Rev. Fitotec. Mex. 18: 174-187. 1995

RELACION ENTRE LA BIOMASA TOTAL Y EL RENDIMIENTO DE GRANO EN TRIGO[1]

RELATION BETWEEN TOTAL BIOMASS AND GRAIN YIELD IN WHEAT

Ignacio Benítez Riquelme[2], Omar Polidoro y Alfredo Calzolari[3]

RESUMEN

Se evaluó a diez genotipos de trigo de primavera, considerados como de alto potencial de producción de biomasa total y de rendimiento de grano, con el propósito de valorar la potencialidad de diferentes criterios de selección directa e indirecta para producción de biomasa y sus implicaciones en el rendimiento de grano. para ello, se condujeron dos ensayos bajo secano, en la Estación Experimental Agropecuaria de Pergamino, Argentina, ambos en el ciclo invierno-primavera de los años 1993 y 1994. A pesar de la diferencia en condiciones climáticas entre los dos años de evaluación, no hubo efecto significativo de la interacción genotipo por año para producción de biomasa total y vegetativa, pero sí para rendimiento de grano e índice de cosecha. En cada año los diez genotipos difirieron significativamente en los 14 caracteres medidos, con amplitudes en biomasa total y vegetativa de 12.5 a 7.9 y de 7.7 a 4.8 Mg ha^{-1}, respectivamente, en 1994; en 1993 la fluctuación fue el de 10.6 a 7.8 y de 9.3 a 6.6 Mg ha^{-1}, respectivamente. Los genotipos superiores en producción de biomasa total y vegetativa tuvieron también los mayores valores en número de granos por m^2, granos por espiguilla y altura de planta. De acuerdo con los resultados, se sugieren los siguientes criterios de selección directa e indirecta para mejorar el trigo: la tasa diaria de acumulación de materia seca en la planta completa y en el grano (lapso de la siembra a la cosecha), la biomasa vegetativa a floración, la calificación visual de la biomasa a floración y la altura de planta combinada con un alto número de granos por espiguilla en plantas individuales, o un alto número de granos por m^2 cuando los genotipos son evaluados bajo un sistema de producción específico.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Triticum aestivum L., biomasa total, biomasa vegetativa, rendimiento de grano, índice de cosecha, criterios de selección.

SUMMARY

Ten 10 spring wheat (*Triticum aestivum L.*) genotypes considered to have a high potential in total biomass and grain yield production, were used to evaluate the ability of several direct and indirect selection criteria for increasing the total biomass and grain yield of wheat. The study was conducted in 1993 and 1994 at the INTA-Pergamino Experimental Station, under rainfed conditions. In spite of the different climatic conditions which prevailed in the two cycles of evaluation, genotype x year interaction for total and vegetative biomass production was no significant, although grain yield x year and harvest index x year were significant. The ten genotypes significantly differed in 14 measured caracters. Total biomass and vegetative biomass ranged from 12.5 to 7.9 and 7.7 to 4.8 t ha^{-1}, respectively, in 1994, and from 10.6 to 7.8 and 9.3 to 6.6 t ha^{-1}, respectively, in 1993. The genotypes that showed the highest potential for these two characters in both years, were significantly better in terms of number of kernels per m^2, kernels per spikelet and plant height. According to these results, the following traits are suggested as selection criteria in a wheat breeding program: the daily rates of dry matter accumulation in the shoot and in the grain (from planting to maturity), vegetative biomass at heading, and plant height; all of them combined with a high number of

[1] Trabajo desarrollado a través del convenio entre el Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA) Argentina, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) México, y el Colegio de Postgraduados.

[2] Programa de Genética del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. CP 56230 Montecillo, Texcoco, México.

[3] Programa de Trigo de la Estación Experimental Agropecuaria, INTA, Pergamino, Bs. As. 2700. Argentina.

Fecha de recepción: 22 de marzo de 1995

kernels per spikelet in individual plants, or a high number of kernels per m^2 if genotypes are evaluated under specific production systems.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Triticum aestivum L., total biomass, vegetative biomass, grain yield, harvest index, selection criteria.

INTRODUCCION

El incremento en la productividad potencial de los cereales de grano pequeño durante los últimos cincuenta años, ha sido atribuida principalmente a una más eficiente partición de productos fotosintéticos hacia el grano en formación, propiciada en buena medida por la incorporación de los genes de enanismo a las variedades que se cultivan en la actualidad (Busch y Rauch, 1993). Sin embargo, se estima que los nuevos cultivares liberados han llegado al límite teórico en dicha partición o alcanzado el máximo índice de cosecha, particularmente en trigo (*Triticum aestivum* L.), el cual no puede ser mayor a 60% (Austin *et al.*, 1980). Por ello, para lograr un mayor potencial de rendimiento de grano, estudios recientes sugieren dirigir el mejoramiento genético a elevar la producción de biomasa (Whan *et al.*, 1991; Regan *et al.*,1992), apoyados en la constante y alta asociación positiva que se da, en las variedades nuevas, entre este carácter y el rendimiento de grano (Sharma y Smith, 1986).

