

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**RESPUESTA DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L.) A DIFERENTES  
NIVELES DE AGUA DISPONIBLE EN EL SUELO EN DOS  
ETAPAS DE CRECIMIENTO**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR EL GRADO DEL  
MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALISTA EN PRODUCCION AGRICOLA**

**PRESENTA**

**ENRIQUE ADAME BELTRAN**

**MARIN, NUEVO LEON**

**AGOSTO 1989**



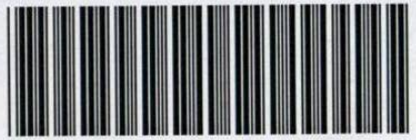
TM

SB191

.W5

A33

c.1



1080060592

Este libro debe ser devuelto, a más tardar, en la última fecha sellada, su retención más allá de la fecha de vencimiento, lo hace acreedor a las multas que fija el reglamento.

---

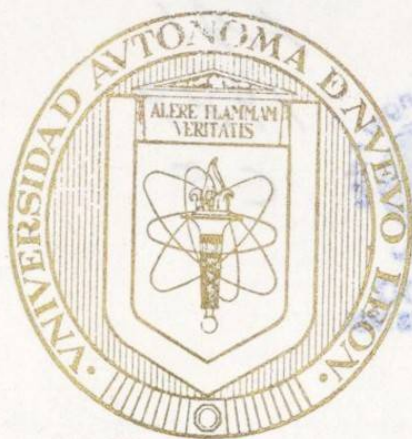
23 SET. 1994

24 NOV. 1994

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



RESPUESTA DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L.) A DIFERENTES  
NIVELES DE AGUA DISPONIBLE EN EL SUELO EN DOS  
ETAPAS DE CRECIMIENTO

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**ESPECIALISTA EN PRODUCCION AGRICOLA**

**PRESENTA**

**ENRIQUE ADAME BELTRAN**

**MARIN, NUEVO LEON**

**AGOSTO 1989**

10055

TM  
SB 191  
.W5  
A33

045.633

FA1

1989

C.5



Biblioteca Central  
Magna Solidaridad

F. tesis



UANL  
FONDO  
TESIS MAESTRIA

RESPUESTA DEL TRIGO (Triticum aestivum L.) A DIFERENTES  
NIVELES DE AGUA DISPONIBLE EN EL SUELO EN DOS ETAPAS DE  
CRECIMIENTO



tesis

Sometida al Comité particular como requisito  
parcial para optar el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALISTA EN PRODUCCION AGRICOLA

revisada y aprobada por el Comité Particular

Ph.D. Rigoberto E. Vázquez A.

CONSEJERO

M.C. José E. Treviño R.

ASESOR

Ph.D. Emilio Olivares S.

ASESOR

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos al Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado, Consejero Principal, por la valiosa colaboración en el desarrollo del presente estudio, por su amistad brindada y por las enseñanzas impartidas a través de su formación profesional.

A los M.C. José Elías Treviño Ramírez, César Rivera Figueroa y al Ph. D. Emilio Olivares Sáenz miembros de su Comité Particular por su interés y amplia ayuda técnica en el desarrollo y revisión del presente estudio.

Al Centro de Investigaciones Forestales Agrícola y Pecuaria de Nuevo León y Tamaulipas por su confianza y apoyo en mi superación personal.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por haberme otorgado la oportunidad de realizar mis estudios de Postgrado.

A los compañeros y directivos del CIFAP:

M.C. Rodolfo García Gutiérrez - Investigador CIFAP - N.L.

M.C. Miguel A. Ibarra Rodríguez - Investigador CIFAP - N.L.

Ing. Francisco J. Silva C. - Investigador CIFAP - N.L.

M.C. Jorge Cantú Vega - Jefe de operación - CIFAP - N.L.

A todos ellos por motivarme y apoyarme en la realización de mis estudios de Postgrado.

A mis compañeros de estudio, por la mutua amistad y compañerismo brindado en el transcurso de mis estudios.

Y en general, a todas aquellas personas que estuvieron involucradas de alguna manera en la realización del presente estudio.

**DEDICATORIA**

**A MIS PADRES**

**JACINTO ADAME**

**FELICITAS BELTRAN**

**HERMANOS**

**JOSE LUIS**

**JOSE ISABEL**

**HERMILA**

**JACINTO**

**ROSA DELIA**

**ALMA ARACELY**

**ESPOSA**

**ROSALINDA**

**HIJOS**

**ENRIQUE ALEJANDRO**

**ERNESTO XAVIER**

**EDUARDO ANGEL**

**A todos ellos con cariño y amor**



## BIOGRAFIA

El autor nació en Cd. Reynosa, Tamaulipas (México) el 1 de Septiembre de 1957.

1975 - 1978 Bachiller en Ciencias Biológicas, preparatoria número cuatro, Cd. Guadalajara, Jal.

1979 - 1981 Ingeniero Agrónomo Centro de Estudios Universitarios de Monterrey, N.L.

1981 - 1982 Extensionista en Unidades de Riego, S A R H, Montemorelos, N.L.

1982 - 1983 Practicante de Investigador Comisionado a CIFAP N.L.

1983 - 1986 Investigador del Programa Sistemas Agrícolas de Producción CIFAP N.L.

1986 - 1988 Estudiante de la Subdirección de Estudios de Postgrado, F.A.U.A.N.L, Marín, N.L. México.

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 3.3 | Medición, cálculo y aplicación de láminas de riego....   | 29  |
| 3.4 | Selección de tratamientos.....   | 30  |
| 3.5 | Diseño del experimento.....  | 34  |
| 3.6 | Características agronómicas.....   | 37  |
| 3.7 | Características morfológicas.....  | 40  |
| 3.8 | Análisis de la información.....  | 42  |
| 4.- | RESULTADOS Y DISCUSION.....  | 45  |
| 4.1 | Efecto de los diferentes niveles de agua disponible<br>en el suelo sobre las características agronómicas y<br>morfológicas.....  | 45  |
| 4.2 | Efecto de los niveles de agua disponible del suelo<br>sobre la materia seca por planta.....                                      | 80  |
| 4.3 | Estimación del rendimiento de grano influenciado<br>por la evapotranspiración sobre las diferentes<br>etapas de crecimiento..... | 88  |
| 5.- | CONCLUSIONES.....  | 90  |
| 6.- | LITERATURA CITADA.....   | 93  |
| 7.- | APENDICE.....  | 104 |

## INDICE DE CUADROS

| <u>CUADRO</u>   | <u>página</u> |
|---|---------------|
| #   |               |
| 1 Lámina de riego aplicada y precipitación ocurrida a través del ciclo fenológico del cultivo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....   | 34            |
| 2 Frecuencia de riegos y días acumulados de los tratamientos del experimento (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....  | 36            |
| 3 Lámina de riego por tratamiento del presente experimento (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....  | 36            |
| 4 Tratamientos seleccionados de la Matriz Plan Puebla I y tratamientos adicionales (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....  | 37            |
| 5 Comparación de medias del rendimiento de grano (k/ha) y componentes del rendimiento de los diez tratamientos. (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....   | 46            |
| 6 Comparación de medias de las variables uso eficiente del agua (cm/ha), índice de cosecha (IC), longitud de espiga (cm) y días a floración, madurez fisiológica y período de llenado de grano (Marín, N.L.; ciclo invierno 1987-1988)..... | 60            |
| 7 Comparación de medias de las variables morfológicas índice de área foliar (IAF) y área foliar total   |               |

|  |    |
|--|----|
| estimada (AFTE) (cm <sup>2</sup> ) en los tres muestreos (Marín, N L , ciclo invierno 1987-1988). . .  | 66 |
| 8 Comparación de medias de las variables morfológicas altura de planta (cm) y hojas por planta (HP) en los tres muestreos (Marín, N L , ciclo invierno 1987-1988)                                  | 72 |
| 9 Comparación de medias de las variables morfológicas tallos por planta (TP) y área foliar de la hoja bandera (Marín, N L , ciclo invierno 1987-1988)  | 77 |
| 10 Comparación de la materia seca por planta (g) registrada en diferentes fechas de muestreo para los distintos niveles de humedad disponible en el suelo (Marín, N. L , ciclo invierno 1987-1988) | 81 |



## INDICE DE FIGURAS

| <u>FIGURA</u>  | <u>página</u> |
|--|---------------|
| #  |               |
| 1 Relación de la fecha de aplicación de los riegos de auxilio (días/mes) y el contenido de humedad en el suelo (cm) (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....  | 31            |
| 2 Gráfica de fechas de riego para las distintas combinaciones de agua disponible del suelo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....   | 33            |
| 3 Convinación de los niveles de agua disponible en el suelo (%), seleccionados de la Matriz Plan Puebla I para dos factores, (etapa vegetativa y reproductiva) (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)..... | 35            |
| 4 Distribución de los tratamientos en el campo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....   | 38            |
| 5 Relación entre rendimiento de grano (k/ha) y la evapotranspiración (cm de agua) del cultivo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....  | 48            |
| 6 Relación entre el rendimiento de grano de trigo y los niveles de humedad disponible en el suelo (%) en la etapa reproductiva (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....                                 | 51            |
| 7 Relación entre el rendimiento de grano de trigo y de la humedad disponible en el suelo (%) en la etapa vegetativa (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....  | 52            |
| 8 Relación entre fechas de muestreo e índice de área   |               |

|  |    |
|--|----|
| foliar de los niveles 15 y 30% de humedad disponible en el suelo de la etapa vegetativa (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....  | 68 |
| 9 Relación entre fecha de muestreo y área foliar total (cm <sup>2</sup> ) de los niveles 15 y 30% de humedad disponible en el suelo de la etapa vegetativa (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....   | 69 |
| 10 Altura de planta (cm) registrada en tres muestreos, realizados durante el ciclo fenológico del cultivo, correspondiente a los niveles 15 y 30% de humedad disponible en el suelo de la etapa vegetativa (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)..... | 74 |
| 11 Comparación gráfica de la materia seca por planta (g) registrada en cinco muestreos para los niveles 15 y 30% de humedad disponible en el suelo de la etapa vegetativa (Marín N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....                                   | 82 |
| 12 Curva logística del crecimiento, definida en base a materia seca por planta (g) de los tratamientos 0-30, 15-15, 15-30, 15-45 y 30-30% de humedad disponible en el suelo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....                                | 83 |
| 13 Curva logística del crecimiento, definida en base a materia seca por planta (g) de los tratamientos 30-45, 30-60, 45-45, 0-0 y 60-75% de humedad disponible en el suelo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....                                 | 84 |
| 14 Curva logística del crecimiento, definida en base a materia seca por planta (g) acumulada de los  |    |

## INDICE DE CUADROS DEL APENDICE

| <u>CUADRO</u>  | <u>página</u> |
|--|---------------|
| #  |               |
| 1 Análisis de varianza de la variable rendimiento de grano (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....   | 105           |
| 2 Análisis de varianza de la regresión del modelo polinomial de segundo grado completo, de la variable rendimiento de grano (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....                            | 105           |
| 3 Análisis de varianza de la regresión del modelo polinomial de segundo grado reducido, de la variable rendimiento de grano (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....                            | 106           |
| 4 Significancia de los coeficientes de regresión para los modelos polinomial de segundo grado completo y reducido, de la variable rendimiento de grano (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)..... | 106           |
| 5 Análisis de varianza del modelo de regresión lineal múltiple, de la variable rendimiento de grano (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....  | 107           |
| 6 Análisis de varianza de la regresión del rendimiento de grano, en relación a la evapotranspiración del cultivo (ETR/ETP) de seis etapas fenológicas (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....  | 107           |
| 7 Análisis de varianza de la regresión del rendimiento de grano en relación a la   |               |

|  |     |
|--|-----|
| evapotranspiración del cultivo (ETR/ETP), de cuatro etapas fenológicas (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....   | 107 |
| 8 Matriz de correlaciones simples de las variables agronómicas y morfológicas de trigo, en respuesta a diferentes niveles de humedad en el suelo (%) (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....                                     | 108 |
| 9 Significancia estadística de la regresión del rendimiento de grano (k/ha) en relación a la evapotranspiración real y potencial del cultivo (ETR/ETP), en diferentes etapas fenológicas (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)..... | 110 |
| 10 Rendimiento de grano observado y estimado (k/ha), para los modelos completo y reducido (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....  | 111 |
| 11 Modelos de regresión de la materia seca por planta acumulada en función del tiempo (días), para los tratamientos . del ensayo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988).....   | 112 |



INDICE DE FIGURAS DEL APENDICE

| <u>FIGURA</u>   | <u>página</u> |
|---|---------------|
| #   |               |
| 1 Relación entre el contenido de humedad en el suelo (cm) y la tensión hídrica (bars) (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)..... | 113           |

## ABREVIATURAS DEL TEXTO

|        |   |
|--------|---|
| C.C.   | Capacidad de campo.                       |
| P.M.P. | Punto de marchitez permanente.            |
| % A.D. | Porciento de agua disponible en el suelo. |
| U.E.A. | Uso eficiente del agua.                   |
| E.T.R  | Evapotranspiración real.                  |
| E.T.P. | Evapotranspiración potencial.             |
| c.v.   | Coefficiente de variación                 |
| n.s.   | No significancia.                         |
| g.l.   | Grados de libertad.                       |
| s.c.   | Suma de cuadrados.                        |
| c.m.   | Cuadrado medio.                           |
| D.O.F. | Dosis óptima fisiológica.                 |
| L.N.   | Latitud norte.                            |
| L.W.   | Latitud oeste.                            |
| e.g.   | Por ejemplo.                              |
| n      | Número.                                   |
| E.V.   | Etapa vegetativa.                         |
| E.R.   | Etapa reproductiva.                       |

## RESUMEN

El presente estudio se realizó durante el ciclo de invierno 1987-1988 en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Localizado en el km 17.5 de la carretera Zuazua-Marín.

Los objetivos del trabajo fueron: a) definir el calendario de riego para el cultivo de trigo; b) observar los efectos de los diferentes niveles de agua disponible del suelo sobre el rendimiento y sus componentes; c) determinar el nivel óptimo fisiológico del agua disponible del suelo y d) comparar la sensibilidad del cultivo de trigo a déficit hídricos en diferentes etapas fenológicas, en relación a la evapotranspiración del cultivo.

Se compararon diez tratamientos, ocho de ellos fueron seleccionados a partir de la matriz Plan Puebla I para dos factores; los otros dos fueron considerados como testigos (niveles mínimos y máximos de humedad). Los factores estudiados fueron la etapa de crecimiento, dividiéndose el ciclo del cultivo en etapa vegetativa (antes de la floración) y etapa reproductiva (después de la floración); y los niveles fueron el agua disponible en el suelo: 0, 15, 30 y 45% para la etapa vegetativa; 15, 30, 45 y 60% para la reproductiva; y para los testigos, 0/60, y 0/75% de agua disponible, para ambas etapas, respectivamente. Se utilizó el diseño bloques al azar con cuatro repeticiones. La siembra se hizo a doble hilera (17.5 cm de separación) en surcos espaciados a 85 cm y una densidad de siembra de 70 k/ha. Se utilizó la variedad Pavón F-76.

Los resultados indicaron que el rendimiento de grano y sus componentes, fueron afectados significativamente por la humedad

del suelo; éste factor influyó tanto a través del agua disponible (evapotranspiración real) como por la oportunidad en la aplicación del riego (etapa fenológica). El rendimiento más alto (3 211 k/ha) se obtuvo al mantener 45% de agua disponible en el suelo en ambas etapas de crecimiento, lo cual se logró aplicando una lámina de riego de 42.85 cm. El segundo lugar, con un rendimiento de 3 042 k/ha, correspondió al tratamiento 60-75%.

La reducción del rendimiento de grano de ese tratamiento (60-75%) probablemente se debió al excesivo crecimiento foliar, lo que a su vez ocasionó un desbalance entre las etapas vegetativa y reproductiva. Esto probablemente explica la reducción en las variables índice de cosecha, granos por espiga, peso de 100 granos y duración del período de llenado de grano.

Se observó que la actividad fotosintética de la planta en el tratamiento que tuvo cero % de agua disponible durante la primera etapa, combinado con un 30% en la etapa reproductiva, no fué afectada. También este tratamiento, tuvo un buen desarrollo de grano.

El rendimiento de grano mostró una correlación significativa con las variables: días de llenado de grano, índice de cosecha, altura de planta en la etapa de floración, número de hojas por planta en la etapa de llenado de grano y peso hectolítrico de grano. Se observó una reducción en los días a floración con cada incremento en el déficit hídrico en la etapa vegetativa; mientras que, niveles altos de humedad en la etapa reproductiva retardaron la madurez fisiológica, así como el período de llenado de grano. El uso eficiente del agua correlacionó negativamente con : número de hojas, índice de área foliar y área foliar total estimada en la etapa de llenado de grano.



Al probar el modelo polinomial de segundo grado propuesto, el análisis de varianza indicó una falta de ajuste, observándose respuesta lineal a los niveles de agua disponible en el suelo solamente en la etapa vegetativa; además, se encontró que los períodos de mayor susceptibilidad al déficit de humedad son: de diferenciación floral a embuche y de floración a etapa de grano lechoso.

Finalmente, en base al comportamiento del cultivo, sometido a los diferentes tratamientos de humedad, se recomienda cuatro riegos para trigos de verano, uno de establecimiento (siembra en húmedo, 12-15cm de agua) y tres de auxilio: el primer riego de auxilio, con una lámina de 10cm, 35 días después de la siembra (diferenciación floral); el segundo riego, con una lámina de 10cm, 45 días después del primero (etapa de embuche); el tercer riego, con una lámina de 10cm, 20 días después del segundo (etapa de grano lechoso); por lo tanto, la lámina total de agua aplicada en los riegos puede ser de 42 a 45cm.

## SUMMARY

The present study was carried out in the winter season 1987 - 1988 at the experiment station of the Agronomy Faculty of the Universidad Autonoma of Nuevo Leon. Located at 17.5 km of the Zuazua - Marin city.

The objectives of this study were: a) establish the calendar for wheat irrigation; b) to observe the effects of the different levels of available soil water over the yield and its components; c) to determine the optimum physiological level of the available soil water y d) to compare the sensibility of wheat to hidric defficit at different phenologic stages related to crop evapotranspiration.

Ten treatments were compared, eight of them were selected from Plan Puebla I matrix for two factors; the other two were considered as checks (minimum and maximum levels of humidity). The factor under study was the growth stage, dividing crop cycle in vegetative stage (before flowering ) and reproductive stage (after flowering); and the levels were the available water in soil: 0, 15, 30 y 45% for the vegetative stage; 15, 30, 45 y 60% for the reproductive stage and for cheks, 0/60 and 0/75% of water available, for both stages respectively. A two way randomized design whit four replicates was utilized. The sowing method was done as double line (17.5 cm of separation) in rows separated by 85 cm whit a plant densitv of 70 k/ha. The variety Pavon F-76 was utilized.

The results indicated that the grain yield and its components were significantly affected by humedity of soil; this factor influenced as much as the available water (real evapotranspiration) as the opportunity or time of irrigation (phenologic stage). The highest yield (3 211 k/ha) was obtained

with 45% available water in soil for both growth stages, which was accomplished by applying a total amount water of 42.85 cm. The treatment 60-75% had, the second place, with a yield of 3 042 k/ha.

The reduction of yield (treatment 60-75%) was probably was to the excessive leaf growth, which caused a disequilibrium between vegetative and reproductive stages. The before explanation is probably the reason in the reduction of the harvest index, grain per spike, weight of 100 grains and time of the grain maturity.

Was observed that photosintetic activity of the treatment the had zero available water during the first stage, combined with 30% in the reproductive stage, was not affected. Also this treatment had a good grain development.

The grain yield showed a significant correlation with the variables: time of grain filling, harvest index, plant height at flowering stage, number of leaves per plant at the stage grain filling and hectolitic weight of grain. It was observed a reduction in days up to flowering with each increasing in water deficit at the vegetative stage; while high levels of humidity at the reproductive stage retarded physiological maturity. The efficient use of water was correlated negatively with: number of leaves, leaf area index and total leaf area at the stage of grain filling.

When a polynomial model of second degree proposed was tested, the analysis of variance indicated lack of fitness. It was observing linear response to levels of water available at the vegetative stage; besides, it was found that the higher susceptibility stages to humidity deficit are: from flower differentiation to boot stage and from flowering to milky grain stage.

Finally, based on crop behavior under different treatments of humidity, it is suggested four waterings for summer wheat, one for establishment (planting in humid with a water amount of 12-15 cm) and three postplanting waterings: watering the first postplanting with a water amount of 10cm, 35 days after planting (initiation of flower differentiation); the second irrigation, with a water amount of 10cm, 45 days after the first (boot stage); the third irrigation, with a water amount of 10cm, 20 days after the second (milky grain stage); so the total water amount applied as irrigation can be from 42-45 cm.

## 1. INTRODUCCION

En el estado de Nuevo León, el trigo es el principal cultivo de invierno sembrándose una superficie de aproximadamente 16 000 has, bajo riego. —El régimen de precipitación para el norte del estado es de 540 mm anuales y durante la estación de crecimiento del trigo, la precipitación es menor de 1/3 del total; por lo que, existe la necesidad de proveer de agua al cultivo mediante el riego para alcanzar niveles adecuados de producción.

Debido al incesante crecimiento de los núcleos de población, las áreas de riego tendrán una fuerte competencia con la demanda de agua; además por parte de la industria (Hanks y Rasmussen, 1982), del manejo del agua y la posible escasez, durante las etapas críticas del cultivo, surge la necesidad de regar los cultivos con mayor eficiencia y determinar cuanto y cuando regar el cultivo, para proveer el nivel adecuado de humedad requerido por la planta sin detrimento del rendimiento (Kramer, 1974).

Según Shaw, citado por Shanahan y Nielsen (1987), es de esperarse reducciones significativas en el rendimiento, cuando el déficit de humedad ocurre en etapas críticas del desarrollo; además se ha encontrado que si la tensión hídrica ocurre durante el crecimiento vegetativo, el rendimiento y sus componentes son menos afectados que cuando el déficit de humedad se presenta durante las etapas de floración y llenado de grano (Harold, 1986).

Los incrementos en los costos de cultivo, hacen necesario efficientizar la utilización de insumos, con el fin de alcanzar

la tasa más alta de retorno económico con un mínimo de dichos insumos. Por lo anterior se plantea la presente investigación tendiente a desarrollar un paquete tecnológico para ser recomendado a los agricultores de la región.

Actualmente en la región, se recomienda la siembra de trigo en surcos a doble hilera con una densidad de 70 k/ha; sin embargo, se desconoce la lámina de agua y frecuencia de riego óptimo para este cultivo, bajo el método indicado, de ahí la importancia de realizar éste estudio.

### 1.1 Objetivos

En base a lo anterior, con el presente trabajo se pretende alcanzar los siguiente objetivos.

- 1) Definir el calendario de riego para el cultivo de trigo en función de los niveles de agua disponible del suelo.
- 2) Observar los efectos de los diferentes niveles de agua disponible del suelo sobre el rendimiento y sus componentes.
- 3) Determinar el nivel óptimo fisiológico de agua disponible del suelo para las etapas vegetativa y reproductiva.
- 4) Medir la sensibilidad del cultivo a déficit hídricos en las diferentes etapas de desarrollo en función de la evapotranspiración.

### 1.2 Hipótesis.

Para los anteriores objetivos se han planteado en forma correspondiente, las siguientes hipótesis a comprobar.

- 1) Los requerimientos de agua del trigo dependen de la etapa de

crecimiento y de las condiciones ambientales durante el desarrollo del cultivo.

- 2) Bajos niveles de agua disponible del suelo reducen la tasa de transpiración y consecuentemente el rendimiento y sus componentes.
- 3) Existe un nivel óptimo fisiológico de agua disponible para la planta en las etapas vegetativa y reproductiva, que permiten obtener rendimientos adecuados de producción.
- 4) En trigo, algunas etapas fenológicas son más susceptibles que otras a déficit hídrico.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Disponibilidad del agua en el suelo

Kramer (1974), menciona que ha habido mucha discusión acerca de la disponibilidad de agua para la planta entre los límites de capacidad de campo y punto de marchitez permanente; al respecto cita a Veihmeyer, quien afirma que el agua esté o no disponible, el crecimiento y la transpiración se reducen cuando el contenido hídrico del suelo se abate a casi el punto de marchitez permanente. Investigadores como Richards, Wadleigh y Stanhill, citados por el autor, mencionan que el agua está menos disponible para la planta a medida que el contenido de humedad del suelo decrece por debajo de capacidad de campo. También afirman que la disponibilidad de agua en el suelo depende principalmente de su potencial y de la conductividad hidráulica, ya que ambos están estrechamente relacionados con el contenido de humedad.

Daubenmire (1982) y Thorne (1979), mencionan que el agua está fácilmente disponible para la planta cuando el contenido hídrico se encuentra entre los límites de capacidad de campo y punto de marchitez permanente; éste último, dependerá de la especie vegetal de que se trate.

Por su parte, Domínguez (1984), agrega que el contenido de agua del suelo está sometido a variaciones continuas, siendo el resultado neto de la aportación que recibe de las lluvias o el riego menos las pérdida por drenaje y evaporación, así como de la absorción por la planta. La pérdida por evaporación y transpiración se conoce como evapotranspiración potencial (Ortiz, 1987).



## 2.2 Déficit hídrico y Sequía

Déficit hídrico es definido por Levitt (1972), como tensión hídrica por sequía en un medio natural, y si se produce en forma artificial, lo define como "tensión por desecación".

Kramer (1974), menciona que déficit hídricos bastante grandes y potenciales hídricos bajos en las hojas, pueden producirse en menos de una hora cuando es rápida la transpiración; sin embargo, la mayoría de los daños en las plantas son causadas por tensiones hídricas que se han producido durante un período de varios días debido al abatimiento decreciente del agua disponible del suelo (Kramer, 1969). Las diferentes funciones de la planta muestran diferente sensibilidad a la tensión hídrica del suelo (Hsiao, 1973) pero en general, el rendimiento no se reduce hasta que el 65% del agua disponible en el suelo ha sido abatida.

La tensión hídrica en el suelo no necesariamente está relacionada con determinado nivel de tensión en la planta (Kramer, 1963) debido a que éstas, en un suelo húmedo pueden estar sometidas temporalmente a una elevada tensión en períodos de transpiración rápida; por otro lado, plantas que se encuentran en un suelo relativamente seco, pueden estar sometidas a una baja tensión hídrica en condiciones atmosféricas donde el coeficiente de transpiración sea bajo. De esta manera, los efectos de los distintos niveles de tensión de humedad de suelo, sobre el crecimiento de la planta, pueden ser evaluados con exactitud únicamente cuando se mide la tensión hídrica de la planta en un experimento controlado, como lo indican Boyer y Brix, citados por Kramer, (1974), y Slatyer, (1967).

Winter (1977), Kaufman (1974) y Hall (1979), mencionan que

existe un gradiente de potencial de suelo al aire a través de los tejidos de las plantas, por tanto, el agua al interior de ellas se encuentre siempre bajo alguna tensión, la cual, se deriva de dos fuentes distintas: la tensión osmótica (relacionada con la concentración de sales en el suelo) y el déficit simple de agua (como resultado de las condiciones de elevada evaporación en torno al follaje); al respecto, Turner (1979), agrega que si los cambios ambientales impiden o limitan el crecimiento y al rendimiento para alcanzar el potencial genético y exceden la capacidad adaptativa de los mecanismos de la homeostásis, entonces el agua disponible en condiciones limitantes, constituye una "tensión hídrica".

La sequía es uno de los mayores problemas para la adaptación de plantas cultivadas en ambientes semiáridos, se define como la ocurrencia de un sustancial déficit de agua en el suelo, en la atmósfera o en la planta (Hall et al. 1979). Sequía fisiológica es definida como el efecto en las plantas, de la presión osmótica alta en las soluciones en que se encuentran las raíces, como lo indica Wilsie (1961), citado por Saint-Clair (1981). Aunque una tensión hídrica en la planta siempre es acompañada de sequía, la primera puede manifestarse en ausencia de la segunda. Las causas principales de la tensión hídrica son: transpiración excesiva o inhibición de la absorción del agua, provocado por un suelo frío; exceso de sales en la solución del suelo, o por daño en el sistema raicular, en cuanto a lo anterior Levitt (1972), agrega un factor más que es el calor.

### 3 Resistencia a sequía y sus componentes

Evenari, citado por Kramer (1974), opina que el concepto se uía es muy discutible. Wrihtgt y Streetman (1960), citados por Saint-Clair (1981) señalan que la complejidad del concepto se origina por el carácter inseparable de los factores:

morfológicos, fisiológicos y bioquímicos, además de las condiciones del clima y el suelo en que se desarrolla el cultivo.

Kramer (1974) define resistencia a sequía como "la capacidad del protoplasma de una planta para soportar la deshidratación sin sufrir daño aparente, ya sea por poseer características estructurales o fisiológicas, que tienen por resultado el aplazar o evadir un nivel letal de deshidratación". Por su parte Levitt (1972 y 1978) divide resistencia total a sequía en dos componentes: evasión y tolerancia a deshidratación, y considera a ambas como propiedades de la planta. Además, propuso una ecuación para definir la resistencia a sequía como:

$$\text{Resistencia total} = \psi_0 / \psi_1$$

donde:  $\psi_0$  = potencial hídrico de la planta en estado constante;  $\psi_1$  = potencial hídrico de la planta poco antes de punto de marchitez permanente.

Según Levitt (1972), La expresión evasión a la deshidratación se refiere a las diferentes características que presenta una planta durante sus diferentes etapas de crecimiento; además, señala el autor que como componentes de evasión se oponen a una tensión hídrica. Toda medida de evasión debe relacionar el potencial hídrico de la planta bajo condición constante, con el potencial hídrico del suelo y atmósfera (Levitt, 1972).

Según Hall (1979) la eficiencia en el uso del agua (unidades de agua utilizada por unidad de materia producida) resulta importante, en especial, donde hay un abastecimiento limitado de agua. Menciona que el uso eficiente del agua ha sido tradicionalmente calculado como la relación

entre la materia seca total acumulada y el agua utilizada durante el ciclo del cultivo. Este cálculo representa una integración de la tasa de materia seca acumulada y el consumo diario de agua durante la estación de crecimiento. La eficiencia en el uso de agua puede ser determinada para un período dado de tiempo, mediante mediciones de fotosíntesis y transpiración en la superficie de la hoja (Baldocchi et al., citado por Clawson et al., 1986; Kramer, 1974).

La reducción de la pérdida de agua como un resultado de un incremento en la reflectancia o la pérdida de superficie evaporativa (menor área foliar) en la etapa vegetativa, tiene como resultado una conservación del agua del suelo para su uso en la floración, de lo anterior, es posible un incremento del rendimiento y un mayor uso eficiente del agua, basado en un mayor peso de grano (Turner, 1979). El uso eficiente del agua raramente se ha relacionado con el sistema radicular y aéreo de la planta (Proffitt et al., 1985).

