	0.47
234.00	0.48	0.53	0.55	0.95	0.49	0.33	0.44	0.53	0.70	0.65
235.00	0.23	0.34	0.17	0.95	0.33	0.13	0.13	0.22	0.25	0.21
236.00	0.23	0.34	0.20	0.95	0.33	0.13	0.13	0.22	0.25	0.24
237.00	0.20	0.34	0.20	0.90	0.27	0.32	0.35	0.22	0.25	0.24
238.00	0.20	0.13	0.20	0.90	0.27	0.32	0.35	0.43	0.43	0.24
240.00	0.26	0.00	0.17	0.90	0.19	0.18	0.04	0.36	0.36	0.14
X	0.21	0.22	0.22	0.72	0.29	0.17	0.25	0.20	0.22	0.24

Cuadro 2.B. Valores diarios de CWSI calculados con el modelo 2 en las seis líneas de maíz estudiadas

JD	NIVEL DE STRESS HIDRICO A (BIEN REGADO)						NIVEL DE STRESS HIDRICO B (STRESS MODERADO)						NIVEL DE STRESS HIDRICO C (STRESS SEVERO)					
	AA	AB	AC	AD	AE	AF	BA	BB	BC	BD	BE	BF	CA	CB	CC	CD	CE	CF
190.00	0.36	0.23	0.00	0.10	0.21	0.30	0.43	0.48	0.00	0.00	0.47	0.30	0.65	0.33	0.00	0.00	0.52	0.34
191.00	0.08	0.10	0.00	0.02	0.02	0.00	0.14	0.17	0.00	0.00	0.12	0.53	0.54	0.12	0.00	0.00	0.04	0.53
193.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.22	0.00	0.32	0.30	0.00	0.42	0.84	0.67	0.61	0.32	0.00	0.23	0.63	0.67
195.00	0.01	0.09	0.00	0.15	0.00	0.05	1.00	0.77	1.00	1.00	0.95	1.00	0.96	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00
198.00	0.27	0.00	0.00	1.00	0.47	0.00	0.23	0.09	0.00	1.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
203.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
205.00	0.00	0.00	0.13	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
207.00	0.12	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
212.00	0.00	0.24	0.13	0.00	0.29	0.85	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
213.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
215.00	0.00	0.21	0.00	0.13	0.00	0.00	0.78	0.73	0.00	1.00	1.00	1.00	0.82	0.58	0.00	1.00	1.00	1.00
217.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.52	0.00	1.00	0.76	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	0.00	1.00	1.00	1.00
219.00	0.00	0.13	0.00	0.31	0.00	0.00	1.00	0.60	0.24	1.00	0.00	0.00	1.00	0.15	0.41	1.00	0.00	0.00
220.00	0.00	0.22	0.89	0.00	0.35	0.04	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
222.00	0.42	0.06	0.09	0.00	0.22	1.00	1.00	0.41	0.00	0.29	1.00	1.00	1.00	0.20	0.00	0.51	0.97	1.00
224.00	0.12	0.05	0.59	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10	1.00	0.00	0.00	0.19	0.44	0.08	1.00	0.00	0.00	0.02
226.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.13	0.20	0.83	0.61	1.00	0.95	1.00	1.00	0.79	0.59	1.00	0.95	1.00	1.00
227.00	0.07	0.02	0.00	0.07	0.00	0.00	0.59	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00
230.00	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.20	0.54	0.48	1.00	0.73	1.00	1.00	0.73	0.45	1.00	0.69	1.00	1.00
231.00	0.00	0.20	0.71	0.23	0.00	0.00	0.96	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00
235.00	0.81	0.42	0.00	1.00	0.83	0.00	0.96	0.63	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.50	0.00	1.00	1.00	0.00
234.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.31	0.22	0.55	0.63	0.00	0.81	0.63	1.00	0.66	0.74	0.00	0.55	0.22	1.00
237.00	0.09	0.41	0.50	0.52	0.17	1.00	0.41	0.37	0.00	1.00	0.00	1.00	0.55	0.52	0.00	0.97	0.21	1.00
X	0.11	0.16	0.13	0.20	0.16	0.21	0.47	0.36	0.49	0.53	0.48	0.60	0.55	0.31	0.50	0.52	0.46	0.57

Cuadro 3.B. Valores diarios de DWSI calculados con el modelo 3 de las seis líneas de maíz estudiadas

