



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**

Dirección Académica de Recursos Naturales

---

---

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DE  
CRUZAS DE DIFERENTES VARIEDADES DE TRIGO  
BAJO CONDICIONES DE CALOR Y SEQUÍA

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS EN  
RECURSOS NATURALES**

PRESENTA

**ILLIANA MURRIETA GONZÁLEZ**

CD. OBREGÓN, SONORA

NOVIEMBRE DE 2006

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
**DIRECCIÓN ACADÉMICA DE RECURSOS NATURALES**

Los miembros del comité revisor, recomendamos que la presente tesis sea aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Recursos Naturales.

**COMITÉ REVISOR**

**ASESOR:** \_\_\_\_\_

**Dr. MARCO ANTONIO GUTIÉRREZ CORONADO**

**REVISOR:** \_\_\_\_\_

**Dr. JAIME LÓPEZ CERVANTES**

**REVISOR:** \_\_\_\_\_

**MTRO. RAMÓN ZAVALA FONSECA**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
**DIRECCIÓN ACADÉMICA DE RECURSOS NATURALES**

El presente trabajo fue realizado en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) bajo la dirección del Dr. Mathew Reynolds en colaboración con el Dr. Marco Antonio Gutiérrez Coronado.

El CIMMYT proporcionó el germoplasma, los campos experimentales, el laboratorio, así como los aparatos utilizados para las mediciones realizadas en esta tesis.

## **DEDICATORIAS**

A mi familia, principalmente a mi mamá, por brindarme su apoyo y cariño en todo momento y por alentarme a salir adelante.

A Mis amigos, en especial a Silvia, Rosario, Karina, Evelyn y Angélica que compartieron conmigo momentos magníficos, son las mejores amigas del mundo.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS:**

Por darme la vida, por rodearme de personas que me aman y por permitirme concluir mis estudios de postgrado.

### **A MI ASESOR Y MAESTROS:**

Por que cada uno de ellos, a su manera, contribuyó a mi formación académica. También a los maestros que colaboraron de una u otra forma para la presentación de este trabajo.

### **A ROBERTO Y MARTITA:**

Por la gran ayuda que me dieron durante el transcurso de toda mi maestría.

### **AL ITSON:**

Por proporcionarme las herramientas teóricas elementales para enfrentar con ventaja los problemas que surgen en el ejercicio de la profesión.

### **AL PERSONAL DEL CIMMYT:**

Por el interés y las facilidades prestadas para el desarrollo de este trabajo.

### **A CONACYT:**

Por el apoyo económico brindado para el cumplimiento de esta meta tan importante.

### **A MIS AMIGOS:**

Que compartieron momentos felices conmigo, durante el tiempo que estuvimos juntos y por brindarme su apoyo incondicional; y a todos mis compañeros. Gracias.

---

---

# ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
I.1. Antecedentes .....	2
I.2. Planteamiento del problema .....	3
I.3. Justificación.....	3
I.4. Objetivo .....	4
I.5. Hipótesis .....	4
II. FUNDAMENTACIÓN .....	5
2.1. Generalidades sobre el trigo .....	5
2.1.1. Origen.....	5
2.1.2. Distribución.....	5
2.1.3. Clima .....	6
2.1.4. Producción.....	6
2.1.5. Época de suministro .....	6
2.2. Descripción botánica .....	6
2.2.1. Raíz .....	7
2.2.2. Tallo.....	7
2.2.3. Hoja .....	7
2.2.4. Espiga.....	7
2.2.5. Flor .....	8
2.3. Factores que afectan el desarrollo y rendimiento de la planta de trigo.....	8
2.3.1. Fotoperíodo .....	8
2.3.2. Termoperíodo .....	9
2.4. El estrés en las plantas .....	10
2.4.1. Concepto de estrés vegetal.....	10
2.4.2. Calor: estrés por alta temperatura en las plantas.....	11

---

---

2.4.3. Sequía: respuesta de las plantas al estrés hídrico .....	11
2.4.3.1. Respuesta, aclimatación y adaptación .....	12
2.5. Estudios asociados con la tolerancia al calor .....	14
III. MÉTODO .....	16
3.1. Localización del experimento .....	16
3.2. Diseño experimental y siembras .....	16
3.3. Material utilizado .....	17
3.4. Riegos y aplicaciones de fungicidas .....	18
3.5. Preparación del terreno.....	18
3.6. Variables analizadas .....	19
3.6.1. Medición de variables de análisis de crecimiento .....	19
3.6.1.1. Índice normalizado de diferencia vegetativa .....	19
3.6.1.2. Temperatura .....	19
3.6.1.3. Intensidad de luz.....	20
3.6.1.4. Clorofila.....	20
3.6.1.5. Biomasa .....	20
3.6.1.6. Espigas/m <sup>2</sup> .....	21
3.6.1.7. Índice de cosecha en floración .....	22
3.6.1.8. Peso seco de tallos en floración (g/m <sup>2</sup> ) .....	22
3.6.1.9. Largo de espiga y número de espiguillas .....	23
3.6.2. Variables a medir después de la cosecha.....	23
3.6.2.1. Área de cosecha (m <sup>2</sup> ) .....	23
3.6.2.2. Semillas por parcela .....	23
3.6.2.3. Índice de cosecha en madurez.....	24
3.6.2.4. Humedad .....	24
3.6.2.5. Rendimiento.....	25
3.6.2.6. Biomasa en madurez.....	25
3.6.2.7. Peso de mil granos .....	25
3.6.2.8. Grano/m <sup>2</sup> .....	25
3.6.2.9. Peso seco de tallo .....	26
3.6.2.10. Tallo/m <sup>2</sup> .....	26
3.6.2.11. Grano/espiga .....	26

---

---

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
4.1. Resultados correspondientes a la siembra de sequía .....	27
4.1.1. Índice normalizado de diferencia vegetativa .....	27
4.1.2. Temperatura .....	29
4.1.3. Clorofila .....	31
4.1.4. Biomasa en floración .....	33
4.1.5. Espiga/m <sup>2</sup> .....	34
4.1.6. Índice de cosecha en floración .....	35
4.1.7. Peso seco de tallos en floración (g/m <sup>2</sup> ) .....	36
4.1.8. Espiguillas/espiga y espiguillas estériles/espiga .....	37
4.1.9. Largo de espiga (cm) y largo de espiga + barbillas (cm).....	38
4.1.10. Índice de cosecha en madurez.....	39
4.1.11. Biomasa en madurez.....	41
4.1.12. Peso de mil granos.....	42
4.1.13. Grano/m <sup>2</sup> .....	43
4.1.14. Tallo/m <sup>2</sup> .....	44
4.1.15. Grano/espiga .....	45
4.1.16. Rendimiento (g/m <sup>2</sup> ).....	46
4.2. Resultados correspondientes a la siembra de calor .....	48
4.2.1. Índice normalizado de diferencia vegetativa .....	48
4.2.2. Temperatura .....	49
4.2.3. Clorofila .....	51
4.2.4. Biomasa en floración .....	52
4.2.5. Espiga/m <sup>2</sup> .....	53
4.2.6. Índice de cosecha en floración.....	54
4.2.7. Peso seco de tallos en floración (g/m <sup>2</sup> ) .....	55
4.2.8. Espiguillas/espiga y espiguillas estériles/espiga .....	55
4.2.9. Largo de espiga (cm) y largo de espiga + barbillas (cm).....	57
4.2.10. Índice de cosecha en madurez.....	58
4.2.11. Biomasa en madurez.....	59
4.2.12. Peso de mil granos.....	60
4.2.13. Grano/m <sup>2</sup> .....	61



---

---

4.2.14. Tallo/m <sup>2</sup> .....	62
4.2.15. Grano/espiga .....	63
4.2.16. Rendimiento (g/m <sup>2</sup> ).....	64
V. CONCLUSIÓN .....	66
BIBLIOGRAFÍA .....	67

---

---

## ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Material utilizado en las siembras de sequía y calor .....	17
2	Fechas de riegos y aplicaciones de fungicidas en la siembra de sequía.....	18
3	Fechas de riegos y aplicaciones de fungicidas en la siembra de calor.....	18

<b>Cuadro</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Comportamiento de los principales componentes de rendimiento en los mayores y menores rendimientos obtenidos en la siembra de sequía.....	47
2	Comportamiento de los principales componentes de rendimiento en los mayores y menores rendimientos obtenidos en la siembra de calor.....	65

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Green Seeker.....	19
2	Termómetro infrarrojo.....	19
3	Ceptómetro LP-80.....	20
4	Spad minolta 502.....	20
5	Horno.....	21
6	Separador de semillas.....	23
7	Bolsas de papel con semillas.....	25
8	Índice normalizado de diferencia vegetativa en etapa vegetativa y llenado de grano en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	28
9	Temperatura en etapa de llenado de grano en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	30
10	Clorofila en etapa vegetativa y llenado de grano en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	31
11	Biomasa en floración en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	33
12	Espigas/m <sup>2</sup> en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	34
13	Índice de cosecha en floración en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	36
14	Peso seco de tallos en floración (g/m <sup>2</sup> ) en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	37
15	Espiguillas/espiga y espiguillas estériles/espiga en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	37
16	Largo de espiga (cm) y largo de espiga + barbillas (cm) en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	39
17	Índice de cosecha en madurez en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	40

---

---

18	Biomasa en madurez en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	41
19	Peso de mil granos en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	42
20	Grano/m <sup>2</sup> en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	43
21	Tallo/m <sup>2</sup> en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	44
22	Grano/espiga en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	45
23	Rendimiento (g/m <sup>2</sup> ) en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía.....	46
24	Índice normalizado de diferencia vegetativa en etapa vegetativa y llenado de grano en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	48
25	Temperatura en etapa vegetativa y llenado de grano en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	50
26	Clorofila en etapa de llenado de grano en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	51
27	Biomasa en floración en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	52
28	Espigas/m <sup>2</sup> en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	53
29	Índice de cosecha en floración en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	54
30	Peso seco de tallos en floración (g/m <sup>2</sup> ) en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	55
31	Espiguillas/espiga y espiguillas estériles /espiga en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	56
32	Largo de espiga (cm) y largo de espiga + barbillas (cm) en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	57
33	Índice de cosecha en madurez en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	58
34	Biomasa en madurez en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	59
35	Peso de mil granos en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	60

---

36	Grano/m <sup>2</sup> en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	61
37	Tallo/m <sup>2</sup> en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	62
38	Grano/espiga en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor .....	63
39	Rendimiento (g/m <sup>2</sup> ) en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor.....	64

---

---

## RESUMEN

Dentro de los factores ambientales que afectan la fisiología del trigo, la temperatura es uno de los más importantes. Por ello, desde tiempos remotos los investigadores han dedicado gran parte de su esfuerzo en estudiar y comprender los efectos de la temperatura en los procesos vitales de las plantas (Hernández, 2002). Cuando la planta de trigo se encuentra en condiciones de estrés calórico, se reducen indirectamente los rendimientos por su efecto directo en varios de sus componentes, es por ello que la tolerancia al calor es una prioridad importante para este tipo de cultivo (Reynolds *et al.*, 2004). En este trabajo se evaluaron los parámetros fisiológicos potenciales, observando la diversidad genética para los rasgos y su asociación con la tolerancia al calor.

Diferentes cruzas de trigo que consistieron en 11 poblaciones de F4 más los 9 padres, fueron evaluados bajo condiciones de sequía y calor, analizando: NDVI, T°, clorofila, espigas/m<sup>2</sup>, índice de cosecha, peso seco de tallos, granos/parcela, humedad, biomasa, PMG, granos/ m<sup>2</sup>, tallos/m<sup>2</sup>, granos/espigas y rendimiento. obteniendo como resultados en las condiciones de sequía mejores rendimientos en los genotipos 3, 5, 10, 13, 15, 16, 17 y 18, mientras que los mas bajos los obtuvieron los genotipos 7 y 19. En la siembra de calor los mejores rendimientos fueron obtenidos por los genotipos 4, 8, 13, 14 y 15, ocurriendo lo contrario con el genotipo 19. Lo cual es reflejo del comportamiento que tuvieron los genotipos en los principales componentes de rendimiento, ya que un incremento en cualquiera de los principales componentes de rendimiento, determina un aumento de este, siempre y cuando no haya una disminución correspondiente en el resto, como se pudo observar en los resultados obtenidos; sin embargo, existen otras características agronómicas que pueden influir directamente sobre el rendimiento, o indirectamente a través de su efecto sobre los componentes. En esta investigación se pudo observar que las características deseables agronómicas, están mantenidas dentro de la descendencia, y más de la mitad de los genotipos son prometedores.

---

---

## I. INTRODUCCIÓN

El trigo es la planta más ampliamente cultivada del mundo, ocupando el 17% (220 millones de hectáreas en 1994) de la suma de tierra cultivada. Se siembra aproximadamente en 100 millones de hectáreas en los países en vías de desarrollo (Reynolds *et al.*, 1999).

Por ser un cultivo compacto, previene o limita la erosión del suelo, evita el desarrollo de determinadas malezas y aporta con su rastrojo materia orgánica a los suelos; pero al igual que otros cultivos, ve afectado su desarrollo por diversos factores tanto ambientales, genéticos, como por enfermedades ocasionadas por diversas plagas.

Dentro de los factores ambientales que afectan la fisiología de los vegetales, la temperatura es uno de los más importantes. Por ello, desde tiempos remotos los investigadores han dedicado gran parte de su esfuerzo en estudiar y comprender los efectos de la temperatura en los procesos vitales de las plantas (Hernández, 2002).

Cuando la planta de trigo se encuentra en condiciones de estrés calórico, se reducen indirectamente los rendimientos por su efecto directo en varios de sus componentes, es por ello que la tolerancia al calor es una prioridad importante para este tipo de cultivo (Reynolds *et al.*, 2004).

La obtención de plantas capaces de resistir condiciones adversas como calor y sequía, y su disposición entre las personas que habitan los países subdesarrollados, serían factores que ayudarían a combatir el hambre y la escasez de alimentos a nivel mundial.

### **1.1. Antecedentes**

La sequía es seguramente el problema agrícola más importante a nivel mundial y el principal factor limitante en la producción agraria. En países en desarrollo, millones de hectáreas de trigo son cultivadas en áreas que frecuentemente presentan sequía. Es por esto que se hace necesario, generar variedades de trigo tolerantes a la sequía y al calor, que respondan a los insumos, que sean resistentes a las enfermedades y que cuenten con un mayor contenido de nutrientes.

Sin embargo, la crianza para la adaptación a la tensión abiótica es extremadamente desafiadora, debido a la complejidad del ambiente, así como los mecanismos de adaptación de tensión al estrés adoptados por las plantas. Mientras que muchos rasgos se han divulgado en la literatura, se debe considerar el tipo de ambiente para el cual se apunta un cultivar. En teoría, los rasgos adaptantes a la tensión se pueden dividir en grupos donde los genes y/o los efectos fisiológicos puedan llegar a ser relativamente independientes (Reynolds *et al.*, 2005).

Ibrahim y Quick en el 2001, estudiaron la variabilidad genética del trigo utilizando dos análisis de tolerancia al calor, estimando su capacidad hereditaria, usando plantas F3 y F4, encontrando que la capacidad de heredar eran suficientes para predecir un buen progreso de la selección, especialmente si se utilizan mas replicas (3 a 5) y si la selección se aplica a generaciones mas avanzadas (F4 a F6).



---

---

Es por ello, que el identificar y entender las bases fisiológicas que regulan la adaptación a la tensión del calor en trigo, ayudará a eliminar o mantener estabilizada dicha problemática.

## **1.2. Planteamiento del problema**

De acuerdo a los antecedentes descritos en el capítulo anterior, el trigo es un cultivo que se ve afectado por diversos factores, entre los cuales el que más efectos dañinos le ocasiona tanto en su rendimiento como producción, es el estrés calórico.

Debido a que los cultivos de trigo en regiones tropicales están expuestos a menudo a altas temperaturas en plena temporada de cultivo, el estrés calórico llega a reducir indirectamente los rendimientos por su efecto directo en varios de sus componentes. Por lo cual, la identificación de los lugares geométricos dominantes, comprensión de la base molecular y fisiológica, permitirían el desarrollo de variedades de trigo adaptarse al calor, regulando la adaptación a la tensión de calor en trigo.

## **1.3. Justificación**

La tolerancia al calor es una prioridad importante para el cultivo de trigo, debido a que en genotipos susceptibles a la tensión de calor, durante el desarrollo reproductivo, reduce la fotosíntesis, promueve senectud prematura y reduce producciones induciendo esterilidad al polen y el aborto de la semilla.

Los genotipos del trigo tolerantes al calor han sido identificados y son definidos por el mantenimiento de la fotosíntesis, contenido de la clorofila, peso del grano y duración de llenado del grano extendido.

Una parte de la investigación sobre el manejo de cultivos y recursos debe enfocarse en la producción de variedades de trigo resistentes al calor. Una buena alternativa es la investigación sobre mejoramiento genético para cambiar el horizonte de rendimientos de trigo y aumentar su estabilidad.

---

---

Evaluar los parámetros fisiológicos potenciales de la investigación, observando la diversidad genética para los rasgos y su asociación con tolerancia del calor, y mejorar nuestra comprensión de la base fisiológica y genética de la tolerancia del calor, sería un paso importante para evitar los efectos dañinos ocasionados por el estrés calórico.

#### **1.4. Objetivo**

Evaluar parámetros fisiológicos (temperatura, clorofila, NDVI, entre otros) de variedades de trigo utilizando como base un modelo conceptual desarrollado en CIMMYT por Reynolds *et al.*, en el 2005, para evitar la reducción de rendimientos provocadas por la sequía y el calor, y conocer las cruzas que son capaces de resistir dichas condiciones.

#### **1.5. Hipótesis**

Las cruzas de trigos realizadas serán capaces de resistir las condiciones de sequía y calor, obteniendo respuestas favorables en los parámetros fisiológicos y por lo tanto buenos rendimientos.

---

---

## **II. FUNDAMENTACIÓN**

### **2.1. Generalidades sobre el trigo**

#### **2.1.1. Origen**

El trigo se ha cultivado desde hace más de 9,000 años. El trigo entra a América cuando inmigrantes rusos lo trajeron a Kansas en 1873, la variedad llamada Pavo Rojo (Scade 1975; Hawthorn 1983).

#### **2.1.2. Distribución**

El trigo se cultiva en todo el mundo, desde los límites del Ártico hasta cerca del Ecuador, aunque la cosecha es más productiva entre los 30- 60° latitud Norte y entre 27-40° latitud Sur. Las altitudes varían desde el nivel del mar a los 3.050 m en Kenya y 4.572 m en el

Tíbet. Las variedades cultivadas que son de muy diferente genealogía y crecen bajo condiciones de suelo y clima muy variados (Scade 1975; Howthorn 1983).

### **2.1.3. Clima**

El trigo prospera en climas sub-tropicales, moderadamente templados y moderadamente fríos. Lo más apropiado es una pluviosidad anual de 229-762 mm, más abundante en primavera que en verano. La temperatura media en el verano debe ser de 13 °C (56°F) o más (Scade, 1975; Hoethorn, 1983).

### **2.1.4. Producción**

Encabezando la lista por volumen de producción de trigo mundial, se encuentran China, India, Estados Unidos, Rusia, Francia y Canadá, en ese orden. Países latinoamericanos aparecen hasta en el lugar número 14 con Argentina y México en el número 25. El volumen de China en 1992 fue de 3,733 millones y el de México en el mismo año fue de 115 millones (Scade, 1975; Hoethorn, 1983).

### **2.1.5. Época de suministro**

La siembra se realiza a últimos de otoño (trigo de invierno), o en primavera (trigo de primavera). Los momentos de siembra y recolección del trigo en los diferentes países productores, dependen naturalmente de las condiciones climáticas particulares; en algunos países se cosecha trigo durante todos los meses del año (Scade 1975; Howthorn 1983).

## **2.2. Descripción botánica**

El trigo pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*), siendo las variedades más cultivadas *Triticum durum* y *T. compactum*. El trigo harinero hexaploide llamado *T. aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo (Calderini *et al.*, 2000).

### **2.2.1. Raíz**

Existen dos sistemas radicales distintos: las raíces embrionarias y las fasciculadas, que parten de los nudos, o nodales. En el embrión, están ya presentes seis raíces embrionarias, las cuales, en la planta adulta, son delgadas y muy ramificadas y parten de la base del mesocotilo. Las raíces embrionarias o seminales pueden penetrar en el suelo hasta una profundidad de unos 1.8 m y son activas a lo largo de toda la vida de la planta. Las raíces nodales crecen adventiciamente en los nudos situados en la base de los tallos y forman la mayor parte del sistema radicular de la planta adulta; se encuentran extensamente ramificadas y penetran en el suelo hasta una profundidad de 0.6 a 0.9m (Crofts *et al.*, 1971).

Las raíces permanentes, son las que sostienen a la planta en el aspecto mecánico y en la absorción del agua y los nutrientes del suelo hasta su maduración (Robles, 1983).

### **2.2.2. Tallo**

Es hueco (caña), con 6 nudos. Su altura y solidez determinan la resistencia al encamado. En casi todas las variedades, el tallo que es al principio macizo, se vuelve después hueco, salvo en los nudos (Guerrero, 1992).