En los análisis del progreso genético del rendimiento de grano a través del tiempo, se ha encontrado poco o nulo cambio en la biomasa (Austin *et al.*, 1980; Siddique *et al.*, 1989; Perry y D'Antuono, 1989). Según Donal y Hamblin (1976), las posibilidades para mejorar el rendimiento de grano son: aumentar el índice de cosecha manteniendo la biomasa constante, incrementar paralelamente el índice de cosecha y la biomasa, y mejorar la biomasa manteniendo sin cambio el índice de cosecha. Con las variedades nuevas ubicadas prácticamente en el límite máximo del índice de cosecha, lo más conveniente es intensificar la presión de selección hacia mayor producción de biomasa.

En general, hay poca información en la literatura sobre la heredabilidad de este carácter, que permita calcular su posible respuesta a la selección. En tres poblaciones distintas de trigo harinero de primavera, Loffler y Busch (1982) hallaron valores de heredabilidad para biomasa de 0.59, 0.63 y 0.64. Comparando estos resultados con los que normalmente se obtienen para rendimiento de grano, y considerando la alta correlación de éste con aquella, se podría obtener una mayor eficiencia relativa con el mejoramiento indirecto del rendimiento de grano, es decir, a través de la selección hacia mayor biomasa. Aplicando el criterio anterior, Rosielle y Frey (1975) encontraron en avena una eficiencia relativa 86% mayor en la respuesta a esta selección indirecta respecto a la que se obtiene con la selección directa para rendimiento de grano. En un trabajo similar con cebada, Boukerrou y Rasmusson (1990) hallaron heredabilidades para biomasa entre 0.67 y 0.75 y respuestas relativas esperadas superiores en 65% a la selección directa para rendimiento de grano.

No obstante el alto potencial de la respuesta esperada para biomasa, en la práctica normalmente no se recurre a ella como criterio de selección, debido al alto esfuerzo que representa la cosecha total (paja más grano) de las unidades de selección, su secado, pesado y separación del grano de la paja. Para reducirlo, Boukerrou y Rasmusson (1990) sugieren usar el peso fresco medido directamente en campo, ya que éste explicó el 74% de la variabilidad en el peso seco total.

Otras alternativas para facilitar el trabajo y disminuir costos en la medición de la

biomasa de las unidades de selección, es el uso de escalas visuales de clasificación en características asociadas al vigor, como la robustez del dosel vegetativo a la antesis y/o madurez, el tamaño y densidad de la espiga, la capacidad de macollaje, la altura de planta y la duración del ciclo de cultivo (Donal y Hamblin, 1976; Boukerrou y Rasmusson, 1990; Austin *et al.*, 1993).

Dicha capacidad de macollaje, es considerada por Hucl y Baker (1991) como una de las principales determinantes del rendimiento de grano en trigo, pero de escasa respuesta de manipulación genética. Los niveles bajos a intermedios de heredabilidad asociados a este carácter, sumado a la alta plasticidad de la planta de trigo para compensar sus componentes de rendimiento de grano (espigas por planta, granos por espiga y peso unitario de grano), dan como resultado que los genotipos contrastantes en su potencial de macollaje, produzcan rendimientos de grano similares (Dewey y Albretchsen, 1985). Lo anterior indica que la manipulación genética del potencial de macollaje podría ser poco efectiva para mejorar la biomasa y el rendimiento de grano del trigo.

Considerando que el arquetipo más eficiente para translocar fotoasimilados al grano es el de bajo macollaje (uno a tres tallos por planta), últimamente se han desarrollado genotipos con esta característica, la cual normalmente está determinada por dos o tres pares de genes (Merrit, 1988). Sin embargo, en estos arquetipos, la manipulación del número de tallos por planta está limitada por la escasa variación en el número de ellos; además, cuando se compara el potencial productivo de éstos con los de alta capacidad de macollaje, los primeros presentan serias desventajas en rendimiento de grano por su baja sensibilidad ambiental, en relación a los segundos, particularmente en condiciones de riego con bajas densidades de siembra. En cambio, bajo secano tales arquetipos superan a los otros, puesto que los asimilados no son canalizados a rebrotes cuando hay distribución errática de lluvias, sino más bien al grano (Busch y Rauch, 1993).

En cuanto a la altura de planta, en numerosos estudios se le ha encontrado positivamente asociada con la biomasa y con el rendimiento de grano, aún en poblaciones con genes enanizantes (Law *et al.*, 1978). Pero cuando se le ha usado como criterio de selección en generaciones segregantes de trigo, los resultados no han sido lo suficientemente satisfactorios en el rendimiento de grano o la biomasa, a pesar de su alta heredabilidad (Busch y Rauch, 1993). En opinion de algunos autores (Feyerherm *et al.*, 1984; Austin *et al.*, 1993), el uso de la altura de planta como criterio de selección sólo sería aconsejable si se combina con una evaluación del tamaño y de la fertilidad de la espiga. Estas últimas pueden ser estimadas mediante el número de granos por espiga y la longitud de la espiga.

La duración del ciclo de cultivo con frecuencia presenta también alta asociación positiva con la producción de biomasa y de grano (Sharma y Smith, 1986). En este caso, sin embargo, debe definirse antes la amplitud de la estación de crecimiento disponible en las zonas agroecológicas y luego seleccionar dentro de ese margen a aquellos genotipos de mayor producción de biomasa y rendimiento de grano. Desde este punto de vista, la selección de progenitores para alta producción de biomasa y alto rendimiento, tendría que hacerse en cada grupo de precocidad; es decir, dentro de precoces, intermedios o tardíos.