El establecimiento de la siembra es particularmente importante en zonas áridas debido a que la preparación del suelo y el manejo del agua no pueden ser manejados óptimamente como en una zona de riego; por una parte, se tienen fallas en la germinación, y por otra, la incapacidad de la semilla para germinar; aunado a esto, el bajo vigor de las plántulas para emerger (Hall, 1979) Wilson et al., citado por Hall (1979), menciona que la sequía en etapas tempranas puede reducir drásticamente el área foliar; éste ajuste de la planta, es un mecanismo eficiente para regular el uso del agua, ya que es posible que se dé un crecimiento inconsistente de las hojas en estas etapas y se incremente drásticamente la transpiración.

Según Fereres y Castiel, citados por Hall (1979), el crecimiento radicular es importante para mantener el balance de agua durante la etapa vegetativa. Un crecimiento vertical de

raíces puede proveer de suficiente agua a cultivos en riego, ya que al extenderse la zona radicular, puede suplementarse las necesidades de la planta por toda la estación hasta la cosecha. El crecimiento de las raíces y su funcionamiento como superficie absorbente depende de varios factores en el ambiente que las rodea; algunos de ellos afectan su resistencia mecánica limitando su crecimiento, el abastecimiento de agua, la aireación y modificando la composición química de la disolución del suelo (Vázquez, 1984).

El crecimiento de la raíz en cada estrato del suelo es independiente del potencial hídrico de otros estratos o en el vástago. En regiones secas la penetración de la raíz está generalmente limitada por la profundidad hasta la cual está mojado el suelo por lluvias o por suplemento de agua, según Cannon, Weaver y Crist, citados por Kramer (1974). El autor menciona que no solo queda interrumpido el alargamiento de la raíz por falta de agua, sino que las mismas, tienden a suberificarse y esto reduce su capacidad de absorción y por consecuencia las plantas sometidas a grandes déficit de agua no recuperan su capacidad plena para absorber el agua durante varios días después de que se ha mojado el suelo.

En trigo, se encontró que en tratamiento de alta frecuencia de riego en el ciclo vegetativo y antésis la planta desarrolló un sistema radicular muy poco profundo así como en densidad, en contraste con los tratamientos de baja frecuencia y es explicado en razón a las relativas condiciones de secado del suelo en estratos profundos (Proffitt et al., 1985; Doss et al., 1960 y Newman, 1974). Densidad radicular de  $6 \text{ cm/cm}^3$  son muy comunes en la superficie del suelo y valores de  $1 \text{ cm/cm}^3$  a profundidades de 0.5 a 1.0 mts. (Köpke, Gregory, Ellis y Barnes), citados por Klepper et al. (1984).

El potencial hídrico de la hoja ha sido utilizado para

apreciar la respuesta de la planta a variaciones en la cantidad de agua disponible del suelo, pero pocos estudios lo han asociado a aspectos del sistema radicular, como fue estudiado por Willatt y Olsson, citados por (Proffitt et al., 1985) Hanks el al. (1969), al explicar porque se obtuvieron más altos rendimientos de grano de trigo en parcelas alrededor de un lisímetro que en su interior donde se mantuvo alto el nivel de humedad; concluye que fue debido a un mayor crecimiento radicular por un período de tiempo relativamente largo, y que las plantas extrajeron agua hasta una profundidad de 90 cm; al respecto, Pearsons (1965), citado por Kenemasu (1983) menciona que en áreas sujetas a suplemento de agua mediante el riego, y en el comienzo de la estación de crecimiento, tener el suelo con suficiente humedad y con riegos al cultivo en etapas de desarrollo (donde es más susceptible a déficit hídricos), es posible alcanzar la máxima respuesta en el rendimiento. Además, resulta beneficioso el promover un crecimiento radicular a estratos más profundos; así, la extensión de raíz ocurre cuando el suelo está húmedo, pero no en condiciones de excesiva humedad; de tal manera que, la extensión se logra cuando el agostamiento del agua disponible para la planta es en forma gradual.

La máxima eficiencia en el uso de agua, debe estar sincronizada con la apertura estomatal y con la capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> (Cowan, Cowan y Farguñar et al., citados por Nobel, 1983). Al respecto Hall (1976) menciona que el complejo sistema estomatal involucra gradientes de presión de vapor, temperatura y radiación, y que la función óptima estomatal es difícil de definir porque depende del balance entre el control de agua y el desarrollo del déficit de agua, mientras se mantienen adecuados niveles de fotosíntesis. En resumen, la fuerza impulsora del agua líquida es causada por el descenso del potencial hídrico de los vástagos debido a la transpiración y puesto que ésta, en la mayoría de las plantas está controlada

por la apertura de los estomas y el gradiente de presión de la hoja al aire, el coeficiente de movimiento del agua a través de las plantas se encuentra controlado principalmente por la fase de vapor del agua. El autor encontró que los estomas de la hoja de trigo tienden a cerrarse a valores bajos de potencial hídrico a medida que la planta envejece. Ehrler et al. (1978), encontró que durante el amacollamiento los estomas se cerraron al rededor de -13 bar, pero no se cerraron hasta los -31 bars durante la etapa de formación del grano; además fueron observados potenciales de -29 y -43 bars. Tales resultados definen del comportamiento de los estomas por la conservación del agua durante el estado vegetativo; según, Pearsons (1978). En conclusión Begg y Turner (1978), mencionan que en principio la fotosíntesis decrece como resultado del cierre de los estomas, pero la tensión hídrica prolongada e intensa puede conducir a la declinación de la actividad de los cloroplastos y enzimas, y a efectos no estómaticos.

Henzell et al., citado por Hofmann et al. (1984), encontraron variabilidad genética en apertura estomatal al estudiar diferentes genotipos de sorgo y reportan una relación inversa de la clausura estomatal en respuesta a déficit de agua. A través del estoma que es sensitivo a tensiones hídricas puede ser efectiva la reducción de la pérdida de agua, y mantener contenidos altos de agua en los tejidos. Particularmente cuando la clausura estomatal es completa y la resistencia cuticular es alta, la reducción en el intercambio gaseoso también reduce la fotosíntesis (Sulliva, 1974 y Carl, 1964). Así, una persistente reducción en la apertura estomatal conducirá a un decremento en la productividad. En otras palabras, debido a la resistencia adicional en el trayecto relativo del carbono, una clausura estomatal parcial ha sido sugerido como un método para incrementar el uso eficiente del agua (Wagoner y Zelitch, citados por Turner, 1979).

Numerosos autores han reunido información para explicar los límites de agua disponible del suelo y su relación con el potencial hídrico de la planta (Ehrler et al., 1978).

Kramer (1974), menciona que resulta evidente que las mediciones de tensión hídrica del suelo no se encuentran correlacionadas con el rendimiento, debido a que el crecimiento de las plantas está directamente controlado por la tensión hídrica de la planta y solo indirectamente por la tensión del suelo. Denmead y Shaw, citados por el autor, encontraron que la transpiración y el crecimiento del maíz se encuentran limitados por el contenido hídrico del suelo en un nivel más alto en días de sol con mucha transpiración, que en días nublados en que los coeficientes de transpiración eran bajos. Por lo tanto, no es prudente suponer que cierto nivel de tensión hídrica del suelo vaya acompañado por un equivalente de tensión hídrica en la planta.

La recuperación del potencial hídrico en hojas de algodón es aceptable después de encontrarse bajo tensión hídrica; pero no así, en la capacidad fotosintética, y esto está relacionado a una baja tasa de recuperación del potencial hídrico de la hoja. Al incrementarse la tensión hídrica del suelo el potencial hídrico de la hoja decrece y la resistencia estomatal se incrementa y por consiguiente la transpiración es menor (Bielorain y Hopman, 1975). De esta manera, los procesos fisiológicos que controlan el crecimiento de la planta, están directamente controlados por la tensión hídrica de la planta y solo indirectamente por la tensión hídrica del suelo y la atmósfera. Así, los efectos de distintos niveles de agua del suelo sobre el crecimiento de la planta, pueden evaluarse con exactitud únicamente cuando se mide la tensión hídrica de la planta. Ehrler et al. (1978) agrega que, en base a resultados donde la temperatura foliar y el potencial hídrico de la planta son sujetos de estudio, las mediciones



deben de ser efectuadas en el rango de las 14.00 horas del día.

Pandey et al. (1984b), comprobó que existe una relación muy aguda entre el potencial hídrico de la hoja y la diferencia entre la temperatura del cultivo con la del aire ambiental; en otras palabras, al incrementarse el déficit hídrico se incrementa el diferencial de temperatura planta-ambiente.

El diferencial en respuesta de los distintos procesos fisiológicos a cierto grado de déficit hídrico del suelo, algunas veces representa ventajas en prácticas de cultivo, por ejemplo, en alfalfa y otros cultivos se encontró altos rendimientos de grano cuando el riego se aplicó en frecuentes y pequeñas cantidades de agua en la etapa de crecimiento vegetativo; al respecto, Hidalgo (1971) cita a García y a Mench, quienes afirman que el trigo y otros cereales, se afectan adversamente por riegos muy frecuentes, y esto se relaciona con la necesidad de promover el crecimiento radicular como lo mencionan Proffitt et al. (1985), Doss et al. (1960) y Newman (1971).

Grandes cantidades de agua estimulan el crecimiento vegetativo existiendo un desbalance con respecto a la fase reproductiva o de producción (Bielorain y Hopmans, 1975). En general una tensión hídrica severa es evidente en la mayoría de las plantas de cultivo cuando el potencial hídrico del suelo decrece por debajo de -8 bars. En el rango de -8 y -15 bars, se presentan efectos deletéreos, debido primeramente a deshidratación del protoplasma y acompañado por cambios en la relación espacial de las moléculas del mismo. Cuando la desecación progresa, algunas herbáceas logran mantener potenciales hídricos en el rango de -15 a -20 bars, por un día o dos (Noggle y Fritz, 1976).

Según Levitt (1972), los componentes de la tolerancia a una deshidratación, son aquellos ajustes osmóticos que incrementan la tolerancia a sequía al mantener alto el turgor de la planta; pero en los procesos de crecimiento que dependen de éste, incrementan la concentración de solutos o fotosintatos responsables de este ajuste osmótico y pueden tener efectos detrimentales en adición a los requerimientos de energía del ajuste (Turner, 1979, citado por Hall, 1979).

Consecuentemente la adaptación de cultivos debe reflejar un balance entre escape, evasión y tolerancia a sequía, mientras se mantienen adecuados niveles de producción. Los efectos de un estado interno de agua sobre la función de la planta, puede dar indicios de los mecanismos de tolerancia a sequía. Las lesiones fisiológicas causadas por sequía, pueden ser identificadas, donde plantas sin lesiones pueden ser seleccionadas (Hall, 1979). De esta manera un déficit hídrico induce a una reducción en la capacidad fotosintética ocurriendo lesiones que pueden ser identificadas (Boyer y McPherson, 1975 y Hsiao, 1973).

Turner (1979), menciona que la habilidad de una planta para mantener un positivo o constante turgor, a un decreciente potencial hídrico del suelo, es una importante adaptación a déficit de agua. Las plantas pueden tener una positiva presión de turgor dentro de un amplio rango de contenidos altos de agua, sea porque el potencial osmótico es bajo a altos contenidos de agua o porque el tejido posee una alta elasticidad. Por lo antes mencionado, resulta claro que las plantas tenderán a mantener un turgor constante o positivo dentro de un amplio rango de contenidos de agua si los solutos acumulados y el potencial hídrico es muy bajo o bien, la elasticidad se incrementa durante un ciclo de agostamiento; declinando primero la acumulación de solutos, el cual es llamado "ajuste osmótico".

Se ha sugerido que la sequía induce una acumulación de prolina y que puede ser una propiedad adaptativa asociada con tolerancia a sequía (Singht et al., 1972, citado por Hall, 1979). Un incremento detectable del contenido de prolina en plantas sometidas a déficit hídrico, ha sido encontrado por numerosos investigadores (Saint-Clair, 1981); la proteólisis y la formación del "novo" de ese aminoácido, explican en parte este mecanismo. La existencia de correlación entre su acumulación y condiciones de sequía, permiten considerar a la prolina como una fuente de energía respiratoria. El ácido abscísico reduce la permeabilidad de las raíces y consecuentemente se reduce la absorción y transpiración al provocar un cierre de estomas, además se a encontrado correlación entre el contenido de ácido abscísico y acumulación de prolina libre en hojas (Lange, 1975), citado por Saint-Clair (1981).

La importancia de la prolina se debe, probablemente a que promueve el ajuste osmótico, suplementando energía para el recuperación de tejidos, principalmente pared celular y protoplasma (Blum y Ebercon, citados por Turner, 1979).

Saunier et al. (1968), con el objetivo de entender mejor la adaptación fisiológica de Creosotebush (Larrea divaricata Car.) -especie arbustiva del desierto de Chihuahua, Mex.- bajo condiciones de sequía, comparó el comportamiento de plantas en condiciones de buena humedad y plantas con siete días sin riego, encontró que, plantas bajo tensión hídrica incrementaron la cantidad de aminoácidos principalmente, prolina, fenilalanina, ácido glutámico; además, incrementos significativos fueron encontrados en alanina, arginina, histidina, isoleucina y valina. Tales cambios fueron explicados debido a una hidrólisis de proteínas y al traslado de los productos degradados de la zona radicular, similares resultados fueron encontrados por Chen et al. (1964) y Kretovich (1965).

La respuesta de la planta a déficit de humedad es numerosa y compleja (Hsiao, 1973; Slatyer, 1967; Boyer y McPherson, 1975; y Bagg y Turner, 1976). El aumento de un valor constante osmótico encontrado por diversos autores, cuando la planta es sometida a deficiencias de humedad, es explicado por un aumento en la concentración de solutos, tales como  $KNO_3$  y sucrosa; después de dos horas de marchitamiento, existió un incremento significativo de prolina y cuando la pérdida de agua aumentó, el incremento de azúcar fue mayor; según, Nobel (1982) y Ahirns (1924), citado por Levitt (1972). En un estudio en trigo se encontró que la planta logró soportar un déficit de agua aparentemente al ocurrir un ajuste osmótico y poder mantener el potencial del turgor necesario para el proceso de elongación (Eastham et al., 1984). La acumulación de solutos durante ajuste osmótico en respuesta a déficit hídrico no ha sido ampliamente estudiado. En adición a un decremento del potencial osmótico, la acumulación de azúcar durante el ajuste osmótico, también confiere parte de la resistencia a desecación de las células de las plantas (Lee-Stadelmann, 1976 citado, por Turner, 1979).

#### 2.4 Efecto de Varios Niveles de Agua Disponible del Suelo Sobre el Crecimiento y Desarrollo del Cultivo

Kramer (1974) y Hurd (1975), mencionan que existe un acuerdo general respecto a que la tensión hídrica en ciertas etapas del crecimiento causan mayores daños que en otras; además, las plantas sometidas a tensión hídrica no solo muestran reducciones en tamaño, sino que revelan en su estructura modificaciones características, especialmente en sus hojas; la superficie, el tamaño de las células y el volumen de la hoja, suelen reducirse, y aumentar la pilosidad, densidad de la nervadura, frecuencia de los estomas y el grosor de las capas en células empalizadas. Pandey et al. (1984c) encontró al trabajar con diferentes especies de legumbres bajo diferentes déficit hídricos, que el crecimiento decreció y que al

aumentar el déficit de agua disminuyó el área foliar, duración de folíolos, tasa de crecimiento y la acumulación de materia seca.

Wong (1979) al trabajar con el esquema riego-sequía en sorgo, observó que la época de desarrollo de floración se adelantó; además, el rendimiento económico y biológico fueron los más afectados en el orden del 20%. Al respecto, Salter y Good (1976) y Domínguez (1984), señalan que dicho efecto se manifiesta mayormente sobre las épocas de iniciación y desarrollo de la flor, polinización, fertilización y llenado de grano. Dichos autores coinciden con Wong, al señalar que existen evidencias de que aún en sequía moderada, puede reducirse la velocidad de aparición de los primordios florales y que además, la iniciación de la flor parece ser más afectada que el desarrollo de la flor.

En cuanto a la respuesta de la planta en crecimiento y desarrollo Domínguez (1982), menciona que para plantas frutales y de semilla en general, el ciclo se acelera si el abastecimiento de humedad es satisfactorio a lo largo del período vegetativo, y además se reduce durante la maduración. Muñoz *et al.* (1973), en ensayos de resistencia a sequía, al trabajar con maíz encontraron un retraso en la floración; agregando que, en años anteriores se encontró igual respuesta. Shaw, citado por Shanahan y Nielsen (1987), menciona que la tensión hídrica es un medio efectivo para limitar el desarrollo vegetativo, pero el tiempo en el cual la tensión ocurre, influencia grandemente en reducción del rendimiento. En cuanto a la consistencia de resultados, referentes al aceleramiento o retraso en floración al ocurrir un déficit hídrico, ha sido muy variable, al respecto Turner (1979) en trigo, observó que al existir un déficit moderado entre iniciación floral y anátesis, la floración y maduración se aceleraron y se vió modificado el período de llenado de grano.

Cutler *et al.*, citado por Eastham (1984), menciona que cambios en el balance de agua de la planta es rápidamente reflejada en la tasa de elongación de la hoja; esto indica que el balance de agua de la planta entera, influencia en la elongación de la hoja, probablemente al actuar en las células de la zona de elongación.

Eastham (1984), encontró que valores bajos en el potencial de turgor y en extensión del grosor de la hoja, se obtuvieron en plantas de trigo bajo tensión hídrica, lo cual, indica que el crecimiento de la planta es afectado por la disponibilidad del agua de suelo y no solamente debido al aspecto físico de un bajo turgor sino también a los efectos sobre los procesos bioquímicos, los cuales afectan las propiedades de la pared celular.

El crecimiento vegetativo y el rendimiento no están correlacionados positivamente, Fisher, citado por Turner (1979) reportó que el crecimiento vegetativo reduce el rendimiento bajo tensión hídrica.

Un método para controlar el crecimiento vegetativo en cereales, es utilizando plantas que están limitadas genéticamente para producir un tallo por planta, y en cuanto al amacollamiento, Begg y Turner (1976), mencionan que el trigo produce más tallos de los necesarios y que el número de éstos que llegan a producir espigas es mucho menor cuando un déficit hídrico ocurre entre iniciación floral y emergencia de la espiga; a lo anterior, Mitchel (1970) agrega que el número de amacollos algunas veces se relaciona inversamente al número de plantas por hectárea; debido a que al aumentar la población por unidad de superficie, el número de espigas disminuye. Turner (1979) cita a Donald, quien sugiere que el área de transpiración también puede ser reducida por senescencia de la hoja y acortamiento de los tallos.

Arsen (1978), encontró una asociación muy estrecha entre peso seco de la hoja y peso seco de planta con el área foliar, la tensión hídrica causó cambios en el transporte de asimilados de reserva en tallos y raíces hacia el grano, sobre todo cuando la tensión hídrica ocurrió en la etapa de llenado de grano, resultando cambios en el índice de cosecha pero no en el rendimiento. Además, el autor menciona que bajo suplemento adecuado de humedad, solamente una pequeña cantidad del peso seco del grano proviene de dichos órganos. En cuanto a lo anterior, Turner (1979) agrega que la tensión hídrica causa una reducción en el peso total de la planta pero no en el rendimiento, concretando que la capacidad de la planta para fotosintetizar durante un déficit continuo es un importante índice de resistencia a sequía.

## 2.5 Efecto de Varios Niveles de Agua Disponible en el Suelo Sobre el Rendimiento y sus Componentes

Day (1970), estudiando los efectos de la tensión hídrica del suelo en tres etapas de desarrollo del trigo, encontró que el período crítico fue en la etapa de embuche, manifestándose los efectos en una menor altura de planta, y rendimientos bajos, disminución en el peso volumétrico, menor cantidad de espigas por unidad de área y una menor cantidad de granos por espiga. Cuando el efecto de la tensión fue en la etapa de floración y llenado de grano, la reducción en el rendimiento fue explicado por un decremento en el peso de grano; así como un aceleramiento de la madurez fisiológica. El incremento del rendimiento en trigo, resulta del aumento en uno ó más componentes principales del rendimiento: a) número de espigas por unidad de área; b) número de granos por espiga y c) peso de grano (Poehlman, 1981). Adams (1967) propone que dichos componentes son genéticamente independientes y que se desarrollan en un patrón secuencial. Rouchschwalbe y Mathew (1942) y Quisenberry (1928), citados por McNeals (1974)

sugirieron que de los tres componentes principales el menos importante en determinar el rendimiento es el peso de grano y al respecto el autor, corroboró en 1960 lo antes mencionado, al encontrar que espigas por planta y granos por espiga estaban más asociados con el rendimiento; además, en 1970 probando 144 líneas avanzadas observó que espigas por unidad de área fué más correlacionada al rendimiento, en contraste con granos por espiga y peso de grano.

Wong (1979), menciona que hay acuerdos en que los déficit de humedad reducen el rendimiento de grano de maíz en el período antes de floración en un 22% y en fertilización de grano en un 50%, en relación a los períodos vegetativos, floración y llenado de grano, la reducción en el rendimiento es de 25, 50 y 21% respectivamente, agrega que la reducción del rendimiento se encuentra relacionado íntimamente con la reducción en el número de semillas por mazorca, el área foliar y en menor grado, el peso de 100 semillas. Lewis *et al.* (1974), trabajando con sequía en sorgo encontró que un déficit en el período de floración a fertilización, el rendimiento de grano se redujó en un 34% y de fertilización a grano lechoso, un 10%.

Harold (1986), menciona que los efectos de deficiencia de agua sobre el rendimiento, los componentes del rendimiento y la eficiencia del uso de agua del cultivo, no ha sido estudiado extensamente bajo condiciones de agua disponible limitada en las diferentes etapas de crecimiento. Según Tollehar, citado por Harold (1986), grandes tensiones antes de floración pueden causar deficiencias en el desarrollo de la mazorca, mientras que durante la polinización, resulta en una limitación del número de grano o aborción de flores. Las máximas reducciones en el número de granos resulta de tensiones en floración y en épocas tempranas de llenado de grano; en cuanto a lo anterior, Cambell (1968), Escobosa (1983), Sandoval (1983) y Day (1970),



coinciden al afirmar que en trigo, una tensión hídrica durante el crecimiento vegetativo, el rendimiento y sus componentes son menos afectados que durante la polinización o el llenado de grano. Laude (1971), citado por Vázquez (1987) reportó que las plantas muestran una estimulación en el crecimiento después de liberarse de una tensión de humedad moderado; además Gates (1955), citado por Vázquez (1982), encontró en plantas jóvenes de tomate que crecieron en condiciones de tensión pueden crecer mejor después de un período de tensión drástico, que plantas que se mantuvieron con buena humedad. La tasa relativa de crecimiento fué más afectada en planta que no tuvieron un ajuste antes de una tensión de agua severa. Mathews y Boyer (1984), observaron aclimatación en plantas de girasol debido a que la fotosíntesis se reduce a bajos potenciales hídricos, pero a repetidos déficit la reducción de la fotosíntesis decrece. Pandey *et al.* (1984a), estudiando la respuesta de diferentes legumbres a varios gradientes de humedad, encontró que el índice de cosecha decreció linealmente con el incremento del la tensión del suelo para todas las especies probadas, en cuanto a los componentes del rendimiento, el número de frutos por unidad de área fué menos afectado, seguido por el número de semillas por fruto y el menos afectado fué el peso de grano.

## 2.6 Modelos Estimativos del Rendimiento Influenciados por la Relación del Rendimiento y Evapotranspiración, en Diferentes Etapas de Desarrollo del Cultivo

Estudios recientes sobre la predicción de rendimiento por medio de modelos estadísticos donde se relaciona al rendimiento y la transpiración; mencionan que la actividad fotosintética y la transpiración están estrechamente relacionadas (Boyer y McPearsons, 1975, y Jury y Tanner, 1975). El proceso de fotosíntesis es limitado cuando una tensión hídrica ocurre, esto es debido, al cierre estomatal y la reducción de otras actividades en la planta, debido a que el proceso del

transporte de dióxido de carbono para la fotosíntesis esta disponible cuando el agua es evaporada del estoma; así, el rendimiento puede ser razonablemente estimado, relacionándolo con la proporción de transpiración del cultivo entre la transpiración máxima (Hanks y Rasmussen, 1982).

El desarrollo de las técnicas de la relación de la transpiración con el rendimiento fue ampliamente discutido, debido al desacuerdo de investigaciones donde la transpiración era medida sin considerar la evaporación del suelo en condiciones naturales; así, Cloe y Mathews (1923) y Mathews y Bown (1938), citados por Hanks y Rasmussen (1982) indicaron que para trigo y sorgo en La Gran Planicie de U.S.A., el modelo  $Y = a + b ETo$  donde:  $ETo$  = evapotranspiración potencial medida durante el tiempo de estudio, predice el rendimiento significativamente. En 1958 De Wit, citado por Rasmussen y Hanks (1978) y Hanks (1969) propuso la forma  $Y = M/ETo$  donde:  $M$  = es un factor del cultivo, menciona que tal proporción estima mejor al rendimiento, que el modelo antes mencionado.

Tanner y Sint-Clair (1981), citados por Hanks y Rasmussen (1982) mencionan que el modelo de De Wit no es apropiado para regiones húmedas y ellos proponen la relación  $Y/Ym = T/Tm$  donde:  $Ym$  = es el rendimiento máximo, cuando la transpiración no limita el crecimiento (máxima transpiración). La anterior función ha sido apoyada desde el punto de vista que, la proporción de transpiración entre la transpiración máxima es un mejor indicativo de la respuesta interrelacionada de la tasa fotosintética y la transpiración, en contraste con la proporción de la transpiración entre la evapotranspiración máxima o potencial.

Otros modelos estimativos como  $Y/Ym = 1 - B(1 - ET/ETm)$ ; propuesto por Doorenbos y Cassam (1979), citados por Ortiz (1987) y  $Yi/Ym = \prod_{i=1}^n (ETR/ETP)^{\lambda_i}$  propuesto por Jansen 1958,

citado por Ramírez (1988), y Hanks y Rasmussen (1982), han sido utilizados extensamente debido al problema que representa determinar separadamente la transpiración y la evaporación del suelo durante un cultivo, cuando la evapotranspiración es medida como un proceso en el campo y puede ser suficiente para estimar directamente al rendimiento. Para la estimación de evapotranspiración Blaine y Norman (1976), Verman (1976) y Al-Khafaf et al. (1978) dan información al respecto. Los dos modelos anteriormente mencionados, son utilizados para la estimación del rendimiento en función de la evapotranspiración como un valor relativo para diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

La utilización de modelos estimativos del rendimiento se ha generalizado y han sido verificados con diferentes especies bajo cultivo donde: sorgo, maíz, soya y trigo han sido sujeto de estudio; los cuales concluyen en la buena aproximación o una variación muy baja entre el rendimiento real y el estimado (Rasmussen y Hanks, 1978; Hill et al., 1979; Hanks, 1974 y Kenemasu et al., 1976). En la aplicación de los modelos anteriores, se asume un efecto multiplicativo de la influencia de la transpiración o evapotranspiración, basada en los efectos de la tensión hídrica en etapas de desarrollo posteriores; esto es, la influencia inherente de una tensión sobre el área foliar y demás procesos internos que dependen de ésta (Hanks y Rasmussen, 1982). Mayer y Green (1980) mencionan que el tiempo en el cual la evapotranspiración comienza a declinar, es el resultado de una tensión hídrica, Arlin et al. (1986), agrega que un bajo valor de evapotranspiración, puede resultar de una errática precipitación. Seetharama et al. (1983) menciona que la sensibilidad a la sequía ó un efecto de tensión hídrica, varía considerablemente entre etapas de desarrollo del cultivo, resistencia en una etapa -e.g. estado de plántula- no necesariamente se correlaciona con resistencia en otras etapas.

Fareyhermy y Paulsen (1986), utilizando modelos estimativos del rendimiento encontraron que baja evapotranspiración y altas temperaturas durante el período de estado de plántula, inducen una reducción en el rendimiento debido a una pobre germinación y a la falla de plantas que no lograron sobrevivir, resultados similares fueron encontrados por Buleigh (1965), citado por el autor. El efecto de una tensión hídrica en el período de embuchamiento a hoja bandera, restringe el desarrollo foliar e induce una senescencia prematura de las hojas y una reducción en el número de granos (Arlin et al., 1986).

## 2.7 Trabajos de Investigación Sobre Métodos y Densidad en Trigo

El hombre a través de la historia ha sembrado trigo siguiendo el método tradicional al voleo y recientemente con sembradoras formando hileras a 17.5 cm de separación. Actualmente, se ha evaluado el método de siembra en surcos y se ha demostrado un ahorro significativo en la cantidad de semilla por Hectárea (Moreno et al., 1982). En el período de 74-75 Moreno, encontró que con tan solo 70 k/ha de semilla, sembrandola en surcos separados a 75 cm se lograron rendimientos comparables a la utilización de 140 k/ha de semilla, con el método al voleo. Durón (1980), menciona que el método de siembra en surcos a 90 cm en doble hilera, obtuvo los más altos rendimientos con las densidades 50 y 150 k/ha, y a la densidad de 60 k/ha rindió un 10% menos con el mismo método de siembra. Guihuis (1981) en la región de Caborca, encontró que el método de siembra a doble hilera y con la densidad de 90 k/ha de semilla, se obtuvieron rendimientos hasta de 6 ton/ha.

Moreno y Castro (1981), indican que el número de riegos no producen diferencias en el rendimiento al sembrarse en

surcos, que es más importante la época de aplicación, recomendando; dos riegos de auxilio, (después del de germinación); el primer riego de auxilio, en la época de espigamiento y el segundo riego, antes de la cosecha (30-40 días), estos resultados fueron observados utilizando una densidad de 45 k/ha de semilla. Cambell (1968), menciona que el mayor rendimiento de grano lo obtuvo al aplicar condiciones de sequía durante la etapa vegetativa y riegos oportunos en la etapa de floración y maduración de grano.

En la región Centro de Nuevo León, Adams y Alvarez (1985), observaron en trigo (riego y temporal), que los rendimientos fueron muy similares con los métodos de siembra en surcos separados a 80 cm (doble hilera a 15 cm), con densidad de 70 kg/ha de semilla, que con los métodos al voleo e hileras (17.5 cm), con densidades de 120 y 100 k/ha, respectivamente.