JD	NIVEL DE STRESS HIDRICO A (BIEN REGADO)							NIVEL DE STRESS HIDRICO B			
	A.H.A	AA	AB	AC	AD	AE	AF	A.H.A.	BA	BB	BC
190.00	0.47	0.40	0.37	0.37	0.37	0.40	0.40	0.58	0.42	0.40	0.38
191.00	0.47	0.37	0.37	0.37	0.47	0.39	0.38	0.94	0.38	0.37	0.37
193.00	0.47	0.34	0.44	0.37	0.34	0.38	0.48	0.58	0.38	0.38	0.44
195.00	0.47	0.36	0.38	0.39	0.40	0.39	0.45	0.69	0.54	0.52	0.54
196.00	0.54	0.43	0.41	0.46	0.48	0.46	0.46	0.82	0.54	0.52	0.54
198.00	0.47	0.43	0.41	0.46	0.48	0.46	0.46	0.93	0.43	0.41	0.48
199.00	0.00	0.43	0.41	0.46	0.48	0.46	0.46	0.23	0.43	0.41	0.48
201.00	0.00	0.43	0.41	0.46	0.48	0.60	0.46	0.24	0.43	0.41	0.48
203.00	0.00	0.32	0.29	0.37	0.36	0.36	0.34	0.24	0.23	0.21	0.24
205.00	0.00	0.34	0.32	0.37	0.39	0.36	0.33	0.31	0.29	0.30	0.23
206.00	0.00	0.34	0.32	0.37	0.39	0.36	0.33	0.24	0.29	0.30	0.34
207.00	0.00	0.32	0.31	0.35	0.31	0.31	0.32	0.15	0.26	0.30	0.34
208.00	0.00	0.32	0.37	0.37	0.31	0.36	0.33	0.15	0.26	0.30	0.34
209.00	0.00	0.32	0.37	0.37	0.35	0.36	0.33	0.15	0.26	0.30	0.45
210.00	0.00	0.34	0.37	0.37	0.35	0.36	0.33	0.01	0.26	0.30	0.19
211.00	0.00	0.34	0.37	0.37	0.35	0.36	0.33	0.01	0.26	0.15	0.19
212.00	0.00	0.34	0.37	0.37	0.35	0.36	0.33	0.11	0.16	0.15	0.19
213.00	0.20	0.35	0.33	0.42	0.39	0.43	0.41	0.33	0.28	0.29	0.30
215.00	0.39	0.34	0.48	0.42	0.38	0.47	0.42	0.41	0.46	0.47	0.50
216.00	0.39	0.34	0.48	0.42	0.38	0.47	0.42	0.41	0.46	0.47	0.50
217.00	0.52	0.33	0.48	0.42	0.38	0.47	0.42	0.49	0.51	0.47	0.50
218.00	0.58	0.33	0.38	0.41	0.38	0.41	0.41	0.59	0.51	0.47	0.46
220.00	0.58	0.45	0.41	0.44	0.44	0.46	0.47	0.59	0.47	0.45	0.41
221.00	0.61	0.39	0.35	0.37	0.41	0.44	0.39	0.62	0.35	0.31	0.24
222.00	0.61	0.39	0.36	0.38	0.39	0.45	0.46	0.62	0.35	0.41	0.46
223.00	0.61	0.41	0.36	0.38	0.39	0.45	0.46	0.61	0.46	0.41	0.46
224.00	0.54	0.51	0.51	0.51	0.46	0.51	0.52	0.64	0.50	0.51	0.46
225.00	0.52	0.51	0.51	0.51	0.46	0.51	0.52	0.64	0.50	0.51	0.45
226.00	0.52	0.51	0.51	0.51	0.46	0.51	0.52	0.66	0.50	0.51	0.58
227.00	0.52	0.23	0.34	0.28	0.27	0.37	0.49	0.65	0.49	0.48	0.58
228.00	0.50	0.51	0.45	0.49	0.51	0.50	0.57	0.65	0.59	0.62	0.89
230.00	0.51	0.52	0.45	0.47	0.51	0.51	0.58	0.79	0.58	0.51	0.89
231.00	0.61	0.52	0.43	0.47	0.46	0.51	0.58	0.79	0.58	0.57	0.70
232.00	0.61	0.61	0.45	0.49	0.47	0.44	1.00	0.53	0.62	0.68	1.53
233.00	0.47	0.75	0.71	0.72	0.47	0.72	0.93	0.54	0.62	0.74	0.77
234.00	0.47	0.75	0.71	0.72	0.78	0.72	0.93	0.53	0.62	0.74	0.77
235.00	0.54	0.75	0.71	0.72	0.78	0.72	0.93	0.53	1.00	0.74	0.77
236.00	0.54	0.75	0.71	0.72	0.78	0.72	0.93	0.53	1.00	0.74	0.77
237.00	0.36	0.57	0.67	0.57	0.60	0.65	0.75	0.25	0.65	0.73	0.68
238.00	0.54	0.58	0.66	0.59	0.68	0.65	0.75	0.36	0.65	0.73	0.68
240.00	0.54	0.58	0.66	0.59	0.68	0.64	0.75	0.36	0.59	0.68	0.61
X	0.37	0.44	0.45	0.46	0.45	0.47	0.51	0.54	0.47	0.46	0.52

