

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

"ANTONIO NARRO"



COLEGIO DE GRADUADOS

EVALUACION DE MODELOS DE PRODUCCION
PARA EL CULTIVO DE MAIZ, EN FUNCION DEL
REGIMEN HIDRICO EN DIFERENTES ETAPAS
FENOLOGICAS.

ISAAC DE LEON CASTAÑEDA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADEMICO

DE

MAESTRO EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD EN RIEGO Y DRENAJE

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO.

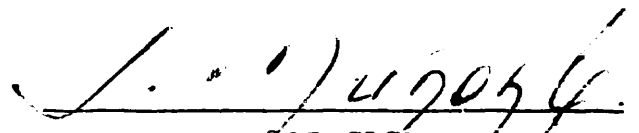
1981

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

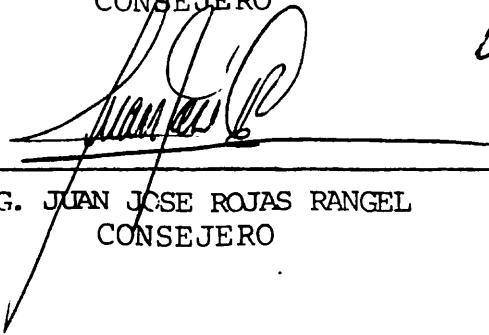
" EVALUACION DE MODELOS DE PRODUCCION PARA
EL CULTIVO DEL MAIZ, EN FUNCION DEL REGIMEN
HIDRICO EN DIFERENTES ETAPAS FENOLOGICAS "

APROBADA POR:

EL COMITE SUPERVISOR DE TESIS


SALVADOR MUÑOZ CASTRO Ph.D.
ASESOR


ING. ARTURO CARPANZA DE LA PEÑA M.C.
CONSEJERO


ING. JUAN JOSE ROJAS RANGEL M.C.
CONSEJERO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. ENERO DE 1981.

D E D I C A T O R I A

A LA MEMORIA DE
GENARINA GUARDIA

A MI ESPOSA YADIRA
CON AMOR

A MIS PADRES Y TODOS MIS
HERMANOS CON FRATERNAL AFECTO

CON CARINO A TODOS MIS
MAESTROS Y COMPAÑEROS

A G R A D E C I M I E N T O

AL COLEGIO DE GRADUADOS DE
LA UAA"AN" QUE ME PERMITIO
UN GRADO MAS EN MI SUPERACION

AL DR. SALVADOR MUÑOZ CASTRO
POR SU DIRECCION Y DEDICACION
A LA PRESENTE TESIS

AL ING. M.C. JUAN JOSE ROJAS
POR SUS CORRECCIONES Y
SUGERENCIAS

AL ING. M.C. ARTURO CARRANZA
POR LAS SUGERENCIAS EN ESTE
TRABAJO

AL PERSONAL DE LA SECCION DE
COMPUTO ELECTRONICO Y A LA
SRITA. IRMA GARCIA RUIZ POR
SU VALIOSA AYUDA EN LA
ELABORACION DE LA PRESENTE

INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	4
Generalidades	4
Tensión de humedad de las plantas de maíz	6
Causa de la tensión de humedad	6
Efectos generales de la tensión de humedad	6
Tensión de humedad en diferentes estados de crecimiento del Maíz	7
Diferentes estados de crecimiento del Maíz	8
Déficit de humedad en el suelo y potencial hídrico de la planta en diferentes estados de crecimiento.	10
La humedad aprovechable del suelo y el potencial hídrico de la planta en diferentes estados de crecimiento	11
Potencial mátrico del suelo y la tensión de humedad en diferentes estados de crecimiento	12
Duración e intensidad de la tensión de humedad.	13
Funciones de producción al insumo hídrico	14
Modelo aditivo de función de producción	15
Factor diario de deficiencia hídrica (FD)	16
Factor de susceptibilidad del cultivo (FS)	19
Modelo multiplicativo de función de producción.	20
Modelo de función de producción de días secos	22
MATERIALES Y METODOS	25
Aspectos generales	25
Localización del sitio experimental	25
Clima	25
Análisis físico-químico del suelo de sitio experimental.	26
Curvas de retención de humedad del suelo	26
Agua de riego	33
Diseño experimental y tratamientos.	33
Modelo de Índice-Deficiencia-Día	33

Determinación del factor de deficiencia hídrica en diversas etapas fenológicas	35
Determinación del factor de susceptibilidad del cultivo	37
Modelo de rendimiento de Jensen.	38
Modelo del índice de días secos.	39
 RESULTADOS Y DISCUSION	 42
 Nivel dado de deficiencia en las etapas de crecimiento y su efecto sobre el rendimiento	 42
Niveles de deficiencia en diferentes estados de cre- cimiento y su efecto sobre el rendimiento	46
Evaluación de modelos de producción en el cultivo de maíz	51
Modelo aditivo de producción.	51
Modelo multiplicativo de producción	53
Modelo de días secos	55
 CONCLUSIONES.	 60
 RESUMEN.	 62
 BIBLIOGRAFIA.	 65
 APENDICE.	 69

LISTA DE SIMBOLOS

SIMBOLO	EXPRESION
Ψ	Potencial hídrico de la hoja.
Ψ_s	Potencial hídrico del suelo.
Ψ_m	Potencial matricial del suelo.
PHA	Porcentaje de humedad aprovechable
PH	Porcentaje de humedad del suelo.
Pv	Contenido de humedad del suelo. (volumen)
Ep	Evaporación del Tanque Evaporómetro.
ETp	Evapotranspiración Potencial (Penman).
Rp	Resistencia al flujo de agua en la planta. (raíz + xilema + mesófilo).
Rs	Resistencia al flujo del agua en el suelo.
IDD	Indice-Deficiencia-Día.
FD	Factor diario de deficiencia hídrica.
FS	Factor de Susceptibilidad.
Y_o	Rendimiento máximo cuando el cultivo no sufre deficiencia hídrica.
Y_i	Rendimiento del cultivo sometido a deficiencia hídrica en el estado de crecimiento.
A	Coeficiente de regresión.
λ	Factor de sensibilidad relativa.
N_{ij}	Número de días con con el j-ésimo nivel de deficiencia en la i-ésima etapa de crecimiento.
R_i	Lectura del número de colisiones al hacer la medición del contenido de humedad del suelo.
R_c	Lectura del número de colisiones obtenida dentro de la camisa de plomo. (standart).

INDICE DE FIGURAS

Fig. N ^o	Pág.
1 El potencial matricial (bars) en función del contenido de humedad ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) para el estrato 0-25 cms.	28
2 El potencial matricial (bars) en función del contenido de humedad ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) para el estrato 25-50 cms.	29
3 El potencial matricial (bars) en función del contenido de humedad ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) para el estrato 50-75 cms.	30
4 Porcentaje de humedad ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) en función de R_i/R_o	31
5 Porcentaje de humedad ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) en función de R_i/R_o	32
6 Interacción entre contenido de humedad del suelo y diferentes etapas fenológicas.	49
7 Correlación del rendimiento observado y rendimiento estimado para el estrato 0-30 cms. utilizando un modelo aditivo con el Ψ_m como indicador de deficiencia.	54a
8 Correlación del rendimiento observado y rendimiento estimado para el perfil integrado utilizando un modelo aditivo con el Ψ_m como indicador de deficiencia.	54a

Fig. N°		Pág.
9	Correlación del rendimiento observado y rendimiento estimado para el perfil integrado utilizando un modelo multiplicativo con $ET_p \times PHA$ como indicador de deficiencia.	56a
10	Correlación del rendimiento observado y rendimiento estimado para el estrato 0-30 cms., utilizando un modelo multiplicativo con $ET_p \times \Psi_m$ como indicador de deficiencia.	56a
11	Correlación del rendimiento observado y rendimiento estimado para el perfil integrado utilizando el modelo de días secos con PHA como indicador de deficiencia.	58a
12	Correlación del rendimiento observado y rendimiento estimado para el estrato 0-30 cms., utilizando el modelo de días secos con Ψ_m como indicador de deficiencia.	58a

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°		Pág.
1	Propiedades físico-químicas del suelo del lote experimental.	27
2	Resultados del análisis físico-químico del agua de riego.	34
3	Diagrama del experimento.	36
4	Posibles indicadores evaluados para la caracterización del factor de deficiencia (FD).	37
5	Indicadores del déficit de humedad del suelo y niveles de intensidad usados en el modelo de días secos.	39
6	Lámina aplicada en cms., para los diferentes tratamientos en la determinación del factor de susceptibilidad del cultivo.	45
7	Rendimiento en Ton./Ha. de maíz para los diferentes tratamientos en la determinación del factor de susceptibilidad del cultivo.	45
8	Análisis de varianza de rendimiento para los diferentes tratamientos en la determinación del factor de susceptibilidad del cultivo.	45
9	Valores obtenidos del factor de susceptibilidad para el maíz en tres etapas fenológicas consideradas.	46
10	Lámina aplicada en cms., para los diferentes tratamientos en la determinación del factor de deficiencia.	47

Cuadro N^o

Pág.

- | | | |
|----|--|----|
| 11 | Rendimiento en Ton./Ha., para los diferentes tratamientos, en la determinación del factor de deficiencia (FD). | 48 |
| 12 | Análisis de varianza de rendimiento para el factorial 3 x 2 en la determinación del factor de deficiencia (FD). | 48 |
| 13 | Comparación de dos expresiones de los indicadores del factor de deficiencia para cinco etapas (20-60-15-20-22) utilizando un modelo aditivo. | 54 |
| 14 | Coefficientes de correlación para rendimiento observado y rendimiento estimado para nueve indicadores del factor de deficiencia utilizando un modelo aditivo. | 54 |
| 15 | Comparación de dos expresiones de los indicadores del factor de deficiencia para cinco etapas (20-60-15-20-22) utilizando un modelo multiplicativo. | 56 |
| 16 | Coefficientes de correlación para rendimiento observado y rendimiento estimado para nueve indicadores del factor de deficiencia utilizando un modelo multiplicativo. | 56 |
| 17 | Comparación de dos expresiones de los indicadores del factor de deficiencia para cinco etapas (20-60-15-20-22) utilizando el modelo de días secos. | 57 |

Cuadro N^o

Pág.

- 18 Coeficientes de correlación para rendimiento observado y rendimiento estimado para tres indicadores del factor de deficiencia utilizando el modelo de días secos.

58

INDICE DEL APENDICE

Figura A	Precipitación y evaporación medio mensual en Saltillo, Coahuila.	70
Cuadro A	Evaporación y precipitación (en mm.) ocurrida en Buenavista, Coahuila, durante el desarrollo del cultivo. (Junio-October 1979).	71
Cuadro B	Temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo (°C), velocidad en m/seg. y número de horas luz, ocurridas en Buenavista, Coah., durante el desarrollo del cultivo (Junio-October - 1979).	72
Cuadro C	Evaporación potencial en mm. calculada por el método combinado de Penman para la estación del cultivo.	73
Cuadro D	Distribución de riegos, lámina aplicada y la precipitación en cms., en la estación de crecimiento para los diferentes tratamientos en la determinación del Factor de Susceptibilidad.	74
Cuadro E	Distribución de riegos, lámina aplicada y la precipitación en cms., en la estación de crecimiento para los diferentes tratamientos en la determinación del Factor de Deficiencia.	75
Cuadro F	Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = \Psi_m$) utilizando un modelo aditivo.	76
Cuadro G	Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = PHA$) utilizando un modelo aditivo.	76

- Cuadro H Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = PH$) utilizando un modelo aditivo. 77
- Cuadro I Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_p \times \Psi_m$) utilizando un modelo aditivo. 77
- Cuadro J Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_p \times PHA$) utilizando un modelo aditivo. 78
- Cuadro K Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_p \times PH$) utilizando un modelo aditivo. 78
- Cuadro L Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_{Tp} \times \Psi_m$) utilizando un modelo aditivo. 79
- Cuadro M Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_{Tp} \times PHA$) utilizando un modelo aditivo. 79
- Cuadro N Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_{Tp} \times PH$) utilizando un modelo aditivo. 80

- Cuadro O Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = \Psi_m$) utilizando un modelo multiplicativo. 80
- Cuadro P Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = PHA$) utilizando un modelo multiplicativo. 81
- Cuadro Q Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = PH$) utilizando un modelo multiplicativo. 81
- Cuadro R Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_p \times \Psi_m$) utilizando un modelo multiplicativo. 82
- Cuadro S Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_p \times PHA$) utilizando un modelo multiplicativo. 82
- Cuadro T Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_p \times PH$) utilizando un modelo multiplicativo. 83
- Cuadro U Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_{Tp} \times \Psi_m$) utilizando un modelo multiplicativo. 83

- Cuadro V Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_{Tp} \times PHA$) utilizando un modelo multiplicativo. 84
- Cuadro W Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = E_{Tp} \times PH$) utilizando un modelo multiplicativo. 84
- Cuadro X Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = \Psi_m$) utilizando el modelo de días secos. 85
- Cuadro Y Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = PHA$) utilizando el modelo de días secos. 85
- Cuadro X Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = PH$) utilizando el modelo de días secos. 86

I N T R O D U C C I O N

El cultivo de maíz (Zea mayz L.) constituye el alimento básico de mayor importancia en México y en casi todos los países de América, por su utilización tanto para consumo humano, como en la elaboración de alimentos balanceados para animales domésticos.

* Actualmente en México el consumo anual de maíz por persona es de 122 Kg., constituyendo el 45% del consumo calórico nacional. El consumo en el medio rural es mucho más alto y llega hasta el 70% de dicho consumo calórico en las regiones centrales, del sur y suroeste, mientras que en las zonas urbanas no proporciona más de un 25% de las calorías.

* En nuestro país se calcula que este cultivo, cubre aproximadamente el 51% del área total cultivada (1×10^6 Ha. de riego y 6.5×10^6 Ha. de temporal), obteniéndose rendimientos promedios de 1479 Kg./Ha. (2481 Kg./Ha. de riego, y 1188 Kg./Ha. de temporal).

> Del territorio nacional, el 45% corresponde a áreas áridas y semiáridas y en ellas habitan un total aproximado de 10 millones de habitantes. Dichas áreas enfrentan problemas muy variados y complejos con respecto a la disponibilidad y existencia de alimentos y de fuentes confiables de agua para diferentes usos ya sean de orden doméstico, municipal, industrial, abrevadero o de irrigación de tierras agrícolas para la producción de alimentos, lo cual demanda un uso más eficiente del recurso hídrico disponible.

* Boletín de Información Económica.
S.P.P. - Coordinación General del Sistema
Nacional de Información. México - 1980.

El crecimiento excesivo de la población plantea una mayor demanda de alimento y la casi estática producción de éstos, ha motivado la intensificación de investigaciones y estudios de los diversos factores que influyen en el rendimiento de los cultivos (Mejoramiento Genético, Fitosanitarios, Edáficos, Fertilizantes, Climáticos, Hídricos, Manejos, etc.)

En relación al factor hídrico, los investigadores han dedicado enormes esfuerzos en la determinación de metodologías tendientes a resolver las interrogantes clásicas en agricultura de riego (¿cuánto y cuando regar?) con miras a elevar la eficiencia de utilización del agua y mejorar la programación de la aplicación de ésta.

En la actualidad en los distritos de riegos y en la mayoría de los predios agrícolas utilizan diferentes criterios para la determinación de la aplicación del riego, los cuales no satisfacen de manera integral las exigencias requeridas para lograr un adecuado incremento en la eficiencia de utilización del agua y aumento de producción. Estos criterios están basados en alguno de los siguientes conceptos:

- 1.- Síntomas de deficiencias hídricas visuales en las plantas.
- 2.- Índices de crecimiento de ciertos órganos de las plantas como indicador de deficiencia.
- 3.- Basado en el abatimiento porcentual de la humedad disponible del suelo.
- 4.- Basado en el esfuerzo de la humedad del suelo.

Sin embargo, la necesidad de incrementar la eficiencia del uso del agua en la producción de alimentos, motivó a investigadores de diferentes países, a desarrollar una nueva metodología basada en la correlación del crecimiento y rendimiento de la planta y el balance hídrico conocidos como funciones de producción -

al insumo hídrico. Un gran número de estudios han sido conducidos para la determinación de los efectos sobre el rendimiento de los cultivos afectados por las variaciones del regimen de humedad del suelo durante los diferentes estados de crecimiento.

En la República Mexicana, los estudios de funciones de producción al insumo hídrico son recientes, y son muy reducidos - los trabajos realizados en la actualidad y están relacionados - principalmente a la agricultura bajo riego. Además el incremento de importaciones de granos básicos en cerca de 10×10^6 ton. (1.75×10^6 ton. de maíz) y la existencia de 6.5×10^6 Ha. de cultivo de maíz de temporal, nos motiva para lograr a la brevedad posible la autosuficiencia en granos básicos.*

La situación actual de la producción nacional de productos básicos, es la mejor justificación del presente trabajo de investigación, que tiene como base fundamental la evaluación de funciones de producción de tipo aditivo y multiplicativo para el cultivo del maíz, en base al balance hídrico que relacione la severidad y tiempo de ocurrencia de déficits hídricos al rendimiento del cultivo.

El objetivo del presente trabajo ha sido:

- 1.- Evaluar diferentes modelos matemáticos con respecto a su eficiencia en la predicción de rendimiento en el cultivo de maíz, utilizando como parámetro diferentes indicadores climático y edáfico en diferentes etapas de desarrollo del cultivo.
- 2.- Hacer disponible esta información para ser usada por Ingenieros Agrónomos, Fitomejoradores, Especialistas en Irrigación, Economistas, Planificadores y otros profesionales, para su aplicación en la elaboración de calendarios de riegos, planeación de programas agrícolas de riegos, operación de distritos de riegos, predicción de rendimientos para fines de evaluación o proyección económica, selección de cultivos, y sus posibles aplicaciones a la agricultura de temporal.

REVISION DE LITERATURA

GENERALIDADES

El concepto de función de producción se basa en la teoría sustentada por muchos autores, de que el rendimiento de los cultivos resulta de los procesos fisiológicos de la planta integrados en tiempo y espacio, como una función del medio ambiente y el genotipo. El medio ambiente incluye factores Climáticos (temperatura, evapotranspiración, humedad, precipitación, etc.), Nutricionales y de Manejo. Muchos estudios han sido conducidos para la determinación de los efectos de algunas de estas variables sobre el rendimiento de varios cultivos. Los factores de productividad que cambian año con año y que no están sujetos al control humano, son los climáticos. Tal vez el más variable de ellos en su efecto sobre los rendimientos del maíz sea la precipitación.

Muchos autores han desarrollado funciones de producción basados en que el rendimiento es afectado por las variaciones del regimen de humedad del suelo durante su desarrollo. Taylor (1952) expresó que dada la complejidad de las interacciones agua-ambiente-producción biológica, uno de los problemas principales en la estimación de funciones de respuesta del cultivo, al insumo hídrico es la selección de la variable independiente con respecto a la variable dependiente (normalmente rendimiento). Según Hagan (1959) el momento oportuno de aplicar el riego es a menudo más crítico que la lámina total aplicada, por lo cual considera inadecuada la utilización de la lámina total como la variable casual, puesto que se tienen limitaciones en la determinación de la aplicación óptima del agua a un cultivo durante su ciclo de crecimiento.

Taylor (1952) consideró que la variable hídrica que influye más en el crecimiento de las plantas es la incidencia de la tensión de humedad de la planta como opuesta al riego o precipitación. Sugirió el uso de un índice de tensión de humedad que reflejara el grado de disponibilidad de humedad del suelo para las plantas, el cual denominó tensión de humedad integrada. El mostró que a medida que la tensión de humedad integrada se incrementa, el rendimiento de la cosecha decrece en una forma lineal.

Flinn y Musgrave (1967) reportan que mediante la consideración del nivel de humedad del suelo, o sea la disponibilidad de la humedad del suelo a la profundidad de la zona de raíces, y la demanda evaporativa atmosférica, puede predecirse la ocurrencia de períodos de tensión de humedad en la planta.

Downey (1972) infiere que la reducción en rendimiento de los cultivos no es una simple función de su evapotranspiración total, sino que depende de las tensiones de humedad de la planta a que ésta ha sido sometida en una particular etapa de su desarrollo fisiológico.

Estudios reportados por (Hiler y Clark (1971), Yaron (1971) Hagan y Stewart (1972)), han indicado que el crecimiento de la planta de maíz es una función de los factores que contribuyen a la tensión de humedad de la planta.

Existe una gran variedad de funciones de producción que ignoran el período de ocurrencia de condiciones de deficiencia hídrica, (Van Bavel (1953), Stewart y Hagan (1969)). Por otra parte, varios autores han presentado modelos de funciones de producción representativas de un sistema más real, y caracterizan el efecto de deficiencias hídricas en diferentes períodos de su estación de crecimiento, (Stewart (1974); Howell y Hiler (1974); Hiler y Clark (1971); Jensen (1969); Minhas (1974)) etc.

TENSION DE HUMEDAD DE LAS PLANTAS DE MAIZ

Causa de la Tensión de Humedad.

Según Kramer (1969), la tensión hídrica en las plantas se debe ya sea a una pérdida excesiva o a una inadecuada absorción de agua, o a ambas. La pérdida de agua por transpiración es la causa fundamental de los déficits hídricos temporales de mediodía. Sin embargo, la absorción reducida provocada por una disponibilidad menguante de agua del suelo es la causa de los prolongados y graves períodos de tensión hídrica que causan las más grandes reducciones de crecimiento de las plantas.

Fleming (1966) considera que en un día cualquiera la planta de maíz estará tensionada siempre que la tasa de transpiración real (E_a) descienda abajo de la tasa de transpiración potencial (E_t).

Flinn (1970) reporta que la tensión de humedad de las plantas es una consecuencia directa de los procesos de transpiración. Una condición de tensión ocurre cuando el contenido hídrico de la planta es apreciablemente reducido abajo de los valores de turgidez completa.

Estudios reportados por Hiler y Clark (1971), Yaron (1971), Downey (1972), Hagan y Stewart (1972) en general concluyen que la tensión de humedad en la planta se desarrolla cuando la tasa de evapotranspiración actual (E_a) es menor que la tasa de evapotranspiración potencial (E_p). Así la tensión en la planta no ocurre cuando $E_a = E_p$, condición bajo la cual la planta se asume crecer a su máxima tasa de desarrollo.

Efectos Generales de la Tensión Hídrica.

La tensión hídrica afecta prácticamente a todos los aspectos del crecimiento de la planta, modificando su anatomía, - -

morfología, fisiología y bioquímica. Según Kramer (1969), la tensión hídrica en la planta se desarrolla esencialmente en tres pasos, con incremento en la tensión de humedad: a) Reducción en la presión de turgencia de las células y su efecto sobre la elongación de las células y posiblemente el metabolismo del nitrógeno y de los carbohidratos; b) Reducción de la tasa de absorción de CO_2 y su efecto sobre la tasa fotosintética; c) Incremento en la temperatura de la hoja y su efecto sobre el metabolismo.

Flinn (1970) reportó que bajo condiciones de campo de alta intensidad de luz, la tensión hídrica probablemente afecte los procesos de la planta en el siguiente orden decreciente de sensibilidad: Fotosíntesis, Acumulación de materia seca, División celular y finalmente Transpiración. Como estos procesos se reducen gradualmente y eventualmente cesan, entonces el crecimiento de las plantas podría disminuir y eventualmente cesar en forma completa.

