

CARACTERIZACION DEL GERMOPLASMA DE CEBADA EN URUGUAY, DE ACUERDO A VARIABLES AGRONOMICAS Y DE CALIDAD DE GRANO

A. Castro; O. Ernst; E. Hoffman y O. Bentancur

Aceptado: 17 de febrero de 1997

RESUMEN

Se evaluaron 46 genotipos de cebada maltera de diversos orígenes, incluyendo 5 testigos comerciales de amplia utilización en el país, en dos años para caracterizar la variabilidad genética en uso en mejoramiento en el Uruguay y su potencial para superar los rendimientos actuales. Los dos años analizados fueron altamente contrastantes en términos climáticos.

Los genotipos fueron agrupados de acuerdo a su comportamiento relativo en los dos años para un conjunto de 14 variables agronómicas y de calidad física de grano, y analizados por análisis de grupos. Se estudiaron las variables que explicaron en cada caso la separación de grupos.

Los testigos mostraron la capacidad de mantener un buen rendimiento y calidad de grano en condiciones climáticas limitantes. En el año de alta producción varios genotipos introducidos superaron a los mejores testigos, pero ninguno mantuvo ese comportamiento superior en condiciones ambientales limitantes. Este comportamiento se asoció a ciclos a espigazón más largos y períodos de llenado de grano más cortos, que dificultan la adaptación a las condiciones nacionales. El uso de germoplasma introducido resultó un camino ineficiente para el logro de altos potenciales de rendimiento que se asocien a niveles altos y estables en calidad de grano.

PALABRAS CLAVES: Cebada, germoplasma, análisis de grupos.

SUMMARY

BARLEY GERMOPLASMA CHARACTERIZATION USING AGRONOMIC AND QUALITY TRAITS

Forty six malting barley genotypes, including five commercial varieties, were evaluated in two years in order to characterize the genetic variability in breeding use in Uruguay, and its potential to overyield the varieties presently in use. The two analyzed years were highly contrasting in climatic characteristics.

The genotypes were grouped according to their relative performance in the two years for a group of fourteen agronomic and grain quality traits. A cluster analysis was carried on them, and the traits responsible of each cluster separation were studied.

The checks showed the capability of maintaining a good grain yield and quality level in climatic stressing conditions. In the high yield potential year several introduced genotypes overcame the best checks, but they failed in maintain that superiority in a climatic stress condition. This behaviour was associated to longer cycles to anthesis and shorter grain filling periods, which difficult the adaptation to national conditions. The use of introduced germplasm was a difficult way for reaching high yield potentials with high and stable grain quality.

KEY WORDS: Barley, germoplasm, cluster analysis.

INTRODUCCION

El resultado del mejoramiento genético en cualquier cultivo depende de la variabilidad genética disponible. En cebada cervecera esto tiene particular importancia al ser un cultivo con una variabilidad genética a nivel mundial relativamente menor y con exigencias fuertes por parte de la industria maltera. Wych y Rasmusson (1983) refiriéndose a este último factor, señalan que ha actuado como una limitante severa en cuanto al uso de nuevo germoplasma.

Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni",
Facultad de Agronomía, Paysandú, Uruguay.
Correspondencia: Ariel Castro, Fac. de Agronomía, Est. Exp.
"Dr. Mario A. Cassinoni". Ruta 3 Km 373, Paysandú.
CP 60000 Paysandú, Uruguay. FAX + 598-72-27950.
E-mail vontruch@eemac.edu.uy

En Uruguay Luizzi y Castro (1992) analizaron las genealogías de los cultivares autorizados a comercializar en la zafra 1990-91 concluyendo que la base genética utilizada en la producción nacional era particularmente estrecha. Esta situación presentaba similitudes con las de otras regiones de producción a nivel mundial (Peeters, 1988).

En función de lo anterior la caracterización adecuada de la base genética disponible es una tarea prioritaria para el mejoramiento genético. Para esto resulta importante la estimación de la variabilidad disponible en características de interés agronómico o industrial, aportando simultáneamente en la definición de nuevas características objetivos. Ambas tareas son objetivo fundamental del programa de investigación en cebada cervecera de la Facultad de Agronomía desde 1991.