Cuadro 3.B.....Continuación

JD	(STRESS MODERADO)			NIVEL DE STRESS HIDRICO C (STRESS SEVERO)						
	BD	BE	BF	A.H.A.	CA	CB	CC	CD	CE	CF
190.00	0.38	0.42	0.40	0.59	0.41	0.50	0.38	0.38	0.42	0.38
191.00	0.36	0.41	0.42	0.26	0.40	0.50	0.36	0.36	0.39	0.40
193.00	0.40	0.45	0.44	0.59	0.41	0.51	0.41	0.42	0.42	0.43
195.00	0.40	0.52	0.56	0.65	0.52	0.51	0.51	0.56	0.55	0.57
196.00	0.48	0.52	0.50	0.76	0.43	0.51	0.51	0.49	0.45	0.52
198.00	0.48	0.44	0.50	0.86	0.43	0.51	0.45	0.49	0.45	0.52
199.00	0.48	0.44	0.20	0.20	0.23	0.51	0.45	0.23	0.21	0.20
201.00	0.48	0.44	0.20	0.20	0.23	0.51	0.23	0.23	0.20	0.20
203.00	0.22	0.19	0.20	0.20	0.23	0.51	0.23	0.23	0.21	0.20
205.00	0.24	0.28	0.32	0.20	0.28	0.53	0.25	0.23	0.25	0.31
206.00	0.24	0.28	0.32	0.43	0.26	0.53	0.34	0.23	0.25	0.31
207.00	0.31	0.25	0.33	0.43	0.26	0.54	0.34	0.31	0.29	0.32
208.00	0.18	0.25	0.17	0.46	0.26	0.54	0.34	0.31	0.15	0.32
209.00	0.18	0.25	0.17	0.43	0.16	0.56	0.17	0.18	0.15	0.16
210.00	0.18	0.25	0.17	0.59	0.16	0.54	0.18	0.13	0.15	0.16
211.00	0.18	0.25	0.17	0.59	0.16	0.54	0.18	0.13	0.15	0.16
212.00	0.18	0.14	0.17	0.52	0.16	0.56	0.18	0.18	0.15	0.16
213.00	0.29	0.40	0.42	0.37	0.32	0.59	0.28	0.29	0.37	0.44
215.00	0.51	0.40	0.55	0.61	0.48	0.61	0.46	0.51	0.52	0.55
216.00	0.51	0.49	0.49	0.61	0.48	0.61	0.45	0.48	0.48	0.48
217.00	0.51	0.49	0.49	0.85	0.48	0.62	0.45	0.48	0.48	0.48
218.00	0.49	0.49	0.49	0.90	0.44	0.62	0.45	0.48	0.48	0.48
220.00	0.44	0.44	0.46	0.90	0.44	0.63	0.45	0.41	0.45	0.48
221.00	0.25	0.30	0.31	0.94	0.33	0.64	0.27	0.25	0.28	0.32
222.00	0.25	0.30	0.47	0.94	0.44	0.64	0.27	0.25	0.28	0.32
223.00	0.45	0.45	0.47	0.94	0.44	0.67	0.43	0.46	0.46	0.48
224.00	0.45	0.52	0.47	0.93	0.49	0.67	0.43	0.46	0.46	0.54
225.00	0.47	0.52	0.57	0.93	0.49	0.69	0.47	0.46	0.51	0.54
226.00	0.65	0.84	0.57	0.84	0.53	0.69	0.47	0.46	0.51	0.54
227.00	0.65	0.84	0.32	0.88	0.53	0.72	0.55	0.60	0.67	0.81
228.00	0.77	0.60	0.49	0.84	0.63	0.73	0.69	0.69	0.67	0.47
230.00	0.77	0.60	0.49	0.84	0.63	0.73	0.65	0.69	0.67	0.47
231.00	0.73	0.60	1.68	0.88	0.66	0.75	0.65	0.69	0.98	1.13
232.00	0.91	0.68	0.30	0.88	0.45	0.79	0.76	0.68	0.75	0.54
233.00	0.91	0.68	0.30	0.88	0.45	0.79	0.76	0.83	0.75	0.54
234.00	0.91	0.68	0.30	0.95	0.45	0.79	0.73	0.83	0.75	0.54
235.00	0.91	0.68	0.78	0.90	0.45	0.79	0.73	0.83	0.73	0.39
236.00	0.91	0.68	0.78	0.95	0.79	0.84	0.73	0.83	0.64	0.39
237.00	0.73	0.68	0.83	0.90	1.17	0.88	0.62	0.77	0.64	0.72
238.00	0.74	0.68	0.78	0.90	0.70	0.62	0.62	0.66	0.64	0.73
240.00	0.74	0.62	0.78	0.90	0.70	0.62	0.63	0.66	0.67	0.73
X	0.50	0.34	0.42	0.68	0.44	0.63	0.45	0.48	0.46	0.45

Cuadro 4.B. Valores diarios de CWSI calculados con el modelo 4
de las seis líneas de maíz estudiadas

