

INVESTIGACIÓN

CAPACIDAD COMBINATORIA PARA RENDIMIENTO DE GRANO Y CARACTERES DE CALIDAD MALTERA EN CEBADA (*Hordeum vulgare* L.)¹

Combining ability for grain yield and malting quality traits in barley (*Hordeum vulgare* L.)¹

Rudy Rivas P.² y Patricio Barriga B.³

ABSTRACT

Six spring barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes were crossed in a diallel system to study combining ability for grain yield and twelve malting quality traits. The F₁ hybrids behavior was analyzed using Griffing's Model I, method 2. The analysis for general combining ability (CCG), specific combining ability (CCE) and the relationship CCG/CCE showed that expression of eight out of the thirteen traits were associated with genes which were additive in their effects: grain weight, malt extract, viscosity, friability, malt protein, soluble protein, Kolbach index and free amino nitrogen (FAN). On the other hand, the expression of grain plumpness, extract difference and the Hartong index showed both additive and non-additive genetic control, the former being of greater magnitude. Only grain yield and diastatic power had mainly non-additive control, even though additive effects were also present.

Key words: combining ability, malting quality.

RESUMEN

Se cruzaron seis genotipos de cebada de ciclo de desarrollo primaveral en un arreglo diallelo, con el fin de estudiar sus capacidades combinatorias para rendimiento de grano y doce caracteres de calidad maltera. El comportamiento de los híbridos F₁ fue analizado utilizando el Modelo I, método 2 de Griffing. El análisis de capacidad combinatoria general (CCG), de capacidad combinatoria específica (CCE) y la relación CCG/CCE, demostraron que ocho de los trece caracteres estudiados mostraron expresión asociada a efectos génicos de tipo aditivo, que fueron: peso de grano, extracto de malta, viscosidad, friabilidad, proteína de la malta, proteína soluble, índice de Kolbach y amino nitrógeno libre (FAN: free amino nitrogen). Por otra parte, en la expresión de los caracteres calibre de grano, diferencia del extracto, e índice de Hartong fueron importantes tanto los efectos aditivos como los no aditivos, siendo los primeros de mayor magnitud. Sólo el rendimiento de grano y el poder diastásico mostraron predominio de acción génica de tipo no aditivo (dominancia y sobre-dominancia), aunque los efectos aditivos también estuvieron presentes.

Palabras clave: capacidad combinatoria, calidad maltera.

¹Recepción de originales: 03 de enero de 2001.

Parte de la tesis del primer autor, para optar al grado de Magister en Ciencias, de la Universidad Austral de Chile, con mención en mejoramiento vegetal.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Casilla 58-D, Temuco, Chile.
E-mail: rrivas@carillanca.inia.cl

³Q.E.P.D. Universidad Austral de Chile, Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Casilla 567, Valdivia, Chile.

INTRODUCCIÓN

Para un programa de mejoramiento que obtiene nuevas variedades a través de hibridaciones, es de gran importancia la elección de los progenitores que resulten en combinaciones híbridas superiores. Una forma de hacer esta selección es a través de la evaluación de las capacidades combinatorias de los genotipos a utilizar, lo que dará información sobre cuáles serán los más favorables para mejorar el o los caracteres de interés.

La capacidad combinatoria general (CCG) informa sobre el comportamiento promedio de un progenitor en todos los cruzamientos en los que participa, en tanto la capacidad combinatoria específica (CCE) informa del comportamiento de un híbrido en particular. Por otra parte, como la CCG se considera asociada a acción génica de tipo aditivo y la CCE a la de tipo no aditivo (dominancia y sobredominancia), a través de la relación CCE/CCG se puede obtener una aproximación sobre la forma en que se hereda el carácter en estudio, lo que resulta importante para escoger el método de mejoramiento a seguir (Griffing, 1956; Falconer, 1972; Vencovsky y Barriga, 1992).