## 2.7 Fenología del Cultivo de Trigo

Numerosos trabajos sobre trigos de comportamiento intermedio o de primavera, muestran un ciclo vegetativo más o menos definido, la mayoría de éstas variedades completan su ciclo entre los 130-140 días después de la siembra. Eastham *et al.* (1984), trabajando con tratamientos de humedad adecuada y déficit de humedad en el ciclo vegetativo, el período de elongación a embuchamiento (crecimiento de espiga y lámina foliar), se dió entre 70 y 82 días después de la siembra; la floración o término de crecimiento laminar, entre los 85 y 95 días; crecimiento y llenado de grano entre 95 y 115 días después de la siembra. De ésta manera, en términos generales el ciclo fenológico del cultivo de trigo de ciclo intermedio, es en la forma siguiente:

| <u>Etapa fenológica</u>      | <u>período (días)</u> | <u>días acumulados</u> |
|------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1 siembra-emergencia         | 10                    | 10                     |
| 2 emergencia-amacollamiento  | 12                    | 22                     |
| 3 amacollamiento-dif. floral | 20                    | 42                     |
| 4 dif. floral-elongación     | 20                    | 62                     |
| 5 elongación-embuche         | 15                    | 87                     |
| 6 embuche-floración          | 8                     | 95                     |
| 7 floración-grano lechoso    | 15                    | 110                    |
| 8 grano lechoso-grano masoso | 15                    | 115                    |
| 9 grano masoso-madurez       | 23                    | 138                    |

Klages (1942), menciona que para trigo de primavera la clasificación de la fenología ha sido adoptada con pocas modificaciones por parte de Schmidt, y describe 5 etapas de desarrollo:

- a) germinación y emergencia
- b) amacollamiento
- c) crecimiento o elongación
- d) floración
- e) madurez

Cada una de las anteriores etapas pueden ser subdivididas por la naturaleza de la investigación que lo demande. Así, en la etapa de germinación pueden ser consideradas varias fases, tales como: período inicial, que comprende el estado de imbibición de agua, el período de cambios químicos rápidos en el embrión y en el endosperma, la ruptura de la cubierta de la semilla, la aparición de la plúmula, raíces primarias y finalmente la emergencia. La fase vegetativa temprana puede ser definida primero por el número de hojas formadas y posteriormente por el número de tallos o amacollos producidos. La etapa de crecimiento, es caracterizada por un rápido incremento en la altura, peso de la planta y por la emergencia de la espiga. La fase de floración, es importante desde el

punto de vista del tiempo cuando ocurre la fertilización, tomando en cuenta si ocurre antes o después de la época de embuchamiento. En el caso de plantas de cebada, se lleva a cabo antes de la emergencia de la espiga, en arroz y trigo, después de que ha emergido. La etapa final, puede ser subdividida en grano lechoso, grano masoso y madurez o grano duro. Las primeras etapas son referidas como fase vegetativa, mientras que la fase después de floración, es frecuentemente definida como fases sexuales de desarrollo. El intervalo de tiempo de las diferentes etapas es sujeto de amplias variaciones, ellas son influenciadas no solo por las características inherentes de la planta; sino además, por una gran variedad de relaciones climáticas y nutricionales, entre otras.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización y Características Agroclimáticas del Sitio Experimental

El experimento se estableció en el ciclo de invierno 1987-1988 en terrenos de la Estación Agrícola Experimental de la FAUANL, localizada en la carretera Zuazua-Marín, km 17.5 con ubicación geográfica 25° 25' L. N. y 100° 03' L.W, con una altitud de 367 msnm. La relación entre el contenido de humedad del suelo y la tensión (bars) a la que se encuentra el agua retenida a las partículas del suelo, se observan en la (Figura 1A).

El clima de la región, clasificación según Köppen, modificada por García (1964) es:  $BS_1(h')hx'(e')$  donde:

$BS_1$  = Clima seco árido con regímenes de lluvia en verano, siendo el más seco de los BS.

$(h')$ h = Temperatura anual sobre 22°C y bajo de los 18°C en el mes más frío.

$x'$  = El régimen de lluvias se presenta como intermedio entre verano e invierno con un porcentaje de lluvia mayor del 18%.

$(e')$  = Muy extremoso y oscilación anual de temperatura media mensual mayor de 14°C.

La precipitación promedio anual es de 540 mm y con un récord de 715 mm, en 1986 dentro del período de 1976 a 1986.

#### 3.2. Labores de Preparación del Suelo, Método de Siembra y Material Genético



Antes de la siembra, la primera labor de preparación fué un rastreo en el mes de octubre con fin de incorporar los residuos del cultivo anterior (maíz), en noviembre se barbechó, rastreo y se construyeron surcos separados a 85 cm, posteriormente se delimitó el área del experimento. La siembra fué en seco (26 de noviembre), depositando manualmente la semilla en hileras dobles separadas a 17.5 cm, en la construcción de las hileras se utilizaron rejas angostas de 3 cm y el cubrimiento de la semilla se realizó mediante un paso de rejas de vertedera.

El riego de establecimiento se efectuó el 27 de noviembre de 1987, con una lámina de 10 cm de agua para el total de tratamientos. La densidad de siembra fué de 70 k/ha de semilla, calculada para una densidad de población de 130 plantas por metro lineal, (distribuidas en dos hileras). El material genético utilizado fue la variedad Pavón-F76, la cual es utilizada comunmente por los agricultores de la región.

### 3.3 Medición, Cálculo y Aplicación de Láminas de Riego

Las láminas de riego, que involucraron los tratamientos fueron calculadas a partir de previas mediciones de las constantes de humedad del suelo, Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente. De esta manera, el agua disponible del suelo considerada como el 100%, es la comprendida entre las constantes antes mencionadas. Para la determinación de dichas constantes se utilizaron las ollas y membrana de presión a 1/3 y 15 bares, respectivamente.

El volúmen de agua aplicado, fué calculado a partir del producto del contenido volumétrico, profundidad de perfil del suelo y el área de la unidad experimental. El tiempo de aplicación de los riegos fue muestreando la humedad del suelo por estratos, utilizando el método gravimétrico y tomando el

promedio de las cuatro repeticiones para cada tratamiento, en el Cuadro 1 aparece la cantidad de agua aplicada más la precipitación ocurrida durante el ciclo del cultivo. En los Cuadro 2 y 3, se muestran las láminas de riego y los días acumulados de la frecuencia de los mismos (a partir del primer riego), para los 10 tratamientos. La aplicación de los riegos distribuidos en el tiempo y su relación con el contenido volumétrico, se observan en la Figuras 1 y 2.

El contenido de humedad para las etapas vegetativa y reproductiva fue muestreado en los estratos del suelo 0-30 y 30-60 cm, respectivamente, debido a que en las primeras etapas de crecimiento, la mayor densidad radicular se encuentra mayormente distribuida en estratos superficiales, sobre todo cuando el suelo posee adecuada humedad y en la etapa reproductiva la longitud de las raíces es mayor (Fererest y Castiel, citados por Hall, 1979; Proffitt et al., 1985; Doss et al., 1960 y Newman, 1974).

### 3.4 Selección de Tratamientos

El ciclo del cultivo fue dividido en dos etapas de crecimiento, vegetativo y reproductivo; la primera, comprende desde la germinación hasta la época de floración y la segunda, de floración a madurez fisiológica. Los tratamientos del experimento, consistieron en la aplicación del riego, para la primera etapa al 0, 15, 30 y 45% y para la segunda al 15, 30, 45 y 60% de abatimiento del agua disponible del suelo, respectivamente. Los tratamientos para la primera etapa fueron más bajos acorde a la literatura, donde se menciona que la planta de trigo en la etapa de embuchamiento a floración, es más susceptible a déficit hídricos del suelo y que en la etapa vegetativa, logra soportar tensiones no muy severas (Wong, 1979; Lewis et al., 1979; Cambell, 1968 y Day, 1970), entre otros.

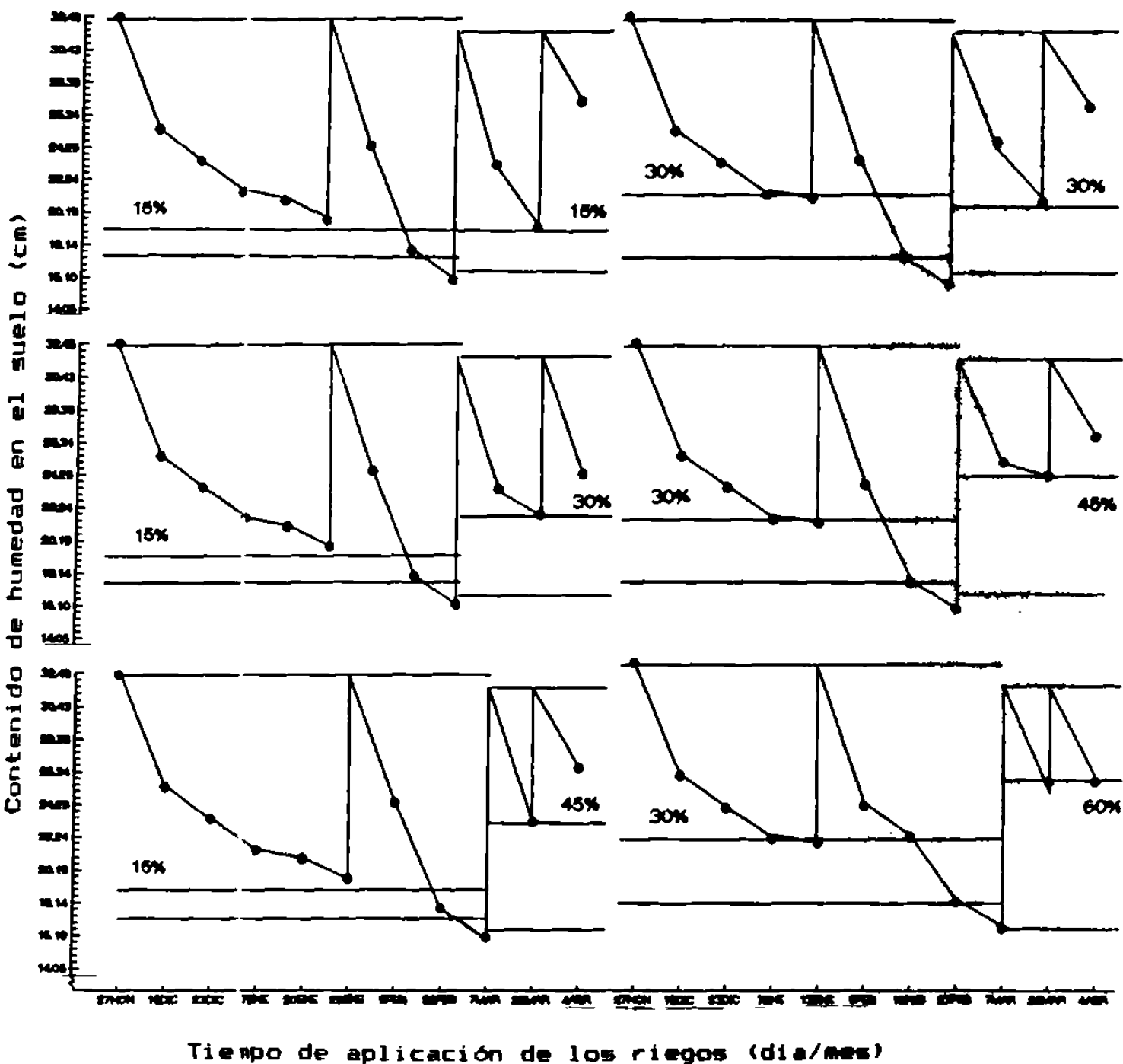


FIGURA I. Relación de la fecha de aplicación de los riegos de auxilio (días/mes) y el contenido de humedad en el suelo (cm) (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

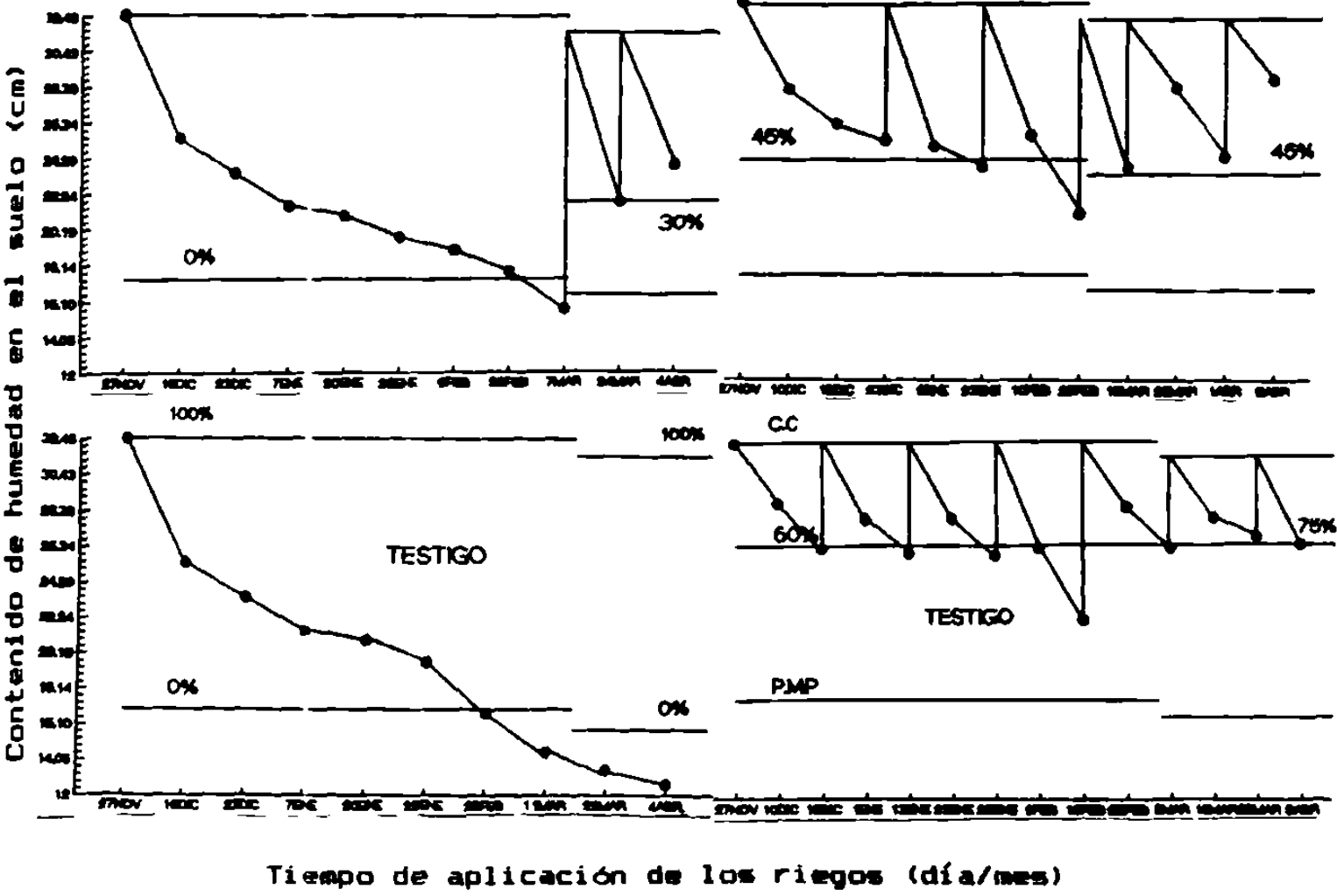
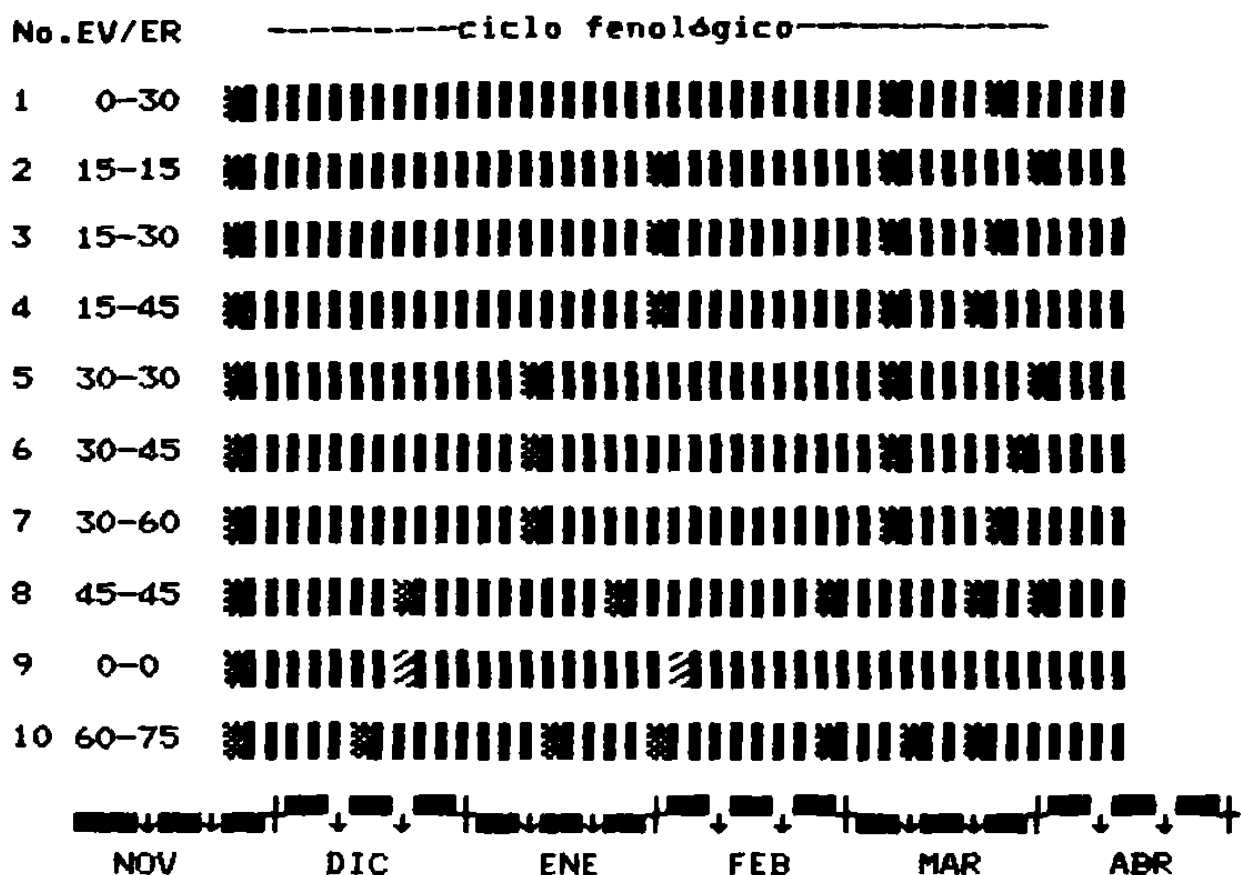


FIGURA 1. Continua.....



≡ = momento del riego                                  ■ = decenas del mes  
 ≡ = precipitación ocurrida                              1 al 10 = tratamientos.  
 (> 5mm) indicada solo  
 en el tratamiento 0-0%

FIGURA 2. Gráfica de fechas de riego para las distintas combinaciones de agua disponible del suelo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

CUADRO 1. Lámina de riego aplicada y precipitación ocurrida a través del ciclo fenológico del cultivo (Marín, N.L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No. | trat.‡ | lámina de riego |          |               |       |
|-----|--------|-----------------|----------|---------------|-------|
|     |        | EV/ER           | aplicada | precipitación | total |
|     |        |                 |          | cm            |       |
| 1   | 0-30   |                 | 23.18    | 6.21          | 29.39 |
| 2   | 15-15  |                 | 34.19    | 6.21          | 40.40 |
| 3   | 15-30  |                 | 31.57    | 6.21          | 37.78 |
| 4   | 15-45  |                 | 28.83    | 6.21          | 35.04 |
| 5   | 30-30  |                 | 30.07    | 6.21          | 36.23 |
| 6   | 30-45  |                 | 27.33    | 6.21          | 33.54 |
| 7   | 30-60  |                 | 24.45    | 6.21          | 30.66 |
| 8   | 45-45  |                 | 36.64    | 6.21          | 42.85 |
| 9   | 0-0    |                 | 10.00    | 6.21          | 16.21 |
| 10  | 60-75  |                 | 30.31    | 6.21          | 36.52 |

‡ humedad disponible en el suelo (%) para las etapas vegetativa (EV) y reproductiva (ER).

En la selección de los tratamientos, las etapas de crecimiento vegetativo y reproductivo fueron consideradas como factores y los niveles los porcentajes de agua disponible del suelo, utilizándose para la selección la matriz Plan Puebla I para dos factores, con el fin de interpretar los efectos de tratamientos como una superficie de respuesta (Figura 3).

A partir de la matriz utilizada, se obtuvieron ocho tratamientos y se incluyeron dos tratamientos testigo con niveles mínimos y máximos para ambas etapas de crecimiento 0-60 y 0-75% de agua disponible respectivamente, y la combinación de ambas etapas se muestran en el Cuadro 4.

### 3.5 Diseño del Experimento

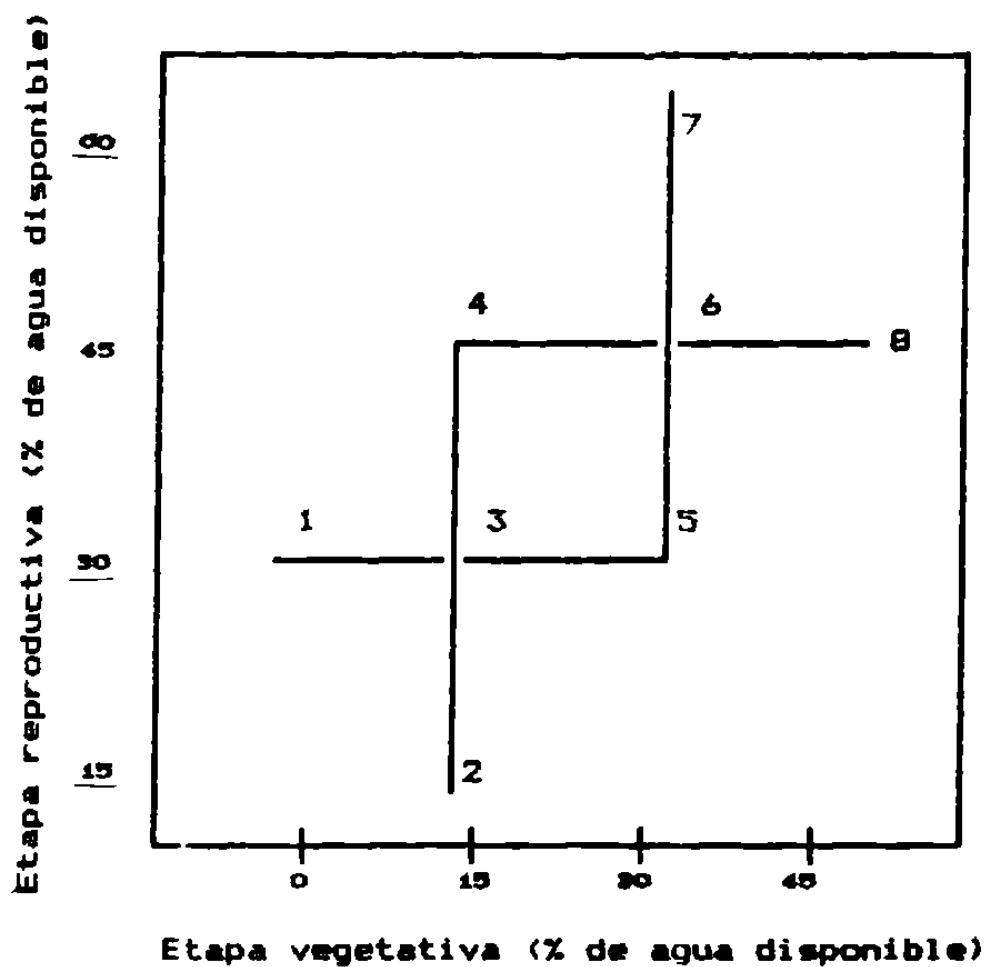


FIGURA 3. Combinación de los niveles de agua disponible en el suelo (%), seleccionados de la Matriz Plan Puebla I para dos factores, (etapa vegetativa y reproductiva) (Marín, N. L.; ciclo Invierno 1987-1988)

CUADRO 2. Frecuencia de riegos y días acumulados de los tratamientos del experimento (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No. Trat. | EV/ER | número de riegos |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           |       | 1                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
|           |       | -----días-----   |     |     |     |     |     |     |
| 1         | 0-30  | 0                | 101 | 119 |     |     |     |     |
| 2         | 15-15 | 0                | 62  | 101 | 124 |     |     |     |
| 3         | 15-30 | 0                | 62  | 101 | 119 |     |     |     |
| 4         | 15-45 | 0                | 62  | 101 | 116 |     |     |     |
| 5         | 30-30 | 0                | 47  | 101 | 124 |     |     |     |
| 6         | 30-45 | 0                | 47  | 101 | 119 |     |     |     |
| 7         | 30-60 | 0                | 47  | 101 | 116 |     |     |     |
| 8         | 45-45 | 0                | 26  | 57  | 93  | 109 | 124 |     |
| 9         | 0-0   | 0                | --  | --  | --  | --  | --  |     |
| 10        | 60-75 | 0                | 20  | 51  | 66  | 92  | 103 | 116 |

CUADRO 3. Lámina de riego por tratamiento del presente experimento (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No. trat. | EV/ER | láminas de riego |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-------|------------------|------|------|------|------|------|------|
|           |       | 1                | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|           |       | -----cm-----     |      |      |      |      |      |      |
| 1         | 0-30  | 10               | 6.59 | 6.59 | -    |      |      |      |
| 2         | 15-15 | 10               | 8.39 | 7.90 | 7.90 |      |      |      |
| 3         | 15-30 | 10               | 8.39 | 6.59 | 6.59 |      |      |      |
| 4         | 15-45 | 10               | 8.39 | 5.22 | 5.22 |      |      |      |
| 5         | 30-30 | 10               | 6.89 | 6.59 | 6.59 |      |      |      |
| 6         | 30-45 | 10               | 6.89 | 5.22 | 5.22 |      |      |      |
| 7         | 30-60 | 10               | 6.89 | 3.78 | 3.78 |      |      |      |
| 8         | 45-45 | 10               | 5.49 | 5.49 | 5.22 | 5.22 | 5.22 |      |
| 9         | 0-0   | 10               | -    | -    | -    | -    | -    |      |
| 10        | 60-75 | 10               | 4.39 | 4.39 | 4.39 | 2.38 | 2.38 | 2.38 |



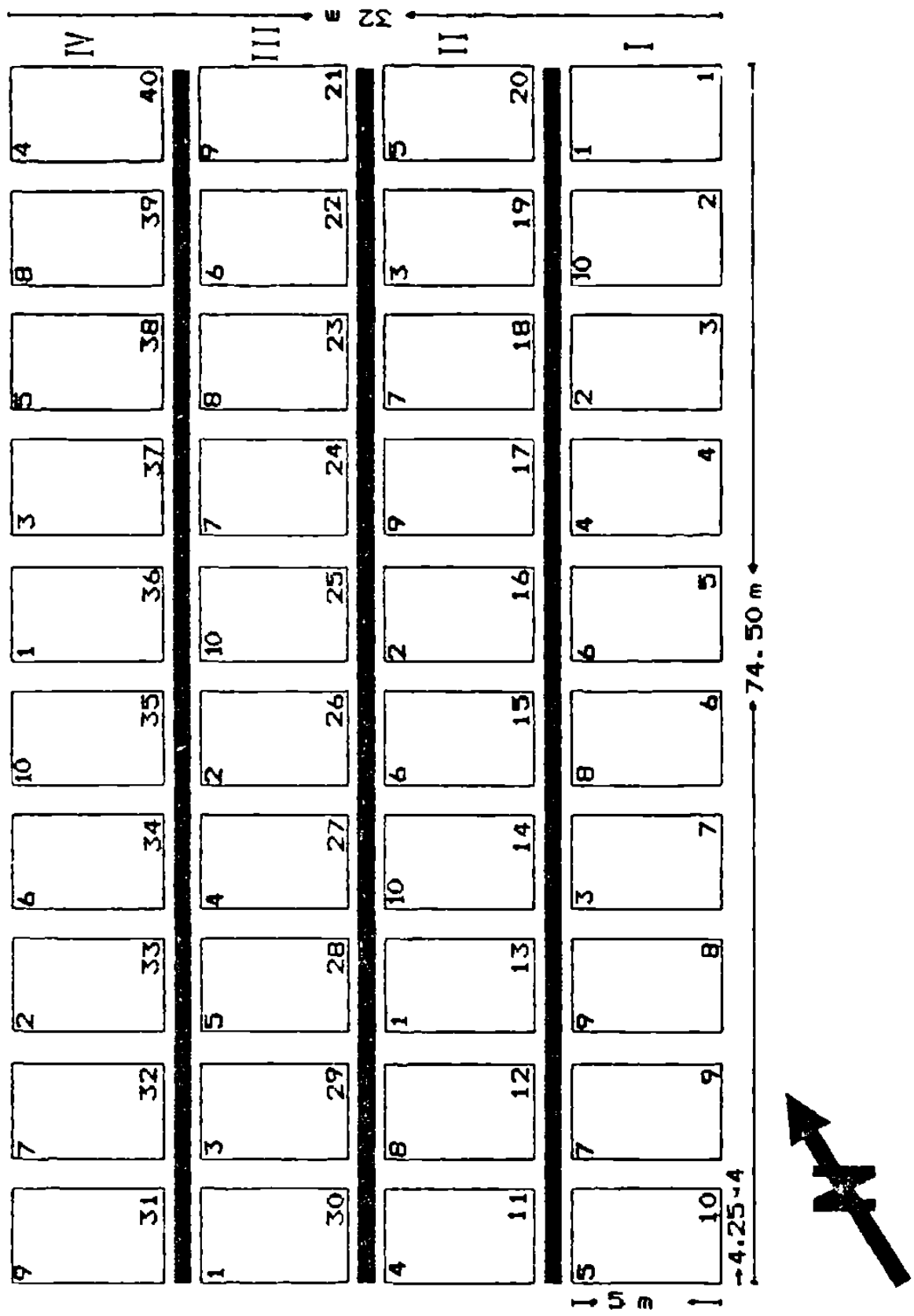
CUADRO 4. Tratamientos seleccionados de la Matriz Plan Puebla I y tratamientos adicionales (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No.  | trat.<br>EV/ER | antes de floración | después de floración |
|--|----------------|--------------------|----------------------|
|  |                | etapa vegetativa   | etapa reproductiva   |
| -----% de agua disponible en el suelo----- |                |                    |                      |
| 1  | 0-30           | 0                  | 30                   |
| 2  | 15-15          | 15                 | 15                   |
| 3  | 15-30          | 15                 | 30                   |
| 4  | 15-45          | 15                 | 45                   |
| 5  | 30-30          | 30                 | 30                   |
| 6  | 30-45          | 30                 | 45                   |
| 7  | 30-60          | 30                 | 60                   |
| 8  | 45-45          | 45                 | 45                   |
| 9  | 0-0            | 0                  | 0                    |
| 10   | 60-75          | 60                 | 75                   |

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones, como parcela experimental se sembraron cinco surcos espaciados a 85 cm (en doble hilera separadas a 17.5 cm), teniendo un área de 25.25 m<sup>2</sup>. Como parcela útil, se cosecharon dos surcos de 2.95 m resultando un área de 5.00 m<sup>2</sup>, la distribución de los tratamientos en el campo se muestra en la Figura 4.