TENSION DE HUMEDAD EN DIFERENTES ESTADOS DE CRECIMIENTO DEL MAIZ

Muchos biólogos han mostrado que el efecto de una tensión de humedad en diferentes estados fisiológicos de desarrollo del maíz pueden tener diferentes efectos sobre el rendimiento cosechado.

Denmead y Shaw (1960) mostraron que un mismo nivel de deficiencia de humedad del suelo en diferentes estados de desarrollo del maíz tendrían efectos completamente distintos sobre el rendimiento. El efecto del déficit de humedad durante la floración resultaría en una reducción más severa en rendimiento (50%) que la reducción producida por el mismo déficit de humedad en una etapa más temprana (25%) o en una etapa más tardía (21%) del ciclo estacional.

Flinn y Musgrave (1967), señalan que los cambios en la tensión hídrica durante diferentes etapas de crecimiento producen cambios en el rendimiento de los cultivos, sobre todo si éste se mide como grano y no como materia verde de la planta.

Downey (1972) reporta que la reducción del rendimiento depende de la severidad de la tensión de humedad de la planta y del estado de crecimiento durante el cual ocurre la tensión.

Diferentes Estados de Crecimiento del Maíz.

Hanway (1963) trabajando en Iowa realizó un estudio donde describe diez diferentes estados de crecimiento del maíz, como aparecen en el cuadro 1. El intervalo de tiempo transcurrido desde que la planta emerge (0) al estado de sedación (5) es variable. La duración entre cada uno de estos estados intermedios hasta el estado de sedación difiere para los distintos híbridos y condiciones ambientales. Cada uno de los estados anteriores a la sedación está estrechamente asociado con el número de hojas que están visibles y por lo tanto pueden ser realmente identificados. El período desde el estado de sedación al estado de maduración fisiológica parece ser relativamente constante para los diferentes híbridos y diferentes condiciones ambientales.

Barnes y Woolley (1969) realizaron un experimento en el cual consideran el ciclo vegetativo del maíz dividido en tres estados de crecimiento bien marcados: germinación hasta la inflorescencia; inicio de la polinización; formación y llenado del grano.

Denmead y Shaw (1960), trabajando en la irrigación de maíz con un deficiente suministro de agua consideran cinco estados de crecimiento en el ciclo vegetativo del maíz: Emergencia y establecimiento; Período vegetativo; Período de polinización; Período de llenado del grano; Maduración. Stewart, et. al. (1975) en sus experimentos utilizan los mismos cinco estados de crecimiento del ciclo vegetativo del maíz. Sin embargo expresan que al aumentar el número de estados de crecimiento, involucran problemas

CUADRO 1.- Diferentes estados de crecimiento del maíz, características de identificación y días promedios desde la emergencia. (Hanway, J. 1963. Agronomy J. 10: 497, 491)

Estado de Crecimiento	Días desde la Emergencia	Características de identificación para usar en el campo.
0	0	Emergencia de la planta.
1	14	El collar de la cuarta hoja visible.
2	28	El collar de la octava hoja visible.
3	42	El collar de la doceava hoja visible
4	56	El collar de la dieciseisava hoja visible y las puntas de muchas inflorescencias.
5	66	El 75% de las plantas tienen sedación visible.
6	78	12 días después del 75% de sedación. Granos en estado de vejiga.
7	90	24 días después del 75% de la sedación.
8	102	36 días después del 75% de la sedación.
9	114	48 días después del 75% de la sedación.
10	126	60 días después del 75% de la sedación. Grano fisiológicamente maduro.

prácticos de identificación en el campo, además que se eleva el número de tratamientos a considerar.

Déficit de Humedad en el Suelo y el Potencial Hídrico de la Planta en diferentes estados de Crecimiento.

Pobins y Domingo (1953) consideran que durante las etapas de crecimiento vegetativo, el maíz es relativamente tolerante a la sequía, es decir, que si la sequía no es muy severa en estas etapas, cuando cesa, la planta se recupera sin una merma considerable en su producción. Sin embargo, desde la iniciación de la espiga hasta la polinización y fertilización del óvulo, el maíz es muy sensible a la sequía. Reportan que condiciones de marchitamiento con duración de uno o dos días durante el período de polinización, redujeron el rendimiento en un 22%, y que condiciones de marchitamiento durante seis a ocho días durante la polinización redujeron el rendimiento en 50%.

Volodarskij y Zinevic (1960), reportados por Salter (1967), 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 en materia seca, pero el rendimiento en grano no se reduce ó incluso se nota un ligero incremento si en la siguiente etapa el cultivo no tiene ningún déficit de humedad. La etapa más crítica del maíz al déficit de humedad del suelo, es durante la fase de gametogénesis, o sea, desde el inicio de la formación de la espiga hasta el inicio de la floración, con una segunda etapa crítica al inicio de la formación del grano después de la floración.

Barnes y Woolley (1969), utilizando un mismo déficit de humedad en tres diferentes estaciones de crecimiento, concluyeron que el rendimiento se redujo en los tres estados estudiados, siendo más drástica la reducción cuando el déficit hídrico se impuso durante la formación del polen, en segundo orden durante la formación del grano y en menor grado durante el estado anterior a la inflorescencia.

Según Rojas (1972), se ha calculado que en condiciones normales una planta de maíz absorbe durante su ciclo de vida unos 300 Kg. de agua, de los que utiliza en procesos metabólicos alrededor de un 2%, transpirando el resto. Booner y Galston (1976) mencionan que una hectárea de maíz absorbe unas 3250 tons. de agua durante la época de crecimiento.

Muñoz (1975) reporta el grado de sensibilidad de cinco etapas del maíz a la sequía en el siguiente orden: Formación de la espiga al término de la floración (3), Inicio de la formación del grano al estado lechoso del grano (4), De la séptima hoja a la formación de la espiga (2), Del estado lechoso del grano a la maduración total (5) y Germinación a la aparición de la séptima hoja (1).

Palacios (1977) ha obtenido variaciones en los rendimientos del cultivo, debido a cambios en el régimen de humedad del suelo, encontrando que hay un cierto nivel de humedad óptima, en determinada etapa de desarrollo del cultivo, que produce un rendimiento máximo.

Humedad aprovechable del Suelo y el Potencial Hídrico de la Planta en diferentes estados de crecimiento.

Hernández (1957) en su investigación obtuvo que el tratamiento regado cuando es abatido el 75% de la humedad aprovechable del suelo, produjo un rendimiento inferior al de los tratamientos regados cuando se alcanza el 40, 25 y 20% de abatimiento de la humedad aprovechable respectivamente.

Laird y Lizarraga (1959) en base a observaciones experimentales de campo, llegaron a la conclusión de que para el maíz, la humedad aprovechable puede reducirse hasta cero durante las tres últimas semanas de su ciclo sin bajar el rendimiento.

Hernández (1976) trabajando en Buenavista, investigó cuatro diferentes niveles de abatimiento de la humedad aprovechable del suelo, 20, 40, 60, 80%. Obteniéndose un rendimiento máximo de 7,000 Kg./Ha. y los rendimientos próximos al máximo se obtuvo - cuando el abatimiento de la humedad aprovechable es menos de 40% y se verificó un descenso en los rendimientos hasta un mínimo de 3,250 Kg./Ha. con un abatimiento de la humedad aprovechable de 80%.

Potencial Mátrico del Suelo y la Tensión de Humedad en diferentes estados de crecimiento.

Denmead y Shaw (1962), relacionaron el crecimiento del maíz con el número de días en que el potencial mátrico estuvo por debajo del punto estimado de marchitamiento, viéndose una reducción del peso seco de las plantas cuando el potencial mátrico era bastante elevado como para causar pérdida de turgencia en la planta.

Leeper, et. al. (1974) hallaron que esfuerzos de humedad frecuentes redujeron la altura del maíz, habiendo desarrollo lento, y reducción en el rendimiento; esto fue dependiendo de la duración y grado de esfuerzo.

Stewart, et. al. (1975) reportan que grandes rendimientos del maíz ocurrirán solamente cuando hay muy pequeños o no hay déficit de evapotranspiración. La reducción del rendimiento - debido a un elevado potencial mátrico en el período vegetativo es mucho menor, mientras que el maíz se muestra insensitivo a niveles de potencial mátrico moderados en el período de llenado del grano. Consideran al período de polinización como Período Crítico, ya que el rendimiento del maíz resultó especialmente - vulnerable a déficit de agua. Sin embargo, la susceptibilidad del rendimiento del maíz a déficit en el período de polinización es grandemente reducida si existe un déficit de humedad tardío

en el período vegetativo y esto es expresado como un factor de "condicionamiento del cultivo".

DURACION E INTENSIDAD DE LA TENSION DE HUMEDAD

Existe discrepancia entre los investigadores sobre el nivel preciso de tensión de humedad de la planta que retardaría el crecimiento.

Veihmever y Hendrickson (1950) sustentan la tesis de que la disponibilidad del agua en el suelo para las plantas, es uniforme entre Capacidad de Campo y Porcentaje de Marchitez Permanente, o sea que el crecimiento de una planta es relativamente inafectado por la tensión de humedad dentro del nivel de humedad del suelo aproximado al punto de marchitez permanente.

Hagan et. al. (1959) reportan las expresiones de muchos autores y afirman que la disponibilidad decreciente del agua en el suelo afecta el crecimiento antes que se produzca el punto de marchitez permanente.

Denmead y Shaw (1960) consideraron el 50% de PHA como el origen del grado de tensión de humedad al cual las plantas sufren los efectos de deficiencia de agua en el suelo. También reportan que la longitud o duración de cada período de tensión usado por varios investigadores varía desde 3 hasta 14 días.

Robins y Domingo (1953) utilizaron un 60% de la humedad aprovechable del suelo como índice al cual existe tensión de humedad que afecta apreciablemente el crecimiento del maíz.

Flinn y Musgrave (1967) sostienen que la regla de decisión es irrigar cuando el nivel de humedad del suelo en la zona activa de raíces alcance un 45% de humedad aprovechable.

Hsiao (1973) reporta como nivel crítico de tensión para determinadas funciones de la planta de maíz cuando la presión del xilema de la hoja es de -12 bares.

Stewart, et. al. (1975) sometieron al cultivo de maíz a déficits hídricos durante el período de polinización y además utilizaron tres diferentes niveles de intensidad de déficits de evapotranspiración (mediana, moderada, severa), verificando que una mayor intensidad de la tensión de humedad produce una mayor reducción del crecimiento y del rendimiento. Dichos resultados aparecen en el cuadro 2.

Cuadro 2.- Tratamientos de irrigación con diferentes déficits hídricos en el período de polinización y diferentes niveles de intensidad de déficit de evapotranspiración. (Stewart, et. al. 1975. Transactions of the ASAE. 270-280).

Deficiencia durante la Polinización	Evapotranspiración Estacional cm.	Rendimiento en grano Kg/Ha.	Déficit de Evapotranspiración %	Reducción del Rendimiento %
No Deficiencia	63.2	9770	---	---
Mediana	59.9	5890	17	43
Moderada	56.1	4250	28	59
Severa	53.1	1220	37	88

FUNCIONES DE PRODUCCION AL INSUMO HIDRICO

Muchos investigadores han obtenido funciones de producción que contemplan el efecto de deficiencia hídrica (tensión hídrica) en diferentes etapas del crecimiento del cultivo, como variable independiente, como los modelos de funciones de producción presentados a continuación.

Modelo Aditivo de Función de Producción

Hiler y Clark (1971) desarrollaron un modelo de función de producción conocido como Índice-Deficiencia-Día (IDD) para relacionar el rendimiento con déficits de agua en más de un período de crecimiento. Es ésta una función de tipo aditivo, según la cual los efectos de tensión de humedad en un período del crecimiento del cultivo son independientes de los efectos de deficiencias hídricas en otros estados de crecimiento. Se asume una relación lineal entre el rendimiento y el Índice-Deficiencia-Día.

Según Hiler y Clark, el concepto del IDD, provee un medio cuantitativo para la determinación de la tensión de humedad impuesta sobre el cultivo durante su crecimiento estacional, o sea que permite caracterizar el efecto de la tensión de humedad sobre el rendimiento del cultivo.

De acuerdo con Hiler y Clark, el concepto de Índice-Deficiencia-Día (IDD) es determinado a partir de la interacción de dos factores: un Factor Diario de Deficiencia Hídrica (FD) y un factor que depende del Grado de Susceptibilidad del Cultivo (FS). El factor diario de deficiencia hídrica es una medida del grado y duración de las condiciones de deficiencia hídrica. El factor de susceptibilidad depende de la especie y estado de desarrollo del cultivo e indica la susceptibilidad de la planta a un nivel de deficiencia hídrica determinado. El Índice-Deficiencia-Día es definido como:

$$IDD = \sum_{i=1}^n (FD_i \times FS_i) \quad (1)$$

Donde:

n = número de etapas de crecimiento consideradas.

Una función lineal es integrada entre rendimiento e IDD, y así el modelo aditivo se presenta por la siguiente ecuación:

$$Y = Y_0 - A (IDD) \quad (2)$$

Donde:

Y = Rendimiento

Y_0 = Rendimiento máximo obtenido cuando no se presentan deficiencias hídricas.

El modelo puede ser escrito en forma de una regresión lineal múltiple, en la que FD_i representa las variables independientes y AFS_i los coeficientes de la ecuación de regresión.

$$Y_i = Y_0 - AFS_1(FD_1)_1 - AFS_2(FD_2)_2 + \dots + AFS_n(FD_n)_n \quad (3)$$

Hiler y Clark consideran que el concepto del Índice-Deficiencia-Día es útil en calendarios de riego, toma de decisiones para el desarrollo de nuevos programas de irrigación y en la predicción de rendimientos para condiciones dadas de deficiencia hídrica del cultivo.

Factor Diario de Deficiencia Hídrica (FD)

Hiler y Clark (1971) aseveran que el FD es un factor ambiental que es función del medio ambiente aéreo y del suelo, o sea es una función de la demanda evaporativa atmosférica, el potencial del agua en el suelo y otros factores como textura, estructura, profundidad del suelo, volumen y distribución de las raíces. El factor de deficiencia hídrica indica en forma cuantitativa la duración y grado de las condiciones de deficiencia hídrica que la planta experimenta.

Hiler y Clark (1971) y posteriormente Hiler, Howell, Lewis, Boos (1974) consideraron diferentes parámetros como posibles indicadores del déficit hídrico que pueden ser utilizados para la caracterización de valores del FD, basados sobre la teoría física

del flujo continuo del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera, como se presenta resumido en el cuadro 3.

Cuadro 3.- Posibles parámetros indicadores para la caracterización del Factor de Deficiencia.

(Hiler, E.A. et. al. 1974. Transactions of the ASAE. 393-398)

Tipo de Indicador	Indicador
Planta	$|\Psi|$
Planta	Diferencial de temp. de la hoja-aire
Planta	Resistencia de difusión de la hoja
Planta	$1 \div$ diámetro del tallo
Suelo	$|\Psi_s|$
Suelo	Porcentaje de humedad aprovechable
Suelo-clima	$ETP \times |\Psi_s|$
Clima	$1 - \frac{E}{ETP}$
Suelo-clima-planta	$ETP - \frac{\Psi_s - \Psi}{R_s - R_p}$
Tiempo	Período de irrigación

✓ Kramer (1969) indicó que teóricamente un parámetro de medición directa de la tensión de agua en la planta, tal como el potencial hídrico de la hoja proveería un mejor indicador que otros parámetros de la planta y del suelo, los cuales son indicadores indirectos del déficit hídrico en la planta porque el crecimiento y el rendimiento del cultivo está determinado directamente por la tensión de humedad en la planta y sólo indirecta y parcialmente por el status del agua en el suelo. ✕

✓ Sin embargo, Hiler, et. al. (1974) considera que el indicador deseado en determinadas circunstancias dependerá de varias consideraciones prácticas, tanto como del razonamiento teórico y de las mediciones de que se dispone. Puesto que la medición de potencial hídrico de la hoja es más difícil de contar con ellas con frecuencia, es que su uso práctico es limitado. ✕

✓ Lewis (1974) condujo un experimento para comparar varios indicadores y cinco diferentes caracterizaciones fueron comparadas. Para cada indicador se consideró el nivel más bajo alcanzado durante el período de déficit (grado de déficit) y la suma* de todos los valores diarios durante el período de déficit (duración y grado de déficit). El coeficiente de correlación de la regresión lineal entre el Índice-Deficiencia-Día y el rendimiento, fue determinado para cada expresión del Factor de Deficiencia Hídrica (FD), presentadas en el cuadro 4.

Los resultados indican que el coeficiente de correlación más alto fue obtenido cuando se usó el potencial hídrico del suelo del nivel más bajo. Sin embargo, debe ser notado que utilizando la suma de todos los valores diarios resulta en correlaciones mayores de 0.90 para cinco indicadores. En general las correlaciones fueron más altas cuando los potenciales hídricos del suelo fueron utilizados que cuando se utilizó el potencial hídrico de la hoja. Esto podría ser esperado debido a que fueron utilizadas lecturas instantáneas y los valores del potencial hídrico de la hoja son mucho más sensitivos a cambios rápidos en la demanda evaporativa que el potencial hídrico del suelo.

Cuadro 4.- Comparación de cinco caracterizadores del Factor Diario de Deficiencia Hídrica. (Lewis, R.B. 1974. Transactions of the ASAE. 393 - 398)

Caracterización del FD		Coeficiente de
Indicador	Expresión	Correlación entre el IDD y el rendimiento
Potencial hídrico del suelo temprano en la mañana	SUMA*	- 0.985
	Nivel más bajo	- 0.999
Pot. hídrico del suelo temprano en la mañana x ETP diaria	Suma	- 0.991
	Nivel más bajo	- 0.992
Potencial hídrico de la hoja temprano en la mañana	Suma	- 0.907
	Nivel más bajo	- 0.843
Potencial hídrico de la hoja al mediodía	Suma	- 0.931
	Nivel más bajo	- 0.843
Pot. hídrico de la hoja promedio de la medición de la tarde	Suma	- 0.935
	Nivel más bajo	- 0.904

Factor de Susceptibilidad del Cultivo (FS)

Indica la susceptibilidad del cultivo a una dada deficiencia hídrica en diferentes estados de crecimiento siendo función de la especie y estado de crecimiento del cultivo.

Hiler y Clark (1971) plantean dos alternativas para la caracterización del factor de susceptibilidad del cultivo (FS):

a) El factor de susceptibilidad del cultivo a una dada deficiencia hídrica en diferentes etapas de su desarrollo puede ser determinado en forma experimental, como la reducción fraccional del rendimiento que resulta de un grado dado de deficiencia durante un período específico, así

$$FS_i = \frac{Y_0 - Y_i}{Y_0} \quad (4)$$

Donde:

Y_0 = Rendimiento del cultivo cuando no sufre deficiencias.

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

Denmead y Shaw (1960) sometiendo al maíz a un dado déficit hídrico en diferentes estados de crecimiento y sus resultados fueron posteriormente sujetos a la ecuación 4 para obtener los valores del FS, presentados en el cuadro 5.

Cuadro 5.- Valores del factor de susceptibilidad del maíz en cinco diferentes estados de crecimiento.

(Denmead, O.T. y R.H. Shaw.1960. Agronomy J. 52, 272 - 274)

Estado de Desarrollo del Maíz	Estado	Valor del FS.
Emergencia al Establecimiento	1	0.03
Establecimiento a Rápido Crecimiento	2	0.25
Rápido Crecimiento a Floración	3	0.50
Floración a Estado Masoso	4	0.21
Estado Masoso a Maduración	5	0.01

Barnes y Wooley (1969) también sometieron al cultivo de maíz un cierto nivel de deficiencia hídrica en tres diferentes estados de crecimiento y mediante el procedimiento explicado, se obtuvieron los valores del FS, presentado en el cuadro 6.

Cuadro 6.- Valores del factor de susceptibilidad del maíz en tres diferentes estados de crecimiento.

(Barnes, D.L. y D.G. Wooley. 1969. Agronomy J. 61, 788-790)

Deficiencia en los Estados de Crecimiento	Rendimiento KG/Ha.	Valor del FS
No tensión durante el ciclo	5680	-----
Emergencia al Inicio de Inflorescencia	5352	0.06
Inicio de Inflorescencia y Polinización	1534	0.73
Formación y llenado del grano	2963	0.48

b) Una segunda alternativa para caracterizar el factor de susceptibilidad (FS) consiste en graficar el rendimiento (abscisa) versus el FD acumulativo para un dado período de crecimiento (ordenada). El valor del FS para cada período es la pendiente de la recta relativo a ese período, esto es:

$$FS_i = \frac{\Delta FD_i}{\Delta \text{Rendimiento}} \quad (5)$$

i = Período de crecimiento

Sin embargo Hiler concluyó que los resultados obtenidos usando la ecuación 4 son más efectivos.

Modelo Multiplicativo de Función de Producción.

Hall y Butcher (1968) propusieron que los déficits de humedad del cultivo en dos o más períodos de crecimiento pueden reducir el rendimiento en forma multiplicativa más bien que en forma aditiva.

Esto significa que el efecto de una deficiencia hídrica en un -- cierto estado de crecimiento afecta el crecimiento potencial en otros estados de crecimiento (no son independientes) del cultivo.

Jensen (1968) también sugirió una función de producción - multiplicativa para la predicción del rendimiento basada en el - déficit de evapotranspiración en diferentes estados de crecimiento, conocida como "Modelo de Rendimiento de Jensen". Este modelo multiplicativo describe los efectos de deficiencias hídricas sobre el rendimiento de cultivos con estación de floración definida, considerando el agua como el único factor limitante. Así, Jensen presenta una relación lineal entre el rendimiento relativo y el producto de los valores ajustados para el relativo uso del agua en varios períodos de crecimiento. El modelo es expresado por la siguiente ecuación:

$$\frac{Y}{Y_0} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{E}{E_0} \right)_i^{\lambda_i} \quad (6)$$

Donde:

- Y/Y_0 = El rendimiento relativo del cultivo
- Y_0 = Rendimiento potencial (no deficiencia hídrica)
- $(E/E_0)_i$ = Evaporación relativa acumulada durante un dado período de crecimiento i
- E = Evaporación real
- E_0 = Evapotranspiración potencial
- λ_i = Factor de sensibilidad relativa del cultivo a la deficiencia hídrica durante el período de crecimiento i
- n = El número de períodos considerados.

El modelo es expresado en la forma de una regresión lineal múltiple:

$$\ln \frac{Y}{Y_0} = \beta + \lambda_1 \ln \left(\frac{E}{E_0} \right)_1 + \lambda_2 \ln \left(\frac{E}{E_0} \right)_2 + \dots + \lambda_n \ln \left(\frac{E}{E_0} \right)_n \quad (7)$$

Jensen (1968) reportó que la magnitud de λ (factor de sensibilidad) para un estado específico de crecimiento depende principalmente de la sensibilidad del crecimiento de la planta a la deficiencia hídrica durante cada período de crecimiento.