La calidad maltera en cebada (*Hordeum vulgare* L.) es un carácter complejo, ya que depende tanto de las propiedades físicas del grano maduro como de las enzimas sintetizadas durante la germinación (Thomas *et al.*, 1996), y ha sido definida como el producto de un conjunto de caracteres, siendo los más estudiados por su importancia: calibre y peso del grano, extracto de malta, diferencia del extracto, viscosidad del mosto, friabilidad de la malta, contenido de nitrógeno en el grano malteado y en el mosto (también expresado como proteína de la malta y proteína soluble, respectivamente), relación N mosto/N malta (o índice Kolbach), amino nitrógeno libre en el mosto (FAN: free amino nitrogen), índice Hartong y poder diastásico (Molina-Cano *et al.*, 1986; Narziss, 1990; Arias, 1991; Mather *et al.*, 1997).

La herencia de las características de calidad maltera es de tipo cuantitativo e influida de varias formas por el genotipo, el ambiente y por la interacción genotipo x ambiente, lo que la hace compleja y poco comprendida (Sparrow, 1971; Peterson y Foster, 1973; Hockett y Nillan, 1985; Mather *et al.*, 1997; Igartua *et al.*, 2000; Zale *et al.*, 2000). Al respecto, Hockett *et al.* (1993) señalaron que mientras numerosos estudios han investigado la capacidad combinatoria para rendimiento de grano en cebada, existe mucho menos información disponible sobre la capacidad combinatoria de las características que interesan a la industria maltera y cervecera, lo cual se corrobora al revisar la literatura disponible.

La CCG asociada a los efectos génicos aditivos ha demostrado ser la más importante para los caracteres peso de grano (Hockett y Nillan, 1985), extracto de malta (Baier, 1978; Hockett *et al.*, 1993) y para la relación N mosto/N malta (Hiddema, 1977), en tanto que la CCE asociada a los efectos génicos no aditivos ha sido señalada como preponderante para el rendimiento de grano (Hockett y Nillan, 1985).

Tanto la CCG y la CCE han demostrado ser importantes para determinar la herencia de calibre de grano (St. Pierre y Jensen, 1972; Briggs, 1974; Hockett *et al.*, 1993), diferencia del extracto (Hiddema, 1977), N malta y N mosto (Hiddema, 1977; Hockett *et al.*, 1993) y poder diastásico (Hayter y Riggs, 1978), lo que indica que tanto los efectos génicos aditivos como no aditivos son relevantes en la expresión de estos caracteres. En la literatura revisada no se encontró información sobre los caracteres viscosidad, friabilidad, FAN e índice Hartong.

Los objetivos de esta investigación fueron evaluar la importancia de los efectos de la capacidad combinatoria y el tipo de acción génica involucrado en la herencia del rendimiento de grano y de los principales caracteres de calidad maltera, en la generación F_1 de un cruzamiento dialélico entre seis genotipos de cebada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El germoplasma analizado estuvo constituido por seis genotipos de cebada de hábito de desarrollo primaveral, seleccionados de acuerdo a su calidad maltera, y de los 15 híbridos F_1 posibles entre ellos, provenientes de un cruzamiento en dialelo que no incluyó los recíprocos. Los seis genotipos parentales fueron: la variedad Leo INIA/CCU y la línea S87.4 de buena calidad, la variedad Acuario INIA/CCU y la línea Julia-Belts 1285//St de calidad media, y las líneas Andes 226.82 y 2860 309 de baja calidad. Este material fue sembrado para su evaluación en septiembre de 1994 en el Centro Regional de Investigación Carillanca, dependiente del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ubicado 20 km al NE de la ciudad de Temuco ($38^{\circ}41'$ lat. Sur; $72^{\circ}4'$ long. Oeste, 200 m.s.n.m.). El suelo de Carillanca corresponde a un Andisol de la serie Vilcún, clasificado como Medial, mesic, Entic Dystrandept (Mella y Kühne, 1985).

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, con tres repeticiones, y parcelas de dos surcos de 2 m de largo y 0,3 m entre surcos. Se sembraron 60 semillas por parcela (30 por surco) y a la emergencia se ajustó la población a 50 plántulas por parcela, resemebrando cuando fue necesario para mantener la población uniforme. La fertilización se realizó de acuerdo a la recomendación del análisis de suelo, con 100 kg ha^{-1} de N, 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 y 50 kg ha^{-1} de K_2O , en forma de salitre sódico, superfosfato triple y muriato de potasio, respectivamente. Los cuidados culturales correspondieron a los óptimos recomendados para la especie.

