



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTOR EN AGRONOMÍA

**“Ganancia Genética en Cebada Cervecera
(*Hordeum vulgare L.*) en Argentina durante el
período 1931-2007”**

Ing. Agr. M.Sc. Fernando José Gimenez

Bahía Blanca

Argentina

2017

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Agronomía de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) durante el período comprendido entre el 2 de septiembre del 2008 y el 8 de septiembre de 2016, bajo la dirección del Dr. Gerardo Cervigni (CONICET- Universidad Nacional de Rosario) y de la Dra. Viviana Echenique (CONICET – Universidad Nacional del Sur).



Ing. Agr. MSc. Fernando Gimenez

Dr. Gerardo Cervigni

Dra. Viviana Echenique



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaria General de Posgrado y Educación Continua

La presente Tesis ha sido Aprobada el/..../....., mereciendo la calificación de (.....)

DEDICATORIA

A mis padres, a mis hijos Josefina y Santiago, a mi compañera de la vida Eli y al Dream Team de Mejoramiento Genético de la EEA Bordenave. También una dedicatoria muy especial al Tomy (Juan Carlos Tomaso), por haberme formado y por haber confiado en mí.

AGRADECIMIENTOS

- A mis Directores, Gerardo y Viviana que siempre estuvieron dispuestos.
- Al equipo de trabajo al cual pertenezco, especialmente Federico, Germán, Verónica y Rosana, que siempre me impulsaron, sostuvieron y ayudaron.
- A la buena parte de INTA, que hace al prestigio de esta Institución.

INDICE

TESIS DE DOCTOR EN AGRONOMÍA.....	i
PREFACIO	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE.....	v
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	15
1. Características del Cultivo.....	16
2. Producción de Cebada	17
3. Proceso de Industrialización del Grano de Cebada Cervecera	20
4. Rendimiento del Cultivo de Cebada.....	22
5. Calidad del Grano de Cebada Cervecera	24
6. Mejoramiento Genético del Cultivo	28
7. Ganancia Genética	29
HIPÓTESIS	34
OBJETIVOS	35
MATERIALES Y MÉTODOS	36
1. Material Vegetal.....	36
2. Diseño Experimental	38
3. Determinaciones Agronómicas.....	39
4. Caracteres de Calidad Comercial	39
5. Caracteres de calidad industrial (sobre malta).....	40
5.1 Friabilidad	42
5.2 Extracto de malta	43
5.3 Índice de Hartong (Vz 45 °C)	45

6. Análisis Estadístico	46
RESULTADOS y DISCUSION	47
1. Rendimiento.....	47
1.1 Componentes numéricos del rendimiento	57
1.2 Relación entre los componentes de rendimiento	76
2. Calidad Comercial.....	78
2.1 Tamaño de los Granos.....	78
2.2 Contenido de proteínas.....	85
2.3. Conclusiones.....	97
3. Calidad Industrial	98
3.1 Friabilidad.....	98
3.2 Extracto de malta	104
3.3 Índice de Hartong (VZ 45 °C).....	110
CONCLUSIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXO	123

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CULTIVARES DE CEBADA CERVECERA EVALUADOS, AÑO DE LIBERACIÓN Y TIPO DE CULTIVAR	37
TABLA 2. TIEMPO (HORAS) Y TEMPERATURA (°C) DE SECADO APLICADA PARA SECAR LA MALTA.....	41
TABLA 3. PRECIPITACIONES REGISTRADAS EN LOS AMBIENTES DE EVALUACIÓN DURANTE LAS CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009 Y 2010 DIVIDIDAS ARBITRARIAMENTE EN TRES PERIODOS.....	50
TABLA 4 . UNIDADES EXPERIMENTALES (N) RENDIMIENTO EN GRANO (KG HA-1), COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%), DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (KG HA-1), Y RENDIMIENTO MÍNIMO Y MÁXIMO EN CADA AMBIENTE DE EVALUACIÓN.....	50
TABLA 5. NOMBRE, AÑO DE LIBERACIÓN, CICLO, RENDIMIENTO PROMEDIO, MÍNIMO Y MÁXIMO Y FECHA MEDIA DE ESPIGAZÓN (FME) DE CADA CULTIVAR EN LOS OCHO AMBIENTES DE EVALUACIÓN.	51
TABLA 6. NÚMERO DE GRANOS M-2 PROMEDIO, COEFICIENTE DE VARIACIÓN PORCENTUAL (CV%), DIFERENCIAS MÍNIMA SIGNIFICATIVA ENTRE CULTIVARES (DMS), MENOR Y MAYOR NG Y COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE EL NG Y EL RENDIMIENTO (R) PARA CADA AMBIENTE EVALUADO.	57
TABLA 7. AÑO DE LIBERACIÓN, CICLO, NG PROMEDIO, NG MÍNIMO, NG MÁXIMO Y COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE NG Y RENDIMIENTO EN GRANO (R) PARA CADA CULTIVAR EVALUADO. ORDEN DE LOS CULTIVARES DE MAYOR A MENOR POR AÑO DE LIBERACIÓN.	59
TABLA 8. NÚMERO DE ESPIGAS (NE) PROMEDIO, NE MÍNIMO Y MÁXIMO ABSOLUTO, COEFICIENTE DE VARIACIÓN PORCENTUAL (CV %), DIFERENCIAS MÍNIMA SIGNIFICATIVA ENTRE CULTIVARES (D.M.S.), Y COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE NE Y RENDIMIENTO EN GRANO (R) PARA CADA AMBIENTE EVALUADO.	62
TABLA 9. NÚMERO DE ESPIGAS M-2 PROMEDIO, NE MÍNIMO Y MÁXIMO, CICLO AÑO DE LIBERACIÓN Y AJUSTE DE CORRELACIÓN CON RENDIMIENTO EN GRANO (R) PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.....	63
TABLA 10. NÚMERO DE GRANOS ESPIGA-1 PROMEDIO, NGE MÍNIMO Y MÁXIMO, COEFICIENTE DE VARIACIÓN PORCENTUAL (CV %), DIFERENCIAS MÍNIMA SIGNIFICATIVA ENTRE CULTIVARES (D.M.S.), Y CORRELACIÓN CON RENDIMIENTO EN GRANO (R) PARA CADA AMBIENTE DE EVALUACIÓN.....	66
TABLA 11. NÚMERO DE GRANOS ESPIGA-1, NGE PROMEDIO, MÍNIMO Y MÁXIMO, CICLO, Y NIVEL DE CORRELACIÓN CON EL RENDIMIENTO EN GRANO (R) PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.	67
TABLA 12. PESO DE MIL GRANOS PROMEDIO (G), MÍNIMO Y MÁXIMO; COEFICIENTE DE VARIACIÓN PORCENTUAL (CV %), DIFERENCIAS MÍNIMA SIGNIFICATIVA (D.M.S.) Y COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON EL RENDIMIENTO (R) Y PROBABILIDAD (P) PARA CADA AMBIENTE EVALUADO.	72
TABLA 13. PESO DE MIL GRANOS (G) PROMEDIO, MÍNIMO Y MÁXIMO; CICLO, COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON EL RENDIMIENTO EN GRANO (R) PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.....	73
TABLA 14. VALORES RELATIVOS DE RENDIMIENTO (KG/HA), NÚMERO DE GRANOS M-2 (NG), NÚMERO ESPIGAS M-2 (NE), NÚMERO DE GRANOS ESPIGA-1 (NGE) Y PESO DE MIL GRANOS (PMG) OBTENIDOS PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.	76