Hoffman, *et al.* (1995) agruparon las variedades sembradas en Uruguay en cuatro grupos de acuerdo a su crecimiento inicial. Las variedades de más reciente liberación presentaron tasas iniciales de crecimiento menores con un aumento post-macollaje muy marcado. Castro *et al.* (1995) agruparon esos mismos materiales de acuerdo a rendimiento en grano, componentes de rendimiento y ciclo. Encontraron que el grupo de mayor potencial de rendimiento (que incluye a las variedades más recientemente liberadas) se caracterizaba por lograr los mejores rendimientos basados en el número de espigas, altos pesos de grano y tamaño de espiga intermedio aunque superior a los materiales precedentes. Este rendimiento se asoció a un período de llenado de grano mayor, con reducción del ciclo a espigazón. Los autores definen este grupo de materiales como el objetivo a superar por el mejoramiento genético nacional. Sus principales características, en particular su lento crecimiento inicial y rápido crecimiento preantesis, y su largo de llenado de grano asociado a ciclos a espigazón más cortos, surgen como criterios de interés para la selección de material genético.

Otro objetivo del programa de investigación en cebada cervecera de la Facultad de Agronomía es la superación de limitantes que afecten el potencial de rendimiento a través del mejoramiento genético (Castro *et al.*, 1994). La identificación de grupos de materiales que aumenten el rendimiento potencial en diversas condiciones es un resultado altamente deseable para el programa.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar el comportamiento de la base genética disponible en años con condiciones de expresión de rendimiento contrastantes. Se utilizó el material introducido por el programa de mejoramiento de Facultad de Agronomía e incluido en etapas avanzadas de evaluación interna. Si bien este programa es sólo uno de los cinco existentes a nivel nacional³, se consideró que representa en forma aceptable la disponibilidad promedio de germoplasma de los restantes.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo consistió en el análisis de datos provenientes de ensayos de evaluación del programa de mejoramiento de la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, de dos años: 1992 y 1993. Se utilizaron los valores promedio por material y en aquellos incluidos en más de un ensayo se promediaron. El total de genotipos analizado fue de 46, de orígenes diversos (Ver cuadro 1).

Cuadro 1. Origen de los materiales incluidos en el análisis.

Origen	Número
Comerciales	Clipper, MN 599, Bowman Stirling, Est. Quebracho
Brasil	16
Argentina	1
EEUU	6
Canadá	1
Sudáfrica	5
Europa	10
Desconocidos	2

Los ensayos se sembraron en el campo experimental de la EEMAC sobre suelos de la formación San Manuel (brunsoles eútricos). Las fechas de siembra fueron 9-10 de julio de 1993 y 15 de julio de 1994. Las parcelas fueron de 4.5 m² con tres repeticiones.

Las variables analizadas fueron:

- Rendimiento en grano (REND)(Kg/ha)
- Materia seca total (MST) (Kg/ha)
- Índice de cosecha (IC)
- Peso de mil granos (PMG) (gramos)
- Granos por m² (GRM2)
- Espigas por m² (ESP)
- % de granos de diámetro > 2.8mm (% de 1ª) (P1)
- % de granos de diámetro > 2.5mm (% de 1ª+2ª) (P12)
- Macollos por m² a 45 días post-emergencia (MAC)
- Porcentaje de plantas con T0 (PTO)
- Tasa de macollaje (TMAC)
- Ciclo a espigazón (en días post-emergencia) (CIC)
- Fertilidad de macollos (FERT)
- Granos por espiga (GRESPE)

³ Los restantes programas pertenecen al INIA La Estanzuela, Maltería Oriental, CYMPAY S.A. y Maltería Uruguay.

En el año 1993 se midió además ciclo a madurez fisiológica y duración del llenado de grano (ambos en días).

Se hicieron comparaciones de pares de genotipos para generar una matriz de similaridad en base al coeficiente de similaridad Distancia Taxonómica Promedio, lo que permitió construir grupos mediante el método aglomerativo UPGMA del programa NTSYS.