Los caracteres evaluados a partir del grano cosechado fueron: rendimiento de grano, calculado sobre el peso del total de granos de cada parcela, expresado en t ha^{-1} ; calibre de grano o porcentaje de granos retenidos sobre las cribas de 2,8 y 2,5 mm; peso de 1.000 granos, como el promedio del

peso en gramos de dos submuestras de 100 granos cada una multiplicado por el factor 10, que previamente fueron secadas en horno de aire forzado a 65°C por 48 h. Los caracteres de calidad maltera evaluados fueron: extracto de malta, como extracto molido fino (g kg^{-1}); diferencia de extracto, como extracto molido fino menos el extracto molido grueso (g kg^{-1}); viscosidad del mosto (cP); friabilidad, medida como el porcentaje de desagregación de la malta con el friabilímetro; proteína total de la malta, como contenido de N en la malta multiplicado por el factor 6,25 (g kg^{-1}); proteína soluble, como contenido de N en el mosto multiplicado por el factor 6,25 (g kg^{-1}); índice de Kolbach, como relación porcentual entre proteína soluble y proteína total de la malta; contenido de amino N libre en el mosto o FAN ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) como la concentración de α -aminos disueltos por el método congreso; índice de Hartong a 45°C (VZ45 $^{\circ}$) como indicador de la actividad de las enzimas proteolíticas; y poder diastásico en grados Litner ($^{\circ}\text{L}$) como índice de la actividad de la α y β amilasa. Los caracteres de la malta se evaluaron por micromalteo en el laboratorio de la Planta Calera de la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU), según las normas establecidas por el laboratorio de Cebada y Malta del USDA, de la Universidad de Wisconsin, USA (Devilat, 1987; 1988).

Los valores obtenidos de las tres repeticiones de cada uno de los 21 tratamientos (6 progenitores y sus 15 híbridos), para cada carácter estudiado, se sometieron a análisis de varianza de acuerdo al diseño de bloque completos al azar, y las diferencias entre los promedios fueron establecidas mediante la diferencia mínima significativa (DMS). Los efectos de capacidad combinatoria general (CCG) y específica (CCE), se analizaron usando el método 2, Modelo I de Griffing (1956) y las descripciones de Vencovsky y Barriga (1992). Además, se obtuvo la relación CCG/CCE para los caracteres estudiados, como una estimación de la relación de los efectos génicos aditivos y no aditivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación de los valores medios de los progenitores y sus híbridos F_1 , para cada uno de los caracteres analizados, se presentan en los Cuadros 1 y 2, observándose suficiente variabilidad intraespecífica para todos ellos.

Los resultados del análisis para capacidad combinatoria general (CCG), capacidad combinatoria específica (CCE) y la relación CCG/CCE, como una estimación de la relación entre los

efectos génicos aditivos y no aditivos, se presentan en el Cuadro 3.

Todos los caracteres mostraron, en general, diferencias altamente significativas para la CCG; en tanto que para la CCE exhibieron diferencias significativas sólo los caracteres rendimiento de grano, calibre de grano, diferencia del extracto, FAN, índice Hartong y poder diastásico. Las varianzas de la CCG fueron mayores que las de CCE para todos los parámetros de calidad estudiados, excepto para el rendimiento de grano y

Cuadro 1. Valores medios de los progenitores y sus híbridos F_1 , para rendimiento de grano y caracteres de calidad física del grano

Table 1. Mean values of the parents and F_1 hybrids, for grain yield and grain physical quality traits