JD	NIVEL DE STRESS HIDRICO A (BIEN REGADO)						NIVEL DE STRESS HIDRICO B				
	A.H.A	AA	AB	AC	AD	AE	AF	A.H.A.	BA	BB	BC
190.00	0.47	0.50	0.47	0.48	0.47	0.50	0.50	0.58	0.52	0.50	0.48
191.00	0.47	0.48	0.47	0.48	0.55	0.49	0.48	0.94	0.48	0.47	0.47
193.00	0.47	0.45	0.53	0.48	0.45	0.49	0.56	0.58	0.48	0.48	0.53
195.00	0.47	0.47	0.48	0.49	0.50	0.49	0.54	0.69	0.62	0.60	0.61
196.00	0.54	0.43	0.41	0.46	0.48	0.46	0.46	0.82	0.54	0.52	0.54
198.00	0.47	0.53	0.51	0.55	0.57	0.55	0.55	0.93	0.53	0.51	0.56
199.00	0.00	0.43	0.41	0.46	0.48	0.46	0.46	0.23	0.43	0.41	0.48
201.00	0.00	0.43	0.41	0.46	0.48	0.60	0.46	0.24	0.43	0.41	0.48
203.00	0.00	0.44	0.41	0.47	0.46	0.47	0.45	0.24	0.36	0.34	0.37
205.00	0.00	0.45	0.43	0.47	0.49	0.46	0.44	0.31	0.41	0.42	0.36
206.00	0.00	0.34	0.32	0.37	0.39	0.36	0.33	0.24	0.29	0.30	0.34
207.00	0.00	0.43	0.42	0.46	0.42	0.42	0.43	0.15	0.39	0.41	0.45
208.00	0.00	0.32	0.37	0.37	0.31	0.36	0.33	0.15	0.26	0.30	0.34
209.00	0.00	0.32	0.37	0.37	0.35	0.36	0.33	0.15	0.26	0.30	0.45
210.00	0.00	0.34	0.37	0.37	0.35	0.36	0.33	0.01	0.26	0.30	0.19
211.00	0.00	0.34	0.37	0.37	0.35	0.36	0.33	0.01	0.26	0.15	0.19
212.00	0.00	0.45	0.47	0.48	0.46	0.47	0.44	0.11	0.30	0.29	0.33
213.00	0.20	0.46	0.44	0.51	0.49	0.53	0.51	0.33	0.40	0.41	0.42
215.00	0.39	0.45	0.57	0.51	0.38	0.56	0.52	0.41	0.55	0.56	0.58
216.00	0.39	0.34	0.48	0.42	0.38	0.47	0.42	0.41	0.46	0.47	0.50
217.00	0.52	0.33	0.48	0.42	0.38	0.47	0.42	0.49	0.51	0.47	0.50
218.00	0.58	0.44	0.48	0.51	0.49	0.51	0.51	0.59	0.59	0.56	0.55
220.00	0.58	0.54	0.51	0.53	0.53	0.55	0.56	0.59	0.56	0.54	0.51
221.00	0.61	0.49	0.46	0.48	0.51	0.54	0.49	0.62	0.46	0.42	0.37
222.00	0.61	0.39	0.36	0.38	0.39	0.45	0.46	0.62	0.35	0.41	0.46
223.00	0.61	0.51	0.47	0.48	0.49	0.54	0.55	0.61	0.55	0.51	0.55
224.00	0.54	0.51	0.51	0.51	0.46	0.51	0.52	0.64	0.50	0.51	0.46
225.00	0.52	0.59	0.59	0.59	0.55	0.59	0.60	0.64	0.58	0.59	0.54
226.00	0.52	0.51	0.51	0.51	0.46	0.51	0.52	0.66	0.50	0.51	0.58
227.00	0.52	0.35	0.45	0.40	0.39	0.48	0.58	0.65	0.57	0.56	0.65
228.00	0.50	0.59	0.54	0.58	0.59	0.58	0.64	0.65	0.66	0.68	0.91
230.00	0.51	0.52	0.45	0.47	0.51	0.51	0.58	0.79	0.58	0.51	0.89
231.00	0.61	0.60	0.52	0.56	0.55	0.59	0.65	0.79	0.65	0.64	0.75
232.00	0.61	0.67	0.54	0.58	0.56	0.54	0.65	0.53	0.68	0.73	0.44
233.00	0.47	0.75	0.71	0.72	0.47	0.72	0.93	0.54	0.62	0.74	0.77
234.00	0.47	0.75	0.71	0.72	0.78	0.72	0.93	0.53	0.62	0.74	0.77
235.00	0.54	0.75	0.71	0.72	0.78	0.72	0.93	0.53	0.62	0.74	0.77
236.00	0.54	0.75	0.76	0.77	0.82	0.76	0.94	0.53	0.71	0.78	0.81
237.00	0.36	0.64	0.73	0.65	0.67	0.71	0.75	0.25	0.71	0.77	0.74
238.00	0.54	0.58	0.66	0.59	0.68	0.65	0.75	0.36	0.65	0.73	0.68
240.00	0.54	0.65	0.72	0.66	0.74	0.70	0.79	0.36	0.66	0.73	0.68
X	0.37	0.50	0.50	0.51	0.50	0.53	0.55	0.47	0.50	0.51	0.54

