

RESPUESTA DEL MAIZ (HIBRIDO AN-430R) A
DIFERENTES NIVELES DE SEQUILA INDUCIDA, EN
TRES ETAPAS FENOLOGICAS DEL DESARROLLO

ENRIQUE GANDARA ROSAS

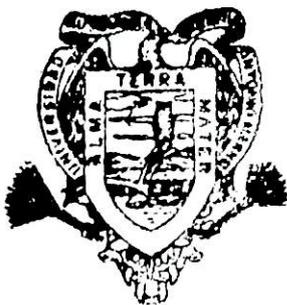
T E S I S

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

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

MAYO DE 1989

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

MAESTRO EN CIENCIAS ESPECIALIDAD
DE RIEGO Y DRENAJE



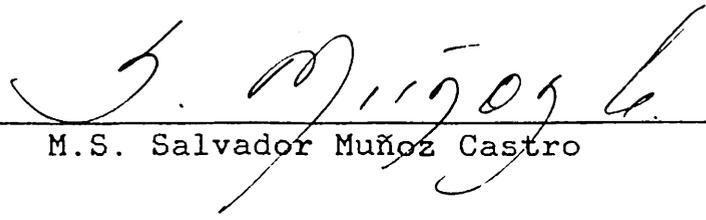
BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

COMITE PARTICULAR

Asesor Principal:


M.C. Alejandro Zermeño González

Asesor :

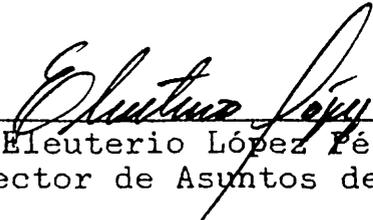

M.S. Salvador Muñoz Castro

Asesor :


M.C. Sergio A. Rodríguez Herrera

Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"




Dr. Eleuterio López Pérez
Subdirector de Asuntos de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mayo de 1989.

Subdirección Asuntos
de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a las siguientes Instituciones y personas.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), por el apoyo económico para mis estudios y por la oportunidad de permitirme ser uno de sus investigadores.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado y por la gran responsabilidad que tiene con sus becados.

Al Ing. M.C. Alejandro Zermeño González por la gran ayuda que me brindó durante la elaboración, conducción y revisión del presente estudio.

Al Dr. Salvador Muñoz Castro por las sugerencias y revisión del presente trabajo.

Al Ing. M.C. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera, por su valioso apoyo durante la conducción del experimento y revisión del escrito final.

A los futuros Ingenieros Adalberto Mulato Brito y Silvino Picazo Mancillas, por su ayuda prestada durante la conducción del trabajo de campo.

A todos mis compañeros y amigos que de una manera u otra contribuyeron a la realización del presente estudio.

DEDICATORIA

A mis Padres:

MARIA DE JESUS

Y

ALBERTO

CON EL CARINO DE SIEMPRE

A mis Hermanos:

CARMEN ADRIANA

REBECA

ALVARO

MONICA

JESUS ALBERTO

CARLOS

OCTAVIO

CLAUDIA

POR LA FUERZA QUE

NOS UNE

A mi "ALMA TERRA MATER"

A mis Compañeros y Amigos

COMPENDIO
RESPUESTA DEL MAIZ (HIBRIDO AN-430R) A DIFERENTES NIVELES
DE SEQUIA INDUCIDA EN TRES ETAPAS FENOLOGICAS DEL
DESARROLLO

POR
ENRIQUE GANDARA ROSAS

MAESTRIA EN RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mayo de 1989
M.C. Alejandro Zermeño González - Asesor -

Palabras claves: Maíz, niveles de sequía, componentes del
rendimiento, funciones de producción.

El propósito de este estudio fué el de evaluar el efecto de diferentes niveles de sequía inducida, en tres etapas fenológicas del desarrollo, sobre el rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L.) y sus componentes. Además obtener una función de predicción que estime el rendimiento de grano, en función de la evapotranspiración que ocurre en tres etapas fenológicas del desarrollo del maíz.

Fueron evaluados 12 tratamientos seleccionados del diseño de tratamientos San Cristóbal de 3 factores,

propuesto por Rojas (1979). Los cuales son una muestra seleccionada del total que resultarían de un factorial 4^3 . Los tratamientos resultantes fueron distribuidos de acuerdo al diseño de bloques al azar con 3 repeticiones.

Los modelos probados para estimar el rendimiento de grano como función de la evapotranspiración relativa por etapa fueron: Palacios y Martínez (1978), Hiler y Clark (1971) y Jensen (1968). Siendo los dos primeros del tipo aditivo y el último multiplicativo.

Los resultados obtenidos indicaron que el componente del rendimiento que tiene más efecto sobre el rendimiento de grano, fué el número de granos por hilera. En lo referente a los modelos, el que mejor estimó los resultados fué el de Palacios y Martínez con un coeficiente de determinación del orden de 95 por ciento.

ABSTRACT

RESPONSE OF CORN (HIBRID AN-430R) TO DIFFERENTS LEVELS OF
INDUCTED DROUGHT IN THREE PHENOLOGICAL STAGES OF GROWTH

BY

ENRIQUE GANDARA ROSAS

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. May 1989

M.C. Alejandro Zermeño González - Adviser -

Key words: Corn, drought levels, yield components,
production functions.

The purpose of this study was to evaluate the effect of differents levels of inducted drought in three phenological stages of growth in the yield grain of corn (*Zea mays* L.) and its components. In addition another abjetive of this work was to obtain a forcast function to estimate the grain yield in function of the evapotranspiration rate in three phenological stages.

Twelve treatments were selected using the San Cristobal matrix of three factors suggested by Rojas (1979). These are a representative space of the factorial 4^3 . These treatments were distributed in the field on an randomized block design with three replicates.

The models tested to forecast yields of grain in function of the relative evapotranspiration occurred in the mentioned stages were: additive models suggested by Palacios and Martínez (1978), and Hiler and Clark (1971); and the multiplicative model suggested by Jensen (1968).

The results showed that the growth component that has more effect in the grain yield was the number of grain by row. In regard to the models to forecast yields, the best model was that suggested by Palacios and Martínez ($R^2=0.95$).

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	3
RELACIONES HIDRICAS.....	3
EFECTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANO Y SUS COMPONENTES.....	5
CONTENIDO DE HUMEDAD A DIFERENTES ETAPAS DEL DESARROLLO, EN RELACION AL RENDIMIENTO DE GRANO.....	12
FUNCIONES DE PRODUCCION.....	17
MATERIALES Y METODOS.....	24
LOCALIZACION DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	24
CLIMA.....	24
CARACTERISTICAS DEL SUELO DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	25
CONSTANTES DE HUMEDAD.....	27
AGUA DE RIEGO.....	27
FACTORES Y NIVELES DE ESTUDIO.....	29
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	29
MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	32
RIEGOS.....	34
COSECHA.....	36

VARIABLES DE RESPUESTA.....	36
DATOS CLIMATOLOGICOS.....	38
MODELOS PROBADOS PARA PREDICION DE RENDIMIENTO RELATIVO DE GRANO.....	38
RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
RENDIMIENTO DE GRANO.....	44
RENDIMIENTO DE MATERIA SECA.....	45
ALTURA FINAL DE PLANTA.....	46
AREA FOLIAR.....	48
PESO DE 100 GRANOS, LARGO DE MAZORCA, DIAMETRO DE MAZORCA Y GRANOS POR HILERA.....	49
NUMERO DE HILERAS GROSOR Y PROFUNDIDAD DEL GRANO.....	50
RENDIMIENTO DE MATERIA SECA Y GRANO, EN FUNCION DE LA EVAPOTRANSPIRACION TOTAL.....	52
FUNCIONES DE RESPUESTA.....	55
MODELO DE PALACIOS Y MARTINEZ.....	55
MODELO MULTIPLICATIVO DE JENSEN.....	57
MODELO DE HILER Y CLARK.....	58
CONCLUSIONES.....	62
RESUMEN.....	64
LITERATURA CITADA.....	66
APENDICE.....	71

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pagina
2.1	Texturas del suelo del sitio experimental...	25
2.2	Constantes de humedad y densidad aparente, promedio del sitio experimental.....	26
2.3	Propiedades Químicas del suelo del sitio experimental.....	26
2.4	Propiedades Químicas del agua de riego, empleada en este estudio.....	28
2.5	Tratamientos resultantes.....	30
3.1	Parámetros estadísticos de las variables estudiadas.....	43
3.2	Comparación de medias de rendimiento de grano (ton/ha).....	44
3.3	Comparación de medias de rendimiento de materia seca (ton/ha).....	46
3.4	Comparación de medias de altura final de planta (cm).....	47
3.5	Comparación de medias de tratamiento de área foliar total (cm ² /planta), e índice de área foliar (IAF), medido al inicio de la etapa de floración.....	49
3.6	Comparación de medias para peso de 100 granos, largo de mazorca (cm), diámetro de mazorca (cm) y granos por hilera.....	51
3.7	Comparación de medias para número de hileras, profundidad y grosor del grano (cm).	52
3.8	Factor de déficit ocurrido en cada uno de los tratamientos evaluados.....	59
3.9	Índice de Deficiencia Diaria por etapa, total y rendimiento de grano en cada tratamiento.....	59
1A	Máximo abatimiento alcanzado en cada tratamiento durante las tres etapas fenológicas evaluadas.....	72

2A.	Evapotranspiración acumulada de cada tratamiento en las tres etapas fenológicas evaluadas.....	72
3A	Evapotranspiración relativa para cada tratamiento, durante las tres etapas fenológicas en estudio.....	73
4A	Humedad aprovechable residual promedio para cada tratamiento durante las tres etapas fenológicas en estudio.....	73
5A	Datos climatológicos que ocurrieron durante el desarrollo del cultivo.....	74
6A	Datos climatológicos que ocurrieron durante el desarrollo del cultivo.....	75
7A	Datos climatológicos que ocurrieron durante el desarrollo del cultivo.....	76
8A	Datos climatológicos que ocurrieron durante el desarrollo del cultivo.....	77
9A	Análisis de varianza de las variables de respuesta.....	79
10A	Análisis de varianza de las variables de respuesta.....	79
11A	Análisis de varianza de las variables de respuesta.....	80
12A	Análisis de varianza de las variables de respuesta.....	80

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Representación geométrica de la matriz San Cristóbal (factorial incompleto de 4^3), para los tratamientos propuestos.....	31
2.2	Distribución de los tratamientos en el campo.....	33
3.1	Relación entre evapotranspiración total en la etapa vegetativa y el área foliar total (cm^2).....	50
3.2	Relación entre evapotranspiración total (mm) y rendimiento de grano (ton/ha).....	53
3.3	Relación entre evapotranspiración total (mm) y rendimiento de materia seca (ton/ha).....	54
3.4	Efecto del Índice de Deficiencia Día (IDD) sobre el rendimiento de grano (ton/ha)....	60
1A	Relación evaporación-precipitación, ocurrida en cada una de las etapas fenológicas evaluadas.....	78
2A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 1.....	81
3A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 2.....	81
4A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 3.....	82
5A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 4.....	82
6A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 5.....	83

7A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 6.....	83
8A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 7.....	84
9A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 8.....	84
10A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 9.....	85
11A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 10.....	85
12A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 11.....	86
13A	Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 12.....	86

INTRODUCCION

En México existe una creciente demanda en el consumo de maíz, debido tanto al incremento constante de la población, como a la participación de este cereal en la dieta del mexicano. Es por esto que el incremento de la producción para satisfacer la demanda, ha sido el tema de investigaciones que se han venido realizando desde hace más de 40 años, las cuales nos han permitido obtener cultivares más eficientes, en la utilización de los recursos.

Sin embargo en la actualidad lo errático de la precipitación, y el aumento del consumo de agua por las zonas urbanas así como por la industria, están ocasionando que la agricultura vea reducido su volumen total de agua, para producir alimentos. Lo anterior nos lleva a la búsqueda de alternativas para eficientar el uso de esta, sobre todo en las zonas áridas y semi-áridas o aquellas donde la precipitación es muy errática, de tal forma que logremos obtener los máximos beneficios con cantidades mínimas del vital líquido.

En las zonas áridas y semi-áridas la alternativa no es el ahorro del agua Barret y Scorerboe (1980), sino la obtención de rendimientos máximos con cantidades mínimas de

este insumo. Es por ello que debemos conocer las cantidades ideales de humedad en las cuales los cultivos expresan su máxima potencialidad de rendimiento, y de esta manera prever reducciones del rendimiento por excesos o deficiencias de agua.

En base a lo anterior se estableció este experimento donde se evalúan abatimientos de la humedad del suelo en tres etapas fenológicas, con los siguientes objetivos:

-Evaluar el efecto de diferentes niveles de sequía inducida, en tres etapas fenológicas del desarrollo, sobre el rendimiento de grano, componentes del rendimiento, altura final de planta y área foliar máxima.

-Obtener una función de predicción que estime el rendimiento de grano, en función de la evapotranspiración que ocurre en tres etapas fenológicas del desarrollo del maíz.

Hipótesis

Los modelos de predicción o producción que existen en la actualidad son similares en su eficiencia de estimación del rendimiento de grano, como una función de la evapotranspiración que ocurre en el ciclo del cultivo.

REVISION DE LITERATURA

Relaciones Hidricas.

El agua es con frecuencia el factor que más limita la producción de grano de maíz (Gros 1981 ; Hsiao 1973 ; Jensen 1978), además el periodo de mayor absorción de los elementos nutritivos es igualmente el de mayores necesidades de agua, por lo tanto el maíz es más sensible a la sequía. Hsiao *et al* (1976) mencionan que la baja en la producción se debe a que decrece la tasa de fotosíntesis y la síntesis de proteína, repercutiendo en la producción final y es aun más crítica en la forma que se presentan dichos déficit ya que no ocurren en una sola etapa de desarrollo del cultivo, estos se presentan en varias etapas y la producción depende de las interacciones acumuladas de factores que varían con el tiempo.

El maíz es un usuario eficiente del agua en cuanto a la producción de materia seca, y entre los cereales es potencialmente el cultivo de grano de mayor rendimiento (Doorembos y Kassam 1979). Sin embargo la planta evapora agua como cualquier sistema físico, además de las necesidades hídricas que precisa para las demandas metabólicas, debe cubrir las demandas de evaporación a través de la epidermis en la transpiración. En condiciones normales una planta de maíz absorbe durante su ciclo de

vida unos 300 kilogramos de agua, de los que utiliza en procesos metabólicos alrededor de un dos por ciento y transpira el resto (Rojas, 1972)/

Investigaciones realizadas por Jensen (1978), sobre relaciones suelo-planta destaca la importancia de la disponibilidad del agua en el suelo y su efecto sobre la producción de los cultivos. Realizó varios trabajos para definir las propiedades del suelo, el cual es responsable de la absorción y retención del agua, también señala que el contenido de agua en el suelo no es un criterio suficiente para describir la disponibilidad del agua para las plantas, sino que se requiere conocer el estado de energía de este elemento.

Kramer (1963), menciona que el crecimiento de las plantas es controlado directamente por el estrés de agua en la planta y sólo indirectamente por el estrés de agua en el suelo. El estrés de agua en el suelo depende de las tasas relativas de absorción de agua y además los daños por pérdidas de agua únicamente estarán en función del abastecimiento de agua en el suelo. Por lo anterior dice que no hay bases para asumir que un deterioro o daño dado por el estrés de agua en el suelo puede ser acompañado por un daño igual en el estrés de agua en la planta. El estrés de agua en la planta puede ser directamente medido en investigación y los efectos de abastecimiento de agua en el

crecimiento y procesos de la planta, menciona que solo así podrían ser interpretados correctamente.

Norero (1976), observó que existe una estrecha relación entre: la cantidad de agua en el suelo; transpiración y fotosíntesis. Esta última está directamente relacionada con el crecimiento y producción de los cultivos. En este mismo sentido Hsiao (1973), dice que una rápida reducción del potencial de turgencia ocasiona un decremento de la elongación y división celular, incremento en la concentración de ácido absísico y cierre de estomas, con la consecuente reducción en la fotosíntesis y transpiración.

x

Efecto de la Humedad del Suelo sobre el rendimiento de
grano y sus componentes.

Durante el desarrollo de los cultivos existen períodos críticos, en los cuales una alta tensión de la humedad del suelo puede reducir significativamente el rendimiento (Chang, 1968; Kramer, 1974), los autores mencionan además que el rendimiento se puede ser afectado no solo cuantitativamente sino cualitativamente. Jurgens et al (1978), dicen que la magnitud de la reducción del rendimiento en maíz por déficit de agua depende del estado de crecimiento en el que ocurre la deficiencia, así como de su severidad y duración.

Fisher y Turner (1978), analizaron la productividad de las plantas en terminos de agua total transpirada, la eficiencia con que esta es usada (gramos de materia seca producida por gramos de agua transpirada) y el indice de cosecha (relación entre rendimiento económico y la materia seca total), encontraron que el rendimiento bajo condiciones limitantes de humedad estuvo determinado por la transpiración total e índice de cosecha.

Leeper *et al* (1974), reportan que un estrés frecuente de humedad redujo la altura de maíz, hubo desarrollo lento y causó reducción en el rendimiento, dependiendo de la duración y el grado de estrés.

Flesch y Dale (1987), usaron mediciones de 72 parcelas en 17 años, para observar los cambios en el índice de área foliar (IAF) en maíz (*Zea mays* L.), con reducciones de la humedad del suelo. El cambio de IAF fué dividido en tres periodos: 1) siembra-floración; 2) floración- hasta el estado de rápida senescencia; y 3) rápida senescencia. La máxima área foliar se obtuvo en el tratamiento de no estrés. Las mediciones de área foliar en parcelas-año con estrés de humedad, fueron usadas para desarrollar un factor de desarrollo (SGF), el cual se utilizó para reducir el IAF, el SGF fué determinado por porcentajes diarios de evapotranspiración actual (ETa) y potencial (ETp). Mencionan que valores menores que la unidad en la relación

ETa/ETp reducen el desarrollo del IAF en los periodos 2 y 3.

Eck (1986), Evaluó el efecto del tiempo y duración de periodos de deficiencia de humedad sobre el desarrollo del cultivo del maíz, en una zona de alta demanda evaporativa. Los estudios fueron realizados durante 4 años bajo cinco tratamientos: agua adecuada; periodos de dos y cuatro semanas de deficiencia de agua durante el desarrollo vegetativo; y periodos de dos y cuatro semanas de deficiencia de agua durante el llenado del grano. Encontró que deficiencias de humedad impuestas a 41 días después de la siembra reduce el área foliar y el tallo, no siendo así cuando es impuesta a los 55 días después de la siembra, donde reduce únicamente el tallo. Menciona que déficit durante el llenado de grano no afecta el área foliar y el desarrollo del tallo.