Genotipo	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Calibre de grano (% > 2,5 mm)	Peso 1.000 granos (g)
Leo-INIA/CCU	9,00	96,70	52,00
S87.4	8,10	96,87	52,33
Acuario-INIA/CCU	9,06	98,63	57,00
Julia-Belts 1285//St	9,30	95,97	49,33
Andes 226.82	10,73	96,10	46,33
2860 309	9,41	95,27	45,17
Leo INIA/CCU x S87.4	11,96	92,57	52,00
x Acuario NIA/CCU	11,43	95,50	54,17
x Julia-Belts	10,73	93,20	51,67
x Andes 226.82	10,44	94,37	48,67
x 2860 309	9,29	94,43	49,67
S87.4 x Acuario INIA/CCU	12,51	96,70	55,00
x Julia-Belts 1285//St	10,19	96,57	52,83
x Andes 226.82	11,55	93,83	49,17
x 2860 309	10,03	94,40	47,33
Acuario INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St	12,65	94,30	54,00
x Andes 226.82	11,96	96,17	51,80
x 2860 309	10,90	96,30	56,00
Julia-Belts 1285//St x Andes 226.82	13,05	95,37	50,00
x 2860 309	12,00	96,10	47,17
Andes 226.82 x 2860 309	11,35	94,20	46,83
DMS (0,05)	1,56	2,65	2,98

DMS (0,05): Diferencia mínima significativa al 5%.

Cuadro 2. Valores medios de los progenitores y sus híbridos F₁ para caracteres de calidad maltera
 Table 2. Mean values of parents and F₁ hybrids for malting quality traits

Genotipo	Extracto (g kg ⁻¹)	Dife- rencia (g kg ⁻¹)	Visco- sidad (cP)	Friabi- lidad (%)	Proteína malta (g kg ⁻¹)	Proteína soluble (g kg ⁻¹)	Kolbach (%)	FAN (mg 100 g ⁻¹)	Hartong (45 °C)	Poder diastás. (°L)
Leo INIA/CCU	795,67	15,00	1,513	73,53	104,33	35,67	34,27	103,67	34,93	107,67
S87.4	809,00	11,00	1,517	82,77	93,67	33,67	35,93	101,00	33,47	81,67
Acuario INIA/CCU	795,00	16,67	1,627	73,80	93,67	27,33	29,27	84,00	30,30	97,00
Julia-Belts 1285//St	801,67	33,67	1,650	61,43	95,33	30,00	31,57	87,33	30,07	98,67
Andes 226.82	787,33	18,67	1,617	71,87	95,00	25,00	26,43	85,33	26,90	10,00
2860 309	781,33	19,00	1,573	76,00	106,67	28,33	26,53	75,00	29,27	113,00
Leo INIA/CCU x 87.4	808,33	16,33	1,503	76,07	98,33	32,00	32,53	89,00	32,47	107,67
x Acuario INIA/CCU	797,00	26,33	1,603	65,90	98,33	32,00	32,63	93,00	28,93	104,33
x Julia-Belts 1285//St	807,67	8,33	1,527	76,50	94,33	34,33	36,40	98,67	36,57	91,67
x Andes 226.82	798,33	9,00	1,560	77,20	93,67	29,67	31,70	83,33	33,30	92,33
x 2860 309	793,00	13,33	1,523	78,77	95,33	30,00	31,53	80,67	31,00	107,00
S87.4	809,00	17,33	1,557	79,00	93,67	30,00	32,10	80,33	31,50	105,00
x Acuario INIA/CCU	812,33	19,00	1,553	76,40	92,67	30,33	32,73	98,67	35,10	105,67
x Julia-Belts 1285//St	798,33	12,00	1,550	76,23	96,33	29,00	30,13	90,00	30,90	95,33
x Andes 226.82	801,67	8,00	1,517	83,93	93,00	28,33	30,47	90,67	32,93	88,67
x 2860 309	796,33	26,33	1,693	63,13	96,67	27,00	28,07	87,00	26,83	88,00
Acuario INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St	796,67	16,33	1,630	76,93	88,67	26,33	28,77	74,00	28,40	96,67
x Andes 226.82	797,67	18,67	1,597	75,87	94,33	27,73	29,00	90,00	29,53	98,33
x 2860 309	798,33	22,33	1,693	69,93	86,67	26,67	30,83	81,00	28,17	86,67
Julia-Belts 1285//St x Andes 226.82	796,00	28,67	1,617	71,40	91,67	25,33	27,67	82,33	27,30	84,00
x 2860 309	797,67	28,33	1,587	75,10	93,67	26,67	28,57	86,33	28,13	90,00
Andes 226.82 x 2860 309	15,17	2,94	0,06	10,17	9,15	3,39	4,12	13,81	3,58	13,25
DMS (0,05)										

DMS (0,05): diferencia mínima significativa al 5%.