### **2.2.3. Hoja**

La hoja tiene una longitud que varía de 15 a 25 cm y de 0.5 a 1 cm de ancho. El número de hojas varia de 4 a 6 y en cada nudo nace una hoja, excepto los nudos que están debajo del suelo que en lugar de hojas producen brotes o macollos (Robles, 1983).

### **2.2.4. Espiga**

La espiga de trigo está formada por espiguillas (manitas) dispuestas alternadamente en un eje central denominado raquis. Las espiguillas contienen de 2 a 3 flores que posteriormente formarán el grano que queda inserto entre la lemna (envoltura exterior del

grano que en algunas variedades tiene una prolongación que constituye la barba o arista), y la pálea o envoltura interior del grano. La primera y segunda flor esta cubierta exteriormente por las glumas (Robles, 1983).

La cantidad de espigas potenciales está determinada por el grado de amacollaje que existe antes de la iniciación de la inflorescencia, mientras que el tamaño del grano, depende fundamentalmente de las condiciones imperantes después de la anthesis (Terrazas, 1995).

### **2.2.5. Flor**

Consta de un pistilo y tres estambres. Está protegida por dos brácteas verdes o glumillas, de la cual la exterior se prolonga en una arista en los trigos barbados (Guerrero, 1992).

## **2.3. Factores que afectan el desarrollo y rendimiento de la planta de trigo**

Entre los factores externos que gobiernan el desarrollo de la planta, son de gran importancia la luz y la temperatura, en donde las plantas deben de pasar por un fotoperíodo y termoperíodo necesarios para que ocurran los cambios cualitativos citológicos que le permitan llegar a la floración. Sin embargo, para que la planta responda a los agentes físicos del medio, es preciso que el estímulo físico (calor, frío, luz, etc.) se convierta en estímulo químico; por lo que la floración de vegetal debe regirse por hormonas (Rojas y Róvalo 1985).

### **2.3.1. Fotoperíodo**

La luz además de su acción en la síntesis de alimentos (fotosíntesis) y de su efecto sobre el crecimiento direccional (fototropismo), tiene un importante papel en el desarrollo de muchas plantas que se comportan de manera distinta con respecto a su reacción a las horas-luz. Algunas especies florecen solamente cuando los días largos de muchas horas-luz, como en el trigo y otras cuando los días son cortos o de pocas horas-luz. Por lo tanto la fotoperiodicidad se define como la respuesta de una planta a la longitud relativa de los

---

---

periodos de luz y oscuridad. Las partes de la planta que reciben el estímulo fotoperiódico son las hojas y las yemas y específicamente en la molécula llamada fotocromo (Rojas y Ramírez, 1987; Devlin, 1982).

### **2.3.2. Termoperíodo**

La temperatura tiene, así como la luz, diversos efectos en la fisiología vegetal. Gassner demostró que algunas especies como el trigo de hábito invernal, necesitan sufrir frío en su etapa juvenil para florecer en primavera (Rojas y Ramírez, 1987).

El órgano receptor para el termoperíodo no es la hoja, como sucede en el fotoperíodo, sino el ápice de las ramas y tallo. En realidad el periodo de frío o termoperíodo no induce directamente a la floración, pero si es determinante para que ocurran cambios fisiológicos que llevan al desarrollo de las flores, como es el caso de la hipótesis que explica el inicio del desarrollo de las yemas, donde el inicio del invierno el nivel de hormonas (talvez auxinas y giberelinas) es bajo, en tanto que el nivel de inhibidores (abscisina y compuestos fenólicos, probablemente) es muy alto. Conforme transcurre el invierno y bajo el influjo del frío, la planta va metabolizando los inhibidores y luego, al alargarse los días empezará la síntesis de hormonas. Al llegar a un cierto equilibrio inhibidor/hormona la yema iniciará su desarrollo al que ayuda, por supuesto, la temperatura es cada vez más calida (Rojas y Róvalo, 1985; Steward, 1991).

Para que el trigo esté regido por el termoperíodo y fotoperíodo correctos debe acatarse la fecha de siembra establecida para este cultivo, ya que es un factor importante si se desean obtener máximos rendimientos (Robles, 1983).

Las siembras efectuadas después de la época indicada no cubren los requerimientos de horas-frío para las etapas vegetativa y reproductiva, por lo que se acelera el ciclo y se reducen los rendimientos hasta en un 50% (González, 1991).

## 2.4. El estrés en las plantas

En las décadas previas ha tenido un amplio desarrollo un concepto de estrés general de las plantas que describe las variadas respuestas de las plantas frente a las condiciones desfavorables del ambiente (Reygosa *et al.*, 2003).

### 2.4.1. Concepto de estrés vegetal

El estrés en vegetales sólo se refiere a cambios en la fisiología y el crecimiento de plantas conjuntamente con el daño sufrido. El estrés vegetal es inducido por constricciones estresantes naturales (tanto bióticas como abióticas) así como por varios tipos de factores estresantes antropogénico (Reygosa *et al.*, 2003).

El estrés en plantas se define como “un estado en el cual las crecientes demandas de agua a las que es sometida la planta conducen a una desestabilización inicial de las funciones, seguida de un estado de normalización y una mejora de la resistencia” además, “si se exceden los límites de la tolerancia y se sobrepasa la capacidad de aclimatación, el resultado puede ser un daño permanente o incluso la muerte” (Reygosa *et al.*, 2003).

La tensión, es la respuesta al estrés y a la fuerza aplicada al vegetal (esto es, la expresión producida por el estrés antes de que aparezcan daños). La sequía es probablemente una de las tensiones más comunes que las plantas han de soportar. La sequía a menudo acompaña al problema de calor excesivo, lo cual causa varias lesiones características conducentes a la desintegración y muerte (Bidwell, 1990).

Las principales clases de tensión a las cuales se exponen las plantas son las ambientales resultantes de extremos de clima: sequía, calor, frío y helada. Los efectos de estos factores están interrelacionados estrechamente. La resistencia a la alta temperatura puede implicar también resistencia a condiciones de sequía, las que frecuentemente van acompañadas (Bidwell, 1990).



### **2.4.2. Calor: estrés por alta temperatura en las plantas**

Las plantas muestran una diversidad enorme en cuanto a sus respuestas a temperaturas extremas. La mayor parte de las plantas con importancia económica son termófilas moderadas, con umbrales de daño para la temperatura alta entre 45 y 65°C. Existen diferencias considerables en la resistencia al estrés en taxa muy próximas (Reynolds *et al.*, 1999).

Las plantas expuestas a un estrés moderado por alta temperatura pueden desarrollar un estrés hídrico secundario a lo largo del tiempo. Si el estrés hídrico conduce al cierre estomático, la pérdida de enfriamiento transpiratorio puede incrementar el daño por alta temperatura. El enfriamiento por transpiración es un medio primario de evitación del daño por alta temperatura en las plantas terrestres. Como la temperatura de la planta tiende a variar con la temperatura del ambiente, la mayor parte de la atención se ha puesto en los mecanismos de tolerancia directa e indirecta al daño por estrés de alta temperatura (Reynolds *et al.*, 2005).

Las temperaturas elevadas limitan la distribución geográfica de las plantas silvestres y reducen el rendimiento de las cosechas. Los daños pueden manifestarse en pérdidas crónicas de productividad o de calidad asociadas con desequilibrios metabólicos. Frecuentemente se asocian daños agudos con cambios en la estructura y función de membranas y proteínas. La capacidad de las plantas para aclimatarse ha proporcionado a los científicos la oportunidad de descubrir rutas de transducción de señal que conducen a cambios adaptativos en la expresión génica. En la actualidad se están desarrollando trabajos para el incremento de la resistencia al estrés por alta temperatura mediante aproximaciones que proceden de los estudios mecanísticos de adaptación y daño en plantas (Schöffl *et al.*, 1998).

### **2.4.3. Sequía: respuesta de las plantas al estrés hídrico**

El estrés hídrico es el factor ambiental que más limita la producción vegetal a escala mundial. Se entiende por estrés hídrico cualquier limitación al funcionamiento óptimo de

las plantas impuestas por una insuficiente disponibilidad de agua. Existen varios términos relacionados con el estrés hídrico, como déficit hídrico y sequía, que se usan frecuentemente como sinónimos, pero que presentan importantes matices diferenciales (Chávez *et al.*, 2003).

El déficit hídrico hace referencia a cualquier limitación en el abastecimiento de agua en los tejidos, por lo que puede considerarse como sinónimo de estrés hídrico. Tiene un carácter temporal y habitualmente responde a una disminución progresiva del agua disponible en el suelo (Reygosa *et al.*, 2003).

La sequía se define como la falta o insuficiencia de precipitación durante un período largo, que provoca una reducción del agua disponible en el suelo y una restricción en el suministro de agua a la planta. Es decir, se trata de un déficit hídrico prolongado (Reygosa *et al.*, 2003).

Según Sánchez-Díaz y Aguirreola (2000) la sequía puede ser:

Permanente: origina condiciones de aridez.

Estacional: como ocurre en climas de estaciones anuales secas y lluviosas bien definidas.

Impredecible: con carácter anómalo, que puede tener lugar en cualquier clima y estación del año.

No aparente: originada por la incidencia de fuertes vientos, altas temperaturas o escasa humedad ambiental, que inducen elevadas tasas de evaporación y transpiración. Puede ocurrir aún cuando la precipitación sea relativamente abundante.

#### **2.4.3.1. Respuesta, aclimatación y adaptación**

El estrés hídrico puede presentarse con distinta intensidad y duración. En consecuencia la respuesta de las plantas tendrá diferente carácter y magnitud. Así, según Lambers *et al.*, (1998), se distingue entre:

**a) Respuestas inmediatas**

Se trata de modificaciones del funcionamiento de la planta en respuesta al estrés que ocurren en poco tiempo (de minutos a días), y que no requieren la expresión de nuevos genes ni se acompañan de cambios morfológicos. Por tanto estas respuestas inmediatas responden a situaciones de estrés hídrico temporal, incluyendo desde el déficit hídrico de corta duración hasta las condiciones de sequía estacional o impredecible. Entre los ejemplos de respuesta inmediata al estrés hídrico pueden citarse: los cambios en el crecimiento de las raíces, el cierre estomático, la reducción de la expansión foliar y la activación de mecanismos de disipación térmica en las hojas (Lambers *et al.*, 1998).

**b) Aclimatación**

Este término hace referencia a respuestas al estrés que ocurre en periodos más largos (de semanas a años), y que requieren la expresión de nuevos genes y la aparición de cambios morfológicos temporales. La aclimatación tiende a compensar parcialmente las disminuciones de la actividad fisiológica, que son consecuencia de las respuestas inmediatas al estrés, y responde a situaciones de estrés hídrico que van desde la sequía estacional hasta la sequía permanente. Entre los ejemplos de aclimatación al estrés hídrico se citan: ajuste osmótico, reducción en el tamaño de las hojas, senescencia foliar y los ajustes en la proporción entre parte aérea y parte subterránea (Lambers *et al.*, 1998).

**c) Adaptación**

La adaptación es un concepto evolutivo que hace referencia a modificaciones genéticas y morfológicas que ocurren a una escala temporal de varias generaciones, dentro del proceso de especialización y que favorecen la supervivencia y crecimiento de la especie. La adaptación responde al grado promedio de aridez de la zona y las variaciones extremas que las diferentes especies pueden tolerar. Estas adaptaciones son por tanto características constitutivas de cada especie y, al igual que la aclimatación, la adaptación tiende a compensar las disminuciones de la actividad fisiológica provocadas por el estrés (Lambers *et al.*, 1998).

## 2.5. Estudios asociados con la tolerancia al calor

Estudios en ambientes controlados han revelado variabilidad genética dentro de la tarifa fotosintética entre cultivares de trigo cuando está expuesto a elevadas temperaturas (Wardlaw et al., 1980; Blum, 1986; citados por Reynolds *et al.*, 2001). Tales evidencias en fotosíntesis bajo estrés calórico, ha mostrado estar asociado con la pérdida de clorofila y un cambio en radio de clorofila a:b, debido a la senectud de la hoja (Al-Khatib and Paulsen, 1984; Harding *et al.*, 1990; citados por Reynolds *et al.*, 2001).

Krishnan *et al.* (1989), condujeron un estudio para determinar las diferencias genotípicas en tolerancia termal adquirida están asociadas a los cambios en el patrón de la síntesis de la proteína del choque del calor, encontrándose que hay una correlación entre la síntesis de las proteínas de poco peso molecular específicas del choque del calor y el grado de tolerancia termal expresado después de la exposición a las temperaturas elevadas.

Shanahan *et al.* (1990), obtuvieron un incremento significativo en la producción de trigo primaveral en localizaciones calientes por la selección de líneas membrana-termoestables, según lo determinado por medidas en las hojas bandera en antesis.

Saadalla *et al.* (1990), encontraron una alta correlación en termoestabilidad de membrana (MT) entre las plantas de semillero y la hoja bandera en antesis para los genotipos crecidos bajo condiciones ambientales controladas. Las medidas de MT de 16 cultivares del trigo de resorte fueron comparadas internacionalmente con funcionamiento en varias localizaciones calor-tensionadas. La variación en MT de ambas hojas bandera y plantas de semillero campo-aclimatadas crecidas en condiciones controladas, fue asociada a tolerancia del calor en regiones calientes trigo-crecientes. Otros estudios han confirmado la variación genética de estos materiales y han indicado alta capacidad de heredar ese rasgo.

Dulai *et al.* (2005), examinaron las respuestas de la estabilidad termal del fotosistema II a la sequía inducida por la desecación en suelo en dos cultivos del trigo y en los genotipos de *Aegilops* que originaban de hábitat con diversas precipitaciones anuales y

temperaturas diarias. Los resultados indicaron que algunos genotipos de *Aegilops* que originan de hábitat áridos tienen tolerancia mejor del calor que trigo durante la sequía, haciéndolos apropiados para mejorar la tolerancia del calor del trigo permitiéndote sobrevivir los períodos secos y calientes en el campo.

---

---

## **III. MÉTODO**

### **3.1. Localización del experimento**

El trabajo de la presente investigación se realizó en el block 810 del terreno experimental del CIMMYT situado en el Valle del Yaqui, Sonora.

### **3.2. Diseño experimental y siembras**

En cada experimento, la población consistió de 11 cruza de F4 más los 9 padres por duplicado, sembradas en surco separado a 80 cm., arreglado por sub-bloques, los cuales fueron analizados en el paquete estadístico sas con el diseño alfa látice.

Las siembras se realizaron bajo 2 ambientes:

1. Seguía : 50 a 100 mm de agua disponible + lluvia (siembra 1 Diciembre 2004)
2. Estrés por calor: riego (siembra 15 febrero 2005).

Dichas siembras se realizaron con la intención de someter al cultivo a diferentes ambientes, para evaluar las diferencias que lleguen a ocurrir en el desarrollo de la planta.

El riego y nutrición al cultivo se llevaron a cabo de acuerdo a las necesidades presentadas durante el desarrollo del cultivo.

### 3.3. Material utilizado

El material utilizado para las siembras realizadas se muestra en la tabla 1, en la cual se especifican los tipos de cruza y líneas utilizadas.

**Tabla 1. Material utilizado en las siembras de sequía y calor**

PLOT	Y04-05	BV04/Y03-04	BV04	CRUZ/ LINEA	SEL HIST
1	1	F4 Simple	1	W15.92/SOKOLL	PTSS02B00002S-0Y-0B
2	2	F4 Simple	2	W15.92/WEEBILL4	PTSS02B00003S-0Y-0B
3	3	F4 Simple	3	W15.92/PASTOR//HXL7573/2*BAU	PTSS02B00004S-0Y-0B
4	4	F4 Simple	6	MEX94.2.19/PASTOR//HXL7573/2*BAU	PTSS02B00010S-0Y-0B
5	5	F4 Simple	14	CMH82.575/CMH82.801/WEEBILL4	PTSS02B00031S-0Y-0B
6	6	F4 Simple	16	TALLO ERECTO GRUESO/WEEBILL4	PTSS02B00037S-0Y-0B
7	7	F4 Simple	17	TALLO ERECTO GRUESO/PASTOR//HXL7573/2*BAU	PTSS02B00038S-0Y-0B
8	8	F4 Simple	24	FIRETAIL/MEX94.2.19	PTSS02B00069S-0Y-0B
9	9	F4 TOP	3	PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/W15.92/WBLL	PTSS02B00090T-0TOPY-0B
10	10	F4 TOP	27	MEX94.2.19/3/FRTL//ATTILA/3*BCN	PTSS02B00123T-0TOPY-0B
11	11	F4 TOP	30	SOKOLL/3/MEX94.2.19//ATTILA/3*BCN	PTSS02B00128T-0TOPY-0B
12	12	CB-Estres	1	W15.92	-0ZWE
13	13	CB-Estres	6	FIRETAIL	CM82534-08TOPM-7Y-025H-0Y-12M-0Y
14	14	CB-Estres	11	MEX94.2.19	CWISH95 2253
15	15	CB-Estres	12	SOKOLL	CMSS97M00316S-0P20M-0P20Y-43M-010Y
16	16	CB-Estres	13	WEEBILL4	CGSS96Y00150T-099B-099Y-099B-20Y-0B
17	17	CB-Estres	14	PASTOR//HXL7573/2*BAU	CMSS97M00306S-0P20M-0P20Y-85M-010Y
18	18	CB-Estres	20	ATTILA/3*BCN	CMBW90Y4399-0TOPM-1Y-010M-010M-010Y-8M-015Y-0Y-0SY
19	19	CB-Estres	23	CMH82.575/CMH82.801	CMH86.2231-1B-3Y-2B-2B-1Y-0Y
20	20	CB-Estres	25	TALLO ERECTO GRUESO	CMH84.3607-C-2B-10Y-1B-3Y-3B-0Y

### 3.4. Riegos y aplicaciones de fungicidas

Los riegos y aplicaciones de fungicidas se realizaron en las fechas establecidas en la tabla 2 para la siembra de sequía y en la tabla 3 para la siembra de calor.

**Tabla 2. Fechas de riegos y aplicaciones de fungicidas en la siembra de sequía**

Riegos	Fungicida (Tebuconazole)
De germinación 2/Diciembre/2004	18 / Enero / 2005
	25 / Enero / 2005

**Tabla 3. Fechas de riegos y aplicaciones de fungicidas en la siembra de calor**

Riegos	Fungicida (Tebuconazole)
De germinación 09 / Marzo /2005	01 / Abril / 2005
1 auxiliar 22 / Marzo / 2005	15 / Abril / 2005
2 auxiliar 06 / Abril / 2005	29 / Abril / 2005
3 auxiliar 21 / Abril / 2005	
4 auxiliar 05 / Mayo / 2005	

### 3.5. Preparación del terreno

El terreno experimental con 75 unidades de N<sub>2</sub> por Ha y el 30 % de superfosfato triple. La siembra se llevó a cabo por medio de surcos.



## 3.6. Variables analizadas

### 3.6.1. Medición de variables de análisis de crecimiento

#### 3.6.1.1. Índice normalizado de diferencia vegetativa

El índice normalizado de diferencia vegetativa (NDVI), se midió con la ayuda del medidor de NDVI “Green Seeker” (Figura 1). Este aparato tiene un sensor que emite luz (rojo) y mide el reflejo de luz en el follaje. Esta medida es muy sensible a cambios en lo verde del follaje, es útil para medir el progreso del follaje. Esta medición se realizó semanalmente, pasando el aparato a lo largo de la parcela.



**Figura 1. Green Seeker**

#### 3.6.1.2. Temperatura

Se analizó con un termómetro infrarrojo (Figura 2), el cual trabaja a base de rayos infrarrojos, y trae un láser para indicar el punto exacto que estamos midiendo, es sumamente fiel y tiene una exactitud de  $\pm 1^\circ$ . Las mediciones se realizaron cada 8 días. Las lecturas obtenidas fueron en  $^\circ\text{C}$ .



**Figura 2. Termómetro infrarrojo**

### 3.6.1.3. Intensidad de luz

El análisis de esta variable se llevo a cabo con un ceptómetro modelo LP-80 linear PAR (Figura 3), que consiste de un sensor integrado y un microcontrolador. El sensor mide 86.5 cm. de largo y contiene 80 sensores que son sensibles a la bando de ancha PAR (radiación fotosintéticamente activa).



**Figura 3. Ceptómetro LP-80**

### 3.6.1.4. Clorofila

Esta variable se analizó con ayuda del Spad de minolta 502 (Figura 4) el cual mide instantáneamente la cantidad del contenido de la clorofila, ya que mide la transmisión de la luz roja en 650 nm, en los cuales la clorofila absorbe luz, y la transmisión de la luz infrarroja en 940 nm, en los cuales ninguna absorción ocurre. En base de estos valores de dos transmisiones el instrumento calcula un valor de SPAD (desarrollo del análisis de la planta del suelo) que esta absolutamente bien correlacionado con el contenido de la clorofila.