Doorembos y Kassam (1979), mencionan que el maíz parece ser relativamente tolerante a los déficit de agua durante el período vegetativo y el de maduración, pero no así durante el período de floración incluyendo la formación de la inflorescencia, la formación del estigma y la polinización, en cuyas etapas un déficit de humedad ocasiona una disminución de los rendimientos de grano. Déficit rigurosos de agua durante el período de floración, especialmente en el tiempo de formación del estigma y la

polinización, pueden traducirse en un rendimiento pequeño o nulo de grano debido a la desecación de los estigmas; así mismo un déficit de agua durante el período de formación de la cosecha puede traducirse en una reducción del rendimiento debido a la disminución del tamaño del grano. Esto mismo es afirmado por Palacios Sánchez (1980), el cual indica que la etapa más crítica para el maíz es la etapa de floración comprendida entre la gametogénesis y la formación del grano en estado lechoso, y el rendimiento depende básicamente del peso del grano y el número de granos por mazorca.

Experimentos realizados por Volodarskij y Zinevic en 1960 citados por Palacios y Martínez (1978), indican que un período de sequía en la primera etapa vegetativa que comprende desde la germinación hasta la formación de la séptima hoja, sólo reduce el rendimiento de materia seca, pero el rendimiento en grano no se reduce o incluso se nota un ligero incremento si en la etapa siguiente el cultivo no tiene ningún déficit hídrico. Según estos mismo autores, la etapa más crítica, respecto a la sensibilidad del cultivo al déficit de humedad del suelo, es durante la fase de gametogénesis, es decir desde el inicio de la floración, con una segunda etapa crítica al inicio de la formación del grano después de la floración.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1983), afirma que en la mayoría de los cultivos se presentan periodos críticos durante la época de crecimiento, en los que deben de mantenerse un nivel alto de humedad para lograr buenos rendimientos. Si hay suficiente humedad para la germinación y el desarrollo, el periodo crítico casi siempre ocurre en la parte final de la estación cuando se aproxima la cosecha. El periodo crítico para el maíz es desde la inflorescencia (espigamiento) hasta la aparición de los estigmas (jilote).

Stewart *et al* (1975), concluyeron que el rendimiento de grano de maíz es especialmente vulnerable al déficit hídrico durante el periodo de polinización, siempre que el cultivo no haya estado sujeto a estrés en el periodo vegetativo. sostienen que un déficit hídrico durante la polinización puede ocasionar grandes pérdidas en el rendimiento del maíz. Sugieren sean tomados estos resultados muy en cuenta para la programación de los riegos.

Gardner *et al* (1982), tomaron datos de temperatura, fisiología y fenología del maíz sujeto a diferentes láminas de riego, sobre un suelo de arena fina. Estos investigadores obtuvieron una diferencia de 50 cm de altura entre plantas que no estuvieron sujetas al estrés y las que sí los sufrieron. Las plantas que estuvieron sujetas al

estrés de humedad durante la etapa de llenado de grano maduraron durante este periodo. El rendimiento se redujo drásticamente cuando el estrés ocurrió durante los periodos de polinización y llenado de grano.

Denmead y Shaw (1960), observaron que el rendimiento de grano de maíz disminuyó en un 25,50 y 21 por ciento cuando el estrés de humedad se presentó en el estado vegetativo, floración femenina y estado de mazorca respectivamente. En este sentido Robins y Domingo (1953), mencionan que una deflexión de la humedad del suelo durante ciertos estados de desarrollo fisiológico marcan un decremento en el rendimiento de grano, reportan que un estrés de uno o dos días durante el periodo de polinización reduce el rendimiento de maíz en un 22 por ciento y si éste es de una duración de seis a ocho días lo reduce en un 50 por ciento.

En un estudio realizado por Rodríguez (1985), obtuvo mediante el índice de estrés acumulada (SDI), que los valores de susceptividad del cultivo del maíz son los siguientes: una deficiencia de humedad en la etapa vegetativa, el maíz reduce su rendimiento de grano en un 24 por ciento; si el estrés ocurre durante la etapa reproductiva el maíz experimenta una reducción en el rendimiento de un 41 por ciento.

Musick y Dusek (1980), dicen que un estrés de agua en la planta durante el llenado de grano reduce el rendimiento de 10 850 a 5670 kg/ha y si ocurre un estrés muy severo durante el desarrollo vegetativo causa la muerte prematura y resulta en cero rendimiento de grano. En este sentido Fisher *et al* (1984) mencionan que bajo un estrés severo se aumentan el número de plantas jorras.

Hanway (1971), menciona que el efecto de la deficiencia de humedad depende de el estado de desarrollo en el cual se encuentre la planta.

ESTADO: Décima hoja totalmente emergida.

EFEECTO: Deficiencias a partir de este estado influirán marcadamente en el crecimiento y desarrollo de las mazorcas.

ESTADO: Doceava hoja totalmente emergida.

EFEECTO: Deficiencias en esta etapa pueden reducir severamente el tamaño potencial de la mazorca.

ESTADO: Catorceava hoja completamente emergida.

EFEECTO: Cualquier deficiencia de humedad, puede reducir severamente el número de granos que se desarrollarán.

ESTADO: Dieciseisava hoja totalmente emergida.

EFEECTO: Falta de humedad ocasiona que se demore la aparición de los estigmas más que la emergencia de la espora y emisión de polen.

ESTADO: Emergencia de estigmas.

EFEECTO: Deficiencias de humedad pueden resultar en una polinización y formación de granos pobres.

Vega Sánchez (1987), evaluó dos tratamientos de riego en el híbrido de maíz AN-430R, los tratamientos evaluados fueron los siguientes: 1) riegos aproximadamente cada 20 días; 2) riegos en etapas críticas del cultivo (nacimiento, iniciación floral, fecundación y estado lechoso), encontró que a mayor humedad (tratamiento 1) se presentan mayores alturas, área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento de grano.

Contenido de humedad a diferentes etapas de desarrollo en relación al rendimiento de grano.

En estudios realizados por la Doorembos y Kassam (1979), encontraron que cuando existen evapotranspiraciones máximas de cinco a seis mm por día el agotamiento del suelo hasta un 55 por ciento del agua disponible, tiene un efecto pequeño sobre el rendimiento. Ellos recomiendan un agotamiento de algo mayor del agua durante los periodos iniciales de desarrollo, con la finalidad de estimular el crecimiento de las raíces; por lo cual sugieren que se apliquen los riegos cuando el nivel de agotamiento del agua llegue a los siguientes niveles según su etapa de desarrollo: para el periodo de establecimiento de 40 por ciento, entre 55 y 65 por ciento durante los periodos

vegetativos, floración y formación de la cosecha y hasta un 80 por ciento durante el período de maduración.

Con la finalidad de encontrar la humedad óptima residual del suelo para producción de maíz, Palacios Sánchez (1980), evaluó diferentes niveles de humedad del suelo aplicados en tres etapas fenológicas de su desarrollo: vegetativa (comprendida desde la germinación hasta la gametogénesis), floración (comprendidas desde la gametogénesis a la formación del grano en estado lechoso) y la etapa de maduración (del grano en estado lechoso a grano en estado masoso). Obtuvo una función de producción de grano que permitió encontrar los valores óptimos de humedad residual en el suelo en cada etapa fenológica considerada y que proporcionan el máximo rendimiento, dichos valores son: 31.40 por ciento de humedad aprovechable para la etapa vegetativa, 63.20 por ciento de humedad aprovechable para la etapa de floración y 50.68 por ciento para la etapa de maduración.

En un experimento realizado por Lira y Castro (1977), en el cual sometieron dos genotipos de maíz (H-419 y H-509) a diez niveles de humedad aprovechable en dos etapas fenológicas de su desarrollo (antes y después de floración). Encontraron que el híbrido H-419 al someterse al tratamiento de riego de 20 por ciento de humedad aprovechable antes y después de floración alcanzó su máximo

rendimiento de grano; en cambio el híbrido H-509 mostró su máximo rendimiento al someterse al tratamiento de riegos al 30 por ciento de humedad aprovechable antes y después de floración.

Duarte y Félix (1980), evaluaron en el Valle del Mayo, cuatro niveles de humedad aprovechable (0,15,30 y 45 por ciento) y ocho fórmulas de Nitrógeno y Fósforo (70-30-00, 70-90-00, 140-60-00, 210-30-00, 210-90-00, 00-60-00 y 00-00-00) en maíz. Encontrando que el mayor rendimiento de grano se obtuvo con 45 por ciento de humedad aprovechable y la fórmula de 140-60-00.

En un experimento realizado por Ortiz (1982), en el Valle del Yaqui, Sonora. Evaluó nueve tratamientos de riego en base a por ciento de humedad aprovechable combinados antes y después de floración (10-10, 10-30, 30-10, 30-30, 20-20, 00-10, 40-30, 10-00 y 30-40) en cuatro genotipos de maíz (H-419, H-412, PR-7822 y DB-2). Encontró que el tratamiento 30-30 de humedad aprovechable antes y después de floración respectivamente fué el mejor y el mejor genotipo fué el híbrido H-419 con el cual se obtuvo un rendimiento promedio de 6,171 kg/ha. Este mismo autor (1983) evaluó seis tratamientos de riego en base a humedad aprovechable antes y después de floración (20-10, 20-20, 20-40, 40-40, 40-50 y 50-40) más un testigo en base a intervalos entre días (0-35-30-20-20-20). Encontrando que

los tratamientos 40-40, 40-50 50-40 y 20-40 de humedad aprovechable antes y después de floración fueron los mejores y se comportaron estadísticamente iguales, con rendimientos de 6,125 hasta 6,402 kg/ha).

Chapa (1986), evaluó tres tensiones de humedad en el suelo (3,6 y 9 atmósferas), en dos etapas fenológicas del maíz (antes y después de floración). Encontrando que con el tratamiento de tres atmósferas antes de floración y nueve atmósferas después de esta etapa se obtuvieron los máximos rendimientos de grano. Pero el tratamiento más eficiente en el uso del agua fué el de seis y nueve atmósferas para antes y después de floración respectivamente.

Con el propósito de determinar los efectos de la humedad sobre el desarrollo y rendimiento del maíz, Rodríguez (1985), condujo un experimento en el cual evaluó cuatro tratamientos de riego, basados en el abatimiento de la humedad disponible en el suelo los cuales fueron : 20, 40, 60 y 80 por ciento de abatimiento de la humedad aprovechable. Además consideró los tratamientos 60-20 y 35-60 de abatimiento de la humedad aprovechable en las etapas vegetativa y reproductiva respectivamente, para conocer la susceptividad del cultivo a la deficiencia hídrica. Menciona que los resultados indican que un mejor rendimiento se obtiene con los tratamientos que sufrieron

un menor estrés durante todo el ciclo del cultivo, por lo que el mejor tratamiento fué el de 20 por ciento de abatimiento de la humedad aprovechable.

Onofri (1977), en parcelas de tres suelos construidos en un sitio de Bari, Italia. Aplicó la irrigación en maíz de grano cuando la humedad del suelo alcanzaba 0, 30, 60 o 90 por ciento del agua disponible. Los rendimientos de grano promedio se incrementaron desde 8.6 toneladas de grano por hectárea sin irrigación, hasta 13.05 ton/ha con irrigación al 30 por ciento de la humedad disponible. Un incremento adicional en rendimiento a 13.86 ton/ha con irrigación aplicada a 90 por ciento de la humedad disponible no fué estadísticamente significativa con el tipo de suelo, pero la eficiencia en el uso del agua si fué incrementada con el tipo de suelo en el orden: franco-arenoso, franco-arcilloso y arcilla. La irrigación al 30 por ciento de la humedad disponible incrementó la relación grano:tallos. La eficiencia de irrigación fué más alta con el riego al 90 por ciento de la humedad disponible en franco-arenoso, con irrigación al 30 por ciento de humedad disponible en franco y a punto de marchitez en arcilla.

Vega y Barrera (1982), en experimentos realizados durante primavera- verano en la localidad de Apodaca, Nuevo León, evaluaron tres niveles de humedad del suelo. Los tratamientos probados fueron: 30, 60 y 90 por ciento de

abatimiento de la humedad, con los cuales se obtuvieron rendimientos de grano de 3.74, 2.66 y 1.08 ton/ha.

Kaliappa *et al* (1976), en estudios realizados en la India, aplicaron la irrigación durante el ciclo vegetativo del maíz al 25, 50 o 75 por ciento de abatimiento de la humedad disponible del suelo o combinando cualquiera de dos niveles de humedad durante la fase de desarrollo vegetativo (hasta 50 días después de la siembra), y la fase de madurez. La irrigación al 75 por ciento de abatimiento de la humedad disponible durante la fase vegetativa y al 50 por ciento durante la fase de madurez proporcionó los más altos rendimientos de grano, con un consumo de agua total de 382 mm.

Funciones de Producción.

El régimen de humedad del suelo durante el desarrollo de los cultivos, produce también un cambio en el rendimiento de dicho cultivo, sobre todo si se mide como el fruto y no como la materia verde de la planta (Flinn y Musgrave, 1967), es por lo anterior que debemos de abastecer de agua a los cultivos en el momento oportuno, de tal manera que nos produzca lo máximo de fruto con las cantidades óptimas de agua.

Barret y Scogerboe (1980), citan que la primicia en el manejo del agua en los países con clima árido, no es el

ahorro del agua, sino el incremento de la eficiencia de producción, que permitan maximizar la respuestas de las plantas y la mejor oportunidad es obviar y prevenir las deficiencias hídricas al ser el factor limitante en el desarrollo de los cultivos. En base a lo anterior y empleando técnicas de programación lineal algunos autores demuestran que mediante funciones de producción es posible conocer las láminas de riego que maximizan los beneficios netos en la agricultura de riego.

Heady y Hexem (1978), señalan que el conocimiento de funciones de producción o funciones de respuesta de un cultivo, es una pieza de información altamente necesaria en el proceso de toma de decisiones sobre el uso y manejo del agua, enfatizan el hecho de establecer experimentos de respuesta al agua, de manera que cubran un rango más completo y magnitud de variables, que presenten adecuadamente condiciones del suelo, clima y características genéticas de las plantas. Esto podría eliminar la necesidad de conducir experimentos sobre cada tipo de suelo en particular o localidad.

Tscheschke y Gilley (1979), muestran resultados en la predicción del crecimiento y rendimiento de maíz, empleando un modelo basado en la disponibilidad del agua del suelo. Los rendimientos de grano fueron predichos

exactamente en parcelas de riego restringido durante varios años en dos localidades de Nebraska, Estados Unidos.

Jensen (1968), sugiere un modelo de predicción de rendimiento, basándose en los efectos de las deficiencias hídricas que ocurren en las diferentes etapas de crecimiento, sobre el rendimiento de los cultivos.

Hiler y Clark (1971), obtuvieron un modelo de respuesta comúnmente conocido como índice de deficiencia-día, éste relaciona el rendimiento con los déficit de agua que se tienen en determinada etapa de crecimiento, para evaluar el efecto que tiene el déficit hídrico en el rendimiento de un cultivo.

Hanks (1974), propone un modelo para predecir rendimiento de planta entre materia seca total y grano, como una función del uso del agua. El modelo es sencillo para correr en una computadora y el cual determina el rendimiento estacional como influencia de: frecuencia y cantidad de irrigación; lluvia y almacenaje del agua en el suelo. Encontró buena adaptación para lo predicho y lo medido de materia seca y rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L.) en Israel y Nebraska, con varios tratamientos de agua establecidos. Una asunción básica que hace es que la relación de rendimiento de materia seca actual y potencial es directamente proporcional a la transpiración actual y

potencial. La ecuación es idéntica a la propuesta por Jensen (1968).

Matthew y Haith (1981), proponen un modelo simple para predecir rendimientos de maíz como una función del híbrido, fecha de siembra, temperaturas estacionales de crecimiento, estrés de humedad y ocurrencia de cobertura. El modelo fué probado en dos periodos de calibración y validada su aplicación en Nueva York. Comparaciones de predicciones del modelo con rendimientos medidos del cultivo muestran un error de 3 a 8 por ciento en el rendimiento predicho. Los autores mencionan que la estructura de este modelo es comparable a la propuesta por Flinn (1971).

Sudar *et al* (1981), describen la evolución que han sufrido las funciones de producción a través de los años. Los primeros modelos para relacionar el efecto del medio ambiente sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos se basan en datos climáticos, entre estos modelos tenemos aquellos que involucran ecuaciones que correlacionan el rendimiento con un factor de humedad tal como la precipitación o transpiración. También dentro de esta categoría se encuentran los modelos que estiman la reducción del rendimiento por efecto de un periodo de estrés. Concluyen que cada uno de estos modelos da una razonable estimación del rendimiento, pero que están

frecuentemente limitadas para el cultivo y el área, para los cuales fueron originalmente desarrollados.

Palacios y Martínez (1978), señalan que el rendimiento de un cultivo depende de muchos factores variables, algunos controlados como la fertilización, el riego, etc., otros parcialmente controlados como algunas plagas y enfermedades, y otros no controlables como son los factores atmosféricos. Para investigar el efecto de determinados factores pueden mantenerse varios de los factores variables controlables constantes y asumirse alguna constancia de factores no controlables y se representaría de la siguiente manera:

$$Y = f (X_1, X_2, X_3 \ ; \ X_4 \dots \dots \ X_m)$$

Donde los factores a la derecha de la raya vertical se consideran constantes y sólo se asumen variables los tres primeros en la izquierda de dicha raya. Bajo esta suposición, puede considerarse para fines de análisis, que el rendimiento de un cultivo depende solamente de la cantidad de agua consumida por el, antes del riego, en una etapa fenológica determinada, esto es:

$$Y = f (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_m)$$

Donde:

X_i = Cantidad de agua que ha sido consumida en la etapa i .

Moreno (1984), realizó un estudio para encontrar una función de producción para maíz, en base a la variación de la humedad del suelo en diferentes etapas fenológicas. La función de producción obtenida para la variable grano ton/ha, fué del tipo.

$$Y = B_0 + B_1 * R_1 + B_2 * R_1 * R_2$$

Donde:

B_0, B_1, B_2 = Parámetros de regresión.

R_1 = Número de riegos en la primera etapa fenológica (siembra- inicio de floración)

R_2 = Número de riegos en la segunda etapa fenológica (inicio de floración-inicio de amarillamiento de las espastas de la mazorca).

Yaron (1987), presenta un modelo mediante el cual puede ser evaluada la susceptividad a deficiencia hídrica, en relación al tiempo de permanencia bajo déficit en determinada etapa fenológica. El modelo es el siguiente:

$$Y = Y_0 \prod_{i=1}^n B^{x_i}$$

Donde:

x_i = Es el tiempo de permanencia con deficiencia hídrica en la etapa vegetativa i .

Ramírez (1988), evaluó tres modelos de producción para trigo en función de la evapotranspiración en tres

etapas fenológicas. Los modelos probados para predecir rendimiento de grano fueron: modelo multiplicativo de Jensen (1968) y modelos aditivos de: Hiler y Clark (1971), conocido como índice de deficiencia día y el modelo de Palacios y Martínez (1978). Concluye que el modelo que mejor predice es el de Palacios y Martínez, el cual explica el 84 por ciento de la variación observada en los rendimientos de grano.

MATERIALES Y METODOS

Localización del Sitio Experimental

El estudio se llevo a cabo en el Campo Agrícola Experimental Buenavista, de la Universidad Autónoma Agraria " Antonio Narro ", cuyas coordenadas geográficas son 25° 23' latitud norte y 101° 01' de longitud oeste, con una altura sobre el nivel de mar de 1743 metros.

Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificado por García (1964), adaptada para la República Mexicana el clima de Buenavista, Coahuila. Se define como:

BSoK(X')(e)

Donde:

BSo = Es el más seco de los BS con un coeficiente de p/t (22.9)

K = Templado con verano cálido, temperatura media anual

X' = Régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno.

e = Extremoso con oscilación entre 7.0 y 14.0 C.

La temperatura media anual es de 18° C, mientras que la precipitación media anual es de alrededor de 345 mm.

Los meses más lluviosos en el año son de junio a septiembre, siendo el más lluvioso el mes de julio.

La evaporación promedio mensual es de 178 mm, siendo la evaporación más intensa en los meses de mayo a junio, con 236 y 234 mm respectivamente.

Características del Suelo del Sitio Experimental

El suelo del sitio experimental fué muestreado a una profundidad de 80 cm, a intervalos de 20 cm entre muestreos. A cada muestreo se le determinaron sus características Fisico-Químicas, las cuales se llevaron a cabo en el laboratorio de Riego y Drenaje de la UAAAN, los resultados se presentan en los Cuadros 2.1, 2.2 y 2.3.

Cuadro 2.1 Texturas del suelo del sitio experimental.

Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clasificación Textural
00 - 20	15.6	53.8	30.6	Migajón-Arcillo Limoso.
20 - 40	13.6	61.8	24.6	Migajón - Limoso
40 - 60	9.6	25.8	64.6	Arcilla.
60 - 80	1.6	21.8	76.6	Arcilla.

Cuadro 2.2 Constantes de humedad y densidad aparente, promedio del sitio experimental.

Profundidad (cm)	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Densidad aparente (gr/cm ³)
00 - 20	34.73	20.22	1.03
20 - 40	31.57	22.50	1.12
40 - 60	35.00	21.46	1.24
60 - 80	30.00	20.30	1.30

Cuadro 2.3 Propiedades Químicas del suelo del sitio experimental.

Propiedad	P r o f u n d i d a d (c m)			
	00-20	20-40	40-60	60-80
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	0.72	0.60	0.36	0.51
p.H.	8.32	8.39	8.28	8.03
Materia orgánica (%)	5.00	5.00	1.40	0.51
Nitrógeno total (%)	0.25	0.25	0.07	0.03
Potasio intercam. (%)	21.50	94.50	94.50	40.50
Fósforo aprove. (kg/ha)	40.93	42.77	41.04	39.84
Carbonatos totales (%)	17.99	22.13	27.65	58.47

Por sus características físicas el suelo de horizonte estudiado es de mediana capacidad de almacenamiento de agua, tiene 125 mm/m de humedad aprovechable para el crecimiento de los cultivos (García y

Eriones, 1986). De acuerdo a sus propiedades químicas el suelo es extremadamente rico en materia orgánica y nitrógeno total en las profundidades 00-20 y 20-40, y mediana para las otras dos profundidades. El suelo es mediano en cuanto a fósforo aprovechable y pobre en potasio intercambiable. No tiene problemas de salinidad.

Constantes de Humedad

Los valores de porcentaje de agua a capacidad de campo y punto de marchitez permanente en cada profundidad, se determinaron por el método de la olla de presión. Para lo cual se aplicó una tensión de 0.3 y 15 atmósferas respectivamente. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 2.2.

Agua de Riego.

El agua suministrada al cultivo provenía de un pozo profundo ubicado al oriente de la Universidad, las características químicas de dicha agua se muestran en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4 Propiedades químicas del agua de riego, empleada en este estudio.

Propiedad	Valor
Conductividad eléctrica	723 micromhos/cm
p. H.	7.4
Calcio	4.8 meq/lt.
Magnesio	2.3 meq/lt.
Potasio	0.2 meq/lt.
Sodio	0.04 meq/lt.
Carbonatos	0.0 meq/lt.
Bicarbonatos	5.8 meq/lt.
Cloro	0.5 meq/lt.
Sulfatos	5.89 meq/lt.

La clasificación según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (1985), el agua se clasifica como C₂S₁, lo cual indica que el agua es de salinidad media y puede usarse sin necesidad de prácticas especiales de control de salinidad y S₁ significa que es agua baja en sodio y puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos y cultivos sin afectar significativamente su rendimiento.

Factores y Niveles de Estudio.

Como factores de estudio, el ciclo vegetativo del maíz se dividió en tres etapas fenológicas, quedando delimitadas de la siguiente manera:

Etapa vegetativa (V) = Se consideró a partir de la germinación hasta el inicio de la floración (inicio de espigamiento).

Etapa de floración (F)= Corresponde desde el inicio del espigamiento hasta el grano en estado lechoso.

Etapa de madurez (M)= Comprende desde que el grano llegó a estado lechoso hasta la madurez fisiológica.

Se tomaron además cuatro niveles de abatimiento de la humedad aprovechable del suelo, que fueron: 25, 50, 75 y 100 por ciento.

Diseño Experimental.

Si tomamos el experimento como un factorial completo en el diseño de tratamientos las posibles combinaciones entre las etapas fenológicas del maíz y los cuatro niveles de abatimiento de la humedad del suelo, daría como resultado un factorial 4^3 o sea 64 posibles combinaciones siendo cada una de ellas un posible tratamiento, esto

multiplicado por el número de repeticiones que necesariamente se tendrían que hacer, resultaría en un número muy grande de unidades experimentales.

Dado lo anterior se optó por el diseño de tratamientos San Cristobal de 3 factores reduciendo el número de posibles combinaciones a solamente 12 (Fig 2.1, Cuadro 2.5), siendo estos una muestra seleccionada del total que resultarían de un factorial 4^3 , este tipo de diseño fué desarrollado por Rojas (1979).

Cuadro 2.5 Tratamientos resultantes.

TRATAMIENTO	ETAPA FENOLOGICA		
	VEGETATIVA	FLORACION	MADUREZ
1	25 *	25	25
2	25	75	25
3	25	25	75
4	25	75	75
5	50	50	50
6	50	100	50
7	50	50	100
8	75	25	25
9	75	75	25
10	75	25	75
11	75	75	75
12	100	50	50

* Abatimiento de la humedad aprovechable

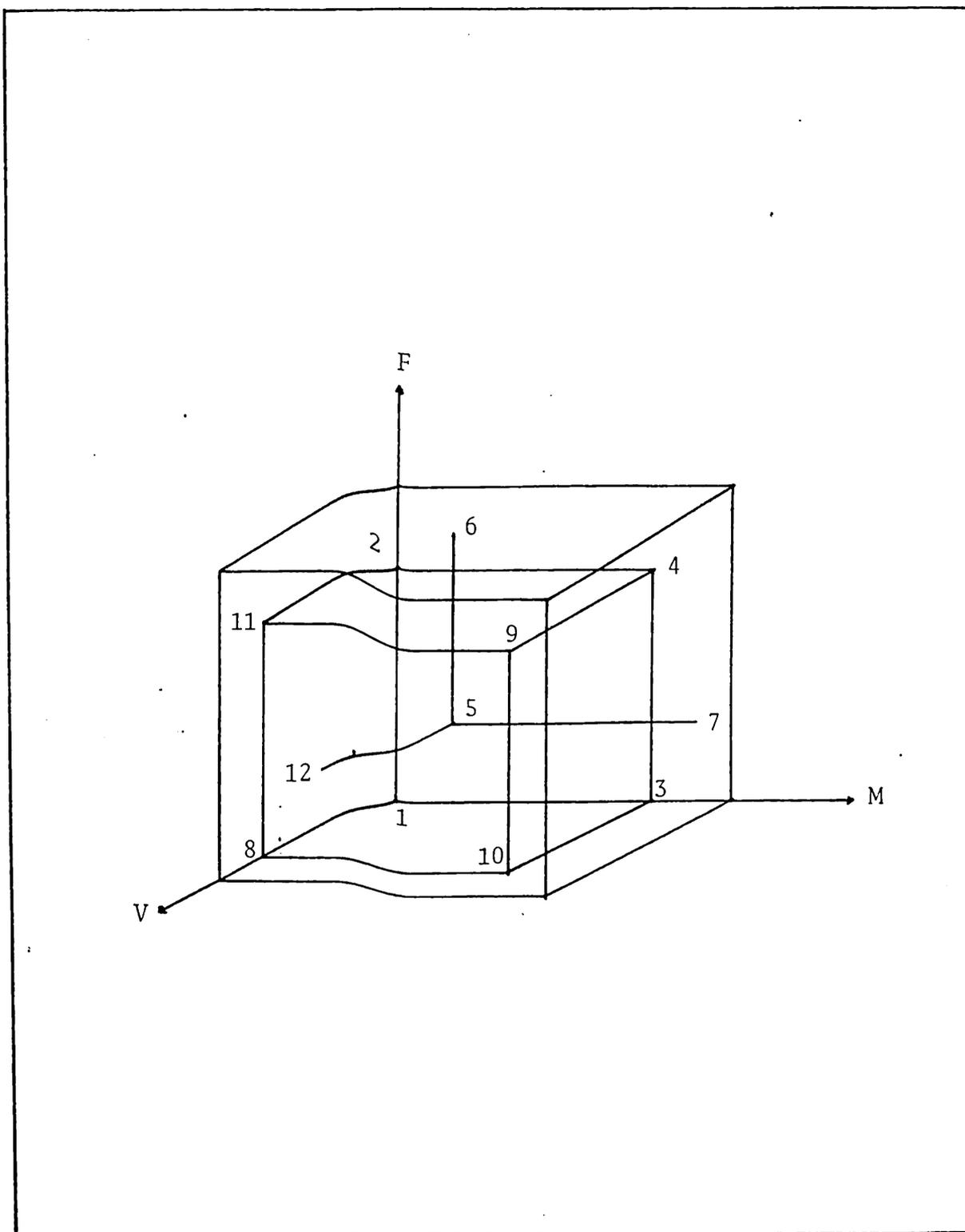


Figura 2.1 Representación geométrica de la matriz San Cristóbal (factorial incompleto de 4^3), para los tratamientos propuestos.

Los tratamientos fueron distribuidos de acuerdo al diseño de bloques al azar, con tres repeticiones como se muestra en la Fig. 2.2

Manejo del Experimento.

Las prácticas agronómicas llevadas a cabo durante el desarrollo del cultivo, fueron las recomendadas en el paquete Tecnológico para la producción del híbrido de maíz AN-430R en Coahuila. Realizada por el Instituto Mexicano del Maíz, perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

La preparación del terreno constó de un barbecho profundo realizado tres meses antes de establecer el experimento, después se dió un paso de rastra con la finalidad de mullir el terreno. Una vez hecho lo anterior se dió un paso con tablón a fin de nivelar el terreno. El surcado se realizó a un espaciamento de 75 cm y se llevó a cabo en forma manual.

Las dimensiones de la unidad experimental fueron de 3.75 m (5 surcos) por 6 m de largo, con una separación entre parcelas de 2.25 m (3 surcos), con la finalidad de que sirviera como colchón amortiguador del flujo subsuperficial de agua.

La siembra se realizó en forma manual y en seco, el día 21 de abril de 1988. Para lo cual se utilizaron

REPETICIONES

III	II	I
7	10	5
6	9	11
5	1	6
8	3	12
12	11	3
9	8	10
4	6	7
11	2	1
2	5	8
3	4	4
10	12	9
1	7	2

Figura 2.2 Distribución de tratamientos en el campo.

sembradoras manuales proporcionadas por el Instituto Mexicano del Maíz (IMM). La semilla utilizada fué el híbrido AN-430R desarrollado por el IMM.

Se utilizó una densidad de siembra de 60 000 plantas por hectárea, la cual se logró sembrando con una distancia entre plantas de 22 cm y 75 cm entre hileras o surcos. La siembra se realizó en el lomo del surco y depositando 2 semillas por punto, para después aclarar y obtener la población deseada.

La dosis de fertilización aplicada fué de 120-90-00, de la cual se aplicó 60-90-00 antes del riego de nacencia y el resto al aplicar el riego de uniformización.

Riegos.

El día 24 de abril de 1988 se aplicó el riego de nacencia o germinación, después se aplicó otro el día 14 de mayo, con el fin de uniformizar los tratamientos y a partir del cual se iniciaron los tratamientos de riego.

Para definir el momento del riego se utilizó el modelo de balance de humedad del suelo propuesto por Palacios (1982). Los riegos se aplicaron utilizando sifones de dos pulgadas de diámetro, previamente calibrados.

Modelo de balance de humedad del suelo propuesto por Palacios (1982).

$$S_{mi} = S_{mi-1} - ET_{ai} + PP_i + R_{oi} - D_i$$

Donde:

S_{mi} = Humedad del suelo del día i

S_{mi-1} = Humedad del suelo del día $i-1$

ET_{ai} = Evapotranspiración actual del día i

PP_i = Precipitación del día i

R_{oi} = Riego día i

D_i = Lámina drenada ó percalada día i **

** Esta variable no se incluyó.

La estimación de evapotranspiración actual se estimó de la siguiente manera:

$$ET_{ai} = K_c * K_s * E_v$$

$$ET_{ai} = (K + F(t_i/t_c)^2 * (1 - (t_i/t_c))) * (1 / (1 + (E_{vi}/60) * (1 - H_{ai}) / (H_{ai}))) * E_{vi}$$

Donde:

K = Parámetro de la función que indica la proporción de evaporación del suelo desnudo. Se utilizó el valor propuesto por el autor que es de 0.27.

F = Índice de área foliar medio, (relación media entre el área de las hojas y la superficie del suelo cubierta por el cultivo).

t_i = Duración del cultivo en días desde la siembra hasta el período i .

t_c = Duración total del ciclo vegetativo del cultivo en días.

H_{ai} = Humedad aprovechable residual (fracción) para el día i .

EVi = Evaporación del tanque tipo "A" para el día i .

Para facilitar los cálculos anteriores se utilizó el programa realizado por Ramírez (1988). El cual fué corrido en una computadora HP-150.

En relación al control de plagas, fué necesaria dos aplicaciones de insecticida, para el control del gusano cogollero.

Cosecha

La cosecha se realizó de manera manual, siendo las dimensiones de la parcela útil de 2.20 m de largo por 2.25 m de ancho (4.95 m²).

Variables de Respuesta

Las variables de respuesta consideradas para la evaluación de este trabajo fueron las siguientes:

- Rendimiento de grano (ton/ha)
- Rendimiento de materia seca (ton/ha)
- Altura de planta (cm)
- Area foliar máxima (cm²)
- Diámetro de mazorca (cm)
- Largo de mazorca (cm)
- Número de hileras
- Profundidad del grano (cm)
- Grosor del grano (cm)

- Granos por hilera
- Peso de 100 semillas (gr)

Medición de las variables de respuesta.

Al rendimiento de grano se le determinó su contenido de humedad para después hacer la corrección a 15 por ciento de humedad, por lo que éste está expresado a este por ciento.

El rendimiento de materia seca fué obtenido mediante la utilización de dos plantas por parcela, las cuales fueron secadas a una temperatura de 70° C, para después hacer la transformación a toneladas por hectárea.

La altura de la planta se midió desde el cuello de la misma hasta la última hoja ligulada en cm. Tomando para ello 5 plantas centrales de cada unidad experimental.

Al inicio del espigamiento se tomó el área foliar máxima, lo cual se llevó a cabo midiendo lo largo y ancho de las hojas para después multiplicarlo por el factor de .75 propuesto por Vega (1987). Para la determinación de esta variable se utilizaron 2 plantas centrales de cada parcela.

Para la determinación de los demás componentes del rendimiento se tomaron 5 mazorcas al azar de cada parcela, para después tomarles las características mencionadas.

Datos Climatológicos

Durante el desarrollo del experimento se tomaron datos diarios de temperatura máxima, mínima y promedio (x°C) y precipitación (mm), dicha información se encuentra en los Cuadros 4A al 7A del apéndice.

Modelos Probados para Predicción de Rendimiento Relativo de Grano

A continuación se muestran los modelos evaluados para la predicción de rendimiento de grano, en este estudio.

Modelo multiplicativo de Jensen (1968).

$$Y/Y_0 = \prod_{I=1}^n (E_{Ta}/E_{Tp})^{B_i}$$

Donde:

Y/Y_0 = Rendimiento relativo del cultivo

E_{Ta}/E_{Tp} = Evapotranspiración relativa durante la etapa i.

B_i = Factor de sensibilidad del cultivo en la etapa i de crecimiento.

El anterior modelo puede linealizarse mediante transformación logarítmica, lo cual facilita la obtención de los valores de B_1 , B_2 , B_3 y Y_0 . La ecuación resultante sería.

$$\text{Log } Y = \text{Log } Y_0 + B_1 * \text{Log} X_1 + B_2 * \text{Log} X_2 + B_3 * \text{Log} X_3$$

Donde:

$$X_i = E_{T_{ai}} / E_{T_{pi}}$$

La obtención de los estimadores de los parámetros de las funciones de respuesta fué mediante mínimos cuadrados, lo cual se llevó a cabo utilizando programas de computadora.

Palacios y Martínez (1978), proponen un modelo aditivo de la siguiente forma:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_1^2 + B_5 X_2^2 + B_6 X_3^2 + B_7 X_1 * X_2 + B_8 X_2 * X_3 + B_9 X_1 X_3$$

Donde:

Y = Rendimiento relativo

B_i = Coeficiente estimado mediante regresión.

X_i = Insumo que ingresa al sistema.

Para la obtención de este modelo fueron probados dos insumos (X_i):

X(1) = Evapotranspiración relativa por etapa (fracción).

X(2) = Humedad aprovechable residual promedio por etapa (fracción).

Modelo de Hiler y Clark (1971)

Proponen un modelo de índice de deficiencia día, el cual tiene la siguiente expresión matemática.

$$I D = \sum_{i=1}^n (F D_i * F S_i)$$

Donde:

IDD = Índice de deficiencia día.

F_{D_i} = Factor de deficiencia diaria.

F_{S_i} = Factor de susceptividad.

n = Número de etapas de desarrollo consideradas.

Este modelo supone que existe una dependencia lineal entre el IDD y el rendimiento de grano por lo cual la función para estimar rendimiento es:

$$Y = Y_0 - B * IDD$$

Donde:

Y = Rendimiento relativo

Y₀ = Rendimiento potencial cuando no se presentaron deficiencias hídricas.

B = Parámetro de regresión.

El factor de déficit se estima con la siguiente relación.

$$F D_i = (1.0 - (E T_{ai} / E T_{pi}))$$

Donde:

E T_{ai} = Evapotranspiración actual etapa i.

ETPi = Evapotranspiración potencial etapa i.

El factor de susceptividad se estima con la siguiente ecuación.

$$FSi = ((Y_0 - Y_i) / Y_0)$$

Donde:

Yi = Rendimiento del cultivo cuando es sometido a deficiencia hídrica únicamente durante el período i de desarrollo.

Yo = Rendimiento potencial sin déficit.

Para este estudio y debido a que las condiciones no permitieron encontrar estos factores de susceptividad se utilizaron los propuestos por Hiler y Clark (1971), los cuales se muestran a continuación.