Hanks (1974) desarrolló un modelo multiplicativo basándose en el modelo multiplicativo de Jensen, planteando que la razón - del rendimiento real y el rendimiento potencial está directamente relacionada a la razón de la transpiración real (T_a) y la transpiración potencial (T_p) en diferentes estados de crecimiento del cultivo. Esto es, consideró simplemente otro caracterizador de la deficiencia de humedad.

$$Y_{(\text{grano})} / Y_{P(\text{grano})} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{T_{ai}}{T_{pi}} \right)^{\lambda_i} \quad (8)$$

Modelo de Función de Producción de Días Secos

Taylor (1952) consideró que la variable de humedad que influye directamente en el crecimiento de las plantas, es la incidencia de la tensión de humedad. Sugirió el uso de un índice de tensión que reflejaría el grado de disponibilidad de la humedad del suelo para las plantas, llamado tensión de humedad integrada (THI). Este índice es obtenido por integración total de los valores de tensión de humedad en el perfil del suelo en el período de crecimiento, dividido por la duración del período de crecimiento. Taylor reporta que a medida que el THI se incrementa, el rendimiento del cultivo decrece en forma lineal.

Flinn y Musgrave (1967) reportan que mediante la consideración del nivel de humedad del suelo, o sea la disponibilidad de la humedad del suelo a la profundidad de la zona de raíces y la demanda atmosférica de humedad, pueden predecirse la ocurrencia de períodos de tensión de humedad frecuentemente denominados días secos.

Los más ampliamente conocidos Índices de Días Secos son -- propuestos por Thornthwaite (1954) y van Bavel (1956). Sus modelos difieren principalmente por la divergencia en las asunciones acerca del grado por el cual la tasa de pérdida de humedad de un cultivo debe caer abajo de la tasa de demanda por la atmósfera para constituir una condición de tensión de humedad. También existen diferencias en las asunciones acerca del efecto de un "día seco" en diferentes estados específicos del desarrollo del cultivo, sobre el rendimiento que puede ser obtenido.

Según Thornthwaite y van Bavel el concepto de día seco implica un nivel crítico de la humedad del suelo bajo el cual un cultivo sería igualmente afectado, sin considerar o prescindir de cuanto la humedad disponible del suelo ha disminuído subsecuentemente. Ellos sugirieron que un índice apropiado debe estar basado en la magnitud de la deficiencia de humedad en el suelo, asumiendo que el efecto de una deficiencia de humedad del suelo sobre una planta se incrementa al aumentar la tensión de humedad.

Taylor (1961) reconoció la interacción del nivel de humedad del suelo y la demanda atmosférica sobre la tasa real de transpiración. Considera que un día de tensión de humedad ocurre cuando la evapotranspiración real cae por abajo de la evapotranspiración potencial. También asume que el crecimiento del cultivo cesa en cualquier día en el cual ocurra un déficit de humedad.

Dénmead y Shaw (1962) relacionaron el crecimiento del maíz con el número de días en que el contenido hídrico del suelo estuvo por debajo del punto estimado de marchitamiento. Obtuvieron una relación lineal de la reducción del peso seco de la planta de maíz y el número de días en que la tensión hídrica del suelo era suficientemente severa como para causar pérdida de turgencia.

De acuerdo con Dale y Shaw (1965), la turgencia de las células es necesaria para el crecimiento, y postulan que habría crecimiento mínimo o nulo en un día con tensión de humedad, así el -

rendimiento del maíz sería directamente proporcional al número de días no tensionados acumulados durante los períodos de crecimiento del desarrollo.

El modelo del índice de días secos puede ser expresado en forma de una regresión lineal múltiple, en la que N_i representa las variables independientes (número de días del estado de crecimiento i con tensión hídrica que afecta el crecimiento) y A_i los coeficientes de la ecuación de regresión.

$$Y_i = Y_0 - A_1N_1 + A_2N_2 + \dots + A_nN_n \quad (9)$$

Flinn (1970) reportó que es muy importante considerar el efecto de la intensidad del índice de días secos o sea la tasa de reducción del crecimiento del cultivo en proporción a la intensidad de diferentes niveles de tensión de humedad.

MATERIALES Y METODOS

ASPECTOS GENERALES

Localización del Sitio Experimental

El experimento se localizó en terrenos de la Universidad - Autónoma Agraria Antonio Narro, situado a los 25°23' de latitud - norte y 101°00' de longitud oeste y altura de 1785 metros sobre - el nivel del mar.

Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Kopen, modifi- cada por García (1964) adaptada a la República Mexicana en particu- lar, el clima de Buenavista, Coah., se compone de la siguiente - fórmula climática BSoK(x') (e), donde identificando tenemos:

BSo = Es el más seco de los BS con un coeficiente de P/T 22.9

K = Templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18°C, la del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente 18°C.

x' = Regimen de lluvias intermedio entre verano e invierno

e = Extremoso con oscilación entre 7 y 14°C

La temperatura media anual es de 18°C, y la precipitación - media anual es de alrededor de los 345. mm. Los meses 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 eva- poración más intensa en los meses de Mayo y Junio respectivamente- con 236 y 234 mm.

Análisis Físico-Químico del Suelo del sitio experimental.

Las muestras de suelo se tomaron a intervalos de 30 cms. hasta una profundidad de 90 cms. en el perfil del suelo (0-30; - 30-60; 60-90 cms.).

Los análisis físico-químicos se realizaron en los laboratorios de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y los resultados aparecen en el cuadro 1. El suelo es de textura migajón, arcillo-limoso y en base a sus características físico-químicas, se clasifica como un suelo normal, indicando que es apto para las labores agrícolas.

Curvas de Retención de Humedad del Suelo.

Las curvas de retención de humedad se hicieron previamente al inicio del experimento mediante el método de las ollas de presión a las profundidades de 0-30; 30-60; 60-90 cms. determinándose también su densidad aparente mediante el método del cilindro metálico.

En las figuras 1 al 3 se describen las curvas de retención de humedad, en términos del potencial matricial (bars) vs. contenido de humedad ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) para los tres estratos muestreados.

Las ecuaciones son:

Profundidad (cms.)	Ecuaciones	
0-30	$\Psi_m = 5.163(10)^{10} P_V^{-6.714}$	(10)
30-60	$\Psi_m = 4.973(10)^9 P_V^{-6.218}$	(11)
60-90	$\Psi_m = 6.364(10)^6 P_V^{-4.283}$	(12)

Cuadro 1.- Propiedades Físico-Químicas del Suelo del Lote Experimental.

Ph	8.3
C.E. (milimhos/cm.)	0.566
Ca meq/lto.	5.5
Mg meq/lto.	4.4
Na meq/lto.	1.5
K meq/lto.	1.1
SO ₄ meq/lto.	3.4
CO ₃ meq/lto.	0.69
HCO ₃ meq/lto.	12.73
Cl meq/lto.	2.80
N aprov. Kg/Ha.	0.21
P aprov. Kg/Ha.	37.00
K inter. Kg/Ha.	133.00
M.O. %	3.75
Arena %	5
Limo %	62
Arcilla %	33

Textura = Migajón, arcilloso-limoso

Profundidad cm.	Cap. Campo %	P.M. Permanentes %	Dens. Aparente grs/cm ³
0 - 30	47.15	20.82	1.24
30 - 60	44.01	20.55	1.04
60 - 90	55.51	36.76	1.19

Figura 1.- POTENCIAL MATRICIAL (bars) EN FUNCION DE CONTENIDO DE HUMEDAD ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) PARA EL ESTRATO 0-25 cm

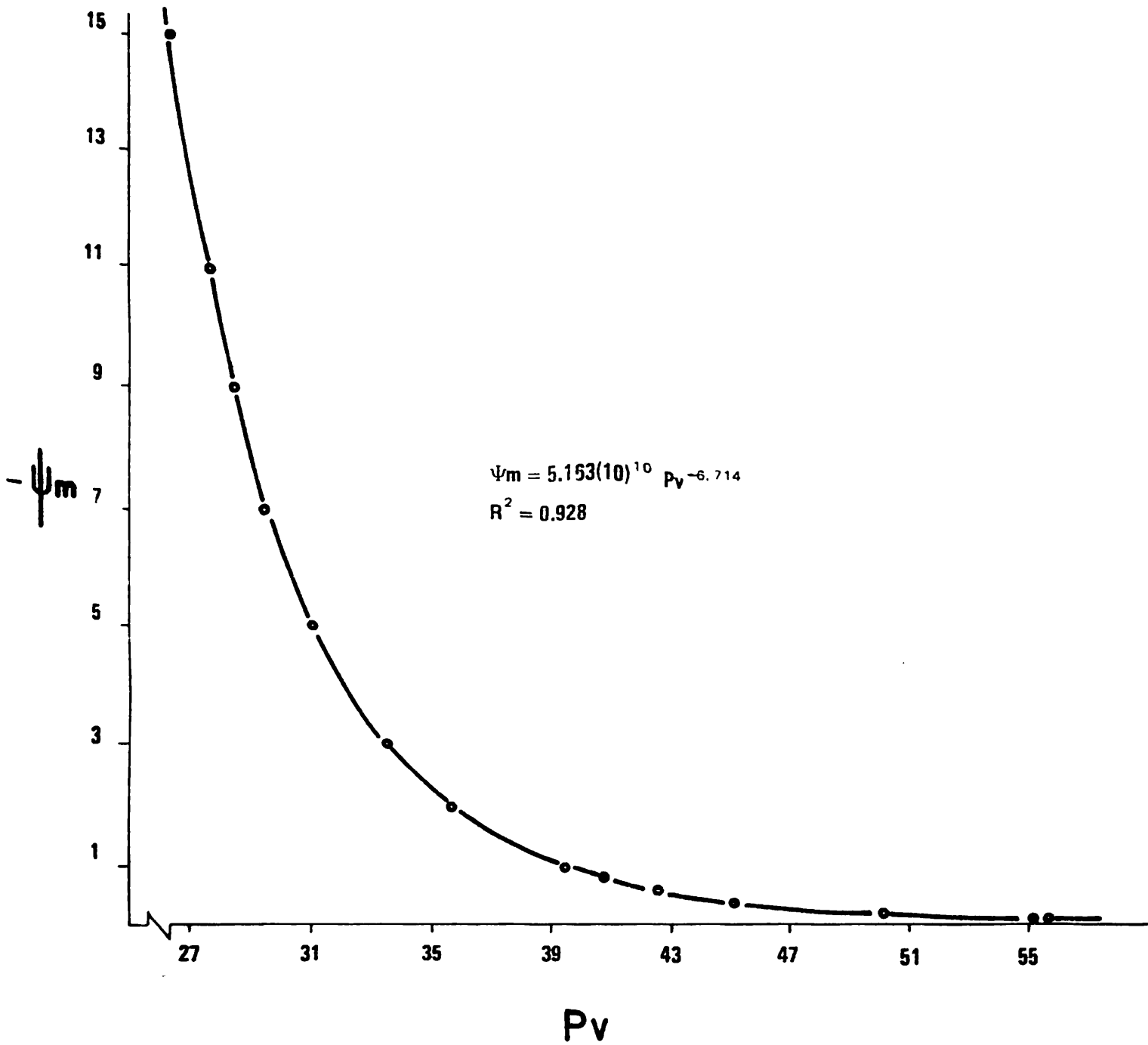


Figura 2.- POTENCIAL MATRICIAL (Jars) EN FUNCION DE CONTENIDO DE HUMEDAD ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
PARA EL ESTRATO 25-50 cm

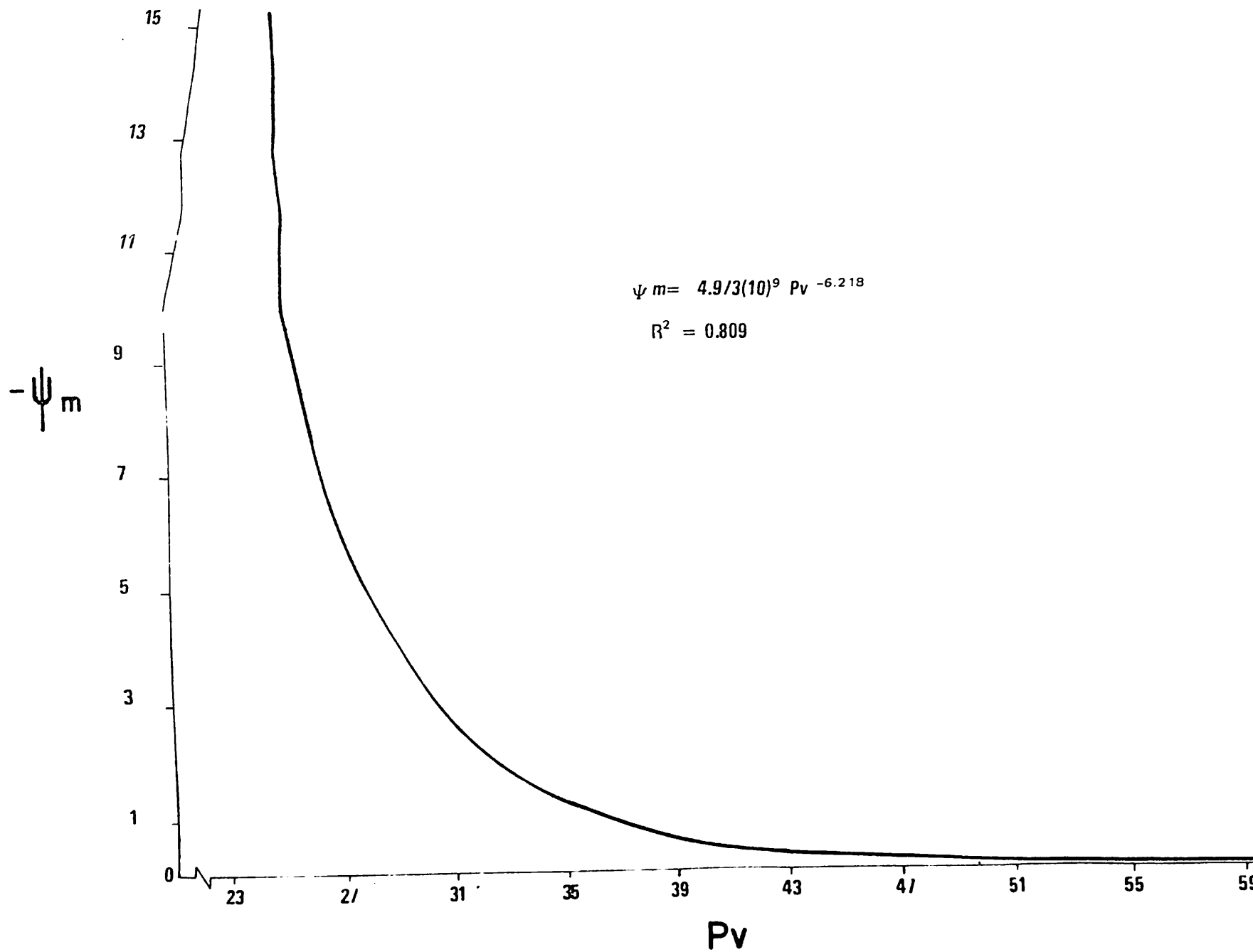


Figura 3.- POTENCIAL MATRICIAL (bars) EN FUNCION DE CONTENIDO DE HUMEDAD
($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) PARA EL ESTRATO 50-75 cm

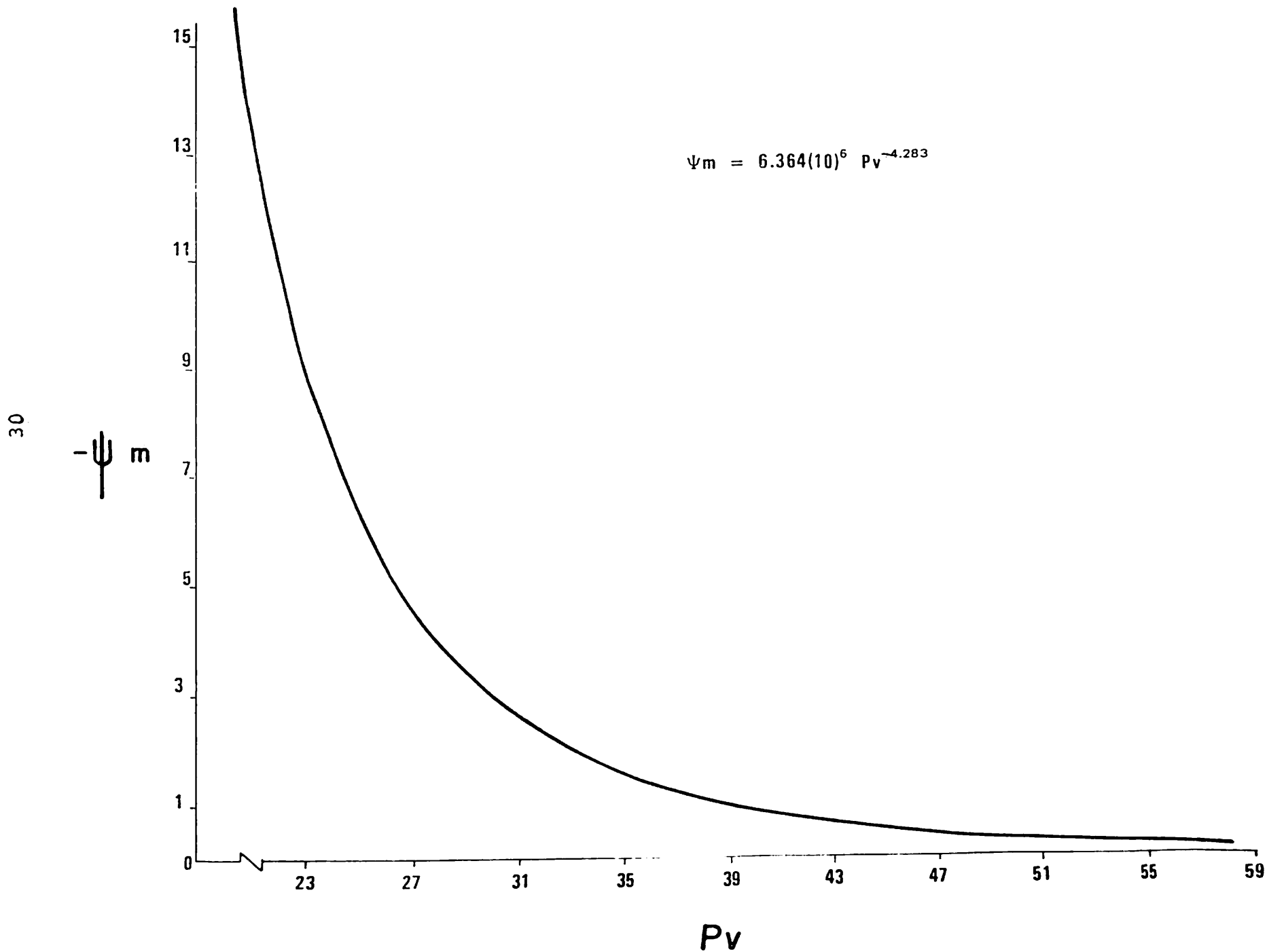


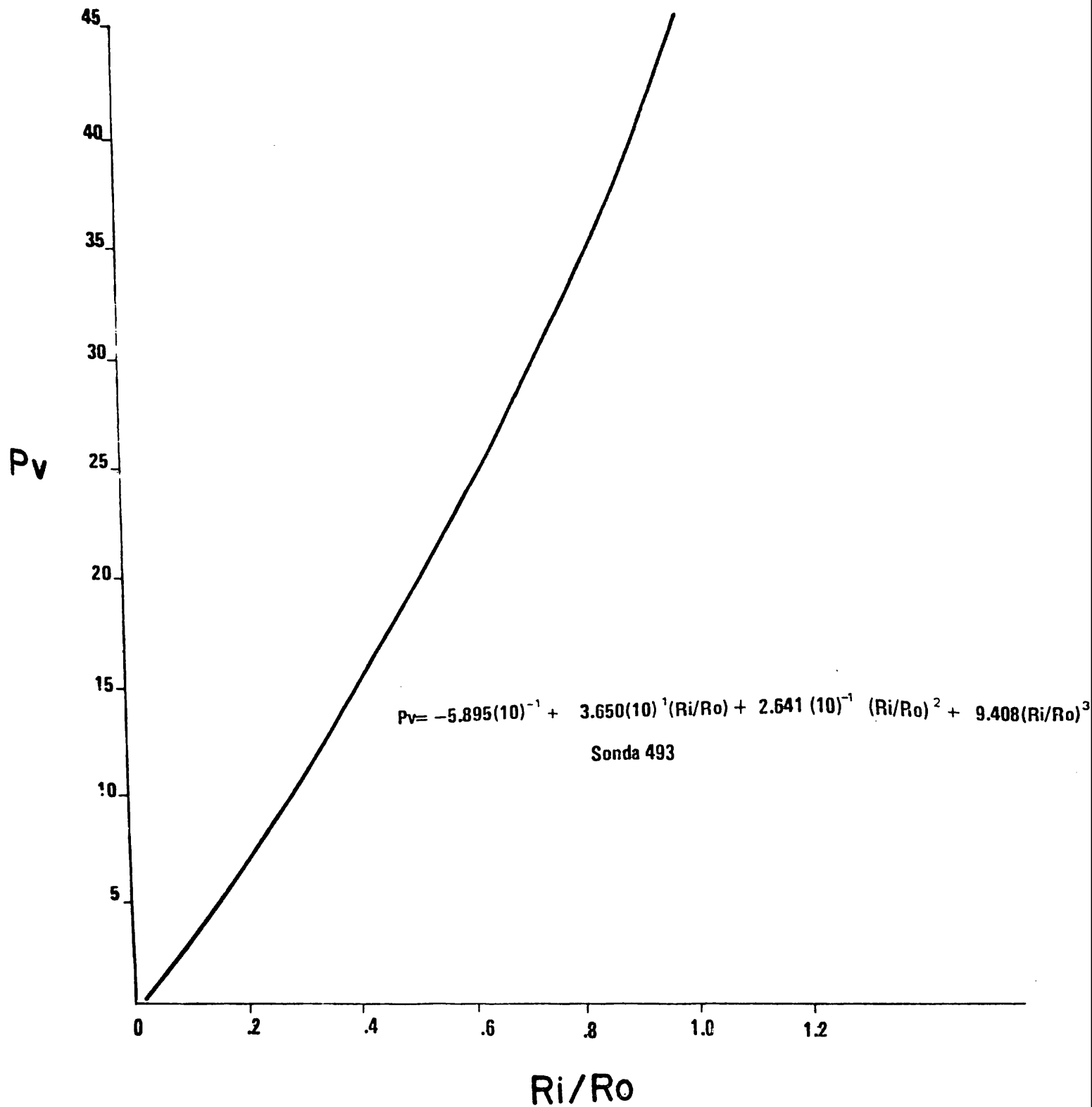
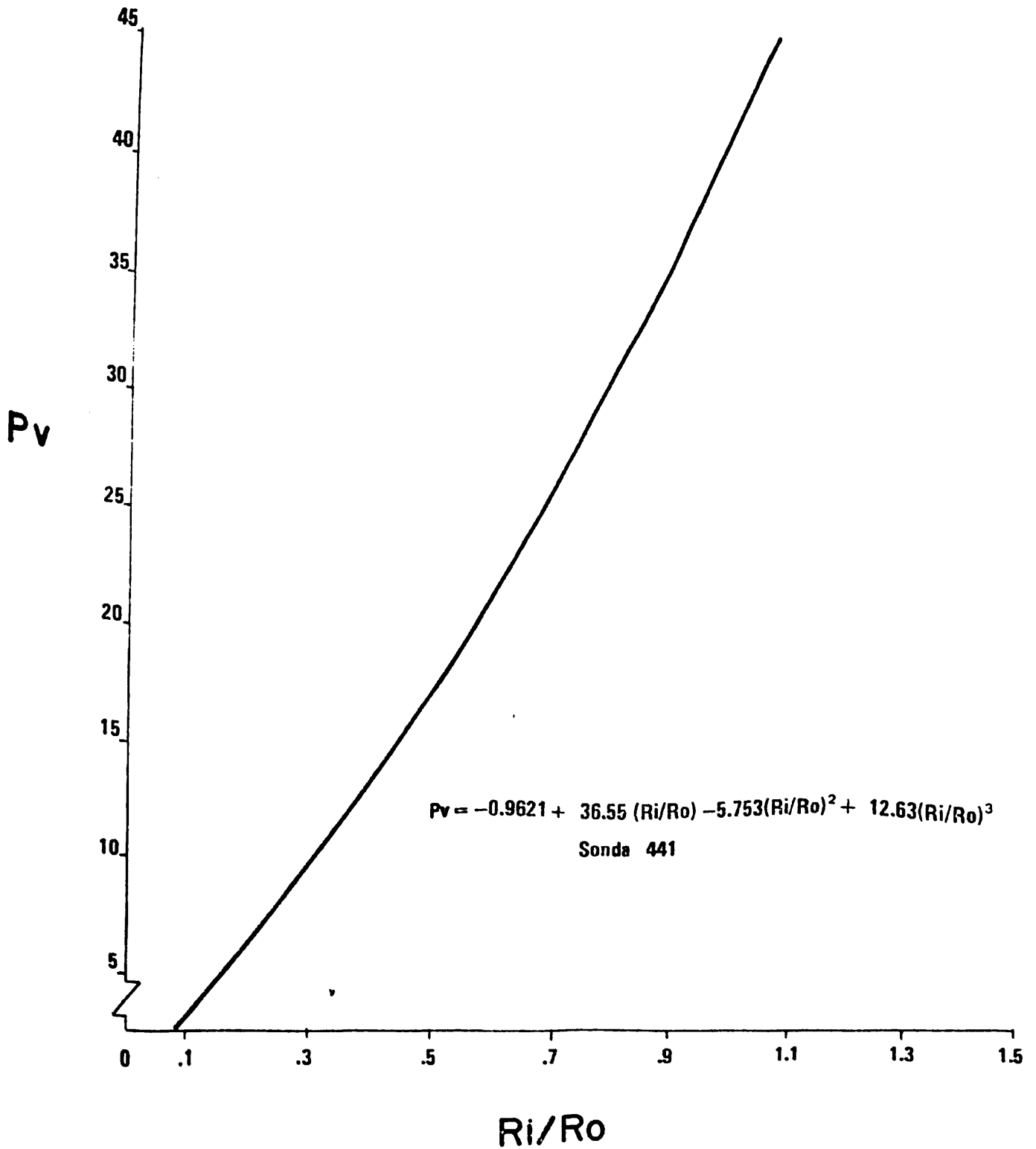
Figura 4.- PORCENTAJE DE HUMEDAD ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) EN FUNCION R_i/R_o 

