

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Características Agronómicas y Morfológicas Relacionadas con el Rendimiento en Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) en Ambientes Subóptimos.

Por:

**ARNOLD JOSUÉ JARQUÍN DÍAZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre de 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Características Agronómicas y Morfológicas Relacionadas con el  
Rendimiento en Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) en Ambientes  
Subóptimos.

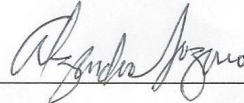
Por:

**ARNOLD JOSUÉ JARQUÍN DÍAZ**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOTECNISTA**

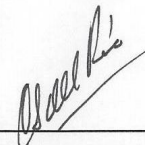
Aprobada





Dr. Eloy Alejandro Lozano Cavazos  
Asesor Principal



Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos  
Coasesor



Dr. Alejandro Javier Lozano del Río  
Coasesor



Dr. José Duéñez Alanís  
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México.  
Noviembre de 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios Nuestro Señor**

Primeramente a él por darme el privilegio de la vida y de tener a los mejores padres de este mundo, una hermosa familia, amigos maravillosos. A tí mi Dios, gracias.

### **A mi “Alma Terra Mater”**

Por formarme como profesionista y hacer de mí una persona preparada para afrontar con mejores herramientas la vida.

**Al Dr. Alejandro Javier Lozano del Río.** Por brindarme parte de su valioso tiempo y darme la oportunidad de integrarme a este proyecto. Por su apoyo, sugerencias y conocimientos que compartió, lo cual fue fundamental para culminar este trabajo.

**Al Dr. Eloy Alejandro Lozano Cavazos.** Por brindarme parte de su valioso tiempo y formar parte fundamental de este proyecto

**Al Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos.** Por brindarme parte de su valioso tiempo y formar parte fundamental de este proyecto

**Al Ing. Erasmo Acosta Guerrero,** por brindarme su amistad y apoyo.

**Al MVZ. Rodolfo Peralta Diaz** Por brindarme siempre parte de su valioso tiempo para compartirme su conocimiento. Gracias por siempre estar ahí.

## DEDICATORIA

**A mis padres, Sr. Demetrio Jarquín Olivera, Sra Leticia Díaz Altamirano**

Por todo el inmenso amor brindado en estos 25 años de vida y ser los vigías de todos mis pasos, hacer de mí un hombre de bien y luchar porque yo no abandonara mis sueños por quitarse el bocado de la boca para que a mí nada me faltara. Porque sin ustedes este sueño nunca se hubiera realizado; son lo más grande que tengo en esta vida.

**A mi Hija, Frida Natalia Jarquín Nava.** Por ser el motor de mi vida y por quien quiero ser mejor ser humano.

**A mis hermanos, Jonathan Halit Jarquín Díaz, Williams Jarquín Peralta, Mayabel Montserrat Jarquín Díaz.** A quienes quiero, respeto y admiro mucho.

**A mi abuela, Sra Oliva Altamirano Vásquez.** Tu afecto y tu cariño fueron y serán los detonantes de mi felicidad, porque gracias a ti descubrí que en esta vida nada es imposible; de tu mano aprendí a encontrarle el lado dulce y no amargo de la vida. Siempre serás el motivo más grande para nunca rendirme.

**A mi abuela, Sra Juana Olivera Cortés.** Por ser quien me enseñaste que de una semilla nace una planta y que de esa planta brota una fruta. Tu, quien me inculcaste ese amor por la tierra y por los animales.

**A mis primos, C.P. Abraham Díaz Jarquín, Arq. Misael Díaz Jarquín. Lic. Educ. Prim, Aydé Martínez Gómez.** Por todos sus consejos y apoyo brindados durante toda mi vida, por ser ustedes el ejemplo para mí.

**A los profesores, MVZ. José Gatica Bautista, Ing. Agro. Zoo. Miguel Angel Sánchez Caballero, C.P. Gloria Hernandez Poblete.** Por confiar en que algún día yo podría ser todo un profesional a pesar de todos mis defectos como ser humano y siempre impulsarme en seguir a delante.

**A mis amigos, Hesbeidi Martínez Moreno, Zuriel Morales (Campamocha), Daniel Castillo Pérez, Allisson Lorena Villalvazo, Juan Carlos Zapata, Idalia Anzures, Israel Pérez, Ismael Pérez, Abel (Pelón), Bamban, Joaquín Figueroa, y a todos aquellos que no mencioné.**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	i
<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>CONTENIDO</b> .....	iii
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	v
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b> .....	3
Introducción.....	3
Generalidades del cultivo de triticale.....	4
Tipos de triticale forrajero.....	4
Estrés abióticos.....	5
Déficit de humedad.....	5
Déficitde nitrógeno.....	8
Utilidad de características morfológicas en la selección para tolerancia a sequía.....	9
<b>III. MATERIALES Y METODOS</b> .....	13
Localización de los sitios experimentales.....	13
Material genético utilizado.....	13
Establecimiento de los experimentos.....	13
Tamaño de parcela.....	14
Control de plagas, enfermedades y malezas.....	14
Diseño experimental utilizado en campo.....	16

Análisis estadísticos.....	16
Modelo estadístico de los análisis de varianza individuales por ambiente.....	16
Modelo estadístico de los análisis de varianza combinados entre ambientes.....	16
Pruebas de comparación de medias.....	17
Variables registradas.....	18
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
Resultados de los análisis de varianza en el ambiente 1 para las variables estudiadas.....	22
Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos en el ambiente 1.....	23
Resultados de los análisis de varianza en el ambiente 2 para las variables estudiadas.....	25
Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos del ambiente 2	26
Resultados de los análisis de varianza combinados entre ambientes para las variables estudiadas.....	28
Resultados de las pruebas de comparación de medias entre ambientes del análisis combinado.....	29
Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos del análisis combinado.....	29
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
Resultados de los análisis de regresión simple entre las principales variables de interés.a través de ambientes.	32
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>VII.LITERATURA CITADA.....</b>	<b>43</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro No.</b>		<b>Pág.</b>
3.1	Manejo agronómico de los ambientes de evaluación .....	14
3.2	Material genético utilizado en el experimento. Ciclo verano 2013.....	15
4.1	Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza en el ambiente 1.....	22
4.2	Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos del ambiente 1.....	24
4.3	Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza en el ambiente 2.....	25
4.4	Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos del ambiente 2.....	27
4.5	Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza del análisis combinado entre ambientes.....	28
4.6	Resultados de la prueba de comparación de medias entre ambientes del análisis combinado.....	30
4.7	Resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos del análisis combinado.....	31

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figuras</b>		<b>Pág.</b>
4.1	Relación entre el peso seco del pedúnculo (PSP) y el rendimiento de biomasa (FSTOT).....	34
4.2	Relación entre el peso seco de pedúnculo (PSP) y el rendimiento de grano (RG).....	34
4.3	Relación entre la longitud de la hoja bandera (LH) y el rendimiento de biomasa (FSTOT).....	35
4.4	Relación entre la longitud de la hoja bandera (LH) y el rendimiento de grano (RG).....	35
4.5	Relación entre el forraje seco foliar (FSH) y la biomasa total (FSTOT).....	37
4.6	Relación entre la biomasa seca total (FSTOT) y el rendimiento de grano.....	38
4.7	Relación entre el número de granos por espiga (GE) y el rendimiento de grano (RG).....	39
4.8	Relación entre el peso de granos por espiga (PGE) y el rendimiento de grano (RG).....	39
4.9	Relación entre el peso de 1000 granos (P1000G) y el rendimiento de grano (RG).....	40
4.10	Relación entre el número de espigas por m <sup>2</sup> (EM2) y el rendimiento de grano (RG).....	40
4.11	Relación entre los días a madurez fisiológica (DMF) y el rendimiento de grano (RG).....	41



## I. INTRODUCCIÓN

Los pronósticos sobre la creciente población mundial y el cambio climático, que incide en un incremento en las temperaturas y una reducción en la precipitación, producirán un efecto particularmente negativo en la agricultura en muchos países en desarrollo, entre ellos, México, y particularmente en las zonas áridas y semiáridas del norte del país, ya que el más importante factor abiótico que limita el crecimiento de los cultivos es la disponibilidad de agua. El rendimiento es el principal índice de selección bajo condiciones de estrés de humedad. La identificación de características morfológicas y/o fisiológicas relacionadas con la tolerancia a sequía debe de considerarse en los programas de mejoramiento de los cereales de grano pequeño, ya que la eficiencia de selección puede mejorarse si se pueden identificar este tipo de atributos ligados a un mayor rendimiento de las variedades bajo un ambiente de estrés, y emplearse como criterio de selección para complementar el mejoramiento tradicional. Estas características morfofisiológicas deben ser de alta heredabilidad, muy relacionadas con la tolerancia al estrés y de fácil evaluación. A este respecto, el triticales (*X Triticosecale* Wittmack), uno de los cereales más exitosos hechos por el hombre, fue sintetizado para obtener una planta que combinara la singular calidad del grano de trigo con la tolerancia a los estrés abióticos y bióticos del centeno, ya que se ha reportado que tiene tolerancia a sequía, bajas temperaturas, baja disponibilidad de nutrientes, suelos ácidos, aluminio y suelos salinos. A este respecto, el comportamiento relativo de los genotipos, tanto en ambientes favorables como con déficits de humedad, es el punto de partida más común en la identificación de características relacionadas con la tolerancia a sequía y la selección de genotipos para su utilización en el mejoramiento para ambientes áridos. Tomando en cuenta las circunstancias anteriores, el potencial de las nuevas variedades forrajeras de este cultivo y las condiciones para la producción agrícola en el norte y centro de México, donde se requiere de especies y variedades con mayor eficiencia en la producción de

biomasa con menores niveles de humedad, se planteó la presente investigación con el objetivo general de relacionar el comportamiento productivo de biomasa y el rendimiento de grano con algunas características agronómicas y morfológicas en 33 genotipos de triticale bajo dos niveles de fertilización en condiciones subóptimas de humedad en un ambiente del norte de México, con los siguientes objetivos específicos:

1.- Identificar genotipos que rindan una mayor producción de biomasa en ambientes con déficits de humedad y fertilización en el norte de México.

2.- Identificar genotipos que rindan una mayor producción de grano en ambientes con déficits de humedad y fertilización en el norte de México.

3.- Identificar características agronómicas y/o morfológicas relacionadas positivamente con una mayor productividad de los genotipos bajo déficits de humedad y fertilización.

### **Hipótesis**

1.- Cuando menos uno de los genotipos presenta significativamente una mayor capacidad de acumulación de biomasa y/o de rendimiento de grano bajo condiciones de déficit de humedad y fertilización.

2.- Cuando menos una característica agronómica ó morfológica estará relacionada positivamente con un mayor rendimiento de biomasa y/o grano de los genotipos bajo condiciones mencionadas.

## II. REVISION DE LITERATURA

### Introducción

La creciente población mundial, junto con la carencia de expansión o aún reducción de la tierra agrícola disponible implica que la importancia relativa del mejoramiento para incrementar el rendimiento potencial de los cultivos es ahora mayor que en el pasado (Araus et al, 2008; Slafer et al, 1999; Araus et al, 2002). Los estrés abióticos reducen frecuentemente el crecimiento y la productividad de los cereales. El más importante factor abiótico que limita el crecimiento es la disponibilidad de agua (Araus et al, 2002).

El estrés hídrico es el mayor factor limitante en la producción de los cultivos a nivel mundial (Lonbani y Arzani, 2011). El rendimiento es el principal índice de selección bajo condiciones de estrés de humedad. La identificación de características responsables de la tolerancia a sequía debe de considerarse en los programas de mejoramiento, ya que el rendimiento de grano y la resistencia a sequía son controlados por loci independientes (Morgan, 1984). La eficiencia de selección puede mejorarse si se pueden identificar atributos fisiológicos, agronómicos y/o morfológicos ligados al rendimiento bajo un ambiente de estrés y emplearse como criterio de selección para complementar el mejoramiento tradicional (Acevedo, 1991).

Estas características morfofisiológicas deben ser de alta heredabilidad, muy relacionadas con la tolerancia al estrés y de fácil evaluación. Características relacionadas con la tolerancia a sequía, tales como un tamaño pequeño de planta, reducida área foliar y precocidad, conducen a una menor evapotranspiración total en la estación (Rizza et al, 2004). Por otra parte, el desarrollo de variedades tolerantes al estrés de sequía y altas temperaturas es un objetivo en muchos programas de mejoramiento, pero el éxito ha sido limitado (Bruckner y Frohberg, 1987). La resistencia al estrés de un genotipo es

el producto de muchas características morfológicas y fisiológicas para las cuales no se han desarrollado todavía criterios efectivos de selección (Fischer y Maurer, 1978). Por otra parte, el rendimiento de grano y sus componentes permanece como el principal criterio de selección para mejorar la adaptación a un ambiente de estrés en muchos programas de mejoramiento.

### **Generalidades del cultivo de triticales**

El triticales (*X Triticosecale* Wittmack), es un cultivo sintético que contribuye con más de 6 millones de toneladas por año a la producción mundial de grano de cereales (Varughese, 1996). Desde hace aproximadamente 30 años, se ha incrementado el interés en el uso del triticales como forraje a nivel mundial y nacional. Es uno de los cereales más exitosos hechos por el hombre y fue sintetizado para obtener una planta que combinara la singular calidad del grano de trigo con la tolerancia a estrés abióticos y bióticos del centeno. Se ha reportado que es tolerante a una disponibilidad de nutrientes, sequía, bajas temperaturas, suelos ácidos, aluminio y salinidad (Lelley, 2006).

Se compara con los mejores trigos en términos de su rendimiento potencial bajo condiciones favorables y con frecuencia son más productivos que muchos trigos cuando se siembran en diferentes tipos de suelos marginales (Ammar et al, 2004). La selección de las variedades está en función de su hábito de crecimiento, características agronómicas y nutricionales, ya que depende de las condiciones ambientales, el manejo y el tipo de explotación (Lozano, 2002).

### **Tipos de triticales forrajero**

Lozano del Río (2002), señala que por su ciclo de crecimiento, capacidad de rebrote y producción, los triticales forrajeros se clasifican como primaverales, intermedios o facultativos e invernales. Los tipos primaverales son de crecimiento rápido, y su utilización es principalmente para ensilaje y henificado,

con un desarrollo y producción similar a la avena. Los tipos intermedios o facultativos son relativamente más tardíos que los primaverales, en forma general presentan una mayor relación hoja-tallo que los anteriores. Presentan además una mayor capacidad de rebrote que los primaverales, por lo que pueden ser utilizados en dos cortes para verdeo, o uno para verdeo y el segundo para henificado ó ensilaje. Los tipos invernales, de ciclo tardío, son excelentes en la producción de forraje para cortes o pastoreos múltiples (3 ó 4), debido a su alta capacidad de rebrote, alta calidad nutritiva, con adecuados rendimientos de forraje seco en etapas tempranas en su desarrollo (encañe) y una mayor proporción de hojas en relación a los tallos, en comparación con los triticales facultativos, avenas y trigos.