### 3.6 Características Agronómicas

- a) Rendimiento de grano (k/ha). El 15 de abril fué cosechado el ensayo y el proceso posterior fué: trilla, limpia de semilla, ajuste de humedad al 12% e inmediatamente pesado en balanza granataria para posteriormente hacer la conversión a k/ha.



F U A 4. Distribución de los tratamientos en el campo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

- b) Peso de 100 granos (g). Se contó y pesaron 100 granos en balanza granataria, de los 10 tratamientos en las cuatro repeticiones.
- c) Espigas por planta (núm). Se muestreo  $1\text{m}^2$  de parcela, se contó el número de espigas y se dividió entre la constante 130 plantas, que fué previamente determinada mediante muestreos.
- d) Granos por espiga (n). Se determinó mediante la relación peso de espiga entre peso de grano.
- e) Granos por planta (n). Se determinó por el producto de las variables espigas por planta y granos por espiga.
- f) Peso hectolítrico (g). Se utilizó un cilindro de volúmen conocido y posteriormente el peso se ajustó a  $100\text{ cm}^3$ .
- g) Uso eficiente del agua (UEA) (k/cm). Fué calculado a partir de la relación (kilogramos de grano/ha)/ (cm de agua/ha aplicada, más la precipitación).
- h) Índice de cosecha (%). Se determinó como la relación peso de grano entre materia seca, de una muestra de  $1\text{m}^2$ .
- i) Longitud de espiga (cm). Se tomó el promedio de cuatro plantas por tratamiento de las cuatro repeticiones.
- j) Días a floración (días). Se tomó a partir del primer riego de establecimiento, hasta el momento del 50% de antésis.

k) Días a madurez fisiológica (días). Cuantificada a partir del primer riego de establecimiento hasta que el grano mostró más del 50% de coloración dorada.

l) Días de llenado de grano (días). Se determinó como el período comprendido entre la fecha de floración y madurez fisiológica.

### 3.7 Características Morfológicas

m) Índice de área foliar ( $\text{cm}^2/\text{cm}^2$ ). Se utilizó la relación área foliar total estimada por planta entre la unidad de superficie que ocupa el dosel de la misma.

ma) Área foliar total estimada ( $\text{cm}^2$ ). En el primer muestreo se midió mediante el aparato determinador, para los muestreos segundo y tercero, se estimó al relacionarla con las variables altura de planta, número de tallos, número de hojas y área foliar de la hoja bandera. El análisis de regresión lineal múltiple por el método Stepwise y el modelo seleccionado fué:  $Y = -104.547 + 16.037 (\text{número de hojas}) + 4.011 (\text{área foliar de la hoja bandera})$  con una  $r^2 = 0.83$ .

n) Altura de planta (cm). fué tomada del tallo principal a partir de la superficie del suelo, hasta el ápice de la hoja superior, en tres muestreos; 18 de febrero, 3 de marzo y 18 de marzo, promediando cuatro plantas.

o) Número de hojas por planta (n). Se contó el número de hojas de cuatro plantas por tratamiento de las cuatro repeticiones.

p) Número de tallos por planta (n). Se contó el número de tallos de cuatro plantas por tratamiento de las cuatro repeticiones.

k) Area foliar de la hoja bandera ( $\text{cm}^2$ ). Para su determinación en el primer muestro (18 de febrero), se utilizó el determinador de área foliar tomándose cuatro plantas por tratamiento. Para los muestreos segundo y tercero, se utilizó la relación:  $AF = K \cdot L \cdot A$ , donde:  $K=0.73$ , previamente determinado con el aparato de área foliar;  $L =$  Largo y  $A =$  ancho de la hoja (Rosenthal et al., 1977).

r) Peso de materia seca (g). La muestra fué de cuatro plantas por tratamiento y se sometieron a secado a  $105^\circ\text{C}$  hasta peso constante. Las fechas de muestreo fueron cinco (18 de febrero; 3 y 18 de marzo; 2 y 17 de abril).

s) Evapotranspiración real (ETR) (cm). Para su determinación se utilizó la fórmula:

$$ETR = I + R + A_s + D_r$$

donde:

$I =$  lámina de riego aplicada (cm)

$R =$  precipitación ocurrida (cm)

$A_s =$  diferencia de abatimiento de humedad en la zona radicular en las etapas vegetativa (estrato 0-30) y reproductiva (estrato 0-60).

$D_r =$  agua drenada, la cual, se asume como cero para áreas de escasa precipitación.

t) Evapotranspiración potencial (ETP) (cm). Fué estimado a partir del método de Thornthwaite según Solorio (1987) utilizando la fórmula:

$$ETP = 1.6(10 \cdot T/I)^a$$

donde:

ETP = evapotranspiración potencial diaria.

T = temperatura media del aire en °C

I = Índice de calor, que es:  $= \sum_{i=1}^{30} i_j$ , además:

$i = (T/S)(1.514)$ .

$a = 0.000\ 000\ 6751^3 - 0.000\ 7711^2 + 0.017\ 921 + 0.492390$ .

El valor de ETP fué corregido por el factor latitud; así,  $ETP = ETP * F$ .

El proceso de los datos de las variables ETR y ETP, se llevó acabo mediante el programa 123 Lotus en microcomputadora BPM-PC a cargo del Colegio de Postgraduados de la FAUANL.

### 3.8 Análisis de la Información

El modelo estadístico lineal para bloques al azar fué:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

donde:

$$\tau_i = 1, 2, \dots, 10$$

$$\beta_j = 1, 2, 3 \text{ y } 4$$

$$\epsilon_{ij} = \text{error aleatorio.}$$

Las hipótesis a probar fueron:

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_{10} = 0$$

$$H_1 : \tau_i \text{ dif. para al menos una } i.$$

### Modelo de Primer Orden

El rendimiento de grano descrito en función de las variables agronómicas y morfológicas fué sujeto de análisis utilizando el modelo de regresión lineal múltiple:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon_i$$

Las variables fueron previamente seleccionadas mediante un análisis de correlación, donde solo entraron al modelo aquellas mayores de una  $r=0.5$ . La información se procesó en el Centro de Informática de la FAUANL.

#### Modelo de Segundo Orden

Los efectos polinomiales de los tratamientos fueron determinados mediante la metodología de superficie de respuesta cuyo modelo estadístico fué:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \epsilon_i.$$

De esta manera el rendimiento está en función de los niveles de agua disponible del suelo para ambas etapas, antes de floración (vegetativa) y después de floración (reproductiva).

donde :

$y$  = valor de predicción (rendimiento en k/ha).

$x_1$  = nivel de A.D.% en la etapa vegetativa.

$x_2$  = nivel de A.D.% en la etapa reproductiva.

$x_1^2$  = efectos cuadrados de A.D.% en etapa vegetativa.

$x_2^2$  = efectos cuadrados de A.D.% en etapa reproductiva.

$x_1 x_2$  = interacción entre ambos niveles.

$\beta_s$  = son los coeficientes ó parámetros desconocidos.

Para el ajuste de las curvas logísticas de crecimiento en base a materia seca para cada uno de los tratamientos, se utilizaron las funciones:

$$a) \gamma_i = \frac{K}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 \chi_i}}$$

La forma linealizada de la curva es la siguiente:

$$b) \ln \left[ \frac{K}{\gamma_i} - 1 \right] = \beta_0 + \beta_1 \chi_i$$

donde:

$\chi_i$  = Materia seca por planta.

$K$  = Constante del punto máximo de la curva.

Para la predicción de déficit hídricos en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, se utilizó el modelo estimativo propuesto por Jensen 1958, citado por Ramírez (1988).

$$\frac{\gamma_i}{\gamma_m} = \prod_{i=1}^n \left[ \frac{ETR}{ETP} \right]_i^{\lambda_i}$$

donde:

$\gamma_i$  = rendimiento actual del cultivo.

$\gamma_m$  = rendimiento potencial cuando no se presentan deficiencias hídricas.

$\prod$  = efecto multiplicativo.

$\left[ \frac{ETR}{ETP} \right]_i$  = valor relativo de evapotranspiración

$\lambda_i$  = factor de sensibilidad del cultivo

$i = 1, 2, \dots, 6$  etapas de crecimiento.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Efecto de los Diferentes Niveles de Agua Disponible en el Suelo Sobre las Características Agronómicas y Morfológicas

#### a) Rendimiento de Grano

Los resultados del análisis de varianza para la variable rendimiento de grano (Cuadro 1A), indican que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos; puede observarse en este mismo cuadro que el coeficiente de variación fué de 9.50% (Cuadro 5). Se realizó la comparación de promedios mediante la prueba de Duncan, al nivel de significancia de 5%; los resultados de esta prueba indican que el tratamiento de más alto rendimiento (3 211 k/ha) se obtuvo al aplicar el riego cuando había 45% de humedad disponible en el suelo en las etapas vegetativa y reproductiva. El tratamiento que le siguió en rendimiento (3 042 k/ha) fué el de 60-75% de agua disponible respectivamente para ambas etapas vegetativa y reproductiva; este tratamiento fué estadísticamente igual al anterior (45-45% de agua disponible). Un segundo grupo de significancia fué formado por los tratamientos 15-15, 15-45, 30-45 y 30-60% de agua disponible, con rendimientos respectivos de 2 772, 2 752, 2 720 y 2 715 k/ha.

El tratamiento de menor rendimiento de grano (1 995 k/ha) fué uno de los testigo (0-0), el cual consistió en suprimir los riegos después del de establecimiento; en relación al tratamiento de mayor rendimiento (45-45%), produjo 38% menos grano. Otro de los tratamientos de bajo rendimiento fué 0-30% (2 467 k/ha), que consistió en regar en la etapa reproductiva, su rendimiento fué un 23% menos con respecto al mejor tratamiento. Los resultados obtenidos se deben a la cantidad y

CUADRO 5. Comparación de medias del rendimiento de grano (k/ha) y componentes del rendimiento de los diez tratamientos (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No. Tratamiento <sup>1</sup><br>EV/ER | rendimiento<br>de grano | componentes principales del rendimiento |   |                                  |                                 |                                |                            |
|---------------------------------------|-------------------------|---|---|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                                       |                         | ---k/ha---                              | ---g---<br>peso de<br>100 gns<br>por planta | ---n---<br>espigas<br>por planta | ---n---<br>granos<br>por espiga | ---n---<br>granos<br>por plta. | ---g---<br>peso<br>hectol. |
| 1                                     | 0-30                    | 2 467c                                  | 4.1a  | 1.9bc                            | 29.5                            | 56.3b                          | 81.8                       |
| 2                                     | 15-15                   | 2 772bc                                 | 3.5b  | 1.9bc                            | 33.6                            | 62.6ab                         | 82.7                       |
| 3                                     | 15-30                   | 2 425c                                  | 3.4b  | 2.0abc                           | 32.8                            | 67.4ab                         | 80.5                       |
| 4                                     | 15-45                   | 2 752bc                                 | 3.8ab                                       | 1.8bc                            | 32.6                            | 59.4ab                         | 81.5                       |
| 5                                     | 30-30                   | 2 543c                                  | 3.4b  | 2.2ab                            | 30.0                            | 64.7ab                         | 79.8                       |
| 6                                     | 30-45                   | 2 720bc                                 | 3.5b  | 1.9bc                            | 36.9                            | 70.1ab                         | 82.0                       |
| 7                                     | 30-60                   | 2 715bc                                 | 3.8ab                                       | 2.1abc                           | 32.0                            | 66.0ab                         | 81.6                       |
| 8                                     | 45-45                   | 3 211a                                  | 3.7ab                                       | 2.1abc                           | 34.7                            | 73.8a                          | 81.8                       |
| 9                                     | 0-0                     | 1 995d                                  | 2.9c  | 1.7c                             | 34.0                            | 58.9ab                         | 78.7                       |
| 10                                    | 60-75                   | 3 042ab                                 | 3.3b  | 2.3a                             | 32.6                            | 74.5a                          | 80.9                       |
| Significancia                         |                         | **                                      | **  | *                                | n. s.                           | *                              | n. s.                      |
| c.v (%)                               |                         | 9.50                                    | 23.74                                       | 11.55                            | 12.42                           | 15.34                          | 2.08                       |

<sup>1</sup> Humedad disponible (%) en la etapa vegetativa (EV) y en la etapa reproductiva (ER)

frecuencia de los riegos aplicados; así, al tratamiento 45-45% que resultó con el más alto rendimiento se le aplicó una lámina total de agua de 42.85 cm distribuida en cinco riegos, más el de presiembrá (Cuadros 1, 2, 3 y Figuras 2 y 3). El tratamiento 60-75% consistió en la aplicación de una lámina total de 36.52 cm, repartida en siete riegos con láminas de 4.37 y 2.38 cm, respectivamente en las etapas vegetativa y reproductiva (Cuadro 3).

En algunos tratamientos se observó que el tiempo de aplicación fué más importante que la cantidad de agua (lámina total); por ejemplo, el tratamiento 15-15% recibió 9.6% más de agua que la combinación 60-75%; sin embargo, a dicho tratamiento se aplicó el riego a los 62 días después de la siembra, lo que explica la reducción del rendimiento comparado con los tratamientos 45-45% y 60-75% (13.67 y 8.88%), respectivamente; además del comportamiento antes mencionado, es importante la cantidad de agua aplicada, ya que los tratamientos de mayor rendimiento fueron los de más agua aplicada (Figura 5). El tratamiento testigo (0-0) que rindió menos que todos los tratamientos (38% menos que el mejor tratamiento), se le aplicó tan solo el riego de establecimiento es decir, 10 cm (más 6.21 cm recibidos a través de la precipitación).

Con el tratamiento 0-30%, que recibió dos riego en la etapa reproductiva, el rendimiento aumentó 472 k/ha, comparado con la combinación 0-0% de humedad disponible. Estos resultados están de acuerdo con lo observado por León (1982) quien encontró en trigo sembrado en surcos, que se obtienen niveles adecuados de producción con la aplicación de dos riegos de auxilio; el primero, en la época de embuchamiento y el segundo, en la etapa de espigamiento. También coinciden dichos resultados con las recomendaciones de Moreno y Castro (1981), quienes resaltan, la mayor importancia de la época de aplicación, en relación al número de riegos.

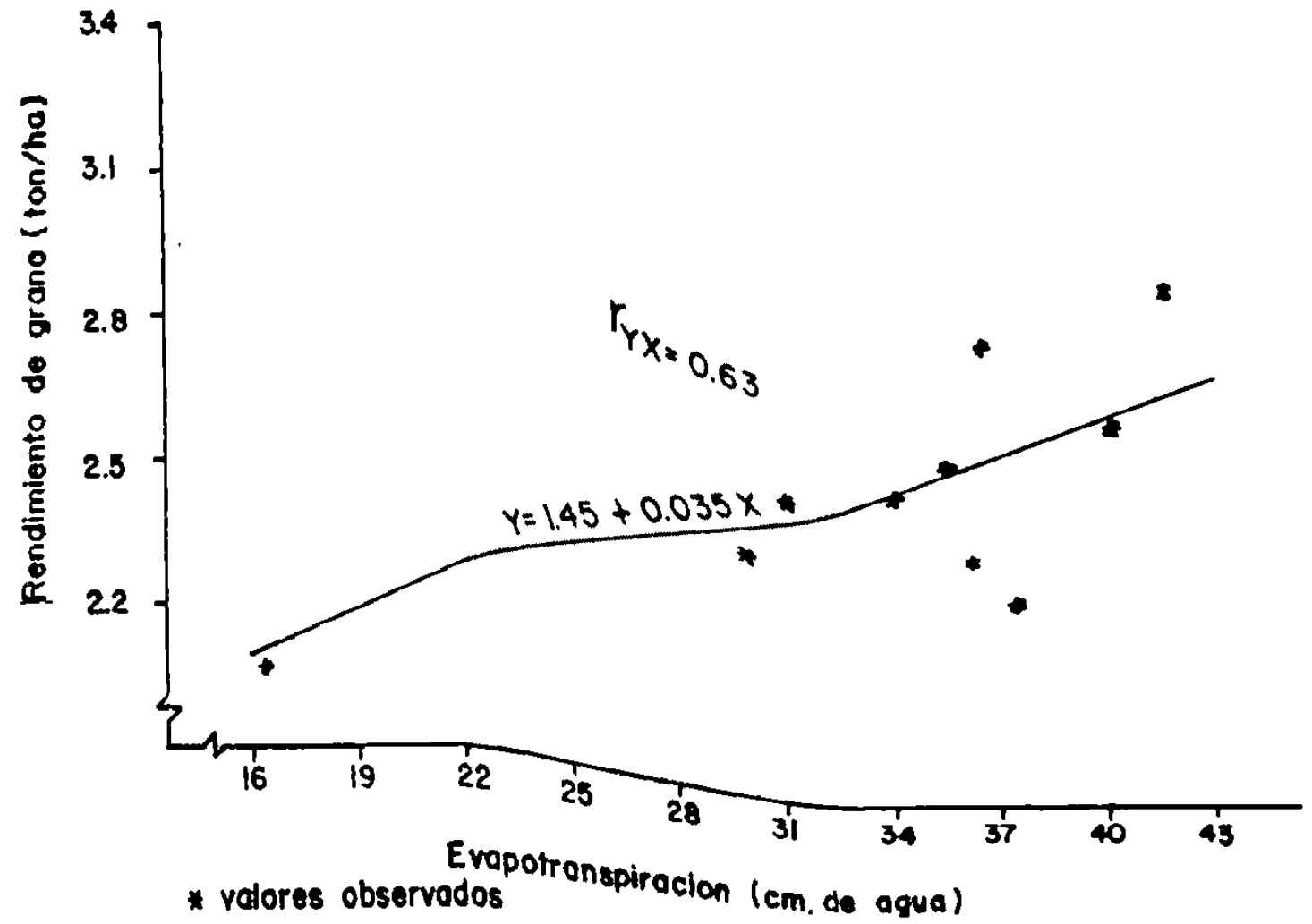


FIGURA 5. Relación entre rendimiento de grano (k/ha) y la evapotranspiración (cm de agua) del cultivo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

Los efectos sobre el rendimiento de trigo, asociados a la lámina de agua y oportunidad en la aplicación del riego, coinciden con los resultados de varios autores; así, García (1969) y Mench (1969), citados por Hidalgo (1971), encontraron que los riegos frecuentes afectan adversamente al rendimiento; una situación parecida se observó en el tratamiento de mayor frecuencia de riegos (60-75%), con el cual se mantuvo un alto nivel de humedad en el suelo durante la etapa vegetativa, condición que limitó el crecimiento radicular hacia estratos más profundos del suelo (Hanks, 1969; Proffit et al. 1985; Doss et al. 1960 y Newman, 1971). Diversos autores indican que la raíz tiene un crecimiento más extenso cuando el abatimiento de la humedad del suelo es en forma gradual (Pearsons, 1969, citado por Kenematsu, 1983; Cannon, Weaver y Crist, citados por Kramer, 1974) como se esperaba, los resultados de éste estudio confirman lo anterior, ya que se probaron bajos niveles de humedad (la excepción fué el tratamiento 60-75%).

Al comparar los tratamientos 15-15 y 45-45%, se supone que ambos desarrollaron un crecimiento radicular similar, pero debido a que en el primer tratamiento el primer riego de auxilio fué aplicado 36 días después, tuvo un mayor nivel de tensión hídrica del suelo, coincidiendo con la etapa de diferenciación floral e inicio de la elongación de tallos, lo que explica la reducción del crecimiento vegetativo (Shanahan y Nielsen, 1987); no obstante lo anterior, fué uno de los tratamientos de mayor rendimiento de grano, quizás pudo deberse a una recuperación de la planta al disminuir la tensión con la aplicación del riego en la etapa de floración (Mathew y Boyer, 1984; Gates, 1955, citado por Vázquez, 1982), además, a un transporte de asimilados de los órganos de reserva (tallos y raíz) hacia el grano; esto último ocurre cuando existe tensión hídrica en el suelo, como fué señalado por Turner (1979).

La comparación de los tratamientos 0-0 (testigo) y 0-30%

resulta interesante, ya que en ambos casos se observó un bajo desarrollo vegetativo; sin embargo en el segundo caso, el rendimiento fué mayor, probablemente debido a un crecimiento radicular hacia estratos más profundos (evasión), estimulados por el agostamiento de la humedad del suelo; en tanto que, en el tratamiento 0-0, la sobrevivencia pudo deberse a una mayor translocación de asimilados (tolerancia a desecación).

No hubo diferencias significativas en el rendimiento de grano entre los niveles 15 y 30% de agua disponible en la etapa vegetativa (Figura 6); se observó que el crecimiento vegetativo se redujo en ambos niveles, debido probablemente a un ajuste osmótico de la planta de trigo (Eastham *et al.* 1984), mecanismo que requiere de un gasto mayor de energía para realizar dicho ajuste (Turner, 1979, citado por Hall, 1979), por tanto, cuando la fuente (fotosíntesis) no puede satisfacer la demanda (respiración; ajuste osmótico, etc.) no pueden obtenerse rendimientos adecuados. En cambio, con el nivel de 45% de agua disponible antes de floración, hay indicios de alcanzar un rendimiento aceptable, observándose una reducción moderada del crecimiento vegetativo, en contraste con el tratamiento 60-75% sin que existiera riesgo de perder la producción del cultivo; además, entre niveles respectivos de 15 y 30% de la etapa vegetativa, asociados a niveles altos de humedad en la etapa reproductiva, mostraron una tendencia de incremento del rendimiento, excepto el tratamiento 15-15%. Resulta importante la capacidad de tolerancia del trigo a una tensión por sequía, cuando se cultiva bajo las condiciones limitantes, sobre todo en áreas de temporal.

En la etapa reproductiva, se observó una tendencia creciente en rendimiento, al mantener el nivel de agua disponible de suelo por arriba de 45% (Figura 7), sobre todo en la etapa de embuche (Day, 1970; Cambell, 1968; Escobosa, 1983; Sandoval, 1983).

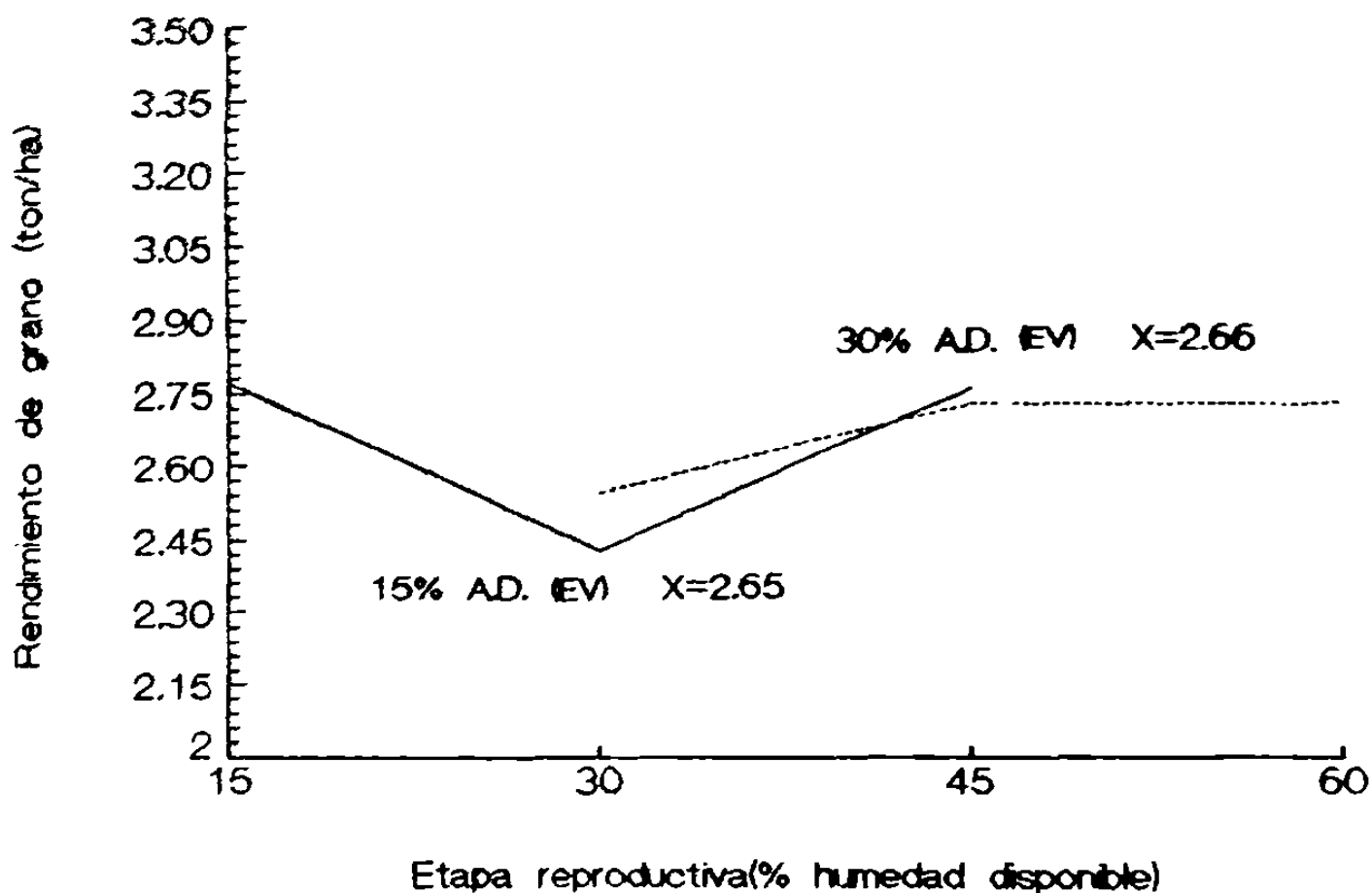


FIGURA 6. Relación entre el rendimiento de grano de trigo y los niveles de humedad disponible en el suelo (%) en la etapa reproductiva (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

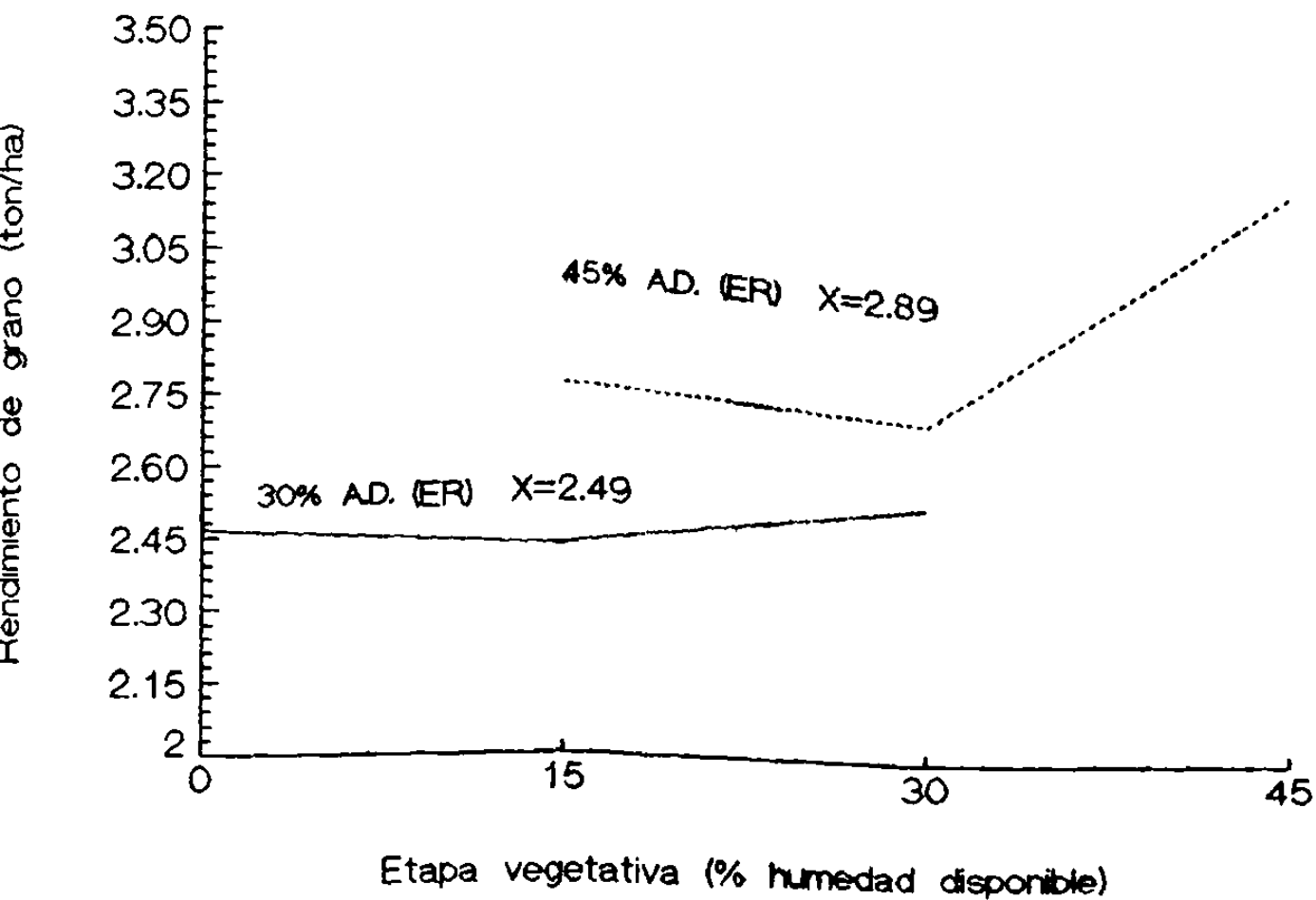


FIGURA 7. Relación entre el rendimiento de grano de trigo y de humedad disponible en el suelo (%) en la etapa vegetativa (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)



En base a los resultados obtenidos en el presente ensayo, para alcanzar rendimientos adecuados es impráctico aplicar 5 o 6 riegos, como en el caso de los tratamientos 45-45 y 60-75%, ya que el manejo y distribución del agua depende de los Distritos de riego; además, implica un aumento de la mano de obra requerida en la aplicación, y por consecuencia, aumentarían los costos de producción. Tomando en cuenta lo anterior y apoyados en la literatura, es posible alcanzar la máxima respuesta de trigo al suplementar con suficiente humedad al cultivo en su establecimiento (12 o 15cm de agua) y con riegos en etapas de desarrollo donde es más susceptible a déficit hídricos (Pearson, 1965, citado por Kenemasu, 1983); así, el primer riego de auxilio debe aplicarse en la etapa de diferenciación floral (10 cm); el segundo en embuchamiento (10 cm) y el tercero, en la etapa de grano lechoso (10 cm de agua).