Figura 5.- PORCENTAJE DE HUMEDAD ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) EN FUNCION DE R_i/R_o 

También se presentan las curvas de calibración para dispersores de neutrones en términos de porcentaje de humedad ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) vs. R_i/R_o . Las figuras 4 y 5 representan las curvas de calibración para las dos sondas (441 y 493) utilizadas en el experimento. Las ecuaciones son polinomios de tercer orden como sigue:

Sonda	Ecuación
441	$P_v = -0.9621 + 35.55(R_i/R_o) - 5.753(R_i/R_o)^2 + 12.63(R_i/R_o)^3$ (13)
493	$P_v = -0.5895 + 36.59(R_i/R_o) + 0.2641(R_i/R_o)^2 + 9.408(R_i/R_o)^3$ (14)

Agua de Riego

El agua usada para regar provenía de diferentes pozos profundos y del cual se tomaron las muestras para su análisis. Se analizó en los laboratorios de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y se presentan los resultados en el cuadro 2. El agua, según la clasificación del Manual 60 es de clase C_2S_1 , lo que indica que puede utilizarse en el riego de tierras agrícolas.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

Modelo de Índice-Deficiencia-Día

Hiler y Clark (1971) reportan que una función de tipo aditivo puede basarse en el concepto del índice-deficiencia-día, y dicho concepto es determinado a partir de dos factores: Factor de Deficiencia Hídrica (FD) y el Factor de Susceptibilidad del cultivo. Por lo que se establecieron dos subproyectos con la finalidad de obtener la información o datos para caracterizar cada uno de los factores mencionados. Además que esta misma información -

Cuadro 2.- Resultados del Análisis Físico-Químico del Agua de Riego.

Características Físicas:

Color: Incolora
 Olor: Suigéneris
 Aspecto: Límpido
 Sedimentos: NO

Características Químicas:

Ph - - - - - 8.2
 C.E. a 25°C - - - - - 400 micromhos/cm
 Sólidos disueltos - 618 ppm
 RAS - - - - - 0.091

Cationes

Ca⁺⁺ 4.5 meq/lto.
 Mg⁺⁺ 2.5 meq/lto.
 Na⁺ 0.24 meq/lto.
 K⁺ 0.03 meq/lto.

Aniones

SO₄⁻⁻ 0.64 meq/lto.
 CO₃⁻⁻ 0.95 meq/lto.
 HCO₃⁻⁻ 2.5 meq/lto.
 Cl⁻ 3.9 meq/lto.

Clasificación según Manual 60: C₂S₁

recabada para el modelo de índice-deficiencia-día, es aplicable - para la evaluación del modelo de Rendimiento de Jensen. Con respecto al modelo de días secos, la información requerida para su - evaluación se reduce a datos de rendimiento y datos del contenido de humedad del suelo, esta información también es recabada en el factor de deficiencia hídrica, por lo que no se requirió de observaciones adicionales.

Determinación del Factor de Deficiencia Hídrica en Diversas Etapas Fenológicas.

En este subproyecto se utilizó un factorial 2 x 3 en un - diseño de bloques al azar y tres repeticiones, además se adicionaron dos tratamientos, estudiándose los siguientes factores: Abatimiento de Porcentaje de Humedad Aprovechable y Etapas Fenológicas. Los niveles de los factores estudiados fueron:

Abatimiento	Etapas Fenológicas del Maíz
40%	1a. Etapa.- Crecimiento vegetativo del maíz.
80%	2a. Etapa.- Jilote y espigamiento a estado masoso del grano.
	3a. Etapa.- Del estado masoso del grano en adelante.

Los tratamientos estudiados involucran los seis tratamientos resultantes del factorial 2 x 3, más dos tratamientos adicionales (No deficiencia y 20-60-20 de PHA en las etapas 1, 2 y 3 - respectivamente), lo cual hace un total de ocho tratamientos, -- como sigue:

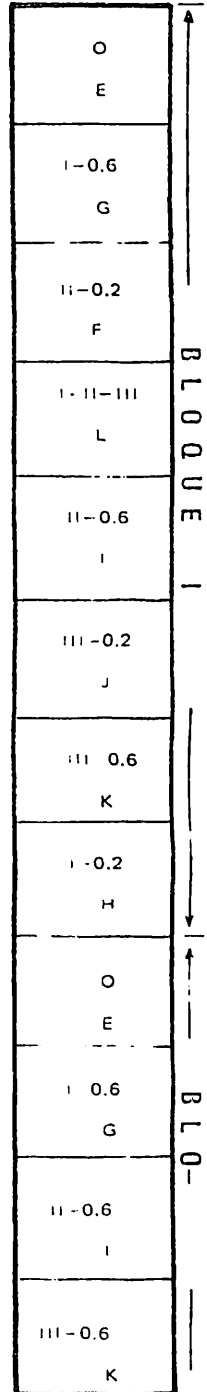
- 1) 0 Irrigado con una lámina 1.2 veces la evaporación medida en un tanque evaporímetro (Ep) cada vez que el PHA alcanza un valor de 80%.

- 2) I-0.6 Irrigado en la misma manera que el tratamiento 1 durante las etapas 2 y 3, y retardando el riego en la primera etapa hasta que el PHA alcanza un valor de 60%.
- 3) I-0.2 Irrigado en la misma forma que el tratamiento 2, retardando el riego en la primera etapa hasta que el PHA alcanza un valor de 20%.
- 4) II-0.6 Irrigado en la misma que el tratamiento 1, durante las etapas 1 y 3, retardando el riego durante la segunda etapa hasta que el PHA alcanza un valor de 60%.
- 5) II-0.2 Irrigado en la misma forma que el tratamiento 4, retardando el riego en la segunda etapa hasta que el PHA alcanza un valor de 20%.
- 6) III-0.6 Irrigado en la misma forma que el tratamiento 1, durante las etapas 1 y 2, retardando el riego en la tercera etapa hasta que el PHA alcanza un valor de 60%.
- 7) III-0.2 Irrigado en la misma forma que el tratamiento 6, retardando el riego en la tercera etapa hasta que PHA alcanza un valor de 20%.
- 8) I-II-III Irrigado con una lámina de 1.2 veces la E_p cuando el PHA alcanza valores de 20, 60 y 20 en las etapas 1, 2 y 3 respectivamente.

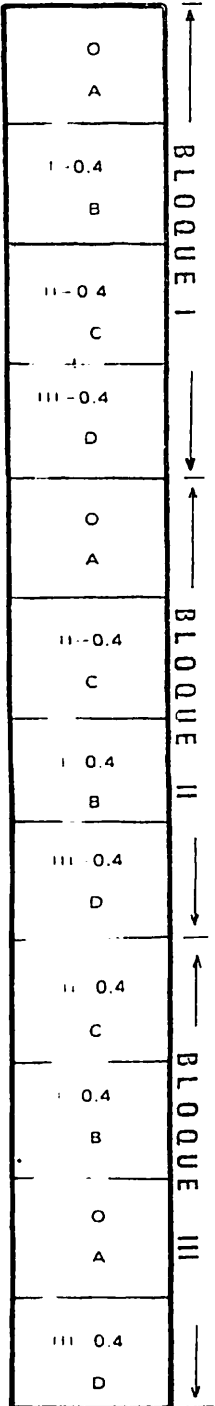
Según Hiler y Clark (1971), el factor de deficiencia hídrica diaria (FD), indica en forma cuantitativa la severidad de las condiciones de deficiencia hídrica que la planta experimenta. Por lo tanto algún parámetro indicativo de la existencia de tal déficit hídrico puede ser utilizado para la caracterización del factor FD. En el presente experimento se evaluaron nueve indicadores (cuatro expresiones de cada uno de los indicadores) para caracterizar el factor FD.

CUADRO 3.- DIAGRAMA DEL EXPERIMENTO

SUBPROYECTO PARA LA DETERMINACION DEL FACTOR DE DEFICIENCIA HIDRICA DEL CULTIVO (FD).



SUBPROYECTO PARA LA DETERMINACION DEL FACTOR DE SUSCEPTIBILIDAD DEL CULTIVO (FS)



Para cada indicador se consideró la suma de todos los valores diarios durante el período de crecimiento o etapa fenológica, y así para cada etapa considerada del maíz (indicando la duración y grado del déficit) como se presenta en el cuadro 4.

Cuadro 4.- Posibles indicadores evaluados para la caracterización del factor de deficiencia (FD).

Tipo de Indicador	Indicador	Expresión
Suelo	ψ_m	Suma
Suelo	PHA	Suma
Suelo	PH	Suma
Clima-Suelo	$*E_p \times \psi_m$	Suma
Clima-Suelo	$E_p \times PHA$	Suma
Clima-Suelo	$E_p \times PH$	Suma
Clima-Suelo	$**ET_p \times \psi_m$	Suma
Clima-Suelo	$ET_p \times PHA$	Suma
Clima-Suelo	$ET_p \times PH$	Suma

Nota: * E_p = Evaporación del tanque evaporímetro

** ET_p = Evapotranspiración potencial calculado (Penman).

De los posibles indicadores de deficiencias hídricas, indicados en el cuadro 4 se pretendió seleccionar aquéllos que permitan la mejor correlación entre el Índice-Deficiencia-Día y el rendimiento.

Determinación del Factor de Susceptibilidad del Cultivo.

El factor de susceptibilidad del maíz a un mismo nivel de deficiencia hídrica en las diferentes etapas de su desarrollo se determinó estableciendo un experimento con un diseño estadístico

de bloques al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones.

Se consideró como nivel constante de deficiencia de humedad para las tres etapas fenológicas del maíz en estudio un abatimiento de la humedad aprovechable del suelo del 60%, o sea se irrigaba -- cuando el porcentaje de humedad aprovechable alcanza un valor de 40%.

Los tratamientos utilizados se definieron de la siguiente manera, considerando tres etapas fenológicas dentro del ciclo del maíz como se especificó anteriormente:

- 1.- No deficiencia hídrica en todo el ciclo.
- 2.- Deficiencia hídrica en la primera etapa.
- 3.- Deficiencia hídrica en la segunda etapa.
- 4.- Deficiencia hídrica en la tercera etapa.

Mediante la utilización de la ecuación 4 desarrollada por Hiler y Clark (1971), se procedió a calcular los valores del Factor de Susceptibilidad para cada una de las etapas fenológicas del maíz en estudio.

La evaluación del modelo del Índice-Deficiencia-Día se realizó mediante la ecuación de regresión lineal múltiple 3, para cada uno de los diferentes posibles indicadores del Factor de Deficiencia Hídrica.

Modelo de Rendimiento de Jensen.

Para la evaluación del Modelo de Rendimiento, como se visualiza anteriormente, la información requerida se reduce a datos de rendimientos y relación entre el uso de agua real y potencial, y el factor de sensibilidad relativa (λ), o sea que utiliza la relación E/E_0 como indicador del déficit de humedad. Sin embargo en el presente trabajo se planteó la utilización de otros posibles indicadores de la deficiencia de humedad para la caracterización del Factor de Deficiencia Hídrica, los cuales son presentados en el cuadro 4 y son los mismos a utilizarse en el Modelo de Índice-Deficiencia-Día, con la salvedad del uso de los logaritmos de estos -

datos para la evaluación del modelo de Rendimiento de Jensen. La evaluación del modelo se realizó mediante la aplicación de la ecuación de regresión lineal múltiple 7 para los diferentes indicadores del Factor de Deficiencia.

Modelo del Índice de Días Secos.

En base a la literatura citada, muchos investigadores expresan que el concepto de "Índice de Día Seco" involucra la existencia de niveles críticos de humedad del suelo que originan deficiencia hídrica en el cultivo afectando el crecimiento, además de la relación de la reducción del crecimiento y la intensidad de la deficiencia de humedad. Para este modelo se utilizó solamente tres indicadores del factor de deficiencia de humedad y se establecieron tres niveles de intensidad de deficiencia hídrica para cada uno de los tres indicadores como se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 5.- Indicadores del déficit de humedad del suelo y niveles de intensidad usados en el Modelo de Días Secos.

Indicador	Niveles Deficiencia Hídrica		
	No Tensión 1	Tensión Moderada 2	Tensión Severa 3
PHA (%)	PHA > 70	35 < PHA < 70	PHA < 35
PH (%)	PH > 39.8	31.4 < PH < 39.8	PH < 31.4
Ψ_m (Bars)	$\Psi_m > -0.8$	$-3.17 < \Psi < -0.8$	$\Psi_m < -3.17$

De esta forma fue posible definir el número de días no tensionados; días con tensión moderada y días con tensión severa, para cada etapa de crecimiento permitiendo correlacionar el rendimiento con el número de días en el cual el cultivo experimentó tensiones -

hídricas de diversa magnitud. El modelo se puede representar por la siguiente ecuación de regresión lineal múltiple:

$$Y_i = Y_0 - A_1N_{11} - A_2N_{12} - A_3N_{13} + \dots + A_{n-2} N_{n1} + A_{n-1} N_{n2} + A_n N_{n3} \quad (15)$$

Donde:

N_{ij} = Número de días con el j ésimo nivel de deficiencia, en la i ésima etapa de crecimiento.

Las labores realizadas a los dos subproyectos son similares con excepción de los tratamientos aplicados que son específicos para cada subproyecto.

El área experimental estuvo antes del establecimiento del experimento cultivado con trigo, el cual se cosechó y se procedió a preparar el terreno mediante el barbecho, rastreo, nivelación, bordeo y colocación de tubos de acceso. Las parcelas o unidades experimentales tenían una dimensión de 4.5 m. de ancho y 5.0 m. de largo teniendo un área bruta de 22.50 m², de la cual el área útil fue de 7.50 m², con una distancia entre surcos de 0.75 m.

La siembra se efectuó el 12 de Junio de 1979. Se utilizó la variedad H-220 y se aplicó todo el fertilizante al momento de la siembra en la siguiente dosificación: 160 Kg/Ha. de N, 60 Kg/Ha. de P, 0 Kg/Ha. de K.

El 20 de Junio se dió un primer riego a todas las parcelas en general para uniformar la germinación. Se dió un aclareo de plantas el 15 de Julio dejando una planta cada 15 cms. de surco. El cultivo fue atendido durante todo su ciclo vegetativo con el resto de labores culturales (aporque, cultivo, control de malas hierbas, aplicación de insecticidas) uniformemente a todas las unidades experimentales. La cosecha se realizó el 5 de Noviembre, pesándose el material y reportándose el rendimiento de grano en Kg/Ha. al 13% de humedad en el grano.

Las mediciones del contenido de humedad del suelo se hicieron diariamente en tres estratos del perfil (0-30; 30-60; 60-90 cm.) usando el dispersor de neutrones, para todos los casos, obteniéndose la información necesaria para aplicar el riego y la lámina adecuada a los tratamientos correspondientes.

En la aplicación de los riegos se utilizaron sifones de polietileno de 1.5 pulgadas de diámetro, con un coeficiente de descarga de 4.7586159 (10^{-4} litros/cm³).

La toma de datos consistió en la medición diaria del contenido de humedad del suelo en base a volumen, utilizando el dispersor de neutrones en tres estratos del perfil del suelo, y obteniéndose información diaria del porcentaje de humedad, porcentaje de humedad aprovechable y potencial mátrico del suelo para cada uno de los tres estratos (0-30; 30-60; 60-90 cm.) además de el promedio para el perfil del suelo. Estas cuatro diferentes expresiones se obtuvieron para los posibles indicadores del factor de deficiencia de humedad propuestos (cuadro 5), que se utilizaron en la evaluación de los modelos de función de producción en estudio.

Se tomaron lecturas diarias de la evaporación desde un tanque evaporímetro tipo A (cuadro A del apéndice) durante el ciclo del cultivo. Además en base a datos climatológicos (cuadro B del apéndice) se calculó los valores de evapotranspiración potencial por el método combinado de Penman (1948) para los 137 días transcurridos entre la siembra y cosecha del cultivo. Finalmente se determinaron los valores de rendimiento de grano a un porcentaje de humedad standard al 13%. En el capítulo de resultados y discusiones y apéndices se citan cuadros, tablas y figuras de estas observaciones y lecturas.

08108

II A A A N

RESULTADO Y DISCUSION

NIVEL DADO DE DEFICIENCIA EN LAS ETAPAS DE CRECIMIENTO Y SU EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO

Las curvas de retención de humedad del suelo y las curvas de los dispersores de neutrones, por medio de las cuales se obtuvo la información para determinar las características de los tratamientos de humedad y ver cuando se aplicaba el riego, se notan en las figuras 1 al 5 de materiales y método.

La distribución de los riegos, la cantidad de agua aplicada por cada riego, así como el total de agua aplicada, junto con la precipitación para cada tratamiento, se presenta en el cuadro D del apéndice.

La lámina aplicada en cms., para los diferentes tratamientos se presenta en el cuadro 6, y se aprecia que el tratamiento A utilizó una mayor lámina de agua que el resto de los tratamientos. Los tratamientos B y D utilizaron láminas prácticamente iguales y la menor lámina correspondió al tratamiento B. El tratamiento A utilizó una mayor lámina puesto que no sufrió deficiencias de humedad durante el ciclo del cultivo, o sea que la planta durante el ciclo pudo satisfacer sus demandas de humedad para cubrir las necesidades fisiológicas y de transpiración. El tratamiento D estuvo sometido a deficiencia de humedad durante la tercera etapa de crecimiento, con una duración aproximada de 33 días; por su parte el tratamiento C sufrió deficiencia en la segunda etapa de crecimiento de 25 días de duración, dada la duración aproximada de ambas etapas y el mismo nivel de deficiencia los dos tratamientos utilizaron láminas prácticamente iguales y menor que el A. El tratamiento B durante la primera etapa de crecimiento, la etapa de mayor duración (79 días) estuvo sometido a deficiencia de humedad por lo que utilizó la menor lámina de agua de los tratamientos estudiados.

La precipitación registrada durante el ciclo se presenta en el cuadro A del apéndice, en él se observa la cantidad de lluvia ocurrida (14.77 cms.) y su distribución durante el ciclo del cultivo; observándose que 11.84 cms. de los 14.77 cms. ocurrieron durante la primera etapa de crecimiento, además se visualiza que las lluvias ocurridas son intensas. La figura A del apéndice presenta la precipitación y evaporación característica del lugar donde se llevó a cabo el trabajo, para un promedio de 36 años de registro. La intensidad de las lluvias ocurridas origina que una gran porción de ésta se pierde por escurrimiento superficial, almacenándose poca agua en el suelo para ser utilizada por el cultivo, por lo que la precipitación ocurrida durante el ciclo no influyó en los tratamientos.

Los datos de rendimiento de grano en Ton./Ha. para los diferentes tratamientos, se presenta en el cuadro 7, donde aparece el tratamiento A con mayor rendimiento (4.894 Ton./Ha.), seguido por el tratamiento D y B (3.879 y 3.688 Ton./Ha. respectivamente) y un menor rendimiento para el C (3.099 Ton./Ha.).

En el análisis de rendimiento de grano (cuadro B) se encontró significancia al 1% para tratamientos. Además mediante una prueba de D.M.S. se encontró una diferencia al 5% entre los tratamientos A-D, B, C; D, B-C.

Estos resultados ponen de manifiesto el efecto de una deficiencia de humedad en tres etapas de crecimiento del cultivo de maíz sobre el rendimiento, y el grado de susceptibilidad de cada una de estas etapas. El tratamiento A obtuvo el mayor rendimiento pero no sufrió deficiencias y utilizó la mayor lámina de agua. El tratamiento D produjo el segundo mayor rendimiento (3.879 Ton./Ha.) sufriendo los efectos de la deficiencia de humedad en la tercera etapa, indicando que en dicha etapa, el maíz es capaz de soportar cierta tensión de humedad sin que se afecte sensiblemente el rendimiento. El tratamiento C sometido a deficiencia en la segunda etapa de crecimiento produjo el menor rendimiento (3.099 Ton./Ha.), sin embargo utilizó una lámina de agua similar al tratamiento D y mayor que la del B, lo que

presenta a la segunda etapa del maíz (Jilote y espigamiento) como un período crítico a las deficiencias de humedad sobre el rendimiento. El tratamiento B sometido a déficit de humedad en la primera etapa y además utilizó la menor lámina de agua, no obstante produjo un rendimiento ligeramente menor que el D pero mayor que el C, expresando esto que el maíz durante el estado de crecimiento vegetativo es capaz de soportar los efectos de deficiencias de humedad y recuperarse si no sufre deficiencias posteriores en el resto del ciclo del cultivo y producir un rendimiento aceptable.