La selección de las variables a incluir en el análisis se realizó en primer lugar mediante estudio de la matriz de correlaciones y los componentes principales, utilizando el procedimiento PRINCOMP del programa SAS. Se eliminaron aquellas variables altamente correlacionadas y con vectores menores, hasta alcanzar una explicación del 85% de la variación total con los cuatro primeros componentes. Las variables finalmente incluidas fueron: REND, MST, IC, PMG, P1, MAC, FERT y ESP.

Para estos análisis se consideró cada observación para cada variedad como porcentaje de la media anual para esa variable y se calculó la diferencia entre el valor de 1993 y el de 1992. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

genotipo x
variable y

ACxy: dato conjunto del genotipo x para la variable y
92xy: dato 1992 del genotipo x para la variable y
93xy: dato 1993 del genotipo x para la variable y
92Y : media 1992 de la variable y
93Y : media 1993 de la variable y
 $ACxy = 93xy * 100 / 93Y - 92xy * 100 / 92Y$

RESULTADOS Y DISCUSION

Los dos años considerados en el análisis presentaron características contrastantes en términos productivos. El cuadro 2 resume algunas variables climáticas para ambos años durante el ciclo del cultivo, mientras que el cuadro 3 presenta los valores medios de las variables estudiadas para ambos años. El comportamiento durante 1993 fue inferior al de 1992, lo que probablemente se explica por tratarse de un año más caluroso y húmedo, en particular durante las etapas de llenado de grano (cuadro 2). Por tanto el análisis del comportamiento de los materiales en ambos años permitió determinar diferencias entre genotipos ante condiciones de expresión

Cuadro 2.- Resumen de características climáticas para ambos años, durante el ciclo del cultivo.

	Temperatura media (°C)	Precipitación acumulada (mm.)	Número de heladas	Duración (días)
	Año 1992			
Emergencia espigazón	13.52	176.5	21	80
Espigazón madurez	18.10	95.6	1	34
	Año 1993			
Emergencia espigazón	13.49	63.1	19	78
Espigazón madurez	19.69	267.5	0	34

Cuadro 3. Medias anuales para las distintas variables estudiadas.

Año	REND	MST	IC	PMG	GRM2	GRESP	ESP	CIC
1992	5287	11809	0.399	47.5	11198	18.2	630	76.8
1993	3628	8714	0.366	41.5	8831	17.4	511	81.2
Año	P1	P12	MAC	T0	TMAC	FERT		
1992	62.6	91.3	973	11.3	6.02	0.657		
1993	48.1	87.0	941	24.2	5.61	0.556		