Cuadro 4.B.....Continuación

JD	(STRESS MODERADO)				NIVEL DE STRESS HIDRICO C (STRESS SEVERO)					
	BD	BE	BF	A.H.A.	CA	CB	CC	CD	CE	CF
190.00	0.49	0.52	0.50	0.59	0.51	0.58	0.48	0.48	0.51	0.49
191.00	0.46	0.51	0.52	0.26	0.50	0.58	0.46	0.46	0.50	0.50
193.00	0.50	0.54	0.53	0.59	0.51	0.59	0.51	0.51	0.51	0.53
195.00	0.40	0.60	0.64	0.65	0.60	0.59	0.59	0.63	0.62	0.64
196.00	0.48	0.52	0.50	0.76	0.43	0.51	0.51	0.49	0.45	0.52
198.00	0.57	0.54	0.59	0.86	0.53	0.59	0.54	0.58	0.54	0.60
199.00	0.48	0.44	0.20	0.20	0.23	0.51	0.45	0.23	0.21	0.20
201.00	0.48	0.44	0.20	0.20	0.23	0.51	0.23	0.23	0.20	0.20
203.00	0.35	0.32	0.33	0.20	0.36	0.60	0.36	0.36	0.34	0.33
205.00	0.36	0.40	0.44	0.20	0.40	0.61	0.37	0.36	0.37	0.43
206.00	0.24	0.28	0.32	0.43	0.26	0.53	0.34	0.23	0.25	0.31
207.00	0.42	0.37	0.44	0.43	0.39	0.62	0.45	0.42	0.41	0.43
208.00	0.18	0.25	0.17	0.46	0.26	0.54	0.34	0.31	0.15	0.32
209.00	0.18	0.25	0.17	0.43	0.16	0.56	0.17	0.18	0.15	0.16
210.00	0.18	0.25	0.17	0.59	0.16	0.54	0.18	0.13	0.15	0.16
211.00	0.18	0.25	0.17	0.59	0.16	0.54	0.18	0.13	0.15	0.16
212.00	0.31	0.28	0.31	0.52	0.30	0.63	0.32	0.32	0.29	0.30
213.00	0.41	0.50	0.51	0.37	0.43	0.66	0.40	0.40	0.47	0.53
215.00	0.59	0.40	0.63	0.61	0.56	0.67	0.55	0.59	0.60	0.63
216.00	0.51	0.49	0.49	0.61	0.48	0.61	0.45	0.48	0.48	0.48
217.00	0.51	0.49	0.49	0.85	0.48	0.62	0.45	0.48	0.48	0.48
218.00	0.57	0.57	0.58	0.90	0.44	0.68	0.54	0.57	0.57	0.57
220.00	0.53	0.54	0.55	0.90	0.53	0.69	0.54	0.51	0.54	0.56
221.00	0.38	0.42	0.42	0.94	0.44	0.70	0.39	0.38	0.40	0.44
222.00	0.25	0.30	0.47	0.94	0.44	0.64	0.27	0.25	0.28	0.32
223.00	0.54	0.54	0.56	0.94	0.53	0.73	0.53	0.55	0.55	0.56
224.00	0.45	0.52	0.47	0.93	0.49	0.67	0.43	0.46	0.46	0.54
225.00	0.56	0.60	0.64	0.93	0.58	0.75	0.56	0.55	0.59	0.62
226.00	0.65	0.84	0.57	0.84	0.53	0.69	0.47	0.46	0.51	0.54
227.00	0.70	0.87	0.93	0.88	0.61	0.77	0.63	0.66	0.51	0.81
228.00	0.81	0.67	0.58	0.84	0.69	0.77	0.74	0.93	0.72	0.56
230.00	0.77	0.60	0.49	0.84	0.63	0.73	0.65	0.69	0.67	0.47
231.00	0.77	0.18	0.56	0.88	0.72	0.79	0.71	0.74	0.98	0.47
232.00	0.91	0.24	0.42	0.88	0.54	0.82	0.80	0.74	0.79	0.62
233.00	0.91	0.68	0.30	0.88	0.45	0.79	0.76	0.83	0.75	0.54
234.00	0.91	0.68	0.30	0.95	0.45	0.79	0.73	0.83	0.75	0.54
235.00	0.91	0.68	0.78	0.50	0.45	0.79	0.73	0.83	0.73	0.39
236.00	0.92	0.68	0.78	0.95	0.83	0.86	0.77	0.86	0.23	0.39
237.00	0.77	0.74	0.86	0.90	0.83	0.90	0.68	0.81	0.70	0.76
238.00	0.74	0.68	0.78	0.90	0.70	0.62	0.62	0.66	0.64	0.73
240.00	0.78	0.68	0.82	0.90	0.75	0.69	0.69	0.72	0.73	0.78
X	0.54	0.50	0.49	0.68	0.48	0.66	0.50	0.51	0.49	0.48

APPENDICE C

Cuadro 1.C Datos meteorológicos y diferencia de temperaturas entre el follaje y el aire (Tc-Ta) en los tres niveles de stress hídrico

FECHA	DPV	Rn	DPV	TA	A-A-1-1	A-A-1-2	A-A-1-3	A-B-1-1	A-B-1-2	A-B-1-3	A-C-1-1
8-07-87	21.53	900.37	21.53	26.00	-6.50	-8.50	-7.50	-12.58	-7.17	-8.00	-10.25
9-07-87	22.64	996.46	22.64	27.00	-12.00	-10.17	-11.50	-10.83	-11.00	-12.50	-11.50
11-07-87	21.40	906.34	21.40	26.00	-8.25	-12.00	-12.33	-10.50	-10.25	-10.25	-7.50
13-07-87	26.56	1093.00	26.56	28.50	-15.00	-13.50	-17.00	-14.50	-13.17	-14.33	-13.50
16-07-87	13.21	963.13	13.21	26.00	-6.00	-7.00	-1.83	-7.25	-6.67	-5.17	-3.25
21-07-87	16.46	1022.15	16.46	24.50	-8.00	-8.00	-10.50	-6.08	-12.25	-13.00	-5.60
23-07-87	12.33	895.10	12.33	23.20	-4.33	-6.33	-4.50	-6.83	-7.58	-4.75	-3.50
25-07-87	15.26	895.10	15.26	23.00	-5.33	-5.00	-7.83	-7.00	-8.33	-4.08	-4.08
30-07-87	12.44	819.88	12.44	23.50	-7.00	-6.00	-4.25	-5.20	-3.25	-4.25	-4.05
31-07-87	17.00	950.56	17.00	26.50	-12.50	-10.70	-10.70	-13.50	-12.25	-12.25	-6.50
2-08-87	21.76	960.00	21.76	26.75	-14.00	-11.50	-12.25	-11.00	-10.75	-6.75	-6.50
5-08-87	21.04	977.26	21.04	26.50	-14.00	-14.50	-10.75	-8.50	-12.75	-8.50	-8.00
7-08-87	11.64	847.29	11.64	25.00	-5.33	-1.50	-6.50	-3.50	-3.50	-6.50	-2.25
8-08-87	15.92	877.66	15.92	26.00	-7.83	-6.42	-9.33	-13.50	-6.25	-12.08	-9.50
10-08-87	15.16	877.66	15.16	25.00	-4.00	-3.50	-6.33	-6.00	-4.75	-11.50	-5.17
12-08-87	19.16	1071.72	19.16	26.50	-12.00	-8.50	-8.25	-10.50	-9.25	-8.50	-12.00
14-08-87	27.00	1040.27	27.00	22.38	-16.00	-16.00	-13.92	-15.25	-16.42	-16.50	-16.00
15-08-87	28.19	883.85	28.19	29.00	-9.33	-13.00	-18.05	-19.42	-16.25	-16.08	-14.83
18-08-87	26.40	766.38	26.40	28.00	-8.83	-7.58	-16.83	-17.92	-15.00	-17.00	-14.42
19-08-87	27.00	766.38	27.00	27.00	-3.00	-14.00	-3.33	-13.75	-14.17	-12.50	-11.00
23-08-87	13.91	892.34	13.91	28.00	-5.50	-2.25	-1.00	-2.67	-3.00	-4.00	-4.00
24-08-87	19.15	998.74	19.15	29.00	-8.50	-9.75	-12.00	-4.50	-4.50	-5.50	-8.83
27-08-87	16.92	900.00	19.16	28.00	-7.25	-8.00	-8.00	-5.00	-4.25	-4.17	-9.00