TABLA 15. PESO DE MIL GRANOS (GRAMOS) PROMEDIO, MÍNIMO Y MÁXIMO, COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV%), DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS) PARA CADA AMBIENTE DE EVALUACIÓN.	80
TABLA 16. PRIMERA CALIDAD PROMEDIO (%), MENOR Y MAYOR PORCENTAJE DE PRIMERA CALIDAD DE GRANOS, Y COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE PRIMERA CALIDAD Y PMG. ORDEN DE LOS CULTIVARES DE MAYOR A MENOR SEGÚN PRIMERA CALIDAD PROMEDIO, INDICÁNDOSE AÑO DE LIBERACIÓN Y CICLO.....	81
TABLA 17. CONTENIDO DE PROTEÍNAS PROMEDIO (%), MÍNIMO Y MÁXIMO, COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%) Y DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (D.M.S) PARA CADA AMBIENTE DE EVALUACIÓN.	86
TABLA 18. CONTENIDO DE PROTEÍNAS PROMEDIO (%), MÍNIMO Y MÁXIMO, CICLO Y AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO. ORDEN DE LOS CULTIVARES DE MAYOR A MENOR SEGÚN EL CONTENIDO PROMEDIO DE PROTEÍNA EN GRANO. .	88
TABLA 19. RENDIMIENTO DE PROTEÍNAS TOTALES (KG HA-1 PROMEDIO, MÍNIMO Y MÁXIMO ABSOLUTO EN CADA AMBIENTE DE EVALUACIÓN.	92
TABLA 20. RENDIMIENTO DE PROTEÍNAS TOTALES EN GRANO (RPG) EN KG HA-1 PROMEDIO, MÍNIMO Y MÁXIMO DE LOS CULTIVARES EVALUADOS.....	94
TABLA 21. FRIABILIDAD (%) PROMEDIO, DE DAIREAUX 2010, DE BALCARCE 2010 Y VARIACIÓN EN LA FRIABILIDAD DE AMBOS AMBIENTES.	100
TABLA 22. EXTRACTO (%) PROMEDIO, DE DAIREAUX 2010, DE BALCARCE 2010 Y VARIACIÓN EN EL % DE EXTRACTO DE AMBOS AMBIENTES.....	105
TABLA 23. ÍNDICE DE HARTONG (%) PROMEDIO, DE DAIREAUX 2010, DE BALCARCE 2010 Y VARIACIÓN EN EL ÍNDICE DE HARTONG DE AMBOS AMBIENTES.	110
TABLA 24. ANVA DE RENDIMIENTO EN GRANOS	123
TABLA 25. GRANOS POR ESPIGA DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.S.....	124
TABLA 26. ANVA DE Nº GRANOS M-2	125
TABLA 27. Nº DE GRANOS POR M2 DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.S.....	126
TABLA 28. ANVA DE ESPIGAS M-.....	127
TABLA 29. ESPIGAS POR M2 DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.S.....	128
TABLA 30. ANVA DE Nº GRANOS POR ESPIGA.....	129
TABLA 31. Nº DE GRANOS POR ESPIGA DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.S.	130
TABLA 32. ANVA DE PESO DE MIL GRANOS (PMG, MG)	131
TABLA 33. PESO DE MIL GRANOS (PMG, MG) DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.S.	132
TABLA 34. ANVA DE PRIMERA CALIDAD (%)	133

TABLA 35. PRIMERA CALIDAD (%) DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.S.....	134
TABLA 36. ANVA DE PROTEÍNA EN GRANO (% , PROT)	135
TABLA 37. PROTEÍNA EN GRANO (%) DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.S.	136
TABLA 38. ANVA DE PROTEÍNAS TOTALES (KG HA-1).....	137
TABLA 39 . PROTEÍNAS TOTALES (KG HA-1) DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.	138
TABLA 40. ANVA DE % FRIABILIDAD	139
TABLA 41. % FRIABILIDAD DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.S.	140
TABLA 42. ANVA DE % EXTRACTO CONGRESO S/S.....	141
TABLA 43. % EXTRACTO DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.S.	142
TABLA 44. ANVA DE VZ 45°	143
TABLA 45. Vz45 DE LOS CULTIVARES EN LOS AMBIENTES, SUS PROMEDIOS, CV% Y D.M.....	144