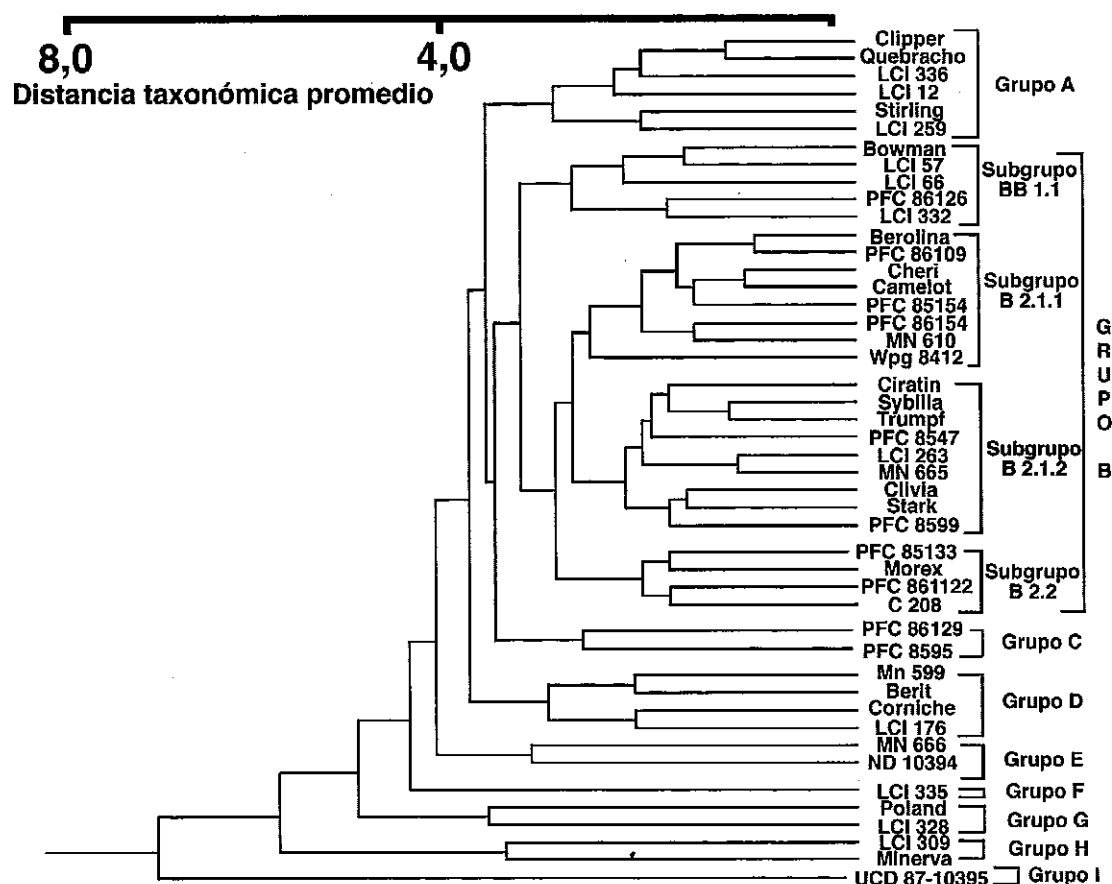


Figura 1. Dendrograma de agrupamiento de los 46 materiales

de altos potenciales en un año y deficitarias en otro. Aquellos grupos de materiales que mantuvieron un comportamiento destacado en ambas condiciones son los de mayor interés para el mejoramiento genético.

En la figura 1 se observa el dendrograma de agrupamiento de los genotipos analizados. La separación de grupos se hizo considerando aproximadamente un 50% de la distancia máxima entre genotipos, lo que permitió visualizar un total de 9 grupos. En la figura 2 se presenta un esquema simplificado de dicho dendrograma, señalando en cada separación de grupos la variable responsable, de acuerdo al análisis stepwise del SAS. En el caso del grupo B, considerando que representa el 57% de los materiales analizados, se optó por subdividirlo hasta alcanzar un mayor nivel de homogeneidad dentro de grupos.

El cuadro 4 presenta los valores medios por grupos y subgrupos para todas las variables medidas, incluidas o no en el análisis de grupos. Un valor de 0 implica que para esa variable el grupo siguió la evolución general de un año al otro. Un valor negativo indica una caída

superior al promedio y uno positivo una caída inferior o incluso el mantenimiento de los valores absolutos.

Se identifican una serie de pequeños grupos de materiales (compuestos por uno o dos genotipos) que sufrieron importantes variaciones en su comportamiento de un año a otro, en general negativas. Los grupos E al I (8 genotipos en 46) representan un 46% de la variación total analizada, lo que destaca su poca similitud con el resto de los genotipos. En general las variaciones en su comportamiento en años problemáticos hace difícil su uso directo en producción. El aporte de estos materiales se asocia a su utilización en cruzamientos, dado que presentan algunas características de interés.

El resto de los grupos concentran la mayor parte de los genotipos estudiados, y la totalidad de los testigos comerciales incluidos en el ensayo. Dentro de estos genotipos el grupo D se separa del conjunto por su descenso en REND y su aumento en MAC. En el caso del grupo D, si bien no es responsable de la separación, también hay una caída importante en IC. Este grupo está integrado por un cultivar

