

**EFFECTO DE LA TENSION DE HUMEDAD SOBRE EL  
RENDIMIENTO Y PARTICION DE FOTOSIN<sup>T</sup>ATOS  
EN VARIEDADES DE TRIGO CON DIFERENTE  
RESPUESTA AL DEFICIT HIDRICO**

**JUAN GUILLERMO MARTINEZ RODRIGUEZ**

**T E S I S**

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



**Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro**

**PROGRAMA DE GRADUADOS**

**Buenavista, Saltillo, Coah.**

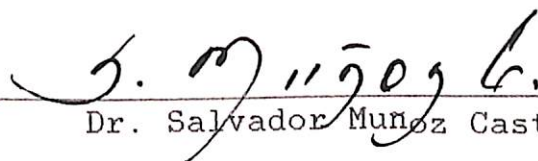
**ENERO 1989**

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN RIEGO Y DRENAJE

COMITE PARTICULAR

Asesor Principal:



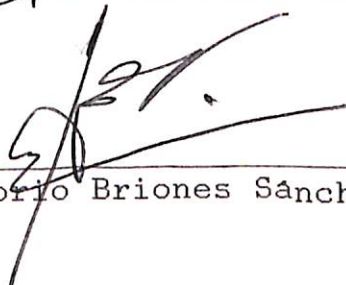
Dr. Salvador Muñoz Castro

Asesor:



Dr. José Manuel Fernández Brondo

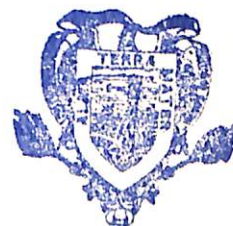
Asesor:



M.C. Gregorio Briones Sánchez

  
Dr. Eleuterio López Pérez  
Subdirector de Asuntos de Postgrado

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Enero 1989

"Ridiculizar la esperanza de progreso es la máxima necesidad, la última palabra en cuanto a pobreza de espíritu y mezquindad de la mente. No debemos desmayar sólo porque no podemos aún visualizar la solución definitiva de nuestros problemas" (Medawar, 1972).

## DEDICATORIA

A Patricia Guadalupe y Juan Guillermo, en  
quienes esta puesto mi corazón.

A María con amor.

A mis padres y hermanos, por que siempre estemos unidos.



## RECONOCIMIENTO

A mi maestro Dr. Salvador Muñoz Castro por sus enseñanzas, por depositar su confianza en mi y distinguirme con su amistad, puede estar seguro que no lo defraudaré.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales , Agrícolas y Pecuarias por hacer posible la realización de mis estudios.

Al Dr. José Manuel Fernández Brondo y al M.C. Gregorio Briones Sánchez por las sugerencias y revisión del escrito.

A las Familias Alfaro Gallo y Cortés Gallo por demostrarme lo que es la hermandad.

A Doña Aurelia por su cariño.

A mis jóvenes amigos y próximos Ingenieros, Mariano Rodas, Miguel Salazar y Guadalupe Barrientos, sin cuya ayuda hubiera sido difícil la realización del trabajo.

A Luis Edmundo y Hugo por su gran amistad.

## COMPENDIO

Efecto de la Tensión de Humedad en el Suelo sobre el Rendimiento y Partición de Fotosintatos en Variedades de Trigo con diferente Respuesta al Déficit Hídrico.

POR

JUAN GUILLERMO MARTINEZ RODRIGUEZ

MAESTRIA

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. ENERO 1989

Dr. Salvador Muñoz Castro - Asesor -

Palabras claves: Trigo, Riego, Tensión de Humedad, Fotosintatos, Análisis de Crecimiento.

El presente estudio se realizó en el Campo Agrícola Experimental "Navidad" perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" en un suelo de textura migajón-limoso cuyos parámetros de humedad para Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente fueron 32.2 y 17.0 por ciento, respectivamente.

El objetivo principal del trabajo fue evaluar el efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre el rendimiento, componentes de rendimiento y crecimiento de variedades de trigo con diferente grado de adaptación al déficit hídrico.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones, la parcela mayor fueron tres tratamientos de riego en base a la tensión de humedad en el suelo (1, 5 y 12 atmósferas) y la parcela menor cuatro variedades de trigo (Ciano, Anáhuac, Temporalera y Gálvez).

Los resultados obtenidos indican que el rendimiento del cultivo se vio fuertemente afectado por los niveles de humedad en el suelo al momento de aplicar el riego, obteniéndose los mayores rendimientos en el tratamiento de una atmósfera y decreciendo conforme se acentuó el déficit hídrico. Siendo la variedad para riego Ciano la que mostró los mas altos rendimientos en promedio al considerar los tres niveles de humedad.

El número de granos por espiga, peso del grano, longitud de espiga y espigas por unidad de superficie se vieron fuertemente afectados por los tratamientos de riego, disminuyendo sus valores conforme el déficit hídrico se prolongó. Asi mismo, fueron estos componentes los que

explican mayormente el rendimiento del cultivo, siendo el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.9.

La respuesta que en acumulación de materia seca tuvieron las variedades fué diferente dependiendo del grado de adaptación al stress hídrico. Las variedades de temporal (Gálvez y Temporalera) interrumpieron la acumulación de materia seca al estar expuestas a un prolongado déficit hídrico, mientras que las variedades para riego (Ciano Y Anáhuac) bajo ninguna condición de humedad dejaron de acumular materia seca.

El déficit hídrico prolongado ocasionó un aceleramiento en la translocación de asimilatos a la espiga, sin embargo al final del ciclo del cultivo los porcentajes de acumulación de asimilatos en la espiga para los tratamientos de una y cinco atmósferas no difieren en mucho.

Los índices de crecimiento tasa de crecimiento relativa e índice de área foliar en la etapa de floración se asociaron mas con el rendimiento del cultivo.

La eficiencia en uso de agua fué mayor a medida que se incrementó el consumo de agua del cultivo, indistintamente del grado de adaptación al stress por parte de las variedades.

ABSTRACT

Effect of water stress on yield and partition of assimilates of wheat varieties with different responses to water deficit.

BY

JUAN GUILLERMO MARTINEZ RODRIGUEZ

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JANUARY 1989

Dr. Salvador Muñoz Castro - Adviser -

Key words: *Triticum aestivum*, water stress, partition of assimilates, growth analysis, water potential.

With the objective of evaluating the effect of water stress on grain yield, yield components and plant growth of wheat varieties with differential adaptation to water deficit, the present trial was conducted in the "Navidad" Agricultural Experiment Station of The Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". The soil of the experimental site was a silt loam with field capacity



and permanent wilting point 32.2 and 17.0 percent (weight basis) respectively.

The experimental design used was that of randomized complete blocks (split plot arrangement) with three replications. The main plot was soil water stress levels (0.1, 0.5 and 1.2 MPa) and the sub plots were four varieties of wheat: Ciano and Anahuac (drought susceptible) and Temporalera and Gálvez (drought resistant).

Yield and its components were strongly affected for the soil water stress treatments. The highest grain yield was obtained when the crop was irrigated to 0.1 MPa. of soil water tension and decreased as water deficit lasted longer. Number of grains per spike, grain weight, spikes for square meter and length of spike were strongly associated to grain yield ( $r^2 = 0.90$ ). Ciano presented the highest average yield through out the water deficit treatments.

Dry matter behaved differently between susceptible and resistant varieties. Resistant strains ceased dry matter accumulation when subjected to longer water deficit, while susceptible strains did not at any level or duration of water stress.

A higher rate of assimilate translocation to the spikes was observed for longer water deficits, even though at the end of the vegetative period spike accumulation percentage was not much different among water stress treatments. Relative growth rate and leaf area index at anthesis was strongly associated with grain yield.



## INDICE DE CONTENIDO

	página
INDICE DE CUADROS.....	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xv
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	4
Componentes de Rendimiento y Resistencia a Sequía.....	4
Crecimiento y Análisis de Crecimiento.....	6
Generalidades.....	6
Comportamiento de algunos parámetros.....	10
Tasa de Crecimiento Absoluta (TCA).....	10
Tasa de Crecimiento Relativa (TCR) .....	11
Tasa de Asimilación Neta (TAN).....	12
Razón de Area Foliar (RAF) .....	13
Indice de Area Foliar (IAF).....	13
Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC).....	15
Partición y Competencia por Asimilatos.....	16
Efecto del Stress Hídrico sobre algunos procesos Fisiológicos.....	21
Eficiencia en Uso de Agua e Indice de Cosecha..	26
MATERIALES Y METODOS.....	30
Localización y Características del Terreno.....	30
Diseño Experimental y Tratamientos.....	32
Manejo y Conducción del Experimento.....	33
Humedad del Suelo.....	36

Planta.....	36
Area Foliar.....	37
Materia Seca.....	37
Componentes de Rendimiento.....	37
Parámetros de Crecimiento.....	38
Análisis de la Información.....	39
RESULTADOS.....	41
Rendimiento.....	41
Componentes de Rendimiento.....	43
Longitud de la Espiga.....	43
Espigas por metro cuadrado.....	45
Número de granos por espiga.....	46
Peso del grano.....	48
Distribución de Materia Seca.....	49
Partición de Biomasa.....	54
Parámetros de Crecimiento.....	60
Tasa de Crecimiento Relativa .....	60
Tasa de Asimilación Neta.....	61
Razón de Area Foliar.....	62
Índice de Area Foliar.....	63
Lámina Consumida y Eficiencia en uso del Agua..	65
Índice de Cosecha .....	66
DISCUSION.....	68
CONCLUSIONES.....	75
LITERATURA REVISADA.....	77
APENDICE.....	83
Apéndice A.....	84

Apéndice B.....	85
Apéndice C.....	86

## INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Curva característica de retención de humedad para el estrato 0-60 cm del suelo del sitio experimental.....	35
Figura 4.1	Comportamiento de los componentes de rendimiento para los tratamientos en estudio.....	47
Figura 4.2	Acumulación de materia seca en hojas, tallos, espigas y total para las variedades en el tratamiento seco.....	51
Figura 4.3	Acumulación de materia seca en hojas, tallos, espigas y total para las variedades en el tratamiento intermedio..	52
Figura 4.4	Acumulación de materia seca en hojas, tallos, espigas y total para las variedades en el tratamiento húmedo....	53
Figura 4.5	Porcentaje de biomasa en la hoja para las variedades en los tratamientos húmedo y seco.....	57
Figura 4.6	Porcentaje de biomasa en los tallos para las variedades en los tratamientos húmedo y seco.....	58
Figura 4.7	Porcentaje de biomasa en la espiga para las variedades en los tratamientos húmedo y seco.....	59
Figura 4.8	Comportamiento de la Tasa de crecimiento relativo, Tasa de asimilación neta e Índice de área foliar en los tratamientos estudiados.....	64

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1	Características físico-químicas del suelo del sitio experimental.....	31
Cuadro 4.1	Rendimiento y sus componentes para los tratamientos estudiados.....	42
Cuadro 4.2	Componentes de Rendimiento, rendimiento e índice de cosecha promedio para los - tratamientos de riego.....	44
Cuadro 4.3	Componentes de rendimiento, rendimiento e índice de cosecha promedio para las variedades.....	44
Cuadro 4.4	Láminas consumidas por el cultivo y eficiencia en el uso del agua para los tratamientos estudiados.....	66

## INTRODUCCION

El trigo es la materia prima más importante del mundo y constituye el alimento principal en 43 países. A nivel mundial la superficie cosechada es de 275 millones de hectáreas, en las cuales se obtienen alrededor de 275 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 1.34 toneladas por hectárea (Christensen y Kernkamp, 1977).

A nivel nacional el trigo sigue siendo uno de los cultivos agrícola, política y socioeconómicamente más importantes en México. En 1981 ocupó el seis por ciento del área cultivada y el 11 por ciento de la producción total nacional obtenida de los diez principales cultivos del país (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, 1982).

Para 1982, la superficie cosechada con este cereal fué de 860 mil hectáreas y su producción fué de alrededor de 3.2 millones de toneladas con un rendimiento aproximado de 3.7 toneladas por hectárea (Martínez, 1982).

Aún cuando los rendimientos unitarios son de los más altos a nivel mundial, siguen siendo insuficientes para la satisfacción de la demanda interna, por lo que año con



año se hace necesaria la importación de este cereal. Sólo en 1985 fueron 560 mil toneladas, con la consecuente salida de divisas.

Del total de la superficie sembrada en México, el 85 por ciento se encuentra en zonas áridas y semiáridas, siendo la precipitación anual media de 410 mm (53 por ciento de la media nacional), la cual tiene una mala distribución a lo largo del ciclo vegetativo de este cultivo, razón por la cual no satisface sus necesidades hídricas.

En la actualidad, se dispone de variedades de trigo con alto potencial de rendimiento. Para acercarse a éste, es necesario que se satisfagan oportunamente los altos requerimientos que de agua y fertilizante tienen dichas variedades; de no ser así, se producen bajas considerables en el rendimiento, principalmente si el recurso hídrico es el limitante, situación muy frecuente en las áreas de riego del país que trae como consecuencia una baja absoluta en la productividad de las regiones afectadas y un desabasto por este producto en el mercado interno.

Esta situación, pudiera minimizarse de contar en estas áreas con materiales genéticos que optimicen el uso de los recursos. Tal es el caso de variedades de trigo que han sido seleccionadas por su alto rendimiento bajo condiciones de humedad limitada, mismas que por sus

características de bajos requerimientos hídricos podrían ofrecer ventajas considerables para su uso con respecto a las variedades tradicionalmente usadas en las áreas de riego.

Por lo anterior son objetivos del presente trabajo:

- Evaluar el efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre el rendimiento, componentes de rendimiento y crecimiento de variedades de trigo con diferente grado de adaptación al déficit hídrico.
- Evaluar la técnica de análisis de crecimiento como una herramienta que permita identificar los procesos fisiológicos involucrados en los efectos observados.
- Determinar la eficiencia de uso de agua para las variedades en estudio.

Las hipótesis del trabajo son:

- La tensión de humedad en el suelo reduce el rendimiento a través de su efecto sobre el crecimiento y sobre los componentes del rendimiento.
- La respuesta de rendimiento y crecimiento a la tensión de humedad en el suelo difiere según el grado de adaptación de las variedades al estrés hídrico.
- Mediante el análisis de crecimiento podemos identificar algunos de los procesos fisiológicos determinantes del rendimiento.
- La eficiencia en el uso del agua de riego bajo diferentes tensiones de humedad varía según el grado de adaptación de las variedades al estrés hídrico.



## REVISION DE LITERATURA

### COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y RESISTENCIA A SEQUIA

Cruz (1975) trabajando con trigo encontró que la altura de planta está correlacionado significativamente en forma negativa con el rendimiento de grano, mientras que longitud de espiga, número de espiguillas por espiga y número de granos por espiga mostraron una correlación positiva con el mismo, indicando que dichos parámetros pueden utilizarse como indicadores para mejorar el rendimiento.

Cisneros (1979) al realizar un estudio para determinar los efectos de las variaciones de humedad en tres etapas de crecimiento de trigo, menciona que niveles altos de humedad en la etapa de germinación a gametogénesis y de ésta a estado lechoso del grano tuvieron influencia en el rendimiento de grano, en el número de plantas por unidad de área, tamaño de espiga y número de granos por espiga.

Arredondo (1982) establece que tanto bajo condiciones favorables de humedad o de sequía, las características que principalmente contribuyeron a la producción de grano fueron: altura final de la planta, días a madurez fisiológica y rendimiento de paja.

Volke y Turrent (1973) en una investigación realizada con trigo sembrado en macetas bajo condiciones de invernadero, consignaron que el rendimiento de grano dependía principalmente de el número de granos por unidad de área, número de granos por espiga y el peso del grano, los cuales explicaron un 98 por ciento de la variación del rendimiento de grano.

Fischer y Wood (1979) al investigar asociaciones entre el comportamiento del rendimiento de grano bajo sequía y tratamientos morfo-fisiológicos determinados ambos bajo condiciones de sequía y no sequía en un número extenso de cultivares de trigos harineros, trigos duros, triticales y cebadas, encontraron que la mejor predicción de rendimiento bajo sequía, tomando en cuenta tratamientos medidos en ausencia de sequía, estuvo dada por un modelo lineal que comprendía materia seca total, peso del grano y cerosidad de la hoja.

Fischer y Maurer (1978) en un estudio similar, citan que los grupos de cultivares que mostraron la mayor resistencia a la sequía fueron los trigos harineros altos y las cebadas, los trigos harineros enanos fueron intermedios y los trigos duros y los triticales fueron los más susceptibles a la sequía. Sin embargo debido a que los trigos enanos tuvieron un mayor potencial de rendimiento que los trigos altos es sugerido que como grupo estos últimos superarían a los trigos enanos sólo bajo sequía muy

severa. Estos resultados y aquellos obtenidos por Laing y Fischer (1977) sugieren que los genes Norin 10 (genes de enanismo) incrementaron la susceptibilidad a la sequía pero los efectos adversos de estos genes son compensados por los efectos favorables del alto potencial de rendimiento que proveen.

En muchas especies de crecimiento determinado el tamaño de la inflorescencia (número potencial de semillas) se reduce proporcionalmente al área foliar cuando existe un stress antes de la floración. Dado que el número de semillas por planta es un componente mayor del rendimiento, su reducción representa una pérdida irreversible del rendimiento a menos que pueda ser compensada por un incremento en el peso del grano. Si el stress ocurre durante el llenado del grano generalmente da por resultado una baja en el peso del grano, pero el daño causado no es tan grande como una reducción en el número de granos (Evans y Wardlaw, 1976).

## CRECIMIENTO Y ANALISIS DEL CRECIMIENTO

### Generalidades

Todos los organismos, poseen en varios estados de su ciclo biológico la aptitud de cambiar de tamaño, forma y número, dadas las condiciones convenientes. Estos tres fenómenos están íntimamente interrelacionados y el término crecimiento puede ser aplicado a alguno de ellos o a todos.



Una definición precisa de crecimiento no es fácil. Se puede decir que este concepto debería ser usado principalmente para describir un cambio irreversible en tamaño, frecuentemente para describir cambios en formas y ocasionalmente para describir cambios en número, todos aplicados al estudio cuantitativo del funcionamiento de la planta (Hunt, 1978).

Bidwell (1983) indica que el crecimiento se usa generalmente para denotar aumento en tamaño, que puede medirse como longitud, grosor o área. A menudo también se mide como un aumento en volumen, masa o peso (fresco o seco). En fisiología vegetal, el crecimiento se establece como un aumento de peso o longitud u otro parámetro medible.

Milthorpe y Moorby (1982) establecen que para medir el crecimiento, por lo general se prefiere el peso seco, dado que así se evitan complicaciones derivadas de las fluctuaciones a corto plazo del contenido hídrico y porque también proporciona un buen indicio de la cantidad de energía fijada.