Por otra parte, bajo secano parece que no hay interacción significativa entre los genotipos y los diferentes sistemas de manejo. Tremblay y Vasseur (1994) evaluaron tres sistemas de producción durante dos años:

reducido (50 kg de N ha^{-1} y 375 plantas m^{-2}), convencional (100 kg de N ha^{-1} y 375 plantas m^{-2}) e intensivo (150 kg de N ha^{-1} y 450 plantas m^{-2}), en genotipos contrastantes en producción de biomasa y rendimiento de grano; encontraron que si bien los sistemas de manejo y los genotipos fueron significativamente diferentes, no hubo interación significativa entre ellos, ni entre ni dentro de años de evaluación.

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar 10 genotipos de trigo considerados como de alto potencial de producción de biomasa total y de rendimiento de grano, para relacionar dichos caracteres entre sí y con otros caracteres agronómicos. Se valoró además, la potencialidad de diferentes criterios de selección directa e indirecta para alta producción de biomasa total y sus implicaciones en el rendimiento de grano.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo incluyó a 10 genotipos de trigo harinero de primavera. Nueve de ellos son variedades comerciales ampliamente cultivadas en las principales zonas trigueras de Argentina, entre los años de 1979 a 1993; el genotipo restante fue un trigo híbrido comercial (Cuadro 1). Estos genotipos fueron seleccionados, a juicio de los fitomejoradores, por sus altos valores de producción de biomasa, rendimiento de grano y de índice de cosecha.

Tales genotipos fueron ensayados en dos sitios de secano en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto de Tecnología Agropecuaria, de Pergamino, Argentina, durante el ciclo invierno-primavera de 1993 y 1994. El suelo de ambos sitios corresponde a un Argiudol

Cuadro 1. Características de días a floración (DF), origen y año de liberación (ADL), de los genotipos seleccionados por su alto potencial de producción de biomasa e índice de cosecha (IC).

Genotipos	Progenitores	ADL	DF	IC (%)
Granero Inta	Buc's//Ajy's	1987	95	41.7
Pampa Inta	Jar's/Chs//cc/Jar's	1984	95	43.1
Prointa Oasis	Oasis//Trm	1988	110	43.1
Prointa Federal	Bowhite's	1988	94	44.8
Prointa Isla V.	Paloma//Inia66/Ciano//Cal/4/Bjy's	1987	95	38.7
Prointa Quintal	Maya74/Banabza/Alerce	1993	104	40.8
Klein Chamaco	Buc's	1979	94	39.9
Klein Cobre	Kl Color/K Crédito/Marco J. Inta	1987	94	38.4
Klein Cacique	Vee's	1991	111	41.8
Trigomax 100[1]	Cargill	1991	104	43.6

[1] Híbrido de cruza simple.

típico serie Pergamino, con 22% de arcilla, 15% de arena y pH de 6.3 en el estrato de 0 a 15 cm. La historia de manejo cultural del suelo es una rotación de trébol blanco (*Trifolium repens* L.) por dos años, alternado con un año de trigo, rompiendo la secuencia cada cinco años con maíz o soya. Normalmente, el trébol es cosechado para grano en enero y sus residuos incorporados con labranza convencional. El análisis químico del suelo a la siembra dio un promedio de 4.6% de materia orgánica, 0.23% de nitrógeno y 43 ppm de fósforo.

En los dos años la siembra se hizo el primero de julio sobre terreno húmedo (Figura 1), sin fertilizantes químicos, con sembradora experimental, en parcelas de siete surcos de 5.5 m de longitud espaciados a 20 cm. La semilla fue depositada a 4 cm de profundidad, a una densidad de 320 plantas m^{-2}. La protección del cultivo fue con herbicidas post-emergentes en las etapas fenológicas de 4 a 5 hojas y de macollaje. En la primera se usó Dicamba (100 mL) más Metil Sulfurón (2 g) con 200 mL de adherente disuelto en 100 L de agua ha^{-1}; en la segunda se usó Iloxán (Diclorofop-metil 28%) a dosis de 2 L ha^{-1} disuelto en la misma cantidad de agua.

En 1994 los datos tomados en cada parcela fueron: número de plantas por m^2, contadas dos semanas después de la germinación; días a antesis (DF), cuando el 50% de las espigas mostraban anteras extruídas en sus

