



## VARIACIÓN EN RENDIMIENTO DE GRANO, BIOMASA Y NÚMERO DE GRANOS EN CEBADA BAJO TRES CONDICIONES DE HUMEDAD DEL SUELO

[VARIATION IN GRAIN YIELD, BIOMASS AND KERNEL NUMBER OF BARLEY UNDER THREE SOIL MOISTURE CONDITIONS]

Cándido López-Castañeda

Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, Carretera México-Texcoco, Montecillo, Municipio de Texcoco, Edo. de México. 56230. Correo electrónico: clc@colpos.mx

\*Corresponding Author

### SUMMARY

Variability in grain yield (GY), aerial biomass (BM) and number of grains  $m^{-2}$  ( $G M^{-2}$ ) in  $F_6$  lines and commercial varieties of barley was studied, and the relationship among these characters in full-irrigation (FI), drought (D) and rain-fed (RF) conditions was determined. Variation in GY, BM and  $G M^{-2}$  among all genotypes, between  $F_6$  lines and varieties, and among genotypes of  $F_6$  lines and varieties was significant in all the three soil moisture environments. GY, BM and  $G M^{-2}$  in FI were 23, 14 and 21 % greater than the average of the three soil moisture environments; GY, BM and  $G M^{-2}$  in RF were 21, 16 y 24 % lower than this average.  $F_6$  lines produced greater GY ( $380 g m^{-2}$ ), BM ( $1027 g m^{-2}$ ) and  $G M^{-2}$  (8641) than the commercial varieties (GY= $277 g m^{-2}$ ; BM= $696 g m^{-2}$  y  $G M^{-2}$ =7214) in average of the three environments. GY was positive and significantly associated with BM and  $G M^{-2}$ ; BM and  $G M^{-2}$  were also associated. GY could be improved in either FI, D or RF environments by selecting genotypes with a greater BM and  $G M^{-2}$  or both of them.

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L.; commercial varieties;  $F_6$  lines; full-irrigation; drought; rain-fed.

### RESUMEN

Se estudió la variabilidad en rendimiento de grano (RG), biomasa aérea (BM) y número de granos  $m^{-2}$  ( $G M^{-2}$ ) en líneas  $F_6$  y variedades comerciales de cebada, y se determinó la relación entre éstos caracteres en riego (R), sequía (SQ) y secano (SC). La variación en RG, BM y  $G M^{-2}$  entre todos los genotipos, líneas  $F_6$  y variedades, y genotipos de líneas  $F_6$  y variedades fue significativa en los tres ambientes de humedad edáfica. El RG, BM y  $G M^{-2}$  en R fueron 23, 14 y 21 % mayores que la media de los tres ambientes; RG, BM y  $G M^{-2}$  en SC fueron 21, 16 y 24 % menores que este promedio. Las líneas  $F_6$  produjeron mayor RG ( $380 g m^{-2}$ ), BM ( $1027 g m^{-2}$ ) y  $G M^{-2}$  (8641) que las variedades (RG= $277 g m^{-2}$ ; BM= $696 g m^{-2}$  y  $G M^{-2}$ =7214) en promedio de los tres ambientes. El RG estuvo positiva y significativamente relacionado con BM y  $G M^{-2}$ ; BM y  $G M^{-2}$  también se relacionaron entre sí. El RG podría mejorarse en riego, sequía o secano, al seleccionar genotipos con mayor BM y  $G M^{-2}$  o ambos.

**Palabras clave:** *Hordeum vulgare* L.; variedades comerciales; líneas  $F_6$ ; riego; sequía; secano.

### INTRODUCCIÓN

En México, la cebada se siembra en una superficie aproximada de 283, 386 ha (SAGARPA, 2009); el 83 % de ésta superficie se localiza en los Estados de Hidalgo (44 %), México (11 %), Puebla (14 %) y Tlaxcala (14 %), donde se cultiva en condiciones de secano o temporal en el ciclo de verano, al depender de la lluvia como fuente única de humedad. En ésta región del país, la lluvia se caracteriza por presentar amplias variaciones en cantidad y distribución durante la estación de crecimiento, causando deficiencias hídricas edáficas que con frecuencia disminuyen severamente el rendimiento y calidad del grano (López-Castañeda, 1996). El rendimiento promedio de

grano en estas áreas de secano es  $1.3 t ha^{-1}$ , considerado muy bajo en comparación con el que se obtiene en áreas de riego en el ciclo de invierno-primavera, por ejemplo en la región del Bajío ( $5.6 t ha^{-1}$ , Guanajuato, México) (SAGARPA, 2009); estas diferencias en rendimiento se deben principalmente, a la presencia frecuente de periodos de “deficiencias hídricas intermitentes” o “sequía intraestival” (canícula), que coinciden con las etapas de crecimiento y emergencia de la espiga, anthesis y llenado del grano, causando severas reducciones en el número de espigas  $m^{-2}$  y granos  $m^{-2}$ , y peso individual del grano, que se reflejan en una fuerte disminución en el rendimiento de grano.

Los efectos de la sequía en el rendimiento de cebada han sido ampliamente estudiados; Morgan y Riggs (1981) observaron una disminución significativa en el rendimiento de grano, número de espigas por planta, número de granos por espiga del tallo principal y tamaño del grano en plantas sometidas a deficiencia hídrica del suelo durante 14 días en la etapa de espigamiento en condiciones de invernadero; un periodo de sequía de 32 días después del espigamiento no tuvo efecto en el número de granos por espiga, pero sí disminuyó el tamaño del grano. Otros estudios realizados en condiciones de campo mostraron que el estrés hídrico causado por la baja disponibilidad de agua en el suelo en condiciones de secano (178 mm de lluvia) durante el periodo de llenado del grano, disminuyó la tasa de fotosíntesis y el potencial hídrico foliar de la cebada, y la reducción en la disponibilidad de asimilados provenientes de la fotosíntesis acortó la duración del llenado del grano y disminuyó el número de granos por espiga, peso de 1000 granos, biomasa aérea, índice de cosecha y rendimiento de grano (Samarah *et al.*, 2009). El estrés hídrico también redujo la conductancia estomática (43 %) y la tasa de asimilación neta (34 %) durante el llenado de grano, lo que se reflejó en una fuerte reducción en el rendimiento de grano (27 %); la disminución en estos caracteres fisiológicos fue más acentuada en las variedades tradicionales de cebada que en las variedades experimentales estudiadas (González *et al.*, 2010).