FAN: amino nitrógeno libre.

Cuadro 3. Cuadrados medios de capacidad combinatoria general (CCG) y específica (CCE) y la relación CCG/CCE, para rendimiento de grano, caracteres de calidad física del grano y caracteres de calidad de la malta

Table 3. Mean squares for general combining ability (CCG) and specific combining ability (CCE) and the CCG/CCE ratio for grain yield, grain physical quality traits and malt quality traits

Caracter	Cuadrados medios			
	CCG	CCE	Error	CCG/CCE
Rendimiento grano	1,45**	2,05**	0,299	0,71
Calibre de grano	2,40*	1,94*	0,856	1,23
Peso 1000 granos	37,94**	1,99	1,085	19,00
Extracto	156,70**	20,88	14,589	7,48
Diferencia extracto	95,72**	36,33**	1,056	2,67
Viscosidad	0,0112**	0,0006	0,0004	18,13
Friabilidad	84,85**	14,38	12,664	5,90
Proteína malta	31,80*	15,27	10,253	2,08
Proteína soluble	29,86**	1,71	1,405	17,48
Kolbach	23,19**	2,27	2,078	10,22
FAN	132,67**	41,72*	23,341	3,18
Índice Hartong	20,18**	4,03**	1,569	5,01
Poder diastásico	69,66*	84,04**	21,502	0,85

* y ** Significativo al nivel de 0,05 y 0,01 de probabilidad, respectivamente.

FAN: amino nitrógeno libre.

poder diastásico, donde ocurrió lo inverso, siendo éstos los únicos dos casos en que la relación CCG/CCE fue menor que uno. Esto sugiere que gran parte de la variación genética observada es de naturaleza aditiva, con excepción de los últimos caracteres mencionados en que predominaron los efectos génicos no aditivos (dominancia y sobredominancia), aunque la acción génica aditiva también estuvo presente.

Los resultados obtenidos son coincidentes con los señalados en la literatura, excepto para los caracteres proteína de la malta y proteína soluble (N de la malta y del mosto, respectivamente), para los que se indica la significancia tanto de la CCG como de la CCE (Hiddema, 1977; Hockett *et al.*, 1993), en contraste con la significancia sólo de la CCG encontrada aquí. La anterior discrepancia podría deberse a la influencia del ambiente sobre la CCE, de forma análoga a lo señalado por Hockett *et al.* (1993) para el caso del extracto de malta.

Respecto de los efectos de CCG de cada progenitor (Cuadros 4 y 5), el genotipo Andes 226.82 fue el que presentó mayor efecto positivo para rendimiento de grano y el mayor efecto negativo para proteína de la malta, en tanto que Acuario INIA/CCU exhibió los mayores efectos positivos para calibre de grano y peso de los mil granos. Los resultados anteriores indican que estos dos genotipos tienen buena capacidad para generar híbridos superiores en los caracteres señalados, no así para la mayoría de los parámetros de calidad maltera.

La variedad Leo INIA/CCU mostró los mayores efectos positivos para proteína de la malta y los mayores efectos negativos para rendimiento de grano, características que resultan desfavorables, pero a su vez presentó los mayores efectos positivos para proteína soluble, índice Kolbach, FAN, índice Hartong y poder diastásico. Por su parte, la línea S87.4 mostró los mayores efectos positivos para el extracto y friabilidad, y los ma-

Cuadro 4. Estimativas de los efectos de capacidad combinatoria general (CCG) de los progenitores para rendimiento de grano y caracteres de calidad física del grano**Table 4. Estimates of the effects of general combining ability (CCG) of the parents for grain yield and grain physical quality traits**