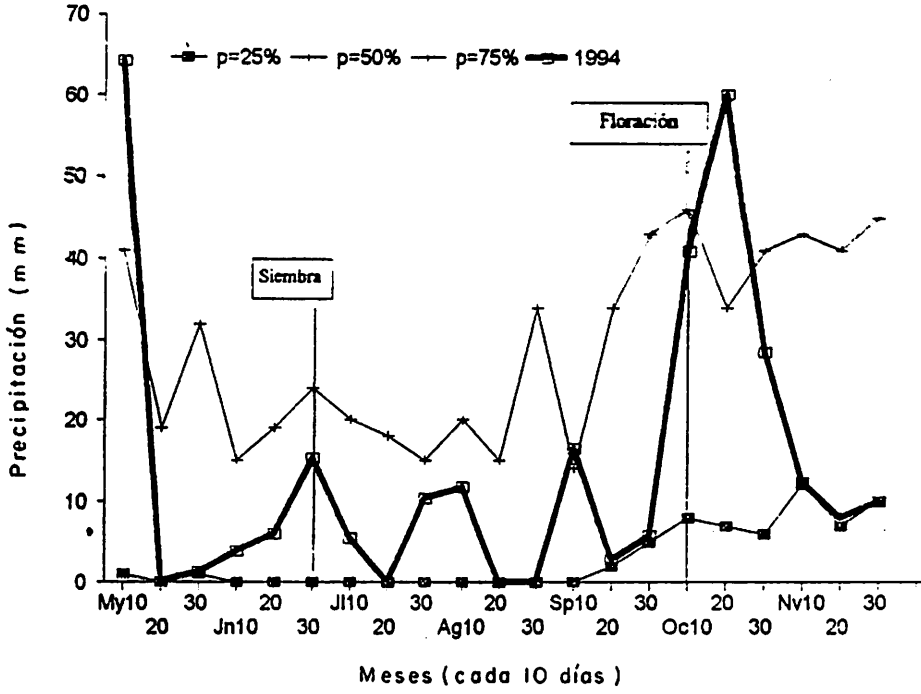


Figura 1. Probabilidades al 25, 50 y 75% de ocurrencia de la lluvia acumulada cada diez días en el promedio de los últimos diez años para la Estación Experimental de Pergamino, comparada con la registrada en el ciclo de cultivo de trigo.

espiguillas centrales; altura de diez plantas tomadas al azar, medida en cm; y calificación visual de la biomasa aérea medida poco después de la floración mediante una escala visual de 1 a 5, basada principalmente en la altura y robustez del dosel vegetal, donde 1 y 5 corresponden a baja y alta biomasa, respectivamente. A la madurez, en dos muestras de un metro lineal tomadas al azar en cada parcela, se arrancó a las plantas con todo y raíz y se contó el número de granos por espiga en 10 espigas tomadas al azar, número de espigas por m^2, número de granos por m^2 así como el peso seco de 1000 granos, de raíces, de grano y de paja. Los días a madurez (DM) se tomaron cuando el 95% de las espigas de la parcela habían perdido la coloración verde. Con la diferencia de DM-DF se calculó el periodo de llenado de grano.

A la cosecha, el resto de las plantas fue cortado al ras del suelo en los cinco surcos centrales de la parcela, dejando 0.25 m en cada extremo del surco, para obtener una área útil de 5.0 m^2. Los manojos fueron llevados a peso seco y trillados. Con esta información más la obtenida con las dos muestras por parcela, se estimó el peso de la biomasa total (BT) y el rendimiento de grano (R) expresados en kg ha^{-1} a cero % de humedad. Luego se calculó el índice de cosecha (IC)=R/BT, biomasa vegetativa (BV) = BT-R y las tasas medias de acumulación de materia seca por día, mediante los cocientes BT/DF y R/DF. Del ciclo invierno-primavera 1993 sólo se incluyó en el presente análisis a los caracteres BT, BV, R e IC. Los análisis de varianza se hicieron por cada carácter para cada año, así como para el combinado de años. La comparación de medias se hizo mediante la prueba de Duncan (α=0.05). Para estudiar las relaciones entre la biomasa total y biomasa vegetativa con los otros caracteres medidos en 1994, se calcularon los coeficientes de correlación fenotípica.

En ambos años y durante la estación de crecimiento del cultivo del trigo (junio a noviembre), se registró la precipitación acumulada y la temperatura media de cada 10 días y se comparó con aquellas ocurridas en los últimos 10 años para probabilidades de ocurrencia del 25, 50 y 75%.

RESULTADOS Y DISCUSION

La precipitación acumulada durante la estación de crecimiento del cultivo de trigo en 1994, fue de 239 mm; esto es 40% inferior respecto al promedio de 408 mm de los últimos diez años. La mitad de ésta (54%) se concentró en el mes de octubre, coincidiendo con el inicio de la floración y primera fase del llenado de grano. Con excepción de este periodo y el de siembra, el resto del ciclo de cultivo se ubicó entre los años más secos, los cuales son esperados con una probabilidad de ocurrencia del 25 al 50% en el área de influencia de la estación experimental (Figura 1).

La temperatura media para el mismo periodo de cultivo, con excepción del primer tercio de julio (siembra), fue prácticamente igual a la de la temperatura máxima promedio de los últimos diez años, situación que sucede con una probabilidad menor al 25% (Figura 2). En la misma época, pero en 1993, la tendencia de la temperatura media mensual fue casi idéntica a la de 1994, excepto para el mes de noviembre, donde 1993 fue 13% más bajo que 1994. La precipitación de 1993 fue de 505 mm, 2.1 veces superior a la de 1994 y concentrada en un 70% en las etapas fenológicas de floración (52%) y llenado de grano (18%). La inusual concentración de lluvia en floración (263 mm) motivó una alta incidencia y daño severo del hongo fusarium de la espiga (*Fusarium graminearum*), con la consecuente disminución del índice de cosecha de los genotipos evaluados.