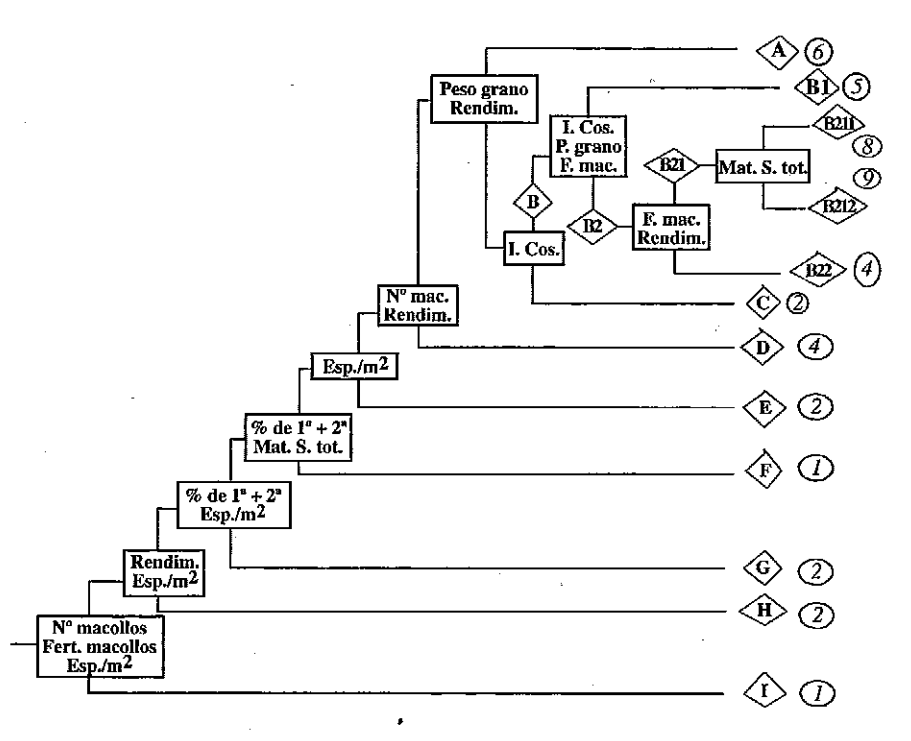


Figura 2. Dendrograma simplificado de agrupamiento de los 46 materiales, señalando las variables responsables de la separación entre grupos.

Cuadro 4.- Resumen de las medias grupales del análisis conjunto

Grupo	REND	MST	IC	PMG	ESP	GRES	P1	P12	FERT	MAC
A	-4.0	-11.9	4.5	11.3	3.2	-10.7	23.5	5.9	15.5	-9.9
B	5.5	3.4	2.4	-1.4	-2.1	2.6	-0.8	0.1	-1.5	-2.5
C	-4.9	10.5	-14.1	-7.0	4.2	12.8	-12.8	-4.8	22.1	-18.2
D	-12.3	-5.0	-8.3	-1.0	23.9	10.5	-5.1	0.3	-10.5	33.8
E	2.7	-2.2	6.6	8.8	66.2	3.5	-4.6	-2.4	20.1	47.9
F	18.7	21.0	1.1	13.1	0.5	9.1	30.1	15.0	8.3	-7.7
G	-15.3	-13.5	-2.0	-19.6	37.6	-56.1	-35.9	-13.0	9.8	30.5
H	-20.2	-6.3	-12.5	14.7	-76.0	-15.2	-2.8	1.8	-13.9	-63.0
I	-21.8	-10.5	-11.8	-20.3	-99.0	43.1	5.6	-11.5	-79.6	-4.2

Grupo	REND	MST	IC	PMG	ESP	GRES	P1	P12	FERT	MAC
B1	10.8	2.1	8.4	6.2	2.3	-3.3	21.6	4.4	13.3	-12.8
B2	3.9	3.8	0.7	-3.6	-3.3	4.2	-7.1	-1.2	-5.7	0.4
B2	14.6	5.5	-0.6	-3.4	-0.5	1.2	-8.3	-1.7	0.8	-2.8
B2	21.2	-3.5	6.2	-4.6	-15.1	17.1	-2.2	0.9	-33.2	14.0
B211	-2.4	-1.7	-0.6	-5.0	-2.6	6.5	-13.2	-3.1	7.1	-12.5
B212	10.8	11.8	-0.6	-1.9	1.3	-3.5	-3.9	0.3	-4.9	5.8

testigo (MN 599), el que más bajó su comportamiento relativo entre ambos años.