Al considerar el crecimiento en una fase o toda la estación de crecimiento, o al comparar dos o más tratamientos, conviene expresarlo por medio de una función continua. Esto proporciona una visión conceptual aunque imperfecta, de los aspectos primarios y facilita las comparaciones. Sin embargo debe tenerse en cuenta que el

mismo procedimiento de ajuste a una función continua, determina que pueden extraerse las tendencias generales, pero se pasen por alto las fluctuaciones que ocurren en el corto plazo (Milthorpe y Moorby, 1982).

Es posible que se quiera demostrar que un ambiente particular o una práctica de manejo es o no más conveniente para una cierta planta que para otra; o que se quiera explicar el diferente desarrollo de especies o variedades que crecen bajo las mismas condiciones. Para lograr objetivos como éstos, se ha empleado el análisis de crecimiento en diferentes trabajos de investigación de mejoramiento genético, ecología y fisiología vegetal (Clarke *et al.*, 1984; Fischer *et al.*, 1981.).

El análisis de crecimiento es un método que sigue la dinámica de producción fotosintética, medida por la producción primaria neta, es decir, la cantidad de materia orgánica asimilada menos las pérdidas debidas a la respiración (Hunt, 1978).

Una ventaja del análisis de crecimiento es que los valores primarios, sobre los cuales está basado, son relativamente fáciles de obtener sin gran demanda de equipo de laboratorio. En el análisis de crecimiento "clásico", las muestras para los valores primarios consisten de muestreos destructivos, representativos de plantas o parcelas. Dos valores son requeridos para llevar a cabo un simple análisis: 1) Una medida de la materia seca presente

en la planta y 2) La medida de la magnitud de la superficie asimilatoria de la planta. En la práctica las medidas más comunes de estos valores son el peso seco total acumulado en la planta y el área foliar (Radford, 1967).

Aunque el análisis de crecimiento proporciona poca información acerca de los procesos fisiológicos de la planta, los parámetros involucrados permiten evaluar el desempeño total de la planta, durante intervalos de tiempo (Hunt, 1978).

Hunt (1978) divide el análisis del crecimiento en el que se realiza en plantas individuales, en poblaciones y en comunidades. En plantas individuales se utilizan los parámetros tasa de crecimiento absoluta (TCA), tasa de crecimiento relativa (TRC), tasa de asimilación neta (TAN), razón de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) y razón de peso foliar (RPF). Para el análisis de poblaciones y comunidades, se utiliza el índice de área foliar (IAF), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), y duración de área foliar (DAF). Sin embargo, menciona que no existe razón por la cual no se pueda utilizar en el análisis de poblaciones y comunidades, los índices utilizados en el análisis de plantas individuales.

Un parámetro común para evaluar las relaciones entre el crecimiento de las partes aérea y subterránea de la planta, es la razón de raíz/vástago, que es una medida



de la distribución del peso seco entre el vástago y el sistema radical de las plantas (Böhm, 1979).

Los índices utilizados para el análisis del crecimiento se derivan usando los valores de peso seco y dimensión de la superficie asimilatoria. Las fórmulas y supuestos para aplicar éstas se mencionan en Radford (1967) (Ver Materiales y Métodos).

## COMPORTAMIENTO DE ALGUNOS PARAMETROS DE CRECIMIENTO

### Tasa de Crecimiento Absoluta

La curva que describe el incremento del peso seco por unidad de área, o por individuo, de cualquier cultivo en función del tiempo, adopta por lo común una forma sigmoidea. La diferencia entre dos puntos consecutivos de cualquier serie proporciona la "tasa de crecimiento absoluta" (TCA) en este periodo. Durante la ontogenia, primero hay un periodo en el que la tasa de crecimiento es cada vez mayor, seguido por una etapa en que se mantiene más o menos constante, para luego comenzar a disminuir, de tal forma que al final, en las últimas semanas, se vuelve negativa por la muerte de las hojas. Puede considerarse que la tasa de crecimiento absoluta es función de dos componentes: la cantidad de material en "crecimiento" presente y la tasa de funcionamiento del mismo en relación a la influencia del ambiente (Milthorpe y Moorby, 1982).

## Tasa de Crecimiento Relativo

Es evidente que la cantidad de biomasa presente afecta la tasa de producción de biomasa nueva; por lo tanto, el índice adecuado a utilizar es la tasa de incremento de la materia seca por unidad de tiempo y por unidad de materia seca presente, el cual recibe el nombre de "Tasa de crecimiento relativa" (TCR) (Radford, 1967; Hunt, 1978 y Milthorpe y Moorby, 1982).

En un ambiente constante este índice decrece a través de la ontogenia, principalmente debido a una proporción creciente de células que no se dividen en relación a las que sí lo hacen. En un ambiente natural, ocurre la misma evolución descendente, pero se puede compensar por condiciones ambientales que se vuelven progresivamente favorables (Hunt, 1978; Milthorpe y Moorby, 1982). En general, muchos de los cambios de la tasa de crecimiento relativa son derivados de la expresión ontogénica durante el desarrollo de la planta, cuando éste ocurre en un ambiente cambiante y es imposible separar las influencias externas de las internas (Hunt, 1978).

La tasa de crecimiento relativa es fuertemente afectada por el ambiente. En general, alguna desviación de un adecuado suministro de luz, nutrimentos o agua, o de un régimen conveniente de temperaturas, produce un efecto adverso sobre este parámetro (Hunt, 1978).



Hunt (1978) concluye que "la tasa de crecimiento relativa provee una conveniente integración del desempeño combinado de las varias partes de la planta". Indica que es especialmente útil cuando se presenta la necesidad de comparar especies y tratamientos diferentes sobre una base uniforme. Sin embargo, cuando se calcula a nivel de toda la planta, este índice da poca información del proceso causal del desempeño de la misma. Para obtener mejor información se puede calcular para cada subcomponente de la planta.

### **Tasa de Asimilación Neta**

La búsqueda de un índice relativamente constante e independiente del tamaño de la planta, permitió la introducción de la tasa de asimilación neta (TAN) en el análisis del crecimiento. Este parámetro indica el incremento de materia seca por unidad de superficie foliar por unidad de tiempo (Radford, 1967 y Hunt, 1978). Aunque se ha demostrado en general que este índice puede ser más estable que la tasa de crecimiento relativa para períodos más largos, la desviación ontogénica, es decir, el decrecimiento de la tasa de asimilación neta con la edad de la planta, no puede ser totalmente eliminado (Hunt, 1978).

Diferencias apreciables en los valores de este parámetro pueden existir entre especies y entre variedades bajo las mismas condiciones climáticas. Estas tasas pueden oscilar entre  $0.12$  y  $0.72 \text{ g dm}^{-2} \text{ semana}^{-1}$  (Evans, 1983).

Hunt (1978) indica que los valores más altos en la tasa de asimilación neta, son principalmente el resultado de una combinación de alta insolación, alta temperatura y días largos.

### Razón de Area Foliar

La razón de área foliar (RAF), se define como la relación entre el área foliar el peso seco total de la planta (Radford, 1967 y Hunt, 1978), y puede ser interpretada como el producto del área foliar específica (AFE) y la razón de peso foliar (RPF) (Hunt, 1978).

De los dos componentes de este índice, el área foliar específica es en general la más sensitiva a factores ambientales y la más propensa a cambios ontogénicos (Hunt, 1978 y Fitter y Hay, 1983). Es decir, que bajo condiciones en las que se incrementa la razón de área foliar, este incremento es debido al área foliar específica más que a la razón de peso foliar (Osmond y Anderson, 1980).

### Indice de Area Foliar

Por ser el área foliar por planta una medida inapropiada del follaje de todo un cultivo, ya que no toma en cuenta el espaciamiento entre plantas, se introdujo el concepto índice de área foliar (IAF), definido como el área foliar por unidad de área de suelo (Hunt, 1978).

Este índice representa el número de capas de hojas desplegadas por el cultivo, por unidad de área de suelo,

expresada como un promedio para todo el cultivo. Este concepto es inevitablemente burdo, ya que las hojas no forman capas compactas una arriba de la otra. Las hojas se despliegan comúnmente en varios ángulos y éstos varían con la morfología de la especie y con las condiciones bajo las cuales crece el cultivo. Esto ocasiona que haya huecos en el follaje y no se presente una cobertura total, además de que las hojas en diferentes niveles en el dosel experimentan diferentes condiciones ambientales. A pesar de tales variaciones, el índice de área foliar sirve como un indicador de la superficie disponible para la absorción de luz y provee un común denominador útil para discutir el potencial fotosintético de un cultivo (Mitchell, 1970 y Hunt, 1978).

Tiempo atrás existía preocupación por el hecho de que los valores máximos del índice de área foliar alcanzados por los cultivos podían ser superiores al óptimo, con el resultado de que se reducía la fotosíntesis neta a causa de que la respiración de las hojas inferiores sombreadas, podían exceder su propia fotosíntesis. Actualmente se sabe que las hojas más viejas no son parásitas de la planta, que poseen bajas tasas de respiración y que si la respiración supera la fotosíntesis mueren pronto, con el resultado final de que la fotosíntesis neta tiende a estabilizarse a un valor tope con un IAF alto (Shibles y Weber, 1965 y Evans, 1983).



Dado que las diferentes condiciones ambientales tienen un efecto marcado sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos, estas condiciones se reflejan en el valor del índice de área foliar y por lo tanto en el potencial de fotosíntesis.

Hunt (1978) indica que el índice de área foliar de un cultivo, es fuertemente influenciado por el nivel de radiación solar, así como por la temperatura y regímenes de agua y nutrimentos minerales.

#### Tasa de Crecimiento del Cultivo

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC), es un simple e importante índice de productividad en agricultura, que significa la tasa de producción por unidad de área de suelo, por unidad de tiempo. Este Índice se origina del producto de la tasa de asimilación neta y el índice de área foliar (Radford, 1967 y Hunt, 1978). Así, los valores que puede alcanzar este índice, dependerán de la magnitud relativa de sus componentes. En general, como resultado de la correlación negativa entre el índice de área foliar y la tasa de asimilación neta, parece ser que en la mayoría de las condiciones, es más bien el primero y no tanto el segundo, el que determina la tasa de crecimiento y el rendimiento total en materia seca (Hunt, 1978 y Milthorpe y Moorby, 1982).

Un conjunto creciente de evidencias indican que, durante el crecimiento vegetativo en ambientes con

suministros óptimos de agua y nutrimentos minerales, la tasa de crecimiento del cultivo, es una función lineal de la cantidad de radiación interceptada, es decir; de la magnitud del índice de área foliar. La relación parece ser independiente de las especies y después de la floración, puede volverse curvilínea (Shibles y Weber, 1965; Monteith, 1981 y Milthorpe y Moorby, 1982).

### **PARTICION Y COMPETENCIA POR ASIMILATOS**

Partición es la distribución diferencial y depósito de los asimilatos entre los órganos, tejidos y células de la planta (Snyder y Carlson, 1984).

La síntesis, translocación y acumulación de asimilatos dentro de la planta es controlada genéticamente y es influenciada por el ambiente. La translocación y partición de productos fotosintéticos involucra un número complejo de procesos que necesitan ser elucidados.

Las hojas y otros tejidos u órganos de la planta que exportan fotosintatos son llamados fuente y los órganos y/o tejidos que importan fotosintatos son llamados demanda (Wareing y Patrick, 1975).

La tasa de transporte de asimilatos desde la fuente a los órganos demandantes depende de la producción de asimilatos en la fuente, la carga y descarga en los tubos cribosos, la velocidad de flujo en el floema y la potencia de la demanda (Begg y Turner, 1976). El stress hídrico

puede alterar los patrones de partición de asimilatos a través de una reducción en la potencia de las fuentes individuales (Wardlaw, 1976).

El tamaño relativo de la fuente y la demanda, la actividad fisiológica y la distancia entre la fuente y la demanda influyen la tasa y la cantidad de asimilatos en movimiento (Evans y Wardlaw, 1976 y Giaquinta, 1983)

Spiertz (1974) menciona que la disponibilidad de asimilatos para los órganos en crecimiento depende de la actividad y la duración de la fotosíntesis en los órganos verdes de la planta, principalmente las hojas, y menciona que las hojas inferiores contribuyen principalmente con sus asimilatos a la raíz y que las hojas superiores suministran de asimilatos al tallo y espiga en cereales.

Wardlaw (1968) encontró que gran parte de los asimilatos en la espiga de trigo provienen de la hoja bandera y que las hojas inferiores lo suministran en cantidades muy pequeñas para el desarrollo del grano.

Mooney (1972) concluye que el carbono fijado en el grano de trigo se deriva principalmente de la gluma y de la hoja bandera, encontrando que el 80 y el 50 por ciento del carbono fijado por la hoja bandera y la gluma, respectivamente, fué al grano.

Stephenson et al. (1976) trabajaron con 17 grupos de especies de plantas pertenecientes al grupo C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> y



encontraron que el segundo grupo exporto más y el primero menos del 49 por ciento del carbono asimilable. La relación encontrada entre C3 y C4 para porcentajes de translocación fué de 1.55, mientras que la fotosíntesis neta tuvo una relación de 1.44. La mayor rapidez de translocación en especies C4 puede ser un factor que contribuya a la mayor eficiencia de producción de estas plantas.

El desarrollo de semillas de cereal aparentemente es insensible al stress hídrico, comparado con el proceso fotosintético y la actividad de la fuente. Bajo condiciones de déficit hídrico el llenado de grano ocurre por una aportación de carbono soluble y nitrógeno almacenado en hojas inferiores y tallos (Boyer y Mc Pearson, 1975 y Begg y Turner, 1976).

Es reconocida la competencia por asimilatos entre los diferentes puntos de crecimiento (sitios demanda) de la planta. Existen muchas observaciones indicando que las flores y frutos en desarrollo tienen alta habilidad competitiva y que en el cambio de la fase vegetativa a la reproductiva existe frecuentemente un cambio muy marcado en el patrón de distribución de asimilatos. Un ejemplo de lo anterior es la reducción y cese del crecimiento vegetativo y radical de la planta cuando el fruto se está desarrollando (Wareing y Patrick, 1975).

La influencia del stress hídrico en la movilización de reservas temporales de asimilatos hacia semillas en

crecimiento ha recibido atención en los últimos tiempos. En particular, la movilización de reservas presentes en antesis. En trigo en antesis, los azúcares solubles representan de 5 a 7 por ciento de la materia seca total y parece probable que las reservas de carbohidratos contenidas en el tallo actúan como amortiguador en el llenado de grano y rendimiento contra reducciones en la tasa fotosintética post-antesis, debida a un stress hídrico (Boyer y Mc Phearson, 1975).

Bidinger et al. (1977) trabajaron con trigo y cebada bajo condiciones de sequía en antesis con plantas marcadas con  $^{14}\text{C}$  y encontraron que la cantidad de carbono radiactivo en el grano fué de 12 y 22 por ciento para los tratamientos de riego y sequía, respectivamente.

La translocación de solutos a los ápices continúa durante el stress hídrico. La acumulación de aminoácidos libres puede indicar que la translocación de nitrógeno al ápice continúa en la ausencia de una síntesis neta de proteína. Igualmente, la disminución de azúcares solubles durante sequías prolongadas puede reflejar su uso como sustrato para continuar la respiración del ápice (Wardlaw, 1968).

Snyder y Carlson (1984) mencionan que Cook y Evans (1978) determinaron el efecto del tamaño relativo y distancia de dos órganos demandantes sobre la partición de materia seca en trigo. El sistema consistió de una planta



como fuente principal de fotosintatos (hoja bandera del tallo principal) y dos espigas como órganos demandantes. Variaron la distancia de aplicación de  $^{14}\text{C}$  y el tamaño de la fuente (quitando granos de la espiga) y encontraron que el grano es la demanda principal ya que recibió una gran cantidad de carbono marcado la que se incrementó al aumentar el tamaño de la demanda y disminuir la distancia hacia la fuente.

De lo citado anteriormente, es claro que la fuente y la demanda interactúan para influenciar la partición de asimilatos, aunque no son claros los mecanismos bioquímicos que controlan dicho proceso.

La tasa de translocación se altera con el stress hídrico al afectar la capacidad de la fuente para suministrar asimilatos o la habilidad de la demanda para utilizarlos.

Durante el rápido crecimiento vegetativo antes de la floración, el área foliar se incrementa, el desarrollo o diferenciación floral ocurre y además el sistema radical se expande rápidamente; los tres sistemas representan demandas potencialmente fuertes. Si algún stress hídrico se desarrolla durante éste estado, el desarrollo de las hojas y las estructuras reproductivas generalmente se reducen en una mayor cantidad que el sistema radical (Begg y Turner, 1976).

En plantas de hábitos de crecimiento determinado, la expansión de la hoja está completa al tiempo de floración. Una vez que la semilla empieza a desarrollarse constituye generalmente la demanda principal.

Cuando el stress hidrico se desarrolla, ocurren reducciones en el área foliar y en la tasa fotosintética, reduciendo la capacidad de asimilación total de la planta (Hsiao, 1988). La cantidad de cambio en el área foliar se relaciona con el hábito de crecimiento y estado de desarrollo de la planta. Las especies de crecimiento determinado completan el desarrollo foliar antes que la formación de la semilla inicie. El stress antes de la floración reduce el área de las hojas en desarrollo, mientras que un stress después de la floración incrementa la senescencia de las hojas inferiores, reduciendo el área foliar total de la planta.

#### **EFEECTO DEL STRESS HIDRICO SOBRE ALGUNOS PROCESOS FISIOLÓGICOS**

Desde la década pasada se está realizando investigación para enriquecer el conocimiento de la respuesta de la planta al déficit hídrico en el suelo y el manejo de fuentes limitadas de agua, para lograr altos rendimientos. Aunque es sabido que la respuesta de la planta a dicho déficit depende grandemente de las decisiones de manejo hechas antes y durante la estación del cultivo (Jordan, 1983).

Como la disponibilidad limitada de agua en el suelo se traduce a la planta y altera el desarrollo, actividad y duración de varias fuentes y demandas, es de vital importancia para entender la productividad de los cultivos bajo condiciones limitadas de humedad. El desarrollo gradual del déficit hídrico en las plantas bajo condiciones de campo permite ajustes lentos y continuos en sus procesos fisiológicos, que generalmente se manifiestan como alteraciones en su crecimiento y su desarrollo (Jordan, 1983).

Los efectos del déficit hídrico sobre la tasa de producción de fotosintatos son bien conocidos, sin embargo, existe poco conocimiento de los efectos del déficit hídrico sobre la utilización de los mismos en el crecimiento y mantenimiento de la biomasa existente.