ETAPA	FSi
Vegetativa	0.25
Floración	0.50
Madurez	0.21

U.A.A.A.N.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los tratamientos propuestos en la sección de materiales y métodos, sufrieron modificaciones por las condiciones climáticas existentes durante el desarrollo del experimento, ver Cuadros 4A al 7A y figura 1A del apéndice, por lo anterior se presentan los resultados haciendo mención a los tratamientos logrados Cuadros 1A y 2A del apéndice.

El análisis de varianza realizado para las variables rendimiento de grano y producción de materia seca, así como para los componentes del rendimiento: altura de planta, área foliar, diámetro de mazorca, largo de mazorca, número de hileras de granos, profundidad del grano, grosor del grano, granos por hilera y peso de 100 granos se muestran en los Cuadros 8A al 11A del apéndice. Un resumen de los parámetros estadísticos, de cada una de las variables en estudio se pueden observar en el Cuadro 3.1.

Como se puede observar existen diferencias significativas entre los tratamientos de riego en lo que respecta a rendimiento de grano, materia seca, altura final de planta y granos por hilera. Lo cual coincide con lo

Cuadro 3.1 Parámetros estadísticos de las variables estudiadas.

VARIABLE DE RESPUESTA	F.C.	PARAMETROS ESTADISTICOS			C.V. (%)
		F.tablas .05	.01	SIGNIFICANCIA	
REND. GRANO	2.97	2.26	3.19	*	10.81
REND. MAT. SEC.	3.25			**	15.95
ALTURA FINAL	15.27			**	4.70
AREA FOLIAR TOT.	7.78			**	11.82
DIAMETRO MAZORCA	1.86			NS	3.48
LARGO MAZORCA	1.91			NS	6.21
NUMERO HILERAS	0.61			NS	8.04
GRANOS POR HILERA	2.55			*	4.69
PROF. GRANO	1.68			NS	3.58
GROSOR GRANO	0.56			NS	4.72
PESO 100 GRANOS	0.77			NS	8.13

* Dif. significativa al 5 por ciento.

** Dif. significativa al 1 por ciento.

NS No existe diferencia significativa.

encontrado por Palacios (1980), el cual menciona que las diferencias en rendimiento de grano por deficiencias de humedad en el suelo se deben en mayor parte al componente del rendimiento número de granos por hilera.

A continuación se mostrarán y discutirán los resultados de cada una de las variables en estudio.

Rendimiento de Grano

La prueba de comparación de medias realizada para esta variable Cuadro 3.2, muestra que existe una reducción del rendimiento cuando la humedad aprovechable residual

promedio alcanza un 35 por ciento Cuadro 4A. En dichos tratamientos el abatimiento de la humedad aprovechable llegó a alcanzar hasta un 100 por ciento. La reducción del rendimiento por tal deficiencia es del orden del 22 por ciento.

Cuadro 3.2 Comparación de medias de rendimiento de grano (ton/ha).

Tratamiento	Media	
6	9.622	a
2	9.126	a b
3	8.907	a b c
4	8.846	a b c
7	8.665	a b c d
5	8.083	a b c d e
1	8.008	b c d e
12	7.672	b c d e
11	7.513	b c d e
8	7.411	c d e
9	6.989	d e
10	6.818	e

Duncan al 5 por ciento.

Hiler y Clark (1971) y Rodríguez (1985), mencionan que una deficiencia de humedad en esta etapa reduce el rendimiento de grano en un 25 y 24 por ciento respectivamente, lo cual coincide en cierto grado con los resultados obtenidos en este trabajo.

En la etapa de floración se lograron abatimientos hasta de un 59 por ciento (tratamiento 10) Cuadro 1A (humedad aprovechable residual promedio de 67 por ciento), en las cuales se redujo el rendimiento en aproximadamente

500 kg Cuadro 3.2 , sin embargo dichos rendimientos se comportaron estadísticamente iguales a los tratamientos sin este abatimiento. Esta etapa es la más crítica del cultivo como lo señala Hiler y Clark (1971), Doorembos y Kassam (1979), Palacios (1980) y otros. Pero debido a las condiciones existentes durante esta etapa no fué posible someter el cultivo a un mayor estrés. Cuadro 1A.

En el tratamiento 1 durante la etapa de floración se mantuvo la humedad por encima de capacidad de campo (suelo saturado), ver Cuadro 4A y figura 2A, lo que ocasionó que redujera su rendimiento, Cuadro 3.2, debido esto a que el estado de saturación del suelo impide la adecuada aeración del mismo.

Rendimiento de Materia Seca

Como se puede observar en los Cuadros 3.1 y 3.3 existe una marcada diferencia en producción de materia seca, lo anterior nos indica que hay una gran dependencia entre el consumo de agua y la producción de materia seca final, Cuadro 3.3. Los mayores rendimientos de materia seca, corresponden también a los mayores rendimientos de grano (tratamientos 2 y 6), así como el menor rendimiento de materia seca correspondió al menor rendimiento de grano, y a uno de los menores niveles de evapotranspiración total (tratamiento 10). La diferencia entre los extremos del rendimiento es del orden del 57 por ciento.

Cuadro 3.3 Comparación de medias de rendimiento de materia seca (ton/ha).

TRATAMIENTO	MEDIA (ton/ha)
2	29.27 a
6	27.68 a b
4	26.65 a b c
3	26.13 a b c
1	25.98 a b c d
8	24.31 a b c d
7	23.49 a b c d e
5	21.75 b c d e
9	20.15 c d e
12	20.09 c d e
11	18.83 d e
10	16.83 e

duncan al 5 porciento

La deficiencia de humedad durante la etapa vegetativa tuvo marcada influencia sobre el rendimiento final de materia seca, lo cual concuerda con lo señalado por Fisher y Turner (1978).

Altura Final de Planta

La altura final de la planta está influenciada directamente por el nivel de abatimiento de la humedad del suelo Cuadro 3.4. A medida que aumenta el déficit disminuye la altura final de la planta.

Cuadro 3.4 Comparación de medias de altura final de planta (cm).

TRATAMIENTO	MEDIA	
2	2.394	a
1	2.355	a b
4	2.308	a b c
3	2.284	a b c
7	2.210	a b c
5	2.187	b c
6	2.165	c
11	1.904	d
12	1.901	d
8	1.865	d
10	1.831	d
9	1.802	d

duncan al 5 por ciento.

La deficiencia de humedad en la etapa vegetativa es determinante en la altura final de la planta, lo cual se puede observar al comparar los tratamientos del 8 al 12 los cuales tuvieron abatimientos de la humedad aprovechable hasta del 100 por ciento en dicha etapa, lo cual ocasionó que se comportaran estadísticamente iguales entre sí y diferentes con los restantes. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Vega (1987), Leeper *et al* (1974).

La diferencia máxima entre la altura final de plantas que tuvieron estrés y las que no lo tuvieron fué del orden de 59 cm. Gardner *et al* (1982), obtuvieron diferencias de 50 cm.

Area Foliar

La comparacion de medias realizada para esta variable en estudio Cuadro 3.5 detecta una diferencia estadística para los tratamientos del 1 al 7 y del 9 al 12. Lo anterior indica que ha medida que se reduce la humedad el área foliar total final también se ve reducida, sobre todo si ésta ocurre en la etapa vegetativa del cultivo.

Coincide con lo encontrado por Flesch y Dale (1987), los cuales que bajo estrés las plantas reducen el área foliar. Lo cual también es afirmado por Vega (1987).

Abatimiento de hasta 83 por ciento de la humedad aprovechable en la etapa vegetativa, no tuvo efecto significativo sobre el desarrollo del área foliar.

Cuadro 3.5 Comparación de medias de tratamiento de área foliar total (cm²/planta), e índice de área foliar (IAF), medido al inicio de la etapa de floración.

TRATAMIENTO	AREA FOLIAR TOTAL MEDIA	IAF
4	7785 a	4.72
3	7520 a	4.56
1	7457 a	4.52
2	7172 a	4.35
7	7014 a	4.24
6	6994 a	4.24
5	6721 a b	4.07
12	5393 b c	3.27
11	5172 c	3.14
10	4855 c	2.94
8	4772 c	2.89
9	4770 c	2.89

duncan al 5 por ciento

Existe una dependencia directa entre la evapotranspiración total ocurrida en la etapa vegetativa y el área total de la planta. Lo anterior se puede observar en la figura 3.1. El modelo resultante para predecir el área foliar fué el siguiente:

$$A_{Ft} = -459022 + 55.7899 * ET_1$$

$$R^2 = 0.95$$

Donde:

A_{Ft} = Area foliar total (cm²)

ET_1 = Evapotranspiración total en la etapa vegetativa (mm)

R^2 = Coeficiente de determinación.

Peso de 100 Granos, Largo de Mazorca, Diámetro de Mazorca y
Granos por Hilera

En el análisis estadístico realizado para estos componentes del rendimiento se encontró únicamente diferencias estadísticas para número de granos por hilera, ver Cuadros 11A Y 12A. Sin embargo la comparación de medias realizadas Cuadro 3.6 muestra que los tratamientos del 1 al 7 que son los de mayores rendimientos, también son los que tienen los valores más altos en estos componentes del rendimiento.

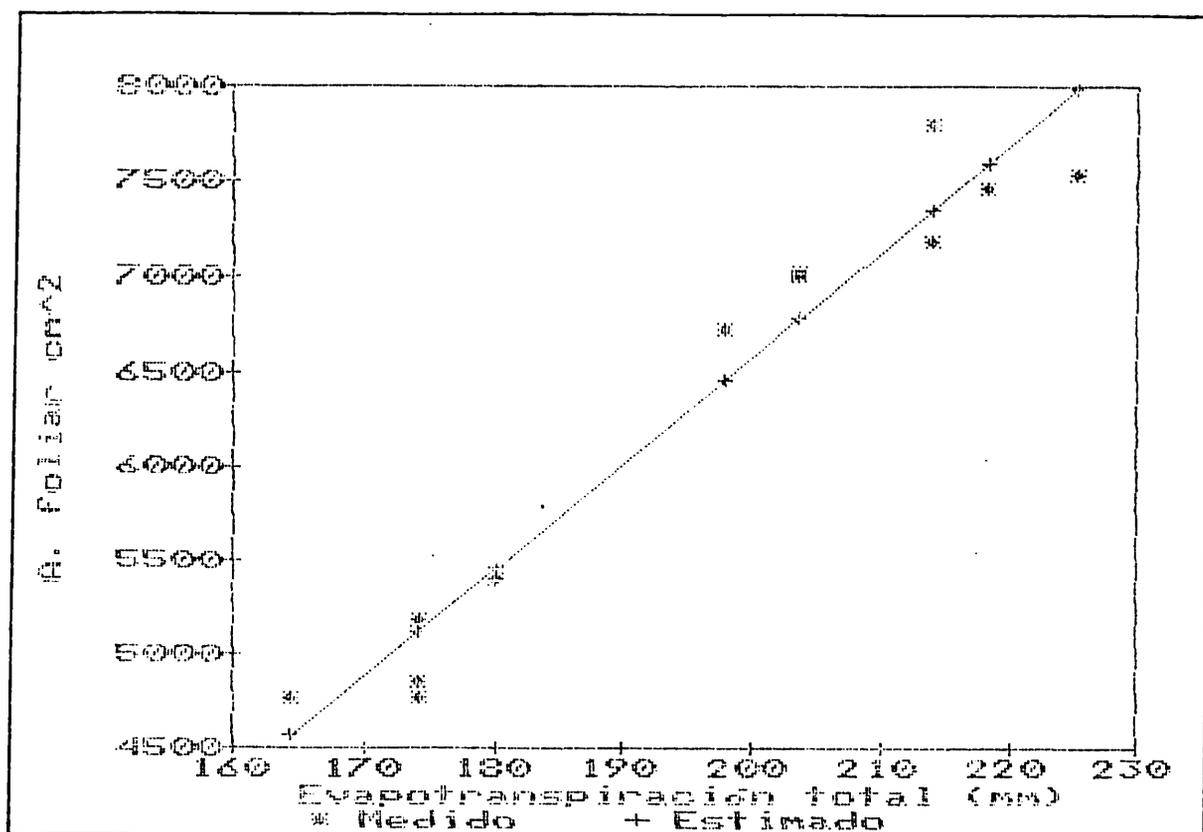


Figura 3.1 Relación entre la evapotranspiración acumulada hasta el inicio de la etapa de floración y el área foliar total (cm²), hasta la misma etapa, para los diferentes tratamientos.

Los tratamientos más bajos en rendimiento de grano 10 y 9 también tienen los valores más bajos en número de granos por hilera, concordando con lo encontrado por Palacios (1980).

Número de Hileras Profundidad y Grosor del Grano

El análisis estadístico realizado para estos componentes del rendimiento, no se encontró diferencia significativa en ninguno, Cuadro 3.7. Pero sin embargo al hacer la comparación de medias por Duncan, se encontró

Cuadro 3.6 Comparación de medias para peso de 100 granos, largo de mazorca (cm), diámetro de mazorca (cm) y granos por hilera.

TRATAMIENTO	M E D I A S			
	PESO DE 100 GRANOS	LARGO MAZORCA	DIAMETRO HILERA	GRANOS *
1	34.10ab	15.70abc	5.36ab	36.93abcd
2	34.83ab	16.56a	5.36abc	39.13a
3	34.47ab	16.55a	5.29abc	38.73ab
4	33.77ab	15.81abc	5.26abc	37.80abc
5	35.67ab	15.23abc	5.26abc	37.67abc
6	36.73a	15.94ab	5.26a	37.13abcd
7	34.63ab	16.31ab	5.22a	39.07a
8	34.67ab	15.28abc	5.13abc	35.80 cd
9	33.17ab	14.04 c	5.09abc	34.27 d
10	32.40ab	14.89abc	5.08 c	34.67 d
11	31.77 b	14.67 bc	4.97abc	36.13abcd
12	32.77ab	15.47abc	4.93 bc	37.13abcd

duncan al 5 por ciento.

Cuadro 3.7 Comparación de medias para número de hileras, profundidad y grosor del grano (cm).

TRATAMIENTO	NUMERO DE HILERAS	PROFUNDIDAD DEL GRANO	GROSOR DEL
1	14.90a	1.21abc	0.40a
2	15.07a	1.22ab	0.41a
3	14.53a	1.21abc	0.43a
4	15.33a	1.18abc	0.41a
5	14.13a	1.20abc	0.41a
6	14.80a	1.23a	0.40a
7	15.60a	1.19abc	0.41a
8	14.40a	1.16abc	0.41a
9	14.40a	1.15abc	0.40a
10	14.00a	1.14 c	0.40a
11	14.80a	1.15 bc	0.40a
12	13.87a	1.73abc	0.40a

duncan al 5 por ciento.

diferencia para profundidad del grano, siendo el tratamiento 6 el de mayor rendimiento de grano el mismo que tuvo la máxima profundidad del grano.

Rendimiento de Materia Seca y Grano, en Función de la Evapotranspiración Total

Como podemos observar en los Cuadros 3.6, 3.7 y 3.8, existe diferencia significativa entre medias de rendimiento de grano y materia seca, para los diferentes tratamientos evaluados.

La evapotranspiración total del cultivo durante su ciclo de vida, tiene una relación lineal con el rendimiento de materia seca Fig 3.3, sin embargo la relación entre la evapotranspiración total y rendimiento de grano es del tipo cuadrático Fig 3.2.

Lo anterior es mencionado por Volodarskij y Zinevic (1960), los cuales dicen que una evapotranspiración menor en la etapa vegetativa reduce el rendimiento de materia seca, pero el rendimiento de grano no se ve reducido siempre que el estrés no sea muy severo.

Por otro lado Palacios (1980), muestra que las máximas evapotranspiraciones totales no necesariamente vienen acompañadas de los más altos rendimientos de grano.

En la Fig. 3.2 se puede observar que la relación entre rendimiento de grano y evapotranspiración total es del tipo cuadrático. La ecuación de predicción de rendimiento de grano en función de la evapotranspiración total se muestra a continuación.

$$RG = -130.59 + 0.6513 * ETt - 0.00076 * ETt^2$$

$$R^2 = 0.90$$

Donde:

RG = Rendimiento de grano (ton/ha)

ETt= Evapotranspiración total (mm)

R² = Coeficiente de determinación

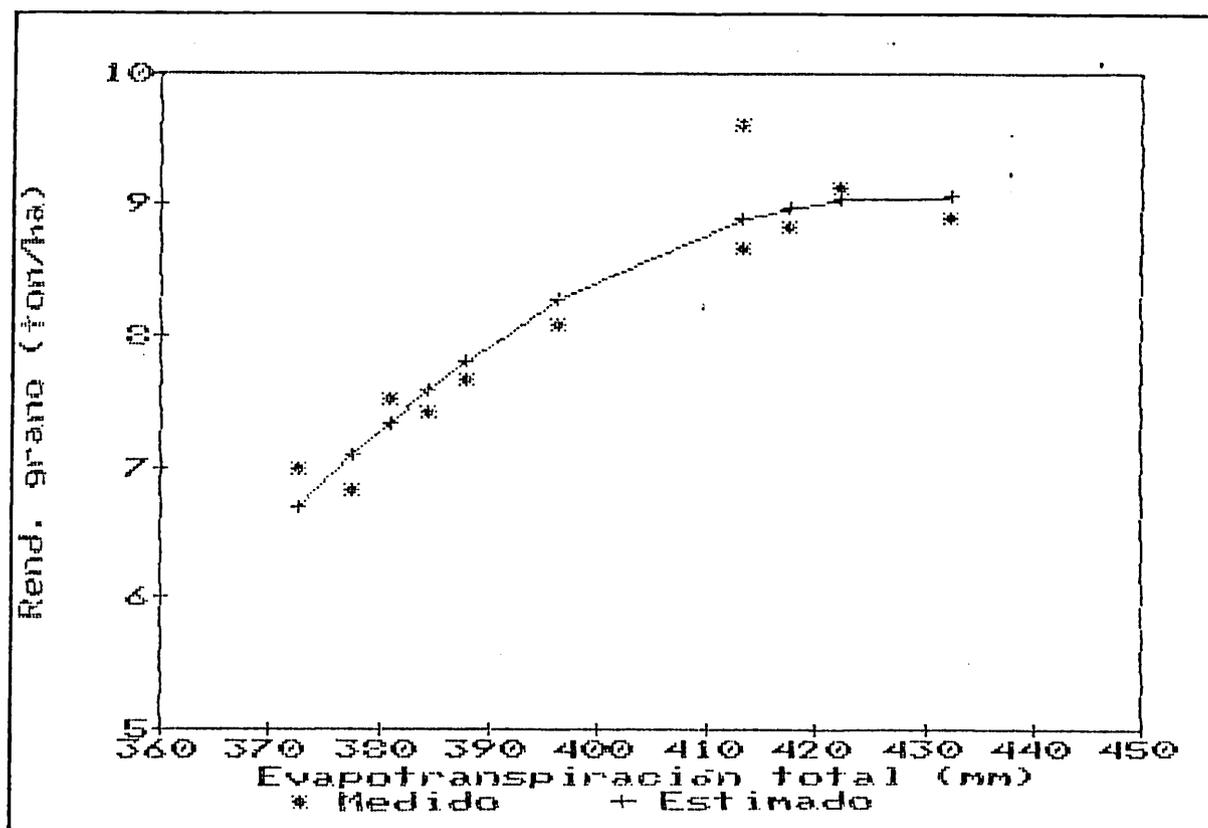


Figura 3.2 Relación entre evapotranspiración total (mm) y rendimiento de grano (ton/ha).