Los resultados también expresan la importancia de considerar no solamente la lámina total aplicada relacionada al rendimiento del maíz sino la distribución y la aplicación oportuna del riego a través del ciclo vegetativo. Presentándose la etapa 2 (polinización) como la más susceptible, la etapa 1 (crecimiento vegetativo) con menor grado de susceptibilidad y la etapa 3 (llenado del grano) es aún menos susceptible a deficiencias de humedad.

Estos datos de rendimiento facilitan la información necesaria para obtener los valores del Factor de Susceptibilidad (FS) - mediante la aplicación de la ecuación (4) propuesta por Hiler y Clark (1971), como la reducción fraccional del rendimiento que resulta de un grado de deficiencia durante una etapa de crecimiento específico, y se presentan en el cuadro 9.

Estos valores del Factor de Susceptibilidad obtenidos indican que el maíz reduce su rendimiento en un 24% al ser sometido a una deficiencia de humedad en la etapa de crecimiento vegetativo, a su vez experimentaría un 36% de reducción del rendimiento cuando la deficiencia ocurre durante el período de jiloteo y espigamiento (polinización), y durante la etapa de llenado del grano y maduración se afectaría en un 20%.

Los valores obtenidos coinciden marcadamente con los reportados por Denmead y Shaw (1960), con la atenuante que ellos consideran una mayor reducción (50%) durante el período de polinización.

Cuadro 6.- Lámina aplicada en cms., para los diferentes tratamientos en la determinación del Factor de Susceptibilidad del cultivo.

REPETICION

Tratamiento		I	II	III	Media
0	A	72.5	73.5	74.2	73.4
1:40	B	54.6	55.8	55.7	55.4
2:40	C	66.0	65.2	64.4	65.2
3:40	D	65.5	66.0	65.1	65.5

Cuadro 7.- Rendimiento en Ton./Ha. de maíz para los diferentes tratamientos en la determinación del Factor de Susceptibilidad del cultivo.

REPETICION

Tratamiento		I	II	III	Total	Media
0	A	5.163	4.571	4.948	14.682	4.894
1:40	B	3.624	3.520	3.921	11.065	3.688
2:40	C	3.260	2.710	3.327	9.297	3.099
3:40	D	3.824	4.240	3.574	11.638	3.879

Cuadro 8.- Análisis de varianza de rendimiento para los diferentes tratamientos en la determinación del Factor de Susceptibilidad del cultivo.

F. de Variación	G. de Libertad	S. de Cuadrado	Cuadrado Medio	F Calculada	F _{0.05}	F _{0.01}
Bloques	2	0.1025	0.0512	0.496 N.S	5.14	10.9
Tratamiento	3	5.0234	1.6744	16.222 **	4.76	9.78
Error Exp.	6	0.6193	0.1032			
Total	11	5.7432				

$$C.U = \frac{\sqrt{0.1032}}{3.85} \times 100 = 8.7\% \quad DMS_{0.05} = 0.6418 \text{ Ton.}$$

Cuadro 9.- Valores obtenidos del Factor de Susceptibilidad para el maíz en tres etapas fenológicas consideradas.

Etapa de Crecimiento	Rendimiento Ton./Ha.	Valores del F S.
No deficiencia	4.894	----
Crecimiento vegetativo	3.688	0.24
Jiloteo y espigamiento	3.099	0.36
Estado masoso del grano en adelante	3.879	0.20

Por otro lado Barnes y Woolley (1969) reportaron valores del FS bastante diferentes a los valores obtenidos en este estudio. Sin embargo según Hiler y Clark el Factor de Susceptibilidad es una función del cultivo y del nivel del déficit hídrico considerado.

NIVELES DE DEFICIENCIA DE HUMEDAD EN DIFERENTES ESTADOS DE CRECIMIENTO Y SU EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO

Se obtuvo información diaria sobre el contenido de humedad del suelo, bajo condiciones de no deficiencia durante todo el ciclo de crecimiento, y bajo condiciones deficitarias de humedad a diferentes niveles de intensidad de deficiencia en los diferentes períodos de crecimiento del cultivo. Esta información se utilizó en la caracterización de los posibles indicadores del factor FD para la evaluación de los modelos de funciones mencionados.

Se aplicó un riego uniforme a todas las parcelas experimentales ocho días después de sembrarse para favorecer la germinación y los tratamientos de humedad se empezaron a definir aproximadamente a los veinte días de nacidas las plantas.

La distribución de los riegos, la cantidad de agua aplicada en cada riego, así como el total de agua aplicada, junto con la precipitación para cada tratamiento, se describe en el cuadro E del apéndice.

El cuadro 10 presenta la lámina aplicada en cms., para los diferentes tratamientos y se observa que el tratamiento E que no sufrió deficiencia utilizó la mayor lámina de agua (73.3 cms.), a la vez los tratamientos K, I que sufrieron deficiencia hídrica del 40% - abatimiento en la tercera y segunda etapa de crecimiento respectivas y los tratamientos J y H que sufrieron deficiencia del 80% de abatimiento de la humedad aprovechable en las mismas etapas mencionadas, utilizaron las siguientes láminas: 70.0 cms., 67.8 cms., 65.1 cms., 63.6 cms. Seguidos por los tratamientos G y F que experimentaron deficiencias en la primera etapa (61.5 cms., 55.53 cms.) y la menor lámina correspondió al tratamiento L que sufrió deficiencia en las tres etapas de crecimiento consideradas.

Los rendimientos en Ton./Ha. para los tratamientos se presentan en el cuadro 11, alcanzando el tratamiento E el mayor rendimiento de 6.590 Ton./Ha. y el tratamiento H el menor rendimiento de 4.82 Ton./Ha.

Cuadro 10.- Lámina aplicada en cms., para los diferentes tratamientos en la determinación del Factor de Deficiencia.

		REPETICION			
Tratamiento		I	II	III	Media
0	E	73.9	72.3	73.6	73.3
1:20	F	54.4	55.5	56.7	55.5
1:60	G	61.1	62.7	60.8	61.5
2:20	H	63.3	63.9	63.6	63.6
2:60	I	69.7	67.1	66.8	67.8
3:20	J	65.9	64.3	64.9	65.1
3:60	K	71.5	69.0	69.5	70.0
20:60:20	L	49.2	48.6	49.2	49.0

Cuadro 11.- Rendimiento en Toneladas/Hectárea, para los diferentes tratamientos en la determinación del Factor de Deficiencia.

		REPETICION					
Tratamiento		I	II	III	Total	Media	
0	E	6.74	6.40	6.64	19.78	6.59	
1:20	F	5.84	5.90	5.75	17.49	5.83	
1:60	G	6.52	6.10	5.94	18.56	6.18	
2:20	H	5.10	4.98	4.39	17.10	4.82	
2:60	I	5.90	5.81	6.03	14.47	5.91	
3:20	J	6.34	6.05	6.36	17.74	6.25	
3:60	K	6.45	6.36	6.63	18.75	6.48	
20:60:20	L	5.76	5.67	5.67	17.10	5.70	

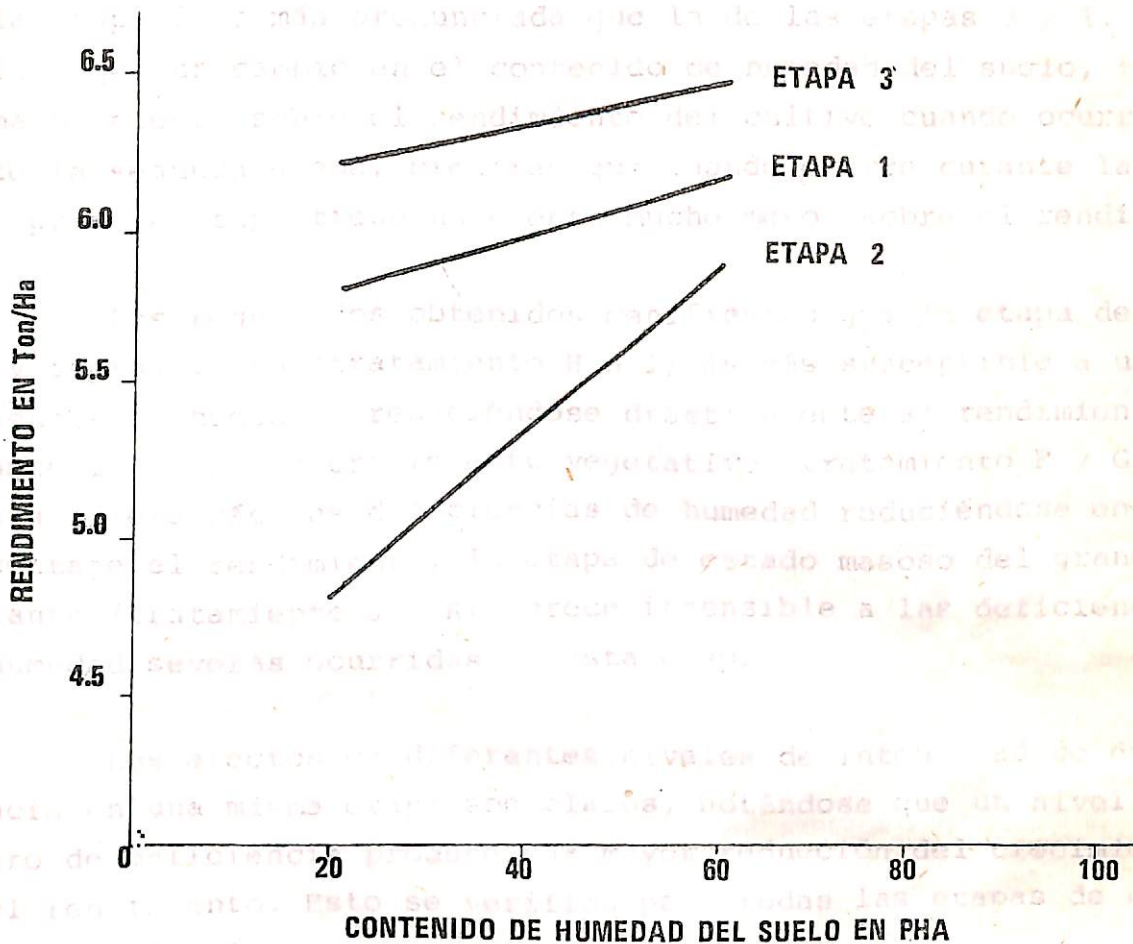
Cuadro 12.- Análisis de varianza de rendimiento para el factorial 3 x 2 en la determinación del Factor de Deficiencia.

Fuente de Variación	G. de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F α		
					0.05	0.01	
Bloques	2	0.1082	0.0541	1.053	N.S.	4.10	7.56
Tratamiento	5	5.1368	1.0274	20.005	**	3.33	5.64
Etapas	2	3.0874	1.5437	30.06	**	4.10	7.56
PHA	1	1.4224	1.428	27.69	**	4.96	10.00
Etapas x PHA	2	0.6369	0.3184	6.20	*	4.10	7.56
Error Exp.	10	0.5135	0.0513				
Total	17	5.7586					

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{CME}{\bar{Y}..}}}{\bar{Y}..} \times 100 = \frac{\sqrt{\frac{0.0513}{5.97}}}{5.97} \times 100 = 3.8\%$$

$$DMS_{0.05} = 0.2915 \text{ Ton.}$$

Fig. 6.- Interacción entre el contenido de humedad del suelo y diferentes etapas fenológicas.



En el análisis de varianza de rendimiento (Cuadro 12) para el factorial 2 x 3, se encontró significancia para tratamientos y para los dos factores estudiados: para el factor Etapas, - hubo diferencia significativa al 5 % y mediante una prueba de D.M.S. se encontró diferencia entre las etapas: Etapa 3 - Etapa 1, 2; Etapa 1 - 2.

Para el factor Niveles de PHA se detectó diferencia significativa al 1 % y siendo su ecuación lineal la siguiente:

$$Y_i = 5.6339 + 0.00702 x \quad (16)$$

Para la interacción de los factores: Etapas y Niveles de PHA, el análisis de varianza nos reporta significancia sólo al 5%; esto probablemente se debió a que el factor PHA sólo tenía dos puntos, como se observa en la figura 6. La curva de la etapa 3 y etapa 1 presentan pendiente casi similares pero mucho menor que la pendiente de la curva de la etapa 2 o sea que la pendiente de la curva de la etapa 2 es más pronunciada que la de las etapas 3 y 1. Esto indica, que un cambio en el contenido de humedad del suelo, tiene un mayor efecto sobre el rendimiento del cultivo cuando ocurre durante la segunda etapa, mientras que cuando ocurre durante la tercera y primera etapa tiene un efecto mucho menor sobre el rendimiento.

Los resultados obtenidos manifiestan que la etapa de jiloteo y espigamiento (tratamiento H e I) es más susceptible a una deficiencia de humedad, reduciéndose drásticamente el rendimiento. Durante la etapa de crecimiento vegetativo (tratamiento F y G), la planta tolera más las deficiencias de humedad reduciéndose en menor porcentaje el rendimiento, la etapa de estado masoso del grano en adelante (tratamiento J y K) parece insensible a las deficiencias de humedad severas ocurridas en esta etapa.

Los efectos de diferentes niveles de intensidad de deficiencia en una misma etapa son claros, notándose que un nivel más severo de deficiencia produce una mayor reducción del crecimiento y del rendimiento. Esto se verifica para todas las etapas de crecimiento del maíz.

En la etapa de crecimiento vegetativo cuando el maíz sufre deficiencias hídricas severas (80% de abatimiento de PHA), el cultivo parece acondicionarse de tal forma que si en el resto del ciclo vegetativo no sufre deficiencias severas se recupera y la reducción en el rendimiento final es pequeña.

El tratamiento H (4.82 Ton./Ha.) a pesar de recibir una mayor lámina de agua, que los tratamientos F y L (5.83 Ton./Ha. - 5.70 Ton./Ha. respectivamente), evidencia la importancia no sólo de la lámina total aplicada, si no también la importancia de la oportunidad de aplicación del riego a través del ciclo de crecimiento del maíz.

Resultados reportados en la literatura por muchos investigadores como: Denmead y Shaw (1960), Flinn (1970), Hiler y Clark (1971) y Stewart, et. al. (1975) etc., coinciden marcadamente con los resultados obtenidos en nuestro experimento.

EVALUACION DE MODELOS DE PRODUCCION

EN EL CULTIVO DE MAIZ

Es de importancia recalcar que la información sobre el Factor de Susceptibilidad (FS) y los indicadores de la deficiencia de humedad se recopiló en base a tres etapas del ciclo de crecimiento del maíz. Sin embargo, se elaboraron programas que permiten organizar los datos para un número variable de etapas en el ciclo (3 a 10 etapas) pudiendo también variar la duración de cada una de las etapas. Utilizando estos programas, se evaluaron los nueve posibles indicadores en los modelos de producción.

Se analizaron dadas las facilidades, prácticas de manejo e identificación en el campo, desde tres hasta cinco etapas de crecimiento del cultivo. Además un gran número de combinaciones posibles para las duraciones de las etapas consideradas, de los cuales las mejores se seleccionaron para la evaluación de los modelos.

Modelo Aditivo de Producción.

La información del Factor de Susceptibilidad (FS), los nueve indicadores del Factor de Deficiencia FD, y los datos de rendimiento se sometieron a la ecuación (3) que describe el modelo aditivo según Hiler y Clark (1971) y se corrieron para 3, 4 y 5 etapas y para un gran número de combinaciones de duraciones de las etapas, obteniéndose el coeficiente de determinación y la F calculada, que indican el grado de regresión entre el rendimiento estimado por el modelo y las variables independientes ($FD_i \times FS_i$), y el grado de significancia de la regresión respectivamente.

En los cuadros F al N del apéndice se presentan los nueve indicadores de deficiencia de humedad, además en el cuadro correspondiente a un determinado indicador se presentan cuatro diferentes expresiones de ese indicador (0-30 cms., 30-60 cms., 60-90 cms. y perfil integrado).

Se observa que es constante para todos los indicadores y para los diferentes números de etapas de crecimiento que los mayores valores del coeficiente de determinación, R^2 y la F calculada para regresión, Fc se obtuvieron para las expresiones: perfil integrado y estrato de 0-30 cms. para todos los indicadores. Además se observa que a medida que se aumenta el número de etapas de crecimiento, los valores estadísticos se incrementan.

En el cuadro 13 se presentan, los valores del coeficiente de determinación R^2 y la F calculada para regresión, Fc para las expresiones: perfil integrado y estrato de 0-30 cms. de todos los indicadores correspondientes a cinco etapas de crecimiento (20-60-15-20-22), donde se observan pequeñas diferencias entre los valores del perfil integrado y el estrato de 0-30 cms. Se obtuvieron los coeficientes de correlación de los rendimientos observados y rendimientos estimados por el modelo aditivo para cada uno de los indicadores.

Los valores de los coeficientes de correlación se presentan en el cuadro 14 y se observa que los valores para ψ_m (0.9055, -0.8888) y sus combinaciones con Evap. Tanque y Evap. Potencial resultan mayores que el PHA (0.8306, 0.8124) y sus combinaciones, y los correspondientes a PHA mayores que los pertinentes a PH y sus combinaciones con Evap. Tanque y Evap. Potencial (0.8062, 0.8124). Se tomaron los indicadores de mayor coeficiente de correlación (perfil integrado y estrato 0-30 cms.) y se presentan en las figuras 7 y 8. Los modelos aditivos obtenidos para estos indicadores son los siguientes:

A - Estrato 0-30 cms.

$$Y_i = 6.690 - 0.01958 (\psi_m)_1 + 0.00014 (\psi_m)_2 - 0.05259 (\psi_m)_3 + 0.0279 (\psi_m)_4 + 0.00958 (\psi_m)_5 \quad (17)$$

B - Perfil Integrado

$$Y_i = 6.966 - 0.00355 (\bar{\psi}_m)_1 - 0.00894 (\bar{\psi}_m)_2 - 0.0880 (\bar{\psi}_m)_3 + 0.04150 (\bar{\psi}_m)_4 + 0.01211 (\bar{\psi}_m)_5 \quad (18)$$

donde: ψ_m = Potencial matricial del suelo, en bars.

Modelo Multiplicativo de Producción.

Los datos del factor de sensibilidad para diferentes etapas de desarrollo, λ_i , los logaritmos de los nueve indicadores y los datos de rendimiento se aplicaron a la ecuación (7) que describe el modelo multiplicativo según Jensen (1968) y se corrieron para 3, 4 y 5 etapas y para un gran número de combinaciones de días de duración de las etapas, obteniéndose el coeficiente de determinación R^2 y F calculada para la regresión Fc, y presentándose los mejores valores observados.

Los cuadros O al W del apéndice presentan los nueve indicadores de deficiencia de humedad, usando cuatro expresiones diferentes, de cada uno de dichos indicadores (Perfil Integrado ; estrato 0-30 cms.; estrato 30-60 cms.; estrato 60-90 cms.)

Se observa que para todos los indicadores y para los diferentes números de etapas que los valores más altos del coeficiente de determinación R^2 y la F calculada para regresión Fc, se obtuvieron para el indicador en el perfil integrado y el estrato superficial. Igualmente a medida que se incrementó el número de etapas - consideradas los valores para estas estadísticas aumentaron.

El cuadro 15 resume los valores del coeficiente de determinación R^2 y la F calculada para regresión Fc, para las expresiones: perfil integrado y estrato 0-30 cms., de los nueve indicadores, correspondientes a cinco etapas de crecimiento con duraciones de 20, 60, 15, 20, 22 días respectivamente. Los coeficientes de correlación para los rendimientos observados y los rendimientos estimados por el modelo multiplicativo para cada uno de los indicadores se presentan en el cuadro 16, observándose que los valores correspon-

Cuadro 13.- Comparación de dos expresiones de los indicadores del factor de deficiencia para cinco etapas (20-60-15-20-22) utilizando un modelo aditivo.

Indicadores	Perfil Integrado		Estrato 0-30 cms.	
	R ² %	Fc	R ² %	Fc
ψ_m	78	13.02	82	16.28
Ep x ψ_m	79	13.37	82	16.74
ETp x ψ_m	79	13.78	82	16.90
PHA	69	8.09	66	7.14
Ep x PHA	69	8.14	68	7.73
ETp x PHA	70	8.32	68	7.66
PH	65	6.84	66	7.18
Ep x PH	66	7.01	68	7.83
ETp x PH	66	6.99	68	7.74

Cuadro 14.- Coeficientes de correlación para rendimiento observado y rendimiento estimado para nueve indicadores del factor de deficiencia utilizando un modelo aditivo.

Indicador	Perfil Integrado	Estrato 0-30 cms.
ψ_m	0.8888	0.9055
Ep x ψ_m	0.8888	0.9055
ETp x ψ_m	0.8888	0.9055
PHA	0.8306	0.8124
Ep x PHA	0.8306	0.8246
ETp x PHA	0.8306	0.8246
PH	0.8062	0.8124
Ep x PH	0.8124	0.8246
ETp x PH	0.8124	0.8246

FIGURA 7.— Correlación del rend. observado y rend. estimado para el estrato 0-30 cm utilizando un modelo aditivo con el Ψ_m como indicador de deficiencia.