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE CEBADA (VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EXPRESADO EN MILLONES DE TONELADAS) FUENTE: DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE ESTADOS UNIDOS (USDA, 2016-2017).....	18
FIGURA 2 RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO EN GRANO (KG HA ⁻¹) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.	53
FIGURA 3 RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO (KG HA ⁻¹) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO. LAS LÍNEAS PUNTEADAS INDICAN LAS REGRESIONES LINEALES ESTABLECIDAS PARA LOS TRES SUB-PERÍODOS DELIMITADOS ARBITRARIAMENTE.....	55
FIGURA 4 RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO EN GRANO Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR DE CICLO LARGO (SÍMBOLOS LLENOS) Y DE CICLO CORTO (SÍMBOLOS VACÍOS) EVALUADO.	56
FIGURA 5 RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE GRANOS M ² Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO. LA LÍNEA PUNTEADA INDICA LA REGRESIÓN LINEAL ESTABLECIDA.	60
FIGURA 6 RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE ESPIGAS M ² Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.....	64
FIGURA 7 RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE ESPIGAS M ² Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR DE CICLO LARGO (SÍMBOLOS LLENOS) Y DE CICLO CORTO EVALUADO (SÍMBOLOS VACÍOS).	65
FIGURA 8 RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE GRANOS ESPIGA ⁻¹ Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.	68
FIGURA 9 RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE GRANOS ESPIGA ⁻¹ Y EL AÑO DE LIBERACIÓN DE CADA CULTIVAR DE CICLO LARGO (SÍMBOLOS LLENOS) Y CICLO CORTO (SÍMBOLOS VACÍOS) EVALUADO.	69
FIGURA 10 VALORES PROMEDIOS, MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE PRIMERA CALIDAD (%) OBTENIDOS EN CADA AMBIENTE DE EVALUACIÓN.	79
FIGURA 11 RELACIÓN ENTRE LA PRIMERA CALIDAD (%) Y EL PESO DE MIL GRANOS (MG) PARA CADA CULTIVAR EVALUADO	82
FIGURA 12 RELACIÓN ENTRE LA PRIMERA CALIDAD PROMEDIO (%) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.	84
FIGURA 13 RELACIÓN ENTRE LA PRIMERA CALIDAD Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR DE CICLO LARGO (SÍMBOLOS LLENOS) Y CICLO CORTO (SÍMBOLOS VACÍOS) EVALUADO.	85
FIGURA 14 RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO PROMEDIO DE PROTEÍNA EN GRANO (%) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.....	90

FIGURA 15 RELACIÓN ENTRE CONTENIDO DE PROTEÍNA PROMEDIO EN GRANO (%) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN DE CADA CULTIVAR EVALUADO EN LOS AMBIENTES DE DAIREAUX 2010 (SÍMBOLOS LLENOS) Y BALCARCE 2010 (SÍMBOLOS VACÍOS).....	91
FIGURA 16 RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE PROTEÍNA TOTAL PROMEDIO (KG HA ⁻¹) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN DE CADA CULTIVAR EVALUADO.....	95
FIGURA 17 RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE PROTEÍNA TOTAL PROMEDIO (KG HA ⁻¹) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN DE CADA CULTIVAR DE CICLO LARGO (SÍMBOLOS LLENOS) Y DE CICLO CORTO (SÍMBOLOS VACÍOS) EVALUADO.	96
FIGURA 18 RELACIÓN ENTRE LA FRIABILIDAD DE LA MALTA (%) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA GENOTIPO EVALUADO EN LOS AMBIENTES DAIREAUX (SÍMBOLOS LLENOS) Y BALCARCE (SÍMBOLOS VACÍOS) DURANTE LA CAMPAÑA 2010.	102
FIGURA 19 RELACIÓN ENTRE LA FRIABILIDAD DE LA MALTA Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.....	103
FIGURA 20 RELACIÓN ENTRE EL EXTRACTO DE MALTA (%) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EN LOS AMBIENTES DAIREAUX 2010 (SÍMBOLOS LLENOS) Y BALCARCE 2010 (SÍMBOLOS VACÍOS)...	107
FIGURA 21 RELACIÓN ENTRE EL EXTRACTO DE MALTA (%) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.....	108
FIGURA 22 RELACIÓN EL AÑO DE LIBERACIÓN Y LA DIFERENCIA ENTRE EL % DE EXTRACTO DE MALTA REAL Y EL OBSERVADO PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.	109
FIGURA 23 RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE HARTONG (VZ 45°C) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO EN LOS AMBIENTES DE DAIREAUX 2010 (SÍMBOLOS LLENOS) Y BALCARCE 2010 (SÍMBOLOS VACÍOS).....	112
FIGURA 24 RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE HARTONG (VZ 45°C) Y EL AÑO DE LIBERACIÓN PARA CADA CULTIVAR EVALUADO.....	113

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la ganancia genética en el cultivo de cebada cervecera en Argentina durante el periodo comprendido entre los años 1931 y 2007. Para ello, se evaluaron en ensayos comparativos de rendimiento 25 cultivares liberados entre los años 1931 y 2007, en ambientes ubicados en la principal región productiva del país (sur bonaerense).