Por otra parte, para producción de grano, Fox et al (1990) y Royo et al (1995), clasifican a los triticales hexaploides en sólo dos grupos principales (1) tipos invernales, los cuales requieren vernalización para la diferenciación floral, que principalmente se han desarrollado en Europa y (2) tipos primaverales, que no tienen requerimientos de vernalización y han sido desarrollados básicamente por el CIMMYT en México. Ambos grupos son agrónomica y morfológicamente diferentes (Fox et al, 1990; Royo et al, 1995).

## **Estrés abióticos**

### **Déficit de humedad**

La sequía es uno de los principales obstáculos para la producción de cereales de grano pequeño bajo temporal en la región mediterránea y otras regiones geográficas similares, como el norte de México. Se ha reconocido que en estos ambientes es un difícil reto para los mejoradores lograr incrementos en el rendimiento, mientras que en ambientes favorables las ganancias en rendimiento han sido mucho mayores (Richards et al, 2002). También, en ambientes mediterráneos, el estrés por altas temperaturas es un importante factor después de la antesis (Wardlaw et al, 1989). El efecto más obvio de las altas temperaturas sobre el crecimiento de los cereales es la aceleración del desarrollo de la planta y la subsecuente reducción en su tamaño (Midmore et

al.,1984); Shpiler y Blum, 1986). Diversos autores han reportado incrementos en la respiración (Berry y Bjorkman, 1980); reducción en la fotosíntesis (Al-Katib y Paulsen, 1984; Blum, 1986; Reynolds et al, 2000); inhibición de la síntesis de almidón en los granos en desarrollo (Jenner, 1991); reducción en el número de espigas por planta, número de granos por espiga y menor peso de grano (Warrington et al, 1977), y aceleración de la senescencia en las plantas (Al-Katib y Paulsen, 1984), como resultado del estrés por calor.

Un buen nivel de precocidad es una efectiva estrategia de mejoramiento para aumentar la estabilidad del rendimiento en ambientes áridos y semiáridos de tipo mediterráneo donde los cereales están expuestos al estrés de sequía terminal. En estas condiciones, una menor duración del ciclo del cultivo, típica estrategia de escape, puede ser útil al sincronizar el ciclo del cultivo con las condiciones ambientales más favorables. Sin embargo, se sabe que una precocidad extrema lleva a una reducción del rendimiento, ya que la precocidad no está correlacionada con el rendimiento de grano en ambientes mediterráneos o bajo buenas condiciones de fertilidad (Cattivelli et al, 1994). Por otra parte, el espigamiento y floración tardía, seguida por un período corto de llenado de grano puede estar asociado con un mayor rendimiento cuando el estrés de sequía sucede temprano en la estación, durante la fase vegetativa (Van Ginkel et al, 1998).

En condiciones de sequía moderada, caracterizada por rendimientos de grano de trigo y cebada entre 2-5 Mg ha<sup>-1</sup>, la selección para alto potencial de rendimiento ha llevado frecuentemente a algunas mejoras del mismo bajo condiciones de sequía (Araus et al, 2002). Un aspecto crucial en todos los estudios dedicados a la tolerancia a sequía es la evaluación del grado de tolerancia de los diferentes genotipos. La dificultad para identificar un parámetro fisiológico como indicador confiable del rendimiento en condiciones de aridez sugiere que el comportamiento del rendimiento a través de un rango de

ambientes debe utilizarse como el principal indicador de la tolerancia a sequía (Voltas et al, 2005).

También, las diferentes etapas fenológicas del cultivo muestran una sensibilidad diferente al estrés por sequía. El número de florecillas fértiles o el número de granos por m<sup>2</sup>, componente más relevante para asegurar mayor rendimiento bajo sequía es determinado durante el encañe, unas pocas semanas antes de la antesis (Slafer y Whitechurch, 2001). También la meiosis, antesis, y la fertilidad femenina y masculina son extremadamente susceptibles al estrés de sequía y su falla afecta directamente el número de granos, llevando a una significativa reducción del rendimiento. El estrés por sequía durante el llenado de grano reduce dramáticamente el rendimiento de trigo (Ehdaie y Shakiba, 1996).

Diversos estudios indican que una altura de planta intermedia puede ser conveniente bajo sequía terminal (Fischer y Maurer, 1978; Richards, 1996; Van Ginkel et al, 1998). Este último autor también encontró que muchos granos por espiga fueron importantes para un alto rendimiento sólo bajo riego, y negativamente correlacionado bajo condiciones de sequía terminal. El efecto del estrés de sequía sobre el crecimiento y fenología de los cereales depende de su sincronización con alguna etapa fenológica (Slayter, 1973; Hochman, 1982), y de su intensidad y duración (Boyer, 1971; Simane et al, 1993; Lilley y Fukai, 1994; Giunta et al, 1995; Blum, 1996).

Se han propuesto un mayor vigor y rápida cobertura como importantes características relacionadas con una mayor eficiencia en el uso del agua y la tolerancia a la sequía temprana (Rebetzke y Richards, 1999; Royo et al, 2000), en tanto que la floración y madurez precoz juegan un papel importante en el escape a la sequía terminal en ambientes de temporal. Recientes estudios de Fischer y Edmeades (2010) y Reynolds et al (2010) confirman que el progreso a nivel global está todavía asociado estrechamente a un mayor número de granos

por unidad de área. En trigo, el déficit hídrico durante la meiosis de las células madre del polen induce androesterilidad, y puede reducir el número de granos hasta en un 40-50%. La fertilidad femenina no es afectada por déficits hídricos durante este período (Saini y Aspinall, 1981).

El estado hídrico de la planta y la transpiración juegan un papel importante en el control de la temperatura cuando se desarrolla el estrés (Blum, 1988; Reynolds et al, 1994; Amani et al, 1996). También, Blum (1980), reportó que si la disponibilidad de agua o la temperatura son variables importantes entre los sitios de prueba, un cultivar estable puede poseer mecanismos de tolerancia al estrés que previenen una reducción excesiva del rendimiento de grano en los ambientes desfavorables. En resumen, el rendimiento en un ambiente de estrés depende del rendimiento potencial, susceptibilidad al estrés y escape del mismo (Fischer y Maurer (1978).

### **Déficit de nitrógeno**

En triticale, como en otras gramíneas, el nitrógeno y la disponibilidad de agua son factores muy importantes que gobiernan el rendimiento, tanto de biomasa como de grano (Uribelarrea et al. 2009; Olszewski et al. 2014). La nutrición nitrogenada juega un papel decisivo en determinar el proceso de la fotosíntesis de las plantas para la acumulación de biomasa (Sieling et al. 2016).

El nivel de fertilización nitrogenada afecta las características fisiológicas de las plantas; sin embargo, existe poca información sobre el efecto del nitrógeno sobre la fotosíntesis en triticale (Janusauskaite et al. 2017). Un bajo nivel de nitrógeno propicia una menor fotosíntesis, debido a una menor cantidad de clorofila en las hojas y por lo tanto, una menor actividad de la enzima nitrato-reductasa y Rubisco (Pal et al. 2005; Hirasawa et al. 2010; Li et al. 2013).



La clorofila es el mayor pigmento involucrado en la fotosíntesis. Una mayor disponibilidad de nitrógeno está relacionada con un mayor contenido de clorofila (Schlemmer et al 2013). La reducción del contenido de clorofila puede restringir el proceso fotosintético y consecuentemente disminuir la producción de fotosintatos (Cabrera-Bosquet et al. 2009).

### **Utilidad de características morfológicas en la selección para tolerancia a sequía en cereales.**

Los criterios de selección para tolerancia a sequía pueden ser herramientas útiles en los programas de mejoramiento de cereales como el trigo y el triticale. Para evaluar la utilidad de algunas características morfológicas arriba del nudo de la hoja bandera como indicadores del rendimiento bajo sequía, Villegas et al (2007), evaluaron 10 genotipos de trigo duro bajo dos regímenes de humedad en dos localidades durante 3 años en España. La longitud del pedúnculo, el peso y longitud de la espiga y la longitud de las aristas estuvieron significativamente relacionadas con un mayor rendimiento de grano dentro de ambientes. El peso del pedúnculo y la espiga fueron las características más relacionadas al rendimiento en las localidades bajo precipitación, mientras en las localidades bajo riego fue la longitud de espiga.

Se ha demostrado por diversos autores que el rendimiento de grano en trigo está más estrechamente relacionado con el número de granos que con su peso (Zamski y Grunberger, 1995; Beharav et al, 1998). Así, el seleccionar para un mayor número de espigas por m<sup>2</sup> y mayor número de granos por espiga ha resultado en mayores rendimientos. Además, como los granos tienen que ser llenados con los carbohidratos producidos por los órganos fotosintéticos, tanto la fuente como el almacén de los mismos deben ser tomados en cuenta cuando se mejora para ambientes con estrés de sequía. En este sentido, el papel de la arquitectura, distribución y tamaño del área foliar se han estudiado y discutido por varios autores (Berdahl et al, 1972; Canevara et al, 1994).

Algunos estudios (Kaul, 1974; Briggs y Aytenfisu, 1980) han reportado que los tejidos verdes encima del nudo de la hoja bandera son los principales responsables de la producción de carbohidratos que llenan los granos, ya que las hojas inferiores pierden rápidamente su capacidad de asimilación y mueren pronto bajo condiciones de sequía. Se considera que la hoja bandera aporta la mayor contribución al rendimiento de grano por su corta distancia a la espiga y el hecho de que permanece verde por más tiempo que el resto de las hojas. Los carbohidratos son removilizados desde el pedúnculo de la espiga y la hoja bandera durante el llenado de grano (Zamski y Grunberger, 1995). Briggs y Aytenfisu (1980) encontraron una asociación entre pedúnculos cortos y alto rendimiento de grano. En otros casos se ha reportado una relación inversa (Kaya et al, 2002), o dependiente del ambiente.

Las aristas también han recibido atención ya que son fotosintéticamente activas y tienen una conexión vascular directa con la espiga (Weyhrich et al, 1995). Por otra parte, se ha reportado que la presencia de aristas es ventajosa durante el estrés de sequía en las áreas más áridas (Evans et al, 1972; Kaul, 1974; Minhas et al, 1978; Motzo y Giunta, 2002). Adicionalmente también se ha reportado un efecto refrescante de las aristas (Ayeneh et al, 2002). Dado la extensión de las zonas áridas a nivel global y nacional y los efectos del cambio climático, la evaluación de la tolerancia a sequía es muy importante.

Se considera que las hojas son la fuente primaria de la producción de fotosintatos. Aparte de las hojas, las plantas pueden utilizar otras estructuras para fotosintetizar compuestos para el crecimiento y el desarrollo (Aschan y Pfanz, 2003). En trigo, hay órganos no foliares que son fotosintéticamente activos, incluyendo todas las partes de la espiga y la parte expuesta del pedúnculo, ya que todos pueden asimilar el CO<sub>2</sub> cuando están expuestos a la luz (Schnyder, 1993; Wang et al, 2001). Rosyara et al (2005), propusieron que el comportamiento fotosintético de otras fuentes además de las hojas juegan un papel compensatorio en la estabilización del rendimiento. Una serie de reportes

sugiere que los órganos verdes no foliares pueden contribuir con hasta un 40-50% de los fotosintatos requeridos para desarrollar los granos en trigo (Wang et al, 2001; Evans y Rawson, 1978; Araus et al, 1993).

El pedúnculo, localizado en el primer entrenudo bajo la espiga, tiene una diversidad de funciones críticas en la productividad de los cereales. El desarrollo del sistema vascular en el pedúnculo es esencial para transportar los fotosintatos para el llenado de grano (Wardlaw, 1990). El alargamiento de la parte expuesta del pedúnculo reduce el riesgo de infecciones foliares en la espiga al aumentar la distancia entre las hojas superiores y la misma (Gebbing, 2003). Bajo estrés de sequía o temperaturas altas, este órgano (y en particular la parte expuesta), mantiene significativamente un mayor potencial hídrico que la hoja bandera (Wardlaw, 2002). La parte superior del pedúnculo desarrolla un metabolismo autotrófico de carbohidratos como en la hoja cuando está expuesto a alta irradiación, contribuyendo en una alta proporción a la fotosíntesis del tallo (Wang et al, 2001; Evans y Rawson, 1970). Wang et al (2001), sugieren que la fotosíntesis en la parte expuesta del pedúnculo y la vaina de la hoja bandera contribuyen con 9-12% del peso de grano en trigo, dependiendo de la variedad. Kong et al (2010), concluyen que los pedúnculos expuestos poseen ventajas anatómicas, ultraestructurales y fisiológicas sobre la hoja bandera para la fotosíntesis.

Estas ventajas son especialmente obvias en las últimas etapas del llenado de grano, debido a una mayor densidad estomatal y una mayor actividad de la enzima fosfo-enol-piruvato-carboxilasa (PEPCasa) tolerante al calor, lo que le da al pedúnculo una habilidad superior para adaptarse a las condiciones ecológicas de la fase final del llenado de grano, Concluyen que los pedúnculos expuestos tienen una fuerte capacidad fotosintética y proporciona asimilados para el desarrollo de los granos durante la etapa de llenado. La temperatura de los órganos depende de la tasa de transpiración en relación a las variables ambientales (Gates, 1964). Ayeneh et al (2002), sugieren que las

hojas, pedúnculos y espigas, pueden registrar temperaturas diferentes como resultado de su posición dentro del dosel. Así, la morfología puede afectar la temperatura del cultivo. Hatfield et al (1984), reportó que las aristas de la espiga pueden incrementar la temperatura del dosel y sugirió que las aristas no son efectivas en disipar el calor.

Sin embargo, otros autores han reportado que las aristas reducen la temperatura del dosel, la cual está asociada a un mayor rendimiento de grano de trigo y cebada en ambientes secos y cálidos, ya que las aristas se desarrollan más tarde que las hojas bandera y pueden continuar su función durante más tiempo en el llenado de grano (Evans et al, 1972; Ferguson et al, 1973; Johnson et al, 1974, 1975; Blum, 1986). Ayeneh et al (2002), también reportaron que los valores de depresión de la temperatura fueron mayores en el pedúnculo que los de otros órganos bajo todas las condiciones. Este efecto puede ser el resultado de diferencias en la absorción de energía, ya que el pedúnculo tiene una menor área comparada con las hojas y espigas y tiene así mayor capacidad de convertir y conducir el calor desde su superficie. El hecho de que pedúnculos más largos eleven la parte superior de la planta sobre el resto del dosel donde hay más movimiento del aire que dentro del dosel también incluye una mayor relación con la temperatura del aire.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Localización del sitio experimental**

El presente estudio se realizó durante el ciclo otoño - invierno 2012-2013 durante el verano del 2013 en el Campo Agrícola Experimental de la UAAAN en Navidad, N. L., ubicado entre las coordenadas 25° 04' Latitud Norte y 100° 56' Longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una altitud de 1,895 msnm.