**Figura 4. Spad minolta 502**

### 3.6.1.5. Biomasa

La biomasa se midió durante las etapas de floración y madurez de la planta, y la metodología para el análisis de la biomasa fue la siguiente:

1. De 3 a 5 días después de que las plantas llegaron a la etapa de floración o madurez, se cortó un área de aproximadamente (0.5 m) (0.4m) de cada parcela.
2. Se colocó en una bolsa de plástico etiquetada previamente con el número de parcela y se trasladó al laboratorio.
3. Se pesó en una balanza la muestra tomada de la parcela (peso fresco).
4. Se seleccionaron 50 tallos completos, los cuales se pesaron posteriormente (peso fresco 50 tallos).
5. Se colocaron dichos tallos en un horno a 75°C x 48 hr (Figura 5).



**Figura 5. Horno**

6. Posteriormente se pesaron en una balanza para determinar el peso seco de los 50 tallos.
7. Posteriormente se sacó la cantidad de biomasa en floración con la siguiente fórmula:

$$\text{Biomasa en floración} = \frac{\left[ \text{PF del punto 4 (0.5)} \right] \left[ \frac{\text{PS 50}}{\text{PF 50}} \right]}{0.4} \quad (\text{g/m}^2)$$

### 3.6.1.6. Espigas/m<sup>2</sup>

Esta variable se sacó por medio de una conversión utilizando los datos obtenidos en la obtención de biomasa:

$$\text{Espigas/m}^2 = \frac{\text{Biomasa floración}}{\text{PS 50 tallos/ 50}} \quad (\text{U/m}^2)$$

### 3.6.1.7. Índice de cosecha en floración

La metodología para esta variable fue:

1. Del área cortada para biomasa en la etapa de floración, se seleccionaron 24 tallos con espigas.
2. Se separo el tallo de las espigas
3. Se colocaron los tallos en bolsas de papel previamente etiquetadas y se pesaron (PS 24 tallos), el mismo procedimiento fue realizado para las espigas.
4. Posteriormente se colocaron las bolsas de papel que contenían los tallos y las que contenían las espigas en un horno a 75°C x 48 hr.
5. Se pesaron las bolsas después de sacarse del horno en una balanza para obtener el PS 24 tallos y PS 24 espigas.
6. En base a los pesos obtenidos se obtuvo el resultado por medio de la siguiente conversión el I.C. en floración:

$$\text{I.C. Floración: } \frac{\text{PS 24 espigas}}{\left[ \text{PS 24 tallos} + \text{PS 24 espigas} \right]}$$

### 3.6.1.8. Peso seco de tallos en floración (g/m<sup>2</sup>)

El peso seco de los tallos en la etapa de floración se obtuvo en base a los datos anteriores con la siguiente formula:

$$\text{PS tallo en floración} = \left[ \text{Biomasa floración} \right] \left[ \text{I.C. Floración} \right] \quad (\text{g/m}^2)$$

### 3.6.1.9. Largo de espiga y número de espiguillas

Se sacó un promedio de 10 espigas debido a la variabilidad. Se midió el tamaño de la espiga con una cinta métrica y el resultado se expreso en cm., y se realizó la cuenta de espiguillas por medio de observación.

### 3.6.2. Variables a medir después de la cosecha

Estas variables se analizarán después de haber llevado a cabo la trilla de las parcelas que componen los experimentos.

#### 3.6.2.1. Área de cosecha (m<sup>2</sup>)

Para esta variable se tomó en cuenta la longitud de las camas de siembra y la parte que fue cortada en las etapas de madurez y floración, por lo cual el dato se obtuvo utilizando la siguiente formula:

$$\text{Área de cosecha} = \left[ \text{longitud} * 1.6 \right] - 0.4$$

#### 3.6.2.2. Semillas por parcela

La metodología realizada:

1. La limpieza de la semilla se realiza con el separador de semillas (Figura 6), en el cual se introducen las semillas trilladas que contienen residuos de las espigas, con la finalidad de eliminar dichos residuos y obtener las semillas lo mas limpias posibles.



Figura 6. Separador de semillas

2. La manta que contiene las semillas sin residuos de la trilla se pesa para obtener el peso de semillas obtenidas por cada parcela  $\text{g/m}^2$ .

### 3.6.2.3. Índice de cosecha en madurez

Para sacar el índice de cosecha en madurez se siguió la siguiente metodología:

1. Se sacaron 50 espigas de la parcela, de las cuales se separaron los tallos y las espigas.
2. Se trillaron las espigas y se obtuvieron granos, los cuales se colocaron en bolsas de papel previamente etiquetadas, se pesaron (PF 50 granos).
3. Los tallos se colocaron en bolsas de papel previamente etiquetadas, se colocaron en el horno a  $75^\circ\text{C}$  x 48 hr.
4. Se sacaron del horno y se pesaron en una balanza (PS 50 tallos).
5. En base a esto se saca el índice de cosecha con la siguiente formula:

$$\text{Índice de cosecha madurez} = \frac{\text{Peso granos 50}}{\text{PS tallos 50}}$$

### 3.6.2.4. Humedad

La humedad se determino siguiendo la siguiente metodología:

1. De los granos obtenidos por parcela se toman 50 g por cada parcela y se colocan en sobres previamente etiquetados con variedad de trigo y número de tratamiento.
2. Dichos sobres se pesan (PF) y posteriormente se colocan en el horno a  $75^\circ\text{C}$  x 48 hr, para pesarse nuevamente y obtener el peso seco.
3. Posteriormente para obtener la humedad de los granos, se utilizó la formula:

$$\text{HD} = \frac{\text{PS granos}}{\text{PF granos}}$$

### 2.6.2.5. Rendimiento

Esta variable se obtuvo con la fórmula siguiente:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso granos de la trilla} * (\text{HD} + \text{peso 50 g de madurez})}{\text{Área cosecha m}^2}$$

### 3.6.2.6. Biomasa en madurez

Para sacar esta variable se toma en cuenta el índice de cosecha obtenido en madurez y el rendimiento, la fórmula utilizada fue:

$$\text{Biomasa Madurez: } \frac{\text{rendimiento}}{\text{Índice de cosecha}}$$

### 3.6.2.7. Peso de mil granos

El PMG (peso de mil granos) se obtuvo colocando 1000 granos de cada tratamiento en sobres etiquetados con el número de parcela, y su peso fue obtenido utilizando una balanza.



Figura 7. Bolsas de papel con semilla

### 3.6.2.8. Grano/m<sup>2</sup>

Para obtener la cantidad de granos obtenidos por metro cuadrado se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Grano / m}^2 = \left( \frac{\text{rendimiento}}{\text{PMG}} \right) 1000$$

### 3.6.2.9. Peso seco de tallo

Aquí se tomo en cuenta el peso seco obtenido de los 50 tallos seleccionados en madurez, y dividiendo entre el numero de tallos seleccionados, que en este caso fueron 50.

### 3.6.2.10. Tallo/m<sup>2</sup>

Para obtener el número de tallos por metro cuadrado se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Tallos / m}^2 = \frac{\text{Biomasa madurez}}{\text{PS tallo}}$$

### 3.6.2.11. Grano/espiga

Para conocer la cantidad aproximada de granos por espiga se utilizó la formula:

$$\text{Grano / espiga} = \frac{\text{grano m}^2}{\text{tallo m}^2}$$



---

---

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

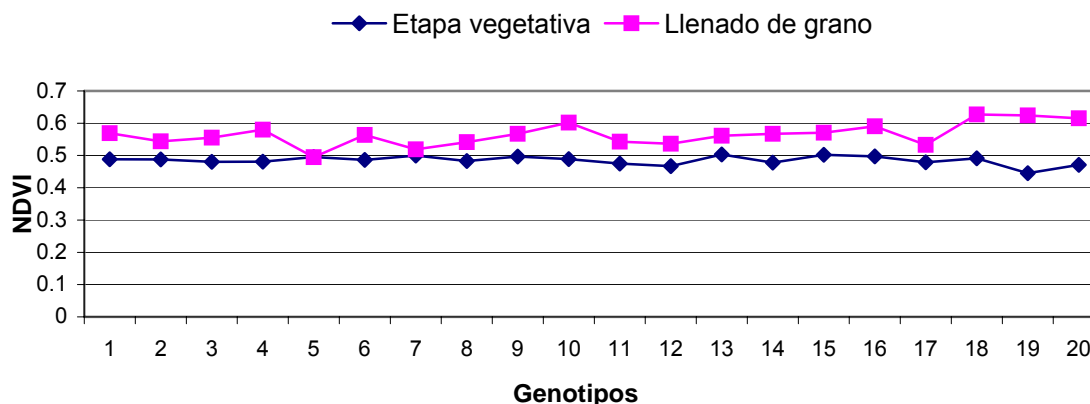
En el presente capítulo se describen los resultados obtenidos en la siembra de trigo en condiciones de sequía y calor, anotándose las medias estimadas de cada genotipo para todas las variables analizadas obtenidas por el programa estadístico SAS.

### **4.1. Resultados correspondientes a la siembra de sequía**

#### **4.1.1. Índice normalizado de diferencia vegetativa**

El índice normalizado de diferencia vegetativa, nos indica el estado de la planta. Esta medida es útil para medir el progreso del follaje, además de ser una herramienta no destructiva, ayudando a determinar el rendimiento (Aparicio *et al.*, 2000).

En la figura 8 se muestra como se mantuvo el follaje de la planta en las etapas vegetativa y llenado de grano en esta siembra.



**Figura 8. Índice normalizado de diferencia vegetativa en etapa vegetativa y llenado de grano en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

En la etapa vegetativa se mantuvo una media de NDVI de 0.4848, esto debido a que la planta estaba en su etapa de crecimiento, mientras que en llenado de grano alcanzó una media de 0.5653, indicando que en promedio la planta mantuvo un buen follaje, ya que al iniciar la etapa de llenado de grano alcanzó 0.88, el cual a medida que finalizaba la etapa fue disminuyendo, por lo que su media fue aceptable, indicando que las plantas se mantuvieron en condiciones favorables. Esto debido a que el rango de senescencia es sinónimo de pérdida de color verde de la planta, la cual es relacionada con su madurez (Adamsen *et al.*, 1999).

El genotipo que obtuvo mejor promedio de NDVI en etapa vegetativa fue el genotipo 13, mientras que el genotipo 19 fue el que obtuvo menor promedio, aunque con un promedio de 0.4453 que estadísticamente fue igual al genotipo 13.

En etapa de llenado de grano se obtuvo como mejor promedio el obtenido por el genotipo 18, mientras que el genotipo 5 fue el de promedio de NDVI mas bajo, pero estadísticamente igual al resto de los genotipos.

En base al análisis estadístico no hubo diferencia significativa entre los genotipos en ninguna de las dos etapas de crecimiento, y la correlación con el rendimiento obtenido el NDVI en la etapa vegetativa fue 47% y en llenado de grano se obtuvo -7%, por lo que en

llenado de grano hay una correlación negativa con el rendimiento, esto quiere decir que a medida que el NDVI aumenta en el llenado de grano, el rendimiento disminuye, ocurriendo lo contrario en la etapa vegetativa. La correlación negativa que se obtuvo en llenado de grano se debe a que en vez de producir grano o espigas se está produciendo más follaje, ocasionando disminución de rendimiento.

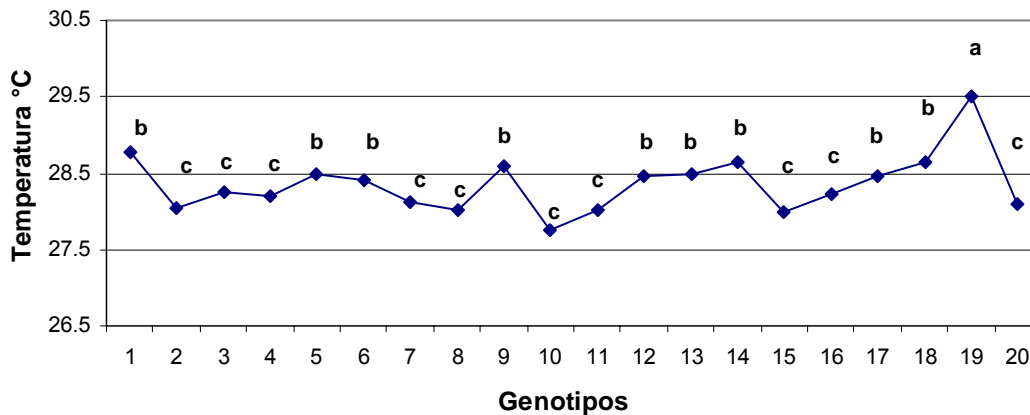
De acuerdo a los resultados obtenidos se puede predecir la producción de la cosecha por ecuaciones empíricas de la regresión, según lo planteado por Serrano *et al.*, (2000), utilizando el índice de área de la hoja o la fracción fotosintética activa interceptada de la radiación activa, que alternadamente se utilizan como datos de entrada en el crecimiento de cosecha y los modelos agrometeorológicos. Además de poderlos relacionar con la cantidad de biomasa verde, ya que según Shanahan *et al.*, (2001), indican que la base para la relación de NDVI y la biomasa, se relaciona con la cantidad de radiación fotosintética activa absorbida. Muchos estudios en trigo han relacionado esto entre la biomasa total en la producción de la cosecha y de grano (Green, 1987; Rudorff and Batista, 1990; citados por Serrano *et al.*, 2000).

El NDVI satisface idealmente la detección de diferencias sutiles en cubiertas escasas, y como tal constituye un índice sensible del crecimiento en etapas tempranas de la cosecha o bajo condiciones de estrés (Bellairs *et al.*, 1996; Gallo *et al.*, 1985; Peñuelas *et al.*, 1997; citados por Aparicio *et al.*, 2000).

#### **4.1.2. Temperatura**

La respuesta de las plantas ante el efecto de la temperatura ambiental es un proceso complejo que envuelve la interacción de muchos factores limitantes del crecimiento. Esta respuesta se complica debido al reconocido efecto diferencial que ejercen las fluctuaciones diarias de temperatura en el campo sobre el crecimiento de las plantas (Yin y Kropff, 1996).

Los resultados obtenidos de los 20 genotipos analizados estadísticamente, se muestran en la figura 9.



**Figura 9. Temperatura en etapa de llenado de grano en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

La media obtenida de esta variable fue de 28.4 °C, En este caso hubo diferencia significativa entre los genotipos, indicando que el genotipo 19, fue el mas expuesto a las altas temperaturas, lo cual indica que fue el genotipo más susceptible a daños durante su desarrollo, ocurriendo lo contrario con los genotipos 2, 3, 4, 7, 8, 10, 11, 15, 16 y 20, los cuales se encontraron en menor rango de temperatura que el resto de los genotipos.

La relación obtenida con el rendimiento obtenido fue negativa (-35%), lo que significa que a medida que la temperatura disminuye el rendimiento aumenta, esto se debe a que la temperatura es un factor universal que afecta la duración de todas las etapas del cultivo desde la emergencia hasta la madurez fisiológica, limitando el rendimiento (Miralles, 2004; Reynolds *et al.*, 2004).

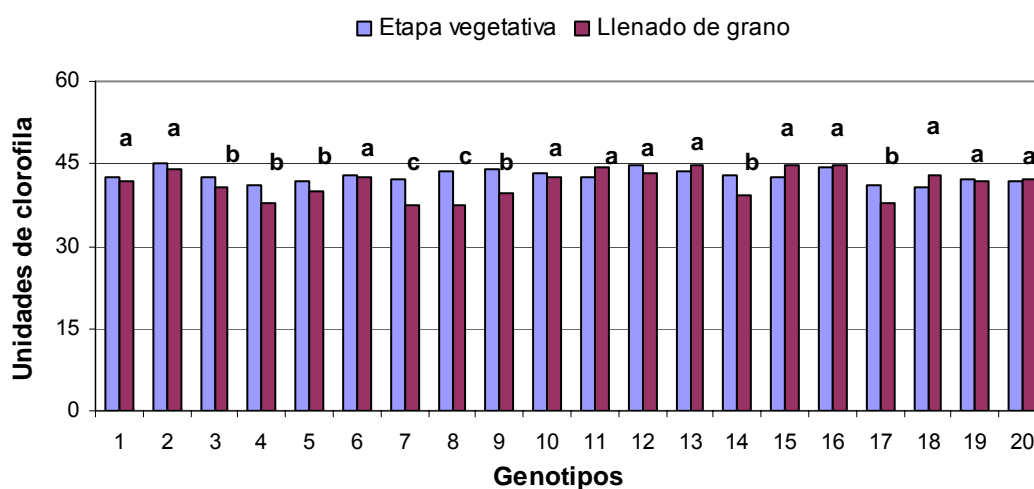
Las altas temperaturas también pueden afectar la actividad de síntesis de almidón soluble, una enzima amiloplástica del trigo a más de 25°C, lo cual provoca pérdida de su actividad enzimática (Keeling *et al.*, 1993). La temperatura también ejerce influencia en la correlación de la formación fotosintética de carbohidratos y de su contenido total (Ras and Flur, 1993).

Muchas investigaciones han hecho evidente como las altas temperaturas pueden influir sobre los caracteres componentes del rendimiento, dentro de los cuales encontraron que el principal efecto de la temperatura es sobre el número de granos (Rawson y Bagge, 1979; citado por Vega y Vega, 1990), que la máxima tasa de amacollamiento es a los 25°C (Friend, 1965; citado por Vega y Vega, 1990), así como reportes de un mayor número de vástagos a bajas temperaturas (Rawson, 1971; citado por Vega y Vega, 1990).

El aumento de la temperatura tiene también efecto negativo sobre otros caracteres tales como número de espiguillas por espiga y número de hojas; así como la disminución de la temperatura incrementa el número de días a la floración (Midmore *et al.*, 1982; citado por Vega y Vega, 1990), afectando el rendimiento de manera indirecta.

#### 4.1.3. Clorofila

En la figura 10, se aprecian los resultados obtenidos de clorofila en la siembra de sequía. La media obtenida para esta variable corresponde a 42.8 y 41.5 unidades de clorofila, en la etapa vegetativa y llenado de grano respectivamente. No hubo diferencia significativa entre los genotipos en la etapa vegetativa, sin embargo en la etapa de llenado de grano se obtuvieron diferencias significativas.



**Figura 10. Clorofila en etapa vegetativa y llenado de grano en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

En llenado de grano el conjunto de genotipos que obtuvieron mejores cantidades de clorofila son 1, 2, 6, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 19 y 20, con una media entre ellos de 43.27 unidades de clorofila, mientras que los genotipos 7 y 8 fueron los que obtuvieron como media 37.3 unidades clorofila, siendo estas cantidades menores a las obtenidas por el resto de los genotipos.

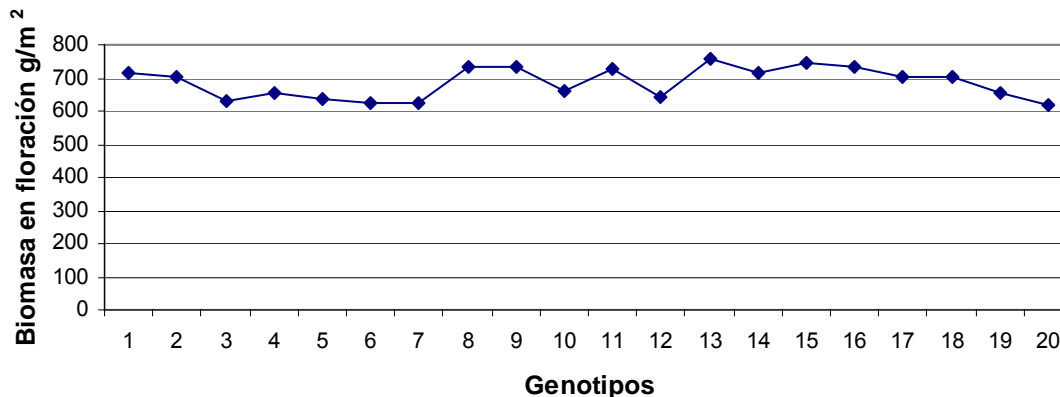
La relación obtenida de esta variable con respecto al rendimiento obtenido es de 2% para la etapa vegetativa y 30% en llenado de grano, por lo cual a medida que aumenta la clorofila de las plantas indica que se obtendrá un mejor rendimiento, ya que un alto contenido de la clorofila es una característica deseable porque indica un grado bajo de fotoinhibición del aparato fotosintético, por lo tanto reduciendo las pérdidas del carbohidrato para el crecimiento del grano (Farquhar *et al.*, 1989).

Los valores de SPAD son correlacionados con parámetros fotosintéticos diversos, tales como estructura foliar (Araus *et al.*, 1997), el índice fotosintético y la absorción de radiación fotosintética activa (Earl and Tollenaar, 1997), determinando pigmentos fotosintéticos (clorofila y los carotenoides) e indirectamente puede interpretar el proceso fotoquímico (Torres *et al.*, 2002).

Las unidades de clorofila además de que se puede utilizar con éxito para determinar el estado de la planta (Shaaban *et al.*, 2002; Daugtry *et al.*, 2000), se puede utilizar para la determinación del estado de algunos otros nutrientes relacionados de cerca con la formación de la clorofila tal como magnesio, hierro (Shaaban *et al.*, 1999; Álvarez-Fernández *et al.*, 2002; citado por Shaaban *et al.*, 2002), o nitrógeno (Hoel and Solhaug, 1998; Hoel, 2003; Schächtl, *et al.*, 2005), como en algunos experimentos donde las lecturas debajo de 35, 32 y 45 unidades indican el adicionar nitrógeno (Peng *et al.*, 1996; Vidal *et al.*, 1999; Wu *et al.*, 1998; citados por Martínez and Guamet, 2004); por lo cual la fertilización de esta siembra es considerada favorable, ya que las unidades de SPAD son mayores a 40, indicando que no hubo deficiencia de nitrógeno en la fertilización.