El rendimiento en grano de cebada cervecera en Argentina aumentó 27,5 kg de grano ha⁻¹ año⁻¹, debido al mejoramiento genético del cultivo, destacándose una alta ganancia genética en el último periodo, comprendido entre los años 1990 y 2007, con 84,5 kilogramos de grano ha⁻¹ año⁻¹. Dividiendo a los cultivares por su ciclo, la ganancia genética del rendimiento en grano fue mayor en los cultivares de ciclo largo, con un valor de 34,4 kg ha⁻¹ año⁻¹ (11 cultivares) mientras que en los cultivares de ciclo corto fue de 17,7 kg ha⁻¹ año⁻¹ (14 cultivares). El peso de los granos se mantuvo constante a través del tiempo, aunque hubo variabilidad genética para este carácter. El análisis por ciclo permitió comprobar que el mejoramiento genético mantuvo constante el tamaño de los granos en los cultivares de cebada de ciclo corto y generó un aumento en los cultivares de ciclo largo. El número de los granos fue el componente más importante en la definición del rendimiento ($r= 0,88$) y tuvo una ganancia genética de 66 granos m⁻² año⁻¹. Este último presentó una excelente relación con el número de espigas que tuvo una ganancia genética de 2,58 espigas m⁻² año⁻¹. Por su parte, el número de granos por espiga no tuvo relación con el año de liberación del cultivar. Hubo variabilidad genética en todos los componentes que definen el rendimiento.

Los cultivares más modernos produjeron más cantidad de proteína por unidad de superficie, sin embargo, tuvieron menor contenido de proteínas en el grano debido al elevado potencial de rendimiento.

La calidad industrial definida por los parámetros friabilidad de la malta, extracto de malta e Índice de Hartong aumentó con el año de liberación de los cultivares.

Hay variabilidad en todos los caracteres evaluados, por lo que el mejoramiento genético posee mucho margen para continuar con los aumentos del rendimiento y de la calidad de los granos de cebada cervecera.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the genetic gain in malting barley cultivars released to the market in Argentina during the period between 1931 and 2007. Twenty five (25 cultivars) released between 1931 and 2007 were evaluated in comparative trials yields in environments located in the region of crop production.

The grain yield of malting barley grain increased $27,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ due to crop genetic improvement, highlighting a high genetic gain in the last period, between 1990 and 2007, with $84,5 \text{ kg of grain ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Genetic gain in yield was higher in long cycle cultivars, with a value of $34,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (11 cultivars) while in short-cycle cultivars it was $17,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (14 cultivars). The weight of the grains remained constant over time, although there was genetic variability. The number of grains was the main numerical component related to grain yield ($r = 0,88$) and had a genetic gain of $66 \text{ grains m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, associated with the number of spikes, which had a genetic gain of $2,58 \text{ spikes m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$. There was no association between the number of grains per spike and the year of release of the cultivars. There was genetic variability for all the numerical components.

Genetic improvement remained constant the size of the grains in short cycle cultivars but it increased in the long cycle cultivars. Newer cultivars produced more amount of protein per unit area; however, they had lower protein content in the grain because the increase in yields was higher and it was not compensated.

Industrial quality increased over time in the evaluated parameters (friability of malt, malt extract and Hartong index).

There was genetic variability for all the traits evaluated, so that future breeding has much space for achieving increases in yield and grain quality in malting barley.

INTRODUCCIÓN

1. Características del Cultivo

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es una planta monocotiledónea anual, perteneciente a la familia de las Poáceas, vulgarmente llamadas gramíneas. Es hermafrodita, de fecundación autógama y se cultiva en zonas templadas. El número cromosómico de esta especie es $2n = 2x = 14$. Es un cereal de gran importancia debido a su gran adaptabilidad ecológica y a su utilización tanto para alimentación animal como humana.

Evidencias arqueológicas indican que la cebada fue domesticada a partir de la especie *Hordeum spontaneum* en el año 8.000 antes de Cristo (Bard *et al.*, 2000), en la denominada "medialuna fértil", que comprende desde las Regiones de la Mesopotamia y la antigua Persia hasta el norte africano en lo que hoy es Egipto a orillas del río Nilo. Existe información arqueológica que indica la transformación del grano y posterior consumo como bebida alcohólica (cerveza) por parte de la cultura egipcia (Salas – Salvadó *et al.*, 2005). Investigaciones posteriores han establecido que el fenómeno de la domesticación de la cebada se extendió por una inmensa zona con límite occidental en Marruecos y oriental en las altiplanicies situadas entre China, Nepal e India (Molina Cano, 1989).

Desde el punto de vista botánico, las espigas de este género (*Hordeum*) tienen tres espiguillas unifloras en cada nudo del raquis, usualmente provistas de una raquilla que está unida al tallo. Cuando las tres espiguillas son fértiles, la cebada se denomina de seis hileras y pertenece a la subespecie *hexastichum*. Cuando solo la espiguilla central es fértil se denomina cebada de dos hileras y pertenece a la subespecie *distichum*. Hay otra subespecie denominada *spontaneum*, que se caracteriza por tener el raquis frágil y en general es silvestre.

Con respecto a la utilización de sus granos, en Argentina, las cebadas se dividen en pastoriles y graníferas. Las cebadas pastoriles se caracterizan por poseer abundante producción de forraje verde para el ganado y muy buena capacidad de rebrote, siendo uno de los principales verdeos de invierno, después de la avena y el centeno. Las cebadas graníferas, como indica su denominación, se caracterizan

por poseer una alta productividad en granos. Dentro de esta categoría hay cultivares cerveceros aptos para ser utilizados por la industria maltera y en los últimos años se han inscripto cultivares para la producción de granos forrajeros utilizados en planteos de suplementación animal y/o silajes de planta entera. Todos los cultivares de cebada cervecera cumplen ampliamente con los requisitos exigidos por el mercado forrajero, pero los cultivares forrajeros no siempre cumplen con los atributos de calidad comercial exigidos para ser considerados cerveceros. En Argentina, todos los cultivares cerveceros son de dos hileras debido al mayor y más homogéneo tamaño del grano (Giménez y Tomaso, 2004).