#### **Material genético utilizado.**

Se evaluaron 26 familias  $F_{2:7}$  de triticale forrajero y sus progenitores, originadas a partir de cruzas realizadas en invernadero en Enero del 2007 entre los progenitores femeninos AN-123, AN-125, AN-137 y Eronga 83, de hábito primaveral y AN-38 y AN-105, de hábito intermedio, con un progenitor masculino de hábito invernal de arista reducida (ABT). Los genotipos fueron proporcionados por el Proyecto Triticale del Programa de Cereales de la UAAAN. Estos genotipos fueron agrupados en cruzas y progenitores para su evaluación y análisis (Cuadro 3.1)

#### **Establecimiento de los Experimentos**

La preparación del terreno para este experimento consistió en labores para acondicionar el suelo para un buen desarrollo de las plantas, incluyendo barbecho, rastreo doble y nivelación. Se evaluaron los genotipos bajo dos regímenes de humedad durante el verano de 2013: 1) riego de siembra, en inicio de encañe y espigamiento, con fertilización (ambiente 1) y 2) riego de siembra, en inicio de encañe y espigamiento, sin fertilización (ambiente 2).

## Tamaño de parcela

Cada unidad experimental en ambos ambientes constó de 6 surcos de 5 m de largo por 30 cm entre hileras (9.0 m<sup>2</sup>).

## Control de plagas, enfermedades y malezas.

No se presentó incidencia de plagas y enfermedades, por tal motivo, no se hizo ningún tipo de control. En cuanto a la infestación por malezas de hoja ancha, estas se controlaron mediante deshierbes manuales.

Cuadro 3.1. Manejo agronómico de los ambientes de evaluación.

Ambiente	Localidad	Fecha de siembra	Fertilización total	Número de riegos	Sistema de riego	Lámina total incluyendo precipitación (cm)	Clasificación
1	Navidad	05-06-2013	120-00-00	3	Aspersión	27.5	Estrés severo
2	Navidad	05-06-2013	00-00-00	3	Aspersión	27.5	Estrés Severo

Cuadro 3.2. Material genético utilizado en el experimento. Ciclo verano 2013.

TRAT	FAMILIAS	CRUZAS	GRUPO
1	AN-2-2010	AN-123 x ABT	1
2	AN-3-2010	AN-123 x ABT	1
3	AN-8-2010	AN-123 x ABT	1
4	AN-12-2010	AN-123 x ABT	1
5	AN-13-2010	AN-123 x ABT	1
6	AN-24-210	AN-123 x ABT	1
7	AN-28-2010	AN-123 x ABT	1
8	AN-31-2010	AN-123 x ABT	1
9	AN-33-2010	AN-123 x ABT	1
10	AN-34-2010	AN-123 x ABT	1
11	AN-39-2010	AN-123 x ABT	1
12	AN-42-2010	AN-125 x ABT	2
13	AN-49-2010	AN-125 x ABT	2
14	AN-50-2010	AN-125 x ABT	2
15	AN-55-2010	AN-125 x ABT	2
16	AN-60-2010	AN-125 x ABT	2
17	AN-61-2010	AN-125 x ABT	2
18	AN-65-2010	Eronga x ABT	3
19	AN-80-2010	AN-137 x ABT	4
20	AN-82-2010	AN-137 x ABT	4
21	AN-83-2010	AN-137 x ABT	4
22	AN-90-2010	AN-137 x ABT	4
23	AN-101-2010	AN-38 x ABT	5
24	AN-102-2010	AN-38 x ABT	5
25	AN-107-2010	AN-38 x ABT	5
26	AN-123-2010	AN-105 x ABT	6
27	AN-123 ♀	Progenitor primaveral	7
28	AN-125 ♀	Progenitor primaveral	7
29	AN-137 ♀	Progenitor primaveral	7
30	AN-38 ♀	Progenitor intermedio	8
31	AN-105 ♀	Progenitor intermedio	8
32	Eronga 83 ♀	Progenitor primaveral	7
33	ABT ♂	Progenitor invernal	9

\* Familias F<sub>2-7</sub>; ♀: progenitores femeninos; ♂: progenitor masculino;

## **Diseño experimental utilizado en campo**

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento en cada uno de los ambientes.

## **Análisis estadísticos**

Se realizaron análisis de varianza individuales por ambiente y combinados entre ambientes, bajo los siguientes modelos:

### **Modelo estadístico de los análisis de varianza individuales por ambiente.**

$$Y_{ij} = \mu + R_i + G_k + E_{ij}$$

donde:

$i$  = repeticiones

$k$  = grupos

donde:

$Y_{ij}$  = Variable observada..

$\mu$  : = Efecto de la media general.

$R_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima repetición.

$G_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo grupo.

$E_{ij}$  = Error experimental.

### **Modelo estadístico de los análisis de varianza combinados entre ambientes.**

$$Y_{ijk} = \mu + R_i(j) + L_j + G_k + LG_{jk} + E_{ijk}$$

donde:

$i$  = repeticiones

$j$  = ambientes

$k$  = grupos

donde:

$Y_{ijk}$  = Variable observada.



$\mu$  = Efecto de la media general.

$R_i(j)$  = Efecto de la  $i$ -ésima repetición anidada en el  $j$ -ésimo ambiente.

$L_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo ambiente.

$G_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo grupo.

$LG_{jk}$  = Interacción del  $k$ -ésimo grupo con el  $j$ -ésimo ambiente.

$E_{ijk}$  = Error experimental.

### Comparación de medias

Se realizaron pruebas de comparación de medias entre grupos por ambiente y el combinado entre ambientes y grupos para cada una de las variables estudiadas, utilizando la prueba de Tukey al 5% de probabilidad (Steel y Torrie, 1992), con la siguiente fórmula:

$$T_o = q\alpha S\bar{x}$$

$$T_o = q\alpha \sqrt{\frac{S^2}{r}}$$

Donde:

$q\alpha$  = Valor tabular, que es un valor de  $t$  modificado

$S\bar{x}$  = error estándar

$S^2$  = Cuadrado medio del error

$r$  = Número de repeticiones

Así mismo, se calculó el coeficiente de variación para cada una de las características estudiadas con el fin de precisar la exactitud de la conducción del experimento, utilizando la siguiente fórmula:

$$C. V. = \frac{\sqrt{CMEE}}{X} \times 100$$

Donde:

$CMEE$  = Cuadrado medio del error experimental.

$X$  = Media general.

Finalmente, para investigar la relación entre el rendimiento de biomasa y grano con el resto de las variables se realizaron análisis de regresión simple entre las variables de interés.

### **Variables registradas**

En la etapa de madurez fisiológica de cada unidad experimental, se colectaron al azar una muestra representativa de cinco tallos principales en un surco interno de cada parcela y las partes del entrenudo superior, incluyendo las espigas, fueron separadas en el laboratorio. Para cada muestra, se registraron y promediaron las siguientes variables:

- **Longitud de hoja bandera (LH):** se colectaron al azar una muestra representativa de 5 plantas a las cuales se midió su longitud en cm y se obtuvo el promedio por parcela.
- **Ancho de hoja bandera (LH):** se colectaron al azar una muestra representativa de 5 plantas a las cuales se midió su anchura en cm y se obtuvo el promedio por parcela.
- **Longitud de pedúnculo (LP):** se colectaron al azar una muestra representativa de 5 plantas de las partes del entrenudo superior en cada parcela en madurez fisiológica y, posteriormente se midió la longitud de pedúnculo de cada planta en (cm) y así obtener el promedio por parcela.
- **Longitud de espiga (LE):** se registró en cm de las 5 plantas colectadas y luego se calculó el promedio por parcela.
- **Longitud de aristas (LA):** medidas de la espiguilla terminal al extremo de la arista, y posteriormente se obtuvo el promedio por parcela cm.

- **Peso seco de pedúnculo (PSP):** se separaron las partes de las 5 plantas y se pesó en gr cada una para posteriormente obtener el promedio por parcela.
- **Peso seco de espiga (PSE):** se registró el peso de las 5 espigas en gr, para obtener el promedio de cada parcela.

Asimismo, en la etapa de madurez fisiológica de cada unidad experimental se colectaron 10 espigas al azar y se les realizaron las siguientes determinaciones:

- **Granos por espiga (GE):** las 10 espigas de cada parcela se desgranaron individualmente, se contó el total de granos y se obtuvo el promedio por parcela.
- **Peso de granos por espiga (PGE):** se pesó en g los granos de cada una de las 10 espigas, para obtener el promedio por parcela.
- **Peso de mil granos (P1000G):** para estimar esta variable se tomaron 1000 granos al azar de cada parcela y se pesaron en una balanza analítica, registrando el peso en gramos.

#### **Variables de rendimiento:**

- **Rendimiento de grano (RG):** en la etapa de madurez a cosecha, se cortó un metro lineal de un surco interno de cada parcela con competencia completa ( $0.30 \text{ m}^2$ ), se trilló con una máquina estacionaria (Pullman), se registró el peso en gramos y se transformó posteriormente a toneladas por hectárea ( $\text{t ha}^{-1}$ ).
- **Biomasa seca foliar a madurez fisiológica (FSH):** se determinó en cada unidad experimental cortando una muestra de 60 cm de un surco interno con competencia completa ( $0.18 \text{ m}^2$ ) a una altura aproximada de 2 cm sobre la superficie del suelo. De esta muestra, se separaron las hojas, tallos y espigas, secándolas en asoleadero y pesándolas posteriormente en g/parcela; el valor obtenido se transformó posteriormente a toneladas por hectárea ( $\text{t ha}^{-1}$ ).

- **Biomasa seca de tallos a madurez fisiológica (FST):** se determinó en cada unidad experimental cortando una muestra de 60 cm de un surco interno con competencia completa (0.18 m<sup>2</sup>) a una altura aproximada de 2 cm sobre la superficie del suelo. De esta muestra, se separaron las hojas, tallos y espigas, secándolas en asoleadero y pesándolas posteriormente en g/parcela; el valor obtenido se transformó posteriormente a toneladas por hectárea (t ha<sup>-1</sup>).
- **Biomasa seca de espigas a madurez fisiológica (FSE):** se determinó en cada unidad experimental cortando una muestra de 60 cm de un surco interno con competencia completa (0.18 m<sup>2</sup>) a una altura aproximada de 2 cm sobre la superficie del suelo. De esta muestra, se separaron las hojas, tallos y espigas, secándolas en asoleadero y pesándolas posteriormente en g/parcela; el valor obtenido se transformó posteriormente a toneladas por hectárea (t ha<sup>-1</sup>).
- **Biomasa total a madurez fisiológica (FSTOT):** se determinó al sumar los pesos secos de hojas, tallos y espigas para cada muestra, posteriormente se transformó a producción de forraje seco total en toneladas/hectárea (t ha<sup>-1</sup>).

**Otras variables:**

- **Altura de planta:** En la etapa de madurez fisiológica se midió en cm desde la superficie del suelo hasta el extremo distal de las espigas en cada unidad experimental.
- **Días a espigamiento (DE):** se calculó en días a partir de la emergencia de las plantas hasta la etapa donde cuando menos el 50% de las plantas de cada parcela mostraban la espiga descubierta.
- **Días a madurez fisiológica (DMF):** se calculó en días a partir de la fecha del riego de siembra hasta la etapa donde cuando menos el

50% de las plantas de cada parcela mostraban un color amarillo en la parte distal del pedúnculo, junto a la parte basal de la espiga.

Los análisis de varianza y las pruebas de comparación de medias de las variables estudiadas se realizaron con el paquete estadístico SAS 8.1 (1999). Los análisis de regresión entre variables y las gráficas fueron realizadas con el paquete estadístico Statistica 6.1 (2001).

## IV. RESULTADOS

### Resultados de los análisis de varianza en el ambiente 1 para las variables estudiadas.

Se registraron diferencias estadísticas altamente significativas entre los grupos de genotipos en la mayoría de las variables en estudio, indicando la variabilidad genética presente entre los genotipos (Cuadro 4.1). Se registraron sólo diferencias significativas entre grupos en las variables FSH y GE. No se registraron diferencias significativas entre los grupos para las variables AH, LPED y PGE. Dependiendo de la variable, los coeficientes de variación oscilaron entre 0.4 y 26.4 % (DMF y FSH, respectivamente).

Cuadro 4.1.- Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza en el ambiente 1.

FV	GL	LH	AH	DE	LE	LA	ALT	DMF
REP	2	6.014 **	0.003 ns	5.777 ns	0.007 ns	0.235 *	4.687 ns	0.592 *
GRUPOS	8	2.795 **	0.003 ns	179.0 **	0.577 **	6.362 **	59.955 **	132.9 **
ERROR	16	0.713	0.002	3.819	0.066	0.102	20.275	0.259
TOTAL	26							
CV (%)		5.5	3.7	2.5	2.4	8.2	6.0	0.4
MEDIA		15.2	1.3	78.1	10.5	3.8	74.4	110.9

ns=no significativo, \* significativo al 5% y \*\*altamente significativo al 1% de probabilidad, respectivamente

FV	GL	LP	PSP	PSE	FSH	FST	FSE	FSTOT
REP	2	11.67 ns	0.003 ns	0.336 ns	0.002 ns	0.020 ns	0.076 *	0.199 ns
GRUPOS	8	2.937 ns	0.058 **	1.198 **	0.050 *	0.178 **	0.428 **	1.237 **
ERROR	16	3.454	0.013	0.453	0.020	0.041	0.028	0.140
TOTAL	26							
CV (%)		6.2	11.8	9.4	26.4	21.1	14.7	14.1
MEDIA		29.6	0.9	7.1	0.5	0.9	1.1	2.6

ns=no significativo, \* significativo al 5% y \*\*altamente significativo al 1% de probabilidad, respectivamente

Continuación...Cuadro 4.1.- Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza en el ambiente 1.

FV	GL	GE	PGE	P1000G	RG	EM2
REP	2	0.134 ns	0.031 ns	7.355 ns	0.023 ns	3196.2 ns
GRUPOS	8	18.59 *	0.043 ns	13.12 **	0.724 **	12055.9 **
ERROR	16	7.298	0.030	3.665	0.035	2432.8
TOTAL	26					
CV (%)		8.6	20.8	7.3	20.9	16.7
MEDIA		31.1	0.8	26.0	0.8	294.4

ns=no significativo,\* significativo al 5% y \*\*altamente significativo al 1% de probabilidad, respectivamente

### Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos en el ambiente 1.