Progenitor	Efectos de CCG		
	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Calibre grano (% > 2,5 mm)	Peso 1.000 granos (g)
Leo INIA/CCU	-0,419	-0,548	0,500
S87.4	-0,347	-0,005	0,604
Acuario INIA/CCU	0,296	1,048	3,604
Julia-Belts 1285//St.	0,250	-0,046	-0,229
Andes 226.82	0,575	-0,214	-2,125
2860 309	-0,355	-0,235	-2,354

Cuadro 5. Estimativas de los efectos de capacidad combinatoria general (CCG) de los progenitores para caracteres de calidad de la malta**Table 5. Estimates of the effects of general combining ability (CCG) of the parents for malting quality traits**

Efectos de CCG	Progenitor					
	Leo INIA/CCU	S87.4	Acuario INIA/CCU	Julia-Belts 1285//St	Andes 226.82	2860 309
Extracto (g kg ⁻¹)	0,338	6,825	-0,788	2,713	-3,550	-5,538
Diferencia (g kg ⁻¹)	-3,108	-4,183	1,279	5,492	-0,346	0,867
Viscosidad (cP)	-0,043	-0,044	0,034	0,039	0,024	-0,010
Friabilidad (%)	0,123	4,568	-1,524	-5,050	-0,187	2,070
Proteína malta (g kg ⁻¹)	2,892	-0,496	-0,783	-1,583	-2,033	2,004
Proteína soluble (g kg ⁻¹)	3,054	1,504	-0,971	-0,171	-2,071	-1,346
Kolbach (%)	2,161	1,722	-0,742	0,350	-1,523	-1,968
FAN (mg 100 g ⁻¹)	4,779	4,612	-2,681	1,069	-3,557	-4,222
Hartong (45 °C)	2,100	1,813	-1,193	-0,153	-1,579	-0,988
Poder diastásico (°L)	4,695	-1,888	0,693	-3,429	-1,723	1,652

FAN: amino nitrógeno libre.

yores efectos negativos para la diferencia del extracto y viscosidad, lo que resulta favorable en la generación de híbridos de calidad en estos caracteres; sin embargo, ocupó el segundo lugar en efectos negativos para rendimiento de grano. Se puede apreciar que Leo INIA/CCU y S84.4 resultarían complementarios en su capacidad para generar progenie con calidad maltera, pero desfavorables para rendimiento de grano, calibre

y peso de grano, lo que superaron en combinaciones híbridas específicas, como se discute más adelante.

Las líneas Julia-Belts 1285//St y 2860 309 presentaron CCG desfavorables para la mayoría de los caracteres estudiados, excepto en algunas combinaciones híbridas específicas.

Los híbridos F_1 en su mayoría manifestaron efectos de CCE positivos para los caracteres rendimiento de grano, extracto de malta, friabilidad e índice Kolbach, y negativos para diferencia del extracto, viscosidad y proteína de la malta. En los restantes parámetros no se observó una tendencia clara, apreciándose combinaciones híbridas con efectos de CCE positivos y negativos, prácticamente en igual proporción.

Se destacó el híbrido Leo INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St. (Cuadro 6), que presentó los efectos de CCE más altos y positivos para friabilidad, proteína soluble, índice Kolbach e índice Hartong, y los más bajos y negativos para la diferencia del extracto de malta y viscosidad, lo que la convierte en la progenie que reunió mayor número de características deseables.

Hay que señalar que progenitores con CCG bajas y negativas resultaron en combinaciones hí-

bridas con los más altos efectos positivos de CCE para cinco de los trece caracteres analizados, sobresaliendo los híbridos Leo INIA/CCU x S87.4 en rendimiento de grano, y Andes 226.82 x 2860 309 en extracto de malta. De forma análoga se comportaron los híbridos Acuario INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St para proteína de la malta, Acuario INIA/CCU x 2860 309 para FAN, y S87.4 x Julia-Belts 1285//St para poder diastásico.