La división siguiente diferenció al grupo A, separado por peso de grano (que aumenta en términos relativos) y rendimiento (que disminuye). También aumentan (aunque sin responsabilidad en la separación) P1, P12 y IC. Este grupo está compuesto por 3 de los 5 cultivares comerciales incluidos en el análisis, los tres de un mismo origen (Australia). Puede considerarse que este grupo representa la situación de producción actual. Presenta una caída de rendimientos, pero mantiene en gran proporción el peso y clasificación de grano.

Los grupos B y C se separan por la evolución del IC. Dentro del grupo B existen una serie de subdivisiones por IC, PMG y FERT (subgrupos B1 y B2), REND (subgrupos B21 y B22) y MST(subgrupos B211 y B212). Dentro de los grupos formados se destaca el B1 por mejorar el comportamiento relativo en rendimiento, índice de cosecha, peso y clasificación de grano.

El grupo F se destaca por su comportamiento relativo, sin embargo el hecho de tratarse de un solo genotipo disminuye su importancia. Además fue favorecido por un comportamiento deficitario en 1992 que atenuó las diferencias con 1993. En cuanto al origen, se trata de un material sudamericano emparentado con varios genotipos del grupo A.

El objetivo de un programa de mejoramiento es la obtención de genotipos que superen el potencial productivo de los mejores cultivares en uso a nivel de producción, manteniendo la calidad de grano dentro de los estándares de comercialización. En años con severas limitantes estos genotipos deberían mantener al menos un comportamiento equivalente al de los mejores testigos. Estos testigos y los genotipos similares se encuentran representados por los

grupos A y B1. Su principal característica es presentar un comportamiento relativo superior en años malos, lo que significa que mantienen sus valores absolutos promedio frente al resto de los genotipos que presentan caídas importantes. En particular en variables sensibles a las condiciones ambientales y de gran trascendencia en términos de comercialización como son el peso y la clasificación de grano.

Si ese es el comportamiento de los mejores testigos comerciales y resulta un comportamiento deseable para nuevas variedades, los materiales que se agrupan con estos podrían cumplir los requisitos planteados para nuevos cultivares. Sin embargo muy pocos superan (con un comportamiento similar) los promedios de los mejores testigos. En el cuadro 5 se observa el comportamiento del mejor testigo de cada año y los materiales evaluados que los superan. En un año que permitió la expresión de potenciales (1992) existe un número importante de cultivares que superan al mejor testigo tanto en rendimiento como en clasificación de grano. En condiciones limitantes (1993) en cambio, ningún material supera a los mejores testigos. Por otra parte los genotipos que habían presentado un comportamiento entre años equivalente al de los mejores cultivares comerciales no los superan aún en el año de mejores condiciones. Esto implica que se trata de un conjunto de genotipos que presentan una tendencia entre años similar a los mejores testigos (lo que es un objetivo deseable) pero con valores absolutos nunca superiores y en general por debajo de estos. Esto implica que no constituyen un camino para lograr la superación del potencial actual. Es probable que dentro de este conjunto se puedan lograr avances en aspectos puntuales o en lo que refiere a calidad malterá (Castro y Ernst, 1995), pero no es esperable una superación clara en lo que refiere a potencial de rendimiento.

Cuadro 5. Comportamiento de los mejores testigos y número de materiales que los superan en cada año.

Año	Mejor testigo	REND	IC	P12
1992	Quebracho (Grupo A)	5625	0.433	95.3
	Nº de genotipos superiores Total	10	5	7
	Grupos A y B1	0	0	2
1993	Bowman (Grupo B1)	4149	0.381	95.0
	Nº de genotipos superiores Total	0	11	1*
	Grupos A y B1	0	5	1*