#### 4.1.4. Biomasa en floración

Los datos obtenidos estadísticamente de los 20 genotipos se muestran en la figura 11. En esta variable no hubo diferencia significativa entre los genotipos.



**Figura 11. Biomasa en floración en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

La media obtenida de esta variable fue de 685.6 g/m<sup>2</sup>, con una correlación con el rendimiento obtenido de 21%. Lo que indica que a medida que aumente la biomasa en floración el rendimiento aumentara un 21% más, por lo que el rendimiento esta correlacionado positivamente con esta variable.

En los datos obtenidos de biomasa se logra apreciar que el genotipo 20 es el que obtuvo menor cantidad de biomasa, por lo cual es de esperarse que el rendimiento de este se encuentre por debajo del resto de los genotipos; y por el contrario el genotipo 13 fue el que obtuvo mayor cantidad de biomasa, por lo tanto se espera que este sea el que logre un mejor rendimiento, aunque probablemente la diferencia no sea muy grande ya que los genotipos son estadísticamente iguales.

Sharma (1993), encontró que la producción de la biomasa puede ser un rasgo útil de la selección para la mejora de la producción en trigo, ya que la producción de biomasa demostró correlaciones genotípicas positivas con la producción del grano, el número de granos por espiga, pero una correlación negativa con índice de la cosecha. Los resultados

indicaron que la selección para la alta producción de la biomasa debe traer mejoras alrededor de positivas en la producción de la biomasa, la producción del grano y el número de granos/espiga.

Según Millares (2004), una mayor cantidad de biomasa en floración determinará un mayor peso de las espigas y por lo tanto un mayor número de granos. Es por ello que para incrementar el rendimiento es necesario incrementar la biomasa total.

En la investigación realizada por Yadav *et al.*, (2002) un número de regiones genómicas fueron asociadas a la tolerancia de sequía en términos de producción de grano y sus componentes. El QTLs (Lugares geométricos cuantitativos de rasgos asociados) que contribuyó a la tolerancia creciente de la sequía se logro con un mejor mantenimiento promedio (comparado a los ambientes no tensionados) del índice de la cosecha, o índice de cosecha y productividad de biomasa.

#### 4.1.5. Espiga/m<sup>2</sup>

Los resultados estadísticamente obtenidos en esta variable se muestran en la figura 12. En esta variable se obtuvo una media de 336.3 espigas/m<sup>2</sup>, y una correlación con el rendimiento obtenido es de 36%, por lo cual a medida que aumenta la cantidad de espigas por m<sup>2</sup>, el rendimiento aumenta.

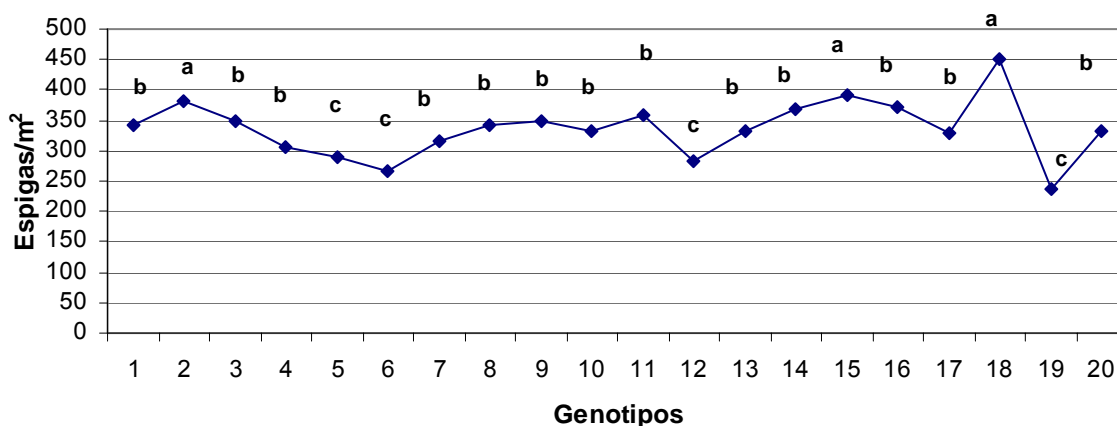


Figura 12. Espigas/m<sup>2</sup> en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía



En esta variable hubo diferencias significativas entre los genotipos, siendo los genotipos 2, 15 y 18, los que obtuvo mayor cantidad de espigas por  $m^2$ , por lo que se espera que estos obtengan buenos rendimientos, ya que la espiga es el órgano de mayor importancia en términos de rendimiento, ya que esto se traducirá a mayor cantidad de granos al momento de la cosecha (Blue, *et al.*, 1990; Geleto *et al.*, 1995; Millares, 2004; Okuyama, *et al.*, 2004).

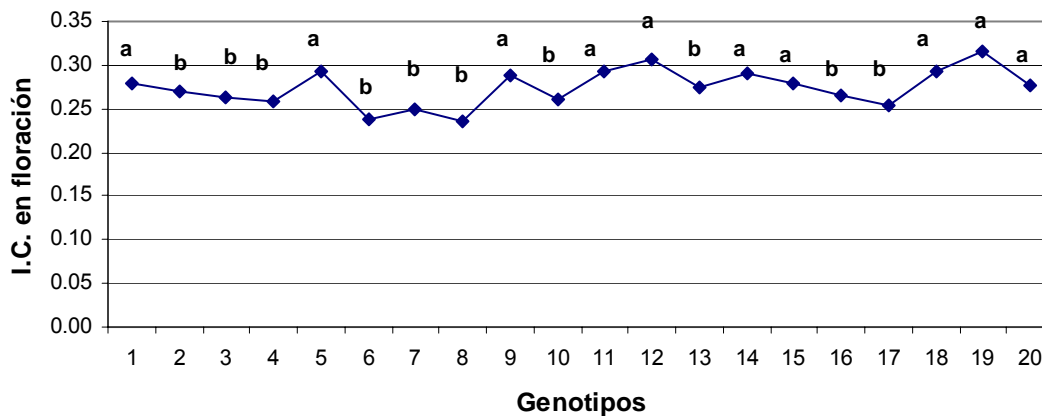
Los genotipos 5, 6, 12 y 19 fueron los que menor cantidad de espigas/ $m^2$ , por lo cual se considera que estos obtendrán más bajos rendimientos que el resto de los genotipos, ya que el número de espigas por unidad de superficie está fuertemente correlacionado con el rendimiento, señalándose este componente como el más importante en la determinación de la producción (García del Moral *et al.*, 1991; Mellado, 2003). Esto se debe a una disminución en el número de espigas fértiles, a la disminución del suministro de asimilados a la espiga y a una aceleración de la tasa de desarrollo, y por lo tanto, un menor período de tiempo para el crecimiento de la espiga (Fischer, 1985).

Solamente las altas cosechas producen más de 300 espigas/ $m^2$  en Brazil. Inversamente, es común a los campos del trigo del hallazgo con más de 600 puntos  $m^2$  en los Estados Unidos (Goos *et al.*, 1999; citado por De Almeida, *et al.*, 2004). Por lo cual en Brazil sería considerado que en esta siembra hubo buenos rendimientos.

#### **4.1.6. Índice de cosecha en floración**

Los resultados obtenidos de esta variable se presentan en la figura 13. La media obtenida para el índice de cosecha de floración fue 0.27, encontrándose diferencia significativa entre los genotipos.

En esta variable los genotipos que obtuvieron mayor índice de cosecha fueron 1, 5, 9, 11, 12, 14, 15, 18, 19 y 20, lo que indica que es más probable que este grupo de genotipos obtengan menores rendimientos que el resto. Esto debido a la correlación negativa que existe entre esta variable con el rendimiento.



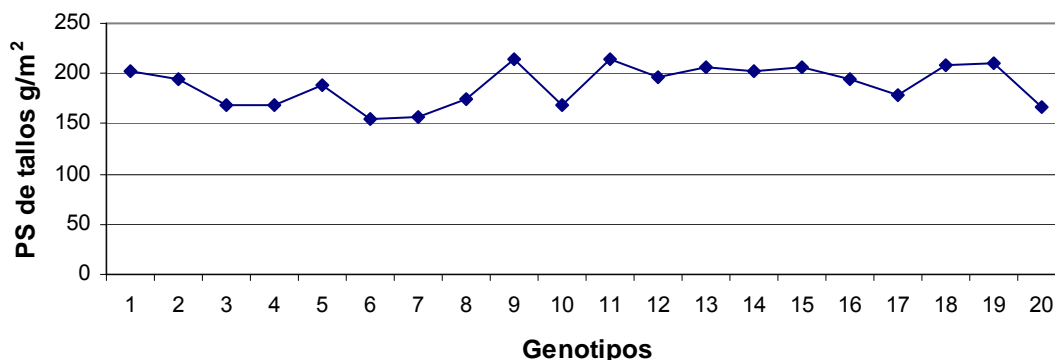
**Figura 13. Índice de cosecha en floración en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

La correlación del índice de cosecha en floración con el rendimiento obtenido fue -20%, lo cual indica que a medida que incrementa el I.C. en floración el rendimiento disminuirá 20%, ello debido a que en la medida que se asignan los fotosintatos a la parte de grano, el vástago empieza a disminuir su incremento en materia seca, por lo que en madurez hay menos materia seca de la parte aérea y más peso de granos final.

El fotosintato es solamente un recurso implicado en el índice de cosecha; otros recursos deben también estar distribuidos para apoyar el cambio relativo en masa del grano. Particularmente el nitrógeno, el cual es un componente crítico, y su distribución a la semilla podría ser crucial influenciando el índice de cosecha (Sinclair, 1998).

#### **4.1.7. Peso seco de tallos en floración (g/m<sup>2</sup>)**

Los datos obtenidos de esta variable se muestran en la figura 14, de los cuales se obtuvo una media estimada de 188.7 g. En esta variable no hubo diferencia significativa entre los genotipos.

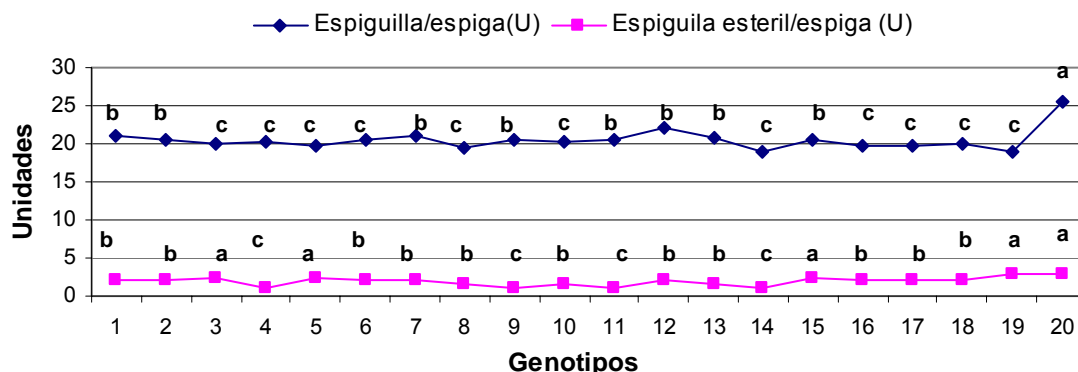


**Figura 14. Peso seco de tallo en floración (g/m<sup>2</sup>) en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

El genotipo 11 es el que obtuvo mayor cantidad de PS de tallos, mientras que el genotipo 6 fue el que menor cantidad alcanzó. La distribución de materia seca juega un papel importante dentro de la planta en la determinación de rendimiento. En trigo, Gent y Kiyomoro (1989) relacionaron las diferencias en la producción de grano con la distribución de fotosintatos y retención de estos en madurez.

**4.1.8. Espiguillas/espiga y espiguillas estériles/espiga.**

Los datos analizados estadísticamente para los 20 genotipos para estas dos variables se muestran a continuación (Fig.15).



**Figura 15. Espiguillas/espiga y espiguillas estériles/espiga en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

La media estimada de espiguillas/espiga (U) obtenidas fueron 20.5 y las espiguillas estériles por espiga (U) fue de 1.9, la diferencia estadística entre los genotipos es altamente significativa para ambos casos.

En cuanto a la correlación con el rendimiento es de 9% espiguillas/espiga (U) y 2% espiguillas estériles/espiga (U), indicando una correlación positiva, lo que significa que a medida que aumenta el número de la espiguillas el rendimiento también aumenta.

El genotipo 20 fue el que obtuvo mayor cantidad de espiguillas/espiga, por lo cual se espera que el rendimiento de este genotipo se encuentre dentro de los mejores, mientras que el grupo de genotipos 3, 4,5, 6, 8, 10, 14, 16, 17, 18 y 19, obtuvieron menor cantidad de espiguillas/espiga, por lo cual esto puede implicar un menor rendimiento, con respecto al resto de los genotipos.

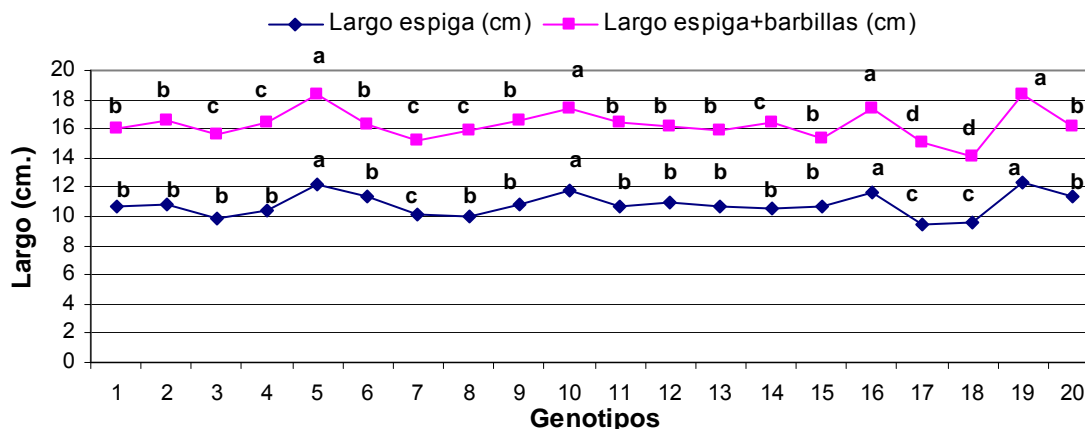
Para la expresión de alto rendimiento en trigo, más de 18 espiguillas/espiga es deseable (Borojevic, 1972; citado por Knezevic *et al.*, 2001), ya que el número de espiguillas por espiga tiene influencia sobre el rendimiento. Por lo que en esta siembra la cantidad de espiguillas/espiga fue mayor de 19, indicando un buen rendimiento de los genotipos. En base a lo anterior se puede decir que la tensión de sequía no se vio reflejada en el periodo de antesis en esta siembra, ya que en ese periodo se puede tener un impacto negativo sobre el número de espiguillas (Denčić, *et al.*, 2000).

En cuanto a las espiguillas estériles, Mitchell *et al.* (1993), atribuyeron una alta proporción de espiguillas estériles a una temperatura de mas de 27°C, mientras que Wheeler *et al.*, (1996), indicaron que esto se debía a la combinación de un exceso de temperatura de 31°C en el 50% de antesis, por lo cual en este estudio se puede observar que la cantidad de espiguillas estériles fue mínima por lo que la temperatura no afecto esta variable.

#### **4.1.9. Largo de espiga (cm) y largo de espiga + barbillas (cm)**

Los datos obtenidos para largo de espiga, largo espiga + barbilla se muestran en la figura 16, donde las medias estimadas para estas variables fueron 10.8 y 16.3cm para el largo

de espiga y largo espiga más barbillas respectivamente, dentro de las cuales hubo diferencia altamente significativa entre los genotipos.



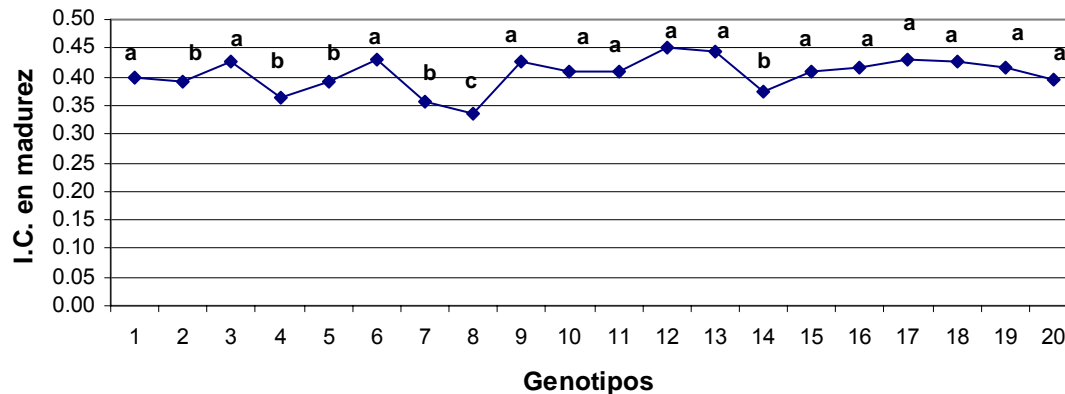
**Figura 16. Largo de espiga (cm) y largo de espiga + barbillas (cm) en cruizas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

La correlación obtenida con el rendimiento fue negativa en ambos casos, -15% para las espigas y -21% para las espigas + barbas, indicando con esto que a medida que aumenta el largo de estas variables el rendimiento disminuye.

El grupo de genotipos 5, 10, 16 y 19, es el que cuenta con espigas mas largas por lo tanto esto vera afectado su rendimiento, ocurriendo lo contrario con el grupo de genotipos 7, 17 y 18, ya que este grupo cuenta con espigas mas cortas que el resto, lo cual indica que el rendimiento se vera favorecido.

#### 4.1.10. Índice de cosecha en madurez

Los resultados obtenidos de esta variable se muestran en la figura 17. En esta variable los genotipos tienen estadísticamente diferencias significativas.



**Figura 17. Índice de cosecha en madurez en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

La media estimada obtenida en el índice de cosecha en madurez fue 0.40 y la correlación de esta variable con el rendimiento fue 49%, indicando que a medida que el índice de cosecha en madurez aumenta, el rendimiento también aumenta, lo cual concuerda con lo reportado por Syme (1996), donde encontró que el rendimiento estaba fuertemente relacionado al índice de cosecha.

En esta variable los genotipos 1, 3, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19 y 20, obtuvieron mejores índices de cosecha que el resto de los genotipos, por lo que se espera que obtengan un mejor rendimiento con respecto al resto de los genotipos. Mientras que el genotipo 8, fue el que obtuvo menor índice de cosecha por lo que su rendimiento puede verse afectado y ser el genotipo que obtenga menor rendimiento.

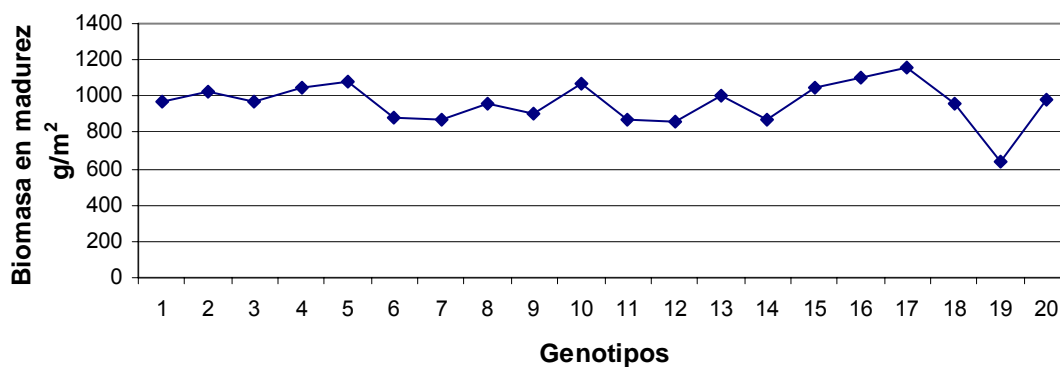
Hay evidencias de que el éxito del mejoramiento de variedades altamente productivas se ha debido en parte, a una selección destinada a obtener un índice de cosecha más alto, particularmente cuando los órganos reproductivos, tales como el del grano de trigo, son partes de la planta que poseen interés económico (Barriga, 1974).

Van Dobben (1962), Austin *et al.* (1980) y Waddington *et al.* (1986); citados por Mellado (2000), señalan que los aumentos de rendimiento, generalmente han mostrado una asociación positiva con IC. Esto sin una modificación pronunciada de producción de biomasa (Slafer and Andrade 1991, Feil 1992, Slafer *et al.* 1994).