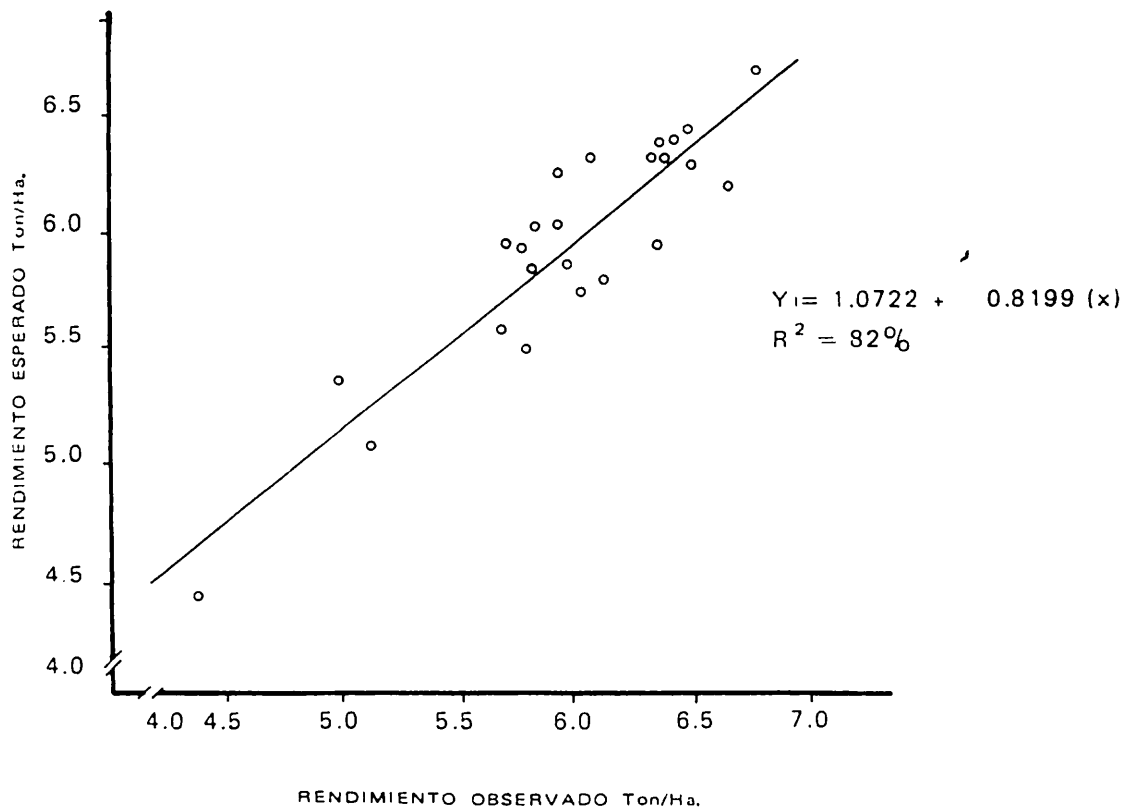
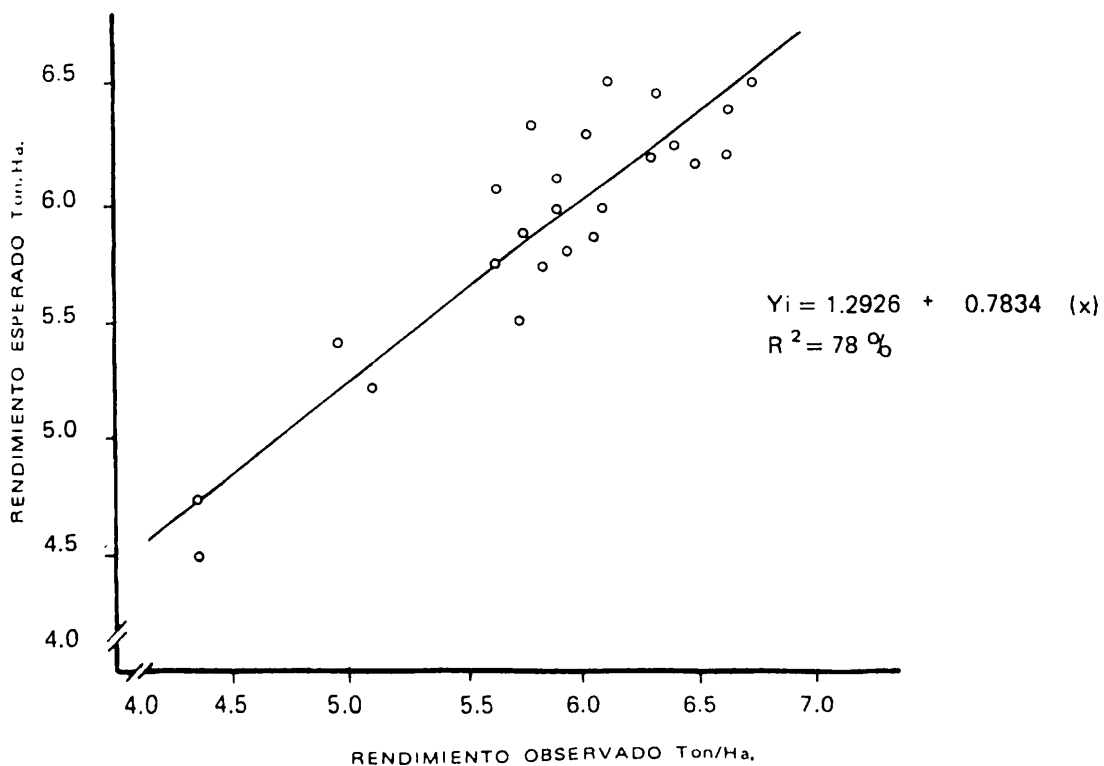


FIGURA 8.— Correlación del rend. observado y rend. estimado para el perfil integrado utilizando un modelo aditivo con el Ψ_m como indicador de deficiencia.



dientes al PHA; Evap. Tanque x PHA y Evap. Potencial x PHA resultaron ligeramente mayores (0.8775, 0.8774, 0.8834) que los del ψ_m y sus combinaciones (0.8485, 0.8485, 0.8602) y éstas a su vez resultaron ligeramente mayores que los del PH y sus combinaciones (0.8185, 0.8246, 0.8185). En general el coeficiente de correlación para todos los indicadores resultó mayor de 0.8195.

Los indicadores con mayor coeficiente de correlación (perfil integrado y estrato 0.30 cms.) se presentan gráficamente en las figuras 9 y 10. Los modelos multiplicativos obtenidos para dichos indicadores son los siguientes:

A - Perfil integrado:

$$Y_i = -2.8309 + 0.2886(FD)_1 + 1.6996(FD)_2 + 4.1469(FD)_3 - 5.009(FD)_4 + 0.1749(FD)_5 \quad (19)$$

donde: FD = Evapotranspiración potencial x porcentaje de abatimiento de humedad del suelo.

B - Estrato 0-30 cms.:

$$Y_i = 8.4746 - 0.2835(FD)_1 - 0.1393(FD)_2 - 1.4593(FD)_3 + 1.1384(FD)_4 + 0.2000(FD)_5 \quad (20)$$

donde: FD = Evaporación (Tanque) x ψ_m

Modelos de Días Secos.

La información para los tres indicadores del contenido de humedad del suelo permitió obtener los datos sobre el número de días sin deficiencia de humedad y el número de días con deficiencia de humedad de acuerdo con los niveles establecidos en el cuadro 5, para cada una de las etapas de crecimiento del maíz. Estos datos se sometieron a la ecuación (15) que describe el modelo de días secos y se corrieron para 3, 4 y 5 etapas y para un gran número de combinaciones de días de duración de las etapas.

Cuadro 15.- Comparaciones de dos expresiones de los indicadores del factor de deficiencia para cinco etapas (20-60-15-20-22) utilizando un modelo multiplicativo.

Indicadores	Perfil Integrado		Estrato 0-30 cms.	
	R ² %	Fc	R ² %	Fc
ψ_m	72	9.21	69	8.18
Ep x ψ_m	72	9.50	72	9.25
ETp x ψ_m	74	10.17	72	9.22
PHA	77	11.96	72	9.17
Ep x PHA	77	12.58	73	9.70
ETp x PHA	78	12.69	72	9.48
PH	67	7.40	69	7.91
Ep x PH	68	7.61	70	8.27
ETp x PH	67	7.45	70	8.49

Cuadro 16.- Coeficientes de correlación para rendimiento observado y rendimiento estimado para nueve indicadores del factor de deficiencia utilizando un modelo multiplicativo.

Indicador	Perfil Integrado	Estrato 0-30 cms.
ψ_m	0.8485	0.8306
Ep x ψ_m	0.8485	0.8426
ETp x ψ_m	0.8602	0.8485
PHA	0.8774	0.8485
Ep x PHA	0.8774	0.8544
ETp x PHA	0.8831	0.8485
PH	0.8185	0.8306
Ep x PH	0.8246	0.8366
ETp x PH	0.8185	0.8366

FIGURA 9.- Correlación del rend. observado y rend. estimado para el perfil integrado utilizando un modelo multiplicativo con $ET_p \times PHA$ como indicador de deficiencia.

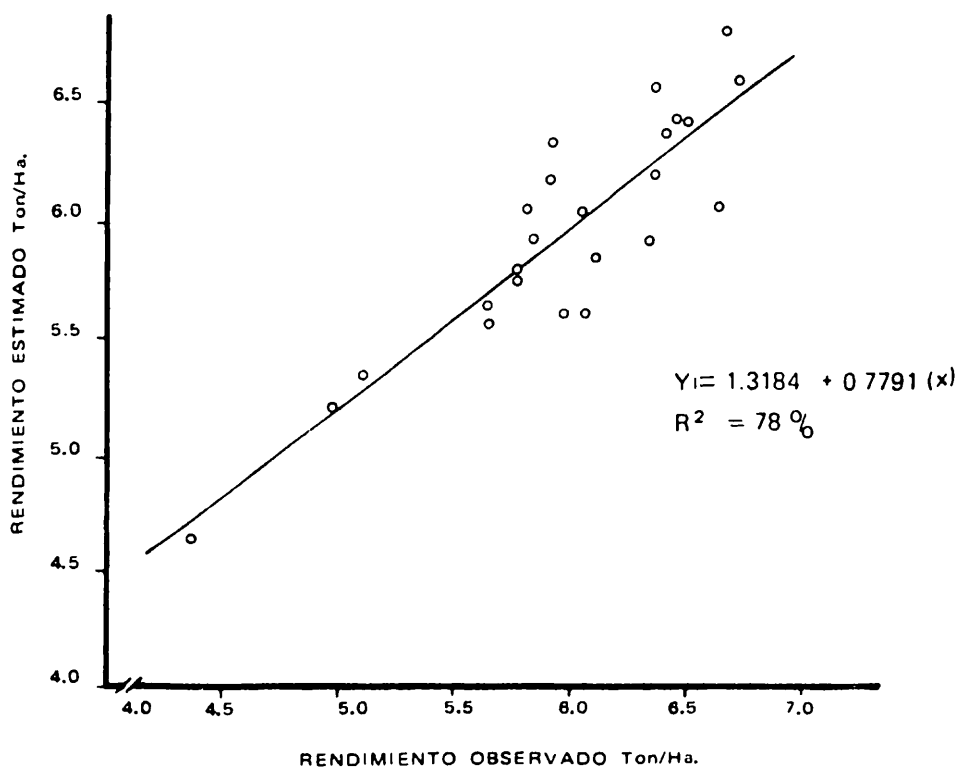
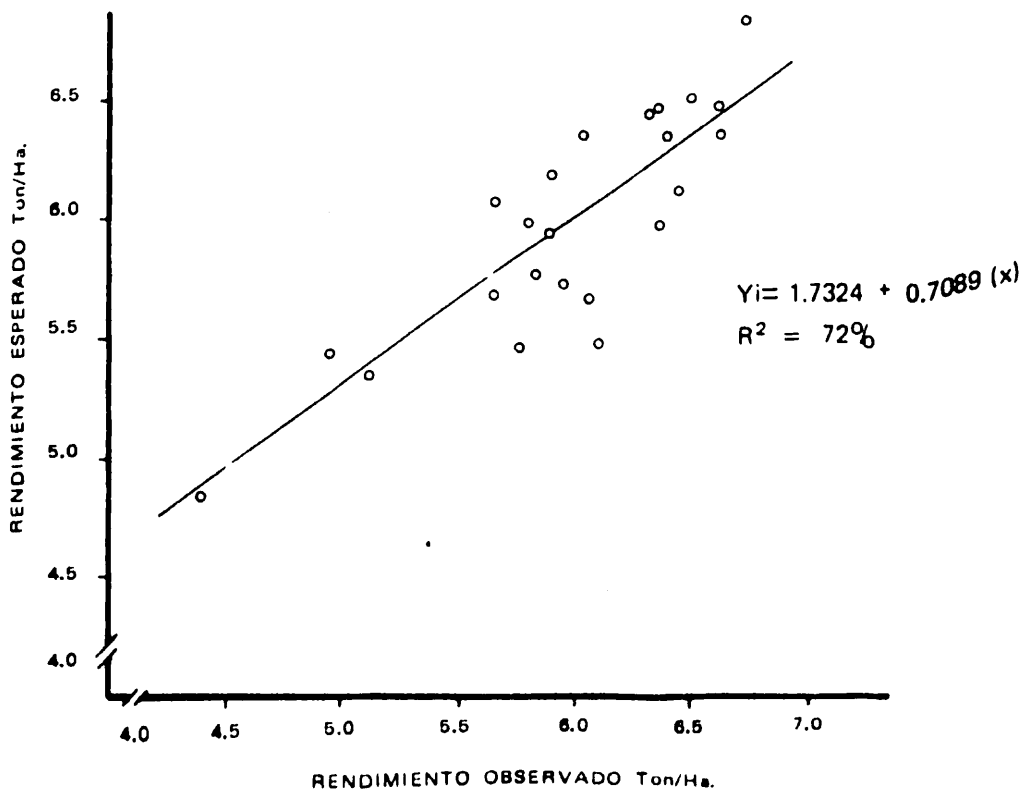


FIGURA 10.- Correlación del rend. observado y rend. estimado para el estrato 0-30 cm utilizando un modelo multiplicativo con el $E_p \times \Psi_m$ como indicador de deficiencia.



Los cuadros X, Y y Z del apéndice presentan los tres indicadores del contenido de humedad, en cuatro expresiones de cada uno de ellos (Perfil integrado; estrato 0-30 cms.; estrato 30-60 cms. estrato 60-90 cms.). Se verifica que para los tres indicadores y para los diferentes números de etapas consideradas, los valores mayores del coeficiente de determinación R^2 y la F calculada para regresión Fc, se obtuvieron para las expresiones del perfil integrado y el estrato 0-30 cms. También se verifica que a medida que se incrementa el número de etapas los valores de las estadísticas mencionadas aumentan.

El cuadro 17 resume los valores del coeficiente de determinación R^2 y la F calculada para regresión Fc, para las expresiones: perfil integrado y el estrato 0-30 cms. de los tres indicadores, correspondientes a cinco etapas de crecimiento con duraciones de 20, 60, 15, 20, 22 días respectivamente.

Los valores de los coeficientes de correlación entre el rendimiento observado y rendimiento esperado se presentan en el cuadro 18, en el cual se observa que los valores correspondientes a ψ_m (0.9219, 0.9273) y PHA (0.9643, 0.9000) resultaron ligeramente más altos que los de PH (0.8544, 0.8944). Además se verifica que en general los coeficientes fueron superiores al 0.8500.

Cuadro 17.- Comparación de dos expresiones de los indicadores del factor de deficiencia para cinco etapas (20-60-15-20-22) utilizando el modelo de días secos.

Indicadores	Perfil Integrado		Estrato 0-30 cms.	
	R^2 %	Fc	R^2 %	Fc
ψ_m	85	7.68	86	7.78
PHA	93	16.64	81	5.51
PH	73	3.47	80	5.35

Cuadro 18.- Coeficientes de correlación para rendimiento observado y rendimiento estimado para tres indicadores del factor de deficiencia utilizando el modelo de días secos.

Indicadores	Perfil Integrado	Estrato 0-30 cms.
Ψ_m	0.9219	0.9273
PHA	0.9643	0.9000
PH	0.8544	0.8944

Los indicadores de mayor coeficiente de correlación - (perfil integrado y estrato 0-30 cms.) se presentan gráficamente en las figuras 11 y 12. Los modelos de días secos obtenidos para dichos indicadores son los siguientes:

A - Perfil Integrado

$$\begin{aligned}
 Y_i = & 9.0568 - 0.0037(\overline{P\bar{H}A})_{1,1} - 0.0482(\overline{P\bar{H}A})_{1,3} - 0.0092(\overline{P\bar{H}A})_{2,2} \\
 & - 0.0542(\overline{P\bar{H}A})_{2,3} - 0.0405(\overline{P\bar{H}A})_{3,2} - 0.1685(\overline{P\bar{H}A})_{3,3} - 0.4273(\overline{P\bar{H}A})_{4,1} \\
 & + 0.1363(\overline{P\bar{H}A})_{4,3} - 0.0444(\overline{P\bar{H}A})_{5,2} - 0.0790(\overline{P\bar{H}A})_{5,3} \quad (21)
 \end{aligned}$$

B - Estrato 0-30 cms.

$$\begin{aligned}
 Y_i = & 9.2556 - 0.0960(\Psi_m)_{1,2} - 0.0168(\Psi_m)_{1,3} - 0.0391(\Psi_m)_{2,1} \\
 & - 0.0128(\Psi_m)_{2,3} - 0.1491(\Psi_m)_{3,1} - 0.0447(\Psi_m)_{3,2} + 0.0998(\Psi_m)_{4,1} \\
 & - 0.4614(\Psi_m)_{4,3} - 0.0122(\Psi_m)_{5,1} + 0.1550(\Psi_m)_{5,3} \quad (22)
 \end{aligned}$$

En general el potencial matricial, Ψ_m y el porcentaje de abatimiento de humedad del suelo, PHA; y sus respectivas combinaciones con la evap.(tanque) y evap. potencial resultaron en más altos coeficientes de correlación que el porcentaje de humedad del suelo, PH y sus com-

FIGURA 11.— Correlación del rend. observado y rend. estimado para el perfil integrado utilizando el modelo de días secos con el PHA como indicador de deficiencia

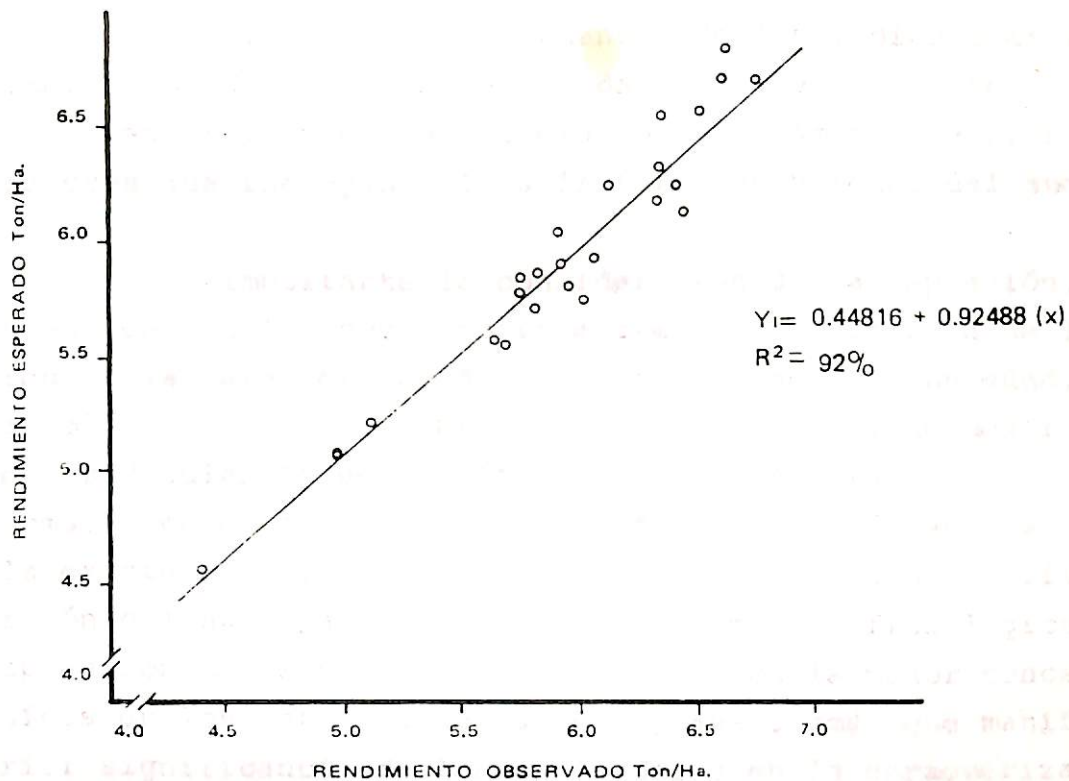
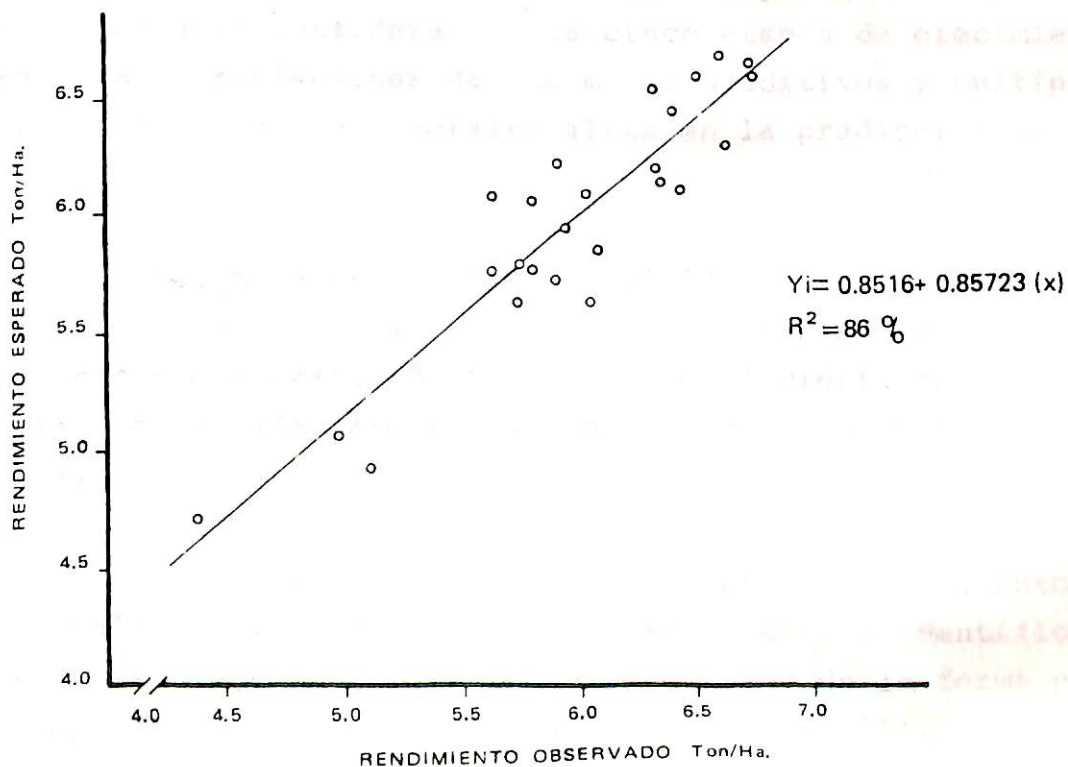


FIGURA 12.— Correlación del rend. observado y rend. estimado para el estrato 0-30 cm utilizando el modelo de días secos con el Ψ_m como indicador de deficiencia.



binaciones, lo que indica que son los indicadores que mejor caracterizan el factor de deficiencia de nuestros modelos.

También se ve la tendencia de los indicadores a incluir la combinación de factores de humedad del suelo x factores climáticos a presentar valores de correlación ligeramente mayores a los indicadores que incluyen sólo a factores de humedad del suelo.

Es importante la consideración de la expresión, perfil integrado del suelo, que reporta elevada significancia de los indicadores en la caracterización de la deficiencia de humedad, puesto que involucra todo el volumen de suelo en el cual se desarrolla el sistema radicular íntegro. Sin embargo, la expresión del estrato 0-30 cms. también reporta alta significancia, indicando su relación con la existencia de la mayor concentración de raíces activa en la absorción del agua para satisfacer las demandas fisiológicas y de transpiración de la planta. Contrastando con la menor concentración de raíces en los estratos 30-60 cms. y 60-90 cms. que manifestaron inferior significancia de los indicadores en la caracterización del factor de deficiencia.

El modelo de días secos resultó con la mayor correlación que el modelo aditivo y éste ligeramente mayor que el modelo multiplicativo para la consideración de cinco etapas de crecimiento. Sin embargo, las correlaciones de los modelos aditivos y multiplicativos resultaron en términos generales altas en la predicción de los rendimientos.

Los modelos aditivos y multiplicativos presentaron regresiones con menores residuales para las etapas 3 y 4 que el modelo de días secos que presentó valores del coeficiente de determinación R^2 , y la F calculada para regresión Fc, muy bajos para estos números de etapas.

La consideración de cinco etapas de crecimiento del cultivo de maíz implica mayores dificultades para la identificación en el campo, sin embargo podría ser diferenciada de la forma presentada por Denmead y Shaw (1960) y Stewart, et. al. (1975).