2. Producción de Cebada

En el mundo se siembran 51 millones de hectáreas de cebada que generan una producción de 135 millones de toneladas, siendo este cultivo, dentro de los cereales, el cuarto en importancia detrás del maíz, el trigo y el arroz (Ablin, 2014). Representa las dos terceras partes de los granos forrajeros que demanda el mundo. La producción de granos de cebada en su mayoría es destinada a alimentación ganadera, manteniéndose prácticamente estable el consumo de productos industrializados para la alimentación humana. En la última campaña (2015-2016) la producción mundial alcanzó los 148 millones de toneladas de los cuales el 80% aproximadamente se destina a uso forrajero (Alzugaray, 2013). Entre los principales países productores se encuentran la Unión Europea, Rusia, Ucrania, Australia, Canadá, Turquía, Estados Unidos, Marruecos, Argentina e Irán (Figura 1).

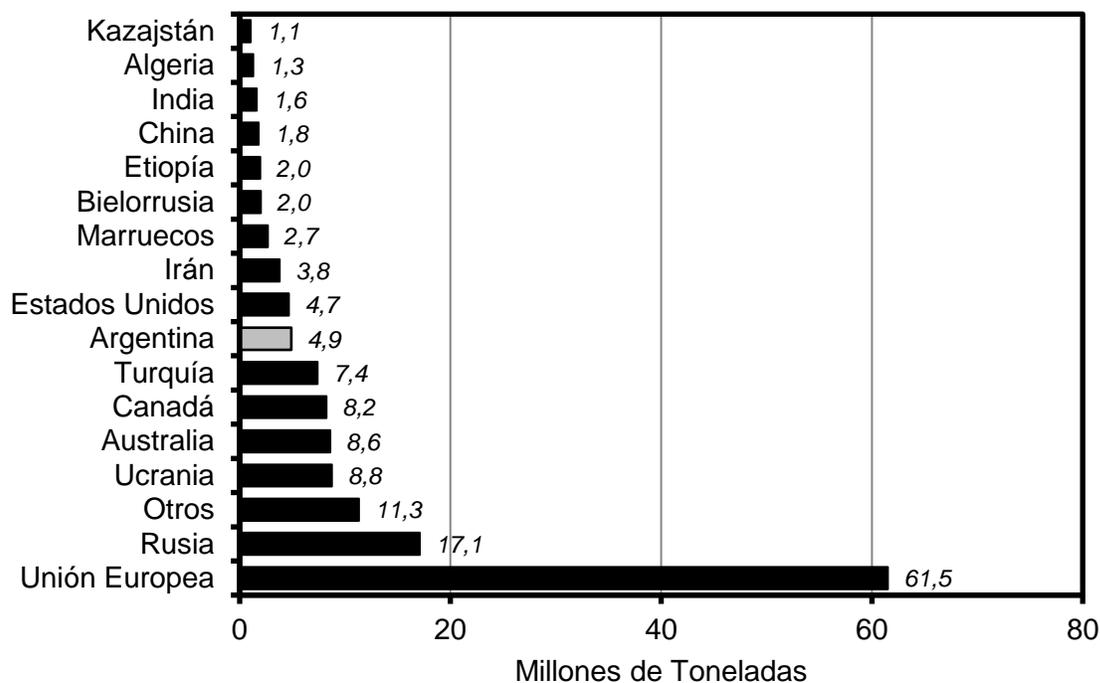


Figura 1 Principales países productores de cebada (volumen de producción expresado en millones de toneladas) Fuente: Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2016-2017).

En términos globales, los rendimientos de cebada se ubican en las 2,6 toneladas por hectárea, pero con realidades profundamente diversas. En países europeos, o en Chile, se logran rindes de 8 o 9 toneladas por hectárea, mientras que en zonas marginales de Australia o Rusia, no se sobrepasan los 1,5 toneladas por hectárea (Alzugaray, 2013). En Argentina, si se considera el promedio de las tres últimas campañas (2013 al 2015), la superficie sembrada con cebada para granos fue de 1.245.522 hectáreas con una producción de 4.181.791 toneladas anuales de granos, con un rendimiento medio de 3,3 toneladas por hectárea (Ministerio de Agroindustria, 2016). Esto significó aumentos del 421% en la superficie sembrada y del 467% en la producción de granos en la última década, tomando como referencia los valores promedios de las campañas 2003 a 2005. Este incremento se generó por una mayor demanda interna y externa de los granos de cebada y una mayor rentabilidad global en los sistemas de producción de doble cultivo, representado especialmente por la combinación cebada - soja de segunda. Bajo condiciones que permiten el doble cultivo, la cebada libera el lote antes que el trigo permitiendo un incremento significativo en el rendimiento del cultivo de

segunda. Esta situación se vio favorecida por el desarrollo previo de una base tecnológica y de conocimiento del cultivo por parte de organismos públicos de investigación (INTA y FAUBA) y la agroindustria local. Esta base tecnológica ha sido fundamental para permitir una rápida reacción del sistema ante el cambio de escenario nacional para el cultivo de cebada, adaptándose en forma inmediata a las nuevas necesidades (Cattáneo, 2013).

La producción de cebada en Argentina se ha concentrado en la Región Pampeana, teniendo la provincia de Buenos Aires un porcentaje de participación superior al 90%. El resto de la producción se divide entre las provincias de Santa Fe, Córdoba y La Pampa. Dentro de la provincia de Buenos Aires, se distinguen tres zonas de producción, la Centro-Norte que aporta alrededor del 20% del total, la Sudeste con un 50% aproximadamente, y la Sudoeste-Oeste, con una participación estimada del 30%. Actualmente, el cultivo se está desarrollando en varias regiones no tradicionales como en el norte de la Patagonia y en las provincias de Entre Ríos y Corrientes (MINAGRI, 2016).