Si el  $\text{CO}_2$  debe difundirse a través de un estoma abierto, condición que depende de la turgencia de las células guardas para su apertura, una reducción en el contenido relativo de agua de la hoja cerrará los estomas ocasionando una disminución de la tasa de fotosíntesis neta.

Son reconocidos principalmente dos efectos del stress hídrico sobre la fotosíntesis. Primero, el cierre estomático, que afecta la disponibilidad del  $\text{CO}_2$  para la fotosíntesis, y segundo, un efecto directo sobre los



procesos físicos y químicos involucrados en la fotosíntesis (Gifford y Evans, 1981).

Los efectos devastadores del stress hídrico sobre la productividad de las plantas ha sido reconocido desde el inicio de la agricultura. Las tasas fotosintéticas generalmente se reducen cuando la planta comienza a experimentar déficit hídrico en el transcurso del día (Hsiao, 1973).

La reducción en la tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  durante el déficit hídrico generalmente va precedida de una reducción en la conductancia estomática que resulta del cambio en la turgencia de las células guardas. Existen evidencias de que el potencial hídrico al cual el estoma se cierra no es único, sino que varía con la posición, la edad de la hoja y las relaciones hídricas de la planta durante su crecimiento (Begg y Turner, 1976 y Mc Cree, 1974).

Boyer (1970) encontró que en soya la fotosíntesis neta bajo sólo cuando se alcanzaron potenciales hídricos en la hoja de 11 bars, mientras que en el cultivo de maíz el valor crítico fué de 3.5 bars; incrementos en el potencial hídrico dieron por resultado reducciones en la fotosíntesis neta e incrementos en la resistencia estomática, concluyendo que aún cuando el maíz tiene una mayor tasa fotosintética neta, fué más sensible a una baja en el potencial hídrico que la soya.

Aunque existe una correlación lineal entre conductancia estomática y tasa fotosintética, la relación causa-efecto no ha sido claramente definida. La tasa fotosintética algunas veces cambia, independientemente de la condición estomática, dentro de cierto rango de déficit hídrico. La capacidad de ajuste osmótico aparentemente es limitada (Turner y Jones, 1980), si el déficit hídrico persiste, la presión de turgencia no puede ser mantenida y la conductancia estomática cae a valores muy bajos.

Muchas especies son capaces de ajustarse osmóticamente cuando el potencial hídrico de la hoja baja, dando por resultado un mantenimiento de la turgencia que produce alteraciones en la relación conductancia estomática-tasa fotosintética. Turner y Jones (1980) han definido el ajuste osmótico y su implicación con respecto a respuestas fisiológicas. En general, el mantenimiento de la turgencia, a través del ajuste osmótico, no da por resultado necesariamente un mantenimiento completo de los procesos fisiológicos.

Ackerson et al. (1977) presentan evidencias de lo anterior y establecen que a medida que la conductancia estomática se incrementa la tasa fotosintética tiende a ser constante sugiriendo que existen limitantes no estomáticas. En hojas de sorgo de diferentes edades se observó que las hojas viejas reducen gradualmente su tasa fotosintética por unidad de conductancia estomática, comparada con las hojas



jóvenes. Los resultados anteriores demuestran que la conductancia estomática puede controlar la tasa fotosintética hasta ciertos límites, fuera de los cuales factores no estomáticos tienen mayor influencia.

En relación a la reducción de la tasa fotosintética debido a factores no estomáticos, Boyer (1976) ha dado evidencias de que con un déficit hídrico moderado, la inhibición de la fotosíntesis se asocia con una reducción en la reacción de Hill y en la actividad del proceso de transferencia de electrones. A medida que el déficit se acentúa la fotofosforilación se reduce convirtiéndose en la principal limitante.

Las diferencias genotípicas en componentes de fotosíntesis han sido encontradas y usadas como criterio de selección. La gran variación genética en el contenido de clorofila por unidad de área foliar parece tener poco impacto en la variación de la tasa de intercambio de  $\text{CO}_2$ . En cebada por ejemplo, se han encontrado mutantes deficientes en clorofila que tienen casi una tasa normal de intercambio de  $\text{CO}_2$  (Ferguson et al., 1973).

De igual manera no existe evidencia de que la variación de la actividad en la reacción de Hill o fotofosforilación por unidad de área se refleje en variaciones en la tasa de intercambio de  $\text{CO}_2$ . Por lo que las determinaciones de la actividad de la reacción por unidad de clorofila no pueden interpretarse en relación a

la tasa de intercambio de CO<sub>2</sub> sin información de clorofila por unidad de área foliar (Hanson y Yeh, 1979).

La estabilidad de algunas enzimas y proteínas estructurales bajo stress hídrico explican las diferencias en la respuesta a dicho stress. Así tenemos que Huffaker *et al.* (1970) encontraron que la actividad de nitrato reductasa y la fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEP) disminuyó en plantas de cebada bajo stress hídrico y hubo poco efecto sobre la fosfo-ribulokinasa y ribulosa 1,5 difosfato carboxilasa. La actividad de la nitrato reductasa y de la PEP se recobró completamente después de 24 horas de ser rehumedecidas las plantas.

#### EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA E INDICE DE COSECHA

Uno de los aspectos más importantes en la productividad de los cultivos, es su eficiencia en el uso del agua (EUA) definida como la relación que existe entre la tasa de entrada de CO<sub>2</sub> a la planta y la tasa de agua transpirada por el cultivo (Hsiao y Acevedo, 1974 y Fischer y Turner, 1978).

Sin embargo, hay bastante información sobre la eficiencia en el uso del agua, que está dada en términos de materia seca acumulada por agua transpirada (Hsiao y Acevedo, 1974 ; Begg y Turner, 1976 y Fischer y Turner, 1978). Calcular la eficiencia en el uso del agua, con materia seca acumulada, se basa en el contenido de carbono existente en la materia seca (MS) (0.61 a 0.68 g MS/g CO<sub>2</sub>).

La eficiencia en uso del agua basado en materia seca, sufre de ciertas complicaciones, una de ellas, es que el agua en el campo se pierde por transpiración y evaporación del suelo, siendo difícil separar estas pérdidas, otra causa es que frecuentemente la materia seca de la raíz no se toma en cuenta, o se utiliza solamente la materia seca comercial (Fischer y Turner, 1978 y Shouse et. al., 1981).

Las plantas utilizan el agua en forma diferente, por lo que existen plantas con diferente capacidad, para ser eficientes en el uso de agua. Analizando lo anterior, se conoce que la resistencia de la epidermis al paso del agua o  $CO_2$  afecta menos al paso de  $CO_2$ , lo cual, explica que puede existir una ganancia en EUA, cuando existe un déficit de agua. Existen diferencias en la eficiencia en el uso del agua entre plantas  $C_3$  y  $C_4$  (Hsiao y Acevedo, 1974). En zacates se tiene que los  $C_4$  tienen eficiencias de 3.14 g MS/kg de agua y los  $C_3$  1.49 g MS/kg de agua (Begg y Turner, 1976).

En trigo, se observó que existe una relación inversa entre la eficiencia en el uso del agua y la evaporación libre (Fischer y Turner, 1978). Al provocar un déficit de agua en chícharo, se disminuyó la evapotranspiración (ET) y la producción, sin embargo, se tuvieron incrementos en la eficiencia en uso del agua cuando el déficit se provocó en la etapa vegetativa, debido a que la producción no se afectó (Shouse et. al., 1981). En



cebada, se observó que la máxima eficiencia en uso de agua, ocurre a niveles menores de riego, que con los que se obtienen los mayores rendimientos de grano (Martínez, 1982).

El índice de cosecha (IC) de los cultivos de grano es la relación del producto económico (grano) y la biomasa total al momento de la cosecha. Estima la partición de la materia seca entre el grano, tallos y hojas. Donald y Hamblin (1976) han revisado el concepto de índice de cosecha y presentan las ventajas y limitaciones en su uso para la selección de cultivares de alto rendimiento. Ellos establecen que cuando se utiliza el índice de cosecha como único parámetro de selección es fácil caer en errores, principalmente si los cultivos difieren en los índices de área foliar, ya que la intercepción de luz es desigual y esto pudiera afectar el rendimiento por unidad de área.

Según Blum (1983) el uso del índice de cosecha utilizado como un índice de selección es cuestionable, ya que un alto valor puede ser obtenido en genotipos de alto rendimiento que son muy susceptibles al stress de humedad, por lo anterior un índice de susceptibilidad a la sequía ha sido utilizado por Fischer y Maurer (1978), este índice fue usado para caracterizar la resistencia relativa a la sequía y está basado en la minimización de pérdidas de rendimiento bajo condiciones de sequía, comparadas a las condiciones húmedas mas que al nivel de rendimiento sólo bajo sequía.



Los tres parámetros principales para determinar la asimilación acumulada son el área foliar total o tamaño de la fuente, la tasa de asimilación neta por unidad de área foliar o actividad de la fuente y la longevidad de las hojas o duración de la fuente. Cuando se estima rendimiento existe otro parámetro que es el tamaño de la demanda para utilizar o almacenar los asimilatos (Hsiao *et al.*, 1976).

Ligado al tamaño de la demanda está la partición de asimilatos entre la planta, la que determina qué tanto del total de materia seca termina como rendimiento económico. Una reducción en el tamaño de la demanda lleva a una acumulación de asimilatos, lo cual en algunos casos tiene efectos negativos sobre la fotosíntesis y además sobre la actividad de la fuente (Hsiao *et al.*, 1976).

## MATERIALES Y METODOS

### LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS DEL TERRENO

El experimento se establecio en el Campo Agrícola Experimental "Navidad" perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" (UAAAN), cuyas coordenadas geográficas son 25° 04' latitud Norte y 100° 36' longitud Oeste, a una altitud de 1895 metros sobre el nivel del mar (UAAAN, 1984).

De acuerdo con el sistema de clasificación de Koppen, modificado por García (1973) el clima de Navidad N.L. corresponde al tipo BSksx'e' que se caracteriza por ser el clima más húmedo de los semiáridos, templado con verano cálido, muy extremoso con lluvias todo el año, los meses más secos son Febrero y Marzo. Los meses más fríos son Enero y Diciembre con temperaturas medias de seis a ocho grados centígrados respectivamente. Enero tiene la mayor frecuencia de heladas con temperaturas mínimas extremas de hasta -12 C. El mes más caliente del año es Junio con temperaturas medias de 19 C y con una máxima extrema de 39 C. La humedad relativa media es de 73 por ciento y los vientos predominantes son del Suroeste (UAAAN, 1984).

El terreno donde se estableció el experimento, estuvo en descanso el año anterior. Las características físico-químicas del suelo se presentan en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Características físico-químicas del suelo del sitio experimental.

CARACTERÍSTICAS EVALUADAS	E S T R A T O (cm)		
	0-30	30-60	60-90
<b>a) Químicas</b>			
pH	7.71	7.81	7.79
C E (mmhos/cm)	3.27	2.79	3.84
Materia orgánica (%)	2.36	2.24	1.73
N Total (%)	1.10	0.10	0.08
K Intercamb (kg/ha)	488.20	636.50	283.00
P aprov (kg/ha)	39.90	35.07	41.09
CO <sub>3</sub> totales	37.14	45.59	40.07
<b>b) Físicas</b>			
Arcilla (%)	16.58	16.60	13.66
Limo (%)	56.51	56.70	63.64
Arena (%)	26.40	26.70	22.70
Textura	migajón-limoso		

El suelo se caracteriza por ser de textura de migajón-limoso, con un pH de 7.7 (ligeramente alcalino). En el estrato de 0-60 centímetros de profundidad se encuentran los valores más altos de materia orgánica y se clasifica como medianamente rico, es pobre en nitrógeno, extremadamente rico en potasio y medianamente rico en fósforo aprovechable. La conductividad eléctrica (CE) es en promedio de 3.3 milimhos  $\text{cm}^{-1}$ , por lo que el suelo se clasifica como ligeramente salino.

## DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

El diseño experimental utilizado fué un bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, asignando a las parcelas grandes los tratamientos de riego y dentro de aquellas a los genotipos. Los niveles del factor principal, fueron tres tensiones de humedad del suelo como criterio para la aplicación del riego, constituyendo los siguientes tratamientos:

- 1.- Húmedo. Aplicación del riego cuando la humedad del suelo llegara a una tensión de una atmósfera.
- 2.- Intermedio. Aplicación del riego cuando la humedad del suelo llegara a una tensión de cinco atmósfera.
- 3.- Seco. Aplicación del riego cuando la humedad del suelo llegara a una tensión de 12 atmósfera.

Parcelas chicas o subtratamientos. Se utilizaron cuatro variedades que se describen a continuación:

Ciano T-79. Variedad con alto potencial de rendimiento que en la región Norte de Nuevo León ha demostrado buen comportamiento tanto bajo condiciones de riego como de temporal.



Anáhuac F-75. Variedad con buenas características de rendimiento y que se adapta bastante bien a las condiciones climáticas de la parte Norte del país.

Temporalera S-87. Variedad adaptada a condiciones de temporal en la zona centro-sur del país con características de tolerancia a sequía.

Gálvez S-87. Variedad adaptada a condiciones de temporal en la zona centro-sur del país con características de tolerancia a sequía.

Las dimensiones de la parcela chica para cada variedad fué de 7X10 m con una separación entre surcos de aproximadamente 20 centímetros; la parcela grande se conformó de cuatro melgas de 70 m<sup>2</sup> cada una que dieron en total una superficie de 280 m<sup>2</sup>.

#### MANEJO Y CONDUCCION DEL EXPERIMENTO

La siembra se realizó en seco el día 4 de febrero de 1988, eligiéndose esta fecha ya que se encuentra dentro de la época de siembra de trigo recomendada para esta región.

El terreno previamente había sido barbechado y rastreado, así como surcado a 20 centímetros para la siembra.

Al momento de la siembra se fertilizó con la dosis 180-80-00 (N,P,K), aplicando la mitad del nitrógeno y todo el fósforo. Al amacollar el cultivo se aplicó el resto del nitrógeno. Las fuentes usadas fueron: Urea (46 por ciento de N) y Super Fosfato de Calcio Triple (46 por ciento  $P_2O_5$ ) para nitrógeno y fósforo respectivamente.

La siembra se hizo manualmente utilizando una densidad de 150 Kilogramos de semilla por hectárea. La emergencia de las variedades ocurrió el día 18, de febrero es decir a los trece días después de haber aplicado el riego de nacencia.

A través del experimento no se tuvieron problemas con plagas ni enfermedades y solo se presentó una ligera infestación de maleza, la cual se controló mecánicamente el día 25 de abril de 1988.

Por otra parte, durante el ciclo solo se presentó una precipitación el día 17 de marzo de 1988 que fué considerada como inapreciable.

La cosecha se realizó el día 29 de junio utilizando una trilladora estacionaria tipo "Pullman".

La periodicidad de aplicación de los riegos se hizo conforme a los valores obtenidos en los muestreos gravimétricos de la humedad del suelo. Esto es, cuando dichos valores llegaron en promedio a los niveles de tensión de humedad pre-establecidos como criterio para la aplicación del riego. Para esto se muestrearon los primeros 60 centímetros de profundidad a intervalos de 30 cm, considerando como capa de control el primer estrato. En la Figura 3.1 se presenta la curva característica de retención de humedad para este suelo.

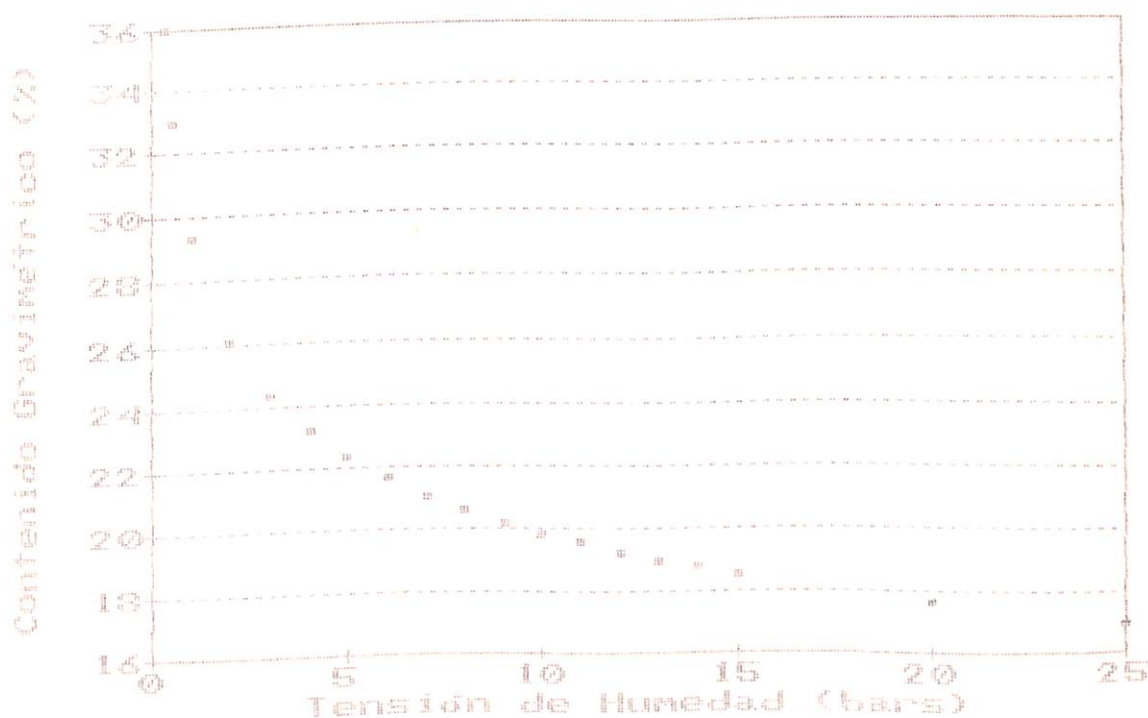


Fig 3.1 Curva característica de retención de humedad para el estrato 0-60 cm. del suelo del sitio experimental.

Para la aplicación de los riegos se utilizó el método tradicional que se usa en la región, que consiste en abrir la cabecera de la melga para permitir el paso del agua, aplicando láminas de riego de aproximadamente 10 a 12 centímetros.

### Humedad del Suelo

El seguimiento de la evolución de la humedad del suelo se realizó por el método gravimétrico con una frecuencia de tres días, además de y antes y después de cada riego. Se tomaron dos muestras por parcela a las profundidades de 0-30 y 30-60 centímetros, con la finalidad de calcular las láminas consumidas por el cultivo y poder establecer de esta manera las fechas probables de riego. La densidad aparente obtenida por el método de núcleos inalterados y considerada para los cálculos fué de  $1.3 \text{ g cm}^{-3}$  en promedio.