C O N C L U S I O N

Aún cuando es necesario establecer que los resultados aquí obtenidos deben ser corroborados mediante la repetición de este trabajo en diferentes localidades y/o años, los mismos nos permiten formular las siguientes conclusiones preliminares:

a) La ocurrencia de períodos de deficiencia de humedad afectan el rendimiento del cultivo del maíz en forma más severa cuando ésta se presenta en la etapa de polinización, mientras que en la etapa de crecimiento vegetativo es menos afectado, y en la etapa del estado masoso el rendimiento es ligeramente afectado.

b) El cultivo de maíz sometido a una deficiencia de humedad severa durante la etapa de crecimiento vegetativo es capaz de reducir su rendimiento hasta en un 24%.

c) La etapa de polinización es considerado como crítica, puesto que una deficiencia de humedad severa en este período de crecimiento puede producir una reducción en el rendimiento de más del 36%.

d) El período fenológico del estado masoso del grano en adelante, parece más insensitivo a la deficiencia de humedad, puesto que una tensión severa puede reducir el rendimiento hasta en un 20%.

e) Sometidas a deficiencias de humedad en la etapa de crecimiento vegetativo, las plantas de maíz parecen desarrollar un acondicionamiento tal que si no sufren tensiones en el resto del ciclo producen buenos rendimientos.

f) Los resultados ponen de manifiesto la importancia de la aplicación del riego en el momento oportuno de los períodos de mayor susceptibilidad durante el ciclo de crecimiento, más que la lámina total aplicada.

g) Los rendimientos próximos al rendimiento máximo alcanzado se obtuvieron para los tratamientos donde el abatimiento del porcentaje de humedad aprovechable fue de 40% o sea que se aplicaba el riego cuando el porcentaje de humedad aprovechable alcanza un valor de 60%.

h) Las expresiones: Perfil integrado y Estrato superficial de los nueve indicadores estudiados, resultaron ser las de mayor ajuste en la evaluación de las funciones de producción mencionadas.

i) La precisión de los modelos estudiados en la predicción de los rendimientos se incrementó con el número de etapas de crecimiento considerado, el cual tiene un límite que depende de su practicabilidad.

k) El potencial matricial Ψ_m , y el porcentaje de humedad aprovechable PHA, y sus combinaciones con la evaporación del tanque evaporímetro y la evapotranspiración potencial, produjeron los mayores coeficientes de correlación, lo cual sugiere que constituyan indicadores confiables para la caracterización del Factor de Deficiencia.

l) El modelo de días secos arrojó la mejor correlación entre el rendimiento observado y rendimiento estimado (0.9643), para la consideración de cinco etapas de crecimiento.

m) Los modelos aditivos y multiplicativos también presentaron altos valores de correlación de los rendimientos de predicción (0.9055 y 0.8831 respectivamente), lo que indica su confiabilidad para ser utilizada en la práctica a niveles comerciales.

R E S U M E N

Del 12 de Junio al 5 de Noviembre de 1979, se llevó a cabo el presente trabajo de investigación a nivel de campo en el área de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", denominado Evaluación de Modelos de Producción para el Cultivo del Maíz, en función del Regimen Hídrico en diferentes Etapas Fenológicas.

Los objetivos principales de la investigación son los siguientes:

1.- Evaluar diferentes modelos matemáticos con respecto a su eficiencia en la predicción de rendimientos en el cultivo de maíz, utilizando como parámetro diferentes indicadores climáticos y edáficos en diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

2.- Hacer disponible esta información para ser usada por diferentes profesionistas, para su aplicación en la elaboración de calendarios de riegos, planeación de programas agrícolas de riegos, operación de distritos de riego, predicción de rendimientos para fines de evaluación y proyección económica, selección de cultivos, y sus posibles aplicaciones a la agricultura de temporal.

Para la recopilación de la información requerida, fue necesaria la instalación de dos subproyectos: uno para la obtención del Factor de Susceptibilidad del Maíz a un nivel dado de deficiencia de humedad en las diferentes etapas de crecimiento; para la cual se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y cuatro tratamientos (ver materiales y método); y un segundo para la obtención de la información necesaria para la evaluación de posibles indicadores (cuadro 4) en la caracterización del Factor de Deficiencia. Se utilizó un diseño factorial con tres repeticiones

y ocho tratamientos, los factores fueron: etapas de crecimiento y niveles del porcentaje de humedad aprovechable.

Las observaciones consistieron en la determinación diaria del contenido de humedad del suelo (PHA, Ψ_m , PH), en tres estratos de profundidad 0-30 cms.; 30-60 cms.; 60-90 cms. y el perfil integrado. Se utilizaron dispersores de neutrones para medir el contenido de humedad en base a volumen y por un programa de computadora se obtenían las otras expresiones del contenido de humedad.

Se realizaron mediciones diarias de la evaporación desde un tanque evaporómetro tipo A y se calculó la evapotranspiración potencial por el método combinado de Penman y por último se obtuvieron los rendimientos en grano.

Se reportaron los resultados, análisis de varianza de los dos subproyectos, gráficas, cuadros de evaluación de los indicadores, los coeficientes de correlación entre el rendimiento observado y rendimiento esperado, evaluación de los modelos de producción, etc.

Mediante la utilización de la ecuación (4), se obtuvieron los siguientes valores:

<u>Etapa</u>	<u>Valor FS</u>
Etapa 1	0.24
Etapa 2	0.36
Etapa 3	0.20
- - - - -	- - - - -

Los indicadores que resultaron con mayores valores del coeficiente de correlación entre el rendimiento observado y en rendimiento estimado fueron el potencial matricial Ψ_m , y el porcentaje de humedad aprovechable PHA, y sus respectivas combinaciones con la evaporación del tanque y la evapotranspiración potencial para las expresiones del perfil integrado y el estrato 0-30 cms.

En la evaluación de los modelos, el modelo de días - secos resultó con el mayor coeficiente de correlación entre el - rendimiento observado y el rendimiento esperado. Sin embargo, los modelos aditivo y multiplicativo también resultaron con correlaciones altas, lo que garantiza su utilización.

B I B L I O G R A F I A

- Barnes, D.L. and D.G. Wooley. 1969. Effect of moisture stresses at different stages of growth. *Agron. J.*, Vol. 61 (5): 788-750.
- Booney, J. y A.W. Galston. 1976. *Principios de Fisiología Vegetal*. 5:100 Edit. Aguilar.
- Dale, R.F. and R.H. Shaw. 1965. The climatology of soil moisture Atmospheric demand, and resulting Moisture Strees Day For Corns at Ames, Iowa. *J. Appl. Met.*, Vol. 4 pp. 661-669.
- Denmead, O.T. and R.H. Shaw. 1960. The effects of soil moisture strees at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52: 272-274.
- _____ 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.* 54: 385-390.
- Downey, A.A. 1972. "Water-Yield relations for nonforage crops". *J. of the Irrig. and Drain. Div., Procc. of ASCE*. IR1, March pp. 107-115.
- Fleming. P.M. 1966. Crops water requeriments and irrigation. *Pracc. of the World Meteorological Seminar, Australia*. pp. 591-618.
- Flinn. J.C. 1970. The simulation of crop "Irrigations Systems", from Systems Analysis in Agricultural Management. Edited by John Wiley Sydney.
- _____ y W.F. Musgrave. 1967. Development and analysis of input-output relations for irrigation water. *J. Australian of Agricultural Economics*. Vol. 17, No. 1. pp. 1-22.

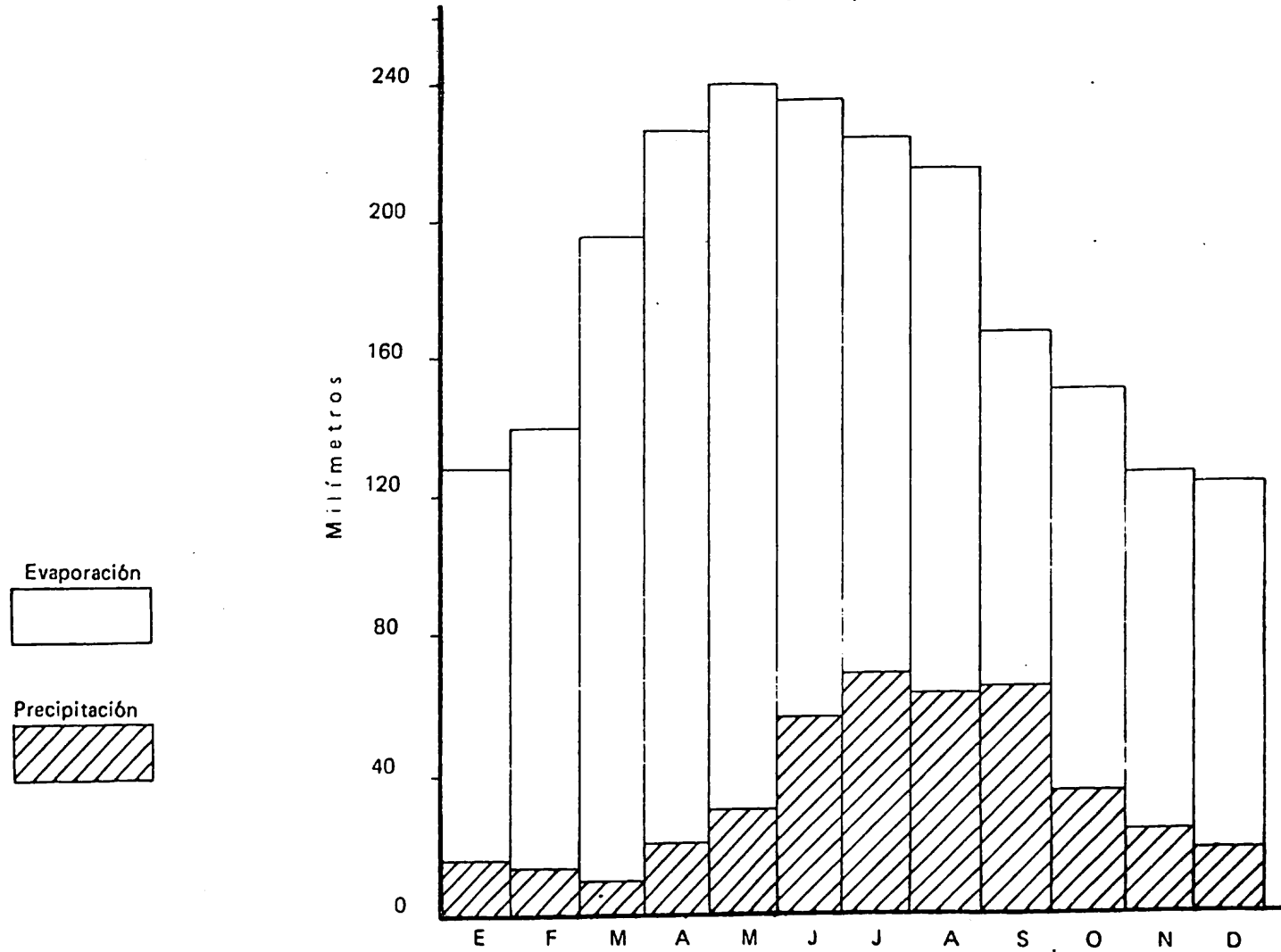
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de Clasificación - Climática de Koppen, para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana. Edit. en México. pág. 71. E.N.A. Chapingo, México.
- Hagan, R. M. et. al. 1959. Interpretación de las respuestas de las plantas al regimen de humedad del suelo. *Advan. Agron.* 11: 77-98.
- Hall, W. A. and W. S. Butcher. 1968. Optimal timing of irrigation. *J. of the Irrigation and Drainage Div.. ASCE.* 94 (IR2): 267-275.
- Hanks, R. J. 1974. Model for Predicting Plant Yield as influenced by water use. *Agron. J.* Vol. 66, 660-664.
- Hanway, J.J. 1963. Growth stages of corn (*Zea Mays*, L.). *Agron. J.* Vol. 10, pp. 487-491.
- Hernández, H. A. 1976. Efectos de Niveles de Humedad y Dosis de Fertilización sobre uso de agua y Rendimiento de Maíz Superenano. Tesis de Maestría. Colegio de Postgrado. UAAAN.
- Hernández, S. A. 1957. Variables de humedad del suelo durante la primera parte del desarrollo del maíz y variables de nitrógeno en relación con el rendimiento. Tesis Profesional E.N.A. Chapingo, México.
- Hiler, E. A., and R. N. Clark. 1971. Strees day index to characterize effects of water strees on crop yields. *Transactions of the ASAE.* Vol. 14, 110.4.
- _____, T. A. Howell, et. al. 1974. Irrigation Timing by the strees day index methodo transaction of the ASAE. pp. 393-398.

- Hsiao, T. C. 1973. Plants responses to water strees. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 519-548.
- Jensen, M.E. 1968. Water consumption by plants p. 1-22 in: T.T. Kozlowste (ed) *Water deficits and plants growth*. V. Z. Academic Press, N. York.
- Kramer, P.J. 1969. *Plant and Soil Water Relationship. A modern synthesis*. McGraw. Hill Book Company, 482 pp.
- Laird, R. J. y H.H. Lizarraga. 1959. *Fertilizantes y Población Optima de Plantas para Maíz de Temporal en Jalisco*. S.A.G. México. Folleto Técnico No. 35.
- Leeper, R. A., et. al 1974. Effect of Plant-Available Stored Soil Moisture on corn yield, I. Constant Climatic Conditions. *Agron.* Vol. 66: 723-727.
- Lewis, R. B. 1973. Expansion of the strees day index for irrigation scheduling of sorghum. Texas A&M University, College Sta. 87 pp.
- Palacios, V. E. 1977. "La evapotranspiración de los cultivos y su relación con los rendimientos". *Memorias del X Congreso de la Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo*. México, D. F.
- Penman, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Procc. of the Royal Society of London (A)* 193: 120-145.
- Robins, J. S. and C. E. Domingo. 1953. Some effects of severe soil moisture deficits at specific stages in corn. *Agron. J.* 45: 618-621.
- Rojas, G. M. 1972. *Fisiología Vegetal Aplicada*. Edit. McGraw Hill p. 27.

- Stewart, J. L. and R. M. Hagan. 1972. Water deficits-Irrigation design and Programing. J. of the Irrigation and Drainage Div., ASCE. 98(IR2): 215-237.
-
- _____ , R. D. Misra, W. O. Pruitt. 1975. Irrigation Corr. and Sorghum sith a Deficient Water Supply. Transactions of the ASAE. pp. 270-280.
- Taylor, S. A. 1952. Use of Mean soil moisture tension to - evaluate the effect of soil moisture on Crop Yields. Soil Sci. Vol. 74 pp. 217-226.
-
- _____ and B. Baharani. 1961. Influence of soil moisture and evaporative demand on the actual evapotranspiration of an alfalfa field. Agron. J. Vol. 53. pp. 233-237.
- Thornthwaite, C. W. 1954. Un nuevo examen del Concepto y la Medición de la Evapotranspiración Potencial. John Hopkins. Univ. Climatol. Publ. No. 7.
- Van Bavel y F. J. Verlinden. 1956. Sequía Agrícola en Carolina del Norte. N.C. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 122.
- Veihmeyer, F y A.H. Hendrickson. 1950. Soil moisture in relation to plant growth. Anc. Rev. Plant Physicl. Vol. 1 pp. 285-304.
- Volodarsky y Zinevic. 1960. Reportados por Salter, P.J. y J.E. Goode. 1967. Crop response to water at different stages of growth. Commonweath Agricultural Bureax Farnham Royal, England.
- Yaron, D. 1971. Estimation and use of water Production Functions in crops. J. of the Irrigation and Drainage Div., Procc. of ASCE. IR2 June. pp. 291-303.

A P P E N D I C E

FIGURA A.- Precipitación y evaporación media mensual en Saltillo, Coahuila.



CUADRO A.- Evaporación y precipitación (en mm) ocurrida en Buenavista, Coahuila, durante el desarrollo del cultivo.
(Junio-October 1979)

DIA	JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE	
	Evaporación	Precipitación	Evaporación	Precipitación	Evaporación	Precipitación	Evaporación	Precipitación	Evaporación	Precipitación	Evaporación	Precipitación
1	7.60	10.3	9.38	0.0	7.27	6.0	6.78	0.0	8.60	0.0	6.59	0.0
2	6.84	20.8	9.30	0.0	3.50	0.0	7.49	0.0	4.90	0.0	1.30	0.0
3	6.05	8.9	9.31	0.0	7.52	0.0	7.40	0.0	9.46	0.0	2.50	0.0
4	6.25	9.3	9.85	0.0	9.18	0.0	5.55	0.0	9.29	0.0	0.52	0.0
5	8.23	4.7	4.87	5.7	7.12	17.0	6.49	0.0	8.13	0.0	5.38	0.0
6	6.59	0.0	8.03	0.0	3.48	3.9	7.12	0.0	9.73	0.0	5.45	0.0
7	5.31	0.0	3.41	0.0	4.42	0.0	5.49	7.5	9.14	0.0	4.54	0.0
8	5.80	0.0	8.72	0.0	5.80	0.1	4.02	2.0	7.65	0.0	5.21	0.0
9	7.21	0.0	5.62	0.0	4.92	0.6	4.85	1.9	9.80	0.0	9.11	0.0
10	1.43	1.0	5.80	0.0	5.95	21.5	6.01	0.0	9.60	0.0	5.93	0.0
11	3.77	13.7	8.40	0.0	7.85	0.0	6.05	0.0	8.24	0.0	5.40	0.0
12	7.20	0.0	6.11	0.0	4.06	0.0	2.39	0.0	8.33	0.0	3.50	0.0
13	7.17	0.0	8.31	0.0	6.61	3.6	6.52	0.0	4.63	0.0	4.90	0.0
14	8.17	0.0	9.74	0.0	7.68	2.6	6.09	0.0	3.80	0.0	3.05	0.0
15	7.58	0.0	10.36	0.0	6.75	3.8	5.21	0.0	6.89	0.0	2.24	0.0
16	8.83	0.0	4.61	0.0	4.65	1.5	2.48	0.0	9.01	0.0	0.22	0.0
17	10.67	0.0	9.66	0.0	7.67	0.0	4.84	0.0	8.42	0.0	0.87	0.0
18	9.85	0.0	7.17	4.5	10.44	0.0	7.16	5.9	7.38	0.0	4.16	0.0
19	9.84	0.0	5.44	10.4	7.79	0.0	3.63	0.0	7.27	0.0	5.19	0.0
20	10.12	0.0	4.82	0.6	6.65	2.6	3.01	0.0	6.96	0.0	7.38	0.0
21	10.05	0.0	5.90	0.0	8.12	0.0	3.40	0.0	8.57	0.0	7.75	0.0
22	9.70	0.0	10.58	0.0	10.56	0.0	4.58	0.0	7.62	0.0	6.18	0.0
23	10.23	0.0	4.13	0.0	8.94	0.0	8.73	0.0	6.47	0.0	6.70	0.0
24	9.09	0.0	7.91	0.0	7.92	0.0	5.61	0.0	5.13	0.0	5.95	0.0
25	8.61	0.0	6.01	0.0	9.14	0.0	6.53	0.0	6.56	0.0	6.88	0.0
26	8.0	10.3	7.07	0.0	4.76	0.0	4.38	0.0	7.09	0.0	5.57	0.0
27	6.51	0.0	7.82	0.0	4.90	0.0	10.81	0.0	7.49	0.0	6.85	0.0
28	6.25	0.0	3.23	1.0	3.20	0.0	6.69	0.0	9.45	0.0	4.09	0.0
29	8.44	0.0	9.84	0.0	4.19	10.5	6.22	0.0	6.37	0.0	4.75	0.0
30	9.80	0.0	6.38	0.0	9.10	0.0	10.89	0.0	7.22	0.0	1.96	0.0
31			6.94	0.0	7.71	1.0			9.00	0.0		
	227.65	79.0	224.72	31.2	207.85	74.7	176.42	17.0	238.19	0.0	139.12	0.0

CUADRO B.- Temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo (°C), velocidad del viento en m/seg y número de horas luz, ocurridas en Buenavista, Coahuila, durante el desarrollo del cultivo (Junio- Octubre 1979)

DIA	JUNIO				JULIO				AGGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE			
	Temp. Bulbo seco °C	Temp. bulbo húmedo °C	Veloc. del viento m/seg	Num. de horas luz	Temp. bulbo seco °C	Temp. bulbo húmedo °C	Veloc. del viento m/seg	Num. de horas luz	Temp. bulbo seco °C	Temp. bulbo húmedo °C	Veloc. del viento m/seg	Num. de horas luz	Temp. bulbo seco °C	Temp. bulbo húmedo °C	Veloc. del viento m/seg	Num. de horas luz	Temp. bulbo seco °C	Temp. bulbo húmedo °C	Veloc. del viento m/seg	Num. de horas luz
					22.22	17.63	6.23	11.51	21.42	17.97	4.72	5.60	21.96	18.62	3.48	8.93	19.60	12.62	4.39	7.15
					22.20	17.10	5.50	9.91	21.68	16.66	4.23	2.90	20.13	16.84	4.10	9.98	16.86	11.47	3.46	11.58
					22.48	17.47	4.53	10.36	20.33	16.71	5.31	10.41	17.60	15.97	3.28	7.41	17.36	12.27	4.50	9.50
					22.33	18.43	3.83	9.45	19.20	17.49	6.38	11.40	18.38	15.18	2.96	6.93	15.73	11.48	4.17	9.86
					21.03	19.12	4.03	4.66	18.04	15.61	8.65	4.61	20.18	16.82	3.32	5.43	19.05	12.92	4.04	9.03
					21.38	19.11	2.33	4.78	17.97	16.26	4.64	5.31	19.50	16.59	3.75	8.81	20.15	14.53	4.11	9.20
					20.76	17.95	3.12	6.83	21.16	17.19	5.26	7.60	17.35	15.87	3.85	2.80	18.22	13.79	5.08	9.26
					19.76	16.70	6.24	8.50	20.00	16.60	3.89	6.23	15.28	14.96	3.42	2.80	18.85	13.72	4.52	9.28
					21.86	17.72	3.83	8.66	20.73	17.33	4.61	6.23	15.09	14.39	3.49	3.00	17.94	12.35	4.87	9.26
0					22.82	17.55	3.68	11.53	19.83	17.26	3.56	7.08	15.75	14.70	2.75	6.45	15.34	11.33	5.53	9.13
1	15.26	12.79	4.72	10.20	23.25	17.49	3.81	11.83	20.71	17.35	2.96	8.40	16.43	13.71	2.99	4.10	19.80	12.87	4.22	12.00
2	14.28	11.53	4.28	11.63	24.03	18.10	2.35	10.83	20.26	17.37	6.09	7.08	14.16	11.65	2.35	9.76	21.03	13.98	4.80	9.21
3	14.76	11.21	3.98	11.91	22.51	18.24	3.98	6.91	21.63	17.42	3.78	7.08	16.60	13.72	3.18	7.31	20.86	14.62	2.81	9.08
4	15.13	11.84	3.85	11.81	24.80	19.22	4.04	7.81	19.48	16.49	4.24	7.15	17.54	14.43	3.77	7.96	17.19	14.64	2.53	8.93
5	17.81	13.25	3.75	11.86	22.04	18.23	7.41	12.00	19.08	16.36	4.06	5.13	13.05	12.35	3.59	9.83	20.18	15.00	3.86	9.31
6	19.42	14.87	3.96	12.00	20.83	17.86	4.30	9.18	19.96	15.81	3.12	4.71	12.02	10.09	3.98	4.28	21.82	15.40	4.90	9.16
7	22.61	15.55	6.36	11.83	21.83	17.81	5.32	7.51	22.39	18.72	4.12	10.80	14.88	11.65	4.09	7.03	20.45	15.21	4.87	10.06
8	23.14	16.51	3.22	9.88	19.72	17.47	3.82	4.66	22.00	17.38	4.27	10.83	15.25	11.65	4.33	9.33	17.99	14.50	5.33	9.23
9	22.83	17.86	3.37	10.33	20.80	17.15	3.11	6.28	20.90	16.84	7.10	10.60	13.37	13.91	3.67	1.61	21.44	14.97	4.51	7.50
0	24.03	19.21	4.32	9.96	19.92	17.87	2.99	8.55	20.81	16.90	4.76	8.11	16.09	13.80	2.48	8.08	21.00	14.47	3.03	9.45
1	25.20	19.60	3.83	10.38	22.46	17.67	2.82	10.25	22.20	18.53	4.81	10.60	17.95	14.20	3.16	9.83	24.16	15.46	4.06	9.76
2	22.92	18.13	4.13	11.53	22.59	18.57	7.35	4.83	21.69	16.52	4.28	10.61	16.42	13.63	2.56	8.16	15.17	11.75	4.08	7.16
3	24.48	19.97	4.92	11.75	24.95	17.95	4.18	9.16	23.00	16.99	3.68	9.70	16.69	12.69	3.52	9.80	13.68	10.06	4.56	9.58
4	21.91	16.24	7.17	10.38	24.16	18.68	3.89	7.49	19.91	15.26	4.06	10.28	15.86	13.36	3.79	9.58	13.29	9.98	4.38	8.73
5	20.48	17.25	3.67	8.31	10.69	17.40	4.35	3.15	20.59	16.23	4.45	10.71	16.23	11.74	3.98	9.53	14.15	9.69	3.79	9.68
6	21.65	17.13	3.43	6.65	22.41	17.46	3.57	9.80	20.88	16.59	5.31	7.58	19.52	12.87	6.60	9.76	14.85	11.08	4.15	9.58
7	18.87	16.04	3.14	7.75	21.03	17.63	3.92	7.83	18.83	15.99	5.04	6.83	16.30	10.86	5.80	10.56	20.14	13.92	4.65	9.71
8	20.90	17.25	3.49	11.38	21.64	17.25	3.77	9.90	18.64	16.78	4.91	2.63	18.47	10.93	3.91	9.70	18.82	13.20	5.48	8.95
9	22.10	17.15	3.50	11.12	22.11	17.52	6.92	8.45	17.18	16.10	3.54	1.58	18.45	11.11	3.32	8.03	21.61	15.61	4.31	7.65
0	22.35	17.83	3.43	11.46	22.12	16.50	4.12	9.38	10.59	17.71	3.31	5.43	19.52	13.15	4.54	10.58	20.45	13.96	5.68	9.50
					23.10	17.75	3.24	9.50	20.49	17.38	3.60	9.33					18.87	8.74	4.65	9.50

CUADRO C.- Evaporación potencial en mm, calculada por el método combinado de Penman para la estación del cultivo.