En el Cuadro 4.2, se presentan los resultados más relevantes de la prueba de comparación de medias entre grupos para las variables estudiadas en el ambiente 1, donde se observa que para longitud de hoja (LH), el grupo 7 (progenitor primaveral) registró el mayor valor para esta característica. El progenitor invernal (grupo 9), registró la menor longitud de hoja. El progenitor invernal (grupo 9), fue el genotipo más tardío, tanto para espigamiento como para madurez fisiológica. En la característica longitud de arista (LA), el grupo 6 registró el mayor valor, estadísticamente igual al grupo 8 (progenitor intermedio). El progenitor invernal (grupo 9) y la cruce AN-125 x ABT (grupo 2), mostraron la menor longitud de arista (barba reducida). Para el caso del peso seco de pedúnculo (PSP), el grupo 3 (Eronga x ABT), mostró el menor peso para esta característica. Para la variable peso seco de espiga, el progenitor invernal (grupo 9), registró el menor valor. Para las variables de producción de biomasa (FSH, FST, FSE y FSTOT), la cruce Eronga x ABT (grupo 3), registró los menores valores. En el caso del rendimiento de grano (RG), los progenitores primaverales y los intermedios (grupos 7 y 8) registraron los rendimientos más altos; asimismo, el progenitor invernal tardío (grupo 9), rindió significativamente el menor rendimiento de grano (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2.- Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos del ambiente 1.

GRUPO	LH	AH	DE	LE	LA	ALT
1	15.1 ab	1.30 a	79.0 b	10.6 ab	3.33 c	73.2 ab
2	13.7 b	1.25 a	81.3 b	10.5 abc	2.30 d	75.0 ab
3	14.9 ab	1.30 a	81.0 b	11.2 a	3.43 c	73.3 ab
4	15.1 ab	1.32 a	82.3 ab	10.5 abc	3.60 c	70.4 b
5	15.8 ab	1.37 a	78.3 b	10.3 bc	2.80 cd	74.4 ab
6	15.1 ab	1.30 a	82.6 ab	10.5 abc	6.26 a	85.0 a
7	16.9 a	1.25 a	62.6 c	9.83 c	5.30 b	70.4 b
8	16.0 ab	1.31 a	68.3 c	10.3 bc	5.40 ab	71.6 b
9	14.1 b	1.28 a	87.3 a	11.2 a	2.23 d	76.6 ab
DMS	2.453	0.14	5.676	0.751	0.928	13.07

GRUPO	DMF	LP	PSP	PSE	FSH	FST
1	112.0 cd	28.7 a	0.99 ab	7.40 ab	0.53 a	0.99 ab
2	113.3 bc	28.5 a	0.85 ab	7.28 ab	0.38 a	0.75 ab
3	113.3 bc	28.9 a	0.76 b	6.90 ab	0.41 a	0.50 b
4	111.0 d	29.3 a	0.91 ab	6.80 ab	0.39 a	0.78 ab
5	1114.6 b	31.4 a	1.15 a	7.04 ab	0.60 a	1.08 ab
6	108.0 e	30.5 a	1.03 ab	7.16 ab	0.68 a	1.32 a
7	100.6 g	30.1 a	1.15 a	7.80 a	0.51 a	1.11 a
8	102.6 f	28.9 a	1.10 ab	8.01 a	0.59 a	1.08 ab
9	123.0 a	30.1 a	0.86 ab	5.83 b	0.74 a	1.04 ab
DMS	1.479	5.399	0.339	1.955	0.416	0.594

GRUPO	FSE	FSTOT	GE	PGE	P1000G	RG	EM2
1	1.19 bc	2.72 ab	30.7 a	0.81 a	25.1 ab	0.81 cd	277.0 abc
2	1.09 bc	2.23 bc	29.9 a	0.75 a	25.7 ab	0.59 cd	267.3 bc
3	0.52 d	1.44 c	28.8 a	0.77 a	24.6 b	0.70 cd	231.0 bc
4	1.00 bcd	2.17 bc	29.7 a	0.75 a	25.2 ab	0.53 cd	265.6 bc
5	1.04 bc	2.73 ab	34.1 a	0.88 a	27.0 ab	0.85 c	272.6 abc
6	1.39 ab	3.40 a	28.4 a	0.74 a	26.0 ab	0.91 bc	373.6 ab
7	1.79 a	3.42 a	35.7 a	1.12 a	30.2 a	1.89 a	413.3 a
8	1.48 ab	3.16 ab	32.3 a	0.90 a	27.5 ab	1.43 ab	322.3 abc
9	0.78 cd	2.57 ab	30.0 a	0.81 a	22.8 b	0.28 d	226.6 c
DMS	0.490	1.089	7.847	0.507	5.561	0.544	143.27

\*Medias con la misma literal no son significativamente diferentes entre sí.

**Resultados de los análisis de varianza en el ambiente 2 para las variables estudiadas.**



Se registraron diferencias estadísticas altamente significativas entre los grupos de genotipos en la mayoría de las variables en estudio en este ambiente (sequía severa, sin fertilización), (Cuadro 4.3). No se registraron diferencias significativas entre grupos en las variables LP, PSE y FSH. Las diferencias altamente significativas entre grupos para la mayoría de las variables indican la gran diversidad genética existente entre los genotipos. Dependiendo de la característica evaluada, los coeficientes de variación oscilaron entre 0.7 y 32.5 % (DMF y FSH, respectivamente)

Cuadro 4.3.- Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza en el ambiente 2.

FV	GL	LH	AH	DE	LE	LA	ALT
REP	2	2.813 *	0.012 **	21.8 **	0.175 ns	0.178 ns	49.92 ns
GRUPOS	8	7.590 **	0.011 **	197.2 **	1.378 **	4.372 **	102.6 **
ERROR	16	0.870	0.001	3.48	0.113	0.182	28.32
TOTAL	26						
CV (%)		6.6	3.5	2.4	3.3	10.6	7.2
MEDIA		14.0	1.2	76.8	10.0	4.0	73.4

ns=no significativo, \* significativo al 5% y \*\*altamente significativo al 1% de probabilidad, respectivamente

FV	GL	DMF	LP	PSP	PSE	FSH	FST	FSE
REP	2	2.925 **	23.20 **	0.045 **	0.314 ns	0.006 ns	0.055 ns	0.075 *
GRUPOS	8	129.4 **	3.331 ns	0.030 **	0.530 ns	0.041 ns	0.194 **	0.390 **
ERROR	16	0.717	2.112	0.011	0.642	0.025	0.028	.0276
TOTAL	26							
CV (%)		0.7	4.8	11.2	11.7	32.5	19.1	15.3
MEDIA		109.5	29.8	0.9	6.7	0.4	0.8	1.0

ns=no significativo, \* significativo al 5% y \*\*altamente significativo al 1% de probabilidad, respectivamente

Continuación...Cuadro 4.3.- Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza en el ambiente 2.

FV	GL	FSTOT	GE	PGE	P1000G	RG	EM2
REP	2	0.343 ns	3.933 ns	0.005 ns	4.517 ns	0.189 **	1580.0 ns
GRUPOS	8	1.343 **	43.02 **	0.076 **	29.40 **	0.650 **	15179.5 **
ERROR	16	0.168	6.721	0.010	2.829	0.034	1686.2
TOTAL	26						
CV (%)		16.6	8.2	12.9	6.6	22.0	12.7
MEDIA		2.4	31.5	0.7	25.1	0.8	323.1

ns=no significativo, \* significativo al 5% y \*\*altamente significativo al 1% de probabilidad, respectivamente

### Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos del ambiente 2.

En el Cuadro 4.4 se presentan los resultados de la comparación de medias entre grupos de genotipos para las variables en estudio, donde se observa que para la variable de longitud de hoja el grupo 7 (progenitores primaverales) registró el valor más alto, aunque estadísticamente igual a los grupos 5 y 8 (AN-38 x ABT y progenitores intermedios, respectivamente). Para longitud de arista, el grupo 9 (progenitor invernal), registró el menor valor (barba reducida). Asimismo, los progenitores primaverales e intermedios registraron el mayor valor para esta característica. Al igual que en el ambiente 1, el progenitor invernal (grupo 9) registró el mayor número de días a espigamiento y madurez fisiológica (DE y DMF). Por otra parte, los progenitores primaverales e intermedios (grupos 7 y 8), fueron los más precoces. Con respecto a las variables de producción de biomasa en las que se registraron diferencias estadísticas (FST, FSE y FSTOT), los progenitores primaverales e intermedios (grupos 7 y 8) rindieron significativamente mayor biomasa. Al contrario, el progenitor invernal (grupo 9), rindió significativamente menos biomasa, aunque fue estadísticamente igual a otros grupos. Para el rendimiento de grano se repitieron las mismas tendencias reportadas en el ambiente 1, esto es, los progenitores primaverales e intermedios (grupos 7 y 8), fueron los más rendidores y el progenitor invernal (grupo 9), el de menor rendimiento.

Cuadro 4.4.- Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos del ambiente 2.

GRUPO	LH	AH	DE	LE	LA	ALT	DMF
1	13.9 bc	1.24 a	78.0 bc	10.1 ab	3.36 cd	75.4 ab	107.3 c
2	13.2 bc	1.17 ab	81.0 b	10.4 ab	2.56 d	76.1 ab	112.0 b
3	12.1 c	1.08 b	81.0 b	10.8 a	4.13 bc	68.3 b	113.3 b
4	12.8 c	1.18 ab	82.3 ab	10.3 ab	3.53 cd	74.6 ab	112.0 b
5	14.8 abc	1.28 a	73.3 c	9.8 bc	3.23 cd	72.2 ab	109.3 c
6	13.4 bc	1.20 ab	81.0 b	10.3 ab	5.30 ab	86.6 a	108.0 c
7	17.0 a	1.26 a	61.6 d	8.9 c	5.73 a	70.8 b	99.3 e
8	15.8 ab	1.26 a	66.6 d	9.1 c	5.50 a	68.3 b	102.3 d
9	12.9 c	1.18 ab	86.6 a	10.8 ab	2.80 d	68.3 b	122.0 a
DMS	2.709	0.126	5.419	0.978	1.241	15.46	2.460

GRUPO	LP	PSP	PSE	FSH	FST	FSE	FSTOT
1	29.2 a	0.93 a	6.98 a	0.49 a	0.92 abc	1.11 bc	2.53 abc
2	29.2 a	0.84 a	6.85 a	0.37 a	0.72 bc	0.89 c	1.99 c
3	29.3 a	0.83 a	6.73 a	0.41 a	0.70 bc	0.79 c	1.91 c
4	29.8 a	0.88 a	6.31 a	0.30 a	0.74 bc	1.04 bc	2.10 c
5	30.9 a	1.04 a	7.05 a	0.43 a	0.80 abc	1.00 c	2.24 bc
6	31.9 a	1.03 a	6.53 a	0.66 a	1.04 ab	0.93 c	2.65 abc
7	30.2 a	1.02 a	7.13 a	0.61 a	1.18 ab	1.81 a	3.61 a
8	28.9 a	1.05 a	7.43 a	0.58 a	1.29 a	1.52 ab	3.40 ab
9	28.6	0.80 a	6.10 a	0.50 a	0.50 c	0.66 c	1.68 c
DMS	4.221	0.306	2.328	0.462	0.490	0.485	1.192

GRUPO	GE	PGE	P1000G	RG	EM2
1	32.1 ab	0.75 ab	23.6 bcd	0.77 bc	325.0 bc
2	31.0 ab	0.77 ab	25.2 abcd	0.57 bc	279.0 bc
3	37.9 a	0.84 ab	22.1 cd	0.65 bc	260.0 bc
4	27.7 b	0.58 b	21.7 cd	0.49 bc	313.6 bc
5	30.66	0.80 ab	26.4 abc	0.76 bc	304.0 bc
6	27.8 b	0.78 ab	28.1 ab	0.90 b	311.0 bc
7	35.5 a	1.03 a	28.5 ab	1.67 a	484.6 a
8	34.4 ab	1.01 a	29.4 a	1.51 a	377.6 ab
9	27.0 b	0.57 b	21.2 d	0.24 c	253.3 c
DMS	7.530	0.299	4.886	0.539	119.2

\*Medias con la misma literal no son significativamente diferentes entre sí.

**Resultados de los análisis de varianza combinados entre ambientes para las variables estudiadas.**

Entre ambientes (Cuadro 4.5), se registraron diferencias estadísticas altamente significativas en la producción de biomasa (FSTOT) y algunas características morfológicas y fisiológicas (LH, AH, LE, LA, DE, DMF); no así en el rendimiento de grano (RG) y algunos de sus componentes (GE, PGE). Entre los grupos, se registraron diferencias estadísticas en todas las variables, incluyendo las de producción (FSTOT y RG), indicando la amplia variabilidad genética presente entre los genotipos evaluados. Dependiendo de la variable, los coeficientes de variación oscilaron entre 0.6 y 29.4 % (DMF y FSH, respectivamente).

Cuadro 4.5.- Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza en el análisis combinado entre ambientes.

FV	GL	LH	AH	DE	LE	LA	ALT
AMB	1	19.081 **	0.114 **	21.407 **	3.177 **	0.375 *	14.004 ns
REP(AMB)	4	4.413 **	0.007 **	13.796 **	0.091 ns	0.207 ns	27.306 ns
GRUPOS	8	8.996 **	0.009 **	372.726 **	1.761 **	10.368 **	138.616 **
AMB*GPO	8	1.390 ns	0.005 **	3.532 ns	0.194 **	0.367 **	24.007 ns
ERROR	32	0.791	0.002	3.650	0.090	0.142	24.301
TOTAL	53						
CV (%)		6.0	3.6	2.4	2.9	9.5	6.6
MEDIA		14.6	1.2	77.4	10.3	3.9	73.9

ns=no significativo, \* significativo al 5% y \*\*altamente significativo al 1% de probabilidad, respectivamente

FV	GL	DMF	LP	PSP	PSE	FSH	FST	FSE
AMB	1	28.166 **	0.500 ns	0.025 *	1.611 **	0.037 ns	0.092 *	0.044 ns
REP(AMB)	4	1.759 **	17.438 **	0.024 *	0.325 ns	0.004 ns	0.038 ns	0.075 **
GRUPOS	8	255.421 **	5.283 **	0.083 **	1.577 **	0.077 **	0.282 **	0.766 **
AMB*GPO	8	6.958 **	0.986 ns	0.005 ns	0.152 ns	0.014 ns	0.090 **	0.058 *
ERROR	32	0.488	2.783	0.012	0.547	0.022	0.035	0.028
TOTAL	53							
CV (%)		0.6	5.6	11.5	10.6	29.4	20.3	15.0
MEDIA		110.2	29.7	0.9	6.9	0.5	0.9	1.1

ns=no significativo, \* significativo al 5% y \*\*altamente significativo al 1% de probabilidad, respectivamente

Continuación...Cuadro 4.5.- Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza en el análisis combinado entre ambientes.