Un punto de vista diferente es el de Karimi y Siddique (1991) quienes señalan que el aumento de rendimiento de los trigos modernos se ha logrado con una mayor tasa de crecimiento del cultivo, es decir, una mayor tasa de producción de materia seca por unidad de área.

#### 4.1.11. Biomasa en madurez

En esta variable no hay diferencias significativas entre los genotipos, y los resultados obtenidos se muestran en la figura 18. La media obtenida de los 20 genotipos es de 962.9 g/m<sup>2</sup>, obteniéndose una correlación con el rendimiento de 86%, por lo cual el rendimiento depende en gran porcentaje de esta variable.



**Figura 18. Biomasa en madurez en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

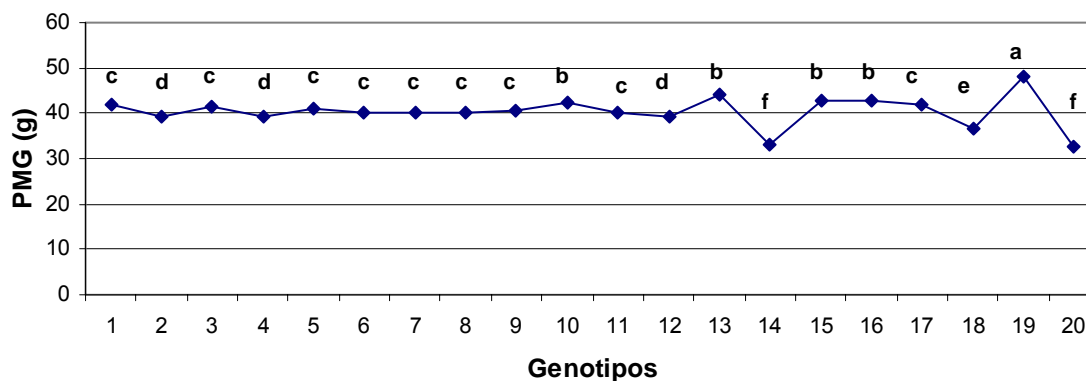
El genotipo 19 es el que se encuentra por debajo de los demás genotipos es por ello que se estima que su rendimiento se encontrara por debajo del resto de los genotipos, ocurriendo lo contrario con el genotipo 17, donde se espera haya un buen rendimiento, ya que según algunos autores para obtener un mayor rendimiento es necesario un aumento en la cantidad de biomasa total (Flitham *et al.*, 1997, Richards 1992), ya que según Gifford *et al.* (1984) la cantidad de grano esta determinada por la cantidad de biomasa lograda y la repartición de fotoasimilados a la producción de granos.

En la investigación realizada por Austin (1999) se encontró que en largo plazo, una producción genética substancial del grano se puede lograr produciendo cultivares con tasas de crecimiento mas rápidas y mayor biomasa en madurez.

En el estudio realizado por Villegas *et al.*, (2001) la sequía redujo la biomasa final cerca de 40%, lo que podría atribuirse a la disminución de la tarifa de crecimiento y a la duración del ciclo modificada levemente, implicando una reducción en el rendimiento.

#### 4.1.12. Peso de mil granos

En la variable de PMG los resultados se muestran en la figura 19, se obtuvo una media estimada de 40.4g. Hay diferencia significativa entre los genotipos, y la correlación positiva obtenida del PMG con el rendimiento obtenido fue de 4%, por lo cual esta influye en el aumento del rendimiento aunque en un porcentaje pequeño.



**Figura 19. Peso de mil granos en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

El genotipo 19 fue el que obtuvo mayor cantidad de PMG, por lo cual se espera que obtenga mejor rendimiento que el resto de los genotipos, y por el contrario los genotipos 14 y 20, con respecto al resto de los genotipos pueden obtener un rendimiento menor.

Kluge *et al.* 1996; Citado por Samli *et al.*, 2006), reportaron que un bajo peso de PMG estaba relacionado con un tamaño pequeño de grano y células más pequeñas del almidón, no obstante estuvo asociado a niveles más altos de los componentes de la pared

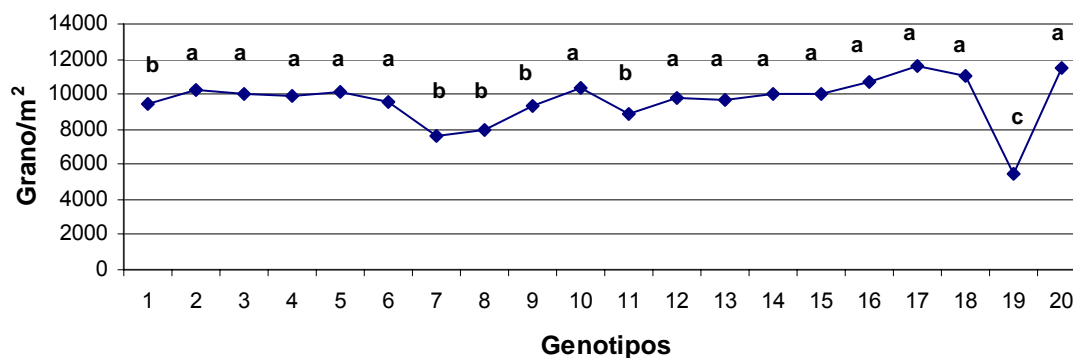


de célula. En base a lo anteriormente descrito, los genotipos 14 y 20, los cuales obtuvieron menor PMG, son los que se considera que tienen granos más pequeños a diferencia de los otros genotipos, siendo lo contrario para el genotipo 19 que es el que obtuvo mayor PMG y por lo tanto es muy probable que este sea el genotipo que cuenta con granos de mayor tamaño.

La reducción en la producción del grano por tensión de la sequía en fines de temporada es debido a la reducción en el período de llenado del grano y en etapa reproductiva, ocasionando tamaño pequeño del grano, reducción en fotosíntesis y más baja transferencia del material fotosintético en los granos (Wastegate, 1994; citado por Golabadi *et al.*, 2005), que es lo que les pudo haber ocurrido a los genotipos 14 y 20.

#### 4.1.13. Grano/m<sup>2</sup>

La media estimada para esta variable fue de 9661.1 granos/m<sup>2</sup>. En esta variable hubo diferencias significativas entre los genotipos, como se muestra en la figura 20.



**Figura 20. Grano/m<sup>2</sup> en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

La relación con el rendimiento es de 83%, por lo cual estas dos variables están muy relacionadas. Esto concuerda con varios autores que indican que los granos/m<sup>2</sup> es un componente importante del rendimiento (Slafer *et al.*, 1996). Por lo tanto en base a esto se puede predecir que el genotipo 19 obtendrá menor rendimiento, ya que obtuvo menor cantidad de granos/m<sup>2</sup>, y al contrario los genotipos 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 20, los cuales son estadísticamente iguales, obtuvieron mayor cantidad de

granos/m<sup>2</sup>, se espera obtengan un mejor rendimiento que el resto de los genotipos. Ya que según lo indicado por Millares (2000) el aumento del potencial de rendimiento logrado en trigo influye en granos/m<sup>2</sup>, lo cual coincide con Slafer and Andrade (1991), los cuales mencionan en su investigación que los cambios en la producción del grano fueron asociados sobre todo a los cambios en número de granos/m<sup>2</sup> más que por cambios en peso individual del grano.

El aumento de rendimiento en grano se considera una consecuencia de una reducida tasa de crecimiento del tallo durante el período de crecimiento activo de la espiga, permitiendo que se produzcan espigas más pesadas con más floretes fértiles (Zapata *et al.*, 2004).

Hochman (1982) encontró que los granos/m<sup>2</sup> disminuyen cuando el estrés hídrico ocurre durante la fase de rápido crecimiento de la espiga, que es el período comprendido entre la aparición de la penúltima hoja y 10 días después de anthesis (Slafer *et al.*, 1996). Lo cual indica que la razón de un bajo nivel de expresión de granos/m<sup>2</sup> parece encontrarse en la competencia que ocurre en el cultivo por los recursos limitados durante el período de crecimiento de la espiga.

#### 4.1.14. Tallo/m<sup>2</sup>

Los datos obtenidos de tallos/m<sup>2</sup> se muestran en la figura 21, de los cuales se obtuvo una media calculada de 297.7. En esta variable hubo diferencia significativa entre los genotipos.

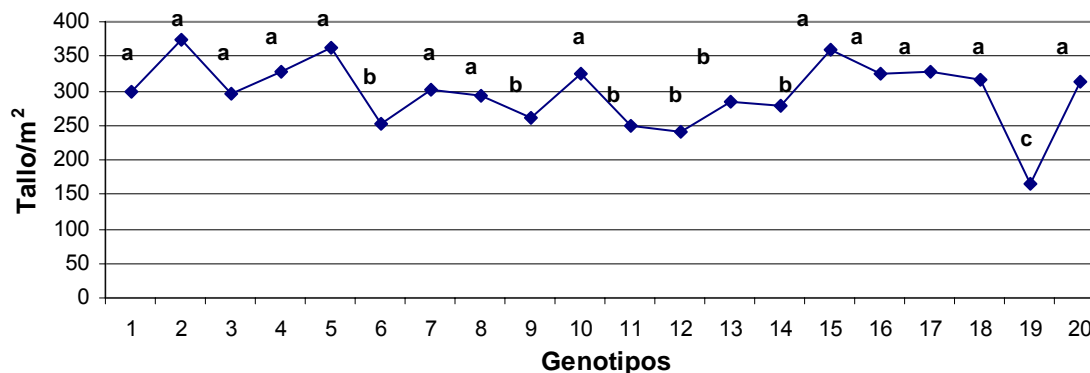


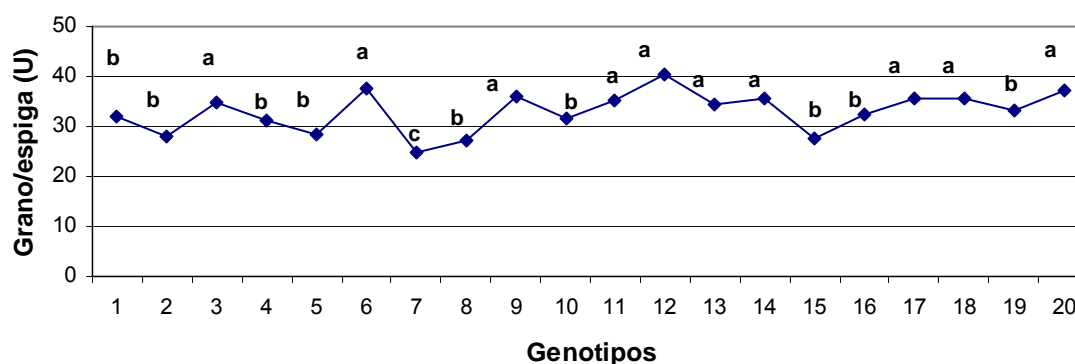
Figura 21. Tallo/m<sup>2</sup> en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de sequía

La correlación de esta variable con el rendimiento es de 62%, por lo que el aumento de esta variable implica el aumento de rendimiento. Debido a esto puede afectar al genotipo 19, debido a que la cantidad de tallos/m<sup>2</sup> obtenida fue menor al resto de los genotipos, ocurriendo lo contrario con los genotipos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 15, 16, 17, 18 y 20, los cuales se espera obtengan buenos rendimientos, ya que fueron los que mayor cantidad de tallos/m<sup>2</sup> obtuvieron. Esto se debe a que mientras mayor números de tallos, habrá mayor número de espigas y por lo tanto mayor rendimiento (Kuruvadi *et al.*, 1998).

#### 4.1.15. Grano/espiga

La relación de grano/espiga obtuvo en el proceso estadístico una media de 33 y con diferencias significativas entre los genotipos, como se muestra en la figura 22.

Los genotipos que obtuvieron mayor numero de grano/espiga fueron 3, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 18 y 20, por lo cual estos genotipos son los que se esperan obtengan mejores rendimientos, ocurriendo lo contrario para el genotipo 7, ya que este obtuvo menor cantidad de grano/espiga.



**Figura 22. Grano/espiga en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

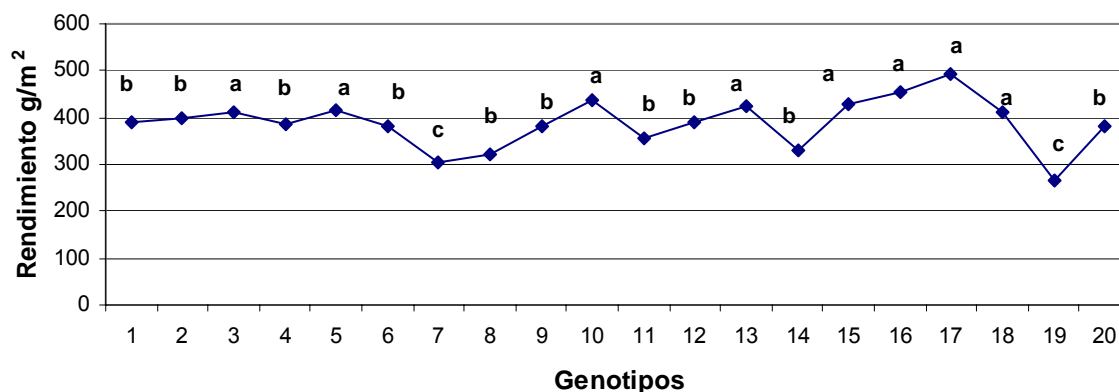
La correlación entre esta relación y el rendimiento es de 17%, por lo cual si esta relación aumenta, el rendimiento se ve beneficiado, ya que el número de grano es un componente de la producción que es independientes de otros componentes en los primeros tiempos del ontogénesis (Kraljevic-Balalic *et al.*, 1982; citado por Knezevic *et al.*, 2001).

Cuando los componentes del rendimiento han sufrido cambios en el rendimiento, esta variable es considerada un componente principal de rendimiento, y puede experimentar solamente el cambio pequeño y en algunos casos, declinar con la producción creciente (Siddique *et al.*, 1989a, b; Slafer and Andrade 1989; citados por Slafer *et al.*, 1996). Sin embargo, para que esto se de es necesario que otro de los componentes del rendimiento también se encuentre bajo.

Frederick and Camberato (1995) encontraron que el estrés bajo condiciones de sequía reduce el número de granos/espiga, lo cual se puede ver reflejado en el número de granos/m<sup>2</sup>, el cual esta fuertemente asociado con el rendimiento en grano de trigo (Frederick and Bauer, 1999). Por lo cual, el número de granos/espiga es el componente de rendimiento mas afectado y se ha propuesto como un criterio de selección importante para a tolerancia a la sequía (Shpiler & Blue, 1986, 1991).

#### 4.1.16. Rendimiento (g/m<sup>2</sup>)

El rendimiento obtenido de cada uno de los genotipos se muestra en la figura 23, mostrando diferencias significativas. La media estimada para el rendimiento es 387.8g/m<sup>2</sup>.



**Figura 23. Rendimiento (g/m<sup>2</sup>) en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de sequía**

Los mejores rendimientos obtenidos en esta siembra fueron los genotipos 3, 5, 10, 13, 15, 16, 17 y 18, lo que indica que este grupo de genotipos obtuvieron buenos resultados en

el resto de las variables, ya que el elevado rendimiento de cualquier planta es resultado de la positiva relación de todos los componentes del rendimiento (Hussain *et al.*, 2005). Es por ello que los genotipos 7 y 19 obtuvieron menor rendimiento que el resto de los genotipos, ya que no hubo una buena relación con alguno de los componentes que influyen en el rendimiento.

Por ejemplo el genotipo 17 se encontró expuesto a la temperatura media de la siembra, obtuvo en los principales componentes de rendimiento buenos resultados, encontrándose dentro de los mejores en contenido de biomasa, contenido de espigas/m<sup>2</sup>, PMG, y cantidad de granos/m<sup>2</sup>, es por ello que estuvo dentro de los mejores rendimientos. Por otro lado, el genotipo 19, se encontró expuesto a temperatura mas alta que el resto de los genotipos, y en los principales componentes del rendimiento fue el genotipo que se encontró generalmente por debajo de los demás obteniendo menores cantidades, es por ello que obtuvo uno de los mas bajos rendimientos, como se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Comportamiento de los principales componentes de rendimiento en los mayores y menores rendimientos obtenidos en la siembra de sequía.**

Genotipo	Rendimiento g/m <sup>2</sup>	Biomasa	Espiga/m <sup>2</sup>	PMG (g)	Grano/m <sup>2</sup>
17	492.8 a	1154	329.3 b	41.9 c	11556 a
16	455 a	1101	371.7 b	42.7 b	10691 a
10	435.3 a	1068.5	333.7 b	42.4 b	10327 a
15	429.3 a	1050.5	393.1 a	43 b	10036 a
13	425.8 a	999.5	330.9 b	44.2 b	9659 a
5	414 a	1082	289.3 c	41.2 c	10151 a
3	411.2 a	967	348.1 b	41.4 c	10049 a
<b>7</b>	<b>305.7 c</b>	<b>870.5</b>	<b>315.8 b</b>	<b>40.3 c</b>	<b>7577 b</b>
<b>19</b>	<b>264.9 c</b>	<b>639.5</b>	<b>237.6 c</b>	<b>48.2 a</b>	<b>5429 c</b>

\* a,b,c diferencias significativas.

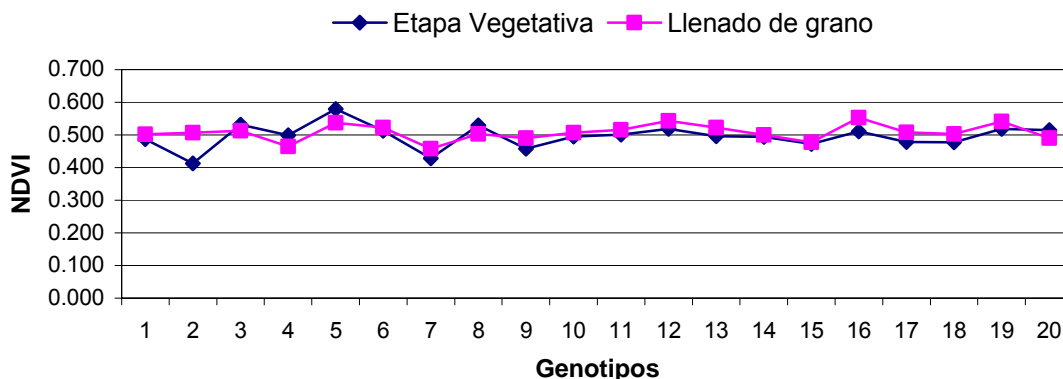
## 4.2 Resultados correspondientes a la siembra de calor

### 4.2.1. Índice normalizado de diferencia vegetativa

El índice normalizado de diferencia vegetativa, nos indica el estado de la planta. Esta medida es útil para medir el progreso del follaje. En la figura 24, se muestra como se mantuvo el follaje de la planta en las etapas vegetativa y llenado de grano en esta siembra, en las cuales no hubo diferencia significativa en ninguna de las dos etapas.

En la etapa vegetativa se mantuvo una media de NDVI de 0.496, esto debido a que la planta estaba en su etapa de crecimiento, mientras que en llenado de grano alcanzó una media de 0.508, indicando que en promedio la planta mantuvo un buen follaje manteniéndose en condiciones favorables.

El genotipo que obtuvo mejor promedio de NDVI en etapa vegetativa fue el genotipo 5, mientras que el genotipo 2 fue el que obtuvo menor promedio, aunque con un promedio estadísticamente igual al genotipo 5. Mientras que en la etapa de llenado de grano el mejor promedio fue el obtenido por el genotipo 16 y el 7 el menor, aunque los promedios son estadísticamente iguales.



**Figura 24. Índice normalizado de diferencia vegetativa en etapa vegetativa y llenado de grano en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

El NDVI fue medido ya que detectar diferencias sutiles en cubierta en pabellones escasos, además de que constituye un índice sensible del crecimiento en etapas tempranas de la

cosecha o bajo condiciones de tensión (Bellairs *et al.*, 1996; Gallo *et al.*, 1985; Peñuelas *et al.*, 1997; citado por Aparicio *et al.*, 2000).

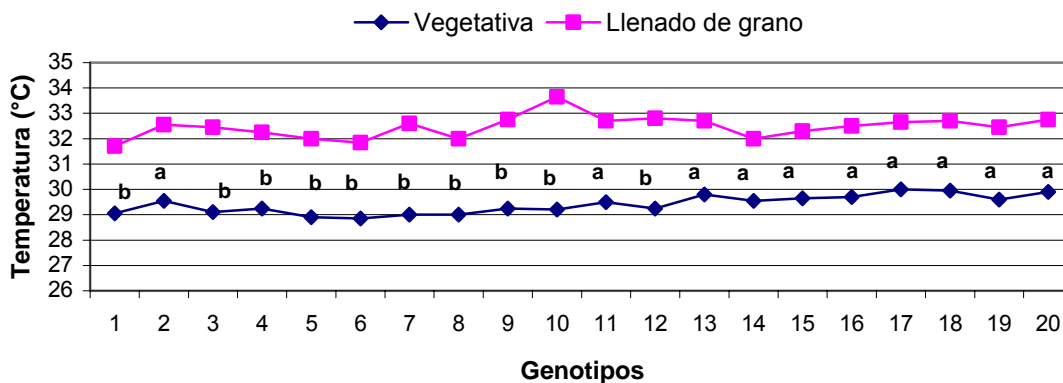
De acuerdo a los resultados obtenidos se puede predecir la producción de la cosecha por ecuaciones empíricas de la regresión, según lo planteado por Serrano *et al.*, (2000), utilizando el índice de área de la hoja o la fracción fotosintética activa interceptada de la radiación activa, que alternadamente se utilizan como datos de entrada en el crecimiento de cosecha y los modelos agrometeorológicos. Además de poderlos relacionar con la cantidad de biomasa verde, ya que según Shanahan *et al.*, (2001), indican que la base para la relación de NDVI y la biomasa, se relaciona con la cantidad de radiación fotosintética activa absorbida. Muchos estudios en trigo han relacionado esto entre la biomasa total en la producción de la cosecha y de grano (Green, 1987; Rudorff and Batista, 1990; citados por Serrano *et al.*, 2000).