Es evidente que las deficiencias de humedad durante el llenado del grano afectan varios procesos fisiológicos relacionados con el movimiento del agua y los foto-asimilados en la planta, lo que disminuye la fotosíntesis y la disponibilidad de carbohidratos para la formación del grano. Se ha observado que la removilización de foto-asimilados del tallo al grano, cuando los cultivos están sometidos a sequía durante el llenado del grano, puede tener una contribución potencial al rendimiento de grano de hasta 70 % en cebada y 57 % en trigo harinero (López-Castañeda y Richards, 2001). La alta removilización de reservas del tallo al grano, en cebada obedece a su mayor demanda de foto-asimilados constituida por un mayor número de espigas  $m^{-2}$  y granos  $m^{-2}$ , y peso individual del grano que trigo harinero (López-Castañeda y Richards, 1994a); un incremento significativo de la productividad en ambientes de secano con deficiencias hídricas podrá lograrse al seleccionar genotipos que produzcan mayor cantidad de materia seca (fuente de foto-asimilados) acompañada de una mayor capacidad de asignación de foto-asimilados al grano (producidos por la fotosíntesis durante el llenado del grano + reservas del tallo) y una alta demanda de foto-asimilados (más espigas  $m^{-2}$  y granos  $m^{-2}$ , y mayor tamaño del grano); entre estos componentes de la demanda, el número de granos  $m^{-2}$ , parece ser el componente que ofrece mayores posibilidades de

mejoramiento; sí se incrementa la fertilidad de las espiga al aumentar el número de ovarios (carácter multi-ovarios) que se exprese en un aumento del número de granos/espiga y granos  $m^{-2}$ , relativo al número de ovarios fértiles en las variedades convencionales (Reynolds *et al.*, 2005). McDonald *et al.* (2008) observaron una estrecha relación positiva entre el número de granos  $m^{-2}$  y el rendimiento de grano en trigo en un estudio realizado en 13 ambientes de secano con diferentes niveles de estrés hídrico en Australia, México y Paquistán, confirmando la factibilidad de utilizar al número de granos  $m^{-2}$  como un carácter fácil y práctico para la selección de nuevas variedades con mayor rendimiento de grano; las similitudes en la morfología, hábito de crecimiento y diversas características agronómicas y fisiológicas entre estos cereales, sugiere que estos resultados obtenidos en trigo podrían utilizarse eficazmente en cebada. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivos: (i) estudiar la variación genética en rendimiento de grano y sus componentes biomasa aérea y número de granos  $m^{-2}$  en variedades comerciales y líneas  $F_6$  de cebada, y (ii) la relación entre estos caracteres en condiciones de riego, sequía y secano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización de los experimentos

Se realizaron tres experimentos en campo; uno en condiciones de secano o temporal (SC, que dependió de la lluvia durante el ciclo como fuente única de humedad) y los otros dos en riego (R, con agua por aspersión desde la siembra hasta la madurez) y sequía (SQ, sin riego entre la emergencia de las plántulas y la madurez); el experimento SC se estableció en San Lorenzo, Municipio de Cuapiaxtla, Tlaxcala (19° 18' N, 97° 46' O y 2410 msnm) en el ciclo de primavera-verano 2001, y los experimentos R y SQ, se llevaron a cabo en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 54' O y 2250 msnm) en el ciclo de invierno-primavera 2001-2002, para facilitar la aplicación de los tratamientos de riego y sequía en el suelo. San Lorenzo, Cuapiaxtla tiene un clima templado subhúmedo (C (w<sub>o</sub>/w'') (w) b(e) g), con lluvias en verano, precipitación anual de 635 mm distribuida de mayo a septiembre y temperatura media anual de 14 °C, y Montecillo también presenta un clima templado subhúmedo (C (w<sub>o</sub>) (w)b(i') g), con lluvias en verano, precipitación anual de 645 mm de mayo a septiembre y temperatura media anual de 15 °C (García, 1988). En Montecillo es común la siembra de cultivos de secano en el ciclo de primavera-verano y cultivos de invierno bajo riego en el ciclo de invierno-primavera, mientras que en san Lorenzo, sólo se siembra en la temporada de lluvias o de secano en el ciclo de primavera-verano.

## Material genético

El germoplasma utilizado en el presente estudio incluyó 18 líneas F<sub>6</sub> (sexta generación filial) de dos y seis hileras de grano en la espiga, seleccionadas en el Colegio de Postgraduados, por su alto rendimiento de grano en ambientes con deficiencias hídricas (López-Castañeda y Richards, 1994a); tres líneas F<sub>6</sub> procedentes del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán, Municipio de Texcoco, Estado de México), tres variedades comerciales del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Agrícola Experimental del Valle de México, Chapingo, Estado de México) y O'Connor, una variedad comercial del Departamento de Agricultura de Nueva Gales del Sur, Nueva Gales del Sur, Australia (Department of Agriculture of New South Wales, NSW, Australia) (Cuadro 1).

## Detalle experimental

El diseño experimental utilizado fue un látice simple triplicado 5 x 5; la unidad experimental consistió de 4 surcos de 5 m de longitud y 0.25 m de ancho; el experimento SC se sembró en suelo húmedo el 17 de junio de 2001 y los experimentos R y SQ se sembraron en suelo seco el 10 de diciembre de 2001, con la aplicación inmediata de riego por aspersión. En todos los experimentos se utilizó una densidad de siembra de 100 kg ha<sup>-1</sup>, ajustando el número de semillas por unidad de área de acuerdo al tamaño de grano para cada variedad; se aplicó la dosis de fertilización 80-40-00, al utilizar urea como fuente de nitrógeno (N) y superfosfato de calcio simple como fuente de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); la mitad del nitrógeno y todo el fósforo se aplicaron en la siembra y la otra mitad de N, se aplicó cuando las plantas alcanzaron la etapa de amacollamiento. El experimento SC estuvo a merced de la lluvia ocurrida durante el ciclo del cultivo; en el experimento R se aplicó agua por aspersión de la siembra a la madurez fisiológica semanalmente, sin que se observaran deficiencias hídricas en las plantas durante el ciclo biológico y en el experimento SQ sólo se aplicó agua en la siembra y una semana después de la siembra, dejando las plantas expuestas a las deficiencias de la lluvia que se registraron durante el invierno e inicio de la primavera, al presentar síntomas severos de marchitamiento desde la etapa de amacollamiento hasta la madurez. El control de malezas de hoja ancha se realizó con la aplicación de Esteron 47<sup>®</sup> (2-4 D-éster) a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup>, 30 días después de la siembra (dds) en los tres experimentos.

## Variables medidas

Rendimiento de grano (RG, g m<sup>-2</sup>); se obtuvo al determinar el peso del grano (g) cosechado en los dos surcos centrales de cada unidad experimental y dividirlo entre la superficie cosechada (m<sup>2</sup>) que se estimó al eliminar los espacios (> 10 cm) sin plantas en cada surco.

Peso de 100 granos (P100G, g); se determinó eligiendo al azar una muestra representativa de 100 granos del grano cosechado en los dos surcos centrales de cada unidad experimental.

Biomasa aérea (BM, g m<sup>-2</sup>); se calculó al dividir el peso seco de la parte aérea (PSPA, g) de las plantas presentes en un área de 0.5 m<sup>2</sup> (BM = PSPA/0.5).

Granos m<sup>-2</sup> (G M<sup>-2</sup>); se calculó al multiplicar RG x 100 y dividir ésta cantidad entre el peso de 100 granos (G M<sup>-2</sup> = (RG \* 100)/P100G).

## Datos meteorológicos

Los datos de temperatura máxima y mínima (°C) del aire, y la precipitación (mm) registrados diariamente en el experimento SC, se determinaron con un termómetro de máxima y mínima de columna de mercurio (marca Taylor<sup>®</sup>, modelo 5458), y un pluviómetro de acumulación semanal, diseñado en el laboratorio de resistencia a sequía (Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados), instalados en el predio en donde se realizó el experimento (Figura 1a). La temperatura máxima y mínima (°C) diaria, y la lluvia (mm) registradas en los experimentos R y SQ, se obtuvieron de la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México, ubicada a 300 m del sitio, donde se establecieron los experimentos (Figura 1b). La temperatura máxima (26 °C) promedio diaria en secano (SC) fue menor que en riego (R) y sequía (SQ) (30 °C), mientras que la mínima (9 °C) en SC fue mayor que la registrada en R y SQ (5 °C); en SC las temperaturas máxima y mínima más altas se registraron entre la siembra y la antesis (Figura 1a), y en R y SQ las temperaturas máxima y mínima más altas, se observaron entre la antesis y la madurez fisiológica (Figura 1b). Las bajas temperaturas máxima y mínima registradas en las etapas previas a la antesis en (R) y (SQ), se reflejaron en un mayor número de días a floración y madurez fisiológica que en SC (Figura 1a). La precipitación total (507 mm) en (SC) fue mayor que en (R) y (SQ) (63 mm); la lluvia ocurrida en SC (Figura 1a) y SQ (Figura 1b), se distribuyó irregularmente durante la etapa de llenado del grano (antesis-madurez fisiológica).