FV	GL	FSTOT	GE	PGE	P1000G	RG	EM2
AMB	1	0.501 *	3.081 ns	0.025 ns	10.140 *	0.032 ns	11151.407 **
REP(AMB)	4	0.271 *	2.034 ns	0.018 ns	5.936 *	0.106 **	2388.148 ns
GRUPOS	8	2.262 **	40.137 **	0.100 **	37.32 **	1.366 **	25000.375 **
AMB*GPO	8	0.318 *	21.483 **	0.019 ns	5.195 ns	0.009 ns	2235.199 ns
ERROR	32	0.154	7.010	0.020	3.247	0.034	2059.585
TOTAL	53						
CV (%)		15.3	8.4	17.5	7.0	21.4	14.6
MEDIA		2.5	31.3	0.8	25.6	0.8	308.7

ns=no significativo,\* significativo al 5% y \*\*altamente significativo al 1% de probabilidad,respectivamente

### Resultados de las pruebas de comparación de medias entre ambientes del análisis combinado.

La prueba de comparación de medias entre ambientes reportó los siguientes resultados (Cuadro 4.6): sólo algunas características morfológicas y fisiológicas fueron diferentes estadísticamente (LH, AH, LE, DE y DMF), reportando valores superiores para el ambiente 1 (sequía severa, fertilizado); no se registraron diferencias estadísticas para las variables de producción de biomasa (FSH, FST, FSE y FSTOT), aunque con diferencias numéricas (biológicas) para el ambiente 1. Con respecto al rendimiento de grano (RG) y la mayoría de sus componentes (GE, PGE y P1000G), no se reportaron diferencias estadísticas entre los ambientes de prueba.

### Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos del análisis combinado.

Con respecto a la prueba de comparación de medias entre grupos del análisis combinado (Cuadro 4.7), se reportaron diferencias estadísticas en todas las características evaluadas, excepto LP, confirmando la gran variabilidad genética entre los genotipos evaluados que se refleja en la diferente respuesta fenotípica expresada en la mayoría de las variables en estudio.

Cuadro 4.6.- Resultados de la prueba de comparación de medias entre ambientes del análisis combinado.

AMB	LH	AH	DE	LE	LA	ALT	DMF
1	15.2 a	1.3 a	78.1 a	10.5 a	3.8 a	74.4 a	110.9 a
2	14.0 b	1.2 b	76.8 b	10.0 b	4.0 a	73.4 a	109.5 b
DMS	0.493	0.025	1.059	0.166	0.209	2.732	0.387

AMB	LP	PSP	PSE	FSH	FST	FSE	FSTOT
1	29.6 a	0.9 a	7.1 a	0.5 a	0.9 a	1.1 a	2.6 a
2	29.8 a	0.9 a	6.7 a	0.4 a	0.8 a	1.0 a	2.4 a
DMS	0.924	0.061	0.410	0.083	0.104	0.093	0.217

AMB	GE	PGE	P1000G	RG	EM2
1	31.1 a	0.83 a	26.0 a	0.8 a	294.4 b
2	31.5 a	0.79 a	25.1 a	0.8 a	323.1 a
DMS	1.467	0.079	0.999	0.103	25.16

\*Medias con la misma literal no son significativamente diferentes entre sí.

Cuadro 4.7.- Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos del análisis combinado.

GRUPO	LH	AH	DE	LE	LA	ALT	DMF
1	14.5 bcd	1.2 abc	78.5 cd	10.4 b	3.3 bc	74.3 b	109.6 d
2	13.5 d	1.2 c	81.1 bc	10.4 b	2.4 d	75.5 b	112.6 bc
3	13.5 d	1.1 c	81.0 bc	11.0 a	3.7 b	70.8 b	113.3 b
4	13.9 cd	1.2 abc	82.3 b	10.4 b	3.5 bc	72.5 b	111.5 c
5	15.3 abc	1.3 a	75.8 d	10.1 bc	3.0 cd	73.3 b	112.0 bc
6	14.3 bcd	1.2 abc	81.8 bc	10.4 b	5.7 a	85.8 a	108.0 e
7	16.9 a	1.2 abc	62.1 f	9.3 d	5.5 a	70.6 b	100.0 g
8	15.9 ab	1.2 ab	67.5 e	9.7 cd	5.4 a	70.0 b	102.5 f
9	13.5 d	1.2 bc	87.0 a	11.0 a	2.5 d	72.5 b	122.5 a
DMS	1.706	0.088	3.664	0.576	0.724	9.455	1.340

\*Medias con la misma literal no son significativamente diferentes entre sí.

Continuación...Cuadro 4.7.- Resultados de las pruebas de comparación de medias entre grupos del análisis combinado entre ambientes.

GRUPO	LP	PSP	PSE	FSH	FST	FSE	FSTOT
1	28.9 a	0.9 abc	7.1 ab	0.5 ab	0.9 ab	1.1 b	2.6 bcd
2	28.8 a	0.8 bc	7.0 ab	0.3 b	0.7 b	0.9 bc	2.1 de
3	29.1 a	0.8 c	6.8 ab	0.4 ab	0.6 b	0.6 d	1.6 e
4	29.5 a	0.9 abc	6.5 ab	0.3 b	0.7 b	1.0 bc	2.1 de
5	31.2 a	1.0 a	7.0 ab	0.5 ab	0.9 ab	1.0 bc	2.4 cd
6	31.2 a	1.0 ab	6.8 ab	0.6 a	1.1 a	1.1 b	3.0 abc
7	30.2 a	1.0 a	7.4 a	0.5 ab	1.1 a	1.8 a	3.5 a
8	28.9 a	1.0 a	7.7 a	0.5 ab	1.1 a	1.5 a	3.2 ab
9	29.4 a	0.8 bc	5.9 b	0.6 ab	0.7 b	0.7 cd	2.1 de
<b>DMS</b>	3.200	0.213	1.419	0.290	0.359	0.322	0.754

GRUPO	GE	PGE	P1000G	RG	EM2
1	31.4 abc	0.7 bc	24.4 cde	0.7 bc	301.0 bc
2	30.4bc	0.7 bc	25.4 bcde	0.5 bcd	273 bc
3	33.3 ab	0.8 abc	23.4 de	0.6 bc	245.5 c
4	28.7 bc	0.6 c	23.4 de	0.5 d	289.6 bc
5	32.4 abc	0.8 abc	26.7 abcd	0.8 bc	288.3 bc
6	28.1 c	0.7 bc	27.1 abc	0.9 b	342.3 b
7	35.6 a	1.0 a	29.4 a	1.7 a	449.0 a
8	33.3 ab	0.9 ab	28.4 ab	1.4 a	350.0 b
9	28.5 bc	0.6 bc	22.0 e	0.2 d	240.0 c
<b>DMS</b>	5.078	0.275	3.456	0.347	87.05

\*Medias con la misma literal no son significativamente diferentes entre sí.

## DISCUSIÓN

Los valores reportados en este estudio de las características evaluadas, tanto bajo déficits de humedad como de fertilización, indican que en general, las variables de producción de forraje y de grano, así como sus componentes, fueron de magnitud relativamente baja, indicando principalmente el efecto detrimental de la deficiencia de humedad sobre la expresión de las características mencionadas en los genotipos evaluados, y en segundo lugar, el efecto detrimental de la ausencia de fertilización nitrogenada (ambiente 2). Lo anterior concuerda con lo señalado por Richards et al, (2002), que mencionan que en ambientes con condiciones de sequía severa, como fue el caso de Navidad, es un reto difícil para los mejoradores lograr incrementos en el rendimiento y por ende en sus componentes, mientras que en ambientes favorables las ganancias en rendimiento pueden ser mucho mayores.

Los resultados de los análisis de varianza combinados entre ambientes indicaron que las diferencias encontradas entre los mismos no fueron tan importantes como las diferencias registradas entre los grupos de genotipos (Cuadro 4.5), esto en base a la magnitud de sus cuadrados medios en la totalidad de las características evaluadas. Con respecto a las características que estimaron la productividad de los genotipos bajo las condiciones de este estudio, tanto para biomasa como para grano (FSTOT y RG), los tipos más precoces (grupos 7 y 8) registraron significativamente los mayores rendimientos en comparación con los genotipos más tardíos, por ejemplo, el grupo 9 (Cuadro 4.7), concordando con lo reportado por Van Ginkel et al (1998), que mencionan que en ambientes áridos y semiáridos donde los cereales están expuestos al estrés de sequía terminal, una menor duración del ciclo del cultivo, típica estrategia de escape, puede ser útil al sincronizar el ciclo del cultivo con las condiciones ambientales más favorables (Van Ginkel et al, 1998). De esta forma, el ambiente 2 de Navidad (déficit hídrico severo, sin fertilización), registró en promedio de los genotipos los valores más bajos en la mayoría de las variables, por lo cual se le consideró como el ambiente más desfavorable.



Para las características que inciden en la producción de biomasa (FSH, FST, FSE y FSTOT), las tendencias encontradas en este estudio concuerdan con lo mencionado por diversos autores con respecto a las características más adversamente afectadas al aumentar el estrés ambiental, que reportan entre otras, una aceleración del desarrollo de la planta y la subsecuente reducción en su tamaño (Midmore et al., 1984; Shpiler y Blum, 1986); incrementos en la respiración (Berry y Bjorkman, 1980) y reducción en la fotosíntesis (Al-Katib y Paulsen, 1984; 1986; Reynolds et al, 2000); para las características que inciden en el rendimiento de grano, están la inhibición de la síntesis de almidón en los granos en desarrollo (Jenner, 1991); reducción en el número de espigas por planta, número de granos por espiga y menor peso de grano (Warrington et al, 1977), y aceleración de la senescencia en las plantas (Al-Katib y Paulsen, 1984), varios de los cuales pudieron ser documentados y confirmados en este estudio.

### **Resultados de los análisis de regresión simple entre las principales variables de interés.**

Los resultados de los análisis de regresión (promedio de los dos ambientes) entre las principales variables agronómicas, morfológicas y fisiológicas y el rendimiento de biomasa y grano mostraron en forma general una relación positiva y significativa ( $P < 0.05$ ) que permitió identificar las principales características ligadas positivamente al rendimiento bajo las condiciones de este estudio. Con respecto a las características morfológicas, el peso seco del pedúnculo (PSP) registró una relación positiva y significativa con el rendimiento de forraje (FSTOT,  $R^2 = 0.23$ , Figura 4.1) y con el rendimiento de grano (RG,  $R^2 = 0.23$ , Figura 4.2). Asimismo, la longitud de la hoja bandera (LH) registró una relación positiva y significativa con el rendimiento de forraje (FSTOT,  $R^2 = 0.23$ , Figura 4.3) y con el rendimiento de grano (RG,  $R^2 = 0.24$ , Figura 4.4).

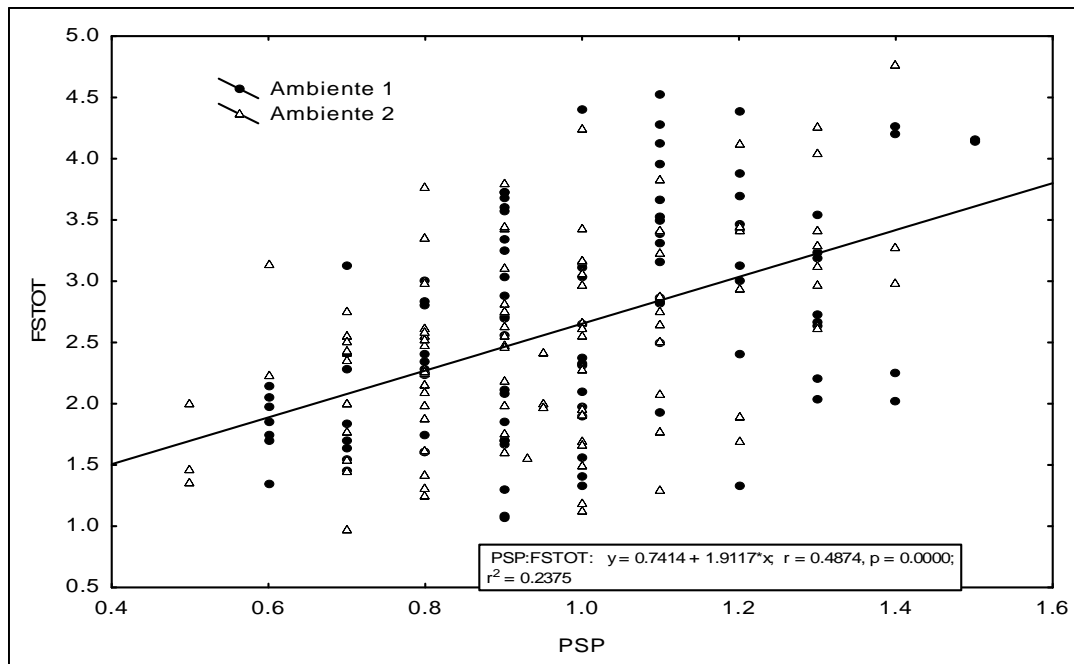


Figura 4.1. Relación entre el peso seco del pedúnculo (PSP) y el rendimiento de biomasa (FSTOT).