#### **4.2.2. Temperatura**

La respuesta de las plantas ante el efecto de la temperatura ambiental es un proceso complejo que envuelve la interacción de muchos factores limitantes del crecimiento, es por ello que es una de las variables mas importantes que debe tomarse en cuenta durante el desarrollo de la planta.

Esta variable en la etapa vegetativa, los genotipos no obtuvieron diferencias significativas entre ellos, mientras que en la etapa de llenado de grano si hubo diferencias significativas entre los genotipos, como se muestra en la figura 25.

La media obtenida en la etapa vegetativa fue de 29.4 y de 32.5°C en llenado de grano. En la etapa de llenado de grano los genotipos mas expuestos a las altas temperaturas fueron los genotipos 2, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20, por lo tanto son los mas susceptibles a obtener menores rendimientos que el resto de los genotipos; ya que la tensión de calor es un constreñimiento importante de la producción de trigo que afecta muchas actividades biológicas de la planta (Ibrahim and Quick, 2001), como el deterioro de la biosíntesis de clorofila (Kumar and Charan, 1998).



**Figura 25. Temperatura en etapa vegetativa y llenado de grano en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

En la etapa de llenado de grano las elevadas temperaturas pueden provocar variación en el número de espiguillas, lo cual puede verse reflejado en el rendimiento (Halse and Weir, 2005); aunque el trigo es vulnerable a la temperatura alta durante la mayoría de las etapas reproductivas (Gibson and Paulsen, 1999).

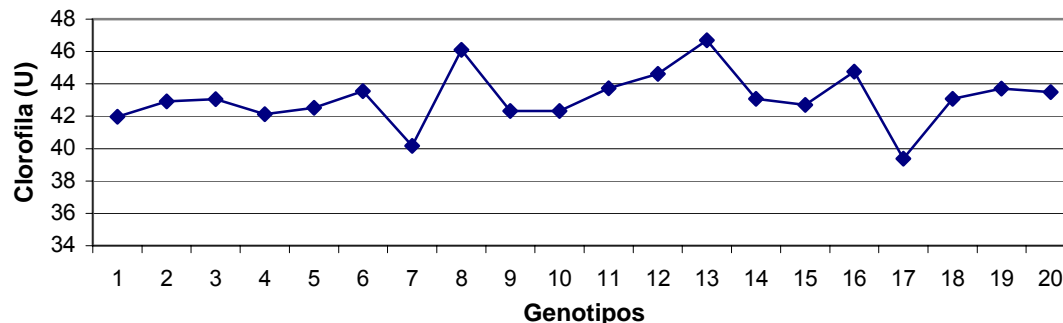
La duración del llenado de grano en los cereales es determinada principalmente por la temperatura (Sofield *et al.*, 1977; Slafer and Rawson, 1994; Wheeler *et al.*, 1996b; citados por Ferris *et al.*, 1998). En trigo, las altas temperaturas (>31 °C) después de la anthesis puede disminuir el rango de llenado de grano (Al-Khatib and Paulsen, 1984; Randall and Moss, 1990; Stone *et al.*, 1995; Wardlaw and Moncur 1995; citado por Ferris *et al.*, 1998), mientras que las temperaturas altas impuestas antes de anthesis puede también disminuir la producción (Wardlaw *et al.*, 1989; Tashiro and Wardlaw, 1990; Hunt *et al.*, 1991; citado por Ferris *et al.*, 1998), es por ello que esta siembra no es muy afectada por esta variable ya que la medias mantenidas fueron menores a 31 en la etapa vegetativa, mientras que en la de llenado de grano solo se vio ligeramente mayor a 31.

La tendencia lineal de la relación entre la temperatura y el rango de crecimiento de la planta o desarrollo significa que la media de temperatura es un buen predictor, siempre y cuando siga habiendo una temperatura mínima sobre la temperatura baja. El efecto de la temperatura depende en que época de desarrollo de la planta actúa (Lookwood, *et al.*, 2000).



### 4.2.3. Clorofila

Los datos obtenidos en la medición de clorofila se muestran en la figura 26. No hubo diferencia significativa entre los genotipos, por lo cual los genotipos se encontraron en condiciones similares.



**Figura 26. Clorofila en etapa de llenado de grano en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

La media en llenado de grano fue de 43.1 unidades de clorofila, lo que indica que las plantas estuvieron en buenas condiciones y que no hubo limitación de nitrógeno, ya que esta variable indica si hay deficiencia de nitrógeno en las plantas (Peñuelas *et al.*, 1994), pudiendo así ajustar los índices de la fertilización con N, para alcanzar producciones mas altas (Martínez y Guamet, 2004).

Vidal *et al.*, (1999) indican que debajo de 32 unidades de SPAD indican deficiencia de N en la fertilización de trigo. En contraste con el uso de los valores fijos de SPAD para determinar el estado de N en cosechas, otros trabajos se han concentrado en establecer los índices del desahogo de N (es decir, el cociente medio de lecturas de SPAD probado en el campo contra lecturas de SPAD de una referencia fuertemente-fertilizada) (Martínez y Guamet, 2004).

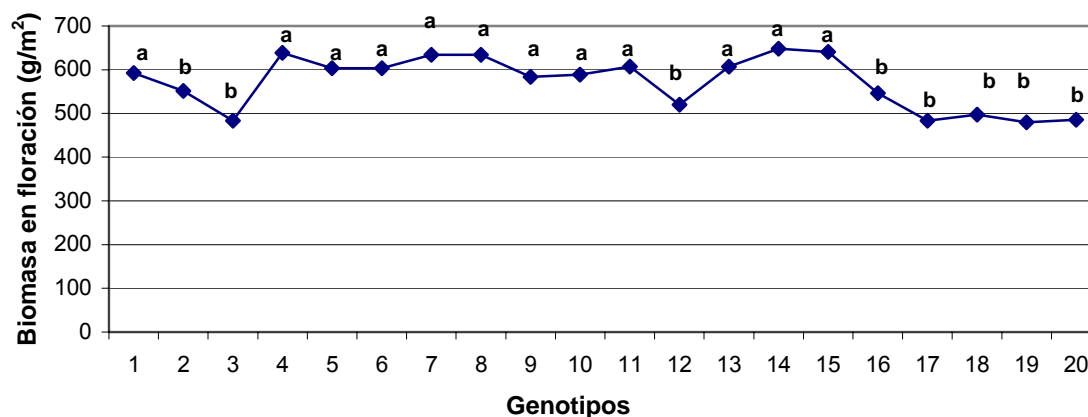
La clorofila juega un papel muy importante en el aparato fotosintético de los organismos fototróficos, y se ha concluido que los cambios en el contenido de clorofila se correlacionan con los cambios en intensidad de agua (Ferus and Arkosiová, 2001), es por

ello que es importante conocer el contenido de clorofila, ya que así se conocerá las condiciones en las que se encontró la planta durante su desarrollo.

#### 4.2.4. Biomasa en floración

Los datos obtenidos de los 20 genotipos en biomasa de floración se muestran en la figura 27, mostrando diferencia significativa entre los genotipos. En esta variable se obtuvo una media de 572 g/m<sup>2</sup>.

Esta variable está correlacionada con el rendimiento en un 57% lo que indica que a medida que aumente el valor de biomasa se esperará un mayor rendimiento, debido a que la biomasa se traduce como mayor contenido de tallos, lo cual provoca mayor cantidad de espigas y estas a su vez indican mayor cantidad de granos, y por lo tanto un mayor rendimiento.

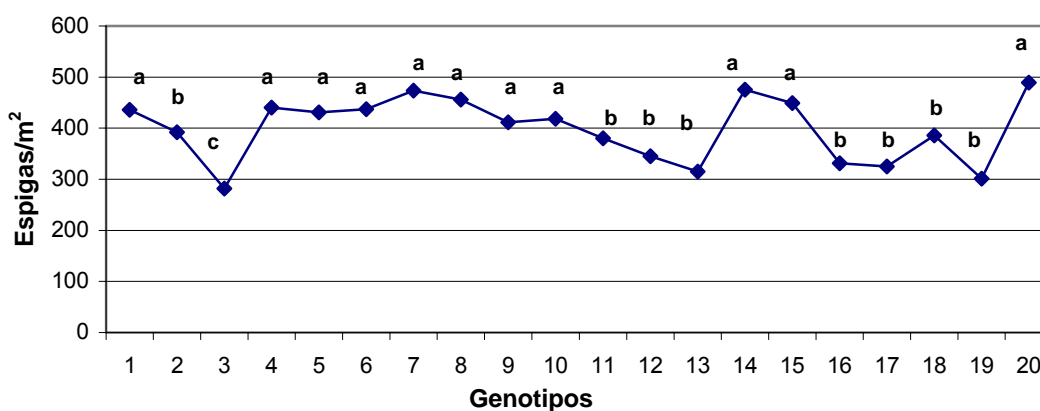


**Figura 27. Biomasa en floración en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

Los genotipos que obtuvieron mayor biomasa en la etapa de floración son 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14 y 15, los cuales se espera obtengan mejores rendimientos que el resto de los genotipos; ya que una buena producción de biomasa determina la eficiencia del genotipo en la utilización de agua, luz y nutrientes para la producción de grano (Kuruvadi *et al.*, 1998), por lo cual el rendimiento se verá favorecido.

#### 4.2.5. Espiga/m<sup>2</sup>

En esta variable hubo diferencia significativa entre los genotipos, como se muestra en la figura 28. La media fue de 399 espigas/m<sup>2</sup>, con una correlación de 45% con el rendimiento, lo que significa que a medida que esta variable aumente el rendimiento también aumentará, lo cual se debe a que a mayor cantidad de espigas, mayor será la cantidad de granos y por lo tanto habrá un mayor rendimiento.



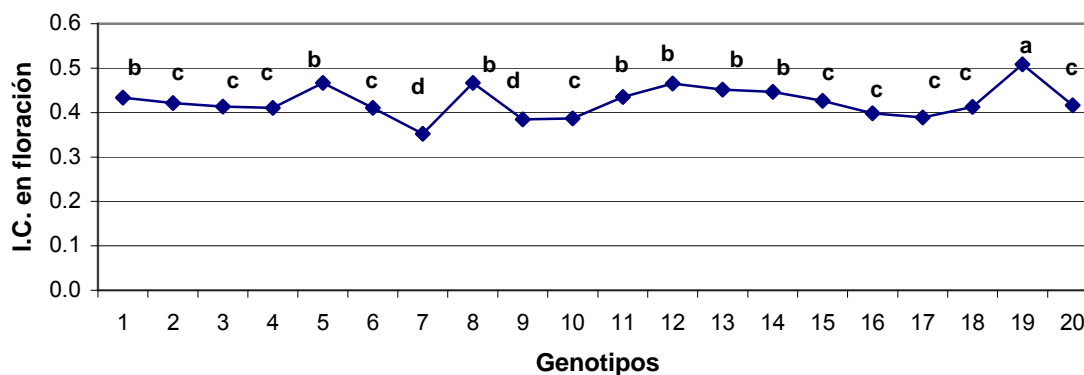
**Figura 28. Espigas/m<sup>2</sup> en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

Los genotipos que obtuvieron mayor cantidad de espigas fueron 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15 y 20, mientras que el genotipo que se encontró por debajo del resto fue el genotipo 3 ya que fue el que menor cantidad de espigas obtuvo, y por lo tanto el que se espera que obtenga un menor rendimiento, esto debido a que el número de espigas por unidad de superficie está fuertemente correlacionado con el rendimiento, señalándose este componente como el más importante en la determinación de la producción (García del Moral *et al.*, 1991; Mellado, 2003).

El número final de espigas, influyen en el número de tallos producidos y la proporción que estos dan lugar a espiga. Lo cual depende fundamentalmente de las características genotípicas, densidad de siembra y aporte de nutrientes (Kochlann *et al.*, 1990).

#### 4.2.6. Índice de cosecha en floración

El índice de cosecha en floración obtenido de cada uno de los genotipos se muestra en la figura 29, donde se muestra diferencia significativa entre los genotipos. La media de I.C. en floración es de 0.42.



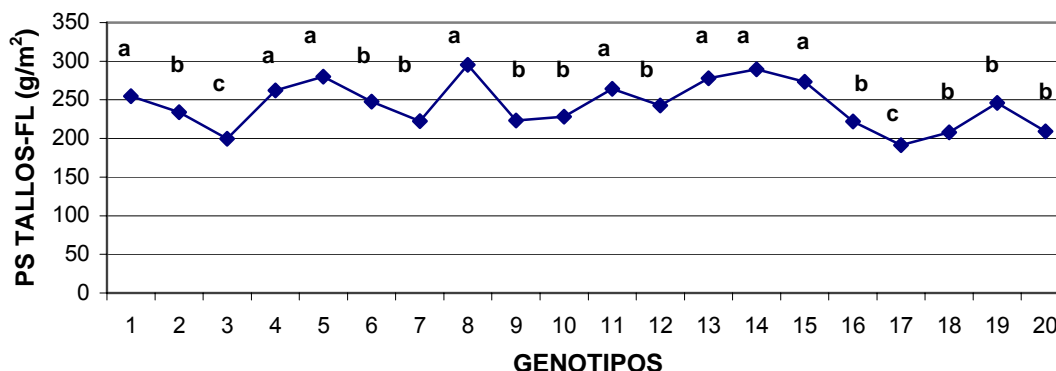
**Figura 29. Índice de cosecha en floración en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

El genotipo que obtuvo mayor índice de cosecha fue el genotipo 19 mientras que los que obtuvieron menor índice de cosecha fueron los genotipos 7 y 9, por lo que se espera que los que cuentan con mayor índice de cosecha obtengan menores rendimientos que el resto de los genotipos, ya que el rendimiento está relacionado negativamente con esta variable en floración 24%, debido a que en vez de asignarse los fotosintatos a la parte de interés (granos), se sigue produciendo follaje.

Hay (1995) concluye en su investigación que aun cuando en las cosechas de los principales cereales se acerque al límite superior de índice de cosecha, los futuros aumentos en rendimiento de grano tendrán que ser buscados por una producción creciente de biomasa; sin embargo, todavía habrá la necesidad del concepto de índice de cosecha como una herramienta para interpretar la respuesta de la cosecha a diferentes ambientes y cambios climáticos.

#### 4.2.7. Peso seco de tallos en floración ( $\text{g/m}^2$ )

Los resultados obtenidos de esta variable se muestran en la figura 30, en la cual se puede observar que hay diferencia significativa entre los genotipos, con una media de  $244 \text{ g/m}^2$ .



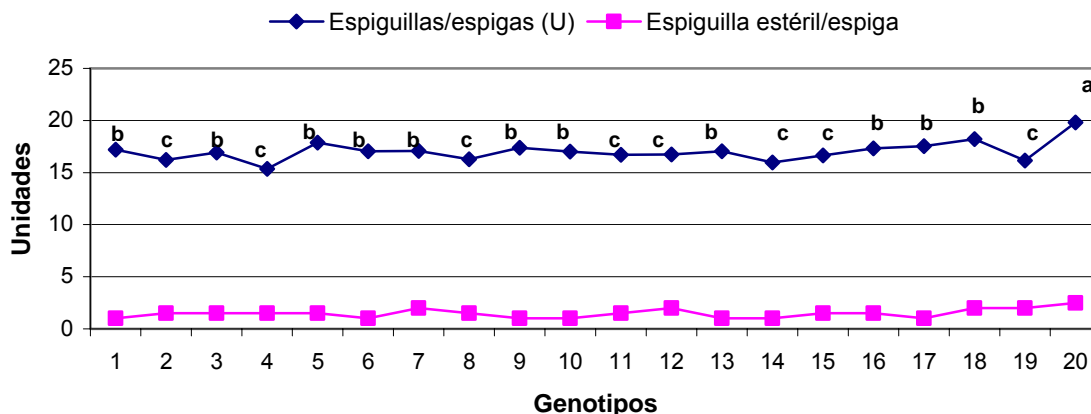
**Figura 30. Peso seco de tallos en floración ( $\text{g/m}^2$ ) en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

Los genotipos que obtuvieron mayor cantidad de PS en tallos fueron 1, 4, 5, 8, 11, 13, 14 y 15, mientras los que obtuvieron menor cantidad fueron 3 y 17. Es por ello, que los genotipos que obtuvieron mayor cantidad en PS de tallos en floración son los que pueden obtener mejores rendimientos que el resto de los genotipos, ya que esta variable está correlacionada positivamente un 37% con el rendimiento, lo que significa que a medida que aumente esta variable, el rendimiento aumentará también, debido a la distribución de fotosintatos.

#### 4.2.8. Espiguillas/espiga y espiguillas estériles/espiga

Los datos obtenidos de estas variables se muestran en la figura 31, en la cual se observa diferencia significativa solo en espiguillas/espigas.

La media estimada de espiguillas/espiga (U) obtenidas fueron 17.03 y las espiguillas estériles por espiga (U) fue de 1.48, la diferencia estadística entre los genotipos es altamente significativa para espiguillas/espiga, mientras que en espiguilla estéril/espiga no hubo diferencia significativa entre los genotipos.



**Figura 31. Espiguillas/espiga y espiguillas estériles/espiga en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

El genotipo 20 fue el que obtuvo mayor cantidad de espiguillas/espiga, por lo cual se espera que el rendimiento de este genotipo se encuentre dentro de los mejores, mientras que el grupo de genotipos 2, 4, 8, 11, 12, 14, 15 y 19, obtuvieron menor cantidad de espiguillas/espiga, por lo cual esto puede implicar un menor rendimiento, con respecto al resto de los genotipos.

Para la expresión de alto rendimiento en trigo, más de 18 espiguillas/espiga es deseable (Borojevic, 1972; citado por Knezevic *et al.*, 2001). El número de espiguillas por espiga tiene influencia sobre el rendimiento. Por lo que en esta siembra la cantidad de espiguillas/espiga fue 17, por lo que indica un buen rendimiento de los genotipos, ya que es un valor aproximado.

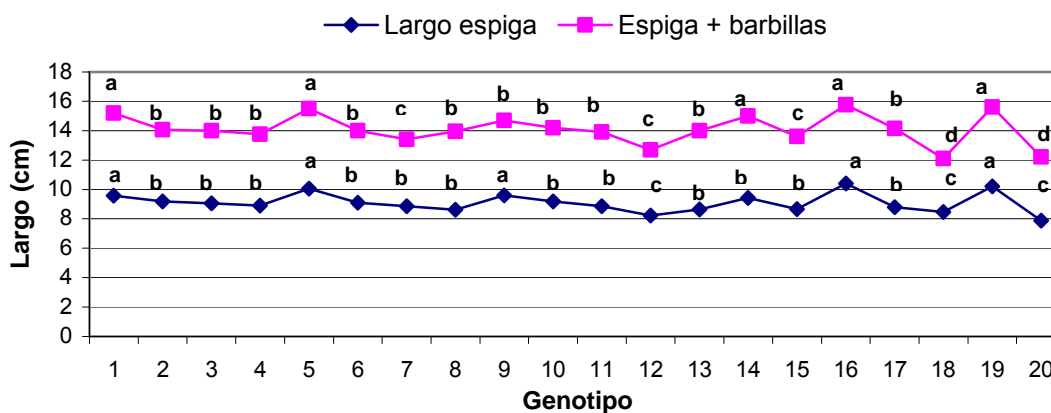
En cuanto al aumento de espiguillas estériles, este se debe a una asimilación pobre, desplazamiento reducido de fotosintatos al grano y pérdidas de respiración más altas (Denčić, 2000). En esta siembra la cantidad de espiguillas estériles fue mínima, por lo que se considera que hubo un buen desplazamiento de fotosintatos a los granos.

#### 4.2.9. Largo de espiga (cm) y largo de espiga + barbillas (cm)

Los datos obtenidos para largo de espiga, largo espiga + barbilla se muestran en la figura 32, donde las medias estimadas para estas variables fueron 9.08 y 14.1cm para el largo de espiga y largo espiga más barbillas respectivamente, dentro de las cuales hubo diferencia altamente significativa entre los genotipos.

La correlación obtenida con el rendimiento fue negativa en ambos casos, -42% para las espigas y -23% para las espigas + barbas, indicando con esto que a medida que aumenta el largo de estas variables el rendimiento disminuye.