Cuadro 1. Germoplasma utilizado en los experimentos de secano, riego y sequía.

No. de Variedad	Genealogía	Origen M-I-R-00-01	Días a antesis	Altura de Planta (cm)	Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )
<b>Variedades comerciales INIFAP</b>					
1	Esperanza <sup>¶</sup>	Aum-1001	73	61	2.5
2	Tlaxcala <sup>¶</sup>	Aum-1002	74	96	4.5
3	Esmeralda <sup>¶</sup>	Aum-1003	73	86	3.1
<b>Variedad comercial Department of Agriculture of NSW, Australia</b>					
4	O'Connor <sup>§,¶</sup>	Var-4	73	66	2.1
<b>Líneas F<sub>6</sub> Colegio de Postgraduados</b>					
5	Centinela x Cerro Prieto CPRSC-1-8M-3MR-3M-0MR	Aum-1005	73	85	4.6
6	Centinela x Cerro Prieto CPRSC-1-9M-1MR-5M-0MR	Var-6	75	79	5.0
7	Centinela x Cerro Prieto CPRSC-1-15M-4MR-1M-0MR	Var-7	75	16	4.7
8	Esperanza x Cerro Prieto CPRSC-5-2M-2MR-7M-0MR	Aum-1009	75	102	6.4
9	Esperanza x Cerro Prieto CPRSC-5-13M-1MR-2M-0MR	Var-11	73	91	3.1
10	Esperanza x O'Connor <sup>¶</sup> CPRSC-6-2M-1MR-2M-0MR	Aum-1013	73	104	7.0
11	Esperanza x O'Connor <sup>¶</sup> CPRSC-6-4M-1MR-4M-0MR	Var-19	73	112	4.9
12	Esperanza x O'Connor <sup>¶</sup> CPRSC-6-4M-1MR-1M-0MR	Var-20	73	101	4.3
13	Esperanza x O'Connor <sup>¶</sup> CPRSC-6-4M-1MR-2M-0MR	Var-21	73	94	3.2
14	Esperanza x O'Connor <sup>¶</sup> CPRSC-6-4M-1MR-3M-0MR	Var-22	73	96	3.6
15	Esperanza x O'Connor <sup>¶</sup> CPRSC-6-4M-1MR-5M-0MR	Var-23	73	105	4.0
16	Esperanza x O'Connor <sup>¶</sup> CPRSC-6-4M-1MR-6M-0MR	Aum-1024	73	101	3.8
17	Esperanza x M-9310B CPRSC-7-8M-1MR-1M-0MR	Var-26	73	86	3.7
18	Esperanza x M-9310B CPRSC-7-8M-1MR-9M-0MR	Var-31	75	98	3.7
19	Esperanza x O'Connor <sup>¶</sup> CPRSC-6-8T-1MS-1T-0MS	Var-42	73	107	3.1
20	Esperanza x O'Connor <sup>¶</sup> CPRSC-6-8T-2MS-1T-0MS	Var-43	73	97	4.4
21	Esperanza x O'Connor <sup>¶</sup> CPRSC-6-12T-1MS-1T-0MS	Aum-1044	73	95	3.5
22	Esperanza x M-9310B CPRSC-7-15T-4MS-1T-0MS	Var-45	75	103	7.3
<b>Líneas F<sub>6</sub> CIMMYT</b>					
23	Cori/Aleli/Mora/3/Canela <sup>¶,‡</sup> CBSS95MOO113S-3OM-1Y-0M	Parcela-109	90	89	5.9
24	Arupo/k8755//Mora/3/ATAH92 <sup>¶,‡</sup> CBSS95MOO2565-19M-1Y-0M	Parcela-37	90	68	4.4
25	Dc-b/Sen/Agave/Yanala//Tumbo/4/CEM-B/ <sup>¶</sup> CBSS95YOO372T-B-11Y-1M-3Y-0M	Parcela-1	85	93	4.7

<sup>¶</sup>=Material genético de dos hileras; <sup>‡</sup>=Material genético de grano desnudo. Datos de días a antesis, altura de planta y rendimiento de grano determinados en el ciclo invierno-primavera 2000-2001 en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México.

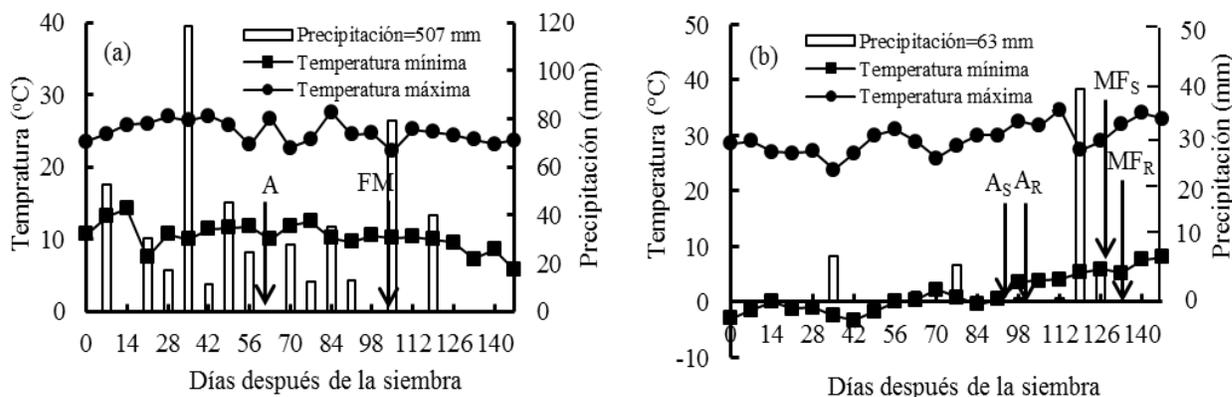


Figura 1. Variación en la temperatura máxima y mínima del aire promedio semanal, y precipitación pluvial semanal acumulada, registradas durante los experimentos de campo en seco en San Lorenzo, Cuapiaxtla, Tlaxcala (a) y riego y sequía en Montecillo, Texcoco, México (b). A<sub>S</sub> y A<sub>R</sub> y MF<sub>S</sub> y MF<sub>R</sub>, representan las fechas de anthesis y madurez fisiológica en riego y sequía, y A y MF representan las fechas de anthesis y madurez fisiológica en seco o temporal, respectivamente.