Cuadro 1.C.....Continuación

FECHA	A-C-1-2	A-C-1-3	A-D-1-1	A-D-1-2	A-D-1-3	A-E-1-1	A-E-1-2	A-E-1-3	A-F-1-1	A-F-1-2	A-F-1-3
8-07-87	-8.50	-9.38	-8.75	-8.42	-10.83	-9.17	-7.00	-6.67	-7.67	-9.00	-5.00
9-07-87	-11.92	-11.71	-10.67	-12.00	-10.25	-9.50	-9.50	-9.58	-11.50	-10.00	-12.25
11-07-87	-6.50	-7.00	-13.00	-13.00	-13.00	-7.25	-7.25	-8.00	-10.00	-10.75	-8.67
13-07-87	-14.00	-13.75	-12.00	-12.75	-12.50	-12.00	-15.50	-14.00	-11.00	-12.75	-12.50
16-07-87	-4.08	-3.67	-2.25	-3.08	-0.50	-1.00	-5.17	-3.33	-1.00	-4.67	-2.50
21-07-87	-5.17	-5.39	-8.00	-7.25	-7.00	-6.42	-6.42	-6.08	-6.75	-5.75	-4.75
23-07-87	-5.40	-4.45	-1.05	-1.05	-1.67	-3.50	-3.50	-3.50	-5.25	-5.25	-6.17
25-07-87	-4.08	-4.08	-3.92	-8.67	-7.38	-3.33	-8.83	-6.58	-4.17	-7.33	-4.17
30-07-87	-4.75	-4.40	-2.67	-5.17	-4.67	-5.08	-5.08	-5.08	-3.50	-2.25	-4.00
31-07-87	-5.00	-5.75	-10.20	-8.12	-10.26	-8.35	-7.00	-7.00	-4.75	-7.00	-6.50
2-08-87	-8.75	-7.63	-8.17	-9.17	-11.00	-11.00	-12.50	-6.25	-10.75	-10.75	-10.50
5-08-87	-6.00	-7.00	-8.75	-11.00	-12.50	-4.25	-6.25	-6.25	-10.00	-10.00	-11.00
7-08-87	-3.50	-2.88	-2.00	-2.00	-1.50	-3.50	-1.00	-1.08	-2.00	-0.75	-2.00
8-08-87	-10.00	-9.75	-8.00	-7.00	-9.00	-3.50	-4.75	-4.75	-3.50	-6.83	-4.00
10-08-87	-6.50	-5.84	-8.50	-7.25	-7.90	-3.08	-3.08	-1.08	-1.08	-1.42	-0.17
12-08-87	-11.00	-9.42	-6.00	-11.50	-13.25	-11.00	-10.58	-8.83	-9.25	-7.83	-8.00
14-08-87	-12.00	-14.00	-11.17	-15.50	-15.00	-10.25	-10.58	-13.00	-10.25	-11.67	-11.00
15-08-87	-14.67	-14.75	-13.92	-13.92	-13.50	-12.25	-14.50	-14.58	-13.17	-15.83	-14.50
18-08-87	-14.50	-14.46	-13.75	-14.67	-15.67	-13.25	-13.25	-10.50	-11.00	-10.25	-10.50
19-08-87	-11.00	-11.00	-10.75	-12.50	-10.00	-13.50	-13.00	-14.00	-14.00	-15.00	-14.00
23-08-87	-2.00	-3.00	-3.00	-1.00	-2.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-1.25	0.50
24-08-87	-7.33	-8.08	-12.83	-12.67	-7.00	-5.50	-5.50	-7.00	-4.75	-4.33	-10.00
27-08-87	-7.92	-8.46	-5.75	-5.33	-3.50	-3.00	-7.08	-6.08	-3.08	-3.17	-1.75