* Estanzuela Quebracho

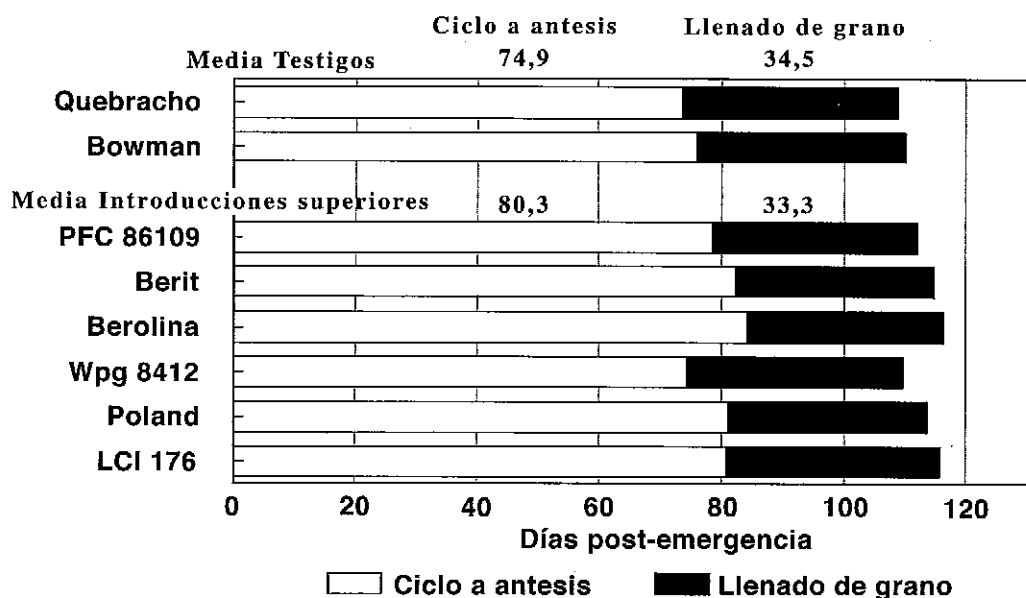
Cuadro 6. Comportamiento en ambos años de los materiales que superaban al mejor testigo en 1992.

Genotipo	Rendimiento (kg/ha)		I. Cosecha		Porcentaje de 1ª+2ª	
	1992	1993	1992	1993	1992	1993
PFC 86109	5791	3829	0.401	0.349	95.3	87.7
MN 610	5700	3823	0.424	0.380	91.1	88.8
Berit	5959	3229	0.442	0.377	88.9	86.8
Sybilla	5650	4076	0.436	0.392	92.0	84.3
Corniche	5638	3723	0.443	0.362	93.0	88.7
Berolina	5979	3957	0.422	0.375	89.3	82.9
Wpg 8412	5766	3861	0.377	0.350	94.5	83.8
Poland	6197	3279	0.412	0.348	89.3	72.3
LCI 176	5848	3528	0.367	0.292	89.0	84.6
UCD 8710399	5831	3189	0.449	0.371	58.1	45.4
Quebracho	5625	3887	0.433	0.426	95.3	95.0
Bowman	5388	4149	0.407	0.381	95.5	97.1

En cuanto a los materiales que en 1992 superaron al mejor testigo, en el cuadro 6 se resume su comportamiento, en ambos años, pudiendo confirmarse lo ya observado en cuanto a tendencias entre años. Se destaca en particular el descenso de su comportamiento en clasificación de grano, donde ninguno supera el P12 que constituye el nivel comercial mínimo (90%). Los testigos prácticamente no varían su clasificación de un año al otro, lo que asegura que más allá de lo limitante de las condiciones ambientales, la cosecha siempre estará dentro de los márgenes de comercialización. Los otros materiales en cambio presentan en

su clasificación de grano un factor de riesgo importante en caso de ser liberados para la producción. En los años con condiciones óptimas están en el límite de comercialización, mientras que en condiciones desfavorables pueden caer fuera de rango.

Es probable que parte de estos riesgos se asocien a ciclos a antesis relativamente más largos que retrasan la época de llenado de grano hacia condiciones más cálidas y por tanto desfavorables. La figura 3 muestra los ciclos de los genotipos de mayor rendimiento en 1993 (único año donde se midió la duración de llenado de grano).