### Planta

Para el análisis de crecimiento y repartición de fotosintatos se realizaron muestreos de la parte aérea de la planta en siete fechas correspondientes a los 63, 76, 87, 94, 103, 110 y 117 días de edad del cultivo. Para ello se cosechó un tramo de 50 centímetros lineales ( $0.1 \text{ m}^2$ ), y se contó el número de plantas totales en esta área



seleccionando diez, y procurando que fuera una muestra representativa del total de plantas en la parcela.

Dichas plantas seleccionadas fueron seccionadas en hojas, tallos y espigas, cuando estuvo presente y sirvieron para las determinaciones de área foliar y materia seca.

### Area Foliar

Se midió el área foliar activa (verde) del total de folíolos presentes en las diez plantas seleccionadas en un integrador de área foliar Marca HD (Modelo AAM-7). El área foliar media por planta se convirtió a área foliar para el total de plantas por unidad de área, a fin de obtener el Índice de Area Foliar.

### Materia Seca

La materia seca de hojas, tallos y espigas se determinó después de haber llevado las muestras a un peso constante en una estufa de circulación de aire forzado a 70 C durante 72 horas.

### COMPONENTES DE RENDIMIENTO

La materia seca total aérea se obtuvo de las plantas en una superficie de 4m<sup>2</sup> (parcela útil) ubicada en el centro de las unidades experimentales, registrándose el peso seco más grano y luego se tomó una muestra de medio

kilogramo, para determinar el contenido de humedad y ajustar la cosecha a peso seco, incluyéndose el grano. La trilla se realizó días después que la humedad disminuyó, se tomó el peso seco del grano y se ajustó al 13 por ciento de humedad. En una muestra de 1000 granos se determinó su peso. La longitud y el número de granos en cada una de las diez espigas fueron determinadas, y posteriormente se usaron para calcular el índice de cosecha, el cual se obtuvo dividiendo los kilogramos de grano entre los kilogramos de paja mas grano.

#### PARAMETROS DE CRECIMIENTO

Para la interpretación cuantitativa del crecimiento se utilizaron los siguientes parámetros: tasa relativa de crecimiento, tasa de asimilación neta, índice de área foliar y razón de área foliar. Estos parámetros de acuerdo a lo indicado por Radford (1967) y Hunt (1978), se definen:

$$a) \text{ TCR} = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{T_2 - T_1}$$

$$b) \text{ TAN} = \frac{(P_2 - P_1/T_2 - T_1)(\ln A_2 - \ln A_1)}{A_2 - A_1}$$

$$c) \text{ RAF} = \frac{A}{P}$$

$$d) \text{ IAF} = \frac{A}{S}$$

donde: TCR= Tasa relativa de crecimiento en  $g \cdot g^{-1} \text{ día}^{-1}$

TAN= Tasa de asimilación neta en  $\text{g.cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$   
 RAF= Razón de área foliar en  $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$   
 IAF= Índice de área foliar (adimensional)  
 A = Área foliar ( $\text{cm}^2$ )  
 A<sub>1</sub> = Área foliar del muestreo i-1  
 A<sub>2</sub> = Área foliar del muestreo i  
 P = Peso seco total del vástago (g).  
 P<sub>1</sub> = Peso seco total del día i-1  
 P<sub>2</sub> = Peso seco total del día i  
 T = Tiempo (días después de la siembra)  
 T<sub>1</sub> = Muestreo en el día i-1  
 T<sub>2</sub> = Muestreo en el día i

El valor de las tasas de crecimiento relativa y de asimilación neta, corresponde al promedio obtenido entre dos cosechas sucesivas, mientras que los valores de razón de área foliar e índice de área foliar corresponden a valores en el momento en que se realizó el muestreo. Los supuestos para la aplicación de las fórmulas se indican en Radford (1967) y Hunt (1978).

## ANÁLISIS DE LA INFORMACION

El rendimiento y sus componentes fueron analizados de acuerdo al modelo propuesto para el diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas. En el caso de la materia seca de cada uno de los componentes (hojas, tallos y espigas) hubo necesidad de hacer la transformación arco seno raíz cuadrada a los datos observados con la finalidad de que cumpliera con los supuestos del análisis de varianza. Con el número total de plantas y el área foliar de una muestra de diez se realizó

un análisis de covarianza tomando como covariable la primera, y ajustando las medias de los tratamientos.



## RESULTADOS

### RENDIMIENTO

El análisis estadístico reportó diferencias significativas para los niveles de riego, no siendo así para las variedades y la interacción. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 4.1, en el que se observa que los más altos rendimientos fueron obtenidos por los tratamientos que recibieron el riego a una tensión en la humedad del suelo de una atmósfera, y dentro de éstos fué la variedad Gálvez quien reportó el valor más alto con 5.34 ton/ha., aunque, no fué significativamente diferente del resto de las variedades.

Se observa la tendencia a disminuir el rendimiento a medida que se hace progresivo el déficit hídrico para la planta.

En general, hubo un mayor rendimiento en los niveles de riego intermedio y seco para las variedades de Ciano y Anáhuac, mientras que las variedades Gálvez y Temporalera presentan consistentemente el menor rendimiento, siendo ésta última la que obtuvo los más bajos rendimientos en el nivel de riego más crítico (12 atm) con 1.97 ton/ha.

Cuadro 4.1 Rendimiento y sus componentes para los tratamientos estudiados.

Tratamientos Riego-Varietades	C o m p o n e n t e s					
	1 <sup>a</sup>	2	3	4	5	6
Húmedo						
Temporalera	9.5	30	397	44.9	5.26	45.5
Anáhuac	8.5	39	377	39.5	4.34	43.4
Ciano	8.5	49	355	37.4	5.27	40.4
Gálvez	8.5	38	367	36.5	5.34	44.9
Intermedio						
Temporalera	8.5	25	267	40.2	2.76	43.3
Anáhuac	8.0	33	273	36.3	3.10	41.6
Ciano	7.8	43	324	32.7	3.67	40.5
Gálvez	8.2	34	338	40.6	3.08	40.6
Seco						
Temporalera	8.0	22	265	39.6	1.97	39.6
Anáhuac	7.0	32	225	35.8	2.55	44.8
Ciano	7.8	40	285	26.7	2.69	42.5
Gálvez	7.3	30	267	35.1	2.02	43.0
C.V.						
Riegos	6.0	15.6	33.0	7.2	45.9	6.4
Varietades	4.2	7.4	24.3	8.7	16.4	5.3
Sign.						
Riegos	**	*	NS	**	**	NS
Varietades	**	**	NS	**	NS	NS
DMS 0.05						
Riegos	0.7	4.5	234	7.3	1.30	10.8
Varietades	0.8	6.1	61	7.6	2.38	6.3

- a 1. Número de granos por espiga.  
 2. Longitud de espiga (cm).  
 3. Espigas por metro cuadrado.  
 4. Peso de 1000 granos (g).  
 5. Rendimiento (ton/Ha).  
 6. Índice de Cosecha (%).

En el Cuadro 4.1 se presenta el comportamiento de las variedades a través de los niveles de riego, se puede observar la tendencia a disminuir los rendimientos al hacerse más negativa la tensión de la humedad en el suelo; también se observa la estabilidad de los materiales

genéticos a través de los "ambientes" de riego; las variedades de temporal (Gálvez y Temporalera) presentan alto potencial de rendimiento bajo condiciones de buena humedad en el suelo, sin embargo, y muy diferente a lo esperado, dado las características por las que fueron seleccionadas, son estas mismas variedades las que obtienen los rendimientos más bajos cuando los niveles de humedad en el suelo se hacen más críticos (12 atm).

El porcentaje de reducción en el rendimiento para estas variedades, tomando como referencia el tratamiento húmedo, fué de 62 por ciento mientras que los correspondientes para las variedades de riego Ciano y Anáhuac fué de 48 y 41 por ciento respectivamente.

## COMPONENTES DE RENDIMIENTO

### Longitud de espiga

Este parámetro se vió afectado por ambos factores en estudio presentándose diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Las tendencias de los tratamientos se presentan en la Figura 4.1a, en la que se observa la disminución de la longitud de la espiga conforme el déficit hídrico se fué acrecentando, de tal manera que los valores más altos le corresponden al tratamiento húmedo con 8.7 cm seguido del intermedio y el seco con 8.1 y 7.5 cm en promedio respectivamente (Cuadro 4.2).



Cuadro 4.2 Componentes medios de rendimiento, rendimiento e índice de cosecha promedio para las variedades dentro de los tratamientos de riego.

Tensión (bars)	C o m p o n e n t e s					
	1a	2	3	4	5	6
1	8.7	39a	374	39.5a	5.05a	43.5
5	8.1	34b	300	37.4a	3.15b	41.5
12	7.5	31b	261	34.3b	2.31b	42.5
C.V.	6.0	15.6	33.0	7.2	48.30	6.4
Sign.	* *	*	NS	* *	* *	NS
DMS 0.05	0.7	4.5	234.0	7.3	1.30	10.8

Cuadro 4.3 Componentes medios de rendimiento, rendimiento e índice de cosecha promedio para cada variedad.

Variedad	C o m p o n e n t e s					
	1	2	3	4	5	6
Temporalera	8.6	25c	310	41.5a	3.33	42.8
Anáhuac	7.8	35ab	292	37.2ab	3.33	43.3
Ciano	8.0	40a	321	32.2b	3.88	41.1
Gálvez	8.0	34b	324	37.4ab	3.48	42.8
C.V.	4.2	7.4	24.3	8.7	16.40	5.3
Sign.	* *	* *	NS	* *	NS	NS
DMS 0.05	0.8	6.1	61.9	7.6	2.3	6.3

- <sup>a</sup> 1. Longitud de espiga (cm).  
 2. Número de granos por espiga.  
 3. Espigas por metro cuadrado.  
 4. Peso de 1000 granos (g).  
 5. Rendimiento (ton/Ha).  
 6. Índice de Cosecha (%).

\*\* . Tratamientos con misma letra son estadísticamente iguales entre si con una probabilidad del .05 % (Duncan).



La variedad que presentó la mayor longitud de espiga fué la Temporalera con 8.6 cm, siguiéndole Anáhuac con 8.1 y finalmente Ciano y Gálvez con 8.0 cm en promedio cada una de ellas (Cuadro 4.3).

#### Espigas por metro cuadrado.

Los valores obtenidos para los diferentes tratamientos se presentan en el Cuadro 4.1. El análisis estadístico no presentó diferencias estadísticas significativas, sin embargo, en el Cuadro 4.2 se observa que la tensión de humedad en el suelo tuvo un efecto marcado en el número de espigas por metro cuadrado, presentando los valores más altos el tratamiento húmedo con 374 espigas/m<sup>2</sup> siguiendo en orden decreciente el tratamiento intermedio con 300 y finalmente el tratamiento seco con 261 espigas/m<sup>2</sup>.

Con respecto a las variedades, en el Cuadro 4.3 se observa que en promedio, considerando los tratamientos de humedad, fué la variedad Gálvez la que obtuvo los más altos valores con 324 espigas/m<sup>2</sup> aunque no fué estadísticamente diferente al resto de las variedades, cuyos valores fueron 321, 310 y 292 espigas/m<sup>2</sup> para Ciano, Temporalera y Anáhuac, respectivamente.

En la figura 4.1 se muestra el comportamiento de las variedades para cada nivel de riego; Anáhuac fué más susceptible al déficit hídrico ya que redujo el número de

espigas por unidad de superficie aproximadamente en un 40 por ciento al pasar de condiciones de buena humedad (1 atm) a niveles críticos (12 atm).

La variedad Temporalera también sufrió una caída drástica al pasar de condiciones húmedas a intermedias, sin embargo; se estabilizó al acentuarse el déficit hídrico.

#### Número de granos por espiga.

Se presentaron diferencias estadísticas significativas para ambos factores en estudio (Cuadro 4.1); el comportamiento de éste parámetro se mostró inversamente relacionado al déficit hídrico. Así tenemos que los valores más altos en el número de granos por espiga le corresponden al tratamiento húmedo con 39, siguiéndole el intermedio y el seco con 34 y 31 respectivamente, los cuales son estadísticamente iguales entre si pero diferentes al primero (Cuadro 4.2).

Al considerar el comportamiento de las variedades en los tres niveles de humedad en promedio, tenemos que, fueron las variedades para riego Ciano y Anáhuac las que presentaron los más altos valores con 40 y 35 granos por espiga respectivamente, siendo estos valores estadísticamente iguales pero diferentes a aquellos obtenidos por la variedad Temporalera, que registró el valor más bajo con 25 granos por espiga en promedio en los tres niveles de humedad considerados (Cuadro 4.3).

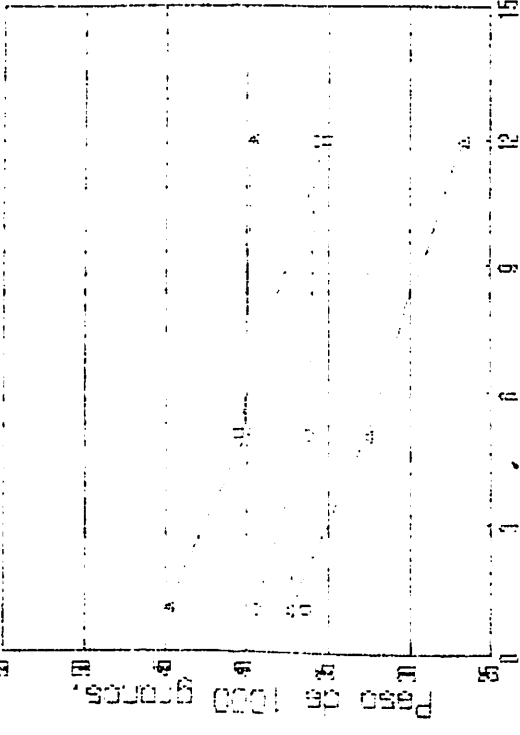
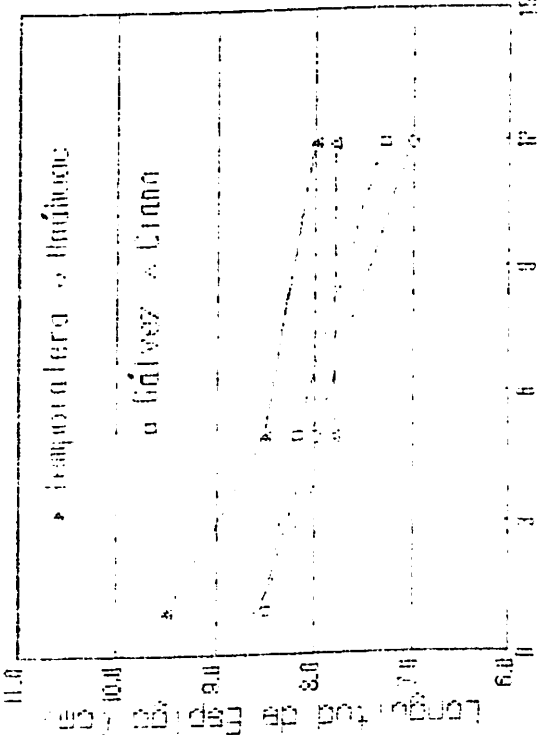
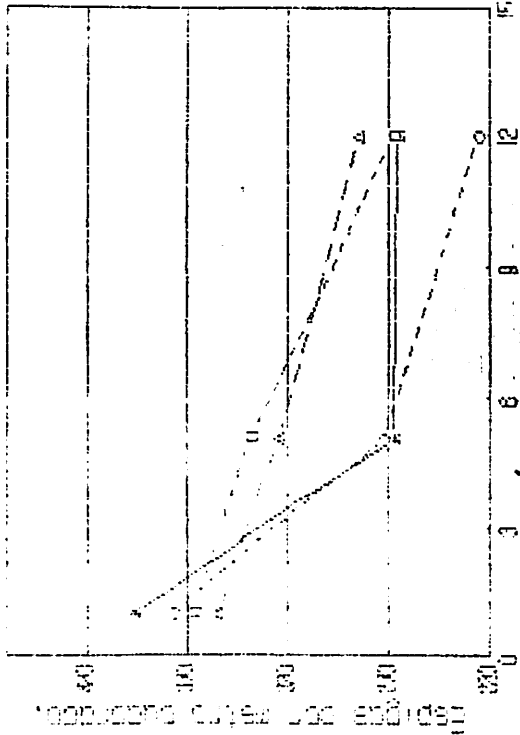
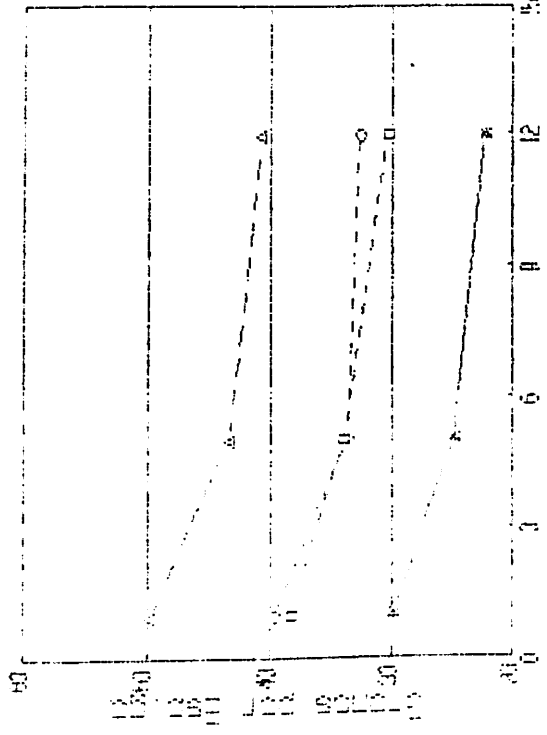


Figura 4.1 Comportamiento de los componentes de los rendimientos para los tratamientos en estudio.

En la figura 4.1 se presenta la tendencia de este parámetro para las cuatro variedades en los tres niveles de humedad. Como se puede apreciar el comportamiento es similar para las cuatro variedades, cambiando únicamente la magnitud. Tal parece que la variedad Temporalera está limitada genéticamente en el número de granos por espiga ya que aún en el tratamiento húmedo, que es en el cual debiera expresar su potencial genético, su valor no se equipara con aquellos obtenidos por el resto de las variedades en el nivel de máxima deficiencia hídrica (12 atm).

#### Peso del grano.

Se presentaron diferencias altamente significativas, tanto para los tratamientos de riego como para los materiales genéticos. En los primeros (Cuadro 4.2) los valores más altos le correspondieron a los tratamientos húmedo e intermedio (estadísticamente iguales) con 39.5 y 37.4 g, mientras que el tratamiento seco fue estadísticamente diferente y obtuvo en promedio el valor más bajo con 34.3 g.