Resulta beneficioso promover el crecimiento radicular hacia estratos más profundos a través de un riego pesado de establecimiento. La extensión de raíz se da en forma gradual al abatimiento de humedad; así, con el primer riego de auxilio aplicado al momento de la diferenciación floral (35 días después de la siembra), se evita un déficit hídrico en éste momento crucial, de esa manera en las primeras etapas de crecimiento el área foliar no se verá reducida; El segundo riego de auxilio, aplicado en la etapa de embuchamiento (45 días después del primero), promovería una reducción del área foliar para balancear el crecimiento vegetativo con respecto a la etapa reproductiva; el tercer riego de auxilio aplicado 25 días después del segundo, proporcionará la humedad necesaria, para el transporte de asimilados, el cual coincide con el período de temperaturas altas (inicio de primavera), que elevan la tasa de transpiración. Sin embargo, no puede tomarse en forma concluyente, debido a que estos resultados corresponden a un solo un ciclo de evaluación, por tanto se sugiere realizar otros trabajos donde se prueben láminas de riego en

las etapas antes descritas, para integrar el paquete de recomendación dirigida a los productores de la región.

Se analizó el rendimiento en función de los niveles de agua disponible del suelo en las etapas vegetativa y reproductiva (antes y después de floración), mediante la metodología de superficie de respuesta, se probó el modelo polinomial de segundo grado propuesto para predecir el rendimiento, pero al efectuar la prueba de falta de ajuste, se encontró diferencias altamente significativas, lo que indica que los datos no se ajustan al modelo (Cuadro 2A); además, el coeficiente de determinación solo explica 37.02% de la variación de los datos. En vista de lo anterior, se procedió, a la selección del mejor modelo, que pudiera predecir el rendimiento; se realizó la prueba de Stepwise, encontrándose que solo el efecto lineal del factor antes de floración no mostró diferencias significativas en la prueba de falta de ajuste (Cuadro 3A), con un coeficiente de determinación de 26.8% (Cuadro 4A).

Las características de planta que más influyeron en el rendimiento de grano, fueron seleccionadas previamente mediante el análisis de correlación (Cuadro 8A), solo se incluyeron en el análisis de regresión lineal múltiple, las que tuvieron un coeficiente de correlación de  $r=0.500$  o mayor; así, el modelo seleccionado fué el siguiente:

$$Y = -5.286 + 0.026(DLLG) + 0.039(IC) + 0.027(AP2) + 0.04(HP3) + 0.044(PH)$$

El análisis de varianza indicó que el modelo fué altamente significativo, con una  $r^2 = 0.83$  (Cuadro 5A). Esto quiere decir que el rendimiento de grano es función de las variables: días de llenado de grano (DLLG), índice de cosecha (IC), altura de planta segundo en el muestreo (AP2), hojas por planta en el tercer muestreo (HP3) y peso hectolítrico del grano (PH).

### b) Peso de 100 Granos

El análisis de varianza (Cuadro 5), reportó diferencias altamente significativas con un coeficiente de variación de 8.50%, por lo que se procedió a efectuar la comparación de promedios utilizando la prueba de Duncan a 0.05 de significancia. El grupo de significancia de mayor peso lo integraron los tratamientos 0-30, 15-45, 30-60 y 45-45% de agua disponible en el suelo, con medias respectivas de 4.1, 3.8, 3.8 y 3.7 g; el tratamiento de menor peso de 100 granos fué el testigo (0-0), con una media 25% más baja que el tratamiento 0-30; esto indica que el suplementar de agua al suelo en la etapa reproductiva, cuando existe un nivel de 30% de agua disponible en el suelo; después de haber soportado un déficit hídrico 0% (p.m.p) en al etapa vegetativa, la planta aún conserva la capacidad fotosintética, logrando incrementar el rendimiento de grano como consecuencia del aumento en el peso de grano, debido a una aclimatación (Mathews y Boyer, 1984) y a un transporte activo de fotosintatos hacia el grano (Turner, 1979).

El análisis de correlación reportó una asociación positiva significativamente al 0.05 con la variable peso hectolítrico y una asociación negativa con granos por espiga.

### c) Espigas por Planta (EP)

El análisis de varianza (Cuadro 5) indicó que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos; el coeficiente de variación fué de 11.55%. La comparación de medias reportó que el grupo de mayor número de espigas por planta se formó con los tratamientos: 60-75, 30-30, 30-60 y 45-45% de agua disponible, con 2.3, 2.2, 2.1 y 2.1 espigas por planta respectivamente. El tratamiento testigo (0-0) fué el de

menor valor, con 1.7 espigas por planta.

Espigas por planta se concidera como la componente más importante del rendimiento, junto con los caracteres número de granos por espiga y peso de grano (Rouchschwalbe y Mathew, Quisenberry, citados por McNeal, 1974; Foehlman, 1981; Adams, 1967). Sin embargo, bajo diferentes condiciones ambientales, el grado de asociación entre el rendimiento de grano, dependerá del ambiente de evaluación. Este comportamiento esperado coincide con los tratamientos de mayor rendimiento (45-45, 30-60 y 60-75), que formaron parte del primer grupo de significancia.

El análisis de correlación reportó que la correlación más alta de la variable espigas por planta fué con el caracter materia seca final o rendimiento biológico; sin embargo, no hubo correlación con el rendimiento de grano (Cuadro BA).

#### d) Granos por Espiga (GE)

El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 12.42% (Cuadro 5). El tratamiento de punta de riego 0-0% exhibió el mismo número de granos por espiga que el tratamiento de más alto rendimiento (45-45); lo que indica que dicha variable no se correlacionó con rendimiento de grano (Cuadro BA), cuyo valor es ( $r=0.06$ ); sin embargo, GE mostró una asociación positiva y altamente significativa con la variable semillas por planta ( $r=0.65$ ); además, como anteriormente se mencionó, el incremento en el rendimiento de el tratamiento 0-30% se debió al aumento en el caracter peso de 100 granos.

#### e) Granos por Planta (GP)

El análisis de varianza (Cuadro 5) reportó que existen diferencias significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 15.43%. La comparación de medias indicó que en el primer grupo de significancia (con mayor número de granos /plta) se encuentran los tratamientos 60-75 y 45-45% con 74.5 y 73.8 granos por planta; la media más baja correspondió al tratamiento 0-30 con 56.3 granos por planta; lo que indica, como anteriormente se mencionó, que este tratamiento dependió en gran medida del peso de 100 granos. El segundo grupo quedó formado por el resto de los tratamientos.

Granos por planta se calculó a partir del producto de espigas por planta y granos por espiga; y sus correlaciones respectivas fueron 0.59 y 0.65 (Cuadro 8A); además, mostró una correlación positiva y altamente significativa con la variable días a floración; lo que indica que, al mantener altos niveles de humedad en el suelo en la etapa vegetativa, al aumentar los días a floración, los granos por planta también se incrementan; por el contrario, cuando se mantienen niveles bajos de humedad en el suelo en la misma etapa, como es dado en los tratamientos de 0-0 y 0-30% y de 15% de agua disponible, se observó una disminución en los días a floración, así como en número de granos.

#### f) Peso Hectolítrico (PH)

Como se puede apreciar en el Cuadro 5, no hubo diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento de menor peso hectolítrico fue el testigo (0-0) con 78.7 g; mientras que, el de mayor promedio fue el 15-15%, el cual ocupó el tercer lugar en rendimiento; este tratamiento, puede asociarse al igual que el 0-30, a una aclimatación de la planta y a un transporte activo de reservas (de las raíces y tallos principalmente) hacia el grano, ocasionado por un déficit hídrico severo, ocurrido específicamente durante la diferenciación floral.

El modelo de regresión lineal múltiple para peso hectolítrico de grano ( $r^2 = 0.56$ ) se obtuvo a partir de las variables que se indican a continuación.

$$Y = 68.95 + 1.699(P100G) + 0.169(DLLG)$$

Donde:

P100g = peso de 100 granos.

DLLG = días de llenado de grano.

#### g) Uso Eficiente del Agua (UEA)

El análisis de varianza, reportó diferencias altamente significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 10.4% (Cuadro 6). La comparación de medias indicó que el valor de UEA más alto correspondió al tratamiento testigo (0-0), con 123.1 k/cm; un segundo grupo de significancia lo formaron los tratamientos 60-75, 30-60, 0-30 y 30-45% de agua disponible, con valores de 94.3, 88.6, 83.9 y 81.1 k/cm, respectivamente. Los UEA más bajos correspondieron a los tratamientos 15-30 y 15-15% con valores de 64.2 y 68.6 k/cm/, respectivamente. Se observó una pérdida de superficie evaporativa, producida por una reducción en el número de hojas y área foliar; esto fue evidente en todos los tratamientos a excepción, del 60-75%, el cual mostró un crecimiento vegetativo abundante al mantener un nivel de humedad alto en las etapas vegetativa y reproductiva, lo que ocasionó un desbalance entre dichas etapas. La reducción área foliar como una medida de ahorro del agua en etapas posteriores, es de gran importancia (Turner, 1979); dicho comportamiento fue observado en el tratamiento 0-30%, al cual al suplementarle el riego en la etapa reproductiva; ocurrió una elevación del rendimiento de grano, la cual estuvo asociada con un aumento del peso de 100 granos (Cuadro 5). De esta manera, al tratar de promover una reducción de la superficie fotosintética o área foliar, no debe

realizarse en la etapa reproductiva, de lo contrario ocurrirá una reducción drástica en el rendimiento probablemente hasta niveles antieconómicos; esto coincide con Wong (1979), quien menciona que una reducción en el rendimiento es consecuencia de una disminución significativa del área foliar, tal como se observó en el tratamiento 0-0%. El período en el que ocurre el déficit hídrico es importante, como lo menciona Saw, citado por Shanahan y Nielsen (1987), quien afirma que la tensión hídrica es un medio efectivo para limitar el crecimiento vegetativo, pero el momento en el cual ocurre, influye grandemente en la reducción del rendimiento.

El análisis de correlación indicó que el uso eficiente del agua está asociado positivamente con el rendimiento de grano ( $r=0.23$ ) y negativamente con las variables índice de área foliar, hojas por planta, área foliar (variables tomadas en el tercer muestreo), materia seca final y con días a floración. Al efectuar el análisis de regresión lineal múltiple el modelo seleccionado con un coeficiente de determinación de  $r^2 = 0.38$  fué:

$$Y=327.66-5.467(HP3)-2.203(DF)$$

donde:

HP3 = hojas por planta al tercer muestreo.

DF = días a floración.

#### h) Índice de Cosecha (IC)

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos probados, con un coeficiente de variación de 11.58%. Los tratamientos de más alto índice de cosecha fueron 15-45 y 45-45, con índices respectivos de 36.3 y 36.1; en el segundo grupo de significancia destacan los tratamientos 15-15 y 60-75%, con medias de 34.1 y 32.9; los tratamientos de menor índice fueron 15-30 y 0-30, con índices de cosecha de 27.7 y 29.6 (Cuadro 6).

CUADRO 6. Comparación de medias de las variables uso eficiente del agua (cm/ha), índice de cosecha (IC), longitud de espiga (cm) y días a floración, madurez fisiológica y período de llenado de grano (Marín, N.L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No. Tratamiento<br>EV/ER | uso                   | índice        | longitud     | floración | madurez     | período de          |
|--------------------------|-----------------------|---------------|--------------|-----------|-------------|---------------------|
|                          | eficiente<br>del agua | de<br>cosecha | de<br>espiga |           | fisiológica | llenado de<br>grano |
|                          | ---k/cm---            | ---           | ---cm---     | -----     | -----       | -----               |
| 1 0-30                   | 83.9bcd               | 29.6bc        | 8.6          | 93g       | 127d        | 34d                 |
| 2 15-15                  | 68.6ef                | 34.1ab        | 8.0          | 95def     | 128d        | 33e                 |
| 3 15-30                  | 64.2f                 | 27.7c         | 8.5          | 96cde     | 129cd       | 33e                 |
| 4 15-45                  | 79.1cde               | 36.3a         | 7.9          | 94efg     | 131bc       | 37abc               |
| 5 30-30                  | 70.2def               | 30.2bc        | 8.9          | 97bc      | 131bc       | 34cde               |
| 6 30-45                  | 81.1bcde              | 30.5bc        | 8.6          | 96bcd     | 133ab       | 35bcde              |
| 7 30-60                  | 88.6bc                | 30.4bc        | 8.7          | 95de      | 133b        | 38ab                |
| 8 45-45                  | 74.9cdef              | 36.1a         | 8.3          | 97b       | 136a        | 39a                 |
| 9 0-0                    | 123.1a                | 30.1bc        | 8.3          | 93fg      | 123e        | 29f                 |
| 10 60-75                 | 94.3b                 | 32.9ab        | 8.7          | 99a       | 136a        | 37abcd              |
| Significancia            | **                    | *             | n. s.        | **        | **          | **                  |
| c.v. (%)                 | 10.46                 | 11.58         | 0.26         | 1.08      | 2.83        | 3.95                |



Según Turner (1979), la tensión hídrica limita el crecimiento vegetativo causando una reducción en el peso total de la planta, pero no en el rendimiento; al respecto, Pandey et al. (1984a), estudiando la respuesta de diferentes legumbres bajo diferentes déficit hídricos, concluye que el índice de cosecha decrece linealmente con el incremento de la tensión hídrica del suelo en todas las especies incluidas en su estudio. En el presente ensayo, la mayor proporción entre el rendimiento económico y biológico fué para los tratamientos 15-45 y 45-45, lo que indica un desarrollo balanceado en el crecimiento vegetativo y reproductivo, y un transporte adecuado de fotosintatos hacia el grano.

En el tratamiento 0-30 se observó que la etapa vegetativa, aún que estuvo bajo tensión hídrica, logró mantener la capacidad fotosintética al ser regado en la etapa después de floración; es evidente al compararlo con el tratamiento testigo 0-0, que tuvo como consecuencia un aumento en la materia seca; sin embargo, el efecto de la tensión hídrica, provocada en la época vegetativa, redujo en gran medida el rendimiento económico desbalanceando la proporción con respecto al rendimiento biológico.

Al comparar el índice de cosecha de los tratamientos que obtuvieron los más altos rendimientos de grano; es decir, 45-45 y 60-75, se puede observar que el primero fué superior en índice de cosecha; lo que indica que el segundo tratamiento, el de máxima frecuencia de riego, tuvo un desarrollo foliar abundante, provocando un desbalance entre el rendimiento económico y biológico, como lo mencionan Bielorain y Hopmans (1975); además, la reducción del rendimiento coincide con lo mencionado por Fisher, citado por Turner (1979), quien afirmó que el crecimiento vegetativo excesivo reduce el rendimiento.

i) Longitud de Espiga (LE)

En el (Cuadro 6), puede observarse que no existen diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la variable longitud de espiga. Además, el análisis de correlación indicó que esta variable está correlacionada en forma positiva pero no significativa, con la variable materia seca final.

j) Días a Floración (DF)

Como se observa en el Cuadro 6 hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 1.08%. La prueba de comparación de medias indica, que el tratamiento de mayor número de días a floración fue el 60-75% (99 días), seguido por los tratamientos 45-45 y 30-30%, con igual número de días (97); los tratamientos con menor número de días fueron: 0-30 y 0-0, con 93 días (ambos tratamientos); aunque no hubo diferencias significativas entre los niveles 15% y 30% A.D., se observó una reducción en días a floración, debido a una tensión más severa durante la etapa vegetativa, como ocurrió en los tratamientos 0-0 y 0-30 comparados con las combinaciones 60-75 y 45-45. Cabe señalar, que el 22 de febrero la humedad en el suelo alcanzaba el punto de marchitez permanente, es decir, existía el mayor déficit hídrico; además, el cultivo se encontraba en embuchamiento, lo cual aceleró la floración. Lo anterior coincide con lo observado por Salter y Good (1967), Arlin et al. (1986), Turner (1979) y Wong (1979), quienes afirman que la floración se acelera cuando el déficit hídrico ocurre en la época de iniciación y desarrollo de la flor; esto explica porque el tratamiento 45-45% se aceleró dos días en la floración (comparado el tratamiento 60-75); aunque dicho tratamiento no sufrió déficit hídrico en la etapa de diferenciación floral, se registró una tensión de -6 bars durante la etapa de embuche.

Domínguez (1984) señala que en plantas frutícolas y de grano generalmente el ciclo se acelera cuando la humedad disponible es satisfactoria durante la etapa vegetativa, aunque el período de maduración se reduce; aun cuando Muñoz et al. (1973) observó un retraso de la floración en maíz bajo sequía, en la etapa vegetativa. Sin embargo, resultados contradictorio se observaron en el tratamiento 60-75 (el de mayor frecuencia de riego), en el cuál, la variable días a floración fué mayor que en el resto de los tratamientos.

Se observó que días a floración tiene una asociación positiva y altamente significativa con: altura de planta, materia seca final, días a maduración, área foliar total e índice de área foliar (estos dos del tercer muestreo), área foliar de la hoja bandera (primero y tercer muestreo).

#### k) Madurez Fisiológica (MF)

Se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos (Cuadro 6), y la comparación de medias indicó que los tratamientos 45-45 y 60-75% tuvieron el mayor número de días a madurez fisiológica ambos con 136 días; el de menor días a madurez fué 0-0 (123 días), seguido por el tratamiento 0-30 (127 días). Al comparar las medias de los niveles de 15 y 30% de agua disponible (antes de floración) se observó una reducción en el primero, de aproximadamente 3 días; también, en los tratamientos de los niveles de 15% y 30% de agua disponible en la etapa vegetativa respectivamente, se observó un incremento en los días a madurez fisiológica asociados a valores elevados de humedad en la etapa reproductiva.

Aunque el tratamiento 60-75% fué dos días más tardío en floración que la combinación 45-45% de agua disponible en el suelo, los días a madurez fisiológica resultó similar para ambos, por lo que en el primero (60-75%) se redujo el período

de llenado de grano. Los tratamientos 0-0 y 0-30% tuvieron igual período de floración, sin embargo, la madurez fisiológica de este último fue cinco días más tardía, ya que se mantuvo un mayor nivel de humedad en el suelo (30%) en la etapa reproductiva; al respecto, Day (1970) menciona que déficit hídricos en la etapa de llenado de grano aceleran la madurez fisiológica, como se observó en el tratamiento 0-0. Por otro lado, dado que Pavón F-76 es de ciclo intermedio, un alargamiento en los días a floración (como ocurrió en el tratamiento 60-75%), no aumenta los días a madurez fisiológica, en cambio, si se reduce el período de llenado de grano.

Se observó una correlación positiva y significativa entre madurez fisiológica y las variables días a llenado de grano, área foliar de la hoja bandera (tercer muestreo), rendimiento de grano, índice de área foliar (tercer muestreo), área foliar total y materia seca final.

#### 1) Días de Llenado de Grano (DLLG)

Se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos (Cuadro 6), ocupando el primer lugar en período de llenado de grano (39 días) el tratamiento 45-45%, seguido por las combinaciones: 30-60, 15-45 y 60-75% de agua disponible en el suelo, con 38, 37 y 37 días respectivamente, siendo estadísticamente iguales. El testigo (0-0) tuvo el más corto período de llenado de grano (29 días). En promedio, los tratamientos con el nivel 15% de A. D. (antes de floración) tuvieron 35 días, mientras que, los del nivel 30% promediaron 36 días.

Como ya se ha señalado, el rendimiento de grano depende en gran medida de los días de llenado de grano por lo que, cualquier alteración de éste período asociado a los niveles de

humedad disponible en el suelo, afectará el rendimiento económico. Resulta importante, por tanto, la cantidad de agua aplicada y la oportunidad del riego, para controlar sus efectos sobre la floración y madurez fisiológica del cultivo.

El caracter días de llenado de grano mostró una alta correlación con las variables: madurez fisiológica, rendimiento de grano, peso hectolítrico, altura de planta (tercer y segundo muestreo) y área foliar de la hoja bandera.

m) Índice de Área Foliar (IAF) y Área Foliar Total Estimada (AFTE)

El análisis de varianza en los tres muestreos de la variable índice de área foliar (Cuadro 7), indicó que en el primer muestreo (18 de febrero), no existió diferencia significativa; el coeficiente de variación fué de 18.69%; para los muestreos segundo (3 de marzo) y tercero (18 de marzo) se encontraron diferencias altamente significativas, con sus coeficientes de variación de 18.37 y 17.56%, respectivamente. Resultados similares fueron observados al efectuar el análisis de varianza de la variable área foliar total, cuyo coeficiente de variación fué de 17.46% para los muestreos segundo y tercero.

Los resultados anteriores indican que el área fotosintética en todos los tratamientos en el primer muestreo fué estadísticamente igual; sin embargo, se puede observar en el Cuadro 7, que los tratamientos 0-0 y 0-30, poseen la menor área foliar (202.5 y 215.8 cm<sup>2</sup> respectivamente), y consecuentemente, menor índice de área foliar. Los tratamientos 60-75, 30-30 y 45-45% de agua disponible, tuvieron los más altos valores de índice de área foliar (con medias respectivas de 4.3, 4.3 y 4.0) y área foliar total estimada de 291.9, 291.9 y 269.1 cm<sup>2</sup> respectivamente.

CUADRO 7. Comparación de medias de las variables morfológicas índice de área foliar (IAF) y área foliar total estimada (AFTE) (cm<sup>2</sup>) en los tres muestreos (Marín, N.L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No.           | Tratamiento | Índice de área foliar |        |        | Área foliar total estimada |          |         |
|---------------|-------------|-----------------------|--------|--------|----------------------------|----------|---------|
|               |             | feb/18                | mzo/3  | mzo/18 | feb/18                     | mzo/3    | mzo/18  |
| 1             | 0-30        | 3.2                   | 1.9e   | 1.2c   | 215.8                      | 130.8e   | 79.9c   |
| 2             | 15-15       | 3.5                   | 2.7de  | 1.3c   | 240.3                      | 180.0cde | 91.0c   |
| 3             | 15-30       | 3.7                   | 2.6de  | 1.4bc  | 248.4                      | 170.0cde | 93.7c   |
| 4             | 15-45       | 3.7                   | 2.5de  | 1.3c   | 230.4                      | 170.6cde | 87.9c   |
| 5             | 30-30       | 4.3                   | 3.0cd  | 1.4bc  | 291.9                      | 202.1bcd | 97.7bc  |
| 6             | 30-45       | 3.8                   | 3.2bcd | 1.4bc  | 258.3                      | 214.0bcd | 93.1c   |
| 7             | 30-60       | 3.7                   | 3.9abc | 1.5bc  | 252.3                      | 245.0abc | 104.3bc |
| 8             | 45-45       | 4.0                   | 4.0ab  | 1.7ab  | 269.1                      | 269.2ab  | 118.3ab |
| 9             | 0-0         | 3.0                   | 3.4bcd | 0.2d   | 202.5                      | 130.9e   | 9.9d    |
| 10            | 60-75       | 4.3                   | 4.3a   | 2.0a   | 291.9                      | 294.0a   | 139.2a  |
| Significancia |             | n. s.                 | **     | **     | n. s.                      | **       | **      |
| c.v. (%)      |             | 18.69                 | 18.37  | 17.56  | 16.50                      | 17.46    | 17.46   |

En el segundo muestreo, los tratamientos de mayor agua disponible en el suelo en la etapa reproductiva (60-75, 45-45 y 30-60%), fueron los de mayor índice de área foliar y área foliar total estimada con valores de IAF 4.3, 4.0 y 3.9 y AFTE de 294.0, 269.2 y 245.0 cm<sup>2</sup> respectivamente. Cabe señalar que después del segundo muestreo se efectuó el riego de cambio de etapa, coincidiendo con la floración completa de la mayoría de los tratamientos excepto los tratamientos 0-0 y 0-30%, que florecieron en un cincuenta por ciento, aproximadamente cinco días antes. De este modo, las diferencias marcadas en los tratamientos en el tercer muestreo, fueron debidas a efecto del nivel de agua disponible en el suelo después de floración; específicamente en grano lechoso masoso, cuando el transporte de asimilados hacia el grano es más activo. Los tratamientos que lograron mantener un índice de área foliar y área foliar total mayor en el tercer muestreo fueron: 60-75 y 45-45% con 2.0 y 1.7 de índice y con un área foliar de 139.2 y 118.3 cm<sup>2</sup> respectivamente. Los tratamientos que formaron el segundo grupo fueron: 30-60, 30-45, 30-30 y 15-45% con valores de índice de área foliar y área foliar total, que oscilaron entre 1.4 y 1.5; 104.3 y 93.7 cm<sup>2</sup> respectivamente.

Los tratamientos de menor valor en ambas variables fueron 0-0 y 0-30, con IAF 0.2 y 1.2; y de AFTE 9.98 y 79.9 cm<sup>2</sup> respectivamente. Se compararon las medias de los niveles 15 y 30% A.D. antes de floración, a través de los tres muestreos de planta; dado que en el segundo y tercer muestreo la comparación de promedios reportó diferencias significativas y se observó en los tres muestreos que los tratamientos con 15% A. D. son más afectados que los de 30% (Figura 8 y 9).

Al comparar los tratamientos, con las combinaciones 45-45 y 60-75%, con un área foliar mayor para el segundo y tercer muestreo, se observó una reducción en el AFTE de el resto de los tratamientos, debido a un cierre estomatal que inhibe la

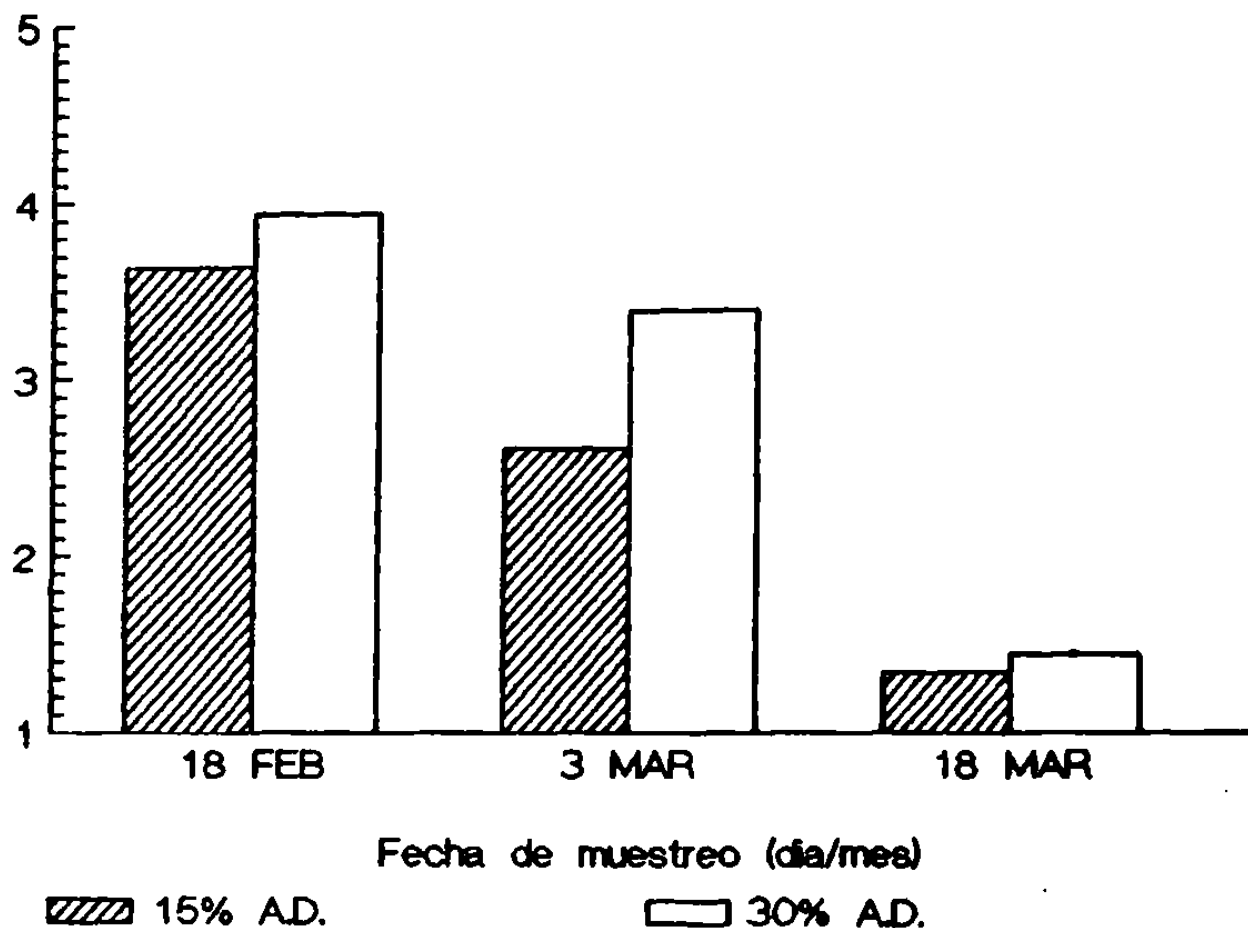


FIGURA 8. Relación entre fechas de muestreo e índice de área foliar de los niveles 15 y 30% de humedad disponible en el suelo de la etapa vegetativa (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)



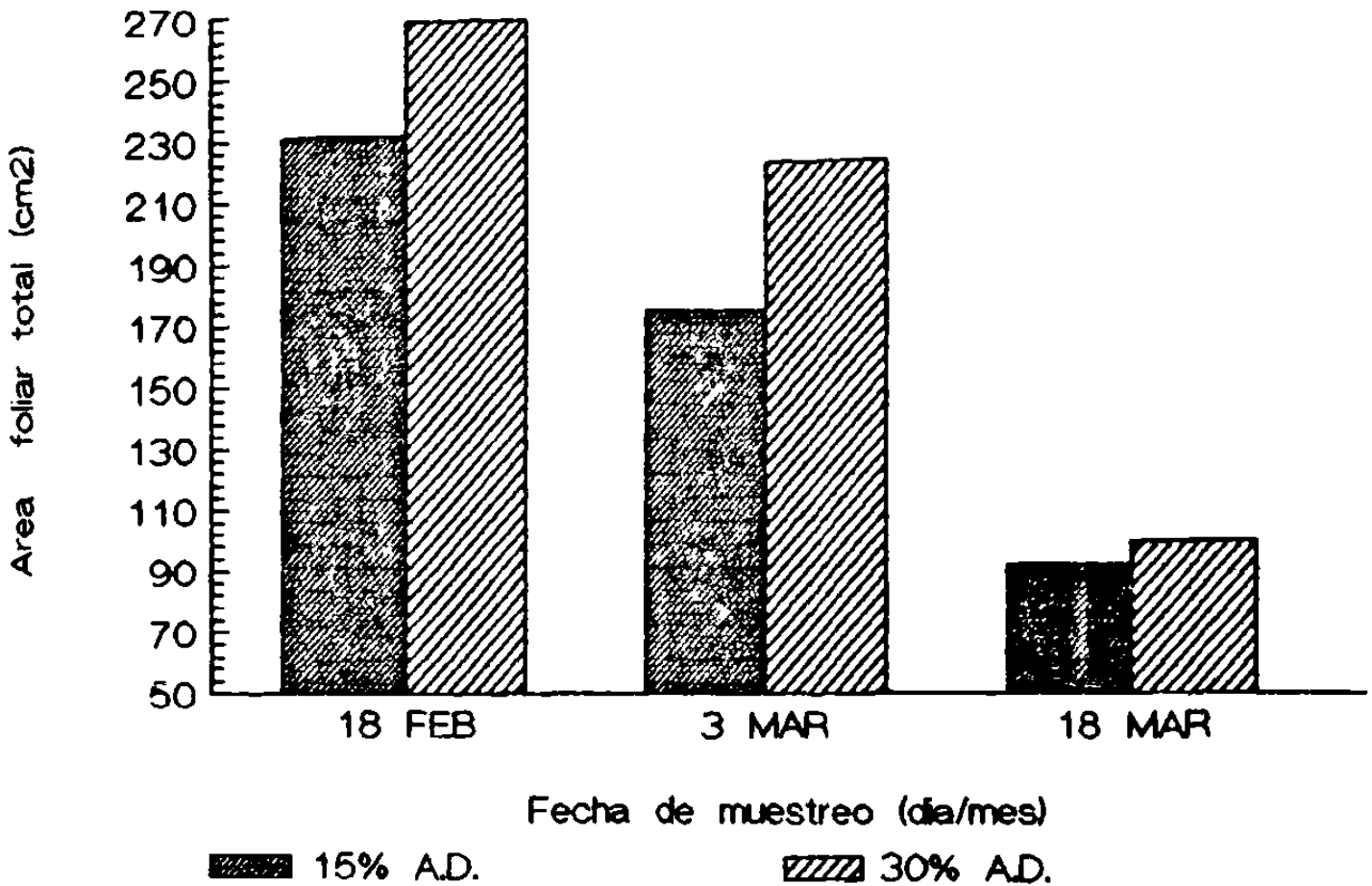


FIGURA 9. Relación entre fecha de muestreo y área foliar total (cm<sup>2</sup>) de los niveles 15 y 30% de humedad disponible en el suelo de la etapa vegetativa (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

transpiración, y consecuentemente, la fotosíntesis, por un bloqueo en el transporte del dióxido de carbono, necesario para la fotosíntesis; el CO<sub>2</sub> está disponible cuando el agua es evaporada del estoma (Boyer y McPearson, 1975; Jury y Tanner, 1975; Sullivan, 1974 y Carl, 1964); además, tal efecto sobre el rendimiento de grano es similar, ya que los tratamientos 45-45 y 60-75% A. D. fueron los de más alto rendimiento.