Como se puede observar en la figura 3.3 la relación existente entre rendimiento de materia seca y evapotranspiración total del cultivo es del tipo lineal. A continuación se muestra la ecuación de predicción así como su coeficiente de determinación.

$$\text{RMS} = -42.2053 + 0.1636 * \text{ETt}$$

$$R^2 = 0.71$$

Donde:

RMS = Rendimiento de materia seca (ton/ha)

ETt = Evapotranspiración total (mm)

R² = Coeficiente de determinación

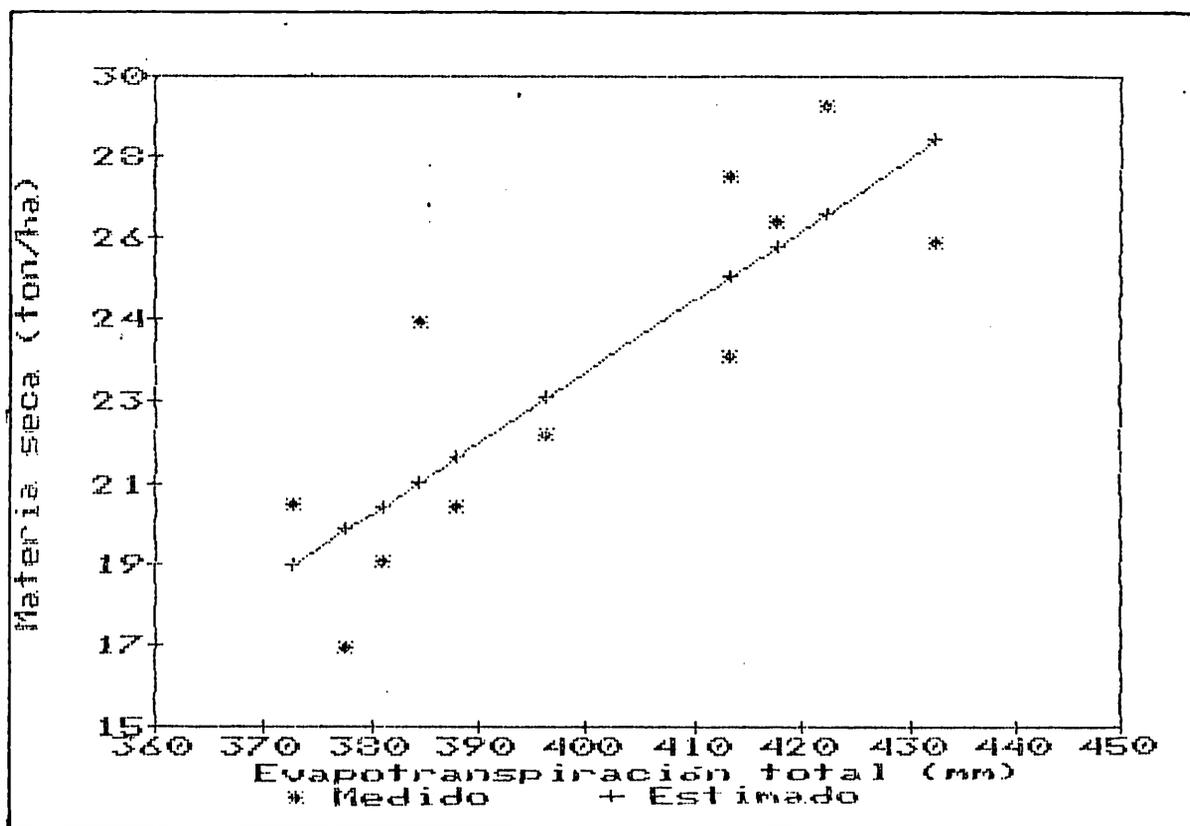


Figura 3.3 Relación entre evapotranspiración total (mm) y rendimiento de materia seca (ton/ha).

Funciones de Respuesta

Debido a las condiciones de exceso de humedad que ocurrieron durante la etapa de floración en el tratamiento número 1, se optó por eliminar dicho tratamiento en la obtención de los modelos de predicción. Por lo anterior en dichos modelos nada más se incluyen los 11 tratamientos restantes.

Modelo de Palacios y Martínez

Este modelo fué obtenido utilizando para estimar el rendimiento de grano relativo, dos variables:

Evapotranspiración relativa

$$ETr = ET_{i,i} / ET_{maxi}$$

Donde:

ETr = Evapotranspiración relativa (fracción)

$ET_{i,i}$ = Evapotranspiración del tratamiento i en la etapa fenológica i (mm).

ET_{maxi} = Evapotranspiración máxima de la etapa i (mm).

Humedad aprovechable residual promedio.

$$HAR_i = HA_{i,i} / HAcc$$

Donde:

HAR = Humedad aprovechable residual (fracción).

$HA_{i,i}$ = Humedad aprovechable del tratamiento i en la etapa fenológica i (mm).

HAcc = Humedad aprovechable a capacidad de campo (mm).

Utilizando la evapotranspiración relativa se obtuvo el siguiente modelo.

$$\begin{aligned}
 Y = & -545.778 - 1088.01 * X1 + 10069.5 * X2 - \\
 & 8062.42 * X3 - 34.31 * X1^2 - 3263.58 * X2^2 \\
 & + 5606.41 * X3^2 + 220.31 * X1 * X2 - \\
 & 3834.58 * X2 * X3 + 942.28 * X1 * X3
 \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.95$$

Donde:

- Y = Rendimiento de grano relativo (ton/ha).
 X1 = Evapotranspiración relativa en la etapa vegetativa (fracción).
 X2 = Evapotranspiración relativa en la etapa de floración (fracción).
 X3 = Evapotranspiración relativa en la etapa de maduración (fracción).

Utilizando la humedad aprovechable residual promedio, se obtuvo el siguiente modelo.

$$\begin{aligned}
 Y = & 1.5786 - 69.69 * X1 + 158.67 * X2 - 107.52 * \\
 & X3 - 14.98 * X1^2 + 77.91 * X2^2 + 160.48 * \\
 & X3^2 - 81.44 * X1 * X2 - 296.59 * X2 * X3 + \\
 & 185.14 * X1 * X3
 \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.95$$

Donde:

Y = Rendimiento de grano relativo (ton/ha).

X1 = Humedad aprovechable residual promedio para la etapa vegetativa (fracción).

X2 = Humedad aprovechable residual promedio para la etapa de floración (fracción).

X3 = Humedad aprovechable residual promedio para la etapa de madurez (fracción).

Como se puede observar en los resultados anteriores se obtuvieron coeficientes de determinación muy altos (0.95), utilizando evapotranspiración relativa y humedad aprovechable residual. Por lo tanto es indistinto utilizar cualquiera de estas dos variables para la obtención de rendimientos de grano relativos.

Modelo multiplicativo de Jensen

El modelo obtenido es el siguiente:

$$Y = 9.8912 * X1^{1.118} * X2^{-0.707} * X3^{1.648}$$

$$R^2 = 0.89$$

Donde:

Y = Rendimiento de grano (ton/ha).

X1 = Evapotranspiración relativa en la etapa vegetativa (fracción).

X2 = Evapotranspiración relativa en la etapa de floración (fracción).

X3 = Evapotranspiración relativa en la etapa de maduración (fracción).

Este modelo predice satisfactoriamente el rendimiento de grano como una función de la evapotranspiración, ya que tiene un coeficiente de determinación muy aceptable (0.89).

Modelo de Hiler y Clark

El modelo obtenido fué el siguiente:

$$Y = 9.8019 - 32.968 * IDD$$

$$R^2 = 0.79$$

Donde:

Y = Rendimiento de grano (ton/ha).

IDD = Índice de deficiencia día (fracción).

Para la obtención de este modelo se utilizaron los valores de susceptibilidad propuestos por Hiler y Clark (1971), debido a que se tendría que llevar a cabo un experimento por separado para poder obtenerlos.

En los Cuadros 3.8 y 3.9 se muestran los valores obtenidos de factor de deficit e indice de Deficiencia Día, obtenidos como se indicó en la sección de materiales y métodos , así como el rendimiento observado en cada tratamiento.

Cuadro 3.8 Factor de déficit ocurrido en cada uno de los tratamientos evaluados.

TRATAMIENTO	E T A P A		
	VEGETATIVA	FLORACION	MADUREZ
1	0.031	0.006	0.000
2	0.050	0.023	0.002
3	0.000	0.000	0.042
4	0.050	0.023	0.050
5	0.121	0.053	0.070
6	0.096	0.011	0.002
7	0.096	0.010	0.002
8	0.227	0.006	0.000
9	0.271	0.021	0.001
10	0.227	0.037	0.033
11	0.227	0.021	0.019
12	0.201	0.015	0.016

Cuadro 3.9 Indice de Deficiencia Diaria por etapa, total y rendimiento de grano en cada tratamiento.

TRATAMIENTO	E T A P A			TOTAL	REND. GRANO
	VEG	FLOR	MAD		
1	0.008	0.003	0.000	0.011	8.008 *
2	0.013	0.011	0.000	0.024	9.126
3	0.000	0.000	0.009	0.009	8.907
4	0.013	0.011	0.011	0.035	8.846
5	0.030	0.026	0.015	0.071	8.083
6	0.024	0.005	0.001	0.030	8.665
7	0.057	0.003	0.000	0.060	7.411
8	0.068	0.011	0.000	0.078	6.889
9	0.057	0.018	0.007	0.082	6.818
10	0.057	0.011	0.004	0.071	7.513
11	0.050	0.007	0.004	0.061	7.672
12					

* ton/ha.

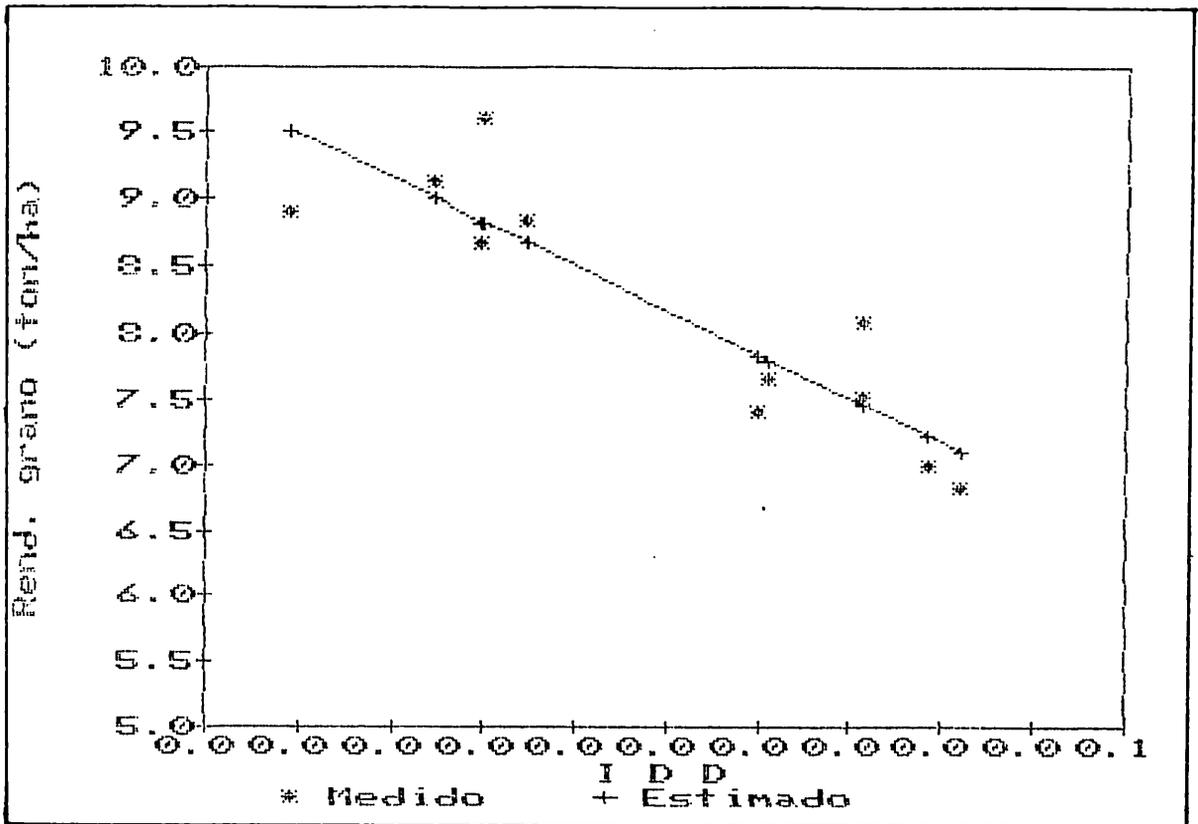


Figura 3.4 Efecto del Índice de Deficiencia Día (IDD) sobre el rendimiento de grano (ton/ha).

El modelo que mejor predice el rendimiento de grano es el descrito por Palacios y Martínez (1978), con un coeficiente de determinación de 0.95, el cual también fue encontrado como mejor en el estudio realizado por Ramírez (1988), pero con coeficientes de determinación más bajos. Este modelo puede ser usado, utilizando ya sea evapotranspiración relativa ó humedad aprovechable residual promedio en cada etapa.

El modelo que sigue en aceptación es el multiplicativo de Jensen (1968), con un coeficiente de determinación de 89 por ciento el cual es aceptable. Y el

Último modelo en cuanto a grado de dependencia entre la evapotranspiración relativa por etapa es el descrito por Hiler y Clark (1971), el cual probablemente tiene el coeficiente de determinación más bajo en la prueba (79 por ciento), debido a la utilización de factores de susceptibilidad propuestos por los autores.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en este estudio se concluye lo siguiente:

Se observó que deficiencias de humedad durante la etapa vegetativa provoca una reducción del rendimiento de grano del orden de 22 por ciento; la altura final se reduce un 35 por ciento y el rendimiento de materia seca se reduce un 25 por ciento.

Las diferencias en rendimiento de grano se deben en mayor parte al número de granos por hilera.

La evapotranspiración total ocurrida durante la etapa vegetativa tiene un efecto lineal sobre el desarrollo del área foliar.

Los modelos de predicción o producción existentes, difieren en su grado de eficiencia. El modelo propuesto por Palacios y Martínez fué el que mejor estimó los resultados, con un coeficiente de determinación de 0.95, le siguió el de Jensen con 0.89 y el más bajo fué el de Hiler y Clark con una dependencia del orden del 0.79. Se observó además que el modelo de Palacios y Martínez resulta igual en su

eficiencia, al utilizar evapotranspiración relativa o humedad aprovechable residual promedio por etapa.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Campo Agrícola Experimental Buenavista, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la cual se ubica al sur de la ciudad de Saltillo, Coah. y cuyas coordenadas geográficas son $25^{\circ} 23'$ de latitud Norte y $101^{\circ} 01'$ de longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Con una elevación de 1743 msnm.

El trabajo de investigación tiene la finalidad de evaluar el efecto de diferentes niveles de sequía inducida, en tres etapas fenológicas del desarrollo, sobre el rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L.), híbrido AN-430R y sus componentes. Así como obtener una función de producción que estime el rendimiento de grano, en función de la evapotranspiración que ocurre en tres etapas fenológicas del desarrollo del maíz.

Fueron probados 12 tratamientos, seleccionados del diseño de tratamientos San Cristóbal de 3 factores, propuesto por Rojas (1979), los cuales son una muestra seleccionada del total que resultarían de un factorial 4^3 . Los tratamientos resultantes fueron distribuidos de acuerdo al diseño de bloques al azar con 3 repeticiones. Para la

aplicación del riego se utilizó el modelo de simulación de humedad del suelo propuesto por Palacios (1982). Realizando además muestreos por el método gravimétrico.

Los modelos probados para estimar rendimiento de grano como función de la evapotranspiración relativa por etapa fueron: Palacios y Martínez (1978), Hiler y Clark (1971) y Jensen (1968). Siendo los dos primeros del tipo aditivo y el último multiplicativo.

Los resultados obtenidos muestran que el componente del rendimiento que tiene más efecto sobre el rendimiento de grano, fué el número de granos por hilera. El modelo que mejor predijo los rendimientos fué el de Palacios y Martínez, con un grado de dependencia del orden de 95 por ciento. El que le siguió en importancia fué el de Jensen con 89 por ciento y el más bajo coeficiente de determinación (0.79) le correspondió al modelo propuesto por Hiler y Clark.

LITERATURA CITADA

- Barret, J.W.H. and G.V. Scogerboe. 1980. Crop production functions and the allocation and use of irrigation water. *Agricultural water management*. 3, 53-64.
- Chang, J. 1968. *Climate and agriculture*. Ann ecological survey aldrine Publishing, Co. Chicago. 145-148.
- Chapa G., S.M. 1986. Respuesta del maíz a la tensión de humedad en el suelo en las etapas vegetativa y reproductiva. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 74 p.
- Denmead, O.T. and R.H. Shaw. 1960. The effect of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52:272-274.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1983. *Relación entre Suelo-Planta-Agua*. 3a. edición. Editorial Diana. México, D.F. 99 p.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de America. 1985. *Diagnóstico de Rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Editorial Limusa, 5a. edición. 172 p.
- Doorembos, J. y A.H. Kassam. 1979. Efecto del agua sobre los cultivos. *FAO. Riego y Drenaje* 33. Roma.
- Duarte R., J.J. y J.O. Félix. 1980. Efecto de la humedad aprovechable y la fertilización nitrofosfórica sobre el rendimiento del maíz en suelos de barrial. *Avances del CIANO*. p. 83
- Eck, H.V. 1986. Effects of water deficits on yield, yield components, and water use efficiency on irrigated corn. *Agron. J.* 78:1035-1040.
- Fisher, K.C., E.C. Johnson y G.O. Edmeades. 1984. *Mejoramiento y selección de maíz tropical, para incrementar su resistencia a sequía*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. CIMMYT. El Batán Mexico.

- Fisher, R.A. and N.C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semi-arid zones. *Ann Rev. Plant Physiol.* 29:227-317.
- Flesch, T.K. and R.F. Dale. 1987. A leaf area index model for corn with moisture stress reductions. *Agron. J.* 79:1008-1014.
- Flinn, J.C. and W. F. Musgrave, 1967. Development and analysis of input-output relations for irrigation water, *The Australian Journal of Agricultural Economic.* 11:1-20.
- Flinn, J.C. 1971. En Matthew, L. and D.A. Hauth. 1981. A corn yield model for operational planning and management. *Transactions of the ASAE.* 24:1520-1525.
- García, E. 1964. Modificación al sistema de clasificación climática de köppen para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana, E.N.A. Chapingo, México. pag 71
- García C., I y G. Briones S. 1986. Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y goteo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coahuila, Mex. p 20-25.
- Gardner, B.A., B.L. Blad, R.E. Maurer and D.G. Watts. 1982. Relationship between crop temperature and the physiological and phenological development of differentially irrigated corn. *Field Crop Abstract.* 35(4):313. London.
- Gros, A. 1981. Abonos. Guía práctica de la fertilización. 7a. edición. Editorial mundi-prensa. Madrid.
- Hanks, R.J. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agron. J.* 66, 660-665.
- Hanway, J.J. 1971. How a corn plant develops. special report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. 26 p.
- Heady, E.O. and R.W. Hexem. 1978. Water production functions for irrigated agriculture. Iowa, USA 215 p.
- Hiler, E.A. and R.N. Clark. 1971. Stress day index to characterize effects of wather stress on crop yields. *Transaction of the ASAE.* Michigan, USA. 14(4):797 p.