Cuadro 1.CContinuación

FECHA	B-A-1-1	B-A-1-2	B-A-1-3	B-B-1-1	B-B-1-2	B-B-1-3	B-C-1-1	B-C-1-2	B-C-1-3	B-D-1-1	B-D-1-2
8-07-87	-6.75	-6.00	-7.92	-4.00	-5.75	-7.17	-10.25	-8.00	-8.00	-10.83	-10.83
9-07-87	-9.75	-11.25	-10.75	-10.50	-10.83	-10.17	-12.33	-11.00	-11.50	-13.92	-13.92
11-07-87	-5.17	-9.75	-8.50	-7.33	-7.25	-9.75	-6.00	-5.08	-2.75	-7.00	-7.00
13-07-87	-2.25	-3.50	-1.00	-1.00	-2.22	-3.17	-4.25	-2.50	0.50	0.00	0.00
16-07-87	-2.08	-6.00	-7.25	-1.83	-6.00	-8.50	-1.00	-4.08	-0.25	1.50	1.50
21-07-87	-13.50	-13.83	-13.33	-15.50	-16.83	-15.50	-13.58	-16.00	-11.00	-15.58	-15.58
23-07-87	-6.00	-9.33	-9.33	-4.92	-8.08	-9.58	-12.08	-10.25	-10.50	-10.67	-10.67
25-07-87	-6.67	-9.33	-9.67	-7.83	-8.83	-8.33	-6.17	-4.08	-3.92	-7.38	-7.38
30-07-87	-12.75	-16.75	-15.75	-13.58	-17.00	-17.17	-14.05	-14.75	-12.67	-14.67	-14.67
31-07-87	-9.17	-16.08	-16.17	-14.75	-14.75	-15.25	-15.92	-15.08	-12.50	-16.92	-16.92
2-08-87	-1.00	-6.83	-4.75	-2.25	-0.25	-3.50	-5.33	-1.83	2.00	-1.25	-1.25
5-08-87	-0.50	0.25	1.00	0.00	-1.50	-2.75	-5.00	-4.75	-2.50	-2.75	-2.75
7-08-87	2.00	-5.33	2.25	2.50	-5.25	-0.50	-3.50	-4.75	-6.00	-2.75	-2.75
8-08-87	-12.25	-11.83	-10.42	-9.33	-13.92	-13.50	-16.42	-17.08	-17.08	-15.08	-15.08
10-08-87	-2.25	1.50	-3.50	-1.00	-6.00	-4.75	-3.50	0.75	-1.00	-4.75	-4.75
12-08-87	-10.75	-11.00	-9.75	-9.30	-9.25	-8.00	-12.75	-11.50	-12.50	-11.50	-11.50
14-08-87	-0.58	-6.08	-6.50	-3.50	-5.25	-6.42	-3.83	-2.42	-3.25	-3.50	-3.50
15-08-87	-3.00	-9.33	-9.25	-8.08	-9.42	-6.25	-3.00	-4.67	0.75	-1.50	-1.50
18-08-87	-4.00	-8.83	-7.58	-6.83	-7.92	-9.00	-3.00	-4.17	-3.50	-5.67	-5.67
19-08-87	2.33	-6.50	-4.00	-5.25	-3.75	-4.17	-1.00	-1.50	1.50	-0.50	-0.50
23-08-87	-1.50	-3.50	-2.25	1.50	-2.67	-3.00	-3.00	-2.50	-1.00	-0.50	-0.50
24-08-87	0.00	-8.50	-8.50	-2.25	-1.00	-4.50	-8.83	-6.00	-1.50	-4.00	-4.00
27-08-87	-2.33	-7.25	-8.00	-6.83	-3.50	-4.25	-7.33	-7.92	-4.50	-1.50	-1.50

Cuadro 1.CContinuación

FECHA	B-D-1-3	B-E-1-2	B-E-1-2	B-E-1-3	B-F-1-1	B-F-1-2	B-F-1-3	C-A-1-1	C-A-1-2	C-A-1-3	C-B-1-2
8-07-87	-10.83	-5.33	-6.67	-6.00	-9.00	-5.50	-7.25	-7.33	-7.92	-7.63	-6.50
9-07-87	-13.92	-8.08	-9.58	-8.83	-7.25	-5.50	-6.38	-10.00	-10.17	-10.08	-11.50
11-07-87	-7.00	-5.50	-2.00	-3.75	-5.75	-4.67	-5.21	-7.75	-8.50	-8.13	-7.25
13-07-87	0.00	-4.00	-2.50	-3.25	0.50	1.00	0.75	-5.00	-3.50	-4.25	-2.22
16-07-87	1.50	-5.17	-3.33	-4.25	-1.00	-2.25	-1.63	-6.00	-8.50	-7.25	-7.25
21-07-87	-15.58	-16.42	-16.08	-16.25	-14.67	-15.50	-15.08	-13.83	-13.33	-13.58	-16.83
23-07-87	-10.67	-7.00	-9.75	-8.38	-8.50	-6.17	-7.33	-8.50	-11.00	-9.75	-8.08
25-07-87	-7.38	-10.50	-9.25	-9.88	-7.33	-4.17	-5.75	-9.33	-9.67	-9.50	-8.83
30-07-87	-14.67	-16.58	-16.25	-16.42	-13.42	-14.00	-13.71	-17.17	-15.75	-16.46	-17.00
31-07-87	-16.92	-8.50	-8.75	-8.63	-8.17	-7.25	-7.71	-15.50	-16.17	-15.83	-15.50
2-08-87	-1.25	0.00	1.00	0.50	2.00	3.00	2.50	-6.83	-4.75	-5.79	-3.50
5-08-87	-2.75	-2.75	-1.50	-2.13	-2.25	-0.50	-1.38	-1.00	1.50	0.25	-1.00
7-08-87	-2.75	-2.25	-2.25	-2.25	-0.58	-1.00	-0.79	-5.33	-1.50	-3.42	-5.25
8-08-87	-15.08	-14.75	-12.25	-13.50	-11.83	-14.00	-12.92	-11.83	-10.42	-11.13	-13.92
10-08-87	-4.75	-3.08	-1.08	-2.08	-1.42	-0.17	-0.79	0.25	-6.00	-2.88	-7.25
12-08-87	-11.50	-10.58	-7.25	-8.92	-6.50	-6.50	-6.50	-9.75	-11.00	-10.38	-9.25
14-08-87	-3.50	0.25	-3.25	-1.50	1.67	-1.50	0.08	-7.75	-7.25	-7.50	-4.50
15-08-87	-1.50	-1.17	4.58	1.71	5.83	7.00	6.42	-9.33	-9.25	-9.29	-9.42
18-08-87	-5.67	-3.00	2.50	-0.25	3.00	2.50	2.75	-8.83	-6.00	-7.42	-7.92
19-08-87	-0.50	2.00	2.00	2.00	5.50	4.00	4.75	-5.50	-5.33	-5.42	-3.75
23-08-87	-0.50	2.00	3.00	2.50	0.75	0.00	0.38	-4.00	-1.00	-2.50	-3.50
24-08-87	-4.00	-4.50	-4.50	-4.50	-4.33	0.50	-1.92	-6.50	-8.08	-7.29	0.50
27-08-87	-1.50	-6.00	-6.08	-6.04	-1.00	-1.75	-1.38	-7.50	-7.50	-7.50	-3.00