Los resultados anteriores coinciden con Shanahan y Nielsen (1987); Wilson et al., citado por Hall (1979), y Arlin et al. (1986); todos ellos mencionan que una tensión hídrica en la etapa vegetativa es un método para reducir el área foliar de las plantas, como fué observado en la mayoría de los tratamientos a través de los tres muestreos, excepto el tratamiento de máxima frecuencia de riego (60-75); sin embargo, este método ocasiona reducciones drásticas del rendimiento, cuando la tensión hídrica se desarrolla en épocas críticas del cultivo, como se observó en los tratamientos de 15% de agua disponible, donde posiblemente el déficit hídrico se desarrolló en la época de diferenciación floral.

Según Arlin et al. (1986), en el trigo la época más crítica cuando ocurre un déficit hídrico es la etapa de embuchamiento; en la mayoría de los tratamientos comparados, excepto las combinaciones 60-75 y 45-45%, sufrieron un déficit hídrico en dicha etapa (Figura 1), debido a que el riego se retrasó porque se pretendía evaluar variables más específicas para detectar resistencia total a sequía como: los componentes del potencial hídrico de planta, humedad relativa a la altura del dosel de la planta, contenido de azúcar y apertura estomatal; las causas que explican los bajos rendimientos obtenidos en el presente ensayo, pudieron deberse a la ocurrencia de una helada de -3<sup>o</sup>C, que coincidió con el momento de la floración del cultivo, y a la presencia de roya de la hoja, la cual se presentó en la mayoría de los tratamientos

(excepto el 0-0). La variedad Pavón F-76 ha mostrado ser susceptible a la roya de la hoja en los últimos tres años; a pesar de ello, su uso ha continuado, siendo la principal causa la falta de semillas de las variedades recién liberadas.

#### n) Altura de Planta (AP)

Se efectuaron tres muestreos 18 de febrero, 3 de marzo y 18 de marzo; en cada uno de los tres, el análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas entre tratamientos (0.01 de significancia), con coeficientes de variación respectivos de 15.18, 4.16 y 23.74% (Cuadro 8). En el primer muestreo, los tratamientos 45-45 y 60-75 fueron los que mostraron la mayor altura de planta con 71.1 y 68.5 cm, respectivamente; en tanto que, los de menor altura fueron: 0-30, 15-30, 0-0 y 15-45% (56.6, 58.2 60.6 y 60.6 cm respectivamente). En el segundo muestreo se observó que los tratamientos 60-75, 30-30 y 45-45 fueron los de mayor altura de con medias de 76.9, 76.4 y 76.3 cm respectivamente; mientras que las medias más bajas correspondieron a los tratamientos 0-0, 0-30, 15-45 y 15-30% A. D. (65.9, 68.1, 69.5 y 69.7 cm de altura respectivamente). Finalmente, en el tercer muestreo, los tratamientos de mayor altura fueron 45-45 y 60-75 con alturas de 83.4 y 80.8 cm respectivamente; los tratamientos 0-0 y 0-30 fueron los de menor altura de planta con 71.3 y 72.3 cm, respectivamente.

Las diferencias en la altura, observadas desde el primer muestreo, son atribuibles a los distintos niveles de agua disponible del suelo que implicaron los tratamientos. Como se observa en las Figura 1 y 2, los tratamientos 60-75 y 45-45% recibieron tres y dos riegos de auxilio respectivamente, en la etapa vegetativa (antes de floración), y los demás recibieron un solo riego (excepto el testigo 0-0% A. D.). En el primer

CUADRO 8. Comparación de medias de las variables morfológicas altura de planta (cm) y hojas por planta (HP) en los tres muestreos (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No. | Tratamiento   | altura de planta |        | hojas por planta |       |        |       |
|-----|---------------|------------------|--------|------------------|-------|--------|-------|
|     |               | feb/18           | mzo/3  | feb/18           | mzo/3 |        |       |
| 1   | 0-30          | 56.6d            | 68.1de | 72.3e            | 14.3  | 9.2b   | 6.8ab |
| 2   | 15-15         | 60.9cd           | 70.3cd | 76.2cde          | 14.0  | 10.1b  | 6.5b  |
| 3   | 15-30         | 58.2cd           | 69.7cd | 71.3cde          | 14.7  | 10.2b  | 6.9ab |
| 4   | 15-45         | 60.6cd           | 69.5d  | 77.8de           | 14.1  | 9.4b   | 6.3b  |
| 5   | 30-30         | 63.1bcd          | 76.4a  | 76.3bcd          | 16.3  | 10.7ab | 6.5b  |
| 6   | 30-45         | 63.1bcd          | 73.9ab | 75.0bcd          | 14.2  | 11.1a  | 6.4b  |
| 7   | 30-60         | 64.1bc           | 72.8bc | 76.8abc          | 14.0  | 9.9b   | 6.9ab |
| 8   | 45-45         | 71.1a            | 76.3a  | 83.4ab           | 14.8  | 11.2a  | 7.3ab |
| 9   | 0-0           | 60.6cd           | 65.9e  | 71.3bcd          | 14.1  | 10.2b  | 2.9c  |
| 10  | 60-75         | 68.5ab           | 76.9a  | 80.8a            | 15.9  | 11.4a  | 8.0a  |
|     |               | -----cm-----     |        | -----n-----      |       |        |       |
|     | Significancia | **               | **     | **               | n. s. | *      | **    |
|     | C.V. (%)      | 15.18            | 4.16   | 23.74            | 6.35  | 4.67   | 0.79  |

muestreo, al comparar las medias de los niveles 15% y 30% de agua disponible en la etapa vegetativa, se observó que este último superó en aproximadamente tres centímetros al nivel de 15% (Figura 10); En el segundo muestreo, la diferencia observada entre estos niveles fué de aproximadamente cuatro centímetros; cabe señalar que este muestreo se realizó en la etapa vegetativa, específicamente entre amacollamiento y inicio de floración; además, el riego siguiente aún no se aplicaba (la tensión hídrica del suelo era de -8 bars), la altura de planta se redujó 15.5 y 11.2% respectivamente para los niveles 15 y 30% de A.D., Hurd (1975) menciona que las plantas sometidas a déficit hídrico reducen su tamaño y modifican su estructura, especialmente las hojas; algunos autores, como Pandey *et al.* (1984c), Day (1970), Wong (1979), y Cutler *et al.*, citado por Eastman (1984) entre otros, coinciden al afirmar que el crecimiento de la planta es afectado por la disponibilidad del agua del suelo y el tiempo en el cual se desarrolla el déficit hídrico. En el tercer muestreo cuando se alcanza la máxima altura, se observó una menor diferencia entre los niveles 15 y 30% (etapa vegetativa); probablemente se debió a una recuperación y aclimatación que siguió a la reducción de la tensión hídrica como ya fué señalado anteriormente en las variables rendimiento de grano, índice de área foliar y área foliar total.

#### o) Hojas por Planta (HP)

En el primer muestreo no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos al efectuar el análisis de varianza (Cuadro 8); en el segundo y tercer muestreo, se observaron diferencias significativas. En el segundo, los tratamientos con el mayor número de hojas por planta fueron: 60-75, 45-45 y 30-45, con 11.4, 11.2 y 11.1 hojas respectivamente; los tratamientos con el menor número de hojas

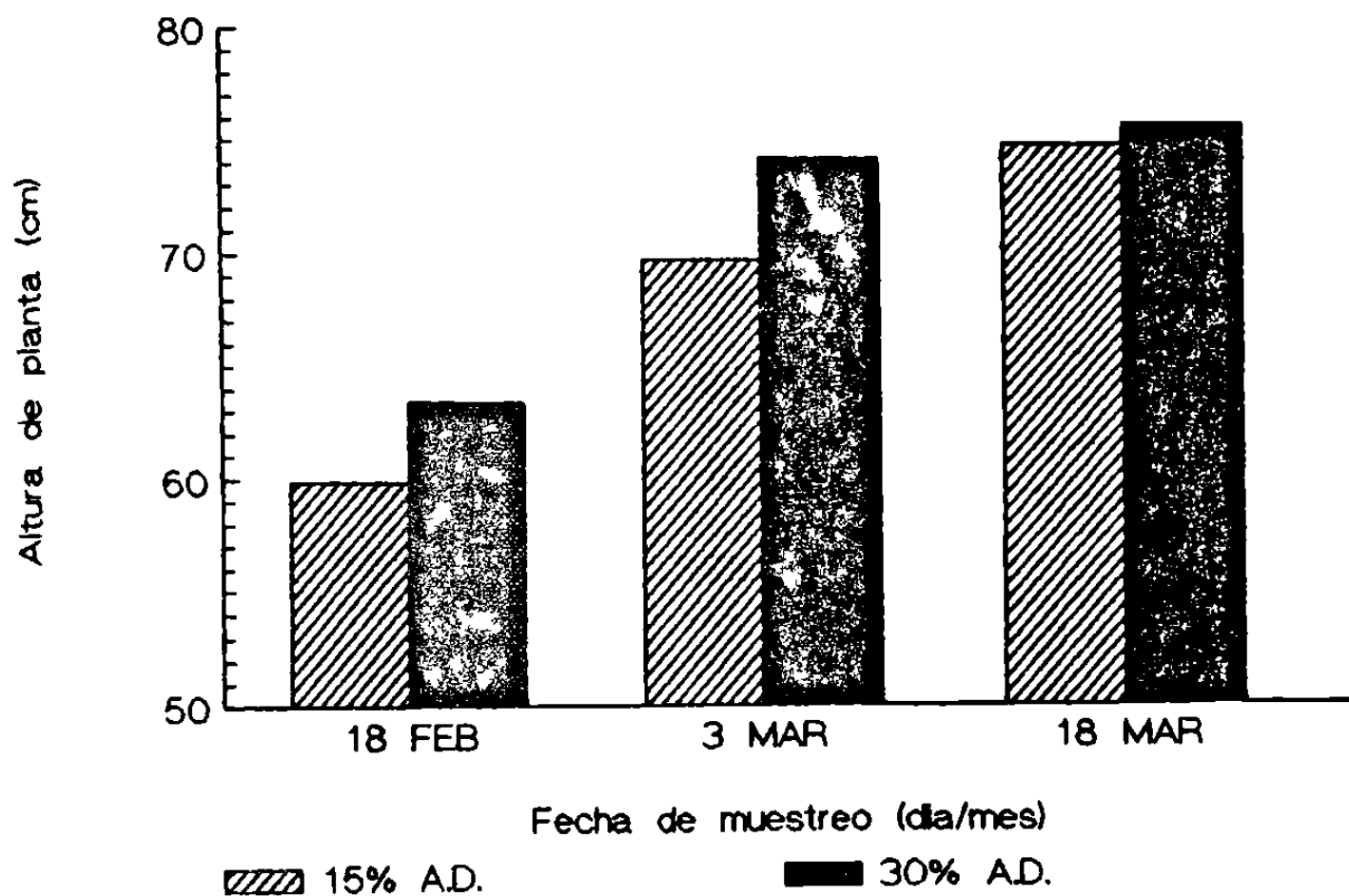


FIGURA 10. Altura de planta (cm) registrada en tres muestreos, realizados durante el ciclo fenológico del cultivo, correspondiente a los niveles 15 y 30% de humedad disponible en el suelo de la etapa vegetativa (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

por planta fueron: 0-30, 15-45 y 30-60% A. D. con 9.2, 9.4 y 9.9 hojas, respectivamente. El tercer muestreo se realizó después del riego de cambio de etapa, observándose que los tratamientos con el mayor número de hojas por planta fueron: 60-75 y 45-45%, con 8.0 y 7.3 hojas respectivamente; el tratamiento con menor número de hojas fué el testigo (0-0) con una media de 2.9; aunque el tratamiento 0-30 tenía menor número de hojas que el 0-0, a partir de los dos riegos aplicados en la etapa reproductiva, el primero mantuvo 4 hojas más que el segundo, ésto demuestra la capacidad de recuperación de las plantas después de que la tensión hídrica ha pasado (en la etapa vegetativa), manteniendo su capacidad fotosintética en el período de llenado de grano.

El número de hojas por planta, primer muestreo, mostró una correlación positiva y significativa ( $\alpha=.01$ ) con: área foliar total, índice de área foliar, y tallos por planta (del segundo muestreo); además de la correlación observada con las variables anteriores, mostró una asociación con área foliar de la hoja bandera; en el tercer muestreo, nuevamente el número de hojas se mostró consistente al asociarse igualmente con las variables anteriores, además estuvo correlacionada con materia seca final, días a madurez fisiológica, días de llenado de grano y rendimiento. Finalmente, se observó una correlación negativa alta y significativamente con uso eficiente del agua (UEA): ésto indica que a mayor número de hojas la transpiración aumenta y el uso eficiente del agua disminuye, lo que coincide con Wilson et al., citado por Hall (1979).

#### p) Tallos por Planta (TP)

El análisis de varianza indicó que no existen diferencias significativas entre tratamientos para el primero y segundo muestreo (18 de febrero y 3 de marzo); mientras que, en el

tercer muestreo, las diferencias observadas fueron altamente significativas (Cuadro 9). Al efectuar la comparación de medias se encontró que los mejores tratamientos fueron: 30-60, 45-45, 15-15 y 0-30% A. D., con un rango de variación entre 3.1 y 2.6 tallos por planta, sin existir diferencias significativas entre ellos. Los tratamientos con el menor número de tallos por planta fueron: 0-0 y 15-45 con 1.5 y 1.9 tallos, respectivamente.

Fisher, citado por Turner (1979), menciona que un método efectivo para controlar el crecimiento vegetativo en cereales es utilizando genotipos de baja capacidad de amacollamiento (algunos producen un solo tallo por planta), ya que un crecimiento vegetativo abundante reduce el rendimiento, por existir un desbalance entre las etapas vegetativa y reproductiva, como lo señalan Bielorain y Hopmans (1975); Además, Wilson *et al.*, citado por Hall (1979), agrega que un crecimiento inconsistente de hojas en etapas tempranas, incrementa drásticamente la transpiración. Begg y Turner (1976) mencionan que el trigo produce más tallos de los necesarios y que el número de éstos que llegan a producir espigas, es mucho menor cuando un déficit hídrico ocurre entre iniciación floral y emergencia de la espiga; a lo anterior Mitchel (1970) agrega que al aumentar la población de plantas, el número de espigas por planta se ve afectado y esto puede ser explicado por una mayor competencia por agua, luz y nutrientes. Un abundante amacollamiento se observó en el tratamiento 60-75 (5.1 tallos por planta), durante el primer muestreo. En general se observó que al avanzar la maduración del grano el número de tallos por planta se redujó siendo más drástica en el tratamiento 0-0, debido al bajo nivel de agua disponible del suelo.

En el primer muestreo el análisis de correlación indicó que tallos por planta se asoció positiva y significativamente ( $\alpha=.01$ ) con las variables: área foliar total, índice de área



CUADRO 9. Comparación de medias de las variables morfológicas tallos por planta (TP) y área foliar de la hoja bandera (cm<sup>2</sup>) en los tres muestreos (Marín, N L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No.                        | tallos por planta |       | Área foliar de la hoja bandera |        |
|----------------------------|-------------------|-------|--------------------------------|--------|
|                            | feb/18            | mzo/3 | mzo/18                         | mzo/3  |
| 1                          | 4.1               | 2.3   | 2.6abc                         | 21.8d  |
| 2                          | 4.3               | 3.3   | 2.6abc                         | 30.7bc |
| 3                          | 4.3               | 3.5   | 2.2bcd                         | 29.7cd |
| 4                          | 3.6               | 3.0   | 1.9cd                          | 30.9bc |
| 5                          | 4.9               | 3.3   | 2.8ab                          | 33.7ab |
| 6                          | 3.8               | 3.1   | 2.6abc                         | 32.0bc |
| 7                          | 3.9               | 2.9   | 3.1a                           | 31.2bc |
| 8                          | 4.1               | 4.3   | 3.0ab                          | 34.2ab |
| 9                          | 3.1               | 3.2   | 1.5d                           | 26.7cd |
| 10                         | 5.1               | 3.7   | 2.9ab                          | 35.9a  |
| -----cm <sup>2</sup> ----- |                   |       |                                |        |
| Significancia              | n. s.             | n. s. | **                             | *      |
| c.v. (%)                   | 0.75              | 0.52  | 0.26                           | 14.46  |
|                            |                   |       |                                | 32.42  |
|                            |                   |       |                                | 28.8a  |
|                            |                   |       |                                | 16.8cd |
|                            |                   |       |                                | 22.9bc |
|                            |                   |       |                                | 21.7c  |
|                            |                   |       |                                | 22.7bc |
|                            |                   |       |                                | 18.9cd |
|                            |                   |       |                                | 23.5bc |
|                            |                   |       |                                | 24.6bc |
|                            |                   |       |                                | 26.3ab |
|                            |                   |       |                                | 16.6cd |
|                            |                   |       |                                | 28.8a  |

foliar y área foliar de la hoja bandera (las tres del primer muestreo); en el segundo, mostró correlación con la variable hojas por planta y en el tercero, la mejor correlación fué con hojas por planta (tercer muestreo), días a madurez fisiológica, altura de planta (segundo muestreo), área foliar total e índice de área foliar (éstas últimas del tercer muestreo).

q) Area Foliar de la Hoja Bandera (AFHB)

En el (Cuadro 9) se presenta la significancia del análisis de varianza del primer muestreo (18 de febrero), donde se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos y un coeficiente de variación de 14.46%. La comparación de medias indicó que en el primer grupo de significancia se agruparon los tratamientos: 60-75, 45-45, 30-45 y 30-30% (con un rango de variación de 35.4 y 30.0 cm<sup>2</sup>); en el grupo de promedios más bajos se encuentran los tratamientos 0-0 y 0-30%, con 20.1 y 22.9 cm<sup>2</sup> respectivamente.

Las diferencias observadas entre tratamientos en el primer muestreo, fueron debidas al efecto de los diferentes niveles de humedad del suelo en la etapa de floración; así, para el 18 de febrero los tratamientos 60-75 y 45-45 tenían 3 y 4 riegos respectivamente; mientras que, los tratamientos con 15 y 30% de humedad solo se les había aplicado un riego de auxilio y las combinaciones 0-0 y 0-30% no habían sido regadas. Como ya se indicó anteriormente, no hubo diferencias significativas entre los niveles 15 y 30% de humedad disponible en el suelo.

En el segundo muestreo realizado el 3 de marzo, se observaron diferencias significativas ( $\alpha=.05$ ). El tratamiento 60-75 fué el de mayor área foliar de la hoja bandera (35.9 cm<sup>2</sup>), seguido de las combinaciones 45-45, 30-30 y 30-45, con 34.2, 33.7 y 32.0 cm<sup>2</sup> respectivamente. Los tratamiento 0-30 y

0-0% tuvieron medias de 26.7 y 21.8 cm<sup>2</sup>, respectivamente y fueron los de menor área foliar de la hoja bandera. Entre las medias de los niveles 15 y 30% de agua disponible en la etapa vegetativa, se observaron diferencias de aproximadamente 3 y 2 cm<sup>2</sup> respectivamente para los muestreo primero y segundo; esto se debió a que al mantener el nivel de humedad en el suelo de 15% en la etapa vegetativa, el área foliar de la hoja bandera se redujó.

En el tercer muestreo las diferencia entre tratamientos fueron altamente significativas, con un coeficiente de variación de 5.6%. La comparación de medias indicó que los tratamientos con mayor área foliar de hoja bandera fueron: 60-75, 45-45 y 30-60, con 28.8, 26.3 y 24.6 cm<sup>2</sup>, respectivamente; los de menor área foliar fueron: 0-0 y 0-30, con 16.8 y 16.6 cm<sup>2</sup> respectivamente.

La tendencia a disminuir el área foliar de la hoja bandera, se debe por un lado, a la cercanía a madurez fisiológica, y por otro lado, a las diferencias propiciadas por los diferentes niveles de agua disponible en el suelo, que representan los tratamientos. En los tres tratamiento del nivel 30% (etapa vegetativa) se observó un incremento del área foliar de la hoja bandera asociado a los niveles altos de humedad en el suelo, en la etapa reproductiva.

En el primer muestreo, la variable área foliar de la hoja bandera mostró una correlación positiva y altamente significativa con: índice de área foliar, área foliar total (del primer y tercer muestreo), altura de planta (segundo muestreo), días a madurez fisiológica, rendimiento de grano y días a floración; en el segundo muestreo, la mayor correlación fué con las variables: área foliar total e índice de área foliar (ambas del segundo muestreo), área foliar de hoja bandera (primer muestreo) y altura de planta (tercer muestreo);

en el tercer muestreo, mostró correlación con las variables: área foliar e índice de área foliar (del tercer muestreo), días a madurez fisiológica, rendimiento de grano, días de llenado de grano y días a floración.

#### 4.2 Efecto de los Niveles de Agua Disponible del Suelo Sobre la Materia Seca por Planta

El análisis de varianza (Cuadro 10), en el primer muestreo reportó que no existen diferencias significativas de materia seca entre tratamientos: el coeficiente de variación fué 16.35%. En el segundo muestreo, se encontraron diferencias significativas ( $\alpha=.05$ ), con un coeficiente de variación de 14.78%. Los tratamientos que mostraron los más altos pesos de materia seca fueron: 45-45, 15-45, 0-0 y 60-75, con 4.63, 4.20, 3.99 y 3.85 g/plta, respectivamente. En el segundo muestreo, la media de los tres niveles de los tratamientos 15% A. D. (etapa vegetativa), es similar al de los tratamientos de 30% (Figura 11). En el tercer muestreo, se observaron diferencias significativas ( $\alpha=.01$ ) entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 7.68%; los tratamientos con mayor peso de planta fueron: 30-60, 45-45, 60-75, 30-45 y 30-30, con un rango de variación de 7.01 y 6.31 g/plta. El tratamiento de menor peso fué 0-0 (5.19 g/plta), seguido por los tratamientos 15-45 y 15-30 (5.31 y 5.62 g/plta respectivamente).

En la Figura 11 se observa que en la fecha 18 de marzo (tercer muestreo), existe una diferencia de materia seca entre los niveles 15 y 30% A.D. de un gramo (aproximadamente); probablemente los tratamientos de este último nivel fueron menos afectados en su capacidad fotosintética. Se observó que el tratamiento 0-0 redujo su tasa de crecimiento y en promedio fué menor que la combinación 0-30, como consecuencia del riego de cambio de etapa en floración (Figura 12 y 13).

CUADRO 10. Comparación de la materia seca por planta (g) registrada en diferentes fechas de muestreo para los distintos niveles de humedad disponible en el suelo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No.                 | Tratamiento<br>EV/ER | fechas de muestreo |         |         |        |         |
|---------------------|----------------------|--------------------|---------|---------|--------|---------|
|                     |                      | feb/18             | mzo/3   | mzo/18  | abr/2  | abr/17  |
|                     |                      | -----g-----        |         |         |        |         |
| 1                   | 0-30                 | 2.44               | 2.81d   | 6.04bcd | 5.80cd | 7.05cd  |
| 2                   | 15-15                | 2.26               | 3.06cd  | 6.02bcd | 7.27b  | 7.36bcd |
| 3                   | 15-30                | 2.85               | 3.46bcd | 5.62cde | 6.35c  | 7.72ab  |
| 4                   | 15-45                | 2.82               | 4.20ab  | 5.31de  | 6.41c  | 6.85d   |
| 5                   | 30-30                | 2.98               | 3.71bc  | 6.31abc | 6.31cd | 7.51abc |
| 6                   | 30-45                | 2.97               | 3.77bc  | 6.32abc | 6.38c  | 7.82ab  |
| 7                   | 30-60                | 2.69               | 3.48bcd | 7.01a   | 7.15b  | 7.90ab  |
| 8                   | 45-45                | 2.91               | 4.63a   | 6.69ab  | 8.11a  | 7.86ab  |
| 9                   | 0-0                  | 2.85               | 3.99ab  | 5.19e   | 5.56d  | 6.10e   |
| 10                  | 60-75                | 3.36               | 3.85abc | 6.48ab  | 8.23a  | 8.11a   |
| Significancia n. s. |                      |                    | *       | **      | *      | **      |
| c. v. (%)           |                      | 16.35              | 14.78   | 7.68    | 11.58  | 0.26    |

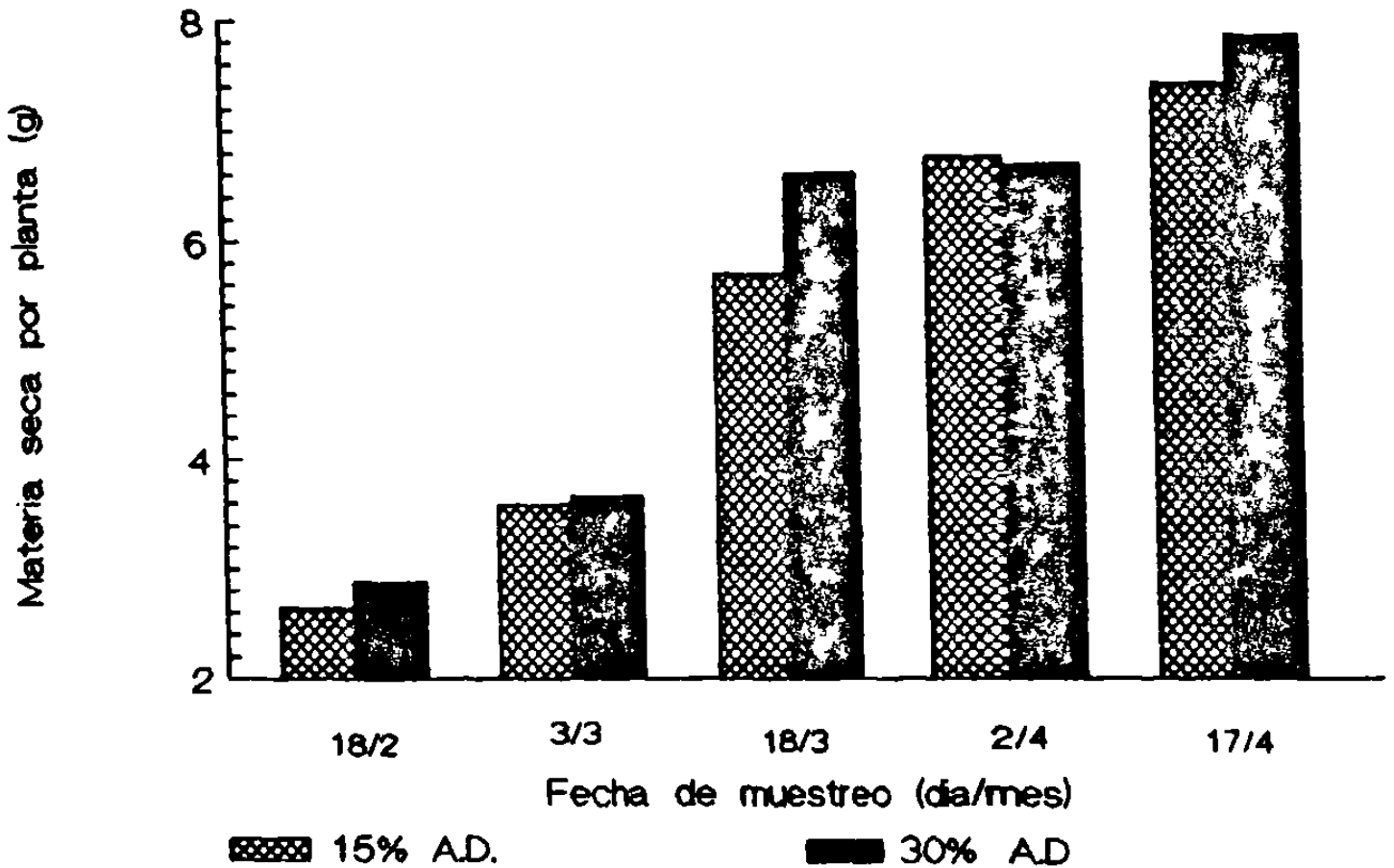


FIGURA 11. Comparación gráfica de la materia seca por planta (g) registrada en cinco muestreos para los niveles 15 y 30% de humedad disponible en el suelo de la etapa vegetativa (Marín N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