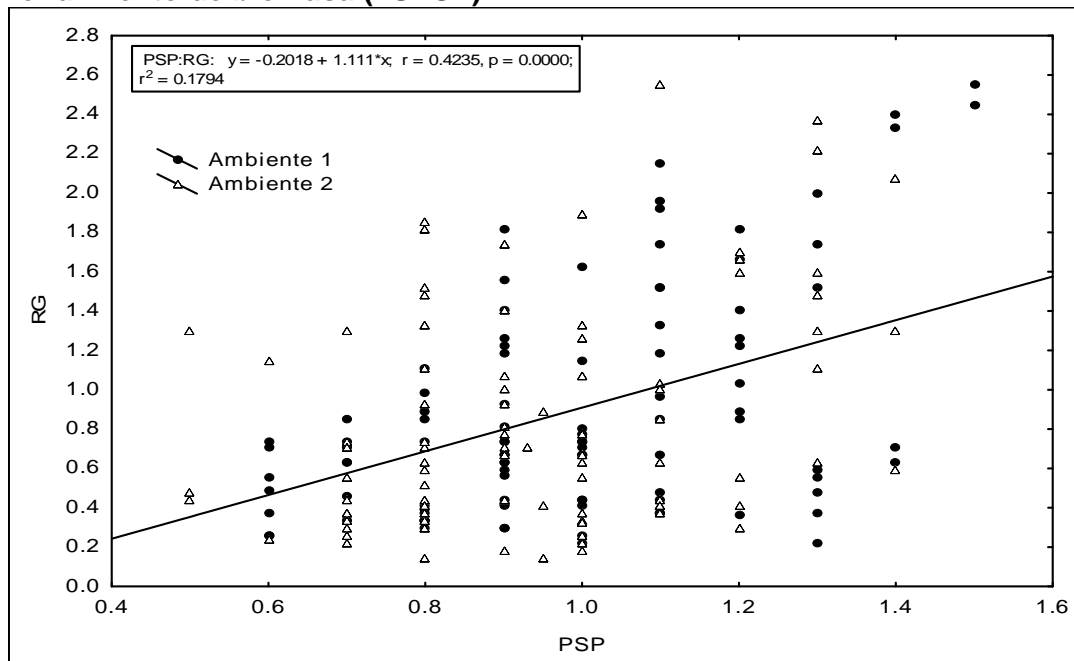
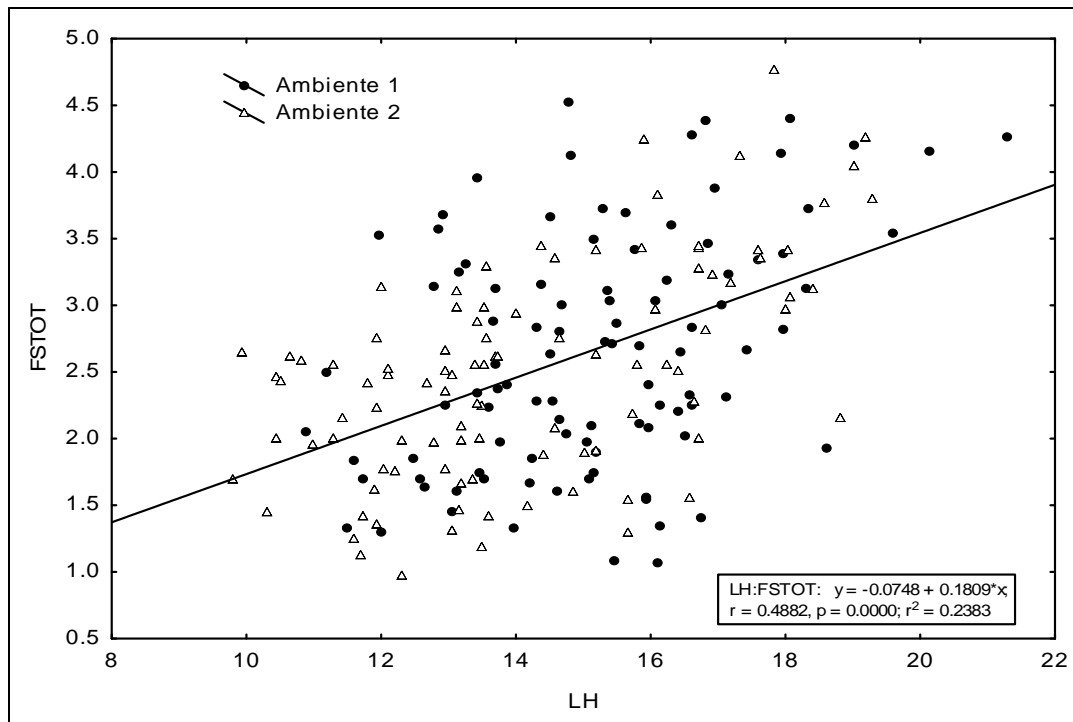
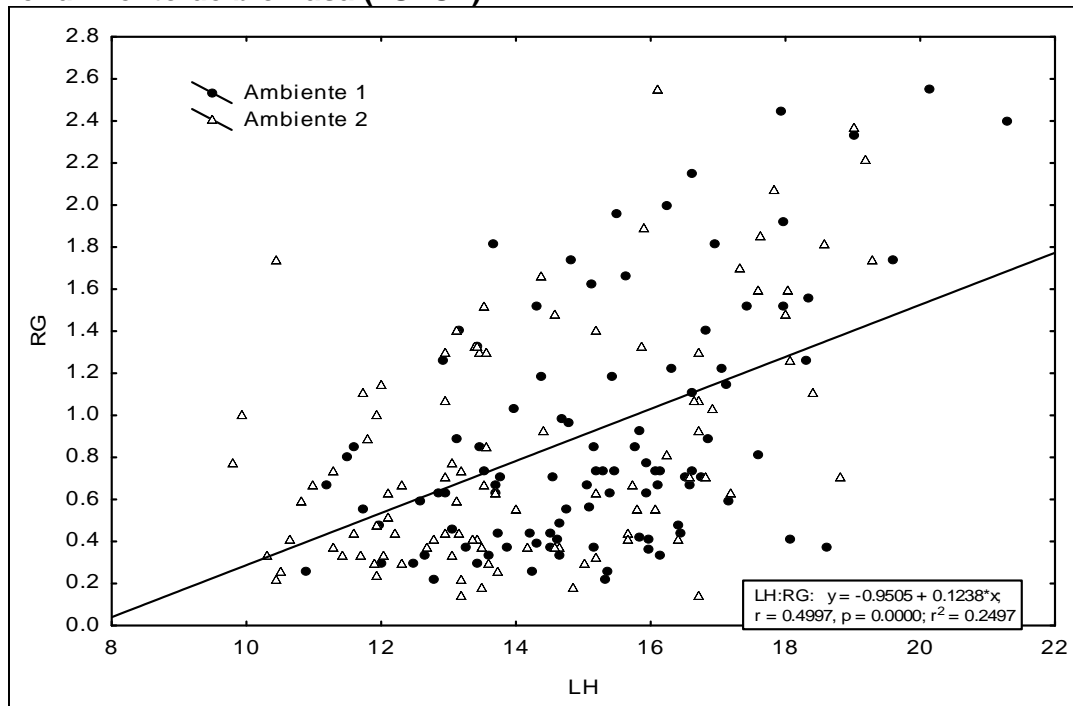


Figura 4.2. Relación entre el peso seco de pedúnculo (PSP) y el rendimiento de grano (RG).



**Figura 4.3. Relación entre la longitud de la hoja bandera (LH) y el rendimiento de biomasa (FSTOT).**



**Figura 4.4. Relación entre la longitud de la hoja bandera (LH) y el rendimiento de grano (RG).**

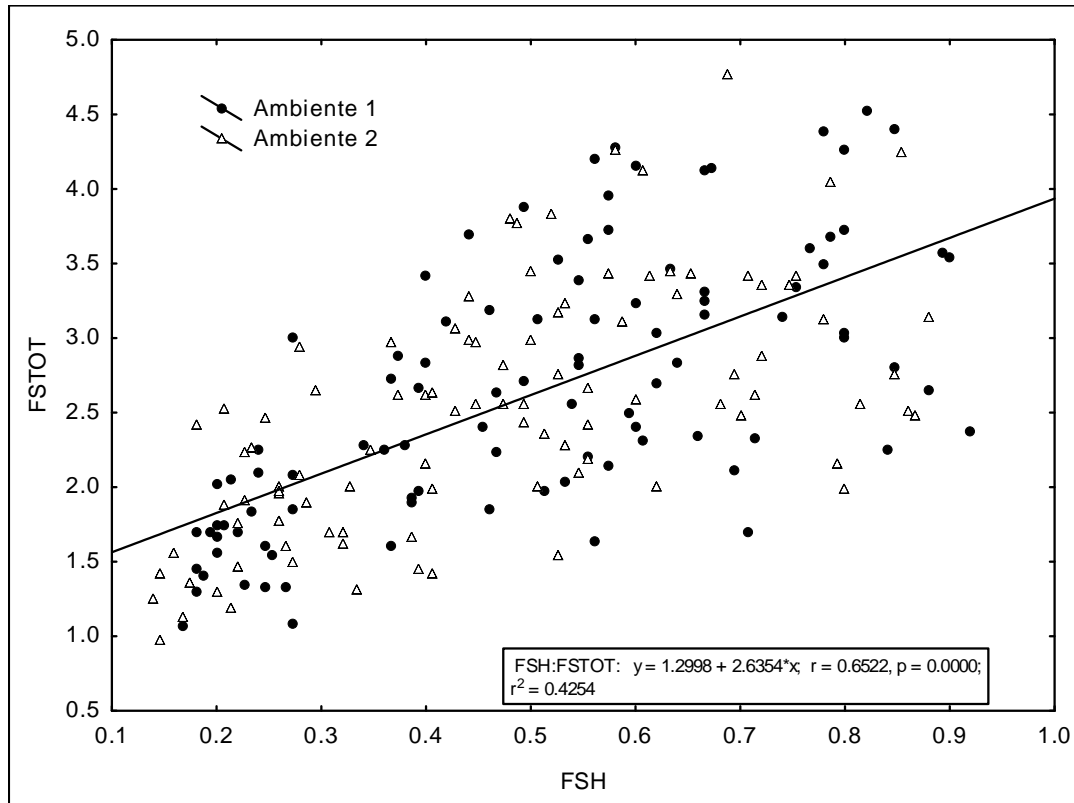
A este respecto, Wardlaw, (1990), reporta que el pedúnculo, localizado en el primer entrenudo bajo la espiga, tiene una diversidad de funciones críticas en la productividad de los cereales. El desarrollo del

sistema vascular en el pedúnculo es esencial para transportar los fotosintatos para el llenado de grano (Wardlaw, 1990). Bajo estrés de sequía o temperaturas altas, este órgano (y en particular la parte expuesta), mantiene significativamente un mayor potencial hídrico que la hoja bandera (Wardlaw, 2002). También Kong et al (2010), concluyen que los pedúnculos expuestos poseen ventajas anatómicas, ultraestructurales y fisiológicas sobre la hoja bandera para la fotosíntesis. Concluyen que los pedúnculos expuestos tienen una fuerte capacidad fotosintética y proporciona asimilados para el desarrollo de los granos durante la etapa de llenado.

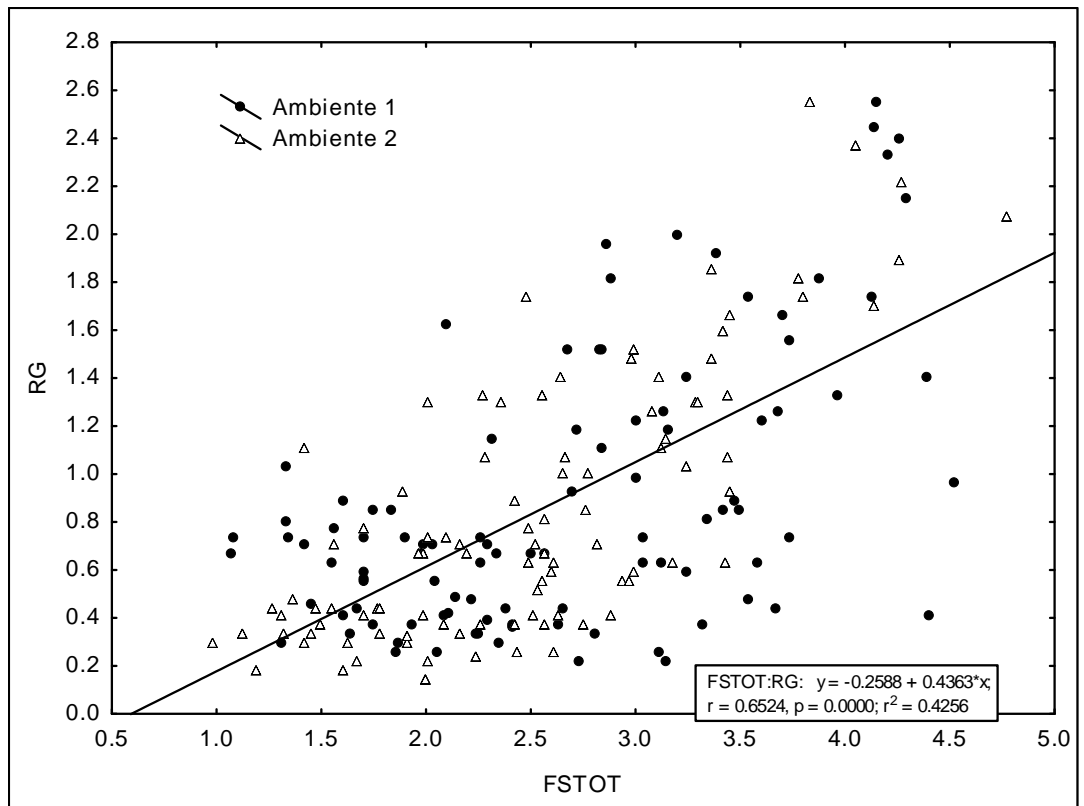
Los resultados anteriores concuerdan con lo reportado por Fischer y Maurer (1978) y Villegas et al (2007), en trigo duro, ya que señalan que el peso del pedúnculo, además del peso y longitud de la espiga y la longitud de las aristas están significativamente relacionadas con el rendimiento de grano en ambientes con sequía terminal. También, los resultados de este estudio apoyan los hallazgos de algunos autores (Kaul, 1974; Briggs y Aytenfisu, 1980) que señalan que los tejidos verdes encima del nudo de la hoja bandera son los principales responsables de la producción de carbohidratos que llenan los granos, ya que las hojas inferiores pierden rápidamente su capacidad de asimilación y mueren pronto bajo condiciones de sequía. Consideran asimismo que la hoja bandera aporta la mayor contribución al rendimiento de grano por su corta distancia a la espiga y el hecho de que permanece verde por más tiempo que el resto de las hojas. Los carbohidratos son removilizados desde el pedúnculo de la espiga y la hoja bandera durante el llenado de grano (Zamski y Grunberger, 1995).

También se reportó una relación importante y significativa ( $R^2=0.42$ ) entre el rendimiento de forraje seco foliar (FSH) y la biomasa total (FSTOT); lo anterior debido a que en el mejoramiento de triticale para uso forrajero, es muy deseable que simultáneamente con una mayor producción de biomasa total, esta vaya acompañada de una mayor proporción de hojas, factor muy importante ligado a una mayor calidad del forraje (Figura 4.5). Asimismo, la relación positiva y significativa entre el rendimiento de biomasa total

(FSTOT) y el rendimiento de grano (RG), ( $R^2 = 0.42$ , Figura 4.6), resalta la importancia de seleccionar genotipos que además de una mayor producción de biomasa, tengan paralelamente una adecuada producción de grano, aspecto muy importante en la producción y comercialización de una variedad determinada, tomando en cuenta principalmente el aspecto económico de la producción de semilla (relación beneficio-costos).



**Figura 4.5. Relación entre el forraje seco foliar (FSH) y la biomasa total (FSTOT).**



**Figura 4.6. Relación entre la biomasa seca total (FSTOT) y el rendimiento de grano.**

Con respecto al rendimiento de grano y sus componentes, en este estudio se registraron relaciones positivas y significativas entre este y el número de granos por espiga (GE,  $R^2=0.23$ ), peso de granos por espiga (PGE,  $R^2=0.37$ ), peso de 1000 granos (P1000G,  $R^2=0.28$ ) y el número de espigas por  $m^2$  (EM2,  $R^2=0.33$ ), (Figuras 4.7 a 4.10).

Por otra parte, confirmando las ventajas de los genotipos precoces en este tipo de ambientes, se registró una relación negativa y significativa entre los días a madurez fisiológica y el rendimiento de grano (DMF,  $R^2=0.44$ ), (Figura 4.11).