Dentro de variedades, Temporalera obtuvo el valor más alto con 41.5 g. Sin embargo, aquel no fue estadísticamente diferente al peso del grano observado en Gálvez y Anáhuac (que obtuvieron valores de 37.4 y 37.2 g respectivamente) pero si al de Ciano que obtuvo el mínimo valor con 32.2 g (Cuadro 4.3).



En general todas las variedades a excepción de Gálvez mostraron la tendencia a disminuir el peso del grano conforme se acentuaba el déficit hídrico (Figura 4.1), siendo la variedad para riego Ciano la que mostró la mayor susceptibilidad al déficit, ya que al pasar de condiciones húmedas (1 atm) a condiciones menos favorables (12 atm) reduce drásticamente el peso del grano.

Con los valores medios de los componentes del rendimiento se corrió una regresión múltiple, la cual tuvo un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.90.

Al estandarizar los coeficientes se pudo observar que fué el tamaño de la espiga el que más influencia tuvo al explicar el rendimiento de grano del cultivo, siguiéndole en orden de importancia el número de granos por espiga, peso del grano y número de espigas por metro cuadrado respectivamente. La ecuación resultante que estima el rendimiento es:  $Y = -11081.9 + 1224.7X_1 + 67.41X_2 + 6.52X_3 + 1.06X_4$ .

donde:

- Y = Rendimiento de grano en g/m<sup>2</sup>.
- X<sub>1</sub> = Tamaño de espiga (cm).
- X<sub>2</sub> = Número de granos por espiga.
- X<sub>3</sub> = Peso del grano (g).
- X<sub>4</sub> = Espigas por metro cuadrado.

## DISTRIBUCION DE MATERIA SECA

Al analizar las curvas de acumulación de materia seca (MS) para cada órgano de la planta, en el tratamiento seco nos damos cuenta que los comportamientos de materia seca total son muy diferentes para las variedades de

temporal con respecto a las de riego. Podemos observar que en las variedades para riego siempre se tiene un incremento progresivo, y que no sucede lo mismo con las variedades Gálvez y Temporalera, las cuales tienen un estancamiento y/o descenso en la tasa de acumulación de materia seca total cuando el déficit hídrico se prolonga, reanudándola una vez que las condiciones de humedad en el suelo se vuelven más favorables (aplicación de riego).

Aún dentro de estas dos variedades el tiempo de respuesta al ambiente favorable es diferente ya que la variedad Temporalera responde acumulando materia seca (creciendo) en un lapso de tiempo menor que Gálvez. Con respecto al componente de rendimiento que es sacrificado al ocurrir el déficit hídrico, Temporalera sacrifica la acumulación de materia seca en el tallo (según lo demuestra su similitud en las pendientes de la curva ), mientras que Gálvez sacrifica más la materia seca de la hoja pues sus tasas de acumulación se vuelven negativas y aún después del riego no llegan a recuperarse (Figura 4.2).

El comportamiento de la dinámica de acumulación de materia seca total para el tratamiento intermedio dentro de las variedades de temporal es más o menos el mismo, siendo diferente solo la magnitud del cambio y la velocidad a que éste ocurre. Se observa nuevamente la velocidad en la respuesta al estímulo (riego) entre la variedad Gálvez y Temporalera. La dinámica de acumulación para la variedad

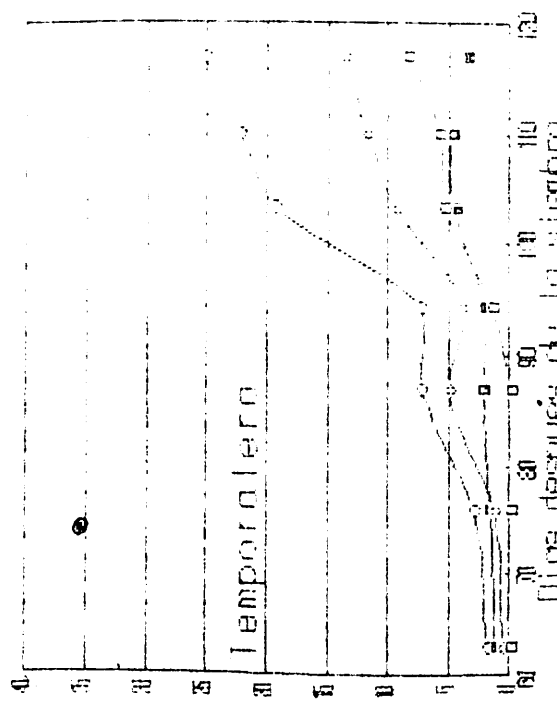
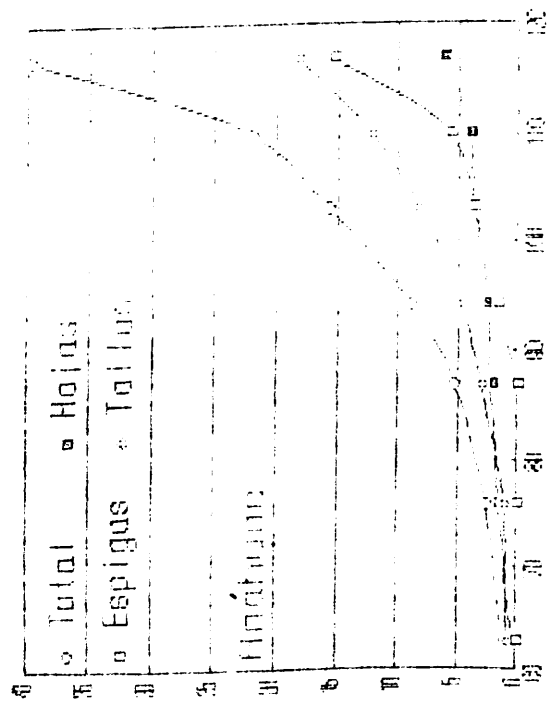
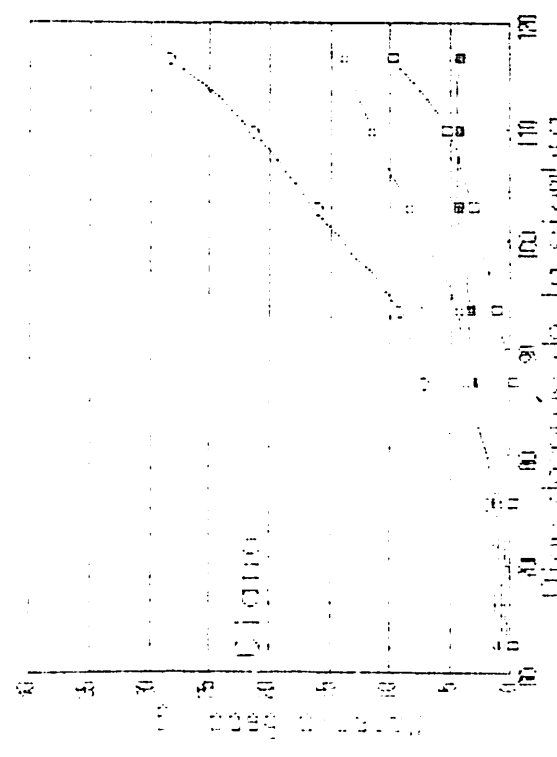
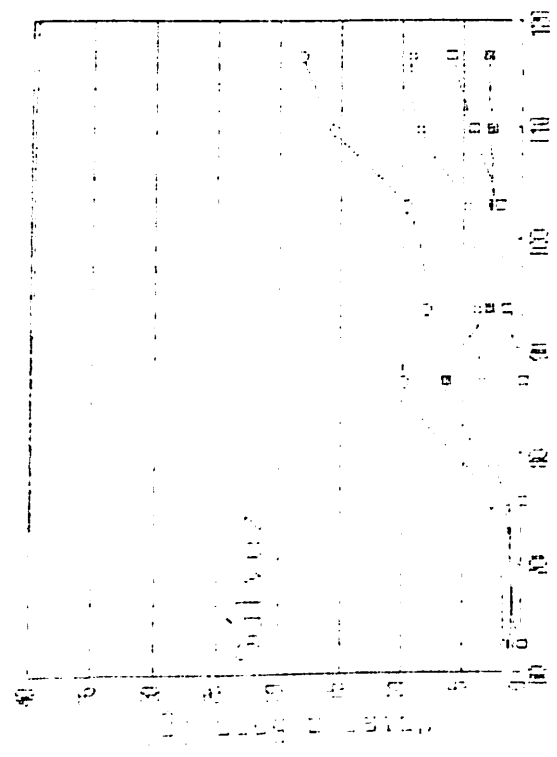


Figura 4.2 Acumulación de materia seca de hojas, tallos, espigas y total para las variedades en el tratamiento seco.

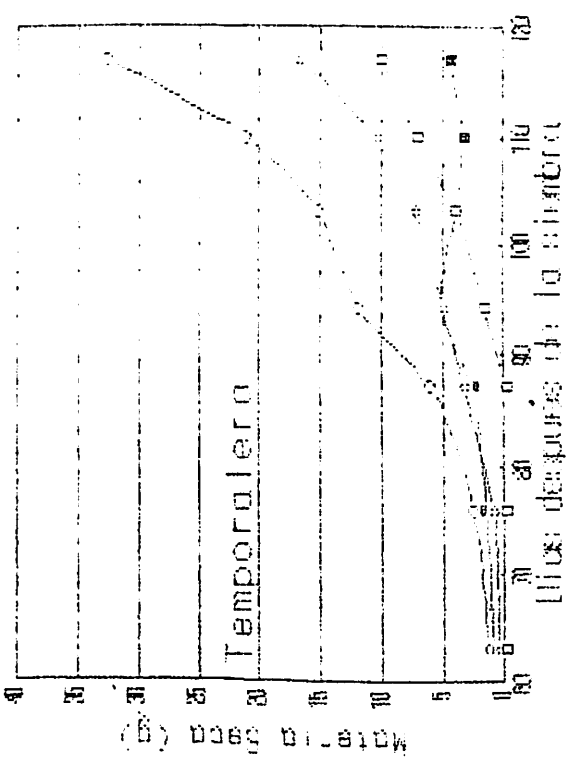
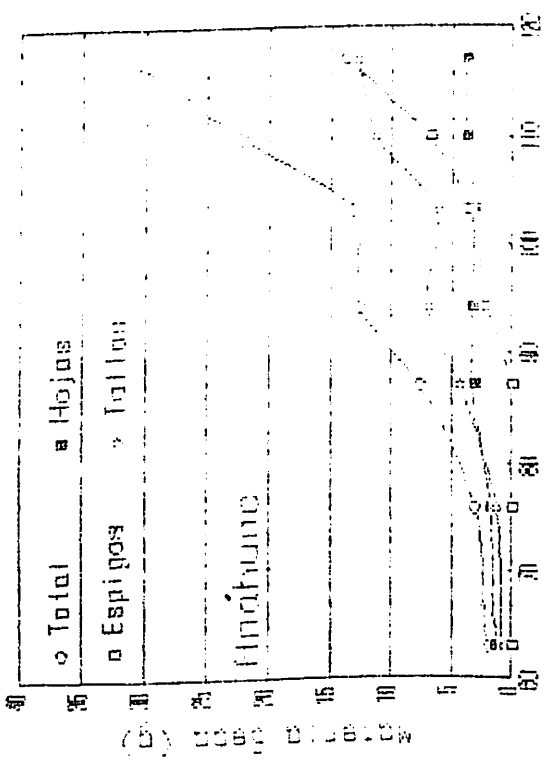
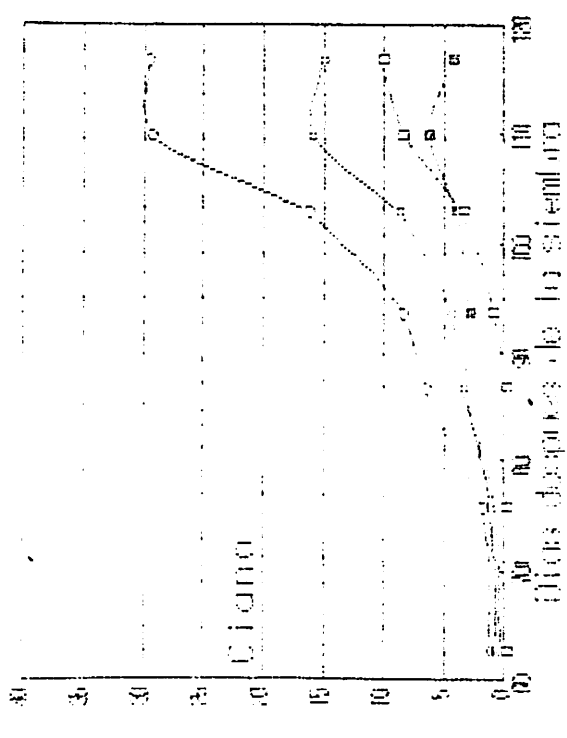
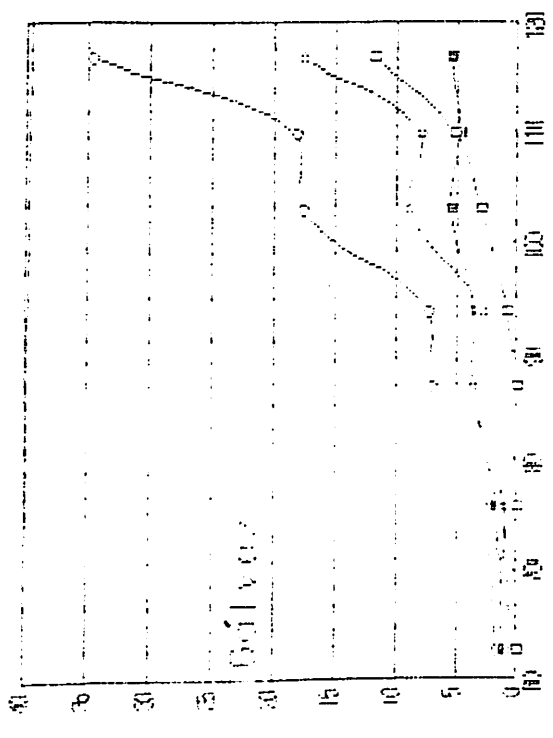


Figura 4.3 Acumulación de materia seca de hojas, tallos, espigas y total para las variedades en el tratamiento intermedio.



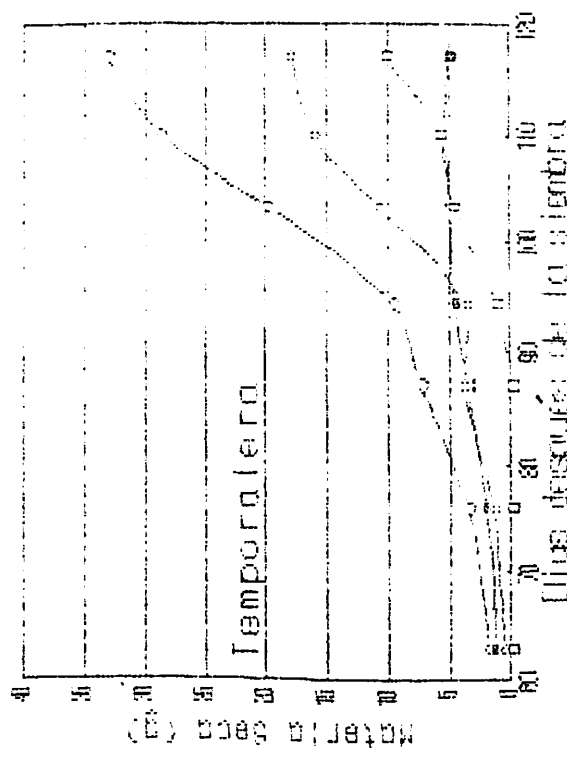
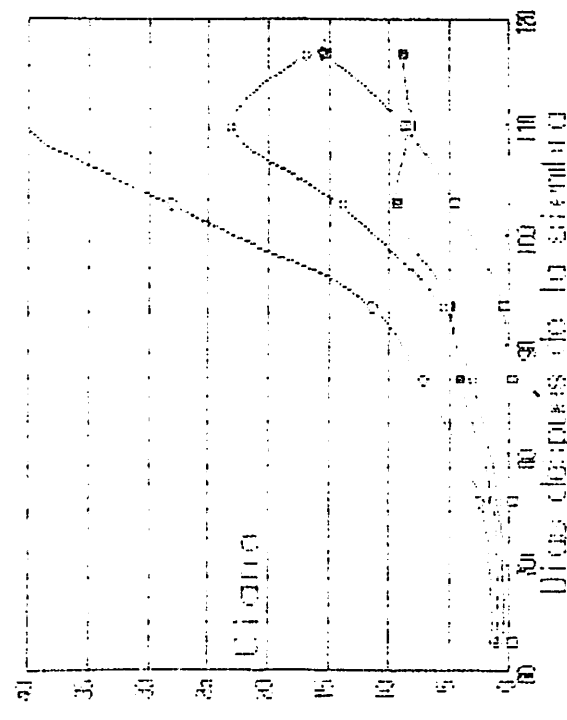
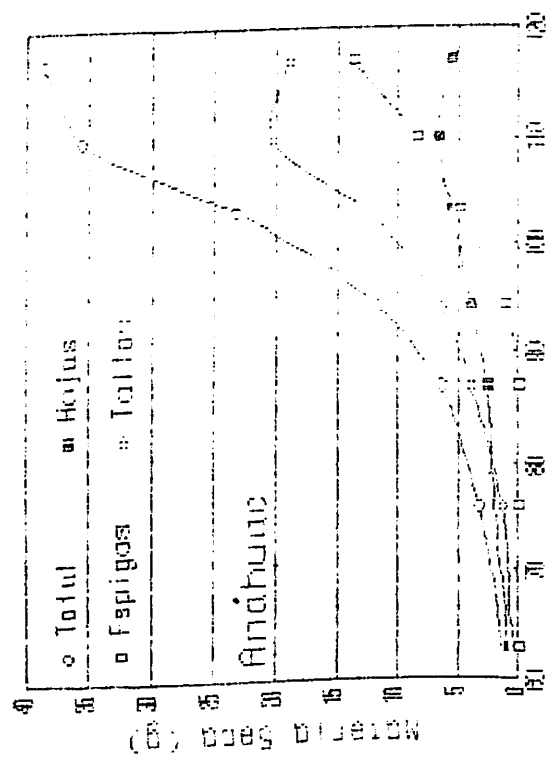
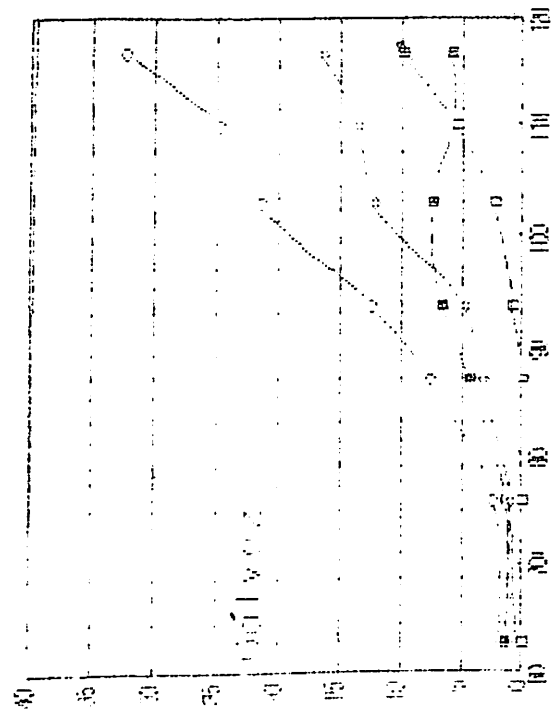


Figura 4.4 Acumulación de materia seca de hojas, tallos, espigas y total para las variedades en el tratamiento húmedo.