El grano de cebada cervecera es la materia prima principal para la elaboración de cerveza, ya que la malta (grano de cebada germinada y tostada), es el insumo de mayor incidencia en el costo final y la calidad de la cerveza. La malta se produce en grandes industrias llamadas malterías, que están distantes de las cervecerías aunque íntimamente ligadas. En Argentina, la producción de malta presenta una alta concentración siendo sólo tres empresas las responsables de producir más del 90% de la malta.

La localización de las malterías guarda relación con los epicentros de producción de cebada cervecera, a diferencia de las cervecerías que se hallan cercanas a los focos de consumo. Las empresas malteras han realizado inversiones que permitieron aumentar la producción de malta desde 450.000 toneladas (Tn) en el año 2008 a cerca de 850.000 Tn en 2014. Además, hay varios emprendimientos de pequeñas malterías para producir distintos tipos de malta demandadas por el

mercado de cervezas artesanales, el cual viene creciendo fuertemente en Argentina y en el resto del mundo.

En las últimas tres campañas (2013/2015) se industrializaron en promedio 946.333 Tn de granos, con un máximo de 1.006.780 toneladas, generando cerca de 850.000 toneladas de malta en la campaña 2014. De estas, entre 300.000 y 350.000 toneladas de malta se utilizaron para la fabricación de cerveza para ser comercializada en el mercado interno. En este mismo periodo se exportaron 497.000 toneladas de malta por año, con un máximo de 559.000 en la campaña 2013, generando 282 millones de dólares anuales. Esto representa un 420% más que hace 10 años, donde el promedio de las campañas 2002 a 2004 fue de 67,2 millones de dólares anuales. Los principales destinos de estas exportaciones son Brasil y otros países de Latinoamérica. En este mismo periodo se exportó en promedio 1.171.660 toneladas de grano con calidad cervecera por un monto de 318 millones de dólares, con destino a países del MERCOSUR, China y Bélgica entre los principales destinos. En las últimas tres campañas el complejo de la cebada cervecera (grano cervecero y malta) generó exportaciones por 1.042 millones de dólares anuales y 20 millones de dólares por la exportación de cerveza.

La producción de cerveza a nivel local está en aumento, con más de 20 millones de hectólitros, siendo la bebida alcohólica más consumida con 44,7 litros *per cápita* por año, seguida por el vino con 23,5 litros por habitante por año. Hace una década, ambas bebidas tenían similares consumos.

A partir del año 2007 se empieza a desarrollar el mercado de grano forrajero, con exportaciones de 22.401 toneladas por un valor de 2,74 millones de dólares, llegando a exportar 2.821.718 toneladas de granos por un valor de 753 millones de dólares en la campaña 2013. El principal destino de estas exportaciones es Arabia Saudita y China.

3. Proceso de Industrialización del Grano de Cebada Cervecera

El principal uso de la malta es la elaboración de cervezas, pero también se utiliza para la elaboración de whisky y vinagre de malta.

En Argentina, la denominación genérica de la cerveza se define como la bebida que se obtiene por la fermentación alcohólica de un mosto elaborado con cebada germinada sola (malta) o en mezcla con otros cereales (malteados o no), sustancias amiláceas o transformada, lúpulo, levadura y agua potable. De acuerdo a los cereales utilizados se denomina cerveza genuina u original cuando se elabora exclusivamente con un mosto proveniente de cebada germinada y cerveza cuando se elabora con un mosto de cebada germinada y hasta un 40% de otros hidratos de carbono (Artículo 1080 Res 2142, 5.9.83 del Código Alimentario Argentino, 2013). Esta definición legal varía entre países, siendo Alemania la más restrictiva ya que se prohíbe utilizar otro ingrediente que no sea cebada germinada, lúpulo, levadura y agua.

La fabricación de cerveza es un proceso tecnológico que se puede dividir en tres fases, el malteado, el cocimiento y la fermentación (Narziss, 1976; Kunze, 2006).

La malta se produce haciendo germinar, en forma controlada, los granos de cebada. Durante la germinación se sintetizan enzimas hidrolíticas, que luego son utilizadas para degradar el almidón, y además se degrada o modifica la estructura de los granos (matriz proteica y paredes celulares) para dejar expuesto el almidón a la futura degradación enzimática. Cuando se considera que ambos procesos han llegado al estado deseado, se interrumpe la germinación mediante el secado de los granos. Según el tipo de secado que se aplique se pueden obtener diferentes tipos de malta para producir distintas cervezas. Siempre se comienza con bajas temperaturas, las cuales se van incrementando, para conservar la actividad biológica de las enzimas formadas durante la germinación. Este proceso se considera finalizado cuando el grano alcanza 4,5 % de humedad.

Durante el cocimiento la malta se muele y se mezcla con agua caliente, de esta manera sufre un proceso de extracción y transformación, donde

aproximadamente un 75% de su contenido se disuelve bajo la acción de diferentes enzimas (Bamforth y Barclay, 1993). Por filtración se separa el extracto acuoso, denominado mosto, de la parte insoluble denominado orujo. Al mosto se le agrega lúpulo, el cual es responsable del sabor amargo y aromas particulares de la cerveza. Posteriormente, dicha mezcla se los somete a un proceso de cocción, luego se enfría y se siembra la levadura de cultivo.