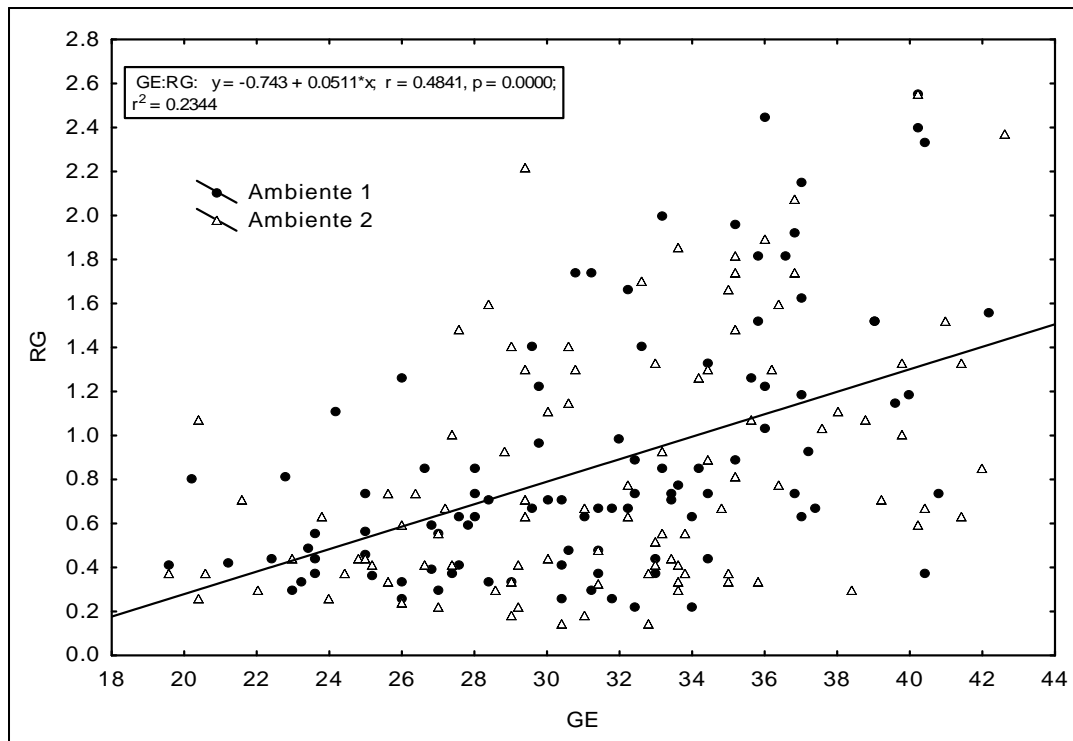


Figura 4.7. Relación entre el número de granos por espiga (GE) y el rendimiento de grano (RG).

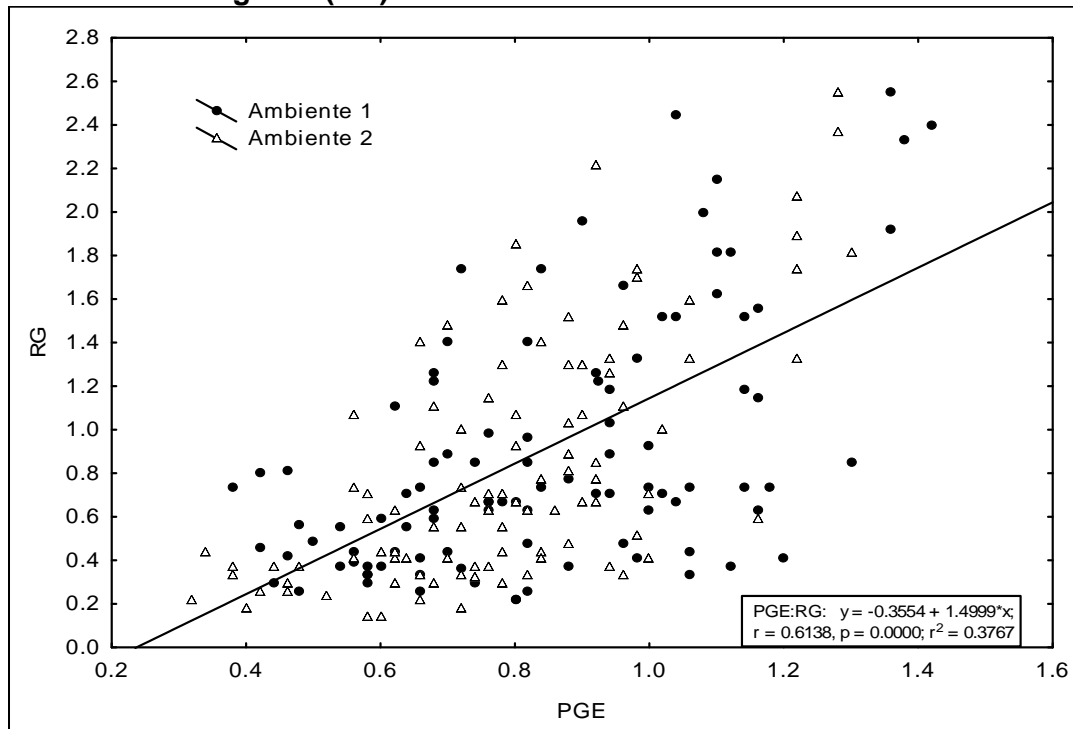


Figura 4.8. Relación entre el peso de granos por espiga (PGE) y el rendimiento de grano (RG).

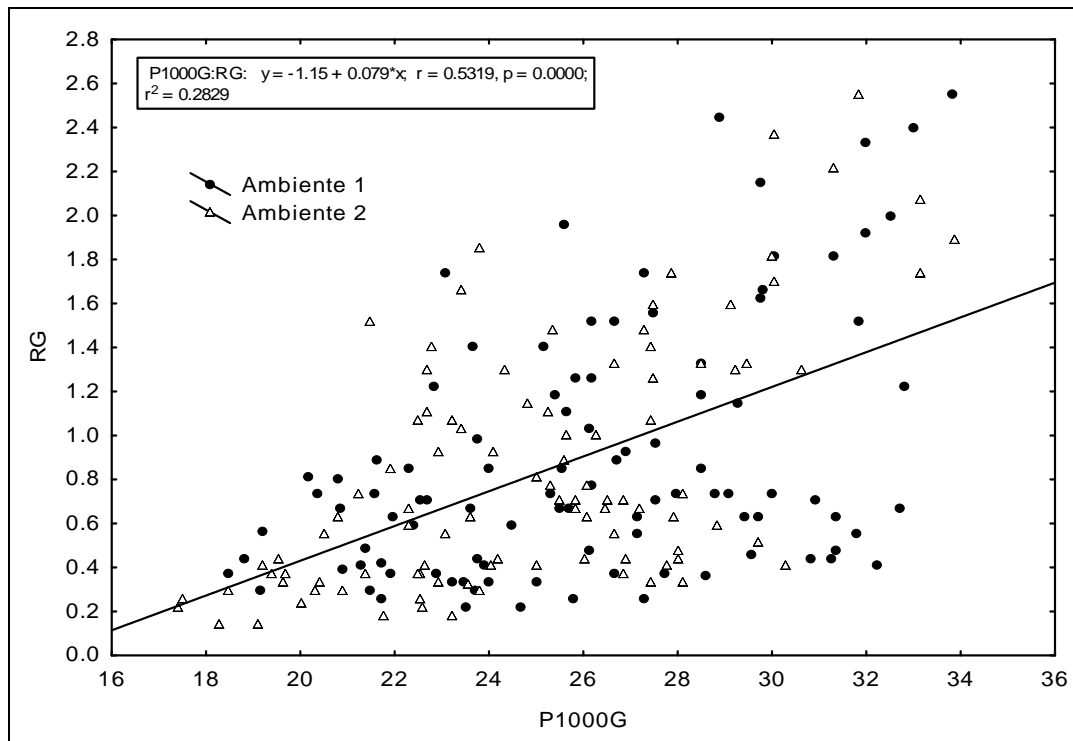


Figura 4.9. Relación entre el peso de 1000 granos (P1000G) y el rendimiento de grano (RG).

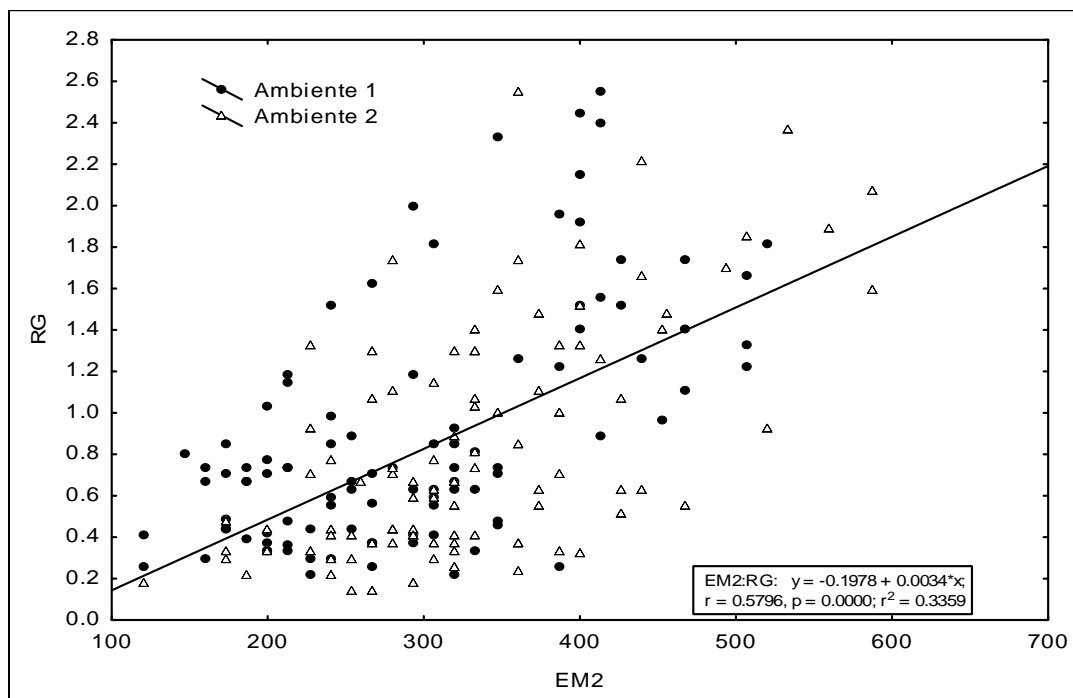


Figura 4.10. Relación entre el número de espigas por  $m^2$  (EM2) y el rendimiento de grano (RG).



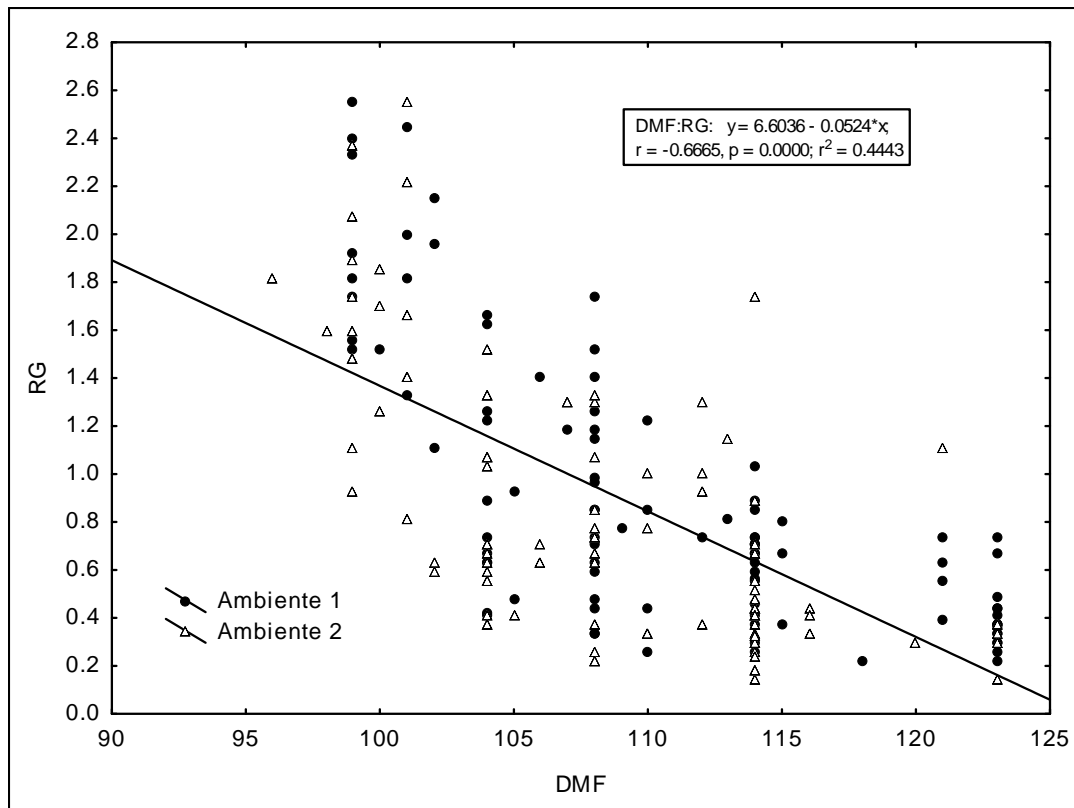


Figura 4.11. Relación entre los días a madurez fisiológica (DMF) y el rendimiento de grano (RG).

## VI. CONCLUSIONES

En base a las condiciones bajo las cuales se realizó esta investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Las diferencias biológicas encontradas entre los ambientes de evaluación para la mayoría de las variables en estudio, no fueron estadísticamente significativas, particularmente en las variables de producción de biomasa y grano, indicando posiblemente la capacidad de los genotipos estudiados para utilizar más eficientemente los pocos recursos nutrimentales del suelo en el ambiente sin fertilización nitrogenada
- El peso seco del pedúnculo y el peso seco de la hoja bandera son características morfológicas que pueden utilizarse en la selección indirecta para rendimiento de biomasa y grano en ambientes con déficits de humedad en base a su significativa y positiva asociación.
- En este estudio se confirma la ventaja de los genotipos precoces en la producción de biomasa y/o grano bajo las condiciones de déficit de humedad y fertilización.
- En este estudio se confirma la relación positiva entre la producción de biomasa y el rendimiento de grano de los genotipos evaluados, indicando la eficacia de selección para la generación de variedades con mejor balance entre la producción de forraje y la producción de semilla.

## VII. LITERATURA CITADA

- Acevedo, E. 1991. Improvement of winter cereal crops in Mediterranean environments. Use of yield, morphological and physiological traits. In Acevedo, E. (ed): Physiology-Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments. Le Colloque No. 55, pp 273-305, INRA, Paris.
- Al-Katib, K., Paulsen, G.M., 1984. Mode of high temperature injury to wheat during grain development. *Plant Physiol.* 61, 363-368.
- Amani, I., Fischer, R.A., Reynolds, M.P., 1996. Canopy temperature depression association with yield of irrigated spring wheat cultivars in a hot climate. *J. Agron. Crop Sci.* 176: 119-129.
- Ammar, K., Mergoum, M. Rajaram, S. 2004. The history and evolution of triticale. In: Mergoum, M. Mergoum H. (eds.): *Triticale Improvement and Production*. FAO, 2-9.
- Araus JL, Bort J, Brown RH, Bassett CL, Cortadellas N. 1993. Immunocytochemical localization of phosphoenolpyruvate carboxylase and photosynthetic gas-exchange characteristics in ears of *Triticum durum* Desf. *Planta.* 191(4):507-514.
- Araus, J.L., G.A. Slafer, C. Royo, and D.D. Seeert. 2008. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Reviews in Plant Science.* 27: 377-412.
- Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P., Royo, C. 2002. Plant breeding and drought in C<sub>3</sub> cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.* 89, 925-940.