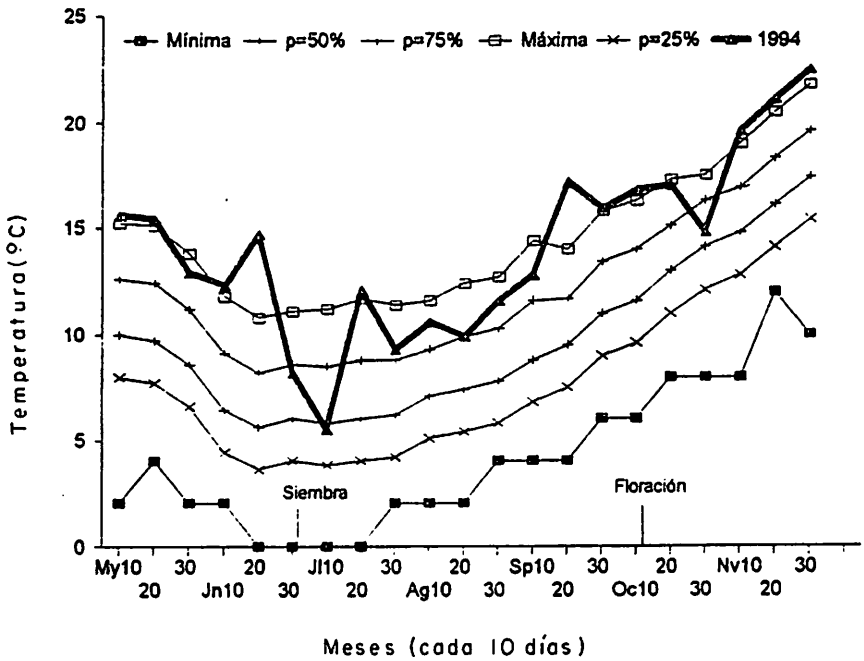


Figura 2. Temperatura media mínima, y su probabilidad de ocurrencia para cada 10 días al 25, 50 y 75% en el promedio de los últimos diez años, para la Estación Experimental de Pergamino, comparado con la media registrada en el ciclo de cultivo de trigo en 1994.

Hubo diferencias significativas entre genotipos en cada uno de los catorce caracteres evaluados, siendo pequeña y no significativa la varianza de la interacción genotipo x año en la producción de biomasa total y en la vegetativa; en cambio, esta interacción fue significativa para rendimiento de grano e índice de cosecha (Cuadro 2). Dado que la prueba de error para producción de biomasa total y vegetativa mostró heterogeneidad de varianzas, no se hizo un análisis combinado en ellos. Con base en lo anterior, la presentación y discusión de los resultados se llevó a cabo para cada año de evaluación.

De acuerdo con el objetivo de la presente investigación, se dio prioridad a la producción de biomasa total, de modo que los datos fueron ordenados con base a dicha variable. A pesar de las mejores condiciones climáticas (temperatura y precipitación) de 1993, la producción de biomasa total fue significativamente mayor (1.3 t ha^{-1}) en 1994. El índice de cosecha fue de 39.1% en 1994 y de apenas 14.2% en 1993; ello refleja que en 1993 hubo un considerable desbalance en la distribución de biomasa, el cual se atribuye al ataque severo de fusarium de la espiga que redujo la acumulación de materia seca en ella y promovió la de la biomasa vegetativa, ante la disminución de la demanda de fotoasimilados en el grano. En 1994, a pesar de haber sido un año seco (Figura 1) y de temperaturas altas (Figura 2), el índice de cosecha fue inferior en sólo 5% respecto al promedio típico de los genotipos evaluados (Cuadro 1).

Cuadro 2. Promedio en kg ha^{-1} para biomasa total (BT)), vegetativa (BV), rendimiento de grano (R) e índice de cosecha (IC) de diez genotipos de trigo evaluados en la Estación Agropecuaria Experimental de Pergamino, en los años 1993 y 1994.

Parámetro[1]	BT	BV	R	IC (%)
1994	9897 a	5596 b	3901 a	39.1 a
1993	8598 b	7389 a	1210 b	14.2 b
EM	265	212	97	0.7
DMS(0.05)	1183	947	435	3.2
CV(%)	10	13	10	8.9
G x A	NS	NS	**	**

[1] Medias con la misma letra en una columna, no difieren significativamente (Duncan, 0.05).
** Significancia a $P<0.01$, NS no significativo. EM = error estándar de la media; DMS (0.05) = diferencia mínima significativa; CV (%) = coeficiente de variación y G x A = interacción genotipo x año.

De acuerdo con su producción de biomasa total, los genotipos se clasificaron en tres grupos: alta, intermedia y baja (Cuadros 3 y 4). En ambos años, la variedad Klein Cacique y el híbrido Trigomax 100 fueron los mayores productores de biomasa. Cabe destacar que en 1994, el genotipo Klein Cacique superó en 42% al más viejo de los cultivares, Klein Chamaco. Conviene señalar también que el híbrido de cruza simple, Trigomax 100, liberado por la empresa Cargill, en la actualidad está fuera del mercado de semillas por sus altos costos de producción y por tener el mismo rendimiento potencial que la variedad Klein Cacique. La menor producción de biomasa fue observada en el cultivar Prointa Oasis, ya que rindió 4.5 y 2.9 t ha^{-1} menos que el mejor cultivar en biomasa total y vegetativa, indicando que aún hay variabilidad entre los 10 genotipos considerados como de alta productividad.