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para la comparación de genotipos dentro de cada experimento en forma individual y otro análisis de varianza, para determinar la respuesta de los genotipos entre los diferentes ambientes de humedad del suelo (interacción genotipo x ambiente, I<sub>GxA</sub>), al utilizar el programa SAS versión 9.1 (2009) para Windows. Se calculó la diferencia significativa de Tukey (DSH, P≤0.05) para la comparación de medias dentro de cada experimento. Se calcularon ecuaciones de regresión lineal simple entre el rendimiento de grano y sus componentes para determinar si estos caracteres están relacionados positivamente entre sí y si esta relación es significativa, y si los genotipos con alto rendimiento de grano también producen mayor biomasa aérea y mayor número de granos m<sup>-2</sup>. En el experimento de seco se eliminó una repetición del análisis de varianza, debido a que la escorrentía causada por la lluvia ocasionó problemas en el establecimiento de las plantas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis estadístico

La variabilidad genética en el rendimiento de grano (RG), biomasa aérea (BM) y número de granos m<sup>-2</sup> (G M<sup>-2</sup>) fue significativa entre genotipos, grupos de variedades y genotipos dentro de grupos de variedades en seco (SC), riego (R) y sequía (SQ); la mayor variación en BM y G M<sup>-2</sup> se presentó entre grupos de variedades en R, Q y SC, mientras que la mayor variación en RG se debió a diferencias entre grupos de variedades en R y SC, y a diferencias entre genotipos

en SQ (Cuadro 2). El análisis combinado de los tres experimentos mostró que el ambiente y el genotipo tuvieron efecto significativo en el rendimiento de grano (RG) y sus componentes, y que la variación genotípica entre grupos de variedades para el RG, biomasa aérea (BM) y granos m<sup>-2</sup> (G M<sup>-2</sup>) fue de mayor magnitud que la variación observada entre todos los genotipos, genotipos dentro de grupos de variedades y genotipos x ambientes (Cuadro 2). Esta alta variación genotípica entre grupos de variedades de diferente origen genético se debió a la respuesta diferencial de los genotipos en los tres ambientes de humedad edáfica; al analizar los datos para cada ambiente en forma individual, se determinó que el RG, BM y G M<sup>-2</sup> presentaron mayor variación genotípica entre grupos de variedades que entre todos los genotipos y genotipos dentro de grupos de variedades en promedio de los tres ambientes de humedad edáfica (Cuadro 2). No obstante, que la interacción genotipo x ambiente (I<sub>GxA</sub>) fue significativa para RG y sus componentes, la magnitud de esta variación fue generalmente menor que la variación entre grupos de variedades, genotipos y genotipos dentro de grupos de variedades (Cuadro 2). La influencia del genotipo en el RG, BM y G M<sup>-2</sup> a través de los diferentes ambientes, es indicativo de que éstos componentes del rendimiento son favorables al rendimiento de grano, independientemente del grado de las deficiencias hídricas que se presenten en cada ambiente; González *et al.* (2007) observaron que la selección por mayor biomasa y granos más grandes en cebada ha resultado en genotipos con mayor rendimiento de grano en ambientes con estrés hídrico.

### Variación entre ambientes de humedad edáfica

El RG ( $332 \text{ g m}^{-2}$ ) y la BM ( $936 \text{ g m}^{-2}$ ) de todos los genotipos en promedio de R, SQ y SC (Cuadro 3) fueron similares a los observados en otros trabajos de investigación en cereales menores en condiciones contrastantes de secano en Nueva Gales del Sur, Australia; López-Castañeda y Richards (1994a) determinaron que la cebada, avena, trigo y triticale produjeron un RG de  $325 \text{ g m}^{-2}$  y BM de  $882 \text{ g m}^{-2}$  en promedio de cinco ambientes de secano. Al examinar el comportamiento de todos los genotipos en R, SQ y SC, y el promedio de éstos tres ambientes, se observó que el RG, BM y  $\text{G M}^{-2}$  en riego fueron 23, 14 y 21 % mayores que el promedio de los tres ambientes de humedad edáfica, mientras que en SC, el RG, BM y  $\text{G M}^{-2}$  fueron 21, 16 y 24 % menores que el promedio de los tres ambientes; el RG en SQ fue 2 % menor que la media y la BM y  $\text{G M}^{-2}$  fueron 1 y 2 % mayores que el promedio de los tres ambientes (Cuadro 3). El menor RG observado en SQ y SC en comparación con R, estuvo acompañado de una menor BM; López-Castañeda y Richards (1994a) demostraron que las deficiencias hídricas durante la formación del grano disminuyen el RG, BM y  $\text{G M}^{-2}$  en cebada, trigo harinero, trigo duro, triticale y avena en ambientes de secano con deficiencias hídricas durante la formación del grano. El promedio de  $\text{G M}^{-2}$  (7781) para todos los genotipos en R, SQ y SC (Cuadro 3) fue menor que el promedio de  $\text{G M}^{-2}$  (8838) para cinco ambientes de secano en Nueva Gales del Sur, Australia; las diferencias en  $\text{G M}^{-2}$  obtenidas en el presente estudio y el determinado en Nueva Gales del Sur, Australia, pueden deberse a que el germoplasma de Australia, tiene mayor capacidad de amacollamiento y producción de espigas  $\text{m}^{-2}$ , y  $\text{G M}^{-2}$  que el material genético obtenido en México (Cuadro 3), observaciones que concuerdan con los resultados de Gales (1983) en Inglaterra, quien indicó que las deficiencias hídricas reducen el número de espigas  $\text{m}^{-2}$  y  $\text{G M}^{-2}$  de cebada en ambientes de secano.

### Variación entre grupos de variedades

En general las líneas  $F_6$  produjeron mayor RG ( $380 \text{ g m}^{-2}$ ), BM ( $1027 \text{ g m}^{-2}$ ) y  $\text{G M}^{-2}$  (8641) que las variedades comerciales del INIFAP y Australia (RG= $277 \text{ g m}^{-2}$ ; BM= $696 \text{ g m}^{-2}$  y  $\text{G M}^{-2}$ =7214) en promedio de los tres ambientes de humedad edáfica (Cuadro 3). Al comparar las líneas  $F_6$  del Colegio de Postgraduados con las líneas  $F_6$  del CIMMYT y las variedades comerciales del INIFAP y Australia, se observó que las líneas  $F_6$  del CIMMYT produjeron mayor RG ( $431 \text{ g m}^{-2}$ ), BM ( $1090 \text{ g m}^{-2}$ ) y  $\text{G M}^{-2}$  (9693) que las líneas  $F_6$  del Colegio de Postgraduados (RG= $328 \text{ g m}^{-2}$ , BM= $963 \text{ g m}^{-2}$  y  $\text{G M}^{-2}$ =7589) y las variedades comerciales del INIFAP y Australia (RG= $277 \text{ g m}^{-2}$ ; BM= $696 \text{ g m}^{-2}$  y  $\text{G M}^{-2}$ =7214) en promedio de los tres ambientes de humedad edáfica

(Cuadro 3). La superioridad de las líneas del CIMMYT para producir RG, BM y  $\text{G M}^{-2}$  fue más evidente en R y SQ; las líneas del CIMMYT produjeron 46 y 36 %, 24 y 47 %, y 42 y 37 % mayor RG, BM y  $\text{G M}^{-2}$  que las líneas  $F_6$  del Colegio de Postgraduados y las variedades comerciales del INIFAP y Australia en R, y 48 y 60, 21 y 59, y 43 y 43 % mayor RG, BM y  $\text{G M}^{-2}$  que las líneas  $F_6$  del Colegio de Postgraduados y las variedades comerciales del INIFAP y Australia en SQ, en promedio de los tres ambientes de humedad edáfica, respectivamente (Cuadro 3). Las líneas del Colegio de Postgraduados sólo pudieron superar a las líneas del CIMMYT en RG (7 %), BM (9 %) y  $\text{G M}^{-2}$  (11 %) en el ambiente de SC; ésta superioridad puede deberse a que las líneas del Colegio de Postgraduados fueron seleccionadas por su alto RG en ambientes de secano con deficiencias hídricas (López-Castañeda *et al.*, 1994a).