- Aschan G, Pfanzen H. 2003. Non-foliar photosynthesis-a strategy of additional carbon acquisition. *Flora*. 198 (2): 233-245.
- Ayeneh, A., M. van Ginkel, M.P. Reynolds, and K. Ammar. 2002. Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Res.* 79: 173-184.
- Beharav, A., A., Cahaner, and M.J. Pinthus. 1998. Genetic correlations between culm length, grain yield and seedling elongation within tall (rht+1) and semidwarf (Rth1) spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Eur. J. Agron.* 9, 35-40.
- Berdahl, J. D., D. C. Rasmusson, and D. N. Moss. 1972. Effect of leaf area on photosynthetic rate, light penetration and grain yield in barley. *Crop Sci.* 12: 177-180.
- Berry, J., Bjorkman, O. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Ann. Rev. Plan Physiol.* 31: 491-532.
- Blum, A. 1980. Genetic improvement of drought adaptation. In: N. C. Turner and P. J. Kramer (eds). *Adaptation of plants to water and high temperature stress.* 450-452. John Wiley and Sons, New York.
- Blum, A.. 1986. The effect of heat stress on wheat leaf and ear photosynthesis. *J. Exp. Bot.* 37 (174), 111-118.
- Blum, A.. 1988. *Plant breeding for stress environments.* CRC Press, Boca Raton, FL, p. 72.
- Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regul.* 20:135-148.
- Boyer, J., 1971. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. *Plant Physiol.* 47, 816-820.

- Briggs, K. G., and A. Aytenfisu. 1980. Relationship between morphological characters above the flag leaf node and grain yield in spring wheat. *Crop Sci.* 20: 350-354.
- Bruckner, L. P., and R. C. Froberg. 1987. Stress tolerance and adaptation in spring wheat. *Crop Sci.* 27: 31-36.
- Cabrera-Bosquet, L., Albrizio, R., Araus, J.L., Nogués, S. 2009. Photosynthetic capacity of field-grown durum wheat under different N availabilities: a comparative study from leaf to canopy. *Environ. Exp. Bot.* 67: 145-152.
- Canevara, M.G., M. Romani, M. Corbellini, M. Perenzin, and B. Borghi. 1994. Evolutionary trends in morphological, physiological, agronomical and qualitative traits of *Triticum aestivum* L. cultivars bred in Italy since 1900. *Eur. J. Agron.* 3: 175-185.
- Cattivelli, L., Delogu, G., Terzi, V., Stanca, A.M. 1994. Progress in barley breeding. In: Slafer, G.A. (Ed.), *Genetic Improvement of Field Crops*. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 95-181.
- Ehdaie, B., M.R. Shakiba. 1996. Relationship of internode-specific weight and water-soluble carbohydrates in wheat. *Euphytica*, 99: 127-136.
- Evans L.T., Rawson HM. 1970. Photosynthesis and respiration by the flag leaf and components of the ear during grain development in wheat. *Australian Journal of Biological Science.* 23(3): 245-254.
- Evans, L. T., J. Bingham, P. Jackson, and J. Sutherland, 1972: Effect of awns and drought on the supply of photosynthates and its distribution within wheat ears. *Ann. Appl. Biol.* 70: 67-76.
- Ferguson, H., Eslick, R.F., Aase, J.K. 1973. Canopy temperatures barely as influenced by morphological characteristics. *Agron. J.* 65: 425-428

- Fischer, R. A., and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
- Fischer, R.A. y G. Edmeades. 2010. Breeding and cereal yield progress. *Crop Sci. (Suppl.)*, S85-S98.
- Fox, P.N., Skovmand, B., Thompson, B.K., Braun, H.J., Cormier, R. 1990. Yield and adaptation of hexaploid spring tricale. *Euphytica* 47: 57-64.
- Gates, D.M., 1964. Leaf temperature and transpiration. *Agron. J.* 56: 273-277.
- Gebbing T. 2003. The enclosed and exposed part of the peduncle of wheat (*Triticum aestivum*)- spatial separation of fructan storage. *New Phytologist*. 159 (1): 245-252.
- Giunta, F., Motzo, R., Deidda, M., 1995. Effects of drought on leaf area development, biomass production and nitrogen uptake of durum wheat grown in a Mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res.* 46: 99-111.
- Hatfield, J.L., Pinter Jr., P. J., Chasserary, E., Ezra, C.E., Reginato, R.J., Idos, S.B., Jackson, R.D. 1984. Effects of panicles on infrared thermometer measurements of canopy temperature in wheat. *Agric. For. Meteorol.* 32: 97-105.
- Hirasawa, T., Ozawa, S., Taylaran, R.D., Ookawa, T. 2010. Varietal differences in photosynthetic rates in rice plants, with special reference to the nitrogen content of leaves. *Plant Prod. Sci.* 13: 53-57.
- Hochman, Z. 1982. Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi-arid environment. *Field Crops Res.* 5: 55-67.
- Janusauskaite, D., Feiziene, D., Feiza, V. 2017. Nitrogen-induced variations in leaf exchange of spring triticale under field conditions. *Acta Physiol. Plant.* 39: 193: 1-12.

- Jenner, C.F., 1991. Effects of exposure of wheat ears to high temperature on dry matter accumulation and carbohydrate metabolism in the grain of two cultivars. I. Immediate responses. *Aust. J. Plant Physiol.* 18: 165-177.
- Johnson, R.R., Frey, N.M., Moss, D.N. 1974. Effects of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. *Crop Sci.* 14: 724-731.
- Kaul, R. 1974. Potential net photosynthesis in flag leaves of severely drought-stressed wheat cultivars and its relationship to grain weight. *Can. J. Plant Sci.* 53: 811-815.
- Kaya, Y., A. Topal, E. Gonulal, and R. Z. Arisoy. 2002. Factor analysis of yield traits in genotypes of durum wheat (*Triticum durum*). *Indian J. Agric. Sci.* 72: 30.1-30.3.
- Kong, L., F. Wang, B. Feng, S. Li, J. Si, B. Zhang. 2010. The structural and photosynthetic characteristics of the exposed peduncle of wheat (*Triticum aestivum* L.): an important photosynthate source for grain-filling. *BMC Plant Biology.* 10: 141.
- Lelley, T. 2006. Triticale: A low-input cereal with untapped potential. In: Singh, R. J. Jauhar, P.P (eds.) *Genetic Resources Chromosome Engineering and Crop Improvement. Vol.2: Cereals.* Boca Raton (FL): CRC Press, Taylor Francis Group, FL. Pp. 395-430.
- Li, D., Tian, M., Cai, J., Jiang, D., Cao, W., Dai, T. 2013. Effects of low nitrogen supply on relationships between photosynthesis and nitrogen status at different leaf position in wheat seedlings. *Plant Growth Regul.* 70: 257-263.
- Lilley, J.M., Fukai, S. 1994. Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars. III. Phenological development, crop growth and grain yield. *Field Crops Res.* 37: 225- 234.

- Lonbani, M y A. Arzani. 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought stress tolerance in triticale and wheat. *Agronomy Research*. 9 (1-2): 315-329.
- Lozano del Río, A, J. 2002. Triticales forrajeros para la Región Lagunera. *Revista Agropecuaria Laguna*. 29(6):4-5.
- Midmore, D.J., Cartwright,P.M., Fischer, R.A., 1984. Wheat in tropical environments. II. Growth and grain yield. *Field Crops Res*. 8: 207-227.
- Minhas, A. S., A. S. Randhawa, and K. Chand. 1978. Effect of awns and leaf-blades on the grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L. Em Thell.). *J. Res. Punjab Agric. Univ*. 15: 1-7.
- Morgan, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 35: 299-319.
- Motzo, R., and F. Giunta. 2002. Awnedness affects grain yield and kernel weight in near-isogenic lines of durum wheat. *Aust. J. Agric. Res*. 53: 1285-1293.
- Olszewski, J., Makowska, M., Pszczolkowska, A., Okorski, A., Bieniaszewski, T. 2014. The effect of nitrogen fertilization on flag leaf and ear photosynthesis and grain yield of spring wheat. *Plant Soil Environ*. 60: 531-536.
- Pal, M., Rao, L.S., Jain, V., Srivastava, A.C., Pandeg, R., Raj, A., Singh, K.P. 2005. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and nitrogen on wheat growth and photosynthesis. *Biol. Plantarum*. 49: 467-470.
- Schlemmer, M., Gitelson, A.A., Schepers, J., Ferguson, R., Peng, Y., Shanahan, J., Rundquist, D. 2013. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. *Int. J. Appl. Earth*. 25: 47-54.



- Sieling, K., Bottcher, V., Kage, H. 2016. Dry matter partitioning and canopy traits in wheat and barley under varying N supply. *Eur. J. Agron.* 74: 1-8.
- Rebetzke, G. J. and R.A. Richards. 1999. Genetic improvement of early vigour in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 291-301.
- Reynolds, M.P., Balota, M., Delgado, M.I.B., Amani, I., Fischer, R.A. 1994. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 717-730.
- Reynolds, M.P., Delgado, M.I., Gutierrez-Rodriguez, B.M., Larqué-Saavedra, A. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I. Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Res.* 66: 37-50.
- Reynolds, M., M.J. Foulkes, G. A. Slafer, P. Berry, M.A.J. Parry, J.W. Snape, W.J. Angus. 2009. Raising yield potential in wheat. *Journal of Experimental Botany.* 60: 1899-1918.
- Richards, R.A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regul.* 20: 157-166.
- Richards, R.A., G. J. Rebetzke, A.G. Condon, and A. F. Herwaarden. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.* 42: 111-121.
- Rizza, F., Badeck, F. W., Cattivelli, L., Lidestri, O., Fonzo Di, N., Stanca, A. M. 2004. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Sci.* 44: 2127-2137.
- Rosyara UR, Sharma RC, Shrestha SM, Duveiller E. 2005. Yield and yield components response to defoliation of spring wheat genotypes with

different level of resistance to *Helminthosporium* leaf blight. Journal of the institute of Agriculture and Animal Science. 26:43-50.

Royo, C., Abaza, M., Blanco, R., Garcia del Moral, L.F. 2000. Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing, and simulated drought stress. Aust. J. Plant Physiol. 27: 1051-1059.

Royo, C., Soler, C., Romagosa, I. 1995. Agronomical and morphological differentiation among winter and spring triticales. Plant Breeding 114: 413-416.

Saini H. S., Aspinall, D. 1981. Effect of water deficit on sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.). Ann. Bot. 48: 623-633.

SAS Institute Inc. 1999. User's Guide. Statistics, Version 8.1. Sixth edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA.

Statistica. 2001. By Statsoft Inc. U.S. A. Versión 6.1.

Schnyder H. 1993. The role of carbohydrate storage and redistribution in the source-sink relations of wheat and barley during grain filling. A review. New Phytologist. 123 (2): 233-245.

Shpiler, L., and A. Blum. 1986. Differential reaction of wheat cultivars to hot environments. Euphytica. 35: 483-492.

Simane, B., Peacock, J.M., Struik, P.C. 1993. Differences in developmental plasticity and growth rate among drought resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum). Plant Soil 157: 155-166.

Slafer, G. A., Araus, J.L., and Richards, R.A. 1999. Physiological traits to increase the yield potential of wheat. In: Wheat: Ecology and physiology of yield determination. Pp. 379-415. Satorre E. H., and Slafer G.A. Eds, Food Product Press, New York.

- Slafer, G.A., Whitechurch, E.M. 2001. Manipulating wheat development to improve adaptation and to search for alternative opportunities to increase yield potential. In: Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I., McNab. A. (Eds.), Application of Physiology on Plant Breeding. CYMMIT, Mexico, DF, pp. 160-170.
- Slatyer, R.O. 1973. The effect of internal water status on plant growth, development and yield. In: Slatyer, R.O.(Ed.), UNESCO Proceedings of the Uppsala Symposium. Plant response to climatic factors, Paris, France, pp. 177-188.
- Uribelarrea, M., Crafts-Brandner, S.J., Below, F.E. 2009. Physiological N response of field-grown maize hybrids (*Zea mays* L.) with divergent yield potential and grain protein concentration. Plant Soil. 316: 151-160.
- Van Ginkel, M., Calhoun, D.S., Gebeyehu, G., Miranda, A., Tian-you, C., Pargas Lara, R., Trethowan, R. M., Sayre, K., Crossa, L., Rajaram, S. 1998. Plant traits related to yield of wheat in early, late, or continuous drought conditions. Euphytica 100: 109-121.
- Varughese, G. 1996. Triticale: Present status and challenges ahead. In: Guedes-Pinto, H., et al. (Eds.), Triticale: Today and Tomorrow. Kluwer Academic. Deventer, The Netherlands, pp. 13-20.
- Villegas, D., García del Moral, L.F., Rharrabti, Y., Martos, V., Royo, C. 2007. Morphological traits above flag leaf node as indicators of drought susceptibility index in durum wheat. J. Agronomy & Crop Science. 193: 103-116.
- Voltas, J., Lopez-Corcoles, H., Borrás, G., 2005. Use of biplot analysis and factorial regresión for the investigation of superior genotypes in multi-environment trials. Eur. J. Agron. 22: 309-324.

- Wang ZM, Wei AL, Zheng DM. 2001. Photosynthetic characteristics of non-leaf organs of winter wheat cultivars differing in ear type and their relationship with grain mass per ear. *Photosynthetica*. 39(2):239-244.
- Wardlaw, I. F. 1990: The control of carbon partitioning in plants. *New Phytol.* 116: 341-381.
- Wardlaw, I.F. 2002. Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. *Annals of Botany*. 90 (3):469-476.
- Wardlaw, I.F., Dawson, A., Munibi, P. 1989. The tolerance of wheat to high temperature during reproductive growth. II. Grain development. *Aust. J. Agric. Res.* 40: 15-24.
- Warrington, I.J., Dunstone, R.L., Green, L.M. 1977. Temperature effects at three development stages on yield of the wheat ear. *Aust. J. Agric. Res.* 28: 11-27.
- Weyhrich, R. A., B. F., Carver, and B. C. Martin. 1995. Photosynthesis and water-use efficiency of awned and awnleted near-isogenic lines of hard red winter wheat. *Crop Sci.* 35: 172-176.
- Zamski, E., and Y. Grunberger. 1995. Short-and long-eared high-yielding hexaploid wheat cultivars: which has unexpressed potential for higher yield? *Ann. Bot. Lon.* 75: 501-506.