Dentro de los mismos casos anteriores, se deben destacar las situaciones en que, representando ambos progenitores la más baja expresión fenotípica para el carácter respectivo, resultaron en combinaciones híbridas que claramente superaron en esta expresión al mejor de sus progenitores y a la mayoría de los otros híbridos, como fue el caso de Leo INIA/CCU x S87.4 en rendimiento de grano, Andes 226.82 x 2860 309 en extracto, y Acuario INIA/CCU x 2860 309 en FAN.

Cuadro 6. Híbridos con los efectos de capacidad combinatoria específica (CCE) más altos y más bajos para rendimiento de grano, caracteres de calidad física del grano y caracteres de calidad de la malta
Table 6. Hybrids with the highest and lowest specific combining ability (CCE) effects for grain yield, grain physical quality traits and malt quality traits

Caracter	Híbridos con CCE:	
	Altas	Bajas
Rendimiento grano	Leo INIA/CCU x S87.4	Leo INIA/CCU x 2860 309
Calibre de grano	S87.4 x Julia-Belts 1285//St	Leo INIA/CCU x S87.4
Peso 1.000 granos	Acuario INIA/CCU x 2860 309	S87.4 x 2860 309
Extracto	Andes 226.82 x 2860 309	Acuario INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St
Diferencia extracto	Leo INIA/CCU x Acuario INIA/CCU	Leo INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St
Viscosidad	Julia-Belts 1285//St x Andes 226.82	Leo INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St
Friabilidad	Leo INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St	Leo INIA/CCU x Acuario INIA/CCU
Proteína malta	Acuario INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St	Julia-Belts 1285//St. x Andes 226.82
Proteína soluble	Leo INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St	Julia-Belts 1285//St. x 2860 309
Kolbach	Leo INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St	Acuario INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St
FAN	Acuario INIA/CCU x 2860 309	S87.4 x Acuario INIA/CCU
Índice Hartong	Leo INIA/CCU x Julia-Belts 1285//St	Leo INIA/CCU x Acuario INIA/CCU
Poder diastásico	S87.4 x Julia-Belts 1285//St	Julia-Belts 1285//St. x 2860 309

FAN: amino nitrógeno libre.

Las observaciones expuestas en los dos párrafos anteriores podrían tener su origen en la manifestación de vigor híbrido, debido principalmente a la disimilitud genética entre los genotipos (Vencovsky y Barriga, 1992).

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos demuestran la necesidad de realizar pruebas de capacidades combinatorias a los genotipos que se van a utilizar como progenitores en un programa de cruzamientos, lo que evita descartar germoplasma útil al basar la selección solamente en su comportamiento fenotípico, además de ayudar a reducir el número de genotipos a cruzar.
2. Es posible obtener algún grado de mejoramiento de la calidad maltera, utilizando como progenitores los genotipos Leo, INIA/CCU S87.4 y Julia-Belts 1285//St, con los que

sería aconsejable realizar cruzamientos dobles o triples, a fin de concentrar alelos favorables en una sola progenie.

3. Por otra parte, como la varianza genética aditiva aumenta a medida que se avanza en generaciones de autofecundación, se podría esperar que la mayoría de los caracteres analizados respondan a la selección en generaciones tempranas utilizando el método masal, excepto el rendimiento de grano y el poder diastásico que mostraron en su control preponderancia de los efectos génicos no aditivos (dominancia y sobredominancia), para los que sería adecuado el método genealógico.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Convenio INIA-CCU: "Fitomejoramiento de variedades de cebada con calidad maltera".

LITERATURA CITADA

- Arias, G. 1991. Calidad industrial de la cebada cervecera. 54 p. Serie Técnica N° 18. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Montevideo, Uruguay.
- Baier, W.H. 1978. Heterosis, combining and mixing ability in grain and malt characteristics of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Z. Pflanzenzucht.* 80:241-249.
- Briggs, K.G. 1974. Combining ability for kernel plumpness in a diallel cross of five Canadian barley cultivars. *Can J. Plant Sci.* 54:29-34.
- Devilat, J. 1987. Análisis de calidad maltera en cebada. p. 40-41. *In* E. Beratto (ed.) Investigación en mejoramiento genético de cebada maltera. Noveno Informe Anual. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile.
- Devilat, J. 1988. Análisis de calidad maltera de líneas avanzadas de cebada. p. 71-81. *In* E. Beratto (ed.) Investigación en mejoramiento genético de cebada maltera. Décimo Informe Anual. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile.
- Falconer, D.S. 1972. Introducción a la Genética Cuantitativa. 430 p. C.E.C.S.A, México D.F., México.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Hayter, A.M., and T.J. Riggs. 1978. The inheritance of diastatic power, and alpha-amylase contents in spring barley. *Theor. Appl. Genet.* 52:251-256.