Ciano, no difiere en mucho de la obtenida en el tratamiento seco, no sucediendo lo mismo con la variedad Anáhuac, ya que la velocidad de acumulación de MS total a partir del día 90 después de la siembra sufrió una ligera baja, debiéndose principalmente, a una disminución en el peso seco del tallo (Figura 4.3).

La dinámica de acumulación de materia seca total se modificó grandemente para el tratamiento húmedo con respecto al seco, tanto en magnitud como en velocidad, eliminándose en las variedades de temporal el efecto adverso que producía el déficit hídrico (retardo en crecimiento). Por otra parte, destaca la disminución en el peso seco del tallo de las variedades de riego, situación que no se presentó para las variedades de temporal. Los más altos valores de MS total y de espigas los presentan las variedades para riego Ciano y Anáhuac con 42, 38 y 15, 14 gramos para cada una de ellas respectivamente (Figura 4.4).

Nuevamente se nota la baja en el peso seco de las hojas en la variedad Gálvez, tal vez, como un mecanismo para evitar el efecto del stress hídrico.

#### **PARTICION DE BIOMASA**

En general, la partición de biomasa al sistema asimilatorio siguió la misma tendencia para las cuatro variedades y los niveles de riego contrastantes húmedo y

seco (Figura 4.5). Dicha tendencia fué descendente conforme avanzaba el ciclo vegetativo del cultivo. Aproximadamente a los 64 días después de la siembra (dds) todos los tratamientos considerados mantenían en sus hojas de un 60 a 70 por ciento del carbón asimilado, y conforme transcurrió el tiempo estos porcentajes fueron disminuyendo paulatinamente hasta quedar entre un 10 y 20 por ciento aproximadamente a los 115 días después de la siembra cuando la espiga estaba en pleno llenado de grano.

La modificación en la distribución se hizo más notoria en las variedades seleccionadas para temporal, ya que en condiciones de buena humedad hasta antes de floración (aproximadamente 94 días) almacenaban en las hojas arriba del 50 por ciento del carbón asimilado por la planta. Sin embargo, a partir de esa fecha tuvieron un descenso marcado en la acumulación de biomasa en estos órganos (Figura 4.5).

La variedad Anáhuac no presentó grandes diferencias en la partición de biomasa bajo los tratamientos de riego considerados. En general se observó, que en el tratamiento húmedo una mayor cantidad de biomasa se quedan en las hojas debido quizá al mayor tamaño del aparato fotosintético.

El comportamiento en la distribución de biomasa hacia el tallo para las variedades estudiadas se presenta en la Figura 4.6, en la que se puede observar que la

tendencia en la acumulación de biomasa para este componente fué generalmente ascendente a lo largo del ciclo del cultivo, no existiendo gran diferencia entre los tratamientos de riego. Sin embargo, destaca el comportamiento de la variedad Temporalera, la que muestra un ascenso pronunciado a los 76 dds y posteriormente en anthesis desciende abruptamente en aproximadamente un 20 por ciento.

A excepción de Temporalera el resto de las variedades mostró una ligera baja en sus porcentajes justo en el estado lechoso-masoso del grano (110 dds).

El patrón de distribución de biomasa hacia la espiga se vió fuertemente afectado por los tratamientos de riego (Figura 4.7), observándose en todos los casos que el tratamiento de deficiencia hídrica severa (12 atm) provocó un aceleramiento en la translocación de biomasa hacia la espiga según lo demuestran los valores obtenidos para una misma fecha de muestreo.

A excepción de la variedad Ciano en su último muestreo, todas las variedades tuvieron mayor proporción de biomasa en la espiga, debido quizá, a un aceleramiento en el ciclo biológico de las plantas sujetas a stress severo. La variedad Gálvez, fué la que presentó las mayores modificaciones en la distribución de biomasa al pasar de una a 12 atmósferas de tensión en la humedad del suelo.



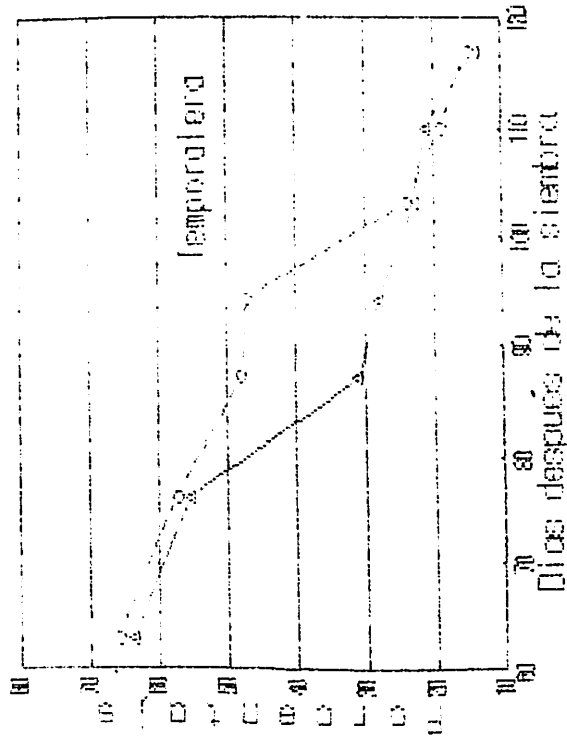
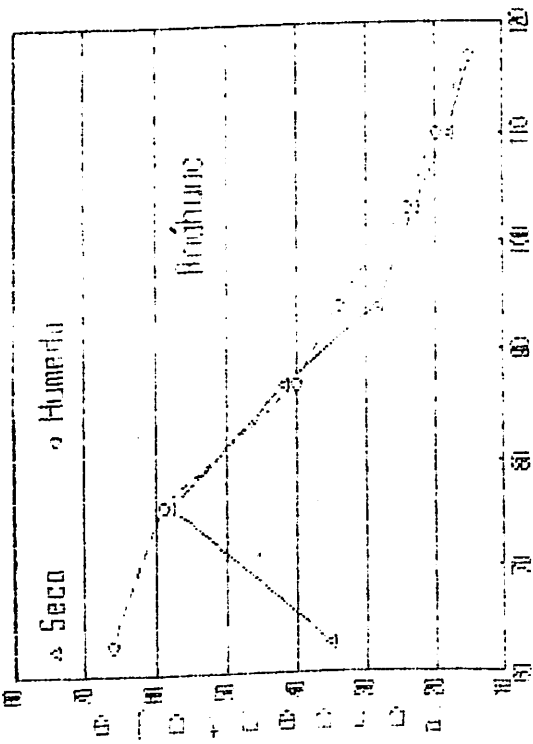
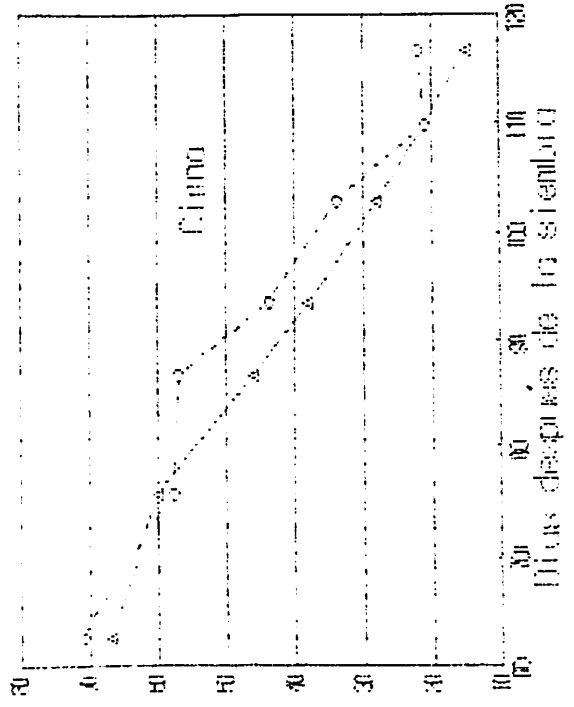
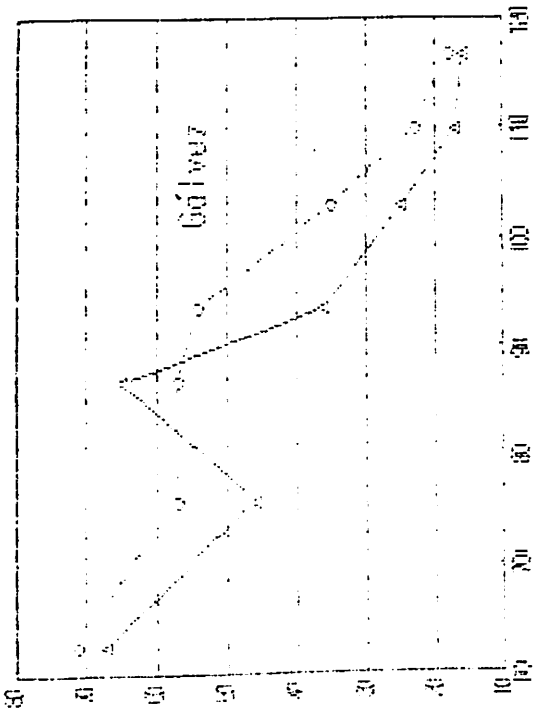


Figura 4.5 Partición de biomasa hacia la hoja para las variedades en los tratamientos húmedo y seco.

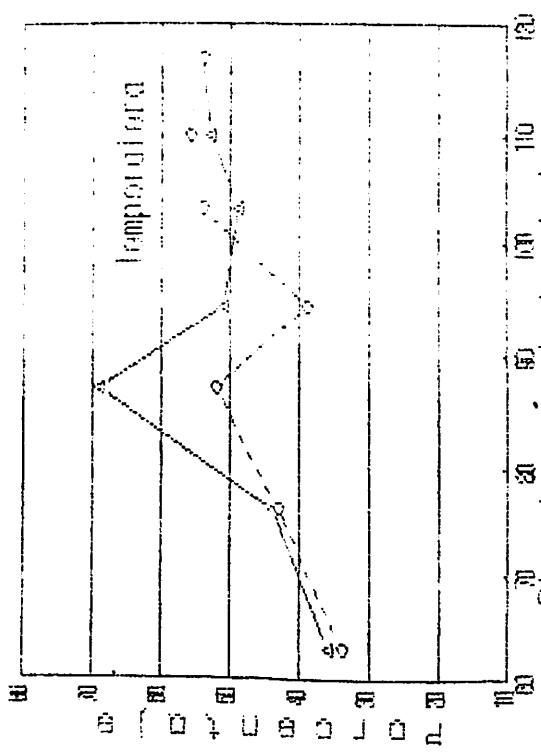
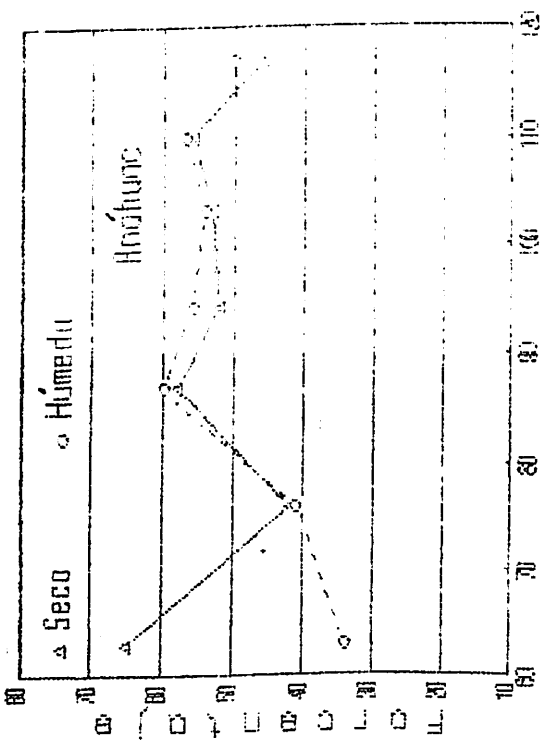
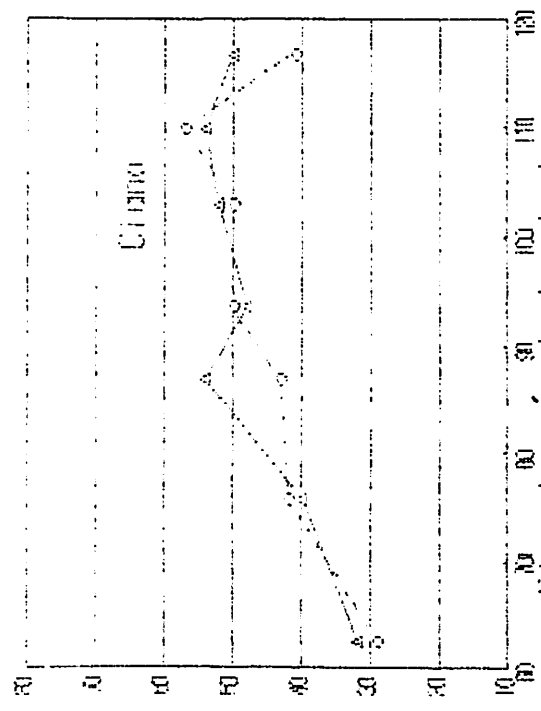
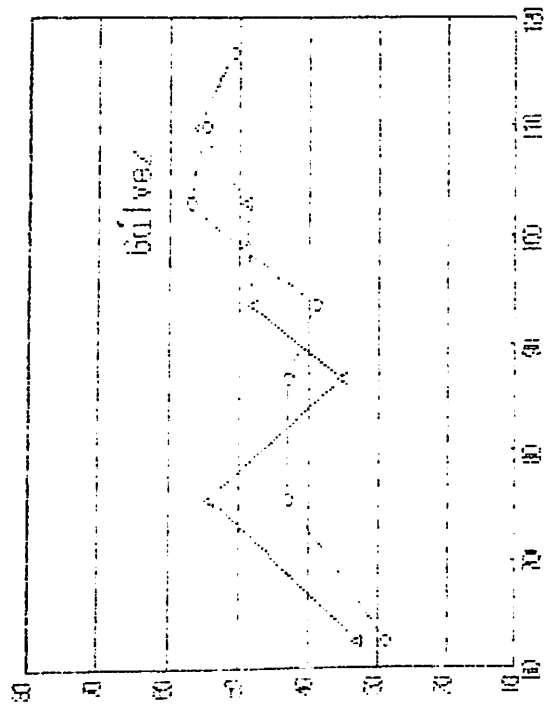


Figura 4.6 Partición de biomasa hacia el tallo para las variedades en los tratamientos húmedo y seco, días después de la siembra

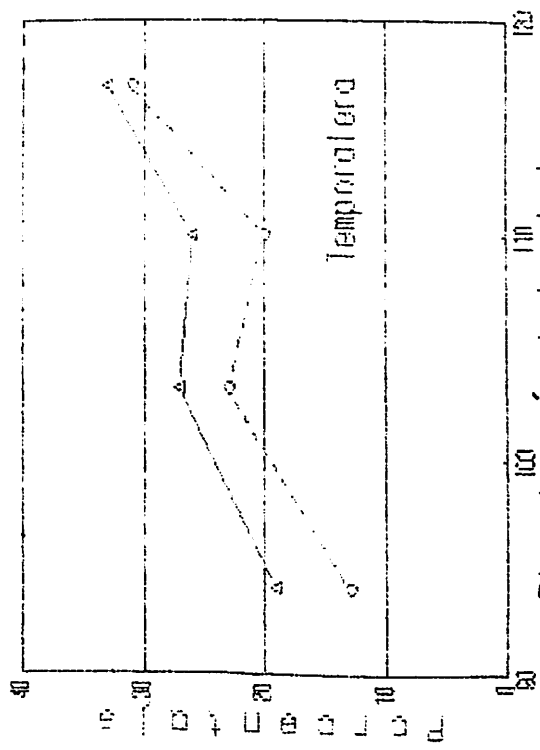
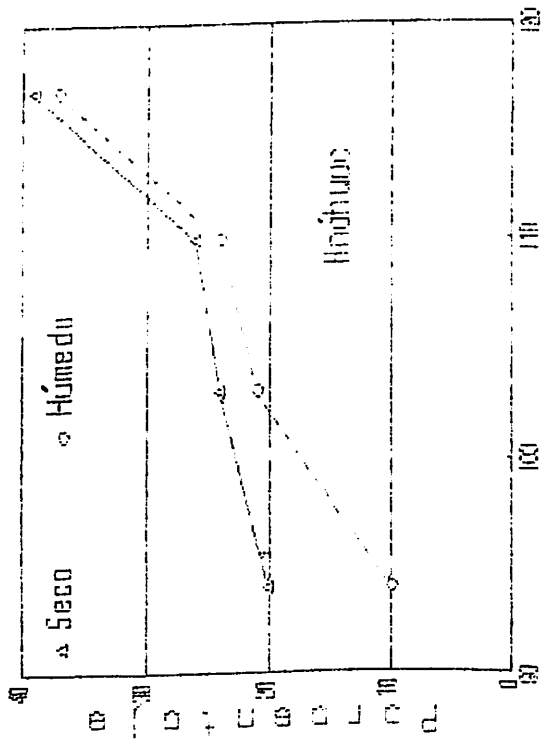
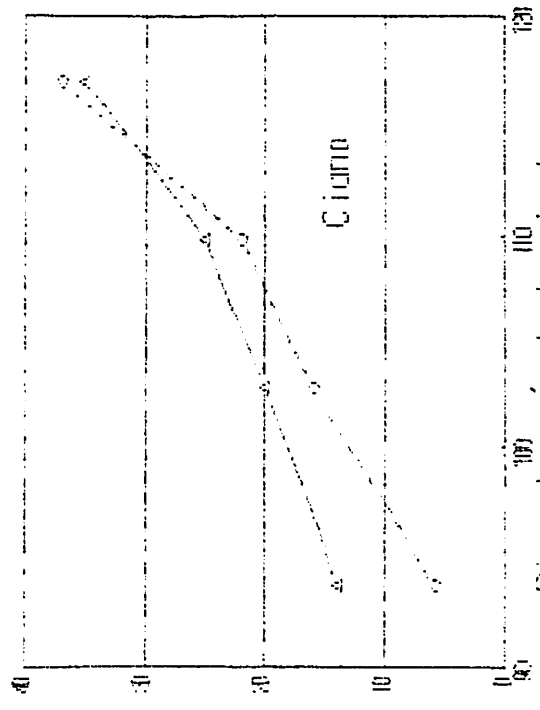
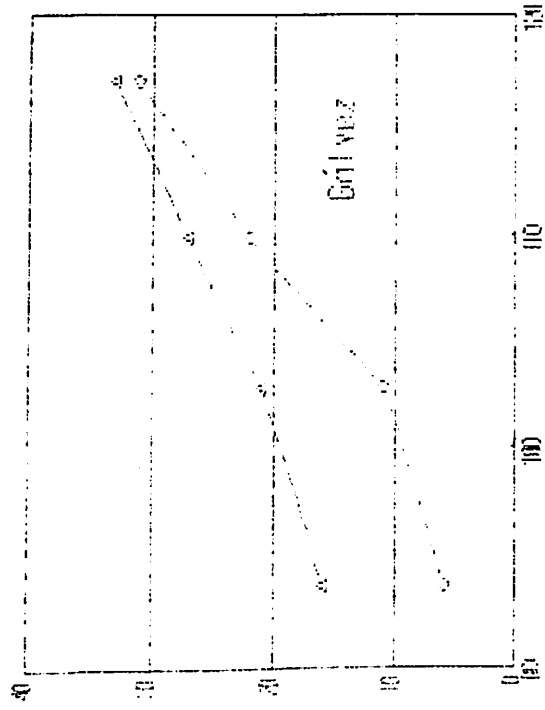


Figura 4.7 Partición de biomasa hacia la espiga para las variedades en los tratamientos húmedo y seco.