- ✓ Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24:519-570.
- ✓ Hsiao, T.C. , E. Fereres , E. Acevedo and D.W. Henderson. 1976. E. water stress and dynamics of growth and yield of corn plants. In ecological studies 19. Springer Verlag New York. Heidelberg Berlin 66p.
- ✓ Jensen, M.E. 1968. Water consumption by plant in T.T. Kozlowte (ed). Water deficit an plants growth. academic press. New York, USA vol 2 1-22 p.
- ✓ _____ 1978. Design and operation of farm irrigation systems. Ann ASAE monograph. USA.
- Jurgens, S.K. ; R.R. Johnson and J.S. Boyer. 1978. Dry matter production and traslocation in maize subyected to drougth during grain fill. Agron. J. 70:678-682.
- Kaliappa, R., S. Venkatachalam, K. M. Nachappan, K. V. Selvajaj and S. Rajaram, 1976. Studies on water requirement of maize. Field Crop Abstracts. 29(5):324. London.
- ✓ Kramer, P.J. 1963. Water stress and plant growth. Agron. J. 55:31-32.
- _____ . 1974. Relaciones hidricas de suelos y plantas una sintesis moderna. Edumex, S.A. 538 p.
- Leeper, R.A. ; E.C.A. Runge and W.M. Walker. 1974. Effect of plant-available stored soil moisture on corn yield. I. Constant climatic conditions. Agron. J. 66:723-727.
- Lira R.H. y C.H. Castro. 1977. Determinación del calendario óptimo de riego en el cultivo del maíz para los híbridos H-419 y H-509. Avances del CIANO.
- Matthew, L. and D.A. Hauth. 1981. A corn yield model for operational planning and management. Transactions of the ASAE. 24:1520-1525.
- Moreno, R.A. 1984. Una función de producción para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en base a la variación de humedad del suelo en diferentes etapas fenológicas. Tesis de Maestría. UAAAN. 86 p.
- Musick, T.J. and D.A. Dusek. 1980. Irrigated corn yield response to water. Transactions of the ASAE. 23:92-103.

- ✓ Norero, A. 1976. Evaporación y transpiración, CIDIAT, Mérida, Venezuela. 87 p.
- Onofri, M. 1977. Effect of increase in soil moisture tension on yield of grain maize grown in three different soil. *Field Crop Abstracts*. 30(3):158. London.
- Ortiz E., J.E. 1982. Evaluación de la humedad aprovechable en cuatro variedades de maíz de primavera, en suelos de barrial. *Avances del CIANO*. p 70.
- _____. 1983. Evaluación de la humedad aprovechable del suelo en cuatro variedades de maíz, en suelos de textura de barrial en el valle del Yaquí, Son. *Avances del CIANO*. p 69.
- Palacios S., J.E. 1980. Respuesta del cultivo del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes niveles de humedad en el suelo, en tres etapas fenológicas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. 76 p.
- Palacios V., E. 1982. Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer el cuando y el cuanto regar. Centro de Hidrociencias, México. (Recopilación de artículos publicados). pag. 69-98.
- Palacios V., E. Y A. Martínez G. 1978. Respuesta en el rendimiento de los cultivos a diferentes niveles de humedad del suelo. Un enfoque metodológico de investigación. Rama de Riego y Drenaje. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados, Chapingo México. 149 p.
- Ramírez H., P. 1988. Modelos de producción para trigo en función de la evapotranspiración en tres etapas fenológicas. Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. 96 p.
- Robins, J.S. and C.E. Domingo, 1953. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. *Agronomy Journal*. 45 (12) : 618-621. Wisconsin, U.S.A.
- Rodríguez G., M.A. 1985. Efecto del stress de humedad sobre el desarrollo, rendimiento y evapotranspiración del maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila 106p
- ✓ Rojas G., M. 1972. Fisiología vegetal aplicada 2da. ed. Editorial McGraw-Hill, México. 120p.

- Rojas B., A. 1979. Análisis estadístico del diseño San Cristóbal, con tres factores; Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. INIA. Tema didáctico Vol. 7. México 17 p.
- Stewart, J.I. R.D. Misra, W.O. Pruitt and R.M. Hagan. 1975. Irrigating corn and grain sorghum with a deficient water supply. Transactions of the ASAE. 18(2):270-280. Michigan, U.S.A.
- Sudar, R.A. , K.E. Saxton and R.G. Spomer. 1981. A predictive model of water stress in corn and soybeans. Transactions of the ASAE. 24(1):97-102. Michigan U.S.A.
- Tscheschke, P.O. and J.R. Gilley. 1979. Status and verification of Nebraska's corn growth model-CORNGRO. Transactions of the ASAE. 22(6): 1329-1337.
- Vega, G., J.D. and G. Barrera, P. 1982. Evaluation of three cultivars of maize (*Zea mays* L.) at three rates of depression in available soil moisture in Apodaca, N.L. Field Crop Abstracts. 35(12): 982. London.
- Vega, S.F. 1987. Estudio comparativo de dos mejoradores del suelo en Híbridos del maíz (*Zea mays* L.), bajo diferentes condiciones de humedad. Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 175 p.
- Volodarskij Y Zinevic. 1960. En Palacios V., E. Y A. Martínez G. 1978. Respuesta en el rendimiento de los cultivos a diferentes niveles de humedad del suelo. Un enfoque metodológico de investigación. Rama de Riego y Drenaje. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados, Chapingo México. 149 p.
- Yaron, D.I. 1987. Irrigation scheduling theoretical approach and application problems. Water Resources Management. 1:17-32.

A P E N D I C E

Cuadro 1A Máximo abatimiento alcanzado en cada tratamiento durante las tres etapas fenológicas evaluadas.

TRATAMIENTO	E T A P A		
	VEGETATIVA	FLORACION	MADUREZ
1	62 *	18	23
2	67	33	17
3	53	18	22
4	67	33	50
5	89	72	75
6	83	23	31
7	83	23	31
8	100	18	23
9	100	59	19
10	100	51	57
11	100	41	48
12	100	29	55

* PORCIENTO

Cuadro 2A. Evapotranspiración acumulada de cada tratamiento en las tres etapas fenológicas evaluadas.

TRATAMIENTO	E T A P A		
	VEGETATIVA	FLORACION	MADUREZ
1	218.31 *	117.09	93.28
2	213.84	115.11	89.37
3	225.20	117.79	89.37
4	213.84	115.11	88.60
5	197.93	111.58	86.73
6	203.62	116.50	93.06
7	203.61	116.60	93.05
8	174.08	117.09	93.28
9	164.25	115.31	93.22
10	174.08	115.44	90.19
11	174.08	115.31	91.54
12	180.02	116.05	91.75

* en milímetros

Cuadro 3A Evapotranspiración relativa para cada tratamiento, durante las tres etapas fenológicas en estudio.

TRATAMIENTO	E T A P A		
	VEGETATIVA	FLORACION	MADUREZ
1	0.969	0.994	1.000
2	0.950	0.977	0.998
3	1.000	1.000	0.958
4	0.950	0.977	0.950
5	0.879	0.947	0.930
6	0.904	0.989	0.998
7	0.904	0.990	0.998
8	0.773	0.994	1.000
9	0.729	0.979	0.999
10	0.773	0.963	0.967
11	0.773	0.979	0.981
12	0.799	0.985	0.984

* en fracción

Cuadro 4A Humedad aprovechable residual promedio para cada tratamiento durante las tres etapas fenológicas en estudio.

TRATAMIENTO	E T A P A		
	VEGETATIVA	FLORACION	MADUREZ
1	0.68	1.04	0.90
2	0.63	0.77	0.83
3	0.74	0.91	0.89
4	0.63	0.77	0.55
5	0.37	0.49	0.38
6	0.42	0.86	0.80
7	0.42	0.86	0.80
8	0.35	0.91	0.88
9	0.33	0.76	0.86
10	0.35	0.67	0.73
11	0.35	0.76	0.80
12	0.31	0.74	0.76

* en fracción

Cuadro 5A Datos climatológicos que ocurrieron durante el desarrollo del cultivo.

DIAS TRANSCURRIDOS	TEMPERATURA		* PRO	EVAPO- RACION	** PRECI- PITACION
	MAX	MIN			
1	33.4	16.0	28.0	11.34	0.0
2	26.3	15.3	21.0	8.15	0.0
3	29.0	14.8	22.2	7.06	0.0
4	31.2	12.0	21.5	11.25	0.0
5	25.5	12.5	19.1	0.93	0.3
6	30.7	14.0	24.7	7.55	0.0
7	27.9	11.8	22.1	7.62	0.0
8	29.4	9.5	23.3	8.08	0.0
9	28.5	14.5	23.0	8.17	0.0
10	25.7	12.0	19.1	8.57	0.0
11	25.2	13.5	18.4	6.36	0.0
12	25.4	12.5	18.2	4.49	0.0
13	31.4	11.8	25.4	9.55	0.0
14	32.0	17.5	27.7	8.89	0.0
15	29.8	19.2	24.3	8.31	0.0
16	32.8	17.5	25.1	6.68	0.0
17	26.8	16.6	22.0	5.86	1.3
18	25.4	11.0	19.7	5.45	0.0
19	22.4	12.0	15.7	4.55	0.0
20	24.9	9.5	17.8	5.40	0.0
21	26.7	10.6	21.2	8.00	0.0
22	29.9	13.0	24.4	9.77	0.0
23	31.6	15.0	26.4	10.83	0.0
24	28.0	11.5	21.0	6.86	0.0
25	28.4	14.5	21.3	9.04	0.0
26	31.6	13.5	25.4	9.53	0.0
27	30.5	13.0	24.0	10.75	0.0
28	28.5	14.7	20.3	5.68	0.0
29	27.4	14.0	21.3	6.56	0.0
30	29.3	13.5	23.2	8.52	0.2
31	27.5	16.0	19.3	6.51	1.4
32	27.5	14.0	18.9	6.02	0.0
33	24.0	12.0	17.1	4.05	9.3
34	25.9	10.0	18.6	6.38	0.0
35	30.0	13.5	24.1	6.99	0.1
36	32.5	13.5	25.9	7.17	0.0
37	33.3	16.8	28.0	11.56	0.0
38	32.1	14.3	26.5	9.74	0.0
39	29.4	14.2	24.6	5.94	0.0
40	30.8	15.0	24.1	6.55	0.0

* C

** mm

Cuadro 6A Datos climatologicos que ocurrieron durante el desarrollo del cultivo.

DIAS TRANSCURRIDOS	TEMPERATURA			EVAPO- RACION	PRECI- PITACION
	MAX	MIN	PRO		
41	27.8	14.5	22.0	7.90	0.0
42	24.2	12.2	18.7	5.85	0.0
43	27.5	11.8	20.8	6.68	0.0
44	28.8	13.4	23.4	7.97	0.0
45	30.3	15.0	24.5	9.56	0.0
46	31.8	16.5	25.6	10.56	0.0
47	32.8	15.8	26.7	13.59	0.0
48	32.3	18.5	24.8	10.43	0.0
49	27.2	13.0	21.4	8.24	0.0
50	28.5	14.0	21.0	5.80	1.0
51	27.4	14.0	21.9	6.13	4.4
52	22.7	14.0	18.3	1.75	3.5
53	21.5	12.8	17.2	1.64	5.8
54	23.7	13.5	16.3	2.21	2.5
55	25.4	12.0	19.5	3.80	0.0
56	25.0	13.0	18.5	3.09	6.6
57	26.4	13.0	19.5	4.64	0.6
58	26.0	13.5	20.7	5.77	0.0
59	26.4	12.5	20.6	9.15	0.0
60	26.3	12.0	20.1	7.40	0.0
61	27.8	12.5	20.9	7.55	0.0
62	25.8	12.0	20.5	4.70	0.1
63	28.0	13.0	23.5	6.18	0.0
64	29.3	15.0	22.5	4.91	11.8
65	24.5	15.3	19.1	2.45	4.0
66	28.0	17.0	23.7	6.71	0.0
67	29.2	16.5	22.2	6.67	0.0
68	28.6	16.0	22.4	6.15	0.0
69	29.7	16.5	22.6	5.58	2.3
70	25.8	17.5	20.1	1.86	0.6
71	27.7	16.0	21.7	3.35	10.8
72	25.0	15.2	18.8	6.83	29.4
73	24.9	16.2	19.5	4.78	4.4
74	26.0	14.0	18.9	6.45	23.0
75	26.8	15.5	21.1	6.09	0.0
76	26.4	15.8	19.0	10.09	40.8
77	24.5	15.7	20.4	2.90	0.0
78	28.5	16.0	22.2	3.72	6.4
79	25.5	16.2	21.4	4.40	0.0
80	30.3	17.0	21.3	3.87	5.4

Cuadro 7A Datos climatológicos que ocurrieron durante el desarrollo del cultivo.

DIAS TRANSCURRIDOS	TEMPERATURA			EVAPO- RACION	PRECI- PITACION
	MAX	MIN	PRO		
81	30.2	16.4	23.2	9.61	0.0
82	29.3	16.6	23.0	6.19	0.0
83	25.2	14.6	19.5	2.24	4.3
84	28.0	16.0	20.4	6.09	0.0
85	27.5	16.0	21.9	4.63	2.7
86	28.3	16.5	23.1	6.27	0.0
87	28.2	14.0	22.1	6.98	0.0
88	25.6	13.8	19.7	2.92	13.0
89	22.0	14.4	16.6	3.15	13.8
90	23.0	12.5	17.5	1.28	0.8
91	23.4	14.0	20.1	3.52	0.1
92	27.4	15.0	20.4	6.51	0.0
93	28.0	16.5	21.4	3.78	0.7
94	25.3	15.5	20.6	3.31	0.0
95	23.8	16.0	18.4	2.59	2.0
96	22.5	16.5	17.7	1.51	15.9
97	22.8	15.0	17.6	2.11	1.3
98	21.0	15.0	17.9	1.08	1.0
99	26.3	13.2	20.3	4.11	0.0
100	26.8	15.4	22.2	5.69	0.0
101	27.8	17.4	23.3	4.16	2.8
102	25.9	16.5	20.6	2.89	2.7
103	25.0	16.5	19.2	1.69	2.5
104	23.6	15.5	20.3	1.70	4.2
105	27.7	15.5	20.7	6.66	0.0
106	28.8	14.0	20.3	7.20	0.0
107	28.9	16.0	23.4	5.31	0.0
108	28.2	14.5	22.2	4.75	15.8
109	27.9	15.5	23.0	5.09	0.0
110	29.2	16.3	24.0	8.07	0.0
111	28.8	16.0	21.3	6.58	0.1
112	27.2	15.0	20.9	3.81	3.9
113	26.0	13.8	17.7	2.43	5.5
114	23.3	13.4	18.8	1.87	5.3
115	22.8	15.4	19.1	3.15	0.0
116	21.5	15.5	17.8	0.24	13.2
117	23.6	15.0	19.7	2.57	0.3
118	23.1	16.0	18.8	0.45	9.7
119	25.2	16.5	20.3	1.63	2.4
120	24.3	16.5	19.4	1.71	30.2

Cuadro 8A Datos climatológicos que ocurrieron durante el desarrollo del cultivo.

DIAS TRANSCURRIDOS	TEMPERATURA			EVAPO- RACION	PRECI- PITACION
	MAX	MIN	PRO		
121	24.0	15.5	18.3	3.64	1.0
122	25.5	16.3	21.6	4.52	0.0
123	26.6	14.0	21.7	4.16	0.6
124	26.9	14.0	22.1	4.62	0.0
125	27.4	13.6	19.5	3.97	0.0
126	27.8	14.0	22.6	5.65	0.0
127	25.7	14.5	19.4	3.89	0.0
128	22.0	16.2	18.2	1.66	26.4
129	22.4	14.0	18.3	3.50	0.0
130	20.8	15.0	17.5	1.10	0.0
131	21.6	13.0	18.3	3.31	0.0
132	24.0	14.5	18.1	1.02	1.8
133	21.6	16.0	18.2	1.20	3.4
134	16.5	14.5	15.6	0.34	2.5
135	20.2	9.0	15.9	1.70	4.2
136	21.8	9.0	16.2	6.66	0.0
137	22.6	12.5	17.6	7.20	0.0
138	26.2	12.2	19.2	5.31	0.0
139	25.3	10.5	17.9	4.75	15.8
140	24.3	6.0	18.1	5.09	0.0
141	26.0	7.5	20.4	6.3	0.0
142	26.2	9.5	21.5	6.87	0.0
143	24.8	14.0	19.6	5.58	0.0
144	25.0	12.0	17.3	3.76	0.0

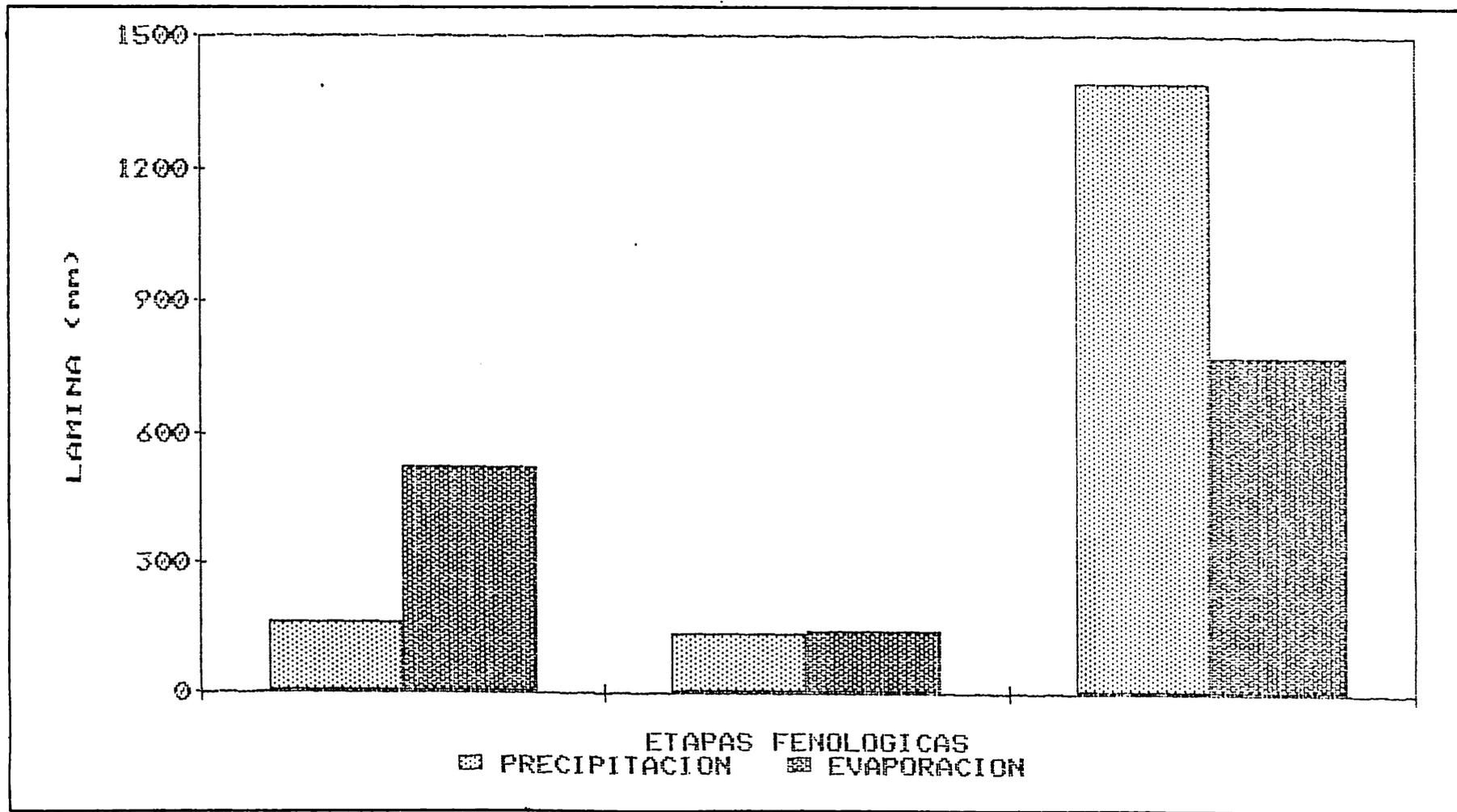


Figura 1A. Relación evaporación-precipitación, ocurrida en cada una de las etapas fenológicas evaluadas.