- Hiddema, J. 1977. Hybridization programmes with malting barley. p. 21-25. *In* European Brewery Convention Proc. 16th Congress, Amsterdam, The Netherland, 23-27 May. IRL Press Ltd., Oxford, England.
- Hockett, E.A., and R.A. Nillan. 1985. Genetics. p. 187-230. *In* Rasmusson, D.C. (ed.). Barley. Agron. Monogr. 26. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Hockett, E.A., R.A. Nillan; A.F. Cook, M.A. Khan, J.M. Martin, and B.L. Jones. 1993. Hybrid performance and combining ability for yield and malt quality in a diallel cross of barley. *Crop Sci.* 33:1239-1244.
- Igartua, E., M. Edney, B.G. Rosnagel, D. Spanier, W.G. Legge, G.J. Scoles, P.E. Eckstein, G.A. Penner, N.A. Tinker, K.G. Briggs, D.E. Falk, and D.E. Mather. 2000. Marker-based selection of QTL affecting grain and malt quality in two row barley. *Crop Sci.* 40:1426-1433.
- Mather, D.E., N.A. Tinker, D.E. Laberge, M. Edney, B.L. Jones, B.G. Rosnagel, W.G. Legge, K.G. Briggs, R.B. Irvine, D.E. Falk, and K.J. Kasha. 1997. Regions of the genome that affect grain and malt quality in a North American two row barley cross. *Crop Sci.* 37:544-554.
- Mella, A., y A. Kühne. 1985. Sistemática y descripción de las familias, asociaciones y series de suelos derivados de materiales piroclásticos de la zona central-sur de Chile. p. 549-716. *In* J. Tosso (ed.) Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Molina-Cano, J.L., B. Madsen, M.J. Atherton, B.W. Drost, J. Larsen, R. Schildbach, J.P. Simiand, y K. Voglar. 1986. Un índice para la evaluación global de la calidad maltera y cervecera de la cebada. 12 p. Cerveza y Malta N° 92. Asociación Española de Técnicos de Cerveza y Malta, Madrid, España.
- Narziss, L. 1990. Malt specifications, barley properties and limitations of malting technology. *Brauwelt International* 3:180-185.
- Peterson, G.A. and A.E. Foster. 1973. Malting barley in the United States. *Adv. Agron.* 25:328-378.
- Sparrow, D.H.B. 1971. Genetics of quality-malting. p. 559-574. *In* R.A. Nillan (ed.) Barley Genet. II. Proc. 2nd Int. Barley Genet. Symp., Pullman, Washington. 6-11 July 1969. Washington State University Press, Pullman, Washington, USA.
- St. Pierre, C.A., and N.F. Jensen. 1972. Evaluating the selection potential of crosses of barley. *Can. J. Plant Sci.* 52:1029-1035.
- Thomas, W.T.B., W. Powell, J.S. Swanston, R.P. Ellis, K.J. Chalmers, U.M. Barua, P.V. Lea, B.P. Foster, R. Waugh, and D.B. Smith. 1996. Quantitative trait *loci* and malting quality characters in a spring barley cross. *Crop Sci.* 36:265-273.
- Vencovsky, R., y P. Barriga. 1992. Genética Biométrica no Fitomelhoramento. 496 p. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirao Preto, Sao Paulo, Brasil.
- Zale, J.M., J.A. Clancy, S.E. Ulrich, B.L. Jones, and P.M. Hayes. The North American Barley Genome Mapping Project. 2000. Summary of barley malting quality QTLs mapped in various populations. *Barley Genet. Newsl.* 30:44-54.