### Variación entre genotipos dentro de grupos de variedades

Al examinar el RG de los genotipos dentro de los distintos grupos de germoplasma, se observó que las líneas  $F_6$  con el más alto RG fueron las que se identifican con los números 5 del Colegio de Postgraduados, y 24 y 25 del CIMMYT; la línea 5 también produjo alta BM y  $\text{G M}^{-2}$  en promedio de R, SQ y SC, mientras que las líneas 24 y 25 además de producir alto RG también tuvieron alta BM en promedio de R, SQ y SC; entre las variedades comerciales sobresalieron Esperanza y Tlaxcala que además de alto RG tuvieron alta BM y  $\text{G M}^{-2}$  (Cuadro 3). El comportamiento de las líneas  $F_6$  sobresalientes tanto del CIMMYT como del Colegio de Postgraduados en RG, BM y  $\text{G M}^{-2}$  fue muy similar en los tres ambientes de humedad edáfica; es interesante notar que en ambos casos la BM y  $\text{G M}^{-2}$  tuvieron influencia en el RG; López-Castañeda y Richards (1994a) observaron resultados similares al comparar el RG, BM y características agronómicas de cebada, trigo, triticale y avena en condiciones de secano con sequía terminal, donde las variedades sobresalientes de cebada produjeron mayor RG que los otros cereales, debido a su mayor BM e índice de cosecha (IC). Entz y Fowler (1990), López-Castañeda y Richards (1994b) y Duggan y Fowler (2006) señalan que sí una variedad de trigo o cebada tiene capacidad para almacenar fotoasimilados en el tallo antes de la floración y removilizarlos al grano en condiciones hídricas adversas durante el llenado del grano, ésta variedad tendrá una ventaja definitiva sobre aquellas que no tienen mecanismos de almacenamiento y removilización de reservas; es por ésta razón que una alta acumulación de reservas en el tallo antes de la floración es importante para obtener mayor RG, sobre todo cuando las plantas están sometidas a deficiencias

hídricas después de la anthesis y durante el llenado del grano (López-Castañeda y Richards, 2001).

### Variación entre genotipos en promedio de todos los ambientes de humedad edáfica

Al comparar todos los genotipos en promedio de los tres ambientes de humedad edáfica, se observó que los genotipos que resultaron sobresalientes en RG fueron los mismos que resultaron sobresalientes, al comparar los genotipos dentro de cada grupo de variedades (Cuadro 3); estas líneas con alto RG también tuvieron alta BM y G M<sup>-2</sup> (Cuadro 3). Otros trabajos de investigación también han mostrado la importancia de

algunos caracteres agronómicos en relación al RG; Sayre *et al.* (1997) al estudiar el avance en el mejoramiento genético del RG en trigo en el noroeste de México, determinaron que el IC y G M<sup>-2</sup> fueron los caracteres que más contribuyeron al alto rendimiento potencial en condiciones de riego; el número de G M<sup>-2</sup> y el peso individual del grano también contribuyen al rendimiento de grano; Duggan y Fowley (2006) observaron que éstos caracteres ayudan a ajustar el RG en trigo, cuando el cultivo está expuesto a deficiencias hídricas en las etapas de espiguilla terminal y llenado del grano en condiciones de secano en las praderas Canadienses.

Cuadro 2. Cuadrados medios y grados de libertad (G.L.) para rendimiento de grano (RG), biomasa aérea (BM) y granos m<sup>-2</sup> (G M<sup>-2</sup>) en las líneas F<sub>6</sub> del CIMMYT, líneas F<sub>6</sub> del Colegio de Postgraduados y variedades comerciales del INIFAP en riego, sequía y secano, y promedio de los tres ambientes de humedad edáfica.

Fuente de variación/Ambiente de humedad edáfica	GL	RG	BM	G M <sup>-2</sup>
<b>Riego (R)</b>				
Repeticiones	2	1401	8202	918342
Bloque/ Repeticiones	8	5212	46451	2583376
Genotipos	24	24713**	101980**	20575995**
Grupos de variedades	2	137372**	455864**	55209103**
Genotipos/Grupos de variedades	22	14471**	69809**	17427531**
Error	40	4018	38308	1962410**
C.V., %		16	18	15
<b>Sequía (SQ)</b>				
Repeticiones	2	10088	232859	5602566
Bloque/ Repeticiones	8	7311**	7311**	7630758**
Genotipos	24	17552**	17552**	16146292**
Grupos de variedades	2	9731**	500189**	41971527**
Genotipos/Grupos de variedades	22	10301**	80648**	13798543**
Error	40	2102	28380	151739
C.V., %		14	18	15
<b>Secano (SC)</b>				
Repeticiones	1	249	23652	470788
Bloque/ Repeticiones	4	1531	15039	1748494
Genotipos	24	37152**	387034**	20314805**
Grupos de variedades	2	37229**	526716**	10075371**
Genotipos/Grupos de variedades	22	37145**	374336**	21245662**
Error	20	2645	2704	1258982
C.V., %		20	20	19
<b>Promedio de los tres ambientes</b>				
Ambientes	2	329061**	1227775**	181294433**
Repeticiones/ambientes	5	4645	101137	2702520
Bloques/Repeticiones/Ambientes	20	5315*	78382**	4435353**
Genotipos	24	35849**	242135**	32867396**
Grupos de variedades	2	195698**	1231469**	67585207**
Genotipos/Grupos de variedades	22	21317**	152196**	29711232**
Genotipos*Ambientes	48	21784**	181244**	12084848**
Error	100	2977	32083	1643716
C.V., %		16	19	16

\*, \*\* Indican la significancia de F a valores de P=0.05 y 0.01, respectivamente.

Cuadro 3. Rendimiento de grano (RG), biomasa aérea (BM) y número de granos m<sup>-2</sup> (G M<sup>-2</sup>) para las líneas F<sub>6</sub> del CIMMYT, líneas F<sub>6</sub> del Colegio de Postgraduados y las variedades comerciales en riego (R), sequía (SQ) y secano (SC), y promedio (M) de los tres ambientes de humedad edáfica.