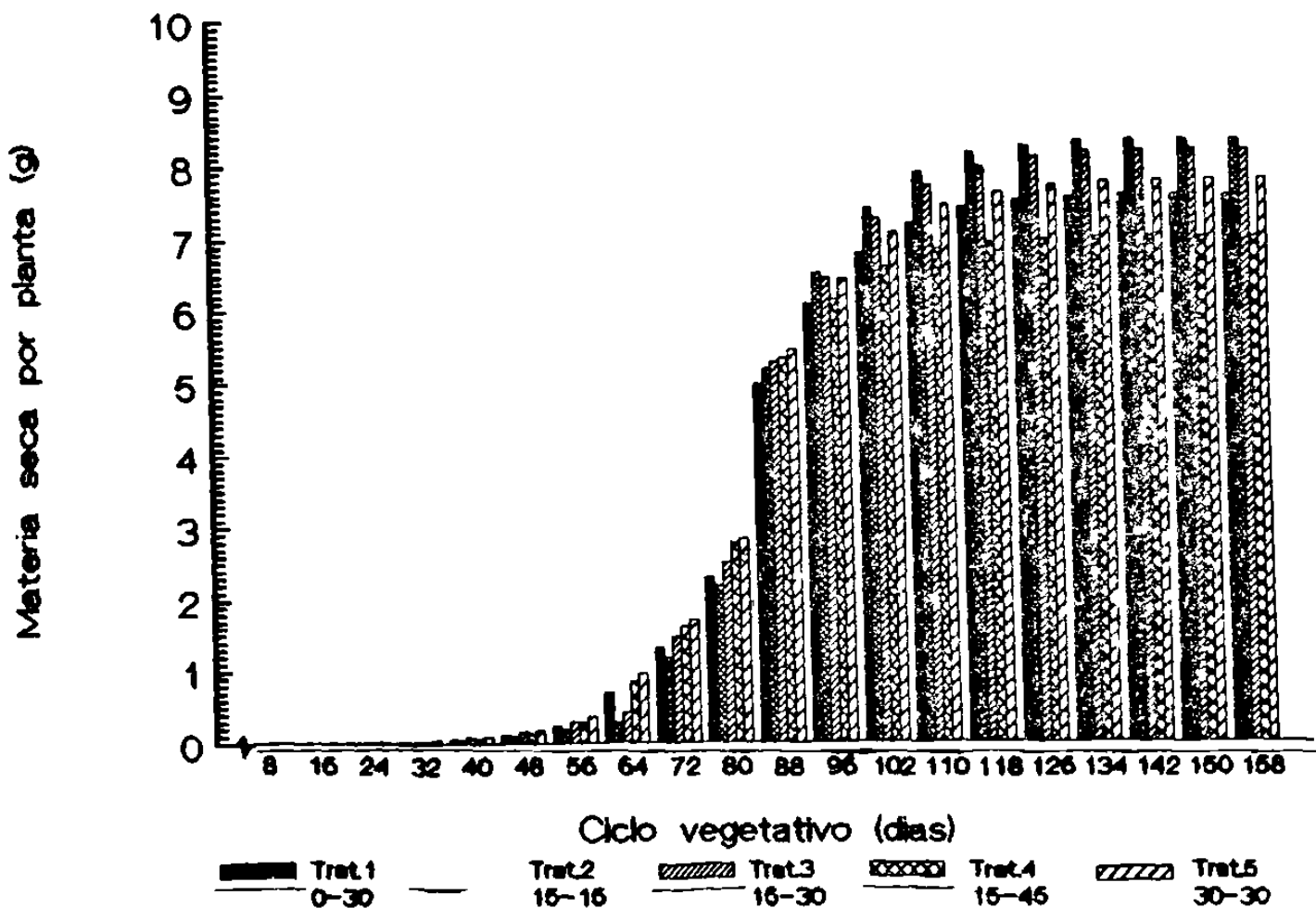


FIGURA 12. Curva logística del crecimiento, definida en base a materia seca por planta (g) de los tratamientos 0-30, 15-15, 15-30, 15-45 y 30-30% de humedad disponible en el suelo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

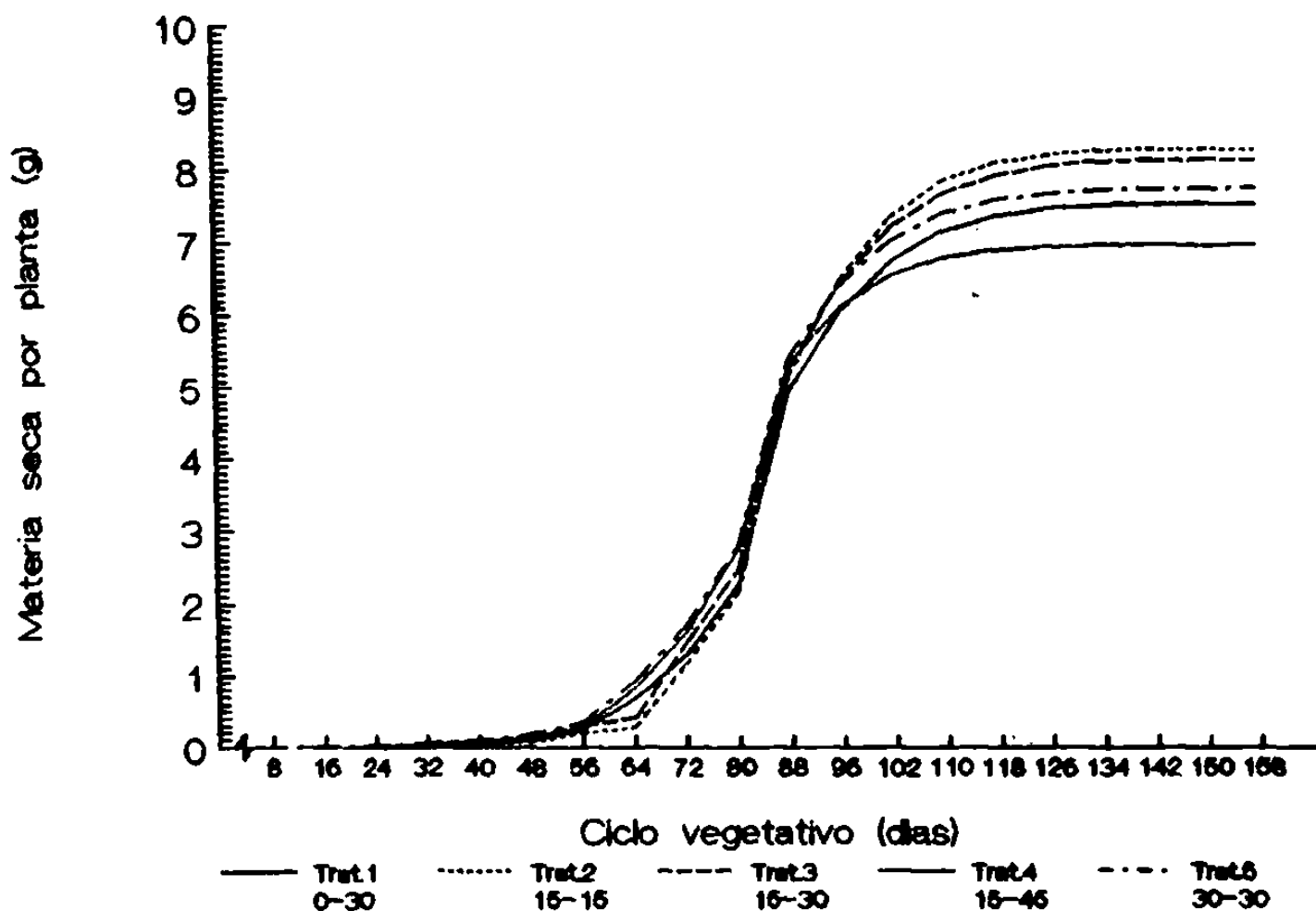


FIGURA 13. Curva logística del crecimiento, definida en base a materia seca por planta (g) de los tratamientos 30-45, 30-60, 45-45, 0-0 y 60-75% de humedad disponible en el suelo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)



En cuarto muestreo (2 de abril), las diferencias entre tratamientos fueron altamente significativas. El primer grupo de significancia, con las medias de materia seca más alta, lo formaron los tratamientos: 60-75 y 45-45, con 8.23 y 8.11 g/plta, respectivamente (Figuras 14 y 15); el segundo grupo lo integraron los tratamientos 15-15 y 30-60 (7.27 y 7.15 g/plta respectivamente). En la Figura 11 se observa que los promedios de materia seca de los niveles 15 y 30% A. D. (antes de floración), fueron similares; ésta fecha coincidió con la etapa de grano lechoso masoso y poco antes del último riego en la mayoría de los tratamientos; el tratamiento 0-0 se encontraba en la etapa de grano masoso, y anticipó su maduración con respecto a las demás combinaciones. De lo anterior, puede inferirse que hubo un mayor transporte de asimilados hacia el grano, donde la humedad disponible era 15% Figura 12 y 13; ésto se apoya en el hecho de que en el tercer muestreo disminuyó el área foliar, y consecuentemente se redujo también la actividad fotosintética comparado con los niveles del tratamiento 30% A.D. (Figura 11).

En el último muestreo (17 de abril), el cultivo se encontraba totalmente seco y los incrementos en el peso de la planta se vieron influenciados por el último riego. El análisis de varianza indicó que existieron diferencias altamente significativas entre tratamientos; los tratamientos de mayor peso de planta fueron: 60-75, 30-60, 45-45 y 30-45, con rango de variación de 8.11 a 7.51 g. El valor más bajo de materia seca correspondió al testigo 0-0% (6.10 g), seguido del tratamiento 15-45 (6.85 g). En el Cuadro 10 y Figuras 12 y 14 se observa que el tratamiento 15-15, a partir de la fecha 18 de marzo, muestra una tasa de crecimiento alta, hasta el último muestreo, quizás debido a una aclimatación, como lo señalan (Mathews y Boyer, 1984) en girasol; Vázquez (1982), en algodón y Gates, citado por Vázquez, en tomate. Dichos autores coinciden al afirmar que, bajo repetidos déficit hídricos, la reducción de la fotosíntesis disminuye.

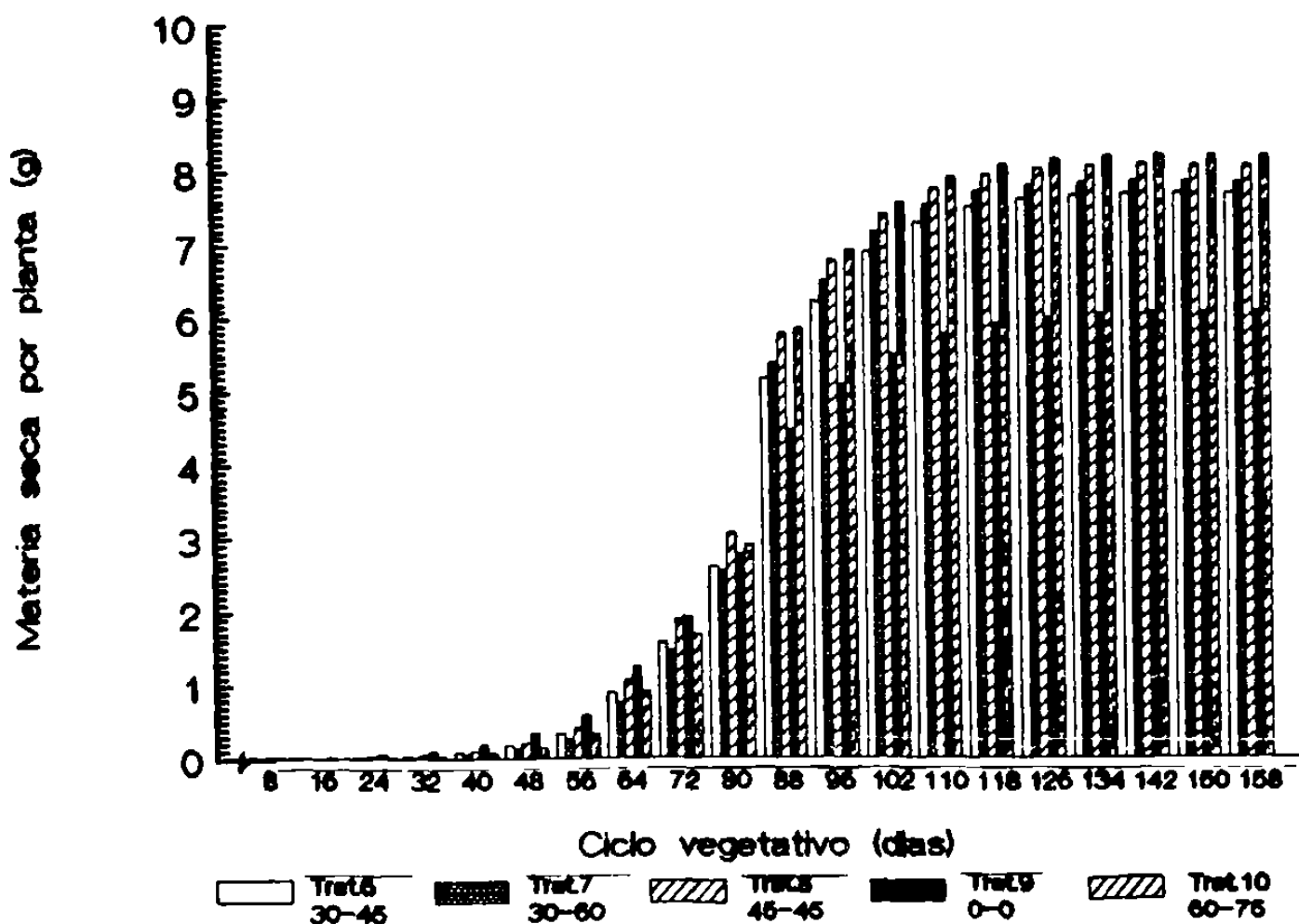


FIGURA 14. Curva logística del crecimiento, definida en base a materia seca por planta (g) acumulada de los tratamientos 0-30, 15-15, 15-30, 15-45 y 30-30% de humedad disponible en el suelo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

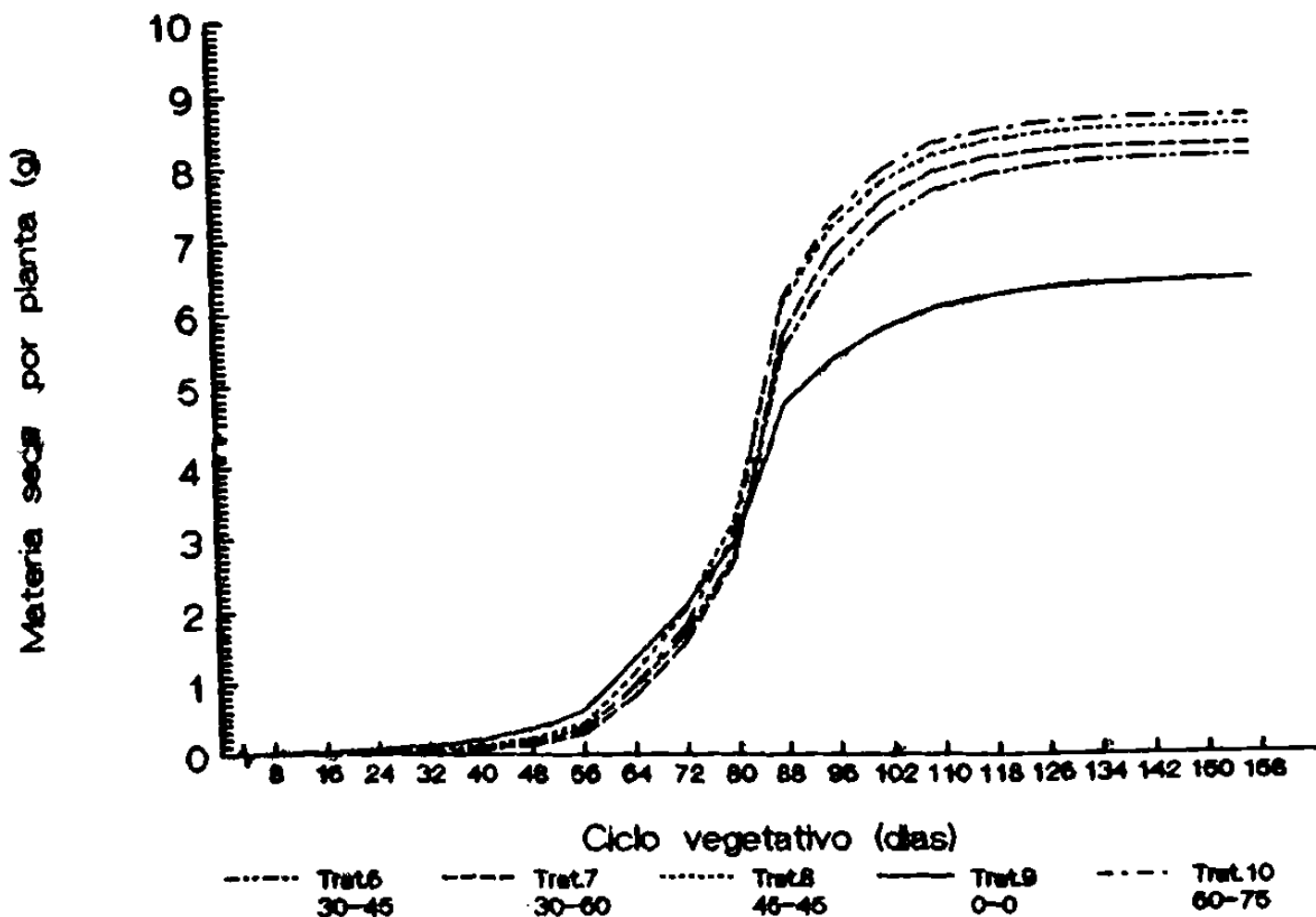


FIGURA 15. Curva logística del crecimiento, definida en base a materia seca por planta (g) acumulada de los tratamientos 30-45, 30-60, 45-45, 0-0 y 60-75% de humedad disponible en el suelo (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

#### 4.3 Estimación del Rendimiento de Grano Influenciado por la Evapotranspiración del Cultivo a través de Diferentes Etapas de Crecimiento.

El análisis de varianza de regresión (Cuadro 6A) reportó que existen diferencias significativas ( $\alpha=.05$ ) entre tratamientos, esto implica que al menos una variable contribuye significativamente al modelo. El coeficiente de determinación fué de  $r^2=0.95$ , es decir, el modelo explica el 95% de la variación de los datos. Al probar la significancia de los coeficientes de regresión del modelo completo, se encontró que las variables  $X_1$  y  $X_2$ , que corresponden a las etapas de plántula (1-23 días) y amacollamiento (23-49) no fueron significativas ( $\alpha=.10$ ). Se efectuó el análisis de varianza para el modelo reducido (Cuadro 7A), el cual reportó efectos altamente significativos, reduciéndose el coeficiente de determinación a  $r^2=0.93$ ; la prueba de significancia de los coeficientes de regresión (Cuadro 9A) indicó que los efectos de éstos fueron significativos ( $\alpha=.10$ ). La comparación entre los valores estimados y observados se muestran en el Cuadro 10A. La no significancia de las variables excluidas del modelo, pudo deberse a que en las primeras etapas de desarrollo no hubo efecto de los diferentes niveles de agua disponible del suelo, ya que en todos los tratamientos el crecimiento se inició en igualdad de condiciones de humedad con el riego de establecimiento; esto se demostró también por la falta de significancia entre tratamientos en el primer muestreo, especialmente las variables: hojas por planta, número de tallos y área foliar total y materia seca.

Para el presente ensayo el modelo de Jansen fué el siguiente:

$$\frac{\hat{Y}}{3441} = \left(\frac{ETR}{ETP}\right)_C^{0.66} \left(\frac{ETR}{ETP}\right)_D^{-0.21} \left(\frac{ETR}{ETP}\right)_E^{0.23} \left(\frac{ETR}{ETP}\right)_F^{-0.19}$$

donde:

$Y_m = 3\ 441\ \text{k/ha}$  = rendimiento máximo alcanzado cuando no existe efecto de déficit hídrico o  $B^* = 0$ .

El factor de sensibilidad  $\lambda = 0.66$ , en el período de diferenciación floral a embuche, indica que en esta etapa el cultivo es más afectado por un déficit hídrico; lo que está de acuerdo a Mayer y Green (1980), quienes mencionan que el momento en que la evapotranspiración comienza a declinar, es el resultado de una tensión hídrica. La sensibilidad en la etapa de floración a grano lechoso es representado por  $\lambda = 0.23$ , que representa una menor sensibilidad del cultivo con respecto a la etapa anterior, pero es más alta, comparada con las etapas de embuche a floración y la de grano lechoso a madurez fisiológica ( $\lambda = -0.21$  y  $\lambda = -0.19$  respectivamente); los resultados anteriores coinciden con lo señalado por Seetharama *et al.* (1983), quienes mencionan que la sensibilidad a un efecto de tensión hídrica varía entre etapas de desarrollo. Sin embargo, es importante mencionar una restricción del modelo anterior, ya que se consideraron las etapas fenológicas (variables independientes) uniformes en días para el total de tratamientos, cuando se observaron diferencias en un aceleramiento o bien un retraso en los días a floración y madurez fisiológica, entre tratamientos como efecto del agua disponible en el suelo.

## 5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se derivan las siguientes conclusiones.

- 1) En base al comportamiento del cultivo en el presente ciclo de prueba, el calendario tentativo de riego para trigo sembrado bajo el método de surcos a doble hilera sería: a) riego de establecimiento (12 a 15 cm de agua); b) el primer riego de auxilio, en la etapa de diferenciación floral, 35 días después del establecimiento del cultivo (10 cm); c) el segundo riego en la etapa de embuchamiento 45 días después del primero de auxilio (10 cm) y d) el tercer riego de auxilio, en la etapa grano lechoso, 20 días después del segundo (10 cm). Con lo anterior, se tendría una lámina de riego de 420 a 450 mm de agua. Donde Existen limitaciones de agua, puede suprimirse el tercer riego de auxilio, siempre y cuando se aplique una lámina de 15 cm en la etapa de embuche (segundo riego de auxilio).
- 2) El tratamiento con el cuál se obtuvo el máximo rendimiento de grano (3 211 k/ha) consistió en mantener 45% de humedad disponible en el suelo en las etapas vegetativa y reproductiva. Pequeñas y frecuentes láminas de riego, que mantienen un nivel alto de humedad en el suelo (60-75%) a lo largo del ciclo vegetativo, promueven un crecimiento foliar excesivo y ocasionan un desbalance entre las etapas vegetativa y reproductiva, repercutiendo en una disminución del rendimiento de grano.

- 3) En general se observó que niveles bajos de agua disponible en el suelo reducen el rendimiento de grano y sus principales componentes (días de llenado de grano, índice de cosecha, altura de planta en floración, número de hojas por planta en la etapa de llenado de grano y el peso de grano); dichos efectos se explican en base a la cantidad (evapotranspiración real) y oportunidad (etapas fenológicas) en la aplicación del agua de riego; los resultados apoyan la segunda hipótesis planteada.
- 4) No fué posible determinar el nivel óptimo fisiológico, debido a que el modelo polinomial de segundo grado propuesto, reportó diferencias significativas al realizar la prueba de falta de ajuste; solo se observó una relación lineal con los niveles de agua disponible en la etapa vegetativa.
- 4) El modelo de Jansen probado, indicó que los períodos de mayor susceptibilidad del cultivo de trigo a déficit hídricos son: de diferenciación floral a embuche y de floración a grano lechoso; por lo que se apoya la cuarta hipótesis.

#### Recomendaciones:

Considerando que los resultados anteriores son de un solo ciclo de prueba, existe la necesidad de verificar el calendario tentativo de riego, se recomienda probar diferentes láminas de riego en las etapas fenológicas: germinación, diferenciación floral, embuchamiento y grano lechoso, con el fin de establecer con mayor precisión el calendario de riego para trigo, sembrando bajo el método de siembra en surcos a doble hilera y poder integrar el paquete tecnológico para trigo.

También se recomienda utilizar otras variedades de trigo de reciente liberación, debido a que el material utilizado para el presente trabajo en los últimos tres años ha demostrado ser susceptible a roya de la hoja.



## 6. LITERATURA CITADA

- Aasen, J. K. 1978. Relationship between leaf area and dry matter in winter wheat. *Agron. J.* 70:563-565.
- Adame, B. E. Y R. E. Alvarez 1985. Evaluación de métodos y densidades de siembra en trigo en la Zona Centro de Nuevo León ciclo 0 - I 82 - 84. Avances de Investigación, Archivo CAEGET SARH - INIA - CIAGON Campo Agrícola Experimental General Terán, N. L. Mex.
- Adams, M. W. 1967. Basis of component compensation in crop plants with special reference *Crop Sci.* 7:505-510.
- Aguilar, S. M. 1986. Efectos de la tensión hídrica edáfica en diferentes etapas del desarrollo sobre el crecimiento de Phaseolus acutifolius var. Latifolius F. y Phaseolus vulgaris L. Tesis de Maestría en Ciencias. Subdirección de Estudios de Postgrado. FAUANL. Marín, N.L.
- Al-Khafaf, S., F. J. Wierenga and B. C. Williams. 1978. Evaporative flux irrigated cotton as related to leaf area index, soil water, and evaporative demand. *Agron. J.* 70:912-917
- Arellano G, M. A. 1985. Rendimiento de grano de tres cereales en relación con el desarrollo radicular y vegetativo. Tesis de Ingeniero Agrónomo Especialidad en Irrigación, Departamento de Riego y Drenaje, UAAAN. Saltillo, Coah.

- Begg, J. E., and N. C. Turner. 1976. Crop water deficit. *Agron. J.* 28:161-167.
- Bielorain, H., and P. A. M. Hopmans. 1975. Recovery of leaf water potential transpiration and photosynthesis of cotton during irrigation cycles. *Agron. J.* 67:629-632.
- Bland, B.L., and N.J. Rosenberg. 1976. Evaluation of resistance and mass transport evapotranspiration models requiring canopy temperature data. *Agron. J.* 68:764-768.
- Boyer, J. S., and H. G. McPhearsons. 1975. Physiology of water deficit in cereal crops *Adv. Agron.* 26:1-23.
- Burleigh, J. R., R. E. Allan and O. A. Vogel. 1965. Varietal differences in seedling emergence of winter wheats as influenced by temperature and depth of plants. *Agron. J.* 57:195-198.
- Cambell, C. A. 1968. Influence of soil moisture stress applied at various stages of growth on the yield components of Chinok wheat. *Can. J. Plant Science.*
- Carl, A. L. 1964. Plant growth and development. McGraw Hill Book Company. New York, U.S.A. pp. 393-408
- Chen, D. B., and S. P. Monselise. 1964. Studies on water regime and nitrogen metabolism of citrus seedlings grown under water stress. *Plant Physiol.* 39:379-386
- Clawson, K. L., J. E. Specht, B.L. Bland and A. F. Garay. 1986. Water use efficiency in soybean pubescence density isolate - A calculation procedure for estimating daily values. *Agron. J.* 78:480-483.

- Cox, G. W., and M. D. Atkins. 1979. Agricultural ecology Ed. Freeman, W. H. Freeman and Company San Francisco, U.S.A.
- Daubenmire, R. F. 1982. Ecología Vegetal. Tratado de Autoecología de plantas. 3a. edición. G. Bewondo. (Trad.) Limusa. México, D.F.
- Day, A.D., and S. Intalap. 1970. Some effects of soil moisture stress on the growth of wheat. (triticum aestivum L.) Agron. J. 62:27 p.
- Domínguez, V. A. 1984. Tratado de fertilización. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Doss, B. D., D.A. Ashley and O.L. Bennett. 1960. Effect of soil moisture regime on root distribution of warm season forage species. Agron. J. 52:569-572.
- Duron, N. J. 1981. Evaluación de 4 sistemas de siembra y 5 densidades de semilla en trigo. Avance de Investigación, Publicación Ciano No. 9 SARH-INIA-CIANO, Cd. Obregón, Sonora México.
- Eastham, J., D. M. Dosterhuis, and S. Walker. 1984. Leaf water and turgor potential threshold values for growth of wheat. Agron. J. 76:841-847.
- Ehrler, W. L., S.B. Idso; R.D. Jackson and R.J. Reginato. 1978. Diurnal changes in plant water potential and canopy temperature of wheat as affected by drought. Agron. J. 70:999-1004.
- Escobosa G, L. F. 1983. Construcción y uso de una función de respuesta del trigo en base a las variaciones de la

humedad del suelo. Tesis de Maestro en Ciencias CP, SARH, Chapingo, México. 123 p.

- Feyerherm, A. M., and G.M. Paulsen. 1986. Development of weather yield function for winter wheat. Agron. J. 78:1012-1017.
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, Editorial PATENA. Chapingo, México. 71 p.
- Hall, A. E., K. W. Foster and J. G. Waines. 1979. Agriculture in semi - arid environments. Springer - Verlag. Berlín. Heidelberg. New York. Germany. pp. 148-492.
- Hanks, R. J., and V. P. Rasmussen. 1982. Predicting crop production as related to plant water stress Adv. Agron. 35:193-215.
- Hanway, J. J. 1963. Growth stages of Corn (Zea mays L.). Agron. J. 55:487-492.
- Harold, V. E. 1986. Effects of water deficits on yield components, and water use efficiency of irrigated corn. Agron. J. 18:1035-1040.
- Hidalgo, G. A. 1971. Metodos modernos de riego de superficie. Ed. Aguilar, S.A. de Ediciones, Juan Bravo. Madrid, España. 152 p.
- Hodges, T., and E.T. Kenemassu. 1977. Modeling daily dry matter production of winter wheat. Agron. J. 69:974-978.
- Hofmann, W. C., M. K. O'Neill and A. K. Dobrenz. 1984.

Physiological response to sorghum hybrids and parental lines to soil moisture stress. *Agron. J.* 76:223.

Hsiao, T. C. 1973. Plant response to water stress. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24:519-570.

Hurd, E. A. 1975. Phenotype and drought tolerance in wheat. John F.S. Ed. Elsevier Scientific Publishing Company New York pp. 39-55.

Kaufman, M. R., and A. E. Hall. 1974. Plant water balance its relationship to atmospheric and edaphic conditions. *Agric. Meteorol.* 14:85-98.

Kenemassu, E. T. 1976. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. *Agron. J.* 68:569-572.

-----, 1983. Irrigation in the great plains. *Agricultural Water Management.* 7:157-178.

Klepper, B., R. K. Belford and R. N. Rickman. 1984. Root and shoot development in winter wheat. *Agronomy Journal.* 55:117.

Kramer, P. J. 1963. Water stress and plant growth. *Agron. J.* 55:31-32.

-----, 1969. Plant and water relationships. A modern synthesis. McGraw-Hill. New York, U.S.A.