Cuadro 9A Análisis de varianza de las variables de respuesta.

F. CALCULADAS						
FUENTE DE VARIACION	G.L.	REND. GRANO	MAT. SECA	ALTURA PLANTA	F tablas	
					.05	.01
TRATAMIENTOS	2	2.97*	3.25**	15.28**	2.26	3.19
BLOQUES	11	3.21	2.24	2.02		
ERROR	22					
MEDIA		8.14	23.43	2.10		
C.V. (%)		12.26	15.95	4.70		

Cuadro 10A Análisis de varianza de las variables de respuesta.

F. CALCULADAS						
FUENTE DE VARIACION	G.L.	AREA FOLIAR	LARGO MAZORCA	NUMERO HILERAS	F tablas	
					.05	.01
TRATAMIENTOS	2	7.78 **	1.91	0.61	2.26	3.19
BLOQUES	11	0.03	0.58	0.13		
ERROR	22					
MEDIA		6302.08	15.54	14.65		
C.V. (%)		11.82	6.21	8.04		

Cuadro 11A Análisis de varianza de las variables de respuesta.

FUENTE DE VARIACION	G.L.	F. CALCULADAS			F tablas	
		DIAMETRO MAZORCA	GRANOS HILERA	PROF. GRANO	.05	.01
TRATAMIENTOS	2	1.86	2.55 *	1.68	2.26	3.19
BLOQUES	11	0.18	0.65	1.54		
ERROR	22					
MEDIA		5.19	37.07	1.19		
C.V. (%)		3.48	4.69	3.58		

Cuadro 11A Análisis de varianza de las variables de respuesta.

FUENTE DE VARIACION	G.L.	F. CALCULADAS		F tablas	
		GROSOR DEL GRANO	PESO DE 100 SEMILLAS	.05	.01
TRATAMIENTOS	2	0.56	0.77	2.26	3.19
BLOQUES	11	0.96	0.44		
ERROR	22				
MEDIA		0.41	34.06		
C.V. (%)		4.72	8.13		

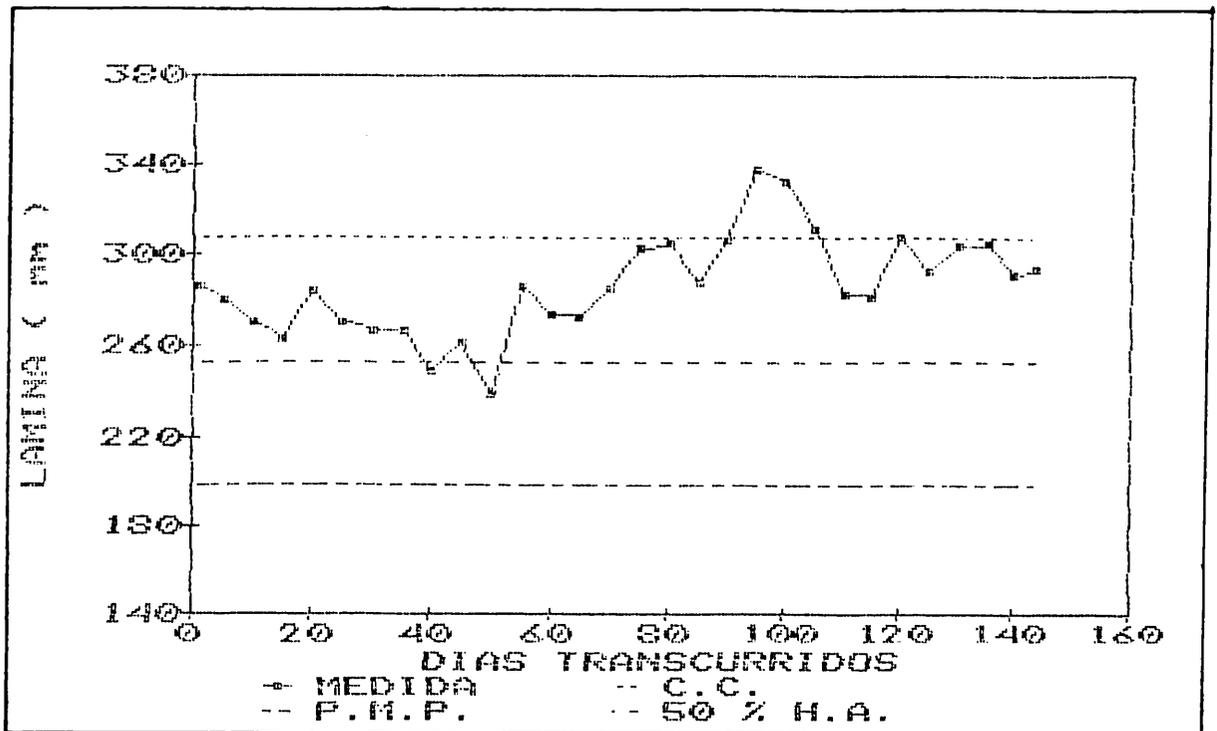


Figura 2A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 1.

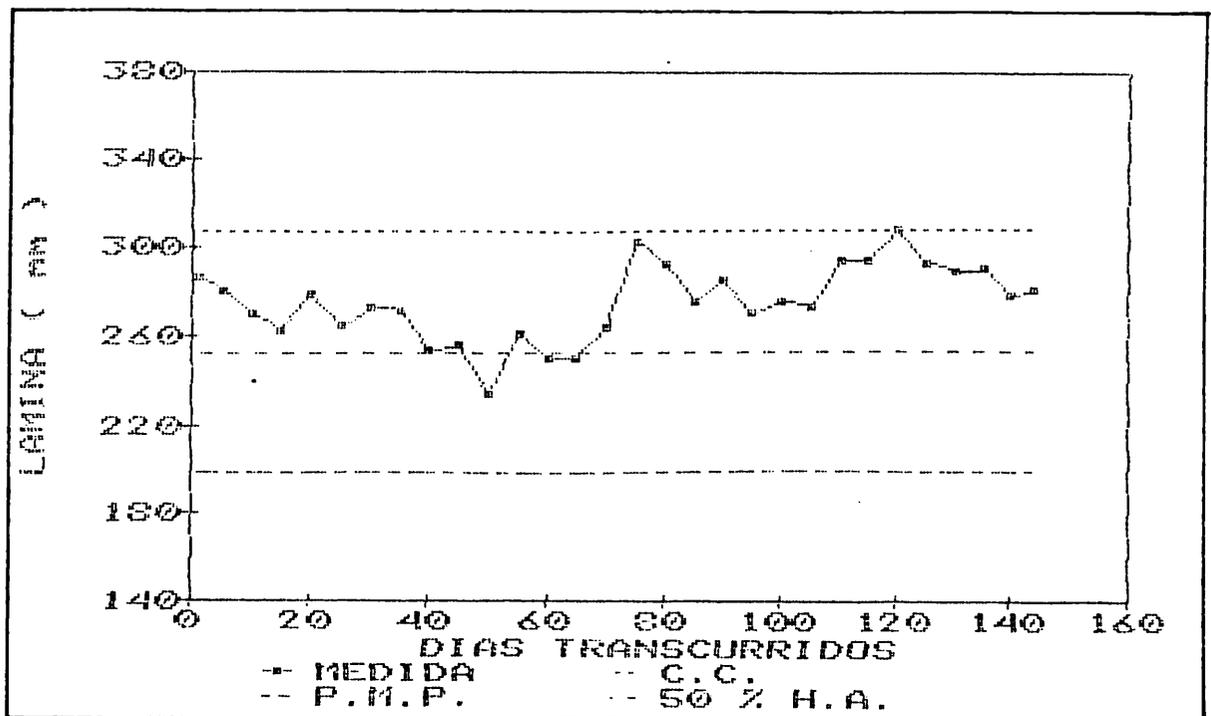


Figura 3A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 2.

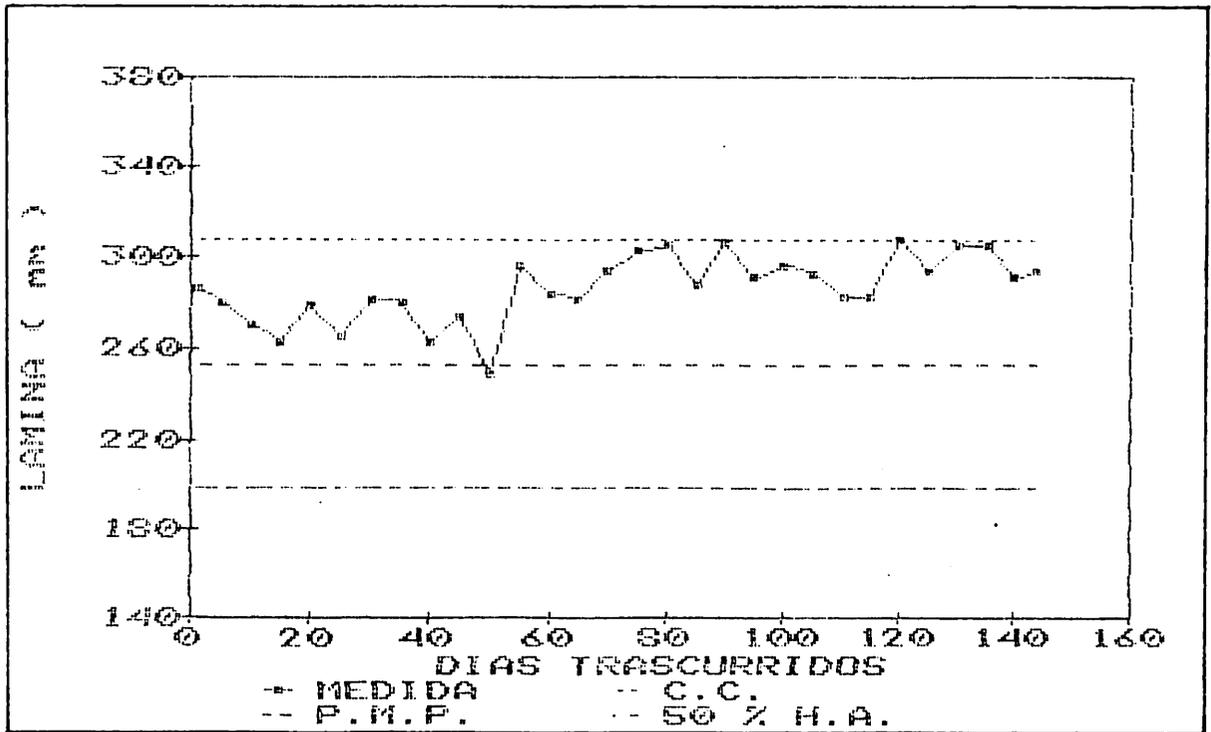


Figura 4A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 3.

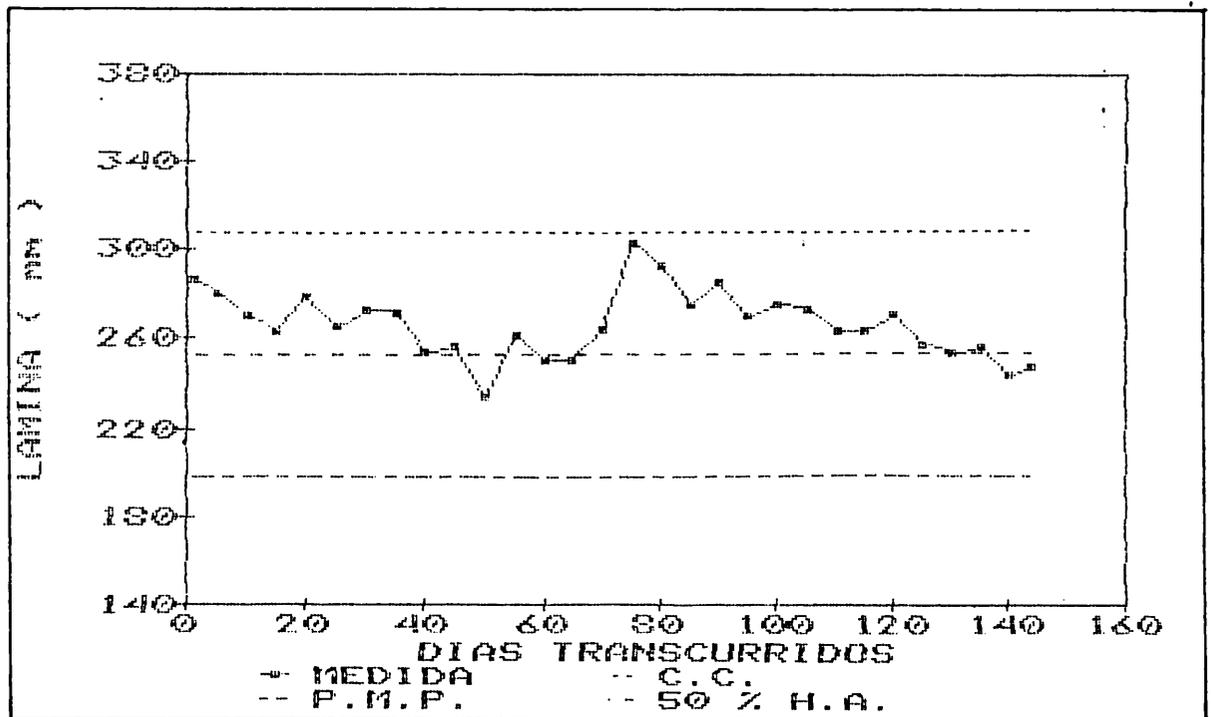


Figura 5A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 4.

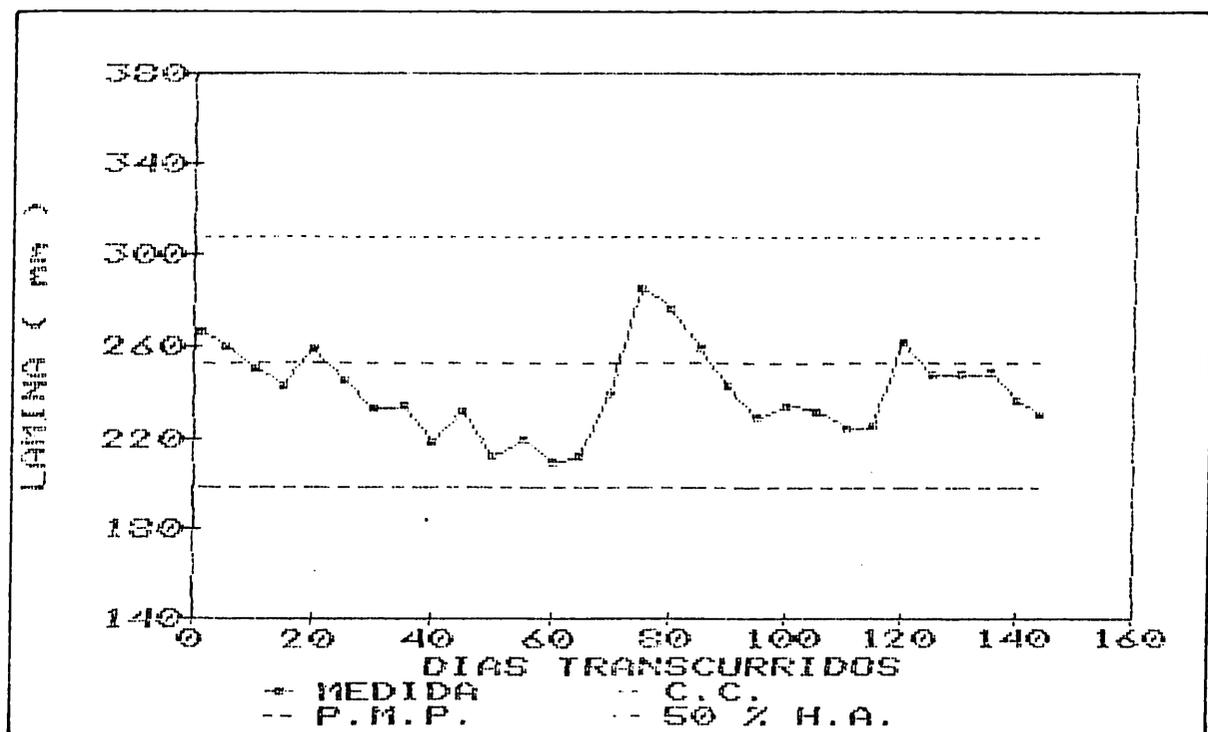


Figura 6A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 5.