Genotipos	RG (g m <sup>-2</sup> )				BM (g m <sup>-2</sup> )				G M <sup>-2</sup>			
	R	SQ	SC	M	R	SQ	SC	M	R	SQ	SC	M
<b>Líneas F<sub>6</sub> Colegio de Postgraduados</b>												
5	443	353	584	460	950	861	1456	1089	10913	8913	13704	11177
22	542	435	232	403	1514	1327	602	1148	13865	12023	5534	10474
6	442	278	604	441	972	737	1775	1161	11090	7905	14078	11024
12	410	365	338	371	969	1144	787	967	9382	8869	9325	9192
10	342	333	471	382	1118	1158	1778	1351	7097	7170	9708	7992
17	475	387	163	342	1142	1010	459	870	12403	10405	3929	8912
7	434	365	142	314	946	870	373	730	10765	9843	3400	8003
18	410	384	142	312	1038	942	421	800	10350	10359	4752	8487
8	341	254	360	318	832	745	1100	892	8334	6956	8883	8058
11	308	223	423	318	1104	1021	1651	1259	6477	4926	8780	6728
14	342	277	274	298	1037	998	835	957	6381	5339	5426	5715
19	356	330	173	286	1046	1069	551	889	7221	7088	2035	5448
21	399	296	145	280	1192	883	460	845	8504	6217	2975	5899
9	448	249	135	277	1182	715	440	779	11679	7579	3572	7610
16	361	262	221	281	1199	949	709	952	6517	4902	4099	5173
15	298	290	254	281	1021	1185	806	1004	5739	5613	4895	5416
20	322	315	177	271	935	836	601	791	7243	7176	3751	6057
13	345	242	231	273	1017	888	649	851	6403	4600	4706	5236
<b>Media</b>	<b>390</b>	<b>313</b>	<b>282</b>	<b>328</b>	<b>1067</b>	<b>963</b>	<b>859</b>	<b>963</b>	<b>8909</b>	<b>7549</b>	<b>6308</b>	<b>7589</b>
<b>Líneas F<sub>6</sub> CIMMYT</b>												
24	634	455	276	455	1429	1143	789	1120	12838	9491	5575	9301
25	565	516	271	451	1319	1272	637	1076	14455	13789	6890	11711
23	510	419	236	388	1218	1071	930	1073	10770	9139	4292	8067
<b>Media</b>	<b>570</b>	<b>463</b>	<b>261</b>	<b>431</b>	<b>1322</b>	<b>1162</b>	<b>785</b>	<b>1090</b>	<b>12688</b>	<b>10806</b>	<b>5586</b>	<b>9693</b>
<b>Variedades comerciales INIFAP y Australia</b>												
Esperanza	478	273	256	336	1078	700	647	808	12087	7340	7175	8867
Tlaxcala	405	379	76	287	1052	984	211	749	10589	10045	2879	7838
O'Connor	288	246	234	256	732	637	600	656	7550	6215	4908	6224
Esmeralda	293	260	134	229	744	596	370	570	6896	6634	3410	5926
<b>Media</b>	<b>366</b>	<b>290</b>	<b>175</b>	<b>277</b>	<b>902</b>	<b>729</b>	<b>457</b>	<b>696</b>	<b>9281</b>	<b>7559</b>	<b>4593</b>	<b>7214</b>
<b>Media general</b>	<b>408</b>	<b>327</b>	<b>262</b>	<b>332</b>	<b>1071</b>	<b>950</b>	<b>785</b>	<b>936</b>	<b>9422</b>	<b>7941</b>	<b>5947</b>	<b>7781</b>
DSH	162	117	263	84	499	430	919	282	3576	3144	5779	2011
(P<0.05) <sup>a</sup>												
DSH	91	66	149	48	292	194	519	159	2019	1775	3263	1135
(P<0.05) <sup>b</sup>												
DSH	203	147	330	106	627	540	1154	354	4487	3945	7252	2523
(P<0.05) <sup>c</sup>												

DSH (P<0.05)<sup>a</sup> para comparar grupos de variedades; DSH (P<0.05)<sup>b</sup> para comparar genotipos dentro de grupos de variedades; DSH (P<0.05)<sup>c</sup> para comparar entre todos los genotipos.

### Relación entre rendimiento de grano y sus componentes

El RG estuvo positiva y significativamente asociado con la BM en riego ( $RG=0.37(BM)+17$ ,  $r=0.74$ ,  $P<0.01$ ) (Figura 2a), sequía ( $RG=0.26(BM)+78$ ,  $r=0.67$ ,  $P<0.01$ ) (Figura 2b) y secano ( $RG=0.29(BM)+34$ ,  $r=0.94$ ,  $P<0.01$ ) (Figura 2c); los genotipos que produjeron mayor cantidad de BM

tuvieron mayor RG en todos los ambientes de humedad edáfica. En riego (con aplicación de riegos semanales todo el ciclo) (Figura 2a) y secano (con 192 mm de lluvia entre antesis y madurez fisiológica) (Figura 2c), la relación entre BM y RG estuvo determinada por valores más altos de BM y RG que en sequía (Figura 2b); éstos resultados sugieren que en condiciones favorables de humedad edáfica entre la floración y la madurez fisiológica, la fotosíntesis jugó

un papel muy importante en el llenado de grano al mantener una alta tasa de crecimiento del cultivo y acumulación de materia seca (Villegas *et al.*, 2001), mientras que en sequía (con 47 mm de lluvia entre antesis y madurez fisiológica) (Figura 2c), las reservas acumuladas en el tallo antes de la floración constituyeron la principal fuente de foto-asimilados para el llenado del grano (Villegas *et al.*, 2001).

El RG también se relacionó positiva y significativamente con el número de  $G M^{-2}$  en riego ( $RG=0.032(G M^{-2})+1105$ ,  $r=0.91$ ,  $P\leq 0.01$ ) (Figura 3a), sequía ( $RG=0.030(G M^{-2})+93$ ,  $r=0.89$ ,  $P\leq 0.01$ ) (Figura 3b) y secano ( $RG=0.041(G M^{-2})+18$ ,  $r=0.96$ ,  $P\leq 0.01$ ) (Figura 3c); las variedades con mayor  $G M^{-2}$  produjeron mayor RG en los tres ambientes de humedad edáfica. En cebada como en otros cereales menores, el rendimiento de grano está determinado principalmente por el número de granos cosechados por unidad de superficie cultivada (Gales, 1983); la relación entre rendimiento de grano y número de granos  $m^{-2}$  en riego (Figura 3a) y secano (Figura 3c), de la misma forma que la relación observada entre rendimiento de grano y biomasa aérea en estos ambientes, presentó valores más altos de rendimiento de grano y granos  $m^{-2}$  que en sequía (Figura 3b); la alta disponibilidad de humedad edáfica durante todo el ciclo de las plantas en riego y la presencia de lluvia durante el periodo de llenado de grano en secano favorecieron el establecimiento de un mayor número de granos  $m^{-2}$  que en sequía (Cossani *et al.*, 2009). McDonald *et al.* (2008) observaron una relación similar entre el rendimiento de grano y el número de  $G M^{-2}$  en tres localidades de secano en el sureste de Australia, siendo más estrecha ésta relación en la localidad con más bajo rendimiento; estos autores también observaron que la importancia relativa del peso del grano en relación al rendimiento de grano aumentó, al pasar de la localidad con el más bajo rendimiento a la localidad con el más alto rendimiento, lo que sugiere una alteración en la relación fuente-demanda al cambiar la severidad del estrés y la longitud de la estación de crecimiento del cultivo.

Al comparar la respuesta agronómica al estrés hídrico antes de la floración en dos variedades de trigo de invierno en Saskatchewan, Canadá, se observó que el genotipo con alto rendimiento de grano produjo mayor cantidad de foto-asimilados antes de la floración y más granos  $m^{-2}$  que la variedad con bajo rendimiento de grano (Entz y Fowler, 1990). Otros estudios realizados en condiciones de secano también han mostrado que el

número de  $G M^{-2}$  es el carácter individual con mayor influencia en el rendimiento de grano; Sayre *et al.* (1997) determinaron que el número de granos  $m^{-2}$  está determinado por el número de espigas  $m^{-2}$  ( $E M^{-2}$ ) y granos espiga<sup>-1</sup> ( $G E^{-1}$ ); Zhang *et al.* (2007) determinaron que un incremento significativo en el número de  $E M^{-2}$  y  $G E^{-1}$  puede contribuir a aumentar el número de granos  $m^{-2}$  y consecuentemente el rendimiento de grano.