En 1993 hubo menos diferencias genotípicas en la producción de biomasa total y vegetativa que en 1994, pero se mantuvo prácticamente igual su clasificación por capacidad productiva. Este paralelismo, evidenciado por la ausencia de interacción genotipo por año para ambos caracteres, es consistente con lo reportado en la literatura para áreas de secano (Tremblay y Vasseur, 1994). Es decir, independientemente del sistema de manejo o de diferencia en años, los mejores genotipos para producir alta biomasa total o vegetativa son generalmente los mismos.

Al igual que en biomasa, los cultivares Klein Cacique y Trigomax 100 se ubicaron en el grupo de mayor rendimiento de grano en 1994; en 1993, sólo el primero participó en ese grupo. Salvo este cultivar, en el resto de ellos es evidente la ausencia de paralelismo en el comportamiento a través de años. Por tanto, para mejorar el rendimiento de grano a través de la selección por mayor producción de biomasa total, tal y como lo sugieren Donal y Hamblin (1976), Whan *et al.* (1991) y Regan *et al.* (1992), necesariamente deberá vigilarse en las generaciones segregantes de sus cruzas, la consistencia de su índice de cosecha.

El ciclo de cultivo de los genotipos fue de 147 días en promedio, de los cuales el 70%

Cuadro 3. Promedios para ocho caracteres agronómicos de diez genotipos de trigo, agrupados en alta, intermedia y baja producción de biomasa total (BT) (Pergamino, 1994).

Genotipo y grupo de producción	BT (kg ha^{-1})	BV (kg ha^{-1})	R (kg ha^{-1})	IC (%)	DF	DM	PLLG	CVB
BT alta								
Klein Cacique	12520 a	7750 a	4767 a	38.1 b	111 a	152 a	40 d	4.51 a
Trigomax 100	12290 a	7294 ab	4997 a	40.6 b	104 c	147 b	42 b	3.62 b
BT intermedia								
Prointa Federal	10690 b	6741 bc	3951 bc	37.3 b	101 ef	145 d	44 b	3.75 b
Granero Inta	10470 b	6240 c	4229 b	40.5 b	102 d	146 c	44 b	3.37 bc
BT baja								
Prointa Isla Verde	9284 c	5239 de	3644 cd	39.3 b	102 de	147 b	44 b	2.87 d
Prointa Quintal	9232 c	5618 cd	3614 cd	39.2 b	103 cd	146 cd	42 cd	3.12 cd
Klein Cobre	8978 cd	5663 cd	3315 d	36.8 b	104 c	148 bc	43 bc	1.87 e
Klein Chamaco	8793 cd	5464 ce	3328 d	37.8 b	99 g	146 c	48 a	2.75 d
Pampa Inta	8751 cd	4712 e	4038 bc	46.1 a	100 fg	144 d	44 b	2.87 d
Prointa Oasis	7970 d	4839 de	3132 d	39.4 b	107 b	149 bc	41 d	2.75 d
Media (10 genotipo)	9897	5996	3901	39.1	103	147	43	3.11
DMS (0.05)	1033	832	479	4.1	1.43	1.81	1.9	0.46
Error estándar	356	287	165	1.0	0.49	0.62	0.7	0.16
CV (%)	7.19	9.57	8.47	6.89	2.1	1.1	3.1	10.1

Medias con la misma letra, no difieren significativamente (Duncan, 0.05). BT = biomasa total; BV = biomasa vegetativa; R = rendimiento de grano; IC = índice de cosecha; DF = días a floración; DM = días a madurez; PLLG = periodo de llenado de grano; CVB = calificación visual de biomasa a la floración.

Cuadro 4. Promedios en kg ha^{-1} para biomasa total (BT), vegetativa (BV), rendimiento de grano (R) e índice de cosecha (IC) de diez genotipos de trigo, agrupados en alta, intermedia y baja producción de biomasa total (Pergamino, 1993).

Genotipos y grupo de producción	BT	BV	R	IC (%)
BT alta				
Trigomax 100	10680 a	9338 a	1338 b	12.5 de
Klein Cacique	9838 ab	7729 ab	2118 a	21.5 a
Granero Inta	9175 ab	8200 ab	975 ef	10.5 f
Prointa Quintal	8900 ab	7505 abc	1395 b	15.6 c
BT intermedia				
Prointa Federal	8650 bc	7888 ab	763 f	9.1 g
Prointa Isla Verde	8075 bc	7053 bc	1023 de	12.6 de
Prointa Oasis	7938 bc	6875 bc	1063 cde	13.4 d
Klein Cobre	7863 bc	6608 bc	1255 bcd	16.2 c
Klein Chamaco	7850 bc	6950 bc	900 ef	11.7 ef
BT baja				
Pamapa Inta	7025 c	5732 c	1273 bc	18.5 b
Media (10 genotipos)	8598	7389	1210	14.2
Error estándar	599	571	77.8	0.5
DMS (0.05)	1738	1657	225.7	1.45
CV (%)	14	15	13	14

Medias con la misma letra en una columna, no difieren significativamente a $P < 0.05$; DMS = diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación, en porciento. BT, BV, E e IC, igual que en Cuadro 3.

transcurrió de la siembra a la floración y el 30% en el llenado del grano, que fue relativamente corto (43 días) y muy parecido en nueve de los diez cultivares. A la falta de lluvia a inicios de noviembre se atribuye el corto periodo de llenado de grano, ya que en condiciones menos severas de sequía, el llenado de grano representa aproximadamente el 40% del ciclo de cultivo.