DIA	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
	Evap. Potencial mm	Evap. Potencial mm	Evap. Potencial mm	Evap. Potencial mm	Evap. Potencial mm	Evap. Potencial mm
1		8.52	5.68	6.13	5.60	5.34
2		7.39	5.30	6.30	5.22	5.72
3		9.56	7.41	5.00	5.47	4.21
4		6.89	7.48	4.97	5.91	5.49
5		5.31	5.57	4.98	5.49	6.02
6		5.28	4.79	5.73	5.60	4.53
7		5.62	6.49	3.62	5.46	
8		6.58	5.56	3.24	5.51	
9		6.65	5.92	3.56	5.56	
10		7.54	5.49	4.21	5.30	
11	.....	7.92	5.94	4.04	6.36	
12	6.19	7.17	6.12	4.87	7.89	
13	6.51	6.30	6.15	4.81	5.26	
14	6.31	7.13	6.02	5.38	4.35	
15	7.87	9.48	5.31	4.50	5.49	
16	7.07	6.98	6.20	3.79	6.21	
17	9.36	6.79	7.48	4.86	5.93	
18	7.33	6.18	7.33	5.50	5.27	
19	7.22	4.90	7.82	3.44	5.70	
20	7.77	5.45	6.45	4.43	5.47	
21	7.94	5.79	7.39	5.15	6.58	
22	7.85	8.06	7.52	4.40	4.13	
23	8.35	5.96	7.14	5.16	4.25	
24	8.20	7.91	6.58	4.89	4.07	
25	6.28	7.18	6.28	5.12	4.32	
26	6.15	4.85	6.24	7.14	4.60	
27	5.68	7.07	5.30	6.45	5.66	
28	6.93	6.13	4.25	5.75	5.43	
29	7.24	7.71	3.39	5.40	5.34	
30	7.34	6.96	4.58	6.59	6.25	
31		6.85	5.97		5.07	

CUADRO D.- Distribución de riegos, lamina aplicada y la precipitación en cm, en la estación de crecimiento para los diferentes tratamientos en la determinación del factor de susceptibilidad.

	Tratamiento	20-6-79 cm	26-6-79 cm	9-7-79 cm	21-7-79 cm	2-8-79 cm	14-8-79 cm	28-8-79 cm	6-9-79 cm	13-9-79 cm	18-9-79 cm	5-10-79 cm	Lámina aplicada	Precipitación cm	Lámina total cm
		PRIMERA ETAPA						SEGUNDA ETAPA			TERCERA ETAPA				
A	0	6.1	6.0	8.1	5.0	7.0	7.7	7.0	6.0	7.4	7.4	4.8	72.5	14.77	87.27
B	1:40	6.0	6.0	-----	5.0	5.0	-----	7.0	6.0	7.4	7.4	4.8	54.6	14.77	69.37
C	2:40	6.0	6.0	8.0	5.0	7.0	7.0	6.0	-----	6.4	9.8	4.8	66.0	14.77	80.77
D	3:40	6.0	6.0	8.0	5.0	7.0	7.0	7.0	6.0	7.4	6.1	-----	65.5	14.77	80.27
A	0	6.0	6.1	8.1	5.0	7.0	7.0	7.0	6.0	7.4	9.2	4.8	73.6	14.77	88.37
B	1:40	6.0	6.0	-----	5.0	5.0	-----	7.0	6.9	7.4	7.8	4.8	55.8	14.77	70.57
C	2:40	6.0	6.1	8.1	7.4	7.0	5.0	6.0	-----	6.4	8.4	4.8	65.2	14.77	79.97
D	3:40	6.0	6.0	8.0	5.4	7.0	7.0	7.0	6.0	7.4	6.2	-----	66.0	14.77	80.77
A	0	6.0	6.0	7.1	5.9	7.0	7.0	7.0	6.0	7.4	10.0	4.8	74.2	14.77	88.97
B	1:40	6.0	5.0	-----	5.4	5.0	-----	7.5	6.5	7.4	8.0	4.8	55.7	14.77	70.47
C	2:40	6.0	6.0	8.9	4.8	7.0	6.1	6.0	-----	6.4	8.4	4.8	64.4	14.77	79.17
D	3:40	6.0	6.0	7.1	4.4	7.0	7.6	7.0	6.0	6.4	7.4	-----	65.1	14.77	79.87

74

CUADRO E.- Distribución de riegos, lámina aplicada y precipitación en cm en la estación de crecimiento para los diferentes tratamientos en la determinación del factor de deficiencia.

TRATAMIENTO	JUNIO		JULIO		AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE	LAMINA	PRECIPI	LAMINA
	20	26	9	21	2	14	28	6	13	18	5	APLICADA	TACION	TOTAL
	PRIMERA ETAPA					SEGUNDA ETAPA			TERCERA ETAPA			CM	CM	CM
E 0	5.9	6.0	7.1	4.7	7.0	7.0	8.0	8.0	7.4	8.0	4.8	73.9	14.77	88.67
F 1:20	5.3	4.8	.....	4.7	5.0	.....	7.0	8.0	7.4	7.4	4.8	54.4	14.77	69.17
G 1:60	6.0	5.0	6.0	5.0	5.0	4.1	6.0	6.0	7.4	8.8	4.8	61.1	14.77	75.87
H 2:20	6.0	6.1	7.0	5.7	8.0	6.1	.....	.....	8.4	11.2	4.8	63.3	14.77	78.07
I 2:60	6.0	6.1	6.9	4.7	7.0	4.1	6.1	6.0	6.4	9.6	4.8	67.7	14.77	82.47
J 3:20	6.0	6.0	6.4	4.9	7.0	7.0	8.0	8.0	7.4	.....	4.8	65.9	14.77	80.67
K 3:60	5.9	6.0	6.9	4.7	7.0	7.0	7.0	7.2	7.4	5.6	4.8	69.5	14.77	84.27
L 20:60:20	6.0	5.9	.....	6.8	6.0	.....	6.0	6.2	6.4	.....	4.8	49.2	14.77	63.97
E 0	6.0	6.0	7.0	4.6	6.0	6.9	7.0	7.2	7.4	8.0	4.8	72.3	14.77	87.07
F 1:20	6.0	5.0	.....	4.7	7.0	.....	7.0	6.0	7.4	8.0	4.8	55.5	14.77	70.27
G 1:60	6.0	5.2	6.0	4.7	5.0	4.1	7.0	6.1	6.4	7.6	4.8	62.7	14.77	77.47
H 2:20	6.0	6.0	7.0	6.0	7.0	6.1	9.0	.....	.....	11.0	4.8	63.9	14.77	78.67
I 2:60	6.0	5.2	7.0	6.7	7.0	4.1	6.0	6.0	6.0	8.3	4.8	67.1	14.77	81.87
J 3:20	5.9	6.0	7.0	4.8	7.0	6.3	8.0	7.1	7.4	.....	4.8	64.3	14.77	79.07
K 3:60	6.0	6.0	7.0	4.8	7.0	7.0	7.0	6.0	7.4	6.0	4.8	69.0	14.77	83.77
L 20:60:20	6.0	6.0	.....	5.1	6.0	.....	7.5	6.1	7.6	.....	4.8	48.6	14.77	63.37
E 0	6.0	6.0	7.1	4.8	7.0	6.9	7.0	8.0	7.4	8.0	4.8	73.6	14.77	88.37
F 1:20	5.9	5.9	.....	5.7	6.0	.....	7.0	6.1	7.0	7.6	4.8	56.7	14.77	71.47
G 1:60	6.0	5.0	6.0	4.8	5.0	4.2	6.0	6.0	6.4	6.6	4.8	60.8	14.77	75.57
H 2:20	6.0	6.0	7.0	7.2	7.0	8.5	8.0	.....	.....	7.0	4.8	63.6	14.77	78.37
I 2:60	6.0	6.0	7.0	4.9	7.0	4.2	6.0	6.0	6.4	8.5	4.8	66.8	14.77	81.57
J 3:20	6.3	6.3	7.0	6.1	7.0	7.0	7.0	6.0	7.4	.....	4.8	64.9	14.77	79.67
K 3:60	6.4	6.0	7.1	4.8	7.0	7.0	7.0	6.0	7.4	5.0	4.4	68.4	14.77	83.17
L 20:60:20	6.1	6.0	.....	6.1	6.8	.....	7.0	6.0	6.4	.....	4.8	49.2	14.77	63.97

Cuadro F.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = Ψ_m) utilizando un modelo aditivo.

No. de Etapas	Duración de las Etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-90)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	69	14.88	64	11.86	60	10.22	37	3.90
	78-22-37	71	16.80	62	10.89	63	11.54	30	2.87
4	20-50-30-37	73	12.88	73	12.99	63	8.22	38	2.74
	20-60-15-42	77	15.70	79	18.10	68	10.19	45	4.02
5	20-50-20-20-27	75	10.78	75	10.90	64	6.30	48	3.27
	20-60-15-20-22	78	13.02	82	16.28	71	8.85	60	5.38

Cuadro G.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = PHA) utilizando un modelo aditivo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-90)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	59	9.79	60	9.99	53	7.53	40	4.52
	78-22-37	60	9.91	62	10.87	55	8.21	36	3.82
4	20-50-30-37	61	7.59	68	9.97	58	6.61	40	3.24
	20-60-15-42	63	7.99	64	8.34	59	6.75	43	3.60
5	20-50-20-20-27	64	6.44	69	7.86	59	5.06	53	4.04
	20-60-15-20-22	69	8.09	66	7.14	59	5.18	55	4.47

Cuadro H.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = PH) utilizando un modelo aditivo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-90)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	59	9.56	58	9.35	49	6.55	37	3.89
	78-22-37	60	10.18	61	10.62	60	7.21	34	3.45
4	20-50-30-37	61	7.54	65	8.82	53	5.35	38	2.84
	20-60-15-42	64	8.39	64	8.37	56	6.13	40	3.20
5	20-50-20-20-27	60	5.37	64	6.31	52	3.93	50	3.79
	20-60-15-20-22	65	6.84	66	7.18	60	5.48	56	4.59

Cuadro I.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = Ep x Ψ m) utilizando un modelo aditivo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	64	11.72	61	10.54	55	8.27	36	3.76
	78-22-37	70	15.38	66	12.74	63	11.34	33	3.50
4	20-50-30-37	70	11.22	71	11.74	59	6.83	37	2.83
	20-60-15-42	78	16.49	79	18.09	68	10.39	41	3.35
5	20-50-20-20-27	73	9.65	73	9.91	60	5.54	45	3.01
	20-60-15-20-22	79	13.37	82	16.74	71	8.89	57	4.82

Cuadro J.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = Ep x PHA) utilizando un modelo aditivo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	58	9.33	58	9.32	52	7.23	39	4.32
	78-22-37	57	9.02	62	11.07	55	8.11	35	3.64
4	20-50-30-37	67	9.60	67	9.87	57	6.43	40	3.16
	20-60-15-42	61	7.38	64	8.39	58	6.47	41	3.36
5	20-50-20-20-27	64	6.35	68	7.74	58	5.01	49	3.47
	20-60-15-20-22	69	8.14	68	7.73	58	4.91	52	3.94

Cuadro K.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = Ep x PH) utilizando un modelo aditivo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	58	9.32	57	8.89	48	6.21	35	3.89
	78-22-37	60	9.99	61	10.68	51	6.87	33	3.28
4	20-50-30-37	61	7.45	65	8.77	52	5.10	37	2.86
	20-60-15-42	63	8.18	63	8.26	54	5.65	38	2.96
5	20-50-20-20-27	60	5.34	64	6.35	51	3.86	49	3.46
	20-60-15-20-22	66	7.01	68	7.83	60	5.39	53	4.09

Cuadro L.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = ETP \times \Psi_m$) utilizando un modelo aditivo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R^2 %	Fc	R^2 %	Fc	R^2 %	Fc	R^2 %	Fc
3	70-30-37	62	11.02	60	9.89	54	7.81	36	3.90
	78-22-37	70	15.63	65	12.65	63	11.29	35	3.53
4	20-50-30-37	69	10.61	69	10.96	58	6.60	37	2.45
	20-60-15-42	77	16.13	79	17.47	69	10.37	43	3.62
5	20-50-20-20-27	71	9.01	71	8.96	59	5.28	46	3.07
	20-60-15-20-22	79	13.78	82	16.90	72	9.13	59	5.13

Cuadro M.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = Etp \times PHA$) utilizando un modelo aditivo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R^2 %	Fc	R^2 %	Fc	R^2 %	Fc	R^2 %	Fc
3	70-30-37	57	9.01	55	8.34	51	6.87	38	4.18
	78-22-37	59	9.56	62	10.84	55	8.32	35	3.59
4	20-50-30-37	60	7.09	65	9.02	57	6.44	39	3.10
	20-60-15-42	62	7.79	64	8.31	58	6.70	41	3.32
5	20-50-20-20-27	62	5.85	66	7.02	58	5.06	62	6.01
	20-60-15-20-22	70	8.32	68	7.66	59	5.12	62	5.90

Cuadro N.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = ETP x PH) utilizando un modelo aditivo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		$R_{\%}^2$	Fc	$R_{\%}^2$	Fc	$R_{\%}^2$	Fc	$R_{\%}^2$	Fc
3	70-30-37	56	8.63	55	8.14	47	6.05	35	3.65
	78-22-37	60	9.95	61	10.68	52	7.13	33	3.25
4	20-50-30-37	59	7.09	63	8.09	52	5.09	37	2.78
	20-60-15-42	63	8.24	64	8.40	55	5.94	39	3.01
5	20-50-20-20-27	58	5.08	62	5.82	51	3.71	50	3.57
	20-60-15-20-22	66	6.99	68	7.74	60	5.45	55	4.39

Cuadro O.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = Ψ_m) utilizando un modelo multiplicativo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		$R_{\%}^2$	Fc	$R_{\%}^2$	Fc	$R_{\%}^2$	Fc	$R_{\%}^2$	Fc
3	70-30-37	71	16.11	64	11.95	65	12.24	42	4.80
	78-22-37	69	15.09	60	10.25	65	12.21	40	4.44
4	20-50-30-37	72	12.38	70	11.12	66	9.10	42	3.44
	20-60-15-42	71	11.94	67	9.88	67	9.87	46	4.91
5	20-50-20-20-27	70	8.34	69	8.08	62	5.81	49	3.46
	20-60-15-20-22	72	9.21	69	8.18	68	7.68	57	4.89

Cuadro P.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = PHA) utilizando un modelo multiplicativo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	FD		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	63	11.54	63	11.57	56	8.49	24	2.07
	78-22-37	65	12.21	67	13.77	59	9.46	21	2.04
4	20-50-30-37	66	9.30	73	12.80	61	7.35	23	1.45
	20-60-15-42	69	10.61	70	11.03	62	7.77	34	2.49
5	20-50-20-20-27	72	9.08	77	11.24	64	6.35	54	4.25
	20-60-15-20-22	77	11.96	72	9.17	62	5.92	56	4.57

Cuadro Q.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = PH) utilizando un modelo multiplicativo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	FD		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	60	10.07	60	9.92	51	6.85	36	3.77
	78-22-37	62	10.82	63	11.62	53	7.61	33	3.31
4	20-50-30-37	62	7.88	67	9.56	54	5.54	37	2.78
	20-60-15-42	66	9.26	66	9.16	57	6.40	41	3.34
5	20-50-20-20-27	61	5.72	65	6.84	54	4.21	52	3.88
	20-60-15-20-22	67	7.40	69	7.91	62	5.87	57	4.70

Cuadro R.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = Ep \times \Psi_m$) utilizando un modelo multiplicativo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	67	13.22	62	11.08	60	10.11	40	4.48
	78-22-37	68	14.55	63	11.48	63	11.34	38	4.028
4	20-50-30-37	70	11.06	69	10.68	62	7.74	41	3.26
	20-60-15-42	72	12.31	69	10.50	66	9.42	43	3.63
5	20-50-20-20-27	69	8.07	69	8.08	60	5.44	47	3.23
	20-60-15-20-22	72	9.50	71	8.82	67	7.32	54	4.31

Cuadro S.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = Ep \times PHA$) utilizando un modelo multiplicativo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	62	11.12	62	10.87	56	8.20	24	2.14
	78-22-37	63	11.38	69	14.49	59	9.61	21	1.83
4	20-50-30-37	65	8.85	74	13.38	60	7.21	25	1.56
	20-60-15-42	67	13.89	71	11.57	62	7.69	34	2.47
5	20-50-20-20-27	71	8.78	76	11.52	63	6.05	50	3.62
	20-60-15-20-22	77	12.58	73	9.70	62	5.81	56	4.56

Cuadro T.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = Ep \times PH$) utilizando un modelo multiplicativo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	58	9.43	58	9.19	49	6.44	35	3.69
	78-22-37	62	10.97	64	11.68	52	7.18	33	3.33
4	20-50-30-37	61	7.48	66	9.08	52	5.23	37	2.85
	20-60-15-42	65	8.96	65	8.65	56	6.11	38	2.90
5	20-50-20-20-27	61	5.60	65	6.79	54	4.19	50	3.57
	20-60-15-20-22	68	7.61	70	8.27	62	5.86	59	5.14

Cuadro U.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia ($FD = ETp \times \Psi m$) utilizando un modelo multiplicativo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	66	13.26	62	10.73	60	10.12	41	4.72
	78-22-37	70	15.30	64	11.72	65	12.19	39	4.26
4	20-50-30-37	69	10.87	68	10.18	62	7.82	42	3.42
	20-60-15-42	73	12.79	69	10.50	68	10.07	45	3.88
5	20-50-20-20-27	69	8.01	68	7.70	60	5.45	48	3.31
	20-60-15-20-22	74	10.17	72	9.22	69	7.90	56	4.65

Cuadro V.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = ETp x PHA) utilizando un modelo multiplicativo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	61	10.47	58	9.41	53	7.54	22	1.90
	78-22-37	64	11.97	67	13.90	59	9.61	20	1.63
4	20-50-30-37	65	8.75	71	11.62	59	6.99	23	1.41
	20-60-15-42	69	10.34	70	11.07	62	7.75	32	2.27
5	20-50-20-20-27	69	7.87	74	10.43	62	6.01	52	3.88
	20-60-15-20-22	78	12.69	72	9.48	62	5.99	57	4.75

Cuadro W.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = ETp x PH) utilizando un modelo multiplicativo.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	57	8.84	55	8.26	49	6.37	35	3.60
	78-22-37	61	10.77	63	11.52	53	7.48	32	3.17
4	20-50-30-37	60	7.28	64	8.39	53	5.39	36	2.70
	20-60-15-42	66	9.09	66	9.50	57	6.37	39	3.07
5	20-50-20-20-27	60	5.31	64	6.49	52	3.93	51	3.721
	20-60-15-20-22	67	7.43	70	8.49	62	5.90	54	4.23

Cuadro X.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = Ψ_m) utilizando el modelo de días secos.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	41	1.95	47	2.50	38	1.73	-	-
	78-22-37	40	1.92	53	3.22	39	1.80	-	-
4	20-50-30-37	57	2.50	53	2.09	48	1.73	-	-
	20-60-15-42	57	2.78	53	2.09	61	2.95	-	-
5	20-50-20-20-27	58	1.82	56	1.63	65	2.45	-	-
	20-60-15-20-22	85	7.687	86	7.78	69	2.68	-	-

Cuadro Y.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = PHA) utilizando el modelo de días secos.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	46	2.43	53	3.16	45	2.34	36	1.58
	78-22-37	45	3.94	46	2.46	39	1.79	32	1.34
4	20-50-30-37	85	10.71	54	2.47	48	1.73	48	1.462
	20-60-15-42	54	2.42	56	2.43	57	2.51	37	1.11
5	20-50-20-20-27	84	6.86	62	2.14	63	2.25	53	1.47
	20-60-15-20-22	93	16.64	81	5.51	71	3.20	47	1.15

Cuadro Z.- Comparación entre el número y duración de las etapas fisiológicas para diferentes expresiones del Factor de Deficiencia (FD = PH) utilizando el modelo de días secos.

No. de Etapas	Duración de las etapas	\overline{FD}		FD (0-30)		FD (30-60)		FD (60-90)	
		R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc	R ² %	Fc
3	70-30-37	38	1.75	38	1.77	35	1.55	57	3.83
	78-22-37	37	1.70	40	1.88	36	1.58	60	4.20
4	20-50-30-37	68	3.921	44	1.47	43	1.40	54	2.20
	20-60-15-42	56	2.38	57	2.52	42	1.34	58	2.66
5	20-50-20-20-27	63	2.39	56	1.69	47	1.15	63	2.19
	20-60-15-20-20	73	3.47	80	5.35	56	1.68	69	2.95