El grupo de genotipos 1, 5, 9, 16 y 19, son los que cuentan con espigas mas largas y los genotipos 12, 18 y 20 son los que cuentan con las mas cortas, indicando que los que cuentan con las espigas mas cortas son los que se espera obtengan mejores rendimientos que los que cuentan con espigas largas.

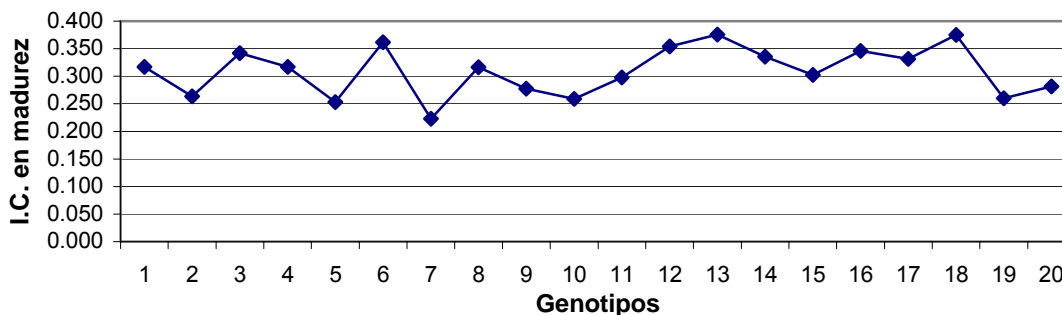


**Figura 32. Largo de espiga (cm) y largo de espiga + barbillas (cm) en cruizas de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

El grupo de genotipos 1, 5, 14, 16 y 19, es el que cuenta con espigas+ barbillas mas largas por lo tanto esto vera afectado su rendimiento, ocurriendo lo contrario con el grupo de genotipos 18 y 20, ya que este grupo cuenta con espigas+barbillas mas cortas que el resto, lo cual indica que el rendimiento se vera favorecido.

#### 4.2.10. Índice de cosecha en madurez

Los resultados obtenidos en esta variable se muestran en figura 33. No hubo diferencia significativa entre los genotipos.



**Figura 33. Índice de cosecha en madurez en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

La media obtenida en esta variable fue de 0.31. El genotipo que obtuvo el mayor valor en esta variable aunque estadísticamente igual que los demás fue el genotipo 13 y el menor fue el genotipo 7.

Esta variable está correlacionada positiva con respecto al rendimiento un 34%, por lo que a medida que el índice de cosecha en madurez aumenta el rendimiento también aumentará; lo cual se debe a la distribución de los fotosintatos, ya que estos se están designando a la parte de interés, que en este caso es el grano, lo que ocurrió de manera similar en otros estudios donde se demuestra generalmente que los aumentos en la producción potencial del grano estaban ligados a los aumentos en el índice de la cosecha (Bloom, 1989; Austin, Bingham, Blackwell, Evans, Ford, Morgan and Taylor, 1980; citados por Metho and Hammes 1999), como lo mencionado por Van den Boogaard *et al.*, (1996) quienes señalan que si el índice de la cosecha no se disminuye, una producción más alta de la biomasa conducirá indirectamente a una producción más alta del grano.

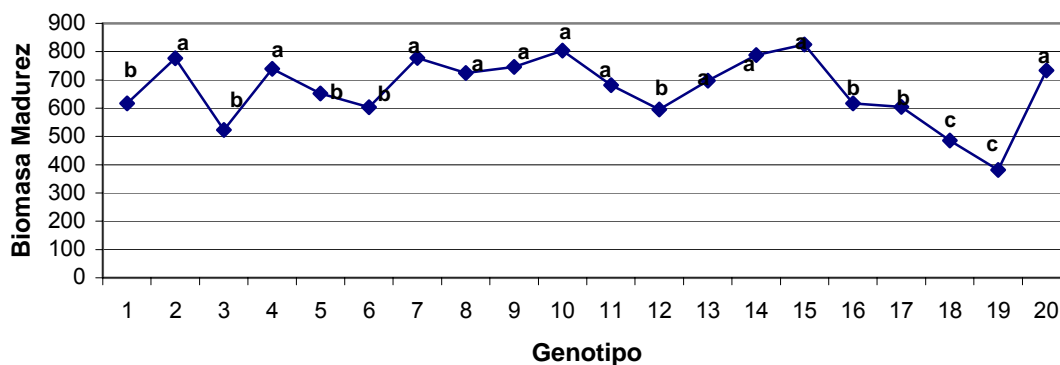
Gibson y Paulsen (1999) según los resultados que obtuvieron en su investigación, sugieren el índice de cosecha como herramienta de investigación para el desarrollo de



genotipos calor-tolerantes, especialmente adentro los grandes llanos, donde están generalmente ideales para el crecimiento vegetativo del trigo pero son a menudo demasiado calientes las condiciones para el desarrollo y el crecimiento óptimos del grano. Ya que esta variable esta correlacionada con la producción bajo condiciones de altas temperaturas.

#### 4.2.11. Biomasa en madurez

Los resultados obtenidos en esta variable se muestran en la figura 34, los cuales son estadísticamente diferentes. Se obtuvo una media de 669 g/m<sup>2</sup> y una correlación con el rendimiento de 75%, lo que significa que ha medida que esta variable aumenta el rendimiento también aumenta.



**Figura 34. Biomasa en madurez en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

Los genotipos que obtuvieron mayor cantidad de biomasa fueron el 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15 y 20, y los que menor cantidad de biomasa obtuvieron fueron los genotipos 18 y 19, por lo cual se espera que estos obtengan menores rendimientos que el resto de los genotipos, ya que aumentando la biomasa total se lograra aumentar el rendimiento.

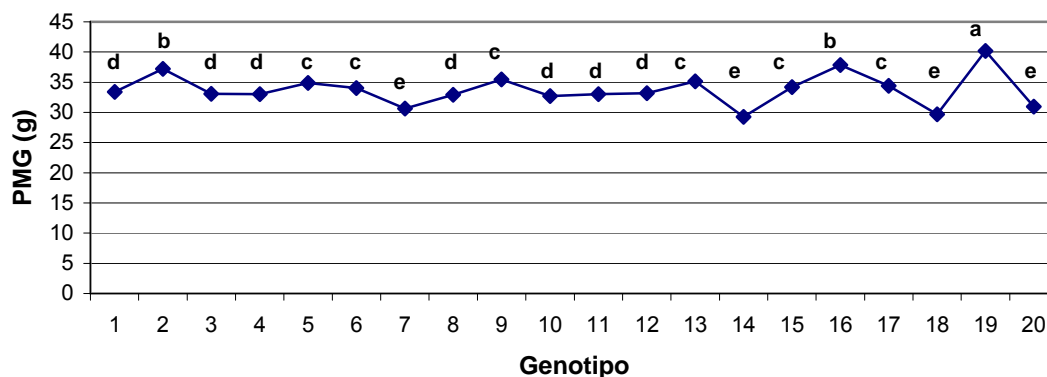
La relación entre biomasa total y producción de grano ha sido demostrada en algunos estudios. En general y en ausencia de limitaciones para el cultivo, a mayor biomasa mayor rendimiento (Baker y Gebeyehou 1982, Ramos *et al.*, 1985, García de Moral *et al.*, 1987, Rudorff and Batista 1990).

Resultados similares se han obtenido por Boukerrou y Ramusson (1990), proponiendo selección de genotipos capaces de desarrollar una abundante cubierta vegetal. Es por ello que esta variable esta muy relacionada con el rendimiento.

En estudios realizados se ha encontrado una fuerte relación entre el rendimiento en grano y la biomasa en antesis o durante el llenado de grano (Tanno *et al.*, 1985; Turner, 1997; citados por Villegas *et al.*, 2001), por lo que aumentos en la producción potencial puede ser alcanzado en gran parte desarrollando cultivares con mayor biomasa.

#### 4.2.12. Peso de mil granos

Los datos obtenidos en el peso de mil granos se muestran en la figura 35. En esta variable hay diferencia significativa entre los genotipos.



**Figura 35. Peso de mil granos en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

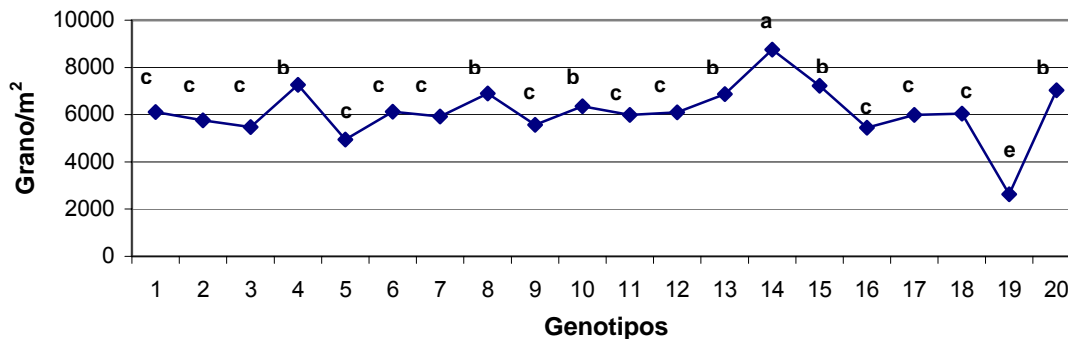
La media de esta variable fue de 33.8 g. El genotipo que obtuvo un mayor peso de granos fue el genotipo 19, mientras que los genotipos que pesaron menos fueron 8, 14, 18 y 20; por lo que mientras mas pesan los granos significa que los granos son mas grandes y por lo tanto se espera serán menos granos/m<sup>2</sup> y por consiguiente menor rendimiento.

El peso de grano, definido durante el período de llenado, depende fundamentalmente, de la cantidad de asimilados disponibles para ser transportados hacia la espiga durante su

formación. La actividad fotosintética durante el llenado de grano y las reservas acumuladas durante el periodo de pre-antesis contribuyen, en distinta medida, a la formación de grano (Hay y Walker, 1989), así como del genotipo y condiciones ambientales (Golik *et al.*, 2005). Aun cuando los granos/m<sup>2</sup> son los más ligados al rendimiento, el peso de grano puede afectar la cosecha (Golik *et al.*, 2005)

#### 4.2.13. Grano/m<sup>2</sup>

Los resultados obtenidos de esta variable se muestran en la figura 36, los cuales tienen diferencia significativa entre los genotipos.



**Figura 36. Grano/m<sup>2</sup> en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

La media fue de 6127 granos/m<sup>2</sup>. La correlación con el rendimiento fue de 93% por lo que está altamente relacionado con el rendimiento, ya que mientras mayor sea la cantidad de granos será mayor el rendimiento.

El genotipo 14 fue el que obtuvo una mayor cantidad de granos, mientras que el genotipo 19 fue el que obtuvo una menor cantidad que el resto de los genotipos; por lo cual el rendimiento del genotipo 14 será el mejor y por consiguiente el 19 el que obtenga el más bajo rendimiento, ya que el número de granos/m<sup>2</sup> es uno de los componentes del rendimiento determinantes del rendimiento potencial (Acevedo *et al.*, s.a.).

El número de granos/m<sup>2</sup> tuvo gran incidencia en el rendimiento obtenido y fue el principal causante de la disminución del rendimiento. Oosterhuis y Cartwright (1983), señalan que

los mayores efectos del estrés hídrico en el rendimiento en grano en trigo usualmente están asociados con una reducción en el número de granos.

La producción de granos en trigo corresponde aproximadamente a un 10% del potencial de granos del cultivo. La razón de este bajo nivel de expresión parece encontrarse en la competencia que ocurre en el cultivo por recursos limitados durante el período de crecimiento de la espiga. Los principales factores medioambientales que determinan el número de granos por  $m^2$  bajo condiciones de crecimiento potencial en trigo son la radiación solar y la temperatura, factores que juntos forman el cociente fototérmico (PTQ) (Fischer, 1985). Se ha encontrado una asociación positiva entre el cociente fototérmico, calculado para el período de crecimiento de la espiga (desde 30 días antes a 10 días después de antesis), y el número de granos por  $m^2$ . De esta manera, el rendimiento de los genotipos se maximiza con altos valores de PTQ durante el período de crecimiento de la espiga (Dhillon y Ortiz-Monasterio, 1993; Abbate *et al.*, 1994).

#### 4.2.14. Tallo/ $m^2$

Los datos obtenidos para esta variable se muestran en la grafica 37, los cuales obtuvieron diferencia significativa entre los genotipos, y de los cuales se obtuvo una media de 310 tallos/ $m^2$ .

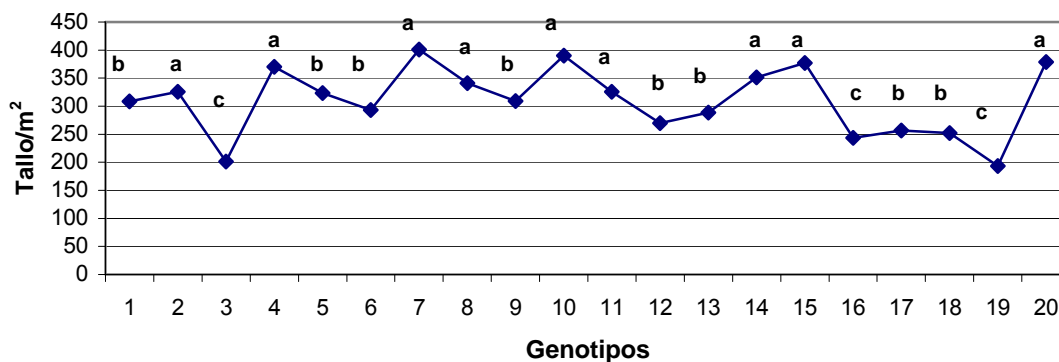


Figura 37. Tallo/ $m^2$  en cruza de plantas de trigo bajo condiciones de calor

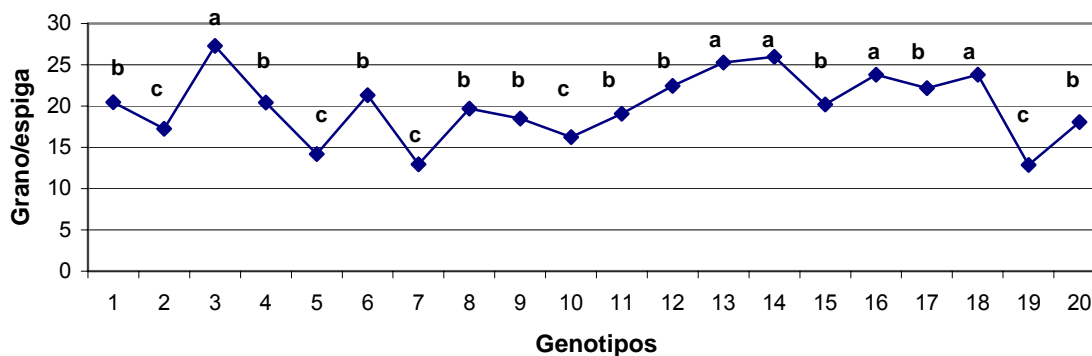
Esta variable esta correlacionada positivamente (58%) con el rendimiento, por lo que a medida que la cantidad de tallos aumente se espera mayor cantidad de espigas y por lo tanto una mayor cantidad de granos, lo cual se vera reflejado en el rendimiento.

El número de tallos producidos es el resultado de la competición por un suministro de asimilados dentro de la planta y por la intercepción de la luz dentro del cultivo (De la Morena *et al.*, 1986).

#### 4.2.15. Grano/espiga

Las cantidades de grano/espiga obtenidas se muestran en la figura 38, en los cuales hay diferencias significativas entre los genotipos. La media obtenida fue de 20.09 granos/espiga.

Esta variable esta correlacionada positivamente 47%, por lo que a medida que aumente el rendimiento también aumentara.



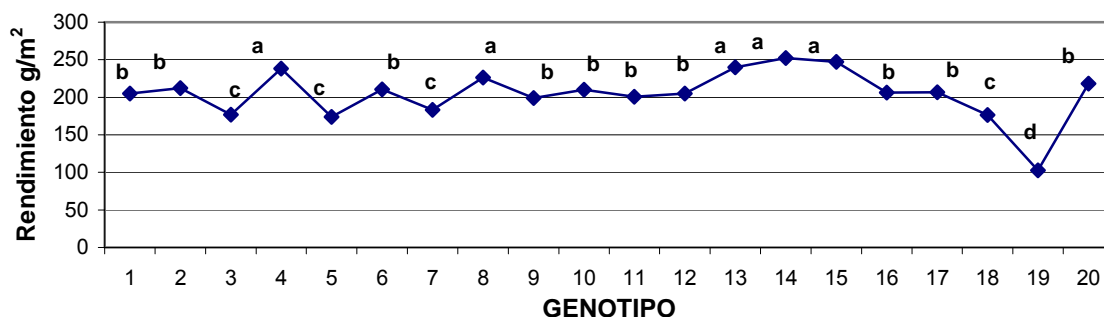
**Figura 38. Grano/espiga en cruzas de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

La disminución del número de granos por espiga relacionada con fallos en la polinización es debida, fundamentalmente, a incidencia de condiciones ambientales desfavorables durante la antesis. Hay y Walter (1989) han indicado que la magnitud de estas pérdidas suele ser pequeña y en la mayoría de casos despreciable.

En estudios de campo, tanto Fischer (1985) como Abbate *et al.* (1994); citados por Zapata *et al.*, (2004) asociaron un mayor número de granos con un aumento en el peso seco de la espiga por unidad de área ( $\text{g m}^{-2}$ ) a antesis, debido a una mayor proporción del peso seco del cultivo en las espigas. El peso seco de las espigas depende principalmente de la radiación interceptada, que controla la tasa de crecimiento de las espigas, y de la temperatura, que controla la duración del período del crecimiento de las espigas.

#### 4.2.16. Rendimiento ( $\text{g/m}^2$ )

Los resultados obtenidos en el rendimiento se muestran en la figura 39, en la cual se observa que hay diferencias significativas entre los genotipos. La media obtenida fue de  $205 \text{ g/m}^2$ .



**Figura 39. Rendimiento ( $\text{g/m}^2$ ) en cruces de plantas de trigo bajo condiciones de calor**

El aumento de rendimiento en grano se considera una consecuencia de una reducida tasa de crecimiento del tallo durante el período de crecimiento activo de la espiga, permitiendo que se produzcan espigas más pesadas con más floretes fértiles (Youssefian *et al.*, 1992; Flinham *et al.*, 1997; citados por Zapata, *et al.*, 2004).

Gibson and Paulsen (1999) mencionan que en estudios anteriores del comportamiento del crecimiento de la planta de trigo, que el bajo rendimiento fue atribuido a un bajo peso de grano y levemente a un bajo número de grano, sin embargo en este estudio se obtuvo resultados contrarios.

Los mejores rendimientos obtenidos en esta siembra se deben a buenos resultados en sus principales componentes, ya que el elevado rendimiento de cualquier planta es resultado de la positiva relación de todos los componentes del rendimiento (Hussain *et al.*, 2005).

Por ejemplo el genotipo 14, obtuvo en los principales componentes de rendimiento buenos resultados, encontrándose dentro de los mejores en contenido de biomasa, contenido de espigas/m<sup>2</sup>, PMG, y cantidad de granos/m<sup>2</sup>, es por ello que estuvo dentro de los mejores rendimientos. Por otro lado, el genotipo 19, se encontró expuesto a temperatura mas alta que el resto de los genotipos, y en los principales componentes del rendimiento fue el genotipo que se encontró generalmente por debajo de los demás obteniendo menores cantidades, es por ello que obtuvo el mas bajo rendimiento, como se muestra en el cuadro 2.

**Cuadro 2. Comportamiento de los principales componentes de rendimiento en los mayores y menores rendimientos obtenidos en la siembra de calor.**

<b>Genotipo</b>	<b>Rendimiento g/m<sup>2</sup></b>		<b>Biomasa</b>		<b>Espiga/m<sup>2</sup></b>		<b>PMG (g)</b>		<b>Grano/m<sup>2</sup></b>	
14	252	a	788	a	475	a	29.3	e	8748	a
15	247	a	826	a	449	a	34.2	c	7227	b
13	240	a	698	a	315	b	35.1	c	6874	b
4	238	a	739	a	440	a	33	d	7268	b
8	226	a	724	a	456	a	32.9	d	6896	b
<b>19</b>	<b>103</b>	<b>d</b>	<b>382</b>	<b>b</b>	<b>301</b>	<b>b</b>	<b>70.2</b>	<b>a</b>	<b>2634</b>	<b>e</b>

\*a,b,c,d,e diferencias significativas entre los genotipos

---

---

## V. CONCLUSIÓN

Un incremento en cualquiera de los principales componentes de rendimiento, determina un aumento de este, siempre y cuando no haya una disminución correspondiente en el resto, como se pudo observar en los resultados obtenidos; sin embargo, existen otras características agronómicas que pueden influir directamente sobre el rendimiento, o indirectamente a través de su efecto sobre los componentes.

En la siembra de sequía los genotipos que obtuvieron mejores rendimientos fueron 3, 5, 10, 13, 15, 16, 17 y 18, mientras que en la de calor los mejores rendimientos fueron 4, 8, 13, 14, y 15. Por el contrario los que obtuvieron menores rendimientos en la siembra de sequía fueron 7 y 19, mientras que en la de calor el genotipo que quedó por debajo del resto fue el 19. El resto de los genotipos mantuvieron un buen rendimiento.