Cuadro 1.C.....Continuación

FECHA	C-B-1-3	C-C-1-1	C-C-1-2	C-C-1-3	C-D-1-1	C-D-1-2	C-D-1-3	C-E-1-1	C-E-1-2	C-E-1-3	C-F-1-1
8-07-87	-9.00	-10.25	-6.67	-6.75	-10.83	-10.83	-10.83	-6.00	-5.50	-5.75	-9.00
9-07-87	-11.00	-12.33	-11.92	-10.67	-13.92	-13.92	-13.92	-9.25	-9.58	-9.42	-7.50
11-07-87	-8.50	-6.00	-5.08	-3.00	-8.33	-8.33	-8.33	-6.00	-4.00	-5.00	-5.75
13-07-87	-3.17	-3.65	-6.00	-0.50	-1.00	-1.00	-1.00	-2.50	-2.50	-2.50	1.00
16-07-87	-7.67	-1.00	-4.08	1.50	-0.83	-0.83	-0.83	-4.75	-3.33	-4.04	-1.17
21-07-87	-15.25	-13.58	-15.17	-12.00	-15.58	-15.58	-15.58	-16.42	-15.50	-15.96	-14.67
23-07-87	-9.58	-13.25	-10.42	-11.50	-12.00	-12.00	-12.00	-7.00	-11.00	-9.00	-9.00
25-07-87	-8.33	-6.17	-4.08	-3.92	-7.38	-7.38	-7.38	-8.83	-10.58	-9.71	-7.33
30-07-87	-17.17	-14.25	-14.75	-12.75	-14.67	-14.67	-14.67	-16.58	-16.25	-16.42	-13.42
31-07-87	-15.25	-15.92	-15.08	-14.00	-16.92	-16.92	-16.92	-7.00	-9.75	-8.38	-7.00
2-08-87	-4.75	-5.33	-1.83	0.17	-1.25	-1.25	-1.25	2.50	-2.00	0.25	0.75
5-08-87	-2.00	-5.00	-6.00	-3.75	-2.75	-2.75	-2.75	-3.50	-2.00	-2.75	-3.50
7-08-87	-3.50	-2.25	-3.50	-6.00	-1.50	-1.50	-1.50	-1.00	-0.50	-0.75	0.75
8-08-87	-13.50	-17.25	-17.08	-17.08	-15.08	-15.08	-15.08	-14.75	-12.25	-13.50	-11.83
10-08-87	-4.75	-5.17	-1.00	1.50	-4.17	-4.17	-4.17	-4.75	-1.00	-2.88	-1.00
12-08-87	-9.00	-11.58	-12.25	-12.50	-12.00	-12.00	-12.00	-10.50	-7.25	-8.88	-7.83
14-08-87	-6.42	-4.50	-1.50	-2.75	-3.50	-3.50	-3.50	0.75	0.25	0.50	1.67
15-08-87	-6.25	-3.00	-4.67	0.75	-1.50	-1.50	-1.50	-1.17	4.58	1.71	5.83
18-08-87	-9.00	-3.00	-4.00	-1.75	-6.00	-6.00	-6.00	-2.50	1.00	-0.75	2.75
19-08-87	-6.00	-1.50	-2.00	-2.00	1.17	1.17	1.17	6.50	6.50	6.50	9.00
23-08-87	-1.50	-2.00	-3.00	-2.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	2.00	0.75	2.00
24-08-87	-3.00	-8.83	-7.33	-1.00	-5.50	-5.50	-5.50	-6.25	-6.50	-6.38	-3.50
27-08-87	-3.50	-8.00	-6.75	-5.75	-3.00	-3.00	-3.00	-5.50	-5.00	-5.25	-2.25