La tasa media de acumulación de materia seca por día, que según Sharma y Smith (1986) permite separar el efecto de la precocidad normalmente asociada en forma negativa a la producción de biomasa total, resultó directamente proporcional a la producción de dicha biomasa. Por ejemplo, en el genotipo Trigomax 100 fue de 118 kg ha^{-1} $día^{-1}$ y de 113 kg ha^{-1} $día^{-1}$ en Klein Cacique, mientras que en la variedad Prointa Oasis fue de apenas 74 kg ha^{-1} $día^{-1}$. La tasa correspondiente al rendimiento de grano, arrojó proporcionalmente los mismos resultados. De haber consistencia en futuros

trabajos respecto a la estrecha relación entre la tasa diaria de acumulación de materia seca y la producción de biomasa, la primera podría usarse como criterio de selección hacia una alta producción de biomasa total.

Un recurso adicional para estimar el potencial productivo de la biomasa total, es el uso de la escala visual de altura y robustez del dosel vegetativo y del tamaño de la espiga a la floración, recomendada por Boukerrou y Rasmusson (1990) para bajar costos de medición en segregantes y como un método no destructivo de evaluación. En este trabajo fue efectiva para identificar a los genotipos Klein Cacique, Trigomax 100, Granero Inta y Prointa Quintal como los de mayor producción de biomasa total; sin embargo, no se logró una simetría total entre la cantidad de biomasa y su medida visual.

Los genotipos de mayor producción de biomasa total y rendimiento de grano, también fueron superiores en número de granos por m^2, granos por espiguilla y altura de planta (Cuadros 5 y 6). En este sentido, Feyerherm *et al.* (1984) y Austin *et al.* (1993) consideran que el uso de la altura de planta como criterio de selección indirecta para producción de biomasa total es conveniente cuando ésta es acompañada de una medición adicional del tamaño y fertilidad de la espiga. Así, para la selección de líneas avanzadas o cultivares bajo un sistema o condiciones de cultivo determinado, podría hacerse con aquellas más altas y con un mayor número de granos por m^2. En materiales segregantes, donde la unidad de selección es la planta o una familia de plantas normalmente espaciadas, la altura de planta podría ser acompañada con el número de granos por espiguilla, ya que ni el número de granos por espiga ni el de espiguillas por espiga, presentaron correlación significativa con la biomasa total (Cuadro 6).

La correlación entre biomasa vegetativa con rendimiento de grano fue positiva y altamente significativa. De emplearse la primera como criterio de selección para identificar genotipos de alto rendimiento, ésta podría hacerse a la floración, acompañada inclusive con alguna medición de la espiga, como el peso seco de la espiga principal de una planta o conjunto de plantas, ya que según estudios recientes (Siddique *et al.*, 1989; Perry y D'Antuono, 1989; Whan *et al.*, 1991) un mayor peso seco de la espiga a floración indica un alto número potencial de granos y un alto índice de cosecha.

CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones ambientales en que se desarrolló la presente investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

No se encontró significancia en la varianza de interacción genotipo por años para producción de biomasa total y vegetativa, pero sí para rendimiento de grano e índice de cosecha.

Los cultivares Klein Cacique y Trigomax 100 fueron los de mayor producción de biomasa total y vegetativa en ambos años de evaluación. En rendimiento de grano, ambos cultivares tambien sobresalieron en 1994, y sólo el primero en 1993.

La selección por mayor producción de biomasa total como criterio de selección indirecta para mejorar el rendimiento de grano, podría resultar efectiva siempre y cuando no se reduzca el índice de cosecha de las unidades de selección.

Dentro de la estación de crecimiento disponible para el cultivo del trigo en el ciclo invierno-primavera, la tasa diaria de acumulación de materia seca total o de grano permitió identificar a los genotipos de mayor biomasa total y rendimiento de grano.

Cuadro 5. Promedios de siete caracteres agronómicos en diez genotipos de trigo agrupados en alta, intermedia y baja producción de biomasa total (BT) (Pergamino, 1994).

Genotipos y grupo de producción	AP (cm)	NE m^{-2}	GE	PUG (mg)	NG m^{-2}	EE	GES
BT alta							
Klein Cacique	93.7 a	556 a	44 a	30.4 cd	18110 a	18 b	2.6 a
Trigomax 100	91.4 a	555 a	46 a	33.6 b	15370 a	17 bc	2.7 a
BT intermedia							
Prointa Federal	81.1 bc	437 ac	37 bc	36.9 ab	10340 b	17 bc	2.2 cd
Granero Inta	80.9 bc	330 cd	41 ab	38.2 a	10840 b	16 c	2.5 ab
BT baja							
Prointa Isla Verde	74.9 d	382 cd	42 ab	27.3 de	12830 b	18 b	2.4 bc
Prointa Quintal	90.3 a	407 bc	39 ac	38.6 a	10700 b	17 bc	2.3 cd
Klein Cobre	80.1 bc	514 ab	33 c	27.2 de	12880 b	14 d	2.4 bc
Klein Chamaco	83.3 b	436 ac	35 bc	33.8 bc	10088 b	14 d	2.5 ab
Pamapa Inta	82.2 b	434 bd	34 c	30.7 cd	10430 b	16 c	2.1 d
Prointa Oasis	78.7 c	315 d	46 a	25.8 e	9685 b	21 a	2.2 cd
Media (10 genotipos)	83.9	427	40	32.2	12146	16.8	2.37
Error estándar	1.2	41.3	2.3	1.5	1221	0.5	0.10
DMS (0.05)	3.4	119.9	6.6	4.3	3543	1.5	0.28
CV (%)	2.8	19.3	11.5	9.2	21	6.1	8.40