En esta investigación se pudo observar que las características deseables agronómicas, están mantenidas dentro de la descendencia, y más de la mitad de los genotipos son prometedores.



---

---

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P.E., F.H. Andrade, y J.P. Culot. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico N° 133. 17 p. Instituto Nacional de Tecnología Agraria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Almeida Milton Luiz de, Luis Sangoi, Aldo Merotto Jr., Antonio Carlos Alves, Itamar Cristiano Nava, Armando Cristiano Knopp. 2004. Tiller emission and dry mass accumulation of wheat cultivars under stress. **Sci. Agric.** 61(3):266-270.
- Aparicio Nieves, Dolores Villegas, Jaume Casadeus, José Luis Araus, and Conxita Royo. 2000. Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. **Agron. J.** 92:83-91.
- Araus, J.L., T Amaro, Y. Zuhair and M. Nachit. 1997. Effect of leaf structure and water status on carbon isotope discrimination in field grown-durum wheat. **Plant Cell and Environ.**, 20: 1484-1494.
- Austin R.B., 1999. Yield of wheat in the United Kingdom: recent advances and prospects. **Crop. Sci.** 39:1604-1610.
- Baker, R.J. y G. Gebeyehou. 1982. Comparative growth analysis of two spring wheats and one spring barley. **Crop Sci.** 22:1225-1229.
- Barriga B. Patricio. 1974. Índice de cosecha en trigo de primavera. **Agro sur.** 2(1):17-20.
- Bidwell, R.G.S. 1990. Fisiología Vegetal. AGT Editor. México, D.F. Pp. 125.
- Blue, E.N., S.C. Mason and D.H. Sander. 1990. Influence of planting date, seeding rate, and phosphorus rate on wheat yield. **Agronomy Journal.** 82(4):762-768.

- Boukerrou L y D.D. Rasmusson. 1990. Breeding for high biomass yield in spring barley. **Crop. Sci.** 30:31-35.
- Calderini, D., M. Reynolds. 2000. Changes in grain weight as consequence of degrading treatments at pre and post-anthesis in synthetic hexaploid lines of wheat (*Triticum durum* x *T. tauschii*). **Aust. J. Plant Physiology**. (In press).
- Chávez, M., J. Maroco, J. Pereira. 2003. Understanding plant responses to drought from gene to whole plant. **Functional Plant Biology**. 30:239-264.
- Crofts, F.C., D.L. Jackson, P.M. Martin y J.W. Patrick. 1971. Los vegetales y sus cosechas. Editorial AEDOS, Barcelona, España. 137-143.
- Daughtry C,S.T., C.L. Walthall, M.S. Kim, E. Brown de Colstoun and J.E. McMurtrey III. 2000. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. EL SERVIER. **Remote Sens. Environ**, 74:229-239.
- De la morena I, JM Ramos y LF García del Moral. 1986. Análisis del crecimiento y de la producción de grano en cultivos de cebada bajo las condiciones ambientales de la provincia de Granada, II. Evolución y supervivencia de los tallos hijos. **Anales de edafología y agrobiología** 779-796.
- Denčić S., R. Kastori, B. Kobiljski & B. Duggan. 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. **Euphytica** 113: 43-52.
- Devlin M.R. 1982. Fisiología Vegetal. Editorial Omega, México, D.F. 353-362-451.
- Dhillon, S.S. and J.I., Ortiz-monasterio. 1993. Effect of date of sowing on the yield and yield components of spring wheat and their relationship with solar radiation and temperature at Ludhiana, Punjab, India. México, D.F. CIMMYT. Wheat Special Report N° 23a.

- Dubai Sándor, István Molnár, Judit Prónay, Mariann Marschall, Ágota Csernák, Réka Tarnai, Mértá Molnár-Láng. 2005. Effects of drought on thermal stability of photosynthetic apparatus in bread wheat and in *Aegilops* species originating from various habitats. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Hungarian congress on plant physiology and the 6<sup>th</sup> Hungarian conference on photosynthesis. Acta biological Szegediensis. 49(1-2):215-217.
- Earl, H.J. and M. Tollenaar. 1997. Maize leaf absorbance of photosynthetically active radiation and its estimation using a chlorophyll meter. **Crop Sci.**, 37: 436-440.
- Farquhar, G.D., S.C. Wong, J.R. Evans and K.T. Hubick. 1989. Photosynthesis and gas exchange. In: Plants Under Stress, Jones, H.G., Flowers, T.J. and Jones, M.B. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, pp. 47-69.
- Feil, B., 1992: Breeding progress in small cereals: comparison of old and modern cultivars. **Plant Breeding**, 108: 1-11.
- Ferris Rachel, R.H. Ellis, T.R. Wheeler and P. Hadley. 1998. Effect of high temperature stress at anthesis on grain yield and biomass of field-grown wheat. **Annals of botany** 82:631-639.
- Ferus P and M. Arkosiová. 2001. Variability of chlorophyll under fluctuating environment. Acta fytotechnia et zootechnica. Proceedings of the Internacional Scientific Conference on the Occasion of the 55th Anniversary of the Slovak Agricultural. (4):123-125.
- Fischer, R.A. 1985. Physiological limitation to producing wheat in semitropical and tropical environments and possible selection criteria. pp. 209-230. In: Proceeding of the International Symposium. Wheats for More Tropical Environments. México. D.F.
- Flintham, J.E., A. Börner, A.J. Worland, and M.D. Gale. 1997. Optimizing wheat grain yield: effects of *Rht* (gibberellin-insensitive) dwarfing genes. **J. Agric. Sci.**, 128: 11-25.

- Frederick, J.R., and P.J. Bauer. 1999. Physiological and numerical components of wheat yield. In E.H. Satorre and G.A. Slafer (ed.) *Wheat-Ecology and physiology of yield determination*. Food Products Press, New York, NY. p. 45-84.
- Frederick, J.R. and J.J. Camberato. 1995. Water and nitrogen effects on winter wheat in the southeastern Coastal Plain: I. Grain yield and kernel traits. **Agron. J.**, 87:521-526.
- García del Moral LF, JM Ramos, MB García del Moral y MP Jiménez-Tejada. 1991. Ontogenic approach to grain production in spring barely base don Path-coeficient análisis. **Crop Sci**, 31:1179-1185.
- \_\_\_\_\_, I. de la Morena y JM Ramos. 1987. Biomasa, duración del área foliar y proporción grano/hoja en la relación con la cosecha y sus componentes en cebada. **Agricultura mediterránea** 117:163-170.
- Geleto T, DG Tanner, T Mamo, G. Gebeyehu. 1995. Response of rain fed bread and durum wheat to source level and timing of nitrogen fertilizer on two Ethiopian vertisole S. I. yield and yield components. **Comm in Soil Sci and Plant Analysis**, 26:1773-1794.
- Gent MPN y RK Kiyomoto. 1989. Assimilation and distribution of photosynthate in winter wheat cultivars differing in harvest index. **Crop. Sci.**, 29:120-125.
- Gibson L.R. and G.M. Paulsen. 1999. Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. **Crop. Sci.**, 39:1841-1846.
- Gifford, R. M., J. H. Thorne, W. D. Hitz, and R. T. Giaquinta. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. **Science** 225, 801-808.
- Golabadi M, A. Arzani and S.M.M. Maibody. 2005. Evaluation of variation among durum wheat f3 families for grain yield and its components under normal and water-stress field conditions. Czech J. Genet. Plant breed. (especial issue). Proc 5th Internacional triticeae symposium, prague. 41:263-267.

- Golik Silvina I., Hugo O. Chidichimo and Santiago J. Sarandón. 2005. Biomass production, nitrogen accumulation and yield in wheat under two tillage systems and nitrogen supply in the argentine rolling pampa. **World journal of agricultural sciences** 1(1): 36-41.
- González I. F. J. 1991. Trigo. Un estudio global. Editorial año dos mil, S.A. **Revista Agro-Síntesis**, 22(11).
- Guerrero, A. 1992. Cultivos herbáceos extensivos. Ediciones Mundi-Prensa. 5ª Edición. Madrid, España. Pp. 405.
- Halse NJ and RN Weir. 2005. Effects of temperature on spikelet number of wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**. 25(5) 687-695.
- Hay R.K.M. 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of applied biology*. 126(1): 197-216.
- \_\_\_\_\_ y AJ Walter. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Logman Scientific cultivars. **Aust J. Agric. Res.**, 42:13-20.
- Hernández D.J. 2002. Factores ambientales que originan estrés en plantas. In: Benavides, M.A. *Ecofisiología y bioquímica del estrés de plantas*. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila.
- Hochman, Z. 1982. Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi – arid environment. **Field Crops Research**, 5: 55 - 67.
- Hoel Bernt Olav. 2003. Chlorophyll Meter Readings in Winter Wheat: Cultivar Differences and Prediction of Grain Protein Content. Taylor & Francis. *Plant soil science*. 52(4):147-157.
- \_\_\_\_\_ and Knut Asbjorn Solhaug. 1993. Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-50 chlorophyll meter. **Annals of botany**, 82:389-392.

- Howthorn. 1983. "Fundamentos de la Ciencia de los Alimentos" Editorial Acribia. Zaragoza España.
- Hussain Iqtidar, Muhammad Ayyaz Khan, and Ejaz Ahmad Khan. 2005. Bread wheat varieties as influenced by different nitrogen levels. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.*, 7(1):70-78.
- Ibrahim Amir M. y James S.Quick. 2001. Heritability of heat tolerance in winter and spring wheat. **Crop. Science**, 41: 1401-1405.
- \_\_\_\_\_. and James S. Quick. 2001. Genetic control of high temperature tolerance in wheat as measured by membrane thermal stability. **Crop Science**, 41:1405-1407.
- Keeling P.L., P.J. Bacon and D.C. Holt. 1993. Elevated temperature reduces starch deposition in wheat endosperm by reducing the activity of soluble starch synthase. Springerlink, **Planta**, 191(3):342-348.
- Knezevic Desimir, Veselinka Zecevic, Nevena Djukic, Dusan Uroservic, Milanko Pavlovic, Danica Micanovic, Vesna Uroservic, Miroslav Kubrovic, and Srdjan Jordacijevic. 2001. Harvest index and yield components in 12 yugoslav winter wheat cultivars. Annual wheat newsletter. ITEMS from Yugoslavia. Instituto of agricultural research "Serbia"47:312-315.
- Kochlann CH, AC Baier and S. Wientholer. 1990. Harvest index, yield components and nitrogen content in triticale, wheat and rye. En Proc 2<sup>nd</sup> Int Triticale Symp. Passo Fundo, 71-73.
- Krishnan M., Henry T. Nguyen, and John J. Burke. 1989. Heat shock protein synthesis and thermal tolerance in wheat. **Plant physiol.** 90:140-145.
- Kumar Tewari Arun and Baishnab Charan Tripahy. 1998. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. **Plant Physiol.**, 117: 851-858.

- Kuruvadi, S., J.J. Velasco , L.M.G. Vázquez, A.L. Benitez. 1998. Comparación de rendimiento económico, biológico e índice de cosecha en trigo (*Triticum aestivum* L.). **Agraria UAAAN**. 14(1): 1-12.
- Lambers H., F Chapins, T Pons. 1998. Advances in drought tolerance in plants. **Adv. Agron**, 56: 187-218.
- Lookwood P.V., D.A. MacLeod, A. Cass and A.F.C. Regar. 2000. Suppression of wheat early growth in standing stubble. SpringerLink, **Sciences of soils**, 5:2.
- Martínez Dana E. y Juan J, Guiamet. 2004. Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status. **Agronomie**, 24:41-46.
- Mellado Z. Mario. 2003. Comparison of two French wheat cultivars sown in Chile. SCIELO **Chile. Agric. Tec.**, 63(4):361-367.
- \_\_\_\_\_. 2000. Genetic improvement in bread wheats (*Triticum aestivum* L.) in the South central area of Chile. II. Analisis of grain yield and related variables in spring varieties. **Agric. Téc.**, 60(1):32-42.
- Metho, L.A. and P.S. Hammes. 1999. The harvest index of individual ears of four South African wheat (*Triricum aestivum* L.) cultivars. **S. Afr. J. Plant soil.**, (in press).
- Miralles Daniel J. 2004. Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de trigo. Información técnica de trigo. Campaña 2004. Publicación Miscelánea N° 101. [http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/misc101/trigo2004\\_n1.pdf](http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/misc101/trigo2004_n1.pdf)  
Recuperado 10 Junio 2006.
- Mitchell RAC, VJ Mitchell, SP Driscoll, J Franklin, D Lawlor. 1993. Effects of increased CO2 concentration and temperature on growth and yield of winter wheat at two levels of nitrogen application. **Plant, Cell and Environment**, 16: 521-529.

- Okuyama Lauro Akio, Luiz Carlos Federizzi, José Fernández Barbosa Neto. 2004. Correlation and path analysis of yield and its components and plant traits in wheat. Scielo Brazil. **Cienc, Rural.**,34(6): 1701-1708.
- Oosterhuis, D y P. Cartwright. 1983. Spike differentiation and floret survival in semidwarf spring wheat as affected by water stress and photoperiod. **Crop Science**, 23:711 – 717.
- Peñuelas, J., J.A. Gamon, A. Freeden, J. Merino, and C. Field. 1994. Reflectance indices associated with physiological changes in N- and water-limited sunflower leaves. **Remote Sens. Environ.**, 46:100–118.
- Ramos J.M., L.F. García del Moral y L. Reacalde. 1985. Vegetative growth of winter barley in relation to environmental conditions of grain yield. **J. agric. Sci. Camb.**, 104:413-419.
- Ras V. and R. Flur. 1993. Ethylene Signal Is Transduced via Protein Phosphorylation Events in Plants. **The plant cell.**, 5(5):523-530.
- Reygosa M., N. Pedrol, A. Sánchez-Moreiras. 2003. La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis. Thomson Editores. Madrid, España. 1141-1142.
- Reynolds M.P., A Mujeeb-Kazi and M. Sawkins. 2005. Prospects for utilising plant-adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought- and salinity-prone environments. **Annals of applied biology.**, 146: 239-259.
- \_\_\_\_\_, Menz, Hays and Wasiska. 2004. Linking QTL's for heat tolerance in wheat to physiological and molecular function in improved adaptation to high temperatures. Texas A&M RF. 1-17.
- \_\_\_\_\_, S. Rajaram, K. Sayre. 1999. Physiological and genetic of irrigated wheat in the post-green revolution period and approaches for meeting projected global demand. **Crop Science.**, 39: 1611-1621.



- Richards, R.A. 1992. The effect of dwarfing genes in spring wheat in dry environments. I. Agronomic characteristics. **Aust. J. Agric. Res.**, 43: 517-527.
- Robles S.F. 1983. Producción de granos y forrajes. Editorial LIMUSA. Cuarta edición. México, D.F. 194-208.
- Rojas G.M. y M. Rovalo. 1985. Fisiología Vegetal Aplicada. Editorial Mc Graw-Hill, México, D.F. 211-214,243.
- \_\_\_\_\_ y R. H. Ramírez. 1987. Control hormonal del desarrollo de las plantas Editorial LIMUSA, México, D.F. 23,30.
- Ruddorff, B.F.T., and G.T. Batista. 1990. Spectral response of wheat and its relationship to agronomic variables in tropical region. **Remote Sens. Environ.**, 31:53-63.
- Saadalla, M.M., J.F. Sanan, and J.S. Quick. 1990. Heat tolerance in winter wheat. I. Hardening and genetic effects on membrane thermstability. **Crop Sci.**, 30:1243-1247.
- Samli H. Ersin, Nizamettin Senkoylu, M. Levent Ozduven and Aylin Agma. 2006. An in vitro assessment of nutritional and physical characteristics of wheat varieties obtained from thrance and Aegean regions for poultry. **Pakistan journal of nutrition**, 5(1):83-85.
- Sánchez-Díaz M., J. Aguirreola. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Editorial McGraw Hill. Madrid, España. 31-44.
- Scade. 1975. "Cereales".Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Schächtl J., G. Huber, F.X. Maidl, E. Sticksel, J. Schultz and P.Haschberger. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence measurements for detecting the nitrogen status of wheat (*Triticum aestivum L.*) canopies. Springer link. **Precision agriculture**, 6(2):143-156.

- Schöffl F, Prändl R, Reindl A. 1998. Regulation of the heat-shock response. **Plant Physiology**, 117:1135-1141.
- Serrano Lydia, Ionanda Feilla, and Joseph Peñuelas. 2000. Remote Sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. **Crop sciences**, 40: 723-731.
- Shaaban Mahmoud M., Mostafa A. El-Nabarawy and El-Zanaty A.A. Abou El-Nour. 2002. Evaluation of Magnesium and Iron Nutritional Status in Some Monocot and Dicot Crop Plants Using a Portable Chlorophyll Meter. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, 5(10): 1014-1016.
- Shanahan John F., James S. Schepers, Dennis D. Francis. Gary E. Varvel, Wallace W. Wilhelm, James M. Tringe, Mike R. Schlemmer, and David J. Major. 2001. Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. **Agronomy journal** (93): 583–589.
- \_\_\_\_\_, I.B. Edwards, J.S. Quick, and R. J. Fenwick. 1990. Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. **Crop Sci.**, 30:247-251.
- Sharma R.C. 1993. Selection for biomass yield in wheat. Springerlink. **Euphytica**, 70:1-2.
- Shpiler, L. & A. Blum. 1991. Heat tolerance to yield and its components in different wheat cultivars. **Euphytica**, 51: 257–263.
- \_\_\_\_\_. & A. Blum. 1986. Differential relations of wheat cultivars to hot environments. **Euphytica**, 35: 483–492.
- Sinclair Thomas R. 1998. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. **Crop. Sci.**, 38: 638-643.
- Slafer, G., D. Calderini y D. Miralles. 1996. Yield components and compensation in wheat: opportunities for further increasing yield potential p. 101–133. *In* REYNOLDS, M.,

Rajaram, S Y NcNab, A. Eds. Increasing yield potencial in wheat: breaking the barriers. Mexico, D.F. CIMMYT.

\_\_\_\_\_, E. H. Satorre, and F. H. Andrade. 1994. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: G. A. Slafer (ed.). Genetic Improvement of Field Crops, 1-68. Marcel Dekker Inc., New York

\_\_\_\_\_ and F. H. Andrade. 1991: Changes in physiological attributes of the dry matter economy of bread wheat (*Triticum aestivum*) through genetic improvement of grain yield potential at different regions of the world. **Euphytica**, 58: 37-49.

Steward F.C. 1991. Plant physiology: Growth and development, Academia Press, inc., U.S.A., P. 297.

Syme J.R. 1996. A high-yielding Mexican semi-dwarf wheat and the relationship of yield to harvest index and other varietal characteristics. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, 10(44):350 – 353.

Terrazas, U.F. de J. 1995. Evaluación de thiourea como compensador de frío para incrementar el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum*) en las variedades de Bacanora T88, Oasis F86 y Opata M86 en el ciclo otoño invierno. Tesis Ingeniero Agrónomo Administrador, ITSON, Cd. Obregón, Sonora, México.

Torres Netto Alena, Eliemar Campostrini, Jurandi Gonçalves de Oliveira. 2002. Portable Chlorophyll Meter for the Quantification of Photosynthetic Pigments, Nitrogen and the Possible Use for Assessment of the Photochemical Process in *Carica papaya* L. **Journal Plant Physiol.**, 4(3): 203-210.

Van den Boogaard R., E.J. Veneklaas E.J. and Lambers H. 1996. The association of biomass allocation with growth and water use efficiency of two *Triticum aestivum* cultivars. **Australian journal of plant physiology** 23:751-761.

- Vega Urbano A, Juan A. Vega. 1990. Comportamiento de genotipos de trigo y triticale en diferentes pisos altitudinales de Venezuela. **Rev. Fac. Agron. (Maracay)**, 16: 13-26.
- Vidal I., Longeri L., Hétier J.M., Nitrogen uptake and chlorophyll meter measurements in spring wheat, **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, 55:1-6.
- Villegas D., N. Aparicio, R. Blanco and C. Royo. 2001. Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under mediterranean conditions. **Annals of botany**, 88:617-627.
- Wheeler TR, GR Batts RH Ellis, P Hadley , JIL Morison. 1996. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) crops in response to CO<sub>2</sub> and temperature. **Journal of Agricultural Science, Cambridge**, 127: 37-48.
- Yadav R.S., C.T. Hash, F.R. Bidinger, G.P. Cavan, C.J. Hoearth. 2002. Quantitative trait loci associated with traits determining grain and stover yield in pearl millet under terminal drought-stress conditions. Springer Link, **Biomedical and life sciences**, 104 (1): 67-83.
- Yin, X. and M. J. Kropff. 1996. The effect of temperature on leaf appearance in rice. **Ann. Bot.**, 77:215-221.
- Zapata T. Cristian, Paola Silva C. y Edmundo Acevedo H. 2004. Grain yield and assimilate partitioning in wheat isogenic plant height lines. **Agricultura técnica (Chile)**, 64(2):139-155.