-----, 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna. Edutex, S.A. México, D.F.

-----, 1980. Drought stress and the origin of

adaptations. In: "Adaptationes of plant water and high temperature stress" N.C. Turner y P. J. Kramer (eds.). John Wiley and Son. New York. pp. 11-12.

Kretovich, W. L. 1965. Some problems of aminoacid and amide biosynthesis in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 16:141-154.

León, R. R. 1982. Interacción de diferentes número de riegos de auxilio en etapas fenológicas y 2 métodos de siembra. Avances de Investigación, Publicación Ciano No. 11. SARH- INIA-CIAND, Cd. Obregón, Sonora. México.

Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stress. T.T. Kouzlowski, (ed.). Academic Press, Inc. New York, U.S.A. pp. 322-445.

-----, 1978. Crop tolerance to suboptimal land conditions A.G. Jung, (ed.). Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. and Soil Science Soc. Wisconsin, U.S.A. pp. 161-172.

Lewis, R. B., E.A. Hiler and N.R. Jordan. 1974. Susceptibility of grain sorghum to water deficit at three growth stages. Agron. J. 66:589-590.

Luján, F. M. 1985. Rendimiento y crecimiento de dos variedades de cebolla en cinco fechas de siembra en la región de Delicias, Chihuahua. Revista itotecnia SOMEFI A.C. No.7:118.

Matthews, M. A., and J. S. Boyer. 1984. Acclimatation of photosynthesis to low leaf water potentials. Plant Physiol. 74:161-166.

Meyer, W.S., and G.C. Green. 1980. Water use by wheat and plant

indicators of available soil water. Agron. J. 72:253-257.

Mitchell, R. L. 1970. Crop growth and culture. Iowa State University Press. Ames. 257 p.

Moreno, R. O., y G. C. Castro. 1981. Determinación del calendario de riegos para trigo en surcos con tres densidades de siembra. Avances de Investigación, Publicación Ciano No. 9 SARH-INIA-CIANO. Cd. Obregón, Sonora. México.

-----, M. G. Salazar., y S. M. Mendoza. 1982. La siembra de trigo en surcos. Folleto Técnico, SARH-INIA-CIANO, Campo Agrícola Experimental Valle de Yaqui. Obregón, Sonora. México.

Muñoz, O. A., S. F. Márquez y C. J. Ortiz. 1973. Estudio preliminar sobre un método de selección para resistencia a sequía en maíz. Agrociencia No. 11:15-28

Newman, E. I. 1974. The plant root and its environment. Edit. E.W. Carlon (Ed). University Press of Virginia. Charlottesville, Virginia, U.S.A. pp. 363-440.

McNeal, F. H., E. P. Smith and M. A. Berg. 1974. Plant height, grain yield and yield components for relationships in spring wheat. Agron. J. 66:575-578.

Noggle, G. R., and G. J. Fritz. 1976. Introductory plant physiology Prentice - Hall, Inc. Englewood Cliff, New Jersey. pp. 414-445.

Nobel, P. S. 1983. Biophysical plant physiology and ecology.

W.H. Freeman and Company. New York. pp. 583-586.

Ortiz, C. J. 1987. Elementos de agrometeorología cuantitativa. Departamento de Suelos, UACH Chapingo, México. 146 p.

Pandey, R. K., W. A. T. Herrera and J. W. Pandleton. 1984a. Drought response of grain legumes under irrigation gradient: I. Yield and components. Agron. J. 76:549-553.

-----, 1984b. Drought response of grain legumes under irrigation gradient: II. Plant water status and canopy temperature. Agron. J. 76:549-553.

-----, 1984c. Drought response of grain legumes under irrigation gradient: III. Plant growth. Agron. J. 76:549-553.

Parker, J. 1972. Water deficits and plants growth. T. T. Kozlowski. (ed.). Academic Press. New York, U.S.A. pp. 125-167.

Pearsons, L. R. 1979. Breeding for drought resistance: wheat plant characteristics impart resistance? Hort. Sci. 14:590-593.

-----, 1987. Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. 1ra., ed. M.N. Christiansen, and C.F. Lewis. (eds.). Francisco J. Castro Rivera. Limusa Willey. México, D.F. pp. 211-227.

Poehlman, J. M. 1981. Mejoramiento genético de las cosechas. 7ma., ed. trad. Nicolas Sánchez. Edit. Limusa, S.A. de C.V. México, D.F. pp. 123-146.



- Proffitt, A. P., P. R. Berlainer and D. M. Oosterhurs. 1985. A comparative study of root distribution and water extraction efficiency by wheat grown under high and low-frequency irrigation. *Agron. J.* 77:659-661.
- Ramírez, H. P. 1988. Modelos de producción para trigo en función de la evapotranspiración en tres etapas fenológicas. Tesis de Maestro en Ciencias Departamento de Riego y Drenaje. UAAAN. Saltillo, Coahuila México. 38 p.
- Rasmussen, V.P., and R.J. Hanks. 1978. Spring wheat yield model for limited moisture conditions. *Agron. J.* 70:940-944.
- Rosenthal, W. D., E. T. Kenemasu, R. J. Raney and L. R. Stone. 1977. Evaluation of an evapotranspiration model for corn. *Agron. J.* 69:461-464.
- Saint-Clair, P. M. 1981. Guía para estudiar la resistencia de las plantas a la sequía. Informe técnico No. 8. Programa Cultivos Anuales. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Salter, P. J., and J. E. Goode. 1967. Crop response to water at different stages of growth. *Commonw. Agric. Bureau, Farnham royal, Bucks, England.* p. 246.
- Sandoval, O. J. 1983. El régimen de humedad en el suelo y su efecto sobre componentes del rendimiento de grano del trigo. Tesis de Maestro en Ciencias. CP, SARH, Chapingo, México.
- Saunier, R. E., H.M. Hull and J.H. Ehrenreich. 1969. Aspects of the drought tolerance in Creosotebush (Larrea divaricata L.). *Plant Physiol.* 43:401-404.

- Seetharama, N. 1983. Physiological basis for increasing and stabilising yield under drought in sorghum. Proc. Indian Natn. Sc. Acad. B49 No.5 New Delhi, India. pp. 498-523.
- Slatyer, R. D. 1967. Plant water relationships. J.F. Sutcliffe, and P. Mahlberg. (Eds.). Academic Press. London and New York. U.S.A. 92 p.
- Shanahan, J. E., and D. C. Nielsen. 1987. Influence of growth retardants (antigibberellins) on corn vegetative growth, water use, and grain yield under different levels of water stress. Agron. J. 79:103-109.
- Sullivan, C. Y., and J. D. Eastin. 1974. Plant physiology responses to water stress. Agric. Meteorol. 14:113-127.
- Tanaka, A. y J. Yamaguchi. 1972. Producción de materia seca, componentes del rendimiento de grano de maíz. Traduc. J. Kohashi. Rama de Botánica. CP, SARH, Chapingo, México. pp. 15-18.
- Thorne, M. D. 1979. Soil, water and crop production. D. W. Thorne and M. D. Thorne (eds. ). Avi Publishing Company, Inc. Connecticut, U.S.A. pp. 41-53.
- Turner, N. C. 1979. Stress physiology in crop plants. H. Mussell and C. D. Richard (eds.). John Wiley and Sons, Inc. pp. 343-370.
- Turrent, F. A. 1978. Método gráfico - estadístico para la interpretación económica de experimentos conocidos con la matriz Plan Fuebla I. Rama de suelos, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

- Vázquez A, R. E. 1982. Response of cotton (Gossypium hirsutum L.) to several levels of soil water availability at two growth stages and the use of response surface methodology in the analysis of irrigation studies. Dissertation Philosophy doctor. New Mexico state University, Las Cruces, New Mexico.
- Vázquez A, R. E. 1984. Relaciones suelo-planta-agua. Apuntes de clase (mimeografiado). División de Estudios de Postgrado, FAUANL. Marín, N.L. 6 p.
- Vázquez H, F. R. 1987. Reforestación en áreas degradadas adaptando el método de tinajas ciegas. Tesis de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, FAUANL. Marín, N.L.
- Winter, E. J. 1977. El agua, el suelo y la planta. A. Contin. (trad. ). Editorial Diana. México. pp. 149-159.
- Wong, R. R. 1979. Comportamiento de las características agronómicas, índices fisiológicos y patrones de crecimiento de 50 genotipos de sorgo bajo el esquema riego-sequía. Tesis de Maestría Rama de Genética CP, SARH, Chapingo México.
- Verma, S. B., N.J. Rosenberg, B.L. Blad and M.W. Baradas. 1976. Resistance energy balance method for predicting evapotranspiration: determination of boundary layer resistance and evaluation of error effects. Agron. J. 68:776-781.

## 7. APENDICE

CUADRO 1A. Análisis de varianza de la variable rendimiento de grano (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| Fuente      | g.l. | s.c. | c.m.  | fcal.  | ftab.        |              |
|-------------|------|------|-------|--------|--------------|--------------|
|             |      |      |       |        | $\alpha=.05$ | $\alpha=.01$ |
| Tratamiento | 9    | 4.10 | 0.456 | 7.11** | 2.25         | 3.14         |
| Bloque      | 3    | 0.63 | 0.210 | 3.28*  | 2.96         | 4.60         |
| Error       | 27   | 1.73 | 0.64  |        |              |              |
| Total       | 39   | 6.46 |       |        |              |              |

c. v. = 9.5%

CUADRO 2A. Análisis de varianza de la regresión del modelo polinomial de segundo grado completo, de la variable rendimiento de grano (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| Fuente          | g.l. | s.c.  | c.m.  | fcal.  | ftab.        |              |
|-----------------|------|-------|-------|--------|--------------|--------------|
|                 |      |       |       |        | $\alpha=.05$ | $\alpha=.01$ |
| Regresión       | 5    | 1.174 | 0.235 | 3.06*  | 2.59         | 3.82         |
| Falta de ajuste | 2    | 0.520 | 0.265 | 4.33** | 3.40         | 5.61         |
| Error puro      | 24   | 1.467 | 0.061 |        |              |              |
| Residual        | 26   | 1.996 |       |        |              |              |
| Total           | 57   | 5.157 |       |        |              |              |

CUADRO 3A. Análisis de varianza de la regresión del modelo polinomial de segundo grado reducido, de la variable rendimiento de grano (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| Fuente          | g.l.      | s.c.         | c.m.  | fcal.              | ftab.        |              |
|-----------------|-----------|--------------|-------|--------------------|--------------|--------------|
|                 |           |              |       |                    | $\alpha=.05$ | $\alpha=.01$ |
| Regresión       | 1         | 0.850        | 0.850 | 10.99**            | 4.17         | 7.56         |
| Falta de ajuste | 6         | 0.852        | 0.142 | 2.32 <sup>ns</sup> | 2.51         | 3.67         |
| Error puro      | 24        | 1.467        | 0.061 |                    |              |              |
| Residual        | 30        | 2.319        |       |                    |              |              |
| <b>Total</b>    | <b>61</b> | <b>5.488</b> |       |                    |              |              |

CUADRO 4A. Significancia de los coeficientes de regresión para los modelos polinomial de segundo grado completo y reducido, de la variable rendimiento de grano (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| Variable                     | coeficientes del modelo |              |          |              |
|------------------------------|-------------------------|--------------|----------|--------------|
|                              | completo                | $\alpha=.05$ | reducido | $\alpha=.05$ |
| Interceptada                 | 2.856                   | n.s.         | 2.418    | **           |
| Etapa vegetativa ( $X_1$ )   | 0.004                   | n.s.         | 0.013    | **           |
| Etapa reproductiva ( $X_2$ ) | -0.027                  | n.s.         |          |              |
| Cuadrática ( $X_1^2$ )       | 0.001                   | n.s.         |          |              |
| Cuadrática ( $X_2^2$ )       | 0.001                   | n.s.         |          |              |
| ( $X_1$ ) ( $X_2$ )          | -0.001                  | n.s.         |          |              |
| Coef. de determinación       | 0.37                    |              | 0.27     |              |
| Falta de ajuste              | **                      |              | n.s.     |              |

CUADRO 5A. Análisis de varianza del modelo de regresión lineal múltiple, de la variable rendimiento de grano (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| Fuente    | g.l. | s.c.   | c.m.   | fcal.   | ftab. $\alpha=0.01$ |
|-----------|------|--------|--------|---------|---------------------|
| Regresión | 6    | 4.5028 | 0.9006 | 34.56** | 3.38                |
| Residual  | 34   | 0.8861 | 0.0261 |         |                     |
| Total     | 39   | 5.3889 |        |         |                     |

$$r^2 = 0.83$$

CUADRO 6A. Análisis de varianza de la regresión del rendimiento de grano en relación a la evapotranspiración del cultivo (ETR/ETP) de seis etapas fenológicas (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| Fuente    | g.l. | s.c.   | c.m.   | fcal. | ftab. $\alpha=0.05$ |
|-----------|------|--------|--------|-------|---------------------|
| Regresión | 6    | 0.0279 | 0.0046 | 9.26* | 8.94                |
| Residual  | 3    | 0.0015 | 0.0005 |       |                     |
| Total     | 9    | 0.0294 |        |       |                     |

$$r^2 = 0.95$$

CUADRO 7A. Análisis de varianza de la regresión del rendimiento de grano en relación a la evapotranspiración del cultivo (ETR/ETP) de cuatro etapas fenológicas (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| Fuente    | g.l. | s.c.   | c.m.   | fcal.   | ftab. $\alpha=0.01$ |
|-----------|------|--------|--------|---------|---------------------|
| Regresión | 4    | 0.0272 | 0.0068 | 15.60** | 11.39               |
| Residual  | 5    | 0.0021 | 0.0004 |         |                     |
| Total     | 9    | 0.0294 |        |         |                     |

$$r^2 = 0.92$$

|       | RTO.   | PE.    | P100B  | SE.    | PH.    | EP.    | BP.    | DF.    | DMF.   | LLG.   | LE.    | API.   | MP1.   | TP1.   | AFM1   | AP2.   |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1.00) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| PE.   | 0.59   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| P100B | 0.36   | 0.44   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| SE.   | 0.06   | 0.62** | 0.43   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| PH.   | 0.32** | 0.46   | 0.66** | 0.11   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| EP.   | 0.32   | 0.21   | 0.01   | -0.22  | 0.05   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| BP.   | 0.30   | 0.36   | 0.33   | 0.65** | 0.07   | 0.59** | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| DF.   | 0.24   | 0.03   | -0.16  | 0.10   | 0.48   | 0.45   | 0.47   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| DMF.  | 0.74** | 0.05   | 0.24   | 0.13   | 0.60** | 0.22   | 0.27   | 0.28   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |
| LLG.  | 0.13   | 0.49   | 0.42   | 0.11   | 0.10   | 0.29   | 0.30   | 0.26   | 0.16   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |
| LE.   | 0.13   | 0.13   | 0.06   | 0.09   | 0.20   | 0.29   | 0.26   | 0.42   | 0.54** | 0.04   | 1.00   |        |        |        |        |        |
| AF1.  | 0.18** | 0.02   | 0.02   | -0.06  | 0.14   | -0.06  | -0.05  | 0.05   | 0.04   | 0.04   | 0.16   | 1.00   |        |        |        |        |
| MP1.  | 0.04   | 0.02   | -0.01  | 0.01   | 0.01   | 0.16   | 0.18   | 0.17   | 0.11   | 0.04   | 0.17   | 0.75** | 1.00   |        |        |        |
| TP1.  | 0.09   | 0.04   | 0.08   | 0.03   | -0.16  | 0.34   | 0.36   | 0.34   | 0.66** | 0.52** | 0.47   | 0.37   | 0.31   | 1.00   |        |        |
| AFM1  | 0.57** | 0.24   | 0.14   | 0.11   | 0.15   | 0.34   | 0.35   | 0.59** | 0.74** | 0.56** | 0.58** | 0.15   | 0.28   | 0.64** | 1.00   |        |
| AP2.  | 0.61** | 0.06   | 0.14   | 0.09   | 0.29   | 0.55** | 0.35   | 0.22   | 0.74** | 0.56** | 0.26   | 0.13   | 0.43   | 0.27   | 0.21   |        |
| MP2.  | 0.17   | 0.12   | 0.09   | 0.04   | -0.07  | 0.03   | 0.08   | 0.22   | 0.06   | 0.06   | 0.13   | 0.24   | 0.27   | 0.33   | 0.36   | 0.29   |
| TP2.  | 0.29   | 0.08   | 0.07   | 0.09   | 0.19   | 0.11   | 0.19   | 0.31   | 0.23   | 0.10   | 0.21   | 0.36   | 0.35   | 0.29   | 0.62** | 0.48   |
| AFM2  | 0.31   | 0.08   | 0.03   | 0.08   | 0.13   | 0.29   | 0.27   | 0.47   | 0.40   | 0.23   | 0.11   | 0.57** | 0.04   | 0.05   | 0.42   | 0.45   |
| AP3.  | 0.60** | 0.24   | 0.28   | 0.01   | 0.20   | 0.32   | 0.22   | 0.35   | 0.59** | 0.57** | 0.18   | 0.30   | 0.24   | 0.18   | 0.55** | 0.41   |
| MP3.  | 0.51** | 0.34   | 0.30   | 0.08   | 0.27   | 0.27   | 0.28   | 0.39   | 0.58** | 0.51** | 0.26   | 0.35   | 0.22   | 0.23   | 0.40   | 0.56** |
| TP3.  | 0.48   | 0.23   | 0.14   | 0.08   | 0.26   | 0.37   | 0.21   | 0.44   | 0.35   | 0.45   | 0.39   | 0.35   | 0.22   | 0.29   | 0.73** | 0.80** |
| AFM3  | 0.67** | 0.15   | 0.09   | 0.05   | 0.30   | 0.40   | 0.37   | 0.64** | 0.82** | 0.67** | 0.26   | 0.58** | 0.19   | 0.29   | 0.73** | 0.80** |
| LC.   | 0.67** | 0.13   | 0.16   | 0.01   | 0.24   | 0.14   | 0.15   | 0.07   | 0.29   | 0.42   | -0.08  | 0.51** | 0.20   | 0.12   | 0.29   | 0.13   |
| MA.   | 0.23   | 0.02   | 0.29   | 0.06   | 0.24   | 0.24   | -0.15  | -0.43  | 0.38   | 0.24   | 0.07   | 0.13   | 0.05   | 0.03   | 0.36   | 0.35   |
| AP1   | 0.25   | 0.07   | 0.04   | 0.04   | 0.05   | 0.08   | 0.09   | 0.25   | 0.30   | 0.24   | 0.09   | 0.31   | 0.53** | 0.71** | 0.67** | 0.37   |
| AF11  | 0.15   | 0.12   | 0.04   | 0.06   | -0.11  | 0.15   | 0.18   | 0.37   | 0.77   | 0.06   | 0.14   | 0.17   | 0.44   | 0.42   | 0.47   | 0.37   |
| AP13  | 0.62** | 0.30   | 0.25   | 0.08   | 0.31   | 0.34   | 0.34   | 0.52** | 0.73** | 0.63** | 0.28   | 0.44   | 0.24   | 0.24   | 0.67** | 0.61** |
| TAH1  | 0.26   | 0.09   | 0.05   | 0.04   | 0.05   | 0.08   | 0.12   | 0.25   | 0.31   | 0.24   | 0.09   | 0.31   | 0.93** | 0.71** | 0.68** | 0.37   |
| IAF2  | 0.23   | 0.01   | 0.10   | 0.06   | 0.12   | 0.25   | 0.26   | 0.45   | 0.37   | 0.21   | 0.18   | 0.51** | 0.45   | 0.35   | 0.46   | 0.44   |
| IAF3  | 0.62** | 0.31   | 0.02   | 0.09   | 0.32   | 0.33   | 0.34   | 0.53** | 0.74** | 0.61** | 0.29   | 0.44   | 0.23   | 0.22   | 0.66** | 0.60** |
| MSCA  | 0.45   | 0.34   | 0.20   | 0.16   | 0.34   | 0.68** | 0.68** | 0.67** | 0.68** | 0.21   | 0.43   | 0.34   | 0.11   | 0.10   | 0.51** | 0.60** |

CUADRO 8A. Matriz de correlaciones simples de las variables agronómicas y morfológicas de trigo, en respuesta a diferentes niveles de humedad en el suelo (%) (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)



|      | MP2.   | TP2    | AFH2   | AP3  | MP3     | TP3    | AFH3   | I.C.  | UEA.    | AF1    | AFT2   | AFT3   | IAF1   | INF2 | IAF3   | MSCA |
|------|--------|--------|--------|------|---------|--------|--------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|------|--------|------|
| MP2. | 1.00   |        |        |      |         |        |        |       |         |        |        |        |        |      |        |      |
| TP2. | 0.777  | 1.00   |        |      |         |        |        |       |         |        |        |        |        |      |        |      |
| AFH2 | 0.528  | 0.5784 | 1.00   |      |         |        |        |       |         |        |        |        |        |      |        |      |
| AP3. | 0.23   | 0.31   | 0.5288 | 1.00 |         |        |        |       |         |        |        |        |        |      |        |      |
| MP3. | 0.10   | 0.12   | 0.29   | 0.31 | 1.00    |        |        |       |         |        |        |        |        |      |        |      |
| TP3. | 0.01   | 0.11   | 0.35   | 0.31 | 0.5388  | 1.00   |        |       |         |        |        |        |        |      |        |      |
| AFH3 | 0.19   | 0.27   | 0.42   | 0.49 | 0.6588  | 0.47   | 1.00   |       |         |        |        |        |        |      |        |      |
| I.C. | 0.04   | 0.24   | 0.15   | 0.37 | 0.14    | 0.13   | 0.25   | 1.00  |         |        |        |        |        |      |        |      |
| UEA. | 0.37   | -0.18  | 0.18   | 0.10 | -0.5788 | 0.29   | -0.41  | 0.20  | 1.00    |        |        |        |        |      |        |      |
| AF1  | 0.43   | 0.35   | 0.5288 | 0.19 | 0.40    | 0.33   | 0.43   | 0.27  | -0.10   | 1.00   |        |        |        |      |        |      |
| AFT2 | 0.9288 | 0.75   | 0.8288 | 0.43 | 0.19    | 0.16   | 0.32   | 0.03  | -0.13   | 0.5288 | 1.00   |        |        |      |        |      |
| AFT3 | 0.14   | 0.20   | 0.36   | 0.42 | 0.9588  | 0.5688 | 0.8688 | 0.20  | -0.3688 | 0.5088 | 0.2688 | 1.00   |        |      |        |      |
| IAF1 | 0.42   | 0.34   | 0.5288 | 0.19 | 0.41    | 0.33   | 0.44   | 0.27  | -0.11   | 0.9988 | 0.5288 | 0.46   | 1.00   |      |        |      |
| IAF2 | 0.6888 | 0.57   | 0.6788 | 0.43 | 0.17    | 0.22   | 0.44   | 0.11  | 0.18    | 0.5388 | 0.7788 | 0.37   | 0.5288 | 1.00 |        |      |
| IAF3 | 0.14   | 0.19   | 0.36   | 0.43 | 0.9288  | 0.5688 | 0.8688 | 0.19  | -0.5788 | 0.43   | 0.26   | 0.3788 | 0.44   | 0.39 | 1.00   |      |
| MSCA | 0.13   | 0.17   | 0.32   | 0.34 | 0.5288  | 0.49   | 0.5788 | -0.22 | -0.5088 | 0.11   | 0.24   | 0.6088 | 0.12   | 0.35 | 0.6088 | 1.00 |

CUADRO 8A. Continua.....

CUADRO 9A. Significancia estadística de la regresión del rendimiento de grano (k/ha) en relación a la evapotranspiración real y potencial del cultivo (ETR/ETP), en diferentes etapas fenológicas (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| Variable                     | coeficientes del modelo |    |                       |    |
|------------------------------|-------------------------|----|-----------------------|----|
|                              | completo $\alpha=.10$   |    | reducido $\alpha=.10$ |    |
| Interceptada                 | 3.561                   | ** |                       |    |
| Siemb-amacolle               | 0.223                   | NS |                       |    |
| Amac-dif. floral             | 0.137                   | NS |                       |    |
| Dif. floral-elog. tallo      | 0.527                   | *  | 0.657                 | ** |
| Elong. tall-embuche          | -0.231                  | ** | -0.208                | ** |
| Embuche-grano lechoso        | 0.305                   | ** | 0.232                 | ** |
| Gno. lechoso-madurez fisiol. | -0.214                  | ** | -0.187                | ** |

CUADRO 10A. Rendimiento de grano observado y estimado (k/ha)  
para los modelos completo y reducido (Marín, N. L.;  
ciclo invierno 1987-1988)

| Tratamiento<br>EV/ER           | rendimiento estimado de los modelos |          |          |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|
|                                | rendimiento<br>observado            | completo | reducido |
|                                | -----k/ha-----                      |          |          |
| 0 - 30                         | 2 467                               | 2 490    | 2 552    |
| 15 - 15                        | 2 772                               | 2 748    | 2 692    |
| 15 - 30                        | 2 425                               | 2 518    | 2 535    |
| 15 - 45                        | 2 752                               | 2 624    | 2 636    |
| 30 - 30                        | 2 543                               | 2 489    | 2 489    |
| 30 - 45                        | 2 720                               | 2 748    | 2 692    |
| 30 - 60                        | 2 715                               | 2 831    | 2 780    |
| 45 - 45                        | 3 211                               | 3 097    | 3 069    |
| 0 - 0                          | 1 995                               | 2 004    | 2 004    |
| 60 - 75                        | 3 042                               | 3 112    | 3 192    |
| Coeficiente de determinación = |                                     | 0.95     | 0.92     |

Cuadro 11A Modelos de regresión de la variable materia seca por planta acumulada en función del tiempo (días), para los tratamientos del ensayo. (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)

| No. tratamiento | $r^2$ | $B_0$ | $B_1$ | error<br>std. $B_1$ | tcal<br>$B_1$ | signif.<br>$B_1$ |
|-----------------|-------|-------|-------|---------------------|---------------|------------------|
| 1 0-30          | .63   | 8.96  | -.074 | .0133               | -5.564        | **               |
| 2 15-15         | .65   | 9.47  | -.077 | .0132               | -5.833        | **               |
| 3 15-30         | .61   | 8.57  | -.070 | .0133               | -5.263        | *                |
| 4 15-45         | .76   | 9.06  | -.078 | .0103               | -5.865        | **               |
| 5 30-30         | .60   | 8.30  | -.070 | .0134               | -5.224        | *                |
| 6 30-45         | .60   | 8.21  | -.068 | .0132               | -5.151        | *                |
| 7 30-60         | .65   | 8.96  | -.075 | .0130               | -5.769        | **               |
| 8 45-45         | .62   | 8.15  | -.069 | .0129               | -5.349        | *                |
| 9 0-0           | .59   | 6.68  | -.059 | .0115               | -5.130        | *                |
| 10 60-75        | .60   | 8.78  | -.074 | .0142               | -5.211        | *                |

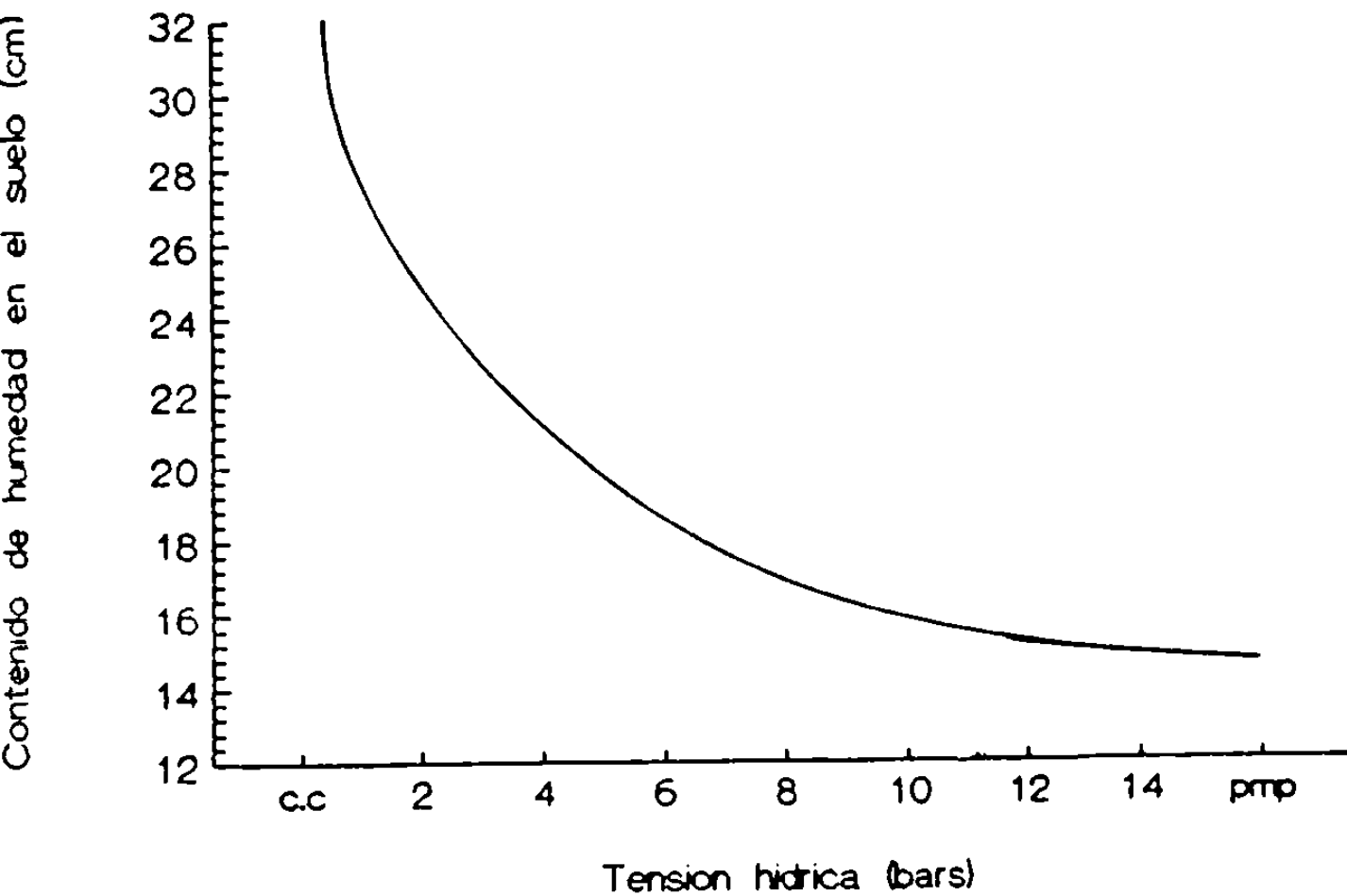


FIGURA 1A Relación del contenido de humedad en el suelo (cm) y la tensión hídrica (bars). (Marín, N. L.; ciclo invierno 1987-1988)