Durante la fermentación las levaduras agregadas al mosto transforman los azúcares que quedaron de la degradación del almidón en alcohol y dióxido de carbono. Luego la cerveza queda en un proceso de maduración más o menos prolongado que tiene como objetivo afinar el gusto. Por último, la cerveza se filtra, se envasa y queda así lista para el consumo.

4. Rendimiento del Cultivo de Cebada

El grano de cebada es denominado vestido o cubierto, ya que presenta las envolturas adheridas al mismo. Inicialmente estas cubiertas tienen importancia en la protección del embrión y posteriormente en los procesos de filtración del mosto. Además, otorgan una ventaja competitiva con otros granos de cereales que se comercializan desnudos como el trigo, ya que las envolturas representan entre el 5 y el 10 % del peso de los granos (Moreyra, 2012).

El rendimiento en granos de los cereales puede estar limitado por la capacidad de los destinos, por la capacidad de llenarlos (i.e. limitado por fuentes) o limitados por ambos (Fischer, 1975). En cebada (Baethgen *et al.*, 1995) como en trigo (Fischer, 1975) creciendo en buenas condiciones ambientales, generalmente se encuentra una menor limitación por fuente que por destinos (número y peso de los granos).

El rendimiento puede ser expresado mediante modelos simples que contemplen la biomasa total y su partición o a través de los componentes numéricos. Desde un punto de vista ecofisiológico puede ser expresado como el consumo de recursos y su eficiencia de uso (Miralles *et al.*, 2011).

Los componentes numéricos del rendimiento del cultivo de cebada son el número de granos por unidad de superficie y el peso de los granos, a su vez, el número de granos está definido por el número de espigas por unidad de superficie multiplicada por el número de espiguillas de las espigas. La cebada tiene espiguillas unifloras, a diferencia del trigo, por lo cual cada espiguilla tiene un grano. El número de granos por unidad de superficie es el componente que mejor explica las variaciones de rendimiento (Alzueta, 2008; Cossani *et al.*, 2009; Moreyra, 2012).

En etapas tempranas de la agricultura se definía como rendimiento a la relación entre la cantidad de granos cosechados y granos sembrados, lo que llevó a la selección de fenotipos de plantas altamente competitivas (Evans, 1993). Cuando la disponibilidad de tierras cultivables fue restrictiva, la cantidad de granos producidos por unidad de área comenzó a ser el criterio más importante. Este cambio en la definición de rendimiento desplazó la presión de selección de obtener plantas que produzcan muchos granos por semilla, a "plantas comunales" para poder producir más granos por unidad de área (Donald, 1981; Evans, 1993).

Existen numerosas definiciones de rendimiento potencial, real y potencial obtenible de un cultivo. En general, el "rendimiento potencial" de un ambiente es aquel obtenido sin restricciones hídricas y sin presencia de malezas, plagas y enfermedades. Por otro lado, el "rendimiento real" es el obtenido por la media de los productores de una zona o región. En el presente trabajo se consideró como "rendimiento potencial obtenible" al que resulta de un adecuado control de malezas, plagas y enfermedades y sin limitante de nutrientes, determinando el nivel de la fertilización nitrogenada y fosforada según el potencial de cada ambiente y la cantidad de nutriente disponible en el suelo al momento de la siembra. Esta definición implica la utilización de los mismos insumos, tecnología y manejo que realiza un productor de punta en cada ambiente o región. Sin embargo, vale aclarar que el rendimiento determinado de esta manera normalmente es superior al obtenido por los productores de punta por dos motivos: por un lado, existe un mejor control de la variabilidad espacial en ensayos comparativos de rendimiento (ECR) y

el por el otro, el tamaño de muestra a partir del cual se determina el rendimiento es sustancialmente menor (parcela de experimentación).

5. Calidad del Grano de Cebada Cervecera

La elaboración de malta, como se mencionó en párrafos anteriores, es un proceso biológico en el cual la germinación de los granos es el proceso central. Esto lo diferencia de otros cultivos, en los que la industrialización se realiza por métodos físicos (moliendas y prensados) o químicos (extracciones químicas), los cuales permiten mezclar las materias primas para homogeneizar o elevar la calidad.

Muchas características de los granos de cebada están vinculadas a una mejor calidad industrial, tanto en la malta como en la cerveza, tienen un fuerte control genético y algunas están más influenciadas por las condiciones ambientales y de manejo (Aguinaga, 2004). A grandes rasgos, los cultivares se diferencian en el grado y la velocidad de modificación del endosperma y en la cantidad y eficiencia de las enzimas generadas. Debido a este control genético, los granos de cebada cervecera deben mantener la pureza y la identidad del cultivar hasta la elaboración de la malta, ya que los diferentes cultivares tienen distinto proceso de malteado y dan como resultado maltas de diferentes características. Los granos de cada cultivar se almacenan en forma individual, esto limita la oferta de cultivares disponibles para los agricultores. En la industria maltera la homogeneidad de la materia prima incide directamente en la calidad y en la rentabilidad de la malta.

Todas las variables que afecten en mayor o menor medida la estructura de los granos (tamaño, contenido de proteínas, condiciones de llenado) y su viabilidad (humedad de cosecha, calidad de la trilla, condiciones de almacenamiento) tendrán un rol importante en la capacidad de los granos de germinar con su máxima energía y expresar su potencial genético (Savin y Aguinaga, 2011).

La calidad comercial de la cebada cervecera la podemos definir como el conjunto de normas a las que está sujeta la comercialización y se refieren a características físicas y medibles del grano de cebada, que están relacionadas con

el comportamiento que presentarán los granos de cebada en la industrialización, buscando homogeneidad, de manera de que los cultivares puedan expresar sus cualidades y caracteres. En Argentina, a partir del 1 de Octubre de 2014 se encuentra en vigencia una nueva norma de Calidad y Comercialización de Cebada (Resolución N° 27/2013). El objetivo fue fijar los nuevos estándares de calidad de cada uno de los rubros que tienen alguna influencia sobre la etapa industrial (Di Giulio, 2013).