Al analizar la distribución de biomasa en las diferentes partes de la planta, se pudo observar que las variedades para riego Ciano y Anáhuac modifican en menor grado la partición, destacándose la última por su mayor estabilidad en los tratamientos de humedad contrastantes.

#### PARAMETROS DE CRECIMIENTO.

En este apartado se presentan los resultados de algunos parámetros de crecimiento que se consideran importantes para tratar de explicar las respuestas que en rendimiento tuvieron los diferentes materiales genéticos.

Los valores medios para la tasa de crecimiento relativo, tasa de asimilación neta y razón de área foliar se presentan en los apéndices A,B y,C respectivamente. Sin embargo, sólo se discutirán los valores observados próximos a la floración del cultivo por considerar que es esta etapa la de mayor importancia ya que la actividad de los procesos fisiológicos que ocurran en ella, repercutirá en mayor grado sobre el rendimiento del cultivo.

#### Tasa de Crecimiento Relativo

La respuesta del cultivo a este parámetro no tuvo una tendencia definida tanto para variedades como para riegos (Figura 4.8). Se puede observar que el comportamiento de la tasa de crecimiento relativa fué similar



para las variedades Ciano y Temporalera. Esto es, cuando el contenido en la humedad del suelo pasó de una a cinco atmósferas hubo un incremento en este índice, pero al hacerse más negativa la tensión (12 atm) en el suelo este parámetro no mostró modificaciones apreciables, siendo superiores los valores obtenidos por la variedad Ciano en todos los casos.

Con respecto a la variedad Anáhuac esta presentó un incremento en la tasa de crecimiento relativo al pasar de 1 a 5 atmósferas, situación que no se mantuvo ya que al hacerse más negativa la tensión de la humedad en el suelo (12 atm) su valor descendió. En tanto, la variedad Gálvez tuvo un comportamiento completamente diferente al anterior, disminuyendo al pasar de 1 a 5 atmósferas, para después incrementarse al disminuir el contenido de humedad en el suelo.

El análisis estadístico para este parámetro presentó diferencias significativas para tratamientos siendo los mejores Gálvez y Ciano con 102 y 103 mg g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en promedio respectivamente.

#### Tasa de asimilación neta

Los tratamientos estudiados mostraron alta significancia estadística para este parámetro. Los valores mas altos se presentaron en la variedad Ciano en los

tratamientos húmedo e intermedio. En general todas las variedades mostraron la misma tendencia. Los valores de la tasa de asimilación neta se incrementaron al pasar de 1 a 5 atmósferas para después disminuir al pasar de 5 a 12, a excepción de Gálvez que en estas mismas tensiones incrementó considerablemente el valor de éste índice de un valor de 13.45 a  $23.74 * 10^{-4} \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$  (Apéndice B).

Se nota la diferencia en la magnitud del cambio al pasar de húmedo a intermedio en las variedades Temporalera y Anáhuac ya que sus diferencias en la tasa de asimilación neta en los tratamientos antes mencionados son de 5.22 y  $4.30 * 10^{-4} \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ , mientras que para Ciano y Gálvez esta diferencia es de tan sólo  $1.22 * 10^{-4} \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$  (Figura 4.8).

#### Razón de área foliar

Los tratamientos estudiados mostraron un efecto marcado en este parámetro, el cual fué estadísticamente significativo (Apéndice C). Se presentaron tendencias bien definidas para las variedades de riego y temporal; en las primeras la razón de área foliar disminuyó al pasar de 1 a 5 atmósferas para luego al pasar de 5 a 12 volver a incrementar su valor. Mientras que en las segundas, existió una tendencia a disminuir progresivamente su valor conforme el déficit hídrico se incrementaba (Figura 4.8).

Como ya se mencionó, hubo un efecto marcado entre variedades y dentro de éstas, para las de riego y temporal. Por una parte, tenemos que bajo condiciones de humedad adecuada son las variedades Temporalera y Gálvez las que presentan los más altos valores con 64 y 74  $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$  respectivamente, invirtiéndose lo anterior bajo condiciones limitadas de humedad (12 atm) ya que son las variedades de riego Ciano y Anáhuac las que ocupan los primeros lugares.

También se puede observar (Figura 4.8) que las variedades de riego muestran la mayor estabilidad con respecto a los niveles de humedad ya que las diferencias entre los valores obtenidos para húmedo y seco giran alrededor de  $8.5 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$  mientras que para las variedades de temporal este valor se incrementa a  $40 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$  en promedio.

#### Índice de área foliar

Este índice mostró una tendencia definida, a disminuir conforme el déficit hídrico se acentuaba. Los valores más altos se presentan para todas las variedades en el tratamiento húmedo, destacando dentro de éste la variedad Gálvez que obtuvo el más alto valor con un índice de 4.1.

En el tratamiento seco los valores más altos los presentaron las variedades de riego Ciano y Anáhuac, mientras que los más bajos fueron para Gálvez y Temporalera (Figura 4.8), lo anterior debido a que estas va-

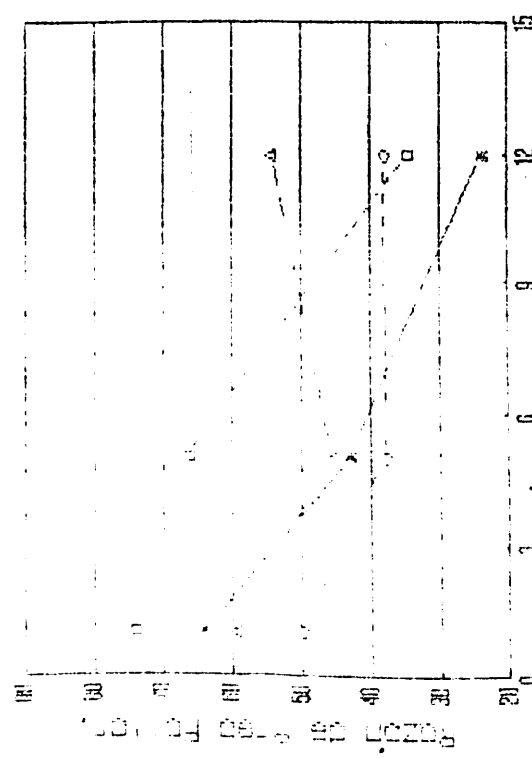
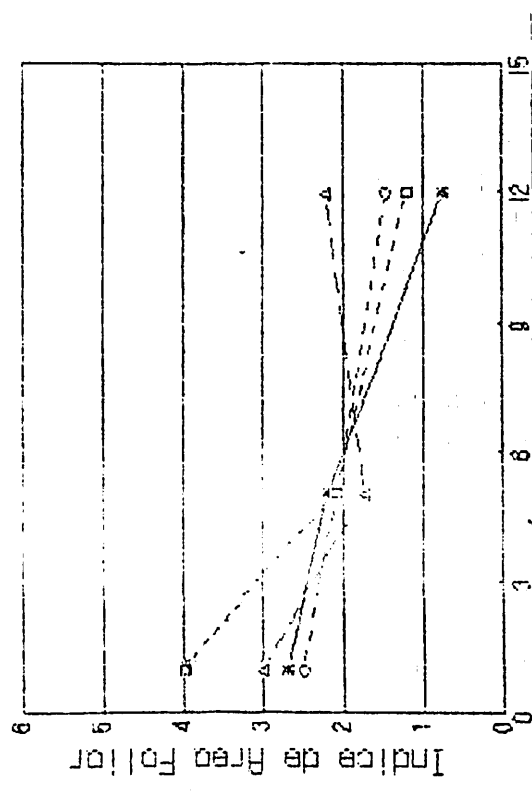
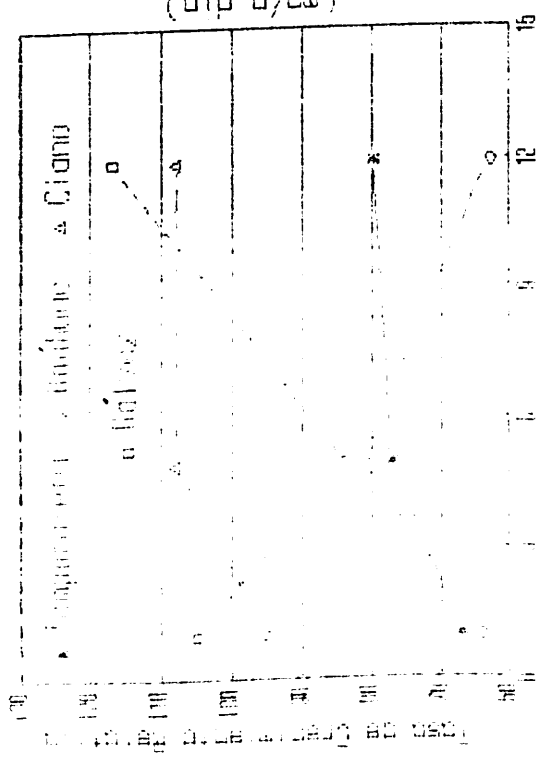
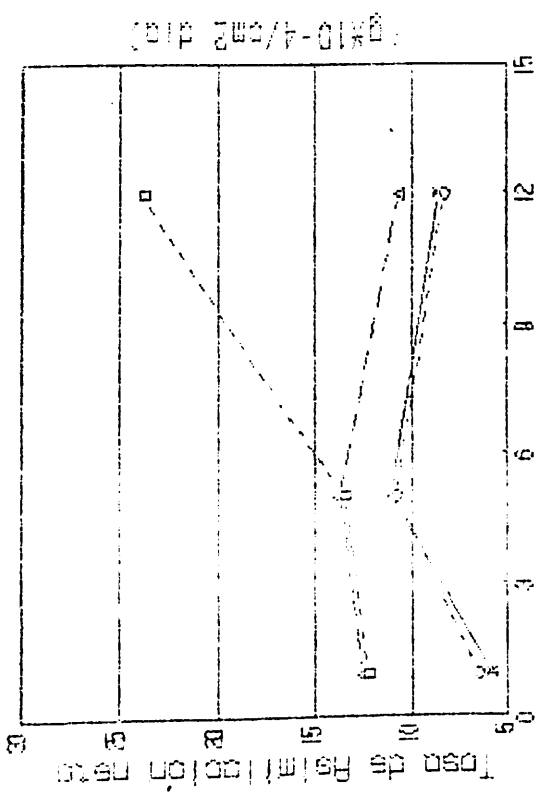


Figura 4.8 Comportamiento de la tasa de crecimiento relativo, tasa de asimilación neta, razón de área foliar e índice de área foliar en los tratamientos estudiados.



riedades mostraron una mayor susceptibilidad a la defoliación cuando el déficit hídrico fué muy severo (12 atm).

#### LAMINA CONSUMIDA Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

En el Cuadro 4.4 se presentan las laminas consumidas por los tratamientos, así como su eficiencia en el uso del agua de riego (EUA); en él se observa que a medida que aumentó la disponibilidad de agua en el suelo, las plantas hicieron un mayor uso de ella.

Las láminas consumidas para cada tratamiento de riego fueron en promedio 17.8, 26.0 y 31.1 cm para seco, intermedio y húmedo respectivamente.

Dentro del tratamiento seco fué la variedad Anáhuac la que consumió la menor cantidad de agua con tan solo 16 cm, y fué esta misma variedad la que tuvo el más alto valor con 36.6 cm. Este mayor consumo no se reflejó en un incremento en la eficiencia en el uso del agua, al contrario, lo redujo.

Las más altas eficiencias en el uso del agua de riego se presentaron en el tratamiento húmedo y dentro de éste fueron las variedades Gálvez y Ciano las que presentaron los valores más altos con 2.0 y 1.8 kg de grano por m<sup>3</sup> de agua consumida, mientras que los valores más bajos los obtuvo la variedad Temporalera en los

tratamientos intermedio y seco con 1.0 y 1.09 kg de grano por m<sup>-3</sup> de agua consumida, respectivamente (Cuadro 4.5).

**Cuadro 4.4** Láminas consumidas por el cultivo y eficiencia en el uso del agua de riego para los tratamientos estudiados.

Tratamientos Riego-Variedad	U.C. (cms)	Rendimiento (ton/Ha)	E.U.A (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Húmedo</b>			
Temporalera	31.9	5.26	1.64
Anáhuac	36.6	4.34	1.18
Ciano	29.3	5.27	1.80
Gálvez	26.6	5.34	2.00
<b>Intermedio</b>			
Temporalera	27.5	2.76	1.00
Anáhuac	25.8	3.10	1.19
Ciano	25.0	3.67	1.46
Gálvez	25.8	3.08	1.19
<b>Seco</b>			
Temporalera	18.1	1.97	1.09
Anáhuac	16.0	2.55	1.59
Ciano	19.4	2.69	1.38
Gálvez	17.7	2.02	1.13

E.U.A. = Eficiencia en uso de agua de riego  
U.C. = Uso consuntivo

## INDICE DE COSECHA

Los tratamientos de riego probados tuvieron poco o ningún efecto sobre este índice (Cuadro 4.2), los más altos valores fueron para los tratamientos de riego de 1 atm con 43.5 por ciento. Sin embargo no hubo una tendencia definida ya que le siguió el tratamiento seco y luego el intermedio con 42.5 y 41.5 por ciento respectivamente.

Dentro de variedades sucedio el mismo caso, no se muestra una tendencia definida; Ciano es la que tiene el mayor porcentaje con 43.3 por ciento; Temporalera y Gálvez presentan un indice de 42.8 mientras que Anáhuac evidencia su limitación en rendimiento al ser el más bajo con 41.1 por ciento el cual no es muy diferente al resto (Cuadro 4.3).

## DISCUSION

Los tratamientos de riego tuvieron un efecto marcado sobre la respuesta que en rendimiento y sus componentes presentaron las variedades empleadas en el estudio. Como se indico en la sección anterior, esta respuesta se fincó básicamente en la disponibilidad de agua para el cultivo, de tal modo, que independientemente del propósito para el que fueron seleccionadas las variedades, todas obtuvieron rendimientos más altos conforme la humedad en el suelo fué más favorable, y con disminuciones substanciales al acentuarse el déficit hídrico.

La variedad Ciano presentó los rendimientos más altos en los tres niveles de humedad. Sin embargo, y diferente a lo esperado, estos no fueron significativamente diferentes a los obtenidos por las variedades de temporal Gálvez y Temporalera, las cuales inclusive superaron a la variedad para riego Anáhuac, indicando que las variedades de temporal no tienen limitación alguna para rendir bien cuando son expuestas a condiciones favorables de humedad. Los bajos rendimientos que en este tratamiento tuvo Anáhuac se deben básicamente a que su potencial de



rendimiento es probablemente bajo por ser una variedad relativamente antigua en comparación con el resto.

Los mayores rendimientos obtenidos por Ciano se deben principalmente a una combinación en el número de granos por espiga asociado con un alto número de espigas por metro cuadrado, aún cuando el peso del grano fué el más bajo de las variedades y mostró éste ser muy susceptible al déficit hídrico. La respuesta anterior pudiera ser explicada en términos de fuente-demanda. Esto es, al considerar un alto número de granos por espiga, la potencia de la demanda se acentúa y pudiera ser que el tamaño de la fuente no sea suficiente para satisfacer estos requerimientos, dando por resultado una baja en el peso del grano independiente del nivel de humedad.

La respuesta que en rendimiento presentaron el resto de las variedades se debió a la diferente manera de asociación entre los componentes de rendimiento. Los bajos rendimientos de Anáhuac se deben básicamente a un bajo número de espigas por metro cuadrado, ya que el resto de sus componentes se mantuvieron aceptablemente bien, mientras que en el caso de la variedad Temporalera es el menor número de granos por espiga asociados a un bajo número de espigas por metro cuadrado, y en la variedad Gálvez son el peso del grano y el número de granos por

espiga considerando que tuvo un alto número de espigas por metro cuadrado.

Al estandarizar los coeficientes, las características que definieron mayormente el rendimiento considerando el total de las variedades son: longitud de la espiga, número de granos por espiga, peso del grano y número de espigas por unidad de superficie. Lo anterior concuerda con lo establecido por Cruz (1975), Cisneros (1979) y Volke y Turrent (1973) quienes establecen que son estas características las que vienen a conformar los componentes de rendimiento y que la asociación de ellas explica en gran medida el rendimiento de un cultivo.

Existen otros autores como Arredondo (1982) y Fischer y Wood (1979) que establecen como principales componentes de rendimiento características tales como: materia seca total, cerosidad de la hoja, altura final de la planta y días a madurez fisiológica, y mencionan que son éstos los que definen en mayor medida el rendimiento del cultivo de trigo bajo condiciones de humedad limitada.