**Figura 3.** Composición de los ciclos en 1993 de los materiales con mejor rendimiento en 1992.

CONSIDERACIONES FINALES

Las posibilidades reales de superación del potencial de rendimiento de cebada mediante el uso de germoplasma introducido resultan, en función de la información presentada, escasas. Particularmente en lo que refiere a la obtención en forma sostenida de altos rendimientos en grano de buena calidad física (clasificación del grano). Esto no implica que sea imposible la aparición de materiales introducidos que se destaquen sobre el resto y permitan su utilización a nivel productivo, pero la probabilidad de que esto ocurra es baja. En general el material introducido de alto potencial presenta ciclos largos que dificultan su utilización en las épocas de siembra normales para nuestro país. Adelantar la siembra de estos genotipos puede ser una solución, aunque la información obtenida hasta el momento en siembras tempranas no marca una superioridad clara sobre los testigos comerciales (Castro M., 1995).

El aporte del material introducido es más claro en aspectos relacionados con la calidad maltera. Los años de mejoramiento genético con ese objetivo en las principales zonas productoras del mundo (EE.UU., Europa Central, Australia) se reflejan en genotipos con muy buena calidad industrial. Castro y Ernst (1995) determinaron una aptitud maltera promedialmente alta del material introducido de estas regiones en uso en el programa de la EEMAC en comparación con los testigos comerciales. Es posible por tanto lograr con relativa facilidad materiales con calidad maltera aceptable a partir de introducciones. Eso explica además el fuerte interés de la industria por el uso de esos genotipos, que presentan la ventaja adicional de ser en muchos casos conocidos internacionalmente como materiales de calidad maltera. Las ventajas para la exportación de esos genotipos son obvias. Sin embargo ese buen comportamiento maltero no significa buena adaptación agronómica.

Las posibilidades de superación del potencial de rendimiento y logro de comportamientos estables y destacados en términos de calidad física y química parecen por tanto asociados al mejoramiento genético nacional. La combinación de los aportes del material introducido a través de cruzamientos resulta el camino más seguro para la obtención de estos resultados. Obviamente eso significa trabajar con plazos mayores frente al uso directo de introducciones, pero con mejores probabilidades de éxito. El convenio de la Mesa Nacio-

nal de Entidades de Cebada al destinar un porcentaje importante de los recursos al mejoramiento genético es un reflejo de que la industria nacional coincide con este análisis.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el convenio de la Mesa Nacional de la Cebada.

BIBLIOGRAFIA

- CASTRO, A. y ERNST, O. 1995. Caracterización preliminar y agrupamiento de la base genética disponible en Cebada cervecera en Uruguay de acuerdo a la calidad industrial. In: Vª Jornada Nacional de Investigación en Cebada Cervequera. Colonia, Junio de 1994. Pag.32-40.
- CASTRO, A.; ERNST, O. y HOFFMAN, A. 1994. Potencial de producción de cebada cervecera I.- Potencial nacional y limitantes para su superación. *Cangüé* 1(1) pag.18-21.
- CASTRO, A.; HOFFMAN, E. y ERNST, O. 1995. Caracterización y agrupamiento de 11 cultivares de cebada cervecera por ciclo, rendimiento en grano, componentes y calidad industrial. In: IVª Reunión Nacional de Investigadores de cebada cervecera, Palmar, junio de 1993. Pag.33-41.
- CASTRO, M. 1995. Resultados de los ensayos tempranos de Cebada cervecera. INIA, La Estanzuela.
- LUIZZI, D. y CASTRO, A. 1992. Variabilidad genética, su aporte al desarrollo del cultivo de cebada cervecera en el Uruguay. In: IIª Reunión Nacional de Investigadores de Cebada Cervequera, INIA, La Estanzuela.
- HOFFMAN, E.; ERNST, O.; BRASSETTI, D. y BENTANCUR, O. 1995. Análisis y caracterización de patrones de crecimiento inicial en 11 variedades de cebada cervecera. In: IVª Reunión Nacional de Investigadores de cebada cervecera, Palmar, junio de 1993. Pag.19-32.
- PEETERS, J.P. 1988. The emergence of new centers of diversity: evidence from barley. *Theor.Appl.Genetics* 76: pag.17-24.
- WYCH, R.D. y RASMUSSEN, D.C. 1983. Genetic improvement in malting barley cultivars since 1920. *Crop Science* 23, pag.1037-1040.