La BM y el número de  $G M^{-2}$  también se relacionaron positiva y significativamente entre sí en riego ( $BM=7.8(G M^{-2})+1030$ ,  $r=0.55$ ,  $P\leq 0.01$ ) (Figura 4a), sequía ( $BM=7.1(G M^{-2})+3091$ ,  $r=0.43$ ,  $P\leq 0.05$ ) (Figura 4b) y secano ( $BM=6.1(G M^{-2})+1143$ ,  $r=0.84$ ,  $P\leq 0.01$ ) (Figura 4c); las variedades con mayor BM produjeron mayor número de  $G M^{-2}$  en todos los ambientes de humedad en el suelo. Sheppherd *et al.* (1987) observaron una relación similar entre el RG y la BM y  $G M^{-2}$  en cebada en el noroeste de Siria, en diferentes ambientes de secano y nitrógeno, y en promedio de ambientes; estos autores concluyeron que la estrecha relación entre el RG y la BM y  $G M^{-2}$ , se debe a que el  $G M^{-2}$  se establece antes de la floración y el RG, y la BM también se establecen al mismo tiempo que el número de  $G M^{-2}$ . La acumulación de materia seca o foto-asimilados pre-antesis (antes de la floración) constituye la principal fuente de reservas para el establecimiento del número potencial de granos/espiga y granos  $m^{-2}$  (Fischer, 1975) y la capacidad fotosintética y producción de foto-asimilados pos-antesis (después de la antesis) también contribuyen a la formación de un mayor número de granos  $m^{-2}$  (Fischer, 1977). Un aumento en la demanda de foto-asimilados pos-antesis, puede favorecer la formación de un mayor número de  $G M^{-2}$  y rendimiento de grano al reducir los procesos limitantes del rendimiento (Reynolds *et al.*, 2005); sí la disponibilidad de humedad es alta durante el llenado del grano, las plantas podrán mantener altas tasas de fotosíntesis para el llenado de un alto número de granos y la producción de alto rendimiento de grano, pero sí las condiciones de humedad edáfica son desfavorables durante la formación del grano, entonces el número de granos será reducido y dependerá en mayor grado de la removilización de reservas acumuladas en el tallo (Entz y Fowler, 1990); una mayor capacidad de removilización de foto-asimilados del tallo al grano contribuye a un mayor rendimiento de grano (López-Castañeda y Richards, 1994b; 2001).

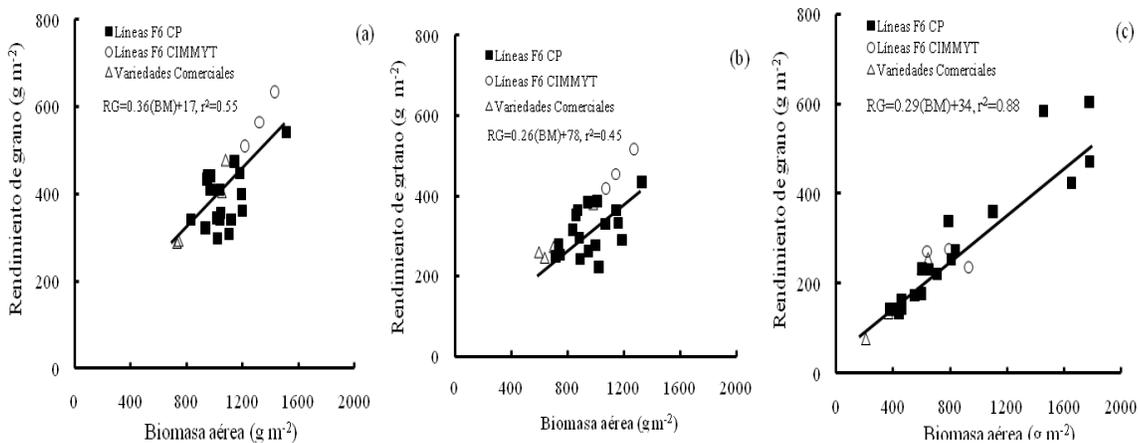


Figura 2. Relación entre rendimiento de grano y biomasa aérea en condiciones de riego (a), sequía (b) y secano (c), para las líneas F<sub>6</sub> del Colegio de Postgraduados, líneas F<sub>6</sub> del CIMMYT y variedades comerciales del INIFAP y Australia.

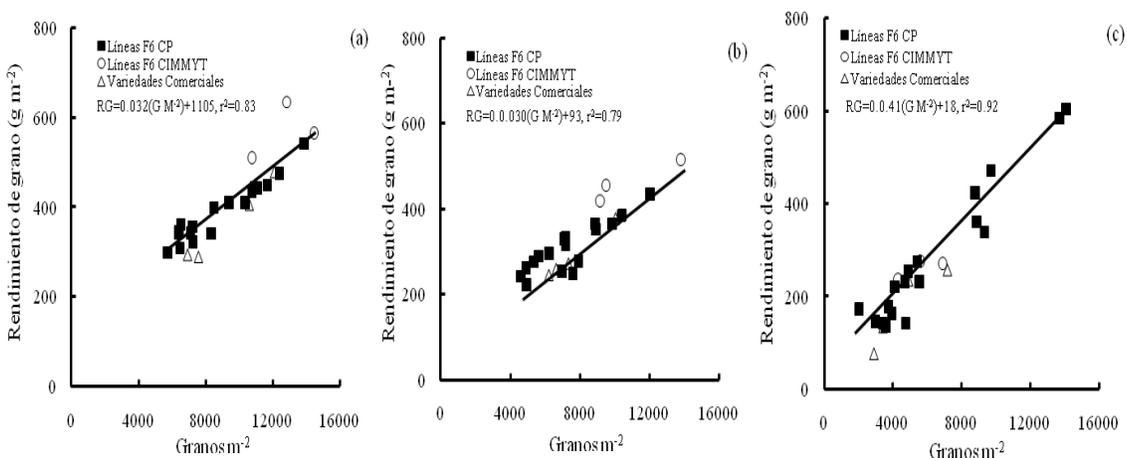


Figura 3. Relación entre rendimiento de grano y el número de granos m<sup>-2</sup> en condiciones de riego (a), sequía (b) y secano (c), para las líneas F<sub>6</sub> del Colegio de Postgraduados, líneas F<sub>6</sub> del CIMMYT y variedades comerciales del INIFAP y Australia.