Dentro de los parámetros comerciales, los más importantes son la pureza varietal, el poder germinativo, el contenido de proteínas y el tamaño de los granos.

El poder germinativo debe ser alto, ya que los granos que no germinan nunca van a transformarse en malta. La capacidad germinativa base en la comercialización es de un mínimo de 98%, con una tolerancia de recibo de 95%. En este aspecto juega un importante rol la calidad de la trilla y las condiciones de secado y almacenamiento. Por otro lado, la humedad máxima de recibo de los granos es del 12%.

El contenido de proteínas es muy importante para la cadena agroindustrial, siendo el valor mínimo de comercialización del 10 %, con tolerancia hasta 9,5% y el valor máximo del 12% con una tolerancia de recibo de hasta 13%. En los últimos años, la producción Argentina de cebada cervecera se ha caracterizado por presentar bajos contenidos de proteínas en los granos. En consecuencia, este déficit afecta la capacidad enzimática de la malta, la formación y retención de la espuma en la cerveza y disminuyen la cantidad de los aminoácidos para la nutrición de las levaduras durante la fermentación. Por otro lado, altos contenidos de proteínas generan menores contenidos de almidón debido a la relación en el balance de almidón y proteínas en el endosperma. Esto restringe la hidrólisis del almidón durante la maceración generando una pérdida de extracto (Mac Gregor, 1996) afectando la estabilidad coloidal, precipitando compuestos de alto peso molecular que enturbian la cerveza, especialmente durante la cadena de frío (Kunze, 2006) y afectan características organolépticas de la misma.

El tamaño de los granos es muy importante y la variable que lo determina es el calibre. Se considera primera calidad a la proporción de granos retenidos en una zaranda de 2,5 milímetros de ancho. Las normas de comercialización de Argentina fijan una base de primera calidad de 85% con un mínimo de 80% y un máximo de 4% de granos por debajo de la zaranda de 2,2 milímetros. Los granos de mayor tamaño tienen mayor cantidad de almidón y menor contenido de proteínas, como consecuencia producen una mayor cantidad de sustancias solubles para extraer, aumentando el extracto (Savin y Aguinaga, 2011). Por otro lado, los granos de menor tamaño presentan distintas velocidades de germinación, alto contenido de proteínas y bajo contenido de almidón, además de tener dificultades en la germinación.

Hay otras características como el contenido de humedad, el porcentaje de granos dañados y el porcentaje de granos pelados que intervienen en las normas de comercialización y están relacionadas con las condiciones y calidad de la cosecha y poscosecha. Estas características afectan la viabilidad de los granos y la velocidad de absorción de agua.

La calidad de malta que produce un cultivar de cebada deberá poseer un alto rendimiento en extracto (principal carácter económico en la cervecería), una suficiente cantidad de enzimas amilolíticas (alfa y beta amilasas) para degradar completamente el almidón durante la primera etapa del macerado y deberá producir un mosto cuya fermentabilidad sea máxima, con suficiente cantidad de aminoácidos en solución para que la alimentación de la levadura sea óptima. Una mejora en estas características hace que las maltas producidas sean más competitivas ante una demanda globalizada y un mercado internacional fuertemente subsidiado. Todas estas características están afectadas por varias reacciones enzimáticas con un fuerte control genético y determinan que un cultivar sea denominado cervicero.

La calidad del grano de cebada es difícil de consensuar y medir. Para aunar criterios de calidad los malteros y cerviceros europeos formaron la European Brewery Convention (EBC), que fija las normas y métodos de medición de calidad para los países miembros. Igualmente, muchos países productores de cebada

cervecería que no son miembros suelen seguir estas normas, como Argentina, Brasil y Uruguay. Hay muchos parámetros que hacen a la calidad de la malta y la cerveza y su importancia es relativa según el tipo, las características y la calidad de cerveza que se desea producir.

La primera condición de calidad de malta es una adecuada disolución enzimática de la estructura física de los granos a la cual se denomina modificación del endosperma. Se produce por la acción conjunta de enzimas citolíticas (disuelven las paredes celulares) y proteolíticas (disuelven fundamentalmente la matriz proteica). Para cuantificar el grado de degradación del endosperma se utiliza el parámetro denominado friabilidad. La friabilidad es la medida expresada de la intensidad de desagregación (porcentaje). Ésta se determina por la acción física de molienda con rodillos de goma y la posterior separación de la fracción friable (harina) de la no friable (partículas del endosperma que permanecen cohesionadas). Actualmente, se considera que los granos de cebada tienen una buena friabilidad cuando presentan valores por encima del 80%.

Hay otras determinaciones que definen la calidad industrial de la malta relacionadas con su comportamiento en las cervecerías. La mayoría se realizan sobre el mosto. Se denomina mosto cervecero a la suspensión obtenida de malta molida en agua, a través de una maceración con tiempos y temperaturas controladas, durante la cual las enzimas degradan los polímeros formados en el grano a compuestos más simples y solubles

El extracto y el índice de Hartong (VZ 45) son dos parámetros importantes que se miden a partir del mosto. El extracto es el principal carácter de tipo económico, ya que está íntimamente relacionado con la cantidad de cerveza que es posible elaborar a partir de una malta. Se define como el total de sustancias solubles de malta (en porcentaje s/s) obtenidas a partir de una maceración con un programa de tiempos y temperaturas determinado. El extracto está formado por hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, vitaminas y sales, que han sido solubilizados durante la maceración y está negativamente relacionado con el contenido proteínico de los granos (Cattivelli *et al.*