Medias con la misma letra en una columna, no difieren significativamente (Duncan, 0.05). AP = altura de planta; NE = número de espigas; GE = granos por espiga; PUG = peso unitario de grano; NG = numero de granos; EE = espiguillas por espiga; GES = granos por espiguilla.

Cuadro 6. Correlaciones fenotípicas entre biomasa total y biomasa vegetativa con 14 caracteres agronómicos, con base en el comportamiento de diez genotipos de trigo evaluados en 1994.

Carácter	Biomasa total	Biomasa vegetativa
Rendimiento de grano	0.87**	0.67**
Indice de cosecha	-0.15	-0.45**
Biomasa total		0.95**
Biomasa vegetativa	0.87**	
Número de granos por m^2	0.63**	0.56**
Peso de 1000 granos	0.34*	0.29
Días a floración	0.37*	0.37*
Días a madurez	0.36*	0.45**
Periodo de llenado de grano	-0.22	-0.14
Calificación visual de la biomasa	0.49**	0.41**
Altura de planta	0.61**	0.55**
Granos por espiguilla	0.44**	0.46**
Espiguillas por espiga	0.03	0.02
Granos por espiga	0.33*	0.31
Espigas por m^2	0.42**	0.43**

*, ** diferencias significativas a $P < 0.05$ y $P < 0.01$, respectivamente.

Los genotipos superiores en producción de biomasa vegetativa, total y rendimiento de grano, tuvieron significativamente los mayores valores en el número de granos por m^2, granos por espiguilla y altura de planta.

BIBLIOGRAFIA

Austin, R.B., J. Bingham, R.D. Blackwell, L.T. Evans, C.L. Morgan, and M. Tailor. 1980. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. J. Agric. Sci. 94:975-690.

Austin, R.B., M.A. Ford, C.L. Morgan and D. Yeoman. 1993. Old and modern wheat cultivars compared to broadbalk wheat experiment. Eur. J. Agron. 2(2):141-147.

Boukerrou, L. and D.D. Rasmusson. 1990. Breeding for high biomass yield in spring barley. Crop Sci. 30:31-35.

Busch, R.H. and T.L. Rauch. 1993. Agronomic performance of tall versus short semidwarf lines of spring wheat. Crop Sci. 33:941-943.

Dewey, W.G. and R.S. Albrechtsen. 1985. Tillering relationships between spaced and densely sown populations of spring and winter wheat. Crop Sci. 25:245-249.

Donal, C.M. and J. Hamblin. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron. 28:361-405.

Feyerherm, A.M., G.M. Paulsen, and J.L. Sebaugh. 1984. Contribution of genetic improvement to recent wheat yield increases in the USA. Agron. J. 76:985-990.

Hucl, P. and R.J. Baker. 1991. Effectiveness of early generation selection for tillering capacity in spring wheat. Crop Sci. 31:938-942.

Law, C.N., J.W. Snape, and A.J. Worland. 1978. The genetical relationship between height and yield in wheat. Heredity 40:133-151.

Loffler, C.M. and R.H. Busch. 1982. Selection for grain protein, grain yield, and nitrogen partitioning efficiency in hard red spring wheat. Crop Sci. 22:591-595.

Merrit, R.G. 1988. Inheritance of culm number in two uniculm x multiculm wheat crosses. Euphytica 38:105-111.

Perry, M.W. and M.F. D'Antuono. 1989. Yield improvement and associated characteristics of some australian spring wheats introduced between 1860 and 1982. Aust. J. Agric. Res. 40:457-472.

Regan, K.L., K.H.M. Siddique, N.C. Turner, and B.R. Whan. 1992. Potential for increasing early vigour and total biomass in spring wheat. II. Characteristics associated with the early vigour. Aust. J. Agric. Res. 43:541-553.

Rosielle, A.A. and K.J. Frey. 1975. Application of restricted selection index for grain yield improvement in oats. Crop Sci. 15:544-547.

Sharma, R.C. and E.L. Smith. 1986. Selection for high and low harvest index in three winter wheat populations. Crop Sci. 26:1147-1150.

Siddique, K.H.M., R.K. Belford, M.W. Perry, and D. Tennat. 1989. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. Aust. J. Agric. Res. 40:473-487.

Tremblay, G. and C. Vasseur. 1994. Management effects on yield and above-ground biomass of three spring wheat cultivars. Can. J. Plant Sci. 74:279-285.

Whan, B.R., G.P. Carlton, and W.K. Anderson. 1991. Potential for increasing early vigour and total biomass in spring wheat. I. Identification of genetic improvement. Aust. J. Agric. Res. 42:347-361.