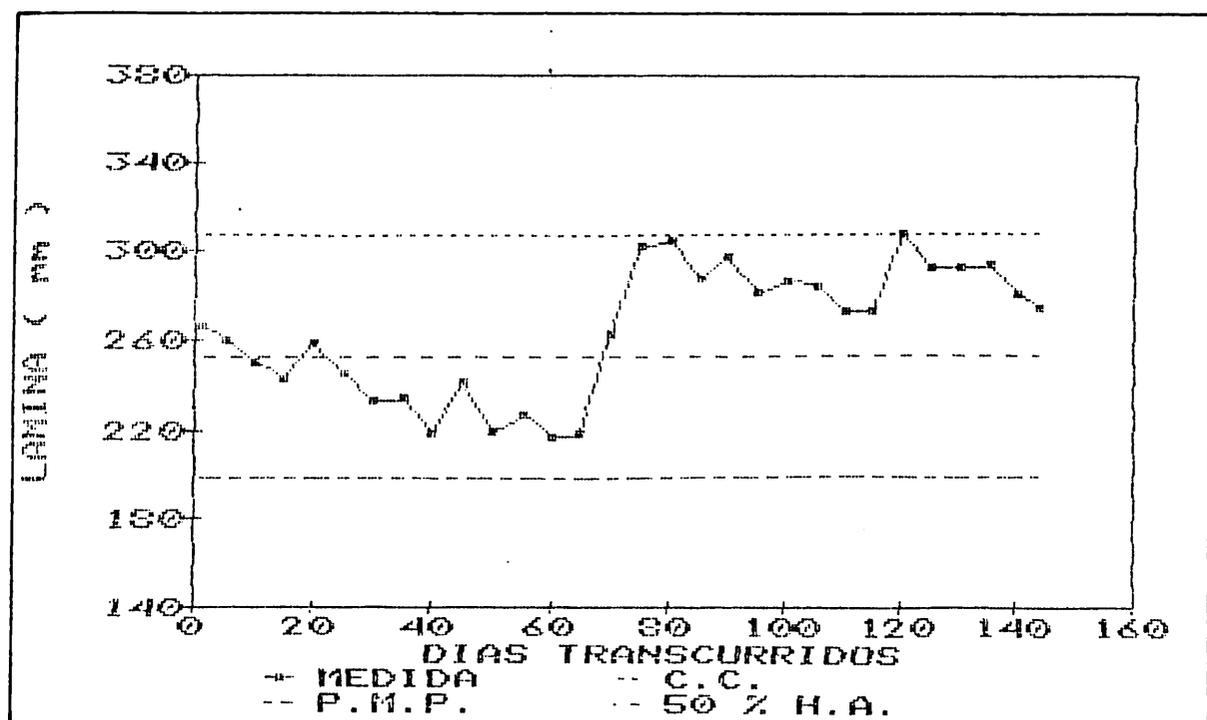


Figura 7A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 6.

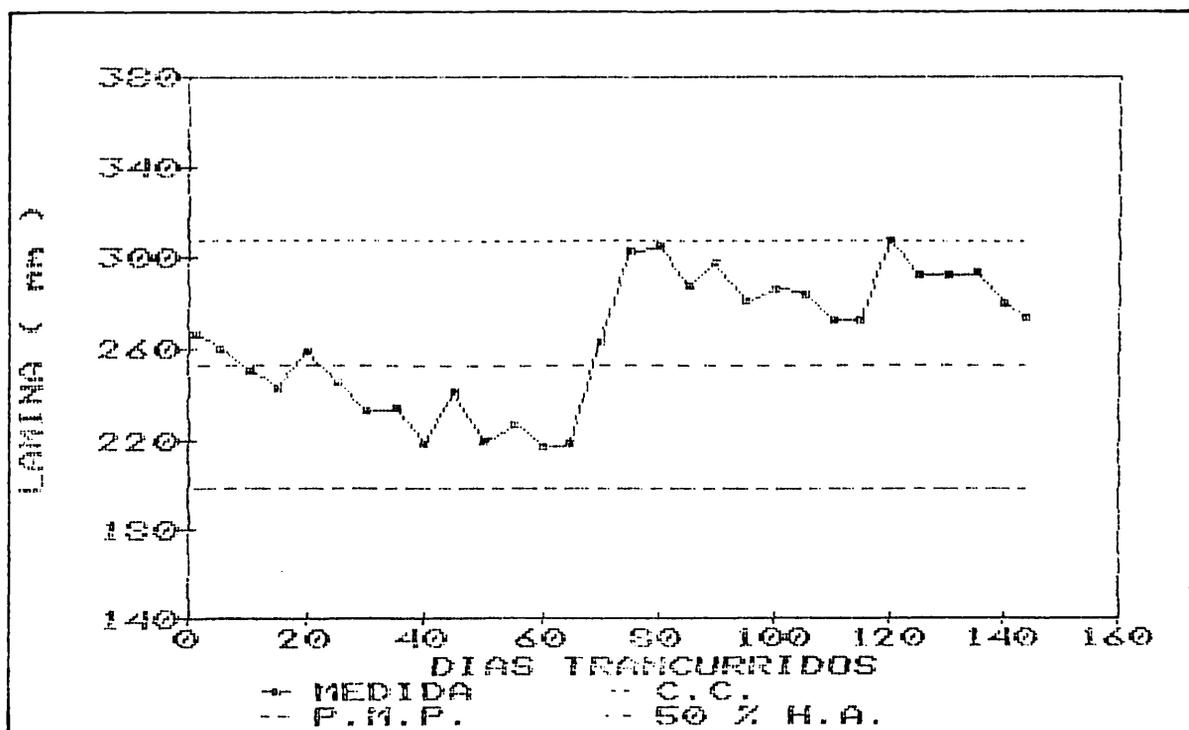


Figura 8A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 7.

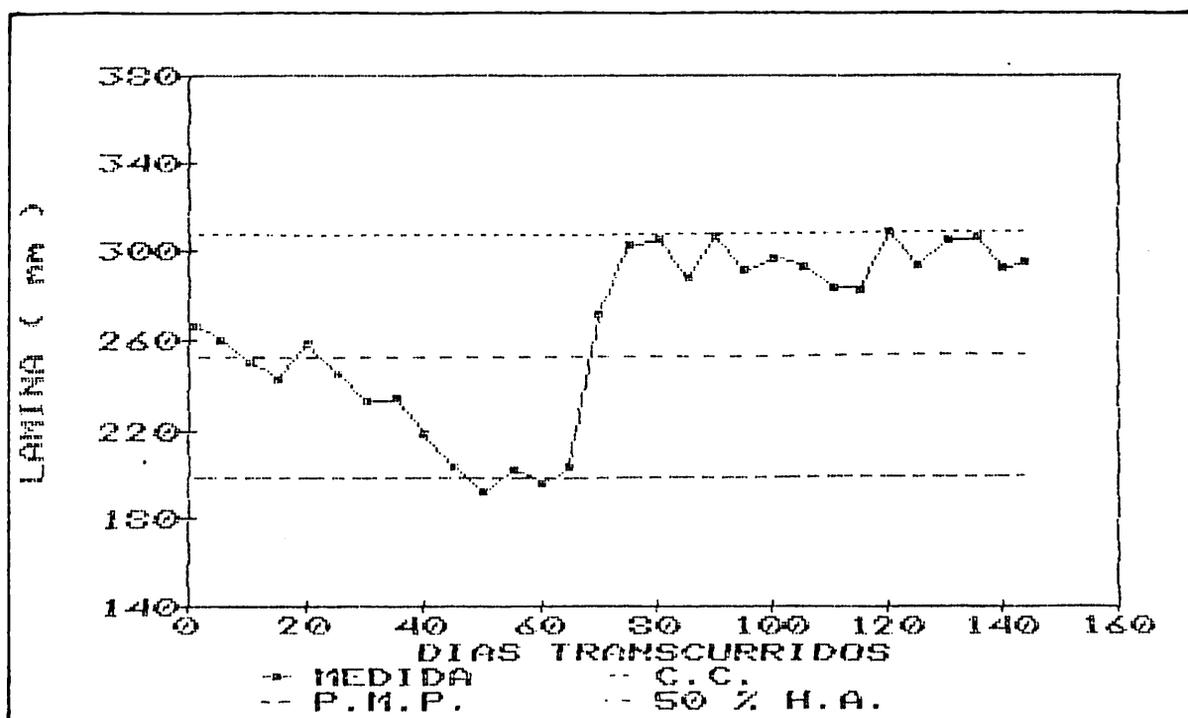


Figura 9A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 8.

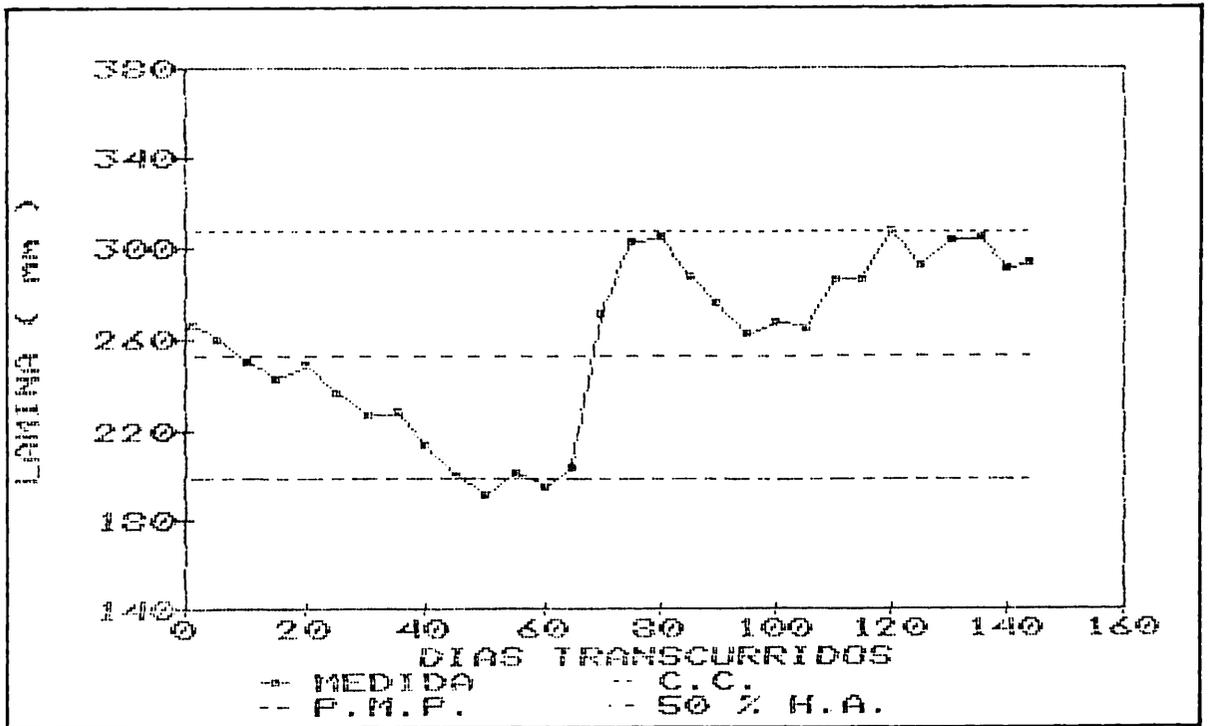


Figura 10A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 9.

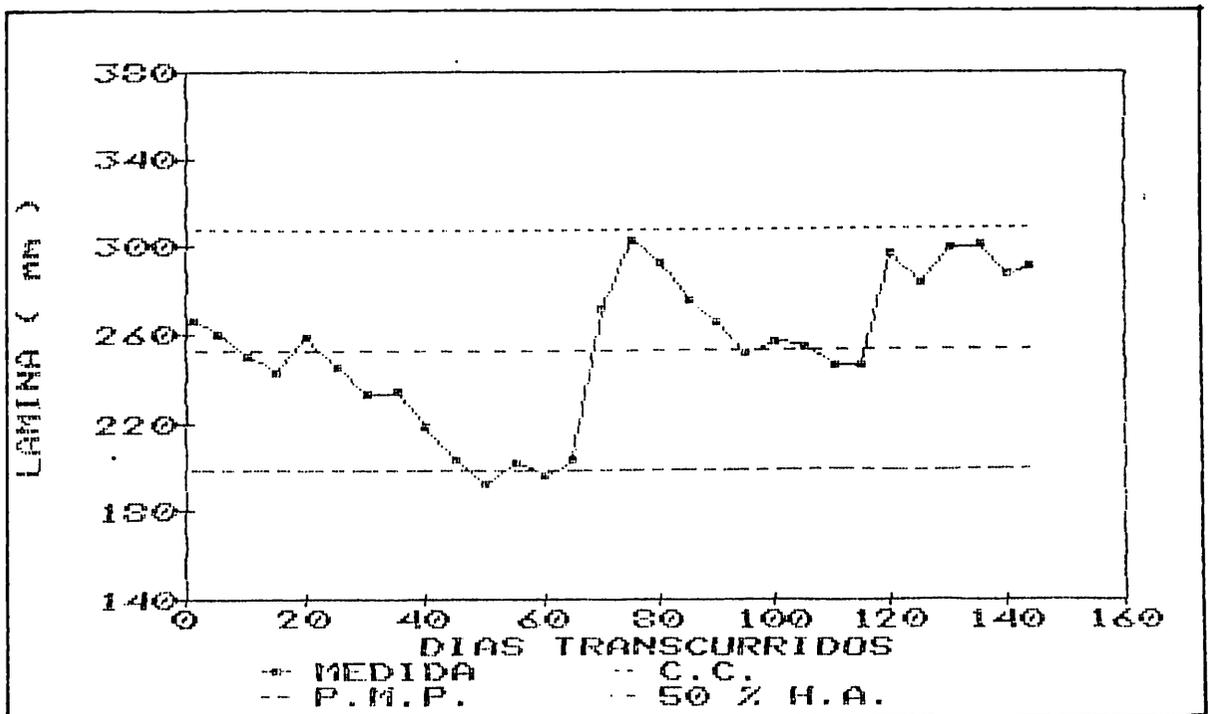


Figura 11A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 10.

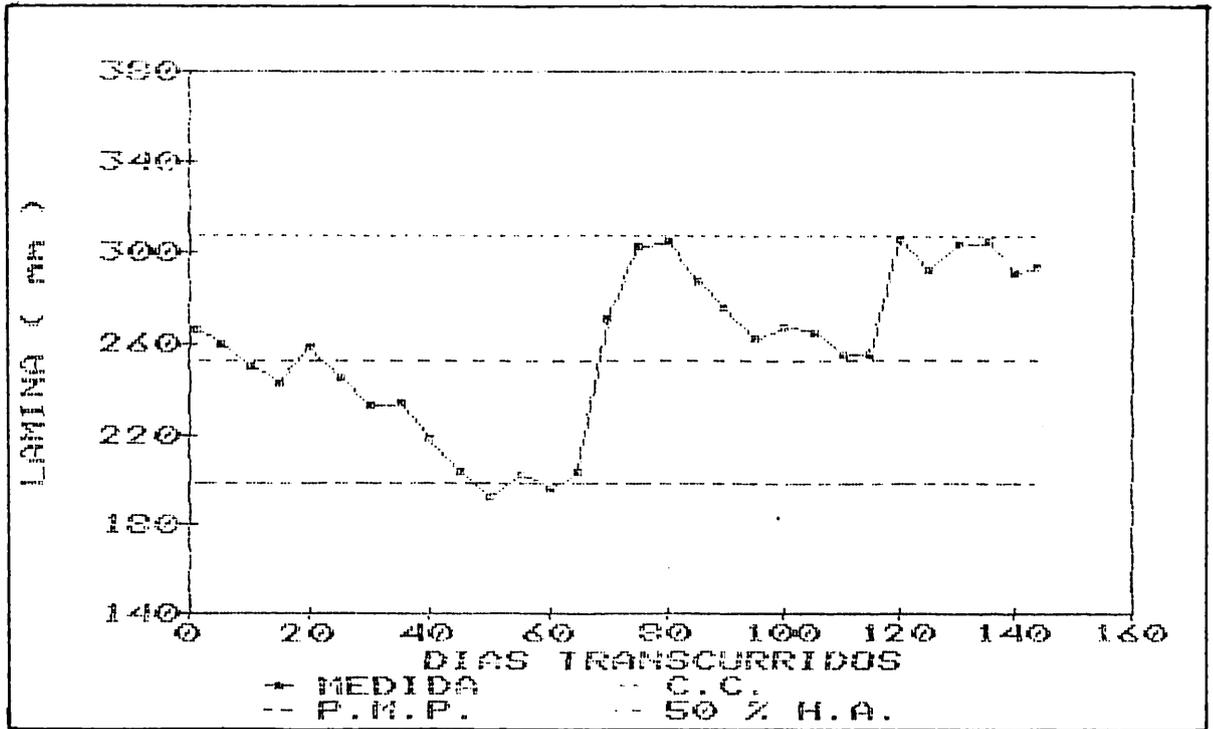


Figura 12A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 11.

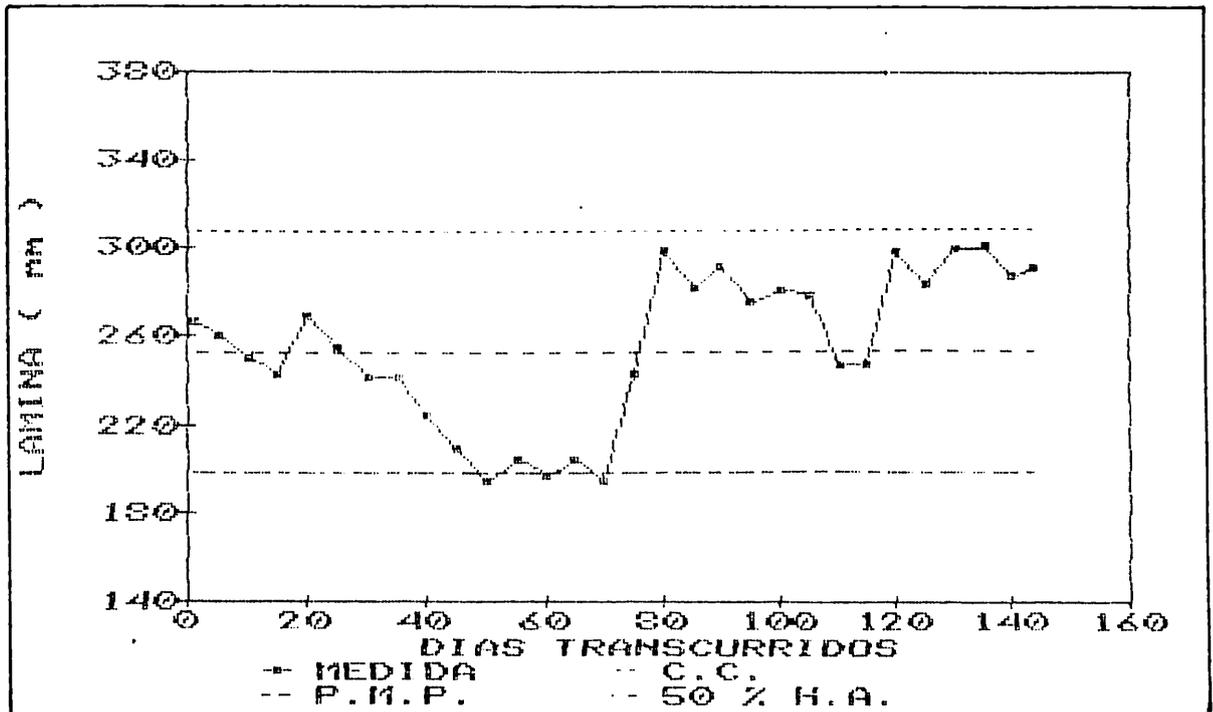


Figura 13A Seguimiento de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del tratamiento 12.