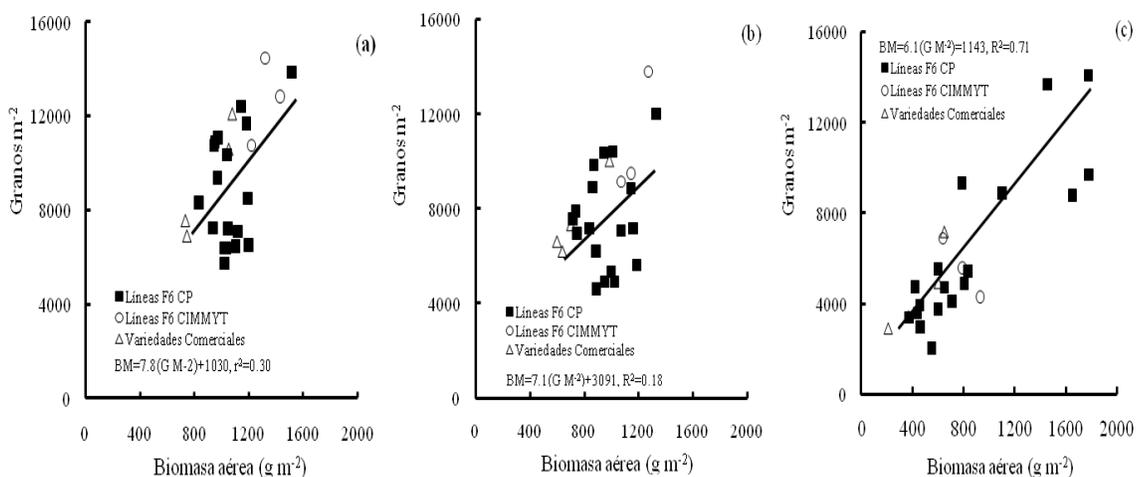


Figura 4. Relación entre el número de granos m<sup>-2</sup> y biomasa aérea en condiciones de riego (a), sequía (b) y secano (c), para las líneas F<sub>6</sub> del Colegio de Postgraduados, líneas F<sub>6</sub> del CIMMYT y variedades comerciales del INIFAP y Australia.

El mejoramiento genético del rendimiento en cebada podrá tener mayores avances en los programas de mejoramiento en un futuro, sí la selección de nuevos genotipos se apoya en un mayor conocimiento de la relación entre la capacidad fotosintética y producción de foto-asimilados, y la determinación del número de granos  $m^{-2}$  y el tamaño del grano en las etapas de crecimiento pre-antesis y pos-antesis. En condiciones de secano con problemas de sequía, especial cuidado deberá tenerse, para la selección en la relación entre la capacidad fotosintética, la capacidad de removilización de reservas del tallo al grano y el número y tamaño de los granos, ya que el estrés hídrico tiene efectos muy severos en estos componentes del rendimiento de los cultivos durante las etapas de floración y llenado del grano.

### CONCLUSIONES

Las líneas experimentales del CIMMYT tuvieron mayor rendimiento de grano que las líneas del Colegio de Postgraduados y las variedades comerciales del INIFAP y Australia en riego y sequía, pero en secano o temporal, los tres grupos de genotipos produjeron un rendimiento de grano similar e inclusive, hubo líneas del Colegio de Postgraduados que superaron ampliamente el rendimiento de las líneas del CIMMYT y las variedades comerciales del INIFAP, y de Australia. El rendimiento de grano estuvo positiva y significativamente asociado con la biomasa aérea y granos  $m^{-2}$ , y la biomasa aérea también se relacionó positiva y significativamente con el número de granos  $m^{-2}$  en riego, sequía y secano; las genotipos con mayor biomasa aérea y número de granos  $m^{-2}$  produjeron mayor rendimiento de grano.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Fundación Produce Tlaxcala, A.C., el financiamiento otorgado para la realización del presente estudio a través del proyecto de investigación COLPOS/016/03 (PM-16-15).

### REFERENCIAS

Cossani, C.M., Slafer, G.A., Savin, R. 2009. Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. *Field Crops Research*. 112:205-213.

Duggan, B.L., Fowler, D.B. 2006. Yield structure and kernel potential of winter wheat on the Canadian prairies. *Crop Science*. 46:1479-1487.

Entz, M.H., Fowler, D.B. 1990. Differential agronomic response of winter wheat cultivars to preanthesis environmental stress. *Crop Science*. 30:1119-1123.

Fischer, R.A. 1975. Yield potential in a dwarf spring wheat and the effect of shading. *Crop Science*. 15:607-613.

Fischer, R.A., Aguilar, I., Laing, D.R. 1977. Post-anthesis sink size in a high-yielding dwarf wheat: Yield response to grain number. *Australian Journal of Agricultural Research*. 28:165-175.

Gales, K. 1983. Yield variation of wheat and barley in Britain in relation to crop growth and soil conditions – A review. *Journal of Science, Food and Agriculture*. 34:1085-1104.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, DF. 1988, 217 p.

González, A., Martín, I., Ayerbe, L. 2007. Response of barley genotypes to terminal soil moisture stress: Phenology, growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research*. 58:29-37.

González, A., Bermejo, V., Gimeno, B.S. 2010. Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions. *The Journal of Agricultural Science*. Cambridge. 148 (3):319-328.

López-Castañeda, C., Richards, R.A. 1994a. Variation in temperate cereals in rainfed environments. I. Grain yield, biomass and agronomic characteristics. *Field Crops Research*. 37:51-62.

López-Castañeda, C., Richards, R.A. 1994b. Variation in temperate cereals in rainfed environments. II. Phasic development and growth. *Field Crops Research*. 37:63-75.

López-Castañeda, C. 1996. Uso eficiente del agua en un agrosistema sustentable. Memorias del II Simposio Internacional y III Reunión Nacional sobre Agricultura Sostenible. Campus San Luis Potosí, Colegio de Postgraduados. San Luis Potosí, México. Diciembre 1-3, 1996. Pp. 329-338.

López-Castañeda, C., Richards, R.A. 2001. ¿Contribuyen la tasa de crecimiento del grano y removilización de las reservas del tallo al rendimiento de grano durante la sequía? Memorias del IV Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja

- California. Mexicali, B.C., México. Octubre 25-26, 2001. Pp.61-66.
- McDonald, G.K., Gene, Y., Nurzhanuly, B., Trethowan, R., Reynolds, M.P., Yaqub Mujahid, M., Eagles, H., Oldach K.H., Mather D.E. Wallwork, H. 2008. Quantifying the value to grain yield of QTL for adaptation and tolerance to abiotic stress in bread wheat. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Wheat Genetics Symposium. Brisbane Convention and Exhibition Centre, Brisbane, Queensland, Australia. August 24-29, 2008. 3 p.
- Morgan, A.G., Riggs, T.J. 1981. Effects of drought on yield and on grain and malt characters in spring barley. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 32:339-346.
- Reynolds, M.P., Pellegrineschi, A., Skovmand, B. 2005. Sink-limitation to yield and biomass: A summary of some investigations in spring wheat. *Annals of Applied Biology*. 146:39-49.
- Samarah, N.H., Alqudah, A.M., Amayreh, J.A., McAndrews, G.M. 2009. The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 195:427-441.
- SAGARPA. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (<http://www.sagarpa.gob.mx>) (Consulta de datos estadísticos para el año 2009; Julio 8, 2010).
- SAS. 2009. The SAS System release 9.1 for windows. Cary, North Carolina, United States: SAS Institute, Inc.
- Sayre, K.D., Rajaram, S., R.A. Fischer. 1997. Yield potential progress in short bread wheats in northwest Mexico. *Crop Science*. 37:36-42.
- Shepherd, K.D., Cooper, P.J.M., Allan, A.Y., Drennan, D.S.H., Keatinge, J.D.H. 1987. Growth, water use and yield of barley in Mediterranean-type environments. *Journal of Agricultural Science. Cambridge*. 108:365-378.
- Villegas, D., Aparicio, N., Blanco, R., C. Royo. 2001. Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under Mediterranean conditions. *Annals of Botany*. 88:617-627.
- Zhang, H. Turner, N.C., Poole, M.L., Senthold, A. 2007. High ear number is key to achieving high wheat yields in the high-rainfall zone of south-western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*. 58:21-27.

*Submitted September 06, 2010 – Accepted October 13, 2010  
Revised received April 16, 2011*