Al asociar el rendimiento de las variedades con los parámetros de crecimiento podemos establecer que los más altos rendimientos estuvieron asociados con una mayor tasa de crecimiento relativa (TCR), la cual fué obtenida por la variedad Ciano; el incremento del valor de la TCR al pasar

de 1 a 5 Atmosferas pudiera explicarse en términos de la disponibilidad de agua en el suelo. Al hacerse más negativa la tensión de humedad en el suelo, la planta tiende a disminuir su índice de área foliar y por lo tanto la magnitud del aparato fotosintético, ocasionando una baja en la demanda de asimilatos destinados para el mantenimiento de éste y un incremento en la eficiencia de la materia seca presente.

Por otra parte, la tasa de crecimiento relativo en el tratamiento seco no tuvo un comportamiento definido y aún cuando Gálvez obtuvo el valor más alto esto no le significó mayor rendimiento debido tal vez a que la producción adicional de materia seca fué al tallo (Figura 4.6), mientras que Anáhuac en este mismo tratamiento fué más eficiente ya que aún teniendo el valor más bajo, esto se reflejó directamente en un incremento en el rendimiento con respecto a Gálvez y Temporalera.

Con respecto a la tasa de asimilación neta, esta siguió más o menos el mismo comportamiento que la tasa de crecimiento relativo, destacando la variedad Ciano la cual obtuvo los más altos valores; la tendencia fué a incrementarse al pasar de 1 a 5 Atmosferas y disminuir al descender a 12 con excepción de Gálvez que continuó incrementando su valor para esta tensión.

Dado que las diferentes condiciones ambientales tienen un efecto marcado sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos, estas condiciones se reflejan en el valor del índice de área foliar (IAF) y por lo tanto, en el potencial de fotosíntesis. Así tenemos que este índice fué afectado fuertemente por los niveles de humedad y como era de esperarse los más altos valores se presentaron en el tratamiento húmedo y a medida que el déficit hídrico se incrementó este índice fué menor. Esto coincide con lo reportado por Hsiao (1988) quien establece que cuando el stress hídrico se desarrolla, ocurren reducciones en el área foliar y en la tasa fotosintética, reduciendo la capacidad de asimilación de la planta.

Se observó en el tratamiento seco que las variedades de riego tuvieron más altos valores para el índice de área foliar que las de temporal, las que presentaron una mayor capacidad de eliminar sus hojas al experimentar déficit hídrico severo. Sin embargo, esta capacidad no fué favorable ya que repercutió grandemente en el rendimiento de grano de estas variedades.

Parece ser que en la mayoría de las condiciones, es mas bien el índice de área foliar y no tanto la tasa de funcionamiento de cada unidad que compone la maquinaria fotosintética (tasa de asimilación neta), el que determina la tasa de crecimiento y el rendimiento total en materia

seca. Lo anterior concuerda con lo establecido por Hunt (1978) y Milthorpe y Moorby (1982).

La razón y el índice de área foliar están estrechamente asociados, ya que ambos consideran la magnitud de el aparato fotosintético. Bajo condiciones limitadas de humedad la primera juega un papel primordial en el equilibrio de la relación fuente-demanda, pareciendo que debiera existir un valor mínimo de área foliar que garantice el abastecimiento de la demanda y abajo del cual se provoca una caída en el rendimiento como resultado de una limitación en la producción de asimilatos, situación que se presenta en las variedades de temporal ya que son estas las que presentan el menor número de granos por espiga.

La partición de fotosintatos hacia la espiga se ve acelerada como consecuencia del déficit hídrico severo, y son las hojas en primera instancia las que translocan mayor cantidad de fotosintatos hacia la espiga cuando el llenado de grano se inicia, pero luego cuando este proceso se encuentra muy avanzado (grano lechoso-masoso) tienen que ser translocados asimilatos de los tallos aunque en menor cantidad (Figura 4.6) en semejanza de lo encontrado por Boyer y Mc Pearson (1975) quienes establecen que las reservas de carbohidratos contenidos en el tallo actúan como amortiguador en el llenado del grano y rendimiento



contra reducciones en la tasa fotosintética post-antesis debida a un stress hídrico. Son las variedades Ciano y Anáhuac las que tienen una menor modificación en el patrón de partición de asimilatos debido quizá a que poco se afecta el equilibrio entre la relación fuente-demanda.

En lo que se refiere a eficiencia en el uso del agua, contrariamente a lo esperado, bajo condiciones de deficiencia hídrica severa, fueron las variedades de riego las que obtuvieron los más altos valores. Esto es resultado básicamente de una mayor producción de grano ya que las láminas consumidas por las variedades fueron muy similares.

Por otro lado, las más altas eficiencias en el uso del agua se encontraron en los tratamientos que tuvieron un mayor consumo de agua, contrariamente a lo reportado por Martínez (1982). Se considera que la oportunidad con que se aplique el agua al cultivo juega un papel de mayor importancia en el rendimiento de éste que la cantidad aplicada y/o consumida.

El índice de cosecha parece ser más bien una característica intrínseca a la especie que poco puede ser afectada por los tratamientos.

## CONCLUSIONES

El rendimiento del cultivo y sus componentes se ven fuertemente afectados por la tensión de humedad en el suelo en el momento de aplicar el riego.

Los altos rendimientos se presentaron en el tratamiento húmedo y fluctuaron conforme se aumentó el nivel de riego.

La asociación de la cantidad de espigas, número de granos por espiga, peso del grano y espigas por metro cuadrado, constituyen un gran índice de rendimiento de grano en trigo y se explican en un 90 por ciento.

Las diferencias en rendimiento entre variedades fueron independientes del grado de adaptación de las mismas al agua y al suelo.

La diferencia en el método de adaptación de material genético a las condiciones de ambiente temporal, espacial y ambiental, así como la adaptación a las condiciones de tiempo y espacio, no se reflejaron en el rendimiento de grano de trigo.

Las variedades de temporal no presentaron limitaciones en el potencial de rendimiento cuando son expuestas a condiciones favorables de humedad.

La tasa de crecimiento relativo e índice de área foliar son los parámetros de crecimiento que más se asociaron con el rendimiento del cultivo

La eficiencia en el uso de agua fué mayor a medida que se incrementó el consumo de agua del cultivo, indistintamente del grado de adaptación al stress hídrico.

El Índice de Cosecha no se vió afectado por los tratamientos de riego y parece más bien una característica intrínseca a las variedades.

## BIBLIOGRAFIA

- Ackerson, R.C., D.R. Krieg, T.D. Miller y R.E. Zartman. 1977. Water relations of field grown cotton and sorghum: temporal and diurnal changes in leaf water, osmotic and turgor potentials. *Crop Sci.* 17: 76-80.
- Arredondo, V.C. 1982. Aptitud combinatoria general y especifica en líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.) bajo el método riego-sequia. Tesis M.C. Sin publicar. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México.
- Begg, J.E. y M.C. Turner. 1976. Crop water deficits. *Adv. Agron.* 28: 161-217.
- Bidinger, F., R.B. Musgrave y R.A. Fischer. 1977. Contribution of stored preanthesis assimilate to grain yield in wheat and barley. *Nature.* 270: 431-433 pp.
- Bidwell, R.G.S. 1983. Fisiología vegetal. 1a edición en Español. A.G.T. Editor, S.A. 784 p.
- Blum, A. 1983. Genetic and physiological relationships in plant breeding for drought resistance. *Agric. Water Manage.* 7: 195-205.
- Böhm, W. 1979. Methods of studying root systems. Springer Verlag. Berlin Heidelberg. New York. 188 p.
- Boyer, J.S. 1970. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. *Plant Physiol.* 46: 236-239.
- \_\_\_\_\_ 1976. Water deficits and photosynthesis. pp. 153-190. in T.T. Kozlowski (ed). *Water deficits and plant growth.* Vol. V. Academic Press. New York.
- Boyer, J.S. y A.G. Mc Phearson. 1975. Physiology of water deficits in cereal crops. *Adv. Agron.* 27: 1-23.
- Christensen, J.J. y M.F. Kernkamp. 1977. Wheat. En: *Encyclopedia of food, agriculture and nutrition.* (ed) D.N. Lapedes. McGraw Hill. New York. p. 671-674.

- Cisneros A., C.E. 1979. Efecto de las variaciones de humedad del suelo en diferentes etapas de crecimiento del trigo. Tesis M.C. Sin publicar. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México.
- Clarke, J.M., T.F. Townley, T.N. McCaig y D.G. Green. 1984. Growth analysis of spring wheat cultivars of varying drought resistance. *Crop Sci.* 24: 537-541.
- Cruz, N.C. 1975. Detección de caracteres determinantes del rendimiento de grano de trigo mediante índices de selección, coeficientes de sendero y regresión lineal múltiple. Tesis M.C. Sin publicar Colegio de postgraduados. Chapingo. México.
- Donald, C.M. y J. Hamblin. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Adv. Agron.* 28: 361-405.
- Evans, L.T. 1983. Fisiología de los cultivos. 1a. Ed. en Español. Editorial Hemisferio Sur, S.A. Cambridge. Inglaterra. 402 pp.
- Evans, L.T. y I.F. Wardlaw. 1976. Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. *Adv. Agron.* 28: 301-359.
- Ferguson, H., R.F. Eslick y J.K. Aase. 1973. Canopy temperatures of barley as influenced by morphological characteristics. *Agron. J.* 65: 425-428.
- Fischer, R.A. y R.M. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 877-912.
- Fischer, R.A. y N.C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29: 277-317.
- Fischer R.A. y J.T. Wood. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. *Aust. J. Agric. Res.* 30: 1001-1020.



- Fischer, R.A., F. Bidinger, J.R. Syme y P.C. Wall. 1981. Leaf photosynthesis, leaf permeability, crop growth and yield of short spring wheat genotypes under irrigation. *Crop Sci.* 21: 367-375.
- Fitter, A.D. y R.K.M. Hay. 1983. *Environmental physiology of plants.* Academic Press. 355 pp.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Segunda edición. UNAM. México. 88 p.
- Giaquinta, R.T. 1983. Phloem loading of sucrose. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 34: 347-387.
- Gifford, R.M. y L.T. Evans. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 32: 485-509.
- Hanson, W.D. y R.Y. Yeh. 1979. Genotypic differences in reduction in carbon dioxide exchange rates as associated with assimilate accumulation in soybean leaves. *Crop Sci.* 19: 54-58.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 519-570.
- \_\_\_\_\_ 1988. Water deficits and crop productivity. Paper presented at UCD/INIFAP Conference. Guadalajara, México. March. 27-30.
- Hsiao, T.C. y E. Acevedo. 1974. Plant responses to water deficits. Water use efficiency and drought resistance. *Agric. Meteorol.* 14: 59-84.
- Hsiao, T.C., E. Fereres, E. Acevedo y D.W. Henderson. 1976. Water stress and dynamic of growth and yield of crop plants. In *Ecological studies.* Springer Verlag, New York. Heidelberg Berlin. 497 p.

- Huffaker, R.C., T. Radin, G.E. Kleinkopf y E.L. Cox. 1970. Effects of mild water stress on enzymes of nitrate assimilation and of the carboxylative phase of photosynthesis in barley. *Crop Sci.* 10: 471-474.
- Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. The Institute of Biology's Studies in Biology No. 96. First published by Edward Arnold. 69 pp.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). 1982. Diagnóstico de la investigación realizada por el INIA en 1981. Pub esp. No. 88. INIA.SARH. México. 268 p.
- Jordan, W.R. 1983. Whole plant response to water deficits: An overview. p 289-317. In *limitaciones to efficient water use and crop production*. H.M. Taylor, W.R. Jordan y T.R. Sinclair (ed). Wisconsin.
- Laing, D.R. y R.A. Fischer. 1977. Adaptation of semidwarf wheat cultivars to rainfed conditions. *Euphytica*. 26: 129-139.
- Martínez R., J.G. 1982. Efecto del riego en diferentes etapas fenológicas sobre el rendimiento de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en Cd. Jiménez Chih. Tesis. Licenciatura. Sin publicar. UAAAN. Saltillo. Coahuila. México.
- Martínez S., J.M. 1982. Logros y aportaciones del cultivo del trigo. Pub. esp. No. 86. INIA.SARH. México. p. 5-12.
- Mc Cree, K.J. 1974. Changes in the stomatal response. Characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. *Crop Sci.* 14: 273-278.
- Medawar, P.B. 1972. The hope of progress. Methuen, Londres, Inglaterra. 133 p.
- Milthorpe, F.L. y J. Moorby. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Editorial Hemisferio Sur, S.A. Cambridge. Inglaterra. 259 p.
- Mitchell, R.L. 1970. Crop growth and culture. The Iowa State University Press. Ames. 349 p.

- Monteith, J.L. 1981. Does light limit crop production?. In physiological processes hunting. Plant productivity. Edited by C.B. Johnson. 23-38 pp.
- Mooney, H.A. 1972. The carbon balance of plants. Ann. Rev. Ecol. Syst. 3: 315-346.
- Osmond, C.B. y D.J. Anderson. 1980. Physiological processes in plant ecology. Ecological studies 36: Springer Verlag. 468 pp.
- Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae-their use and abuse. Crop Science, 7(3): 171-175 pp.
- Shibles, R.M. y C.R. Weber. 1965. Leaf area, solar radiation interception and dry matter production by soybeans. Crop Sci., 5: 575-578.
- Shouse, P., S. Dasberg, W.A. Jury y L.H. Stolzy. 1981. Water deficits effects on water potential, yield and water use of cowpeas. Agron. Jour. 73: 333-336.
- Snyder, F.W. y G.E. Carlson. 1984. Selecting for partitioning of photosynthetic products in crop. Adv. Agron. 37: 47-72.
- Spiertz, J.H.J. 1974. Grain growth and distribution of dry matter in the wheat plant as influenced by temperature, light energy and ear size. Neth. J. Agric. Sci. 22: 207-220.
- Stephenson, R.A., R.H. Brown y D.A. Ashley. 1976. Translocation of  $^{14}\text{C}$  labeled assimilate and photosynthesis in  $\text{C}_3$  y  $\text{C}_4$  species. Crop Sci. 16: 285-288.
- Turner, N.C. y M.M. Jones. 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. In Adaptation of plants to water and high temperature stress. N.C. Turner y P.J. Kramer (ed). John Wiley and Sons., New York. p. 87-104.

- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). 1984. Marco de referencia de la investigación de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Dirección de Investigación. Buenavista, Saltillo. Coahuila.
- Volke, H.V. y A. Turrent F. 1973. Efecto de la sequia sobre el rendimiento de grano y otras características agronómicas del trigo (*Triticum aestivum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Agrociencia*. 14: 163-180.
- Wardlaw, I.F. 1968. The control and pattern of movement of carbohydrates in plants. *Bot. Rev.* 34: 79-105.
- Wardlaw, I.F. 1976. Assimilate partitioning: cause and effect. In I.F. Wardlaw y J.B. Passioura (ed). *Transport and transfer processes in plant*. Academic Press. New York. p. 381-392.
- Wareing, P.F. y J. Patrick. 1975. Source-sink relations and the partition of assimilates in plant. In *Photosynthesis and productivity in different environments*. J.P. Cooper (ed). Cambridge University Press. Great Britain. 347 p.

A P E N D I C E



Cuadro A1. Tasa media de crecimiento relativo para los tratamientos estudiados en mg.g-1día-1.

Tratamientos Riego-Variedad	Días después de la siembra					
	70	81	91	99	107	114
Húmedo						
Temporalera	47	67	37	82	52	20
Anáhuac	75	64	80	79	60	11
Ciano	49	95	64	99	52	4
Gálvez	24	105	70	60	21	38
Intermedio						
Temporalera	50	77	95	28	47	62
Anáhuac	31	81	71	5	75	46
Ciano	40	108	35	71	84	2
Gálvez	40	84	3	97	6	92
Seco						
Temporalera	35	80	1	108	20	17
Anáhuac	58	63	73	64	48	85
Ciano	52	108	36	61	40	40
Gálvez	57	117	-31	20	70	22
C.V. (%)						
Riego	55.8	29.0	64.8	36.0	29.9	119
Variedad		41.4		68.3		137
Sign.	NS	*	*	*	NS	NS
DMS 0.05	50.0	50.0	80.0	50.0	130.0	100.0

Cuadro B1. Tasa de asimilación neta para los tratamientos estudiados en  $g \cdot 10^{-4} \cdot cm^{-2} \cdot día^{-1}$ .

Tratamientos Riego-Variedad	Días después de la siembra					
	70	81	91	99	107	114
<b>Húmedo</b>						
Temporalera	3.72	5.80	4.43	14.23	12.91	8.08
Anáhuac	6.72	6.60	12.25	16.12	14.13	4.04
Ciano	4.91	12.56	10.51	15.43	9.38	0.97
Gálvez	2.50	12.29	8.67	8.74	4.09	10.32
<b>Intermedio</b>						
Temporalera	5.59	11.02	20.20	6.68	14.44	34.32
Anáhuac	3.74	10.90	12.39	1.57	25.29	18.92
Ciano	4.00	13.74	6.17	16.13	20.45	0.56
Gálvez	4.21	13.45	0.42	16.42	1.18	30.09
<b>Seco</b>						
Temporalera	2.78	8.70	0.30	31.55	5.01	5.87
Anáhuac	4.16	8.37	17.40	20.02	18.19	39.42
Ciano	3.50	10.67	5.44	17.15	13.74	12.78
Gálvez	8.79	23.74	-7.13	9.02	27.26	8.29
<b>C.V.(%)</b>						
Riegos	78	23	98	68	124	104
Variedades	71	45	101	80	145	132
Sign.	NS	* *	* *	NS	NS	NS
<b>DMS 0.05</b>						
Riegos	7.51	6.55	19.75	20.43	34.9	34.1
Variedades	5.17	9.37	15.37	18.15	30.91	32.6

Cuadro C1. Razón media de Area Foliar para los tratamientos estudiados en  $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$ .

Tratamientos Riego-Variiedad	Días después de la siembra						
	63	76	87	94	103	110	117
<b>Húmedo</b>							
Temporalera	133	121	110	64	52	30	19
Anáhuac	114	109	86	50	47	38	20
Ciano	103	97	62	59	67	45	29
Gálvez	111	80	88	74	64	41	32
<b>Intermedio</b>							
Temporalera	78	98	52	43	41	25	12
Anáhuac	117	59	87	37	28	30	19
Ciano	110	91	70	45	33	39	25
Gálvez	135	69	57	66	53	45	21
<b>Seco</b>							
Temporalera	111	135	67	24	42	36	22
Anáhuac	157	125	46	38	27	25	18
Ciano	157	141	79	54	23	34	28
Gálvez	97	44	52	34	13	39	17
<b>C.V. (%)</b>							
Riego	29	7	22	25	21	31	24
Variiedad	28	24	33	32	17	29	31
Sign.	NS	**	**	**	**	*	NS
<b>DMS (0.05)</b>							
Riego	79.7	14.5	39.6	29.4	21.6	26.1	12.6
Variiedades	59.7	41.0	45.3	27.9	13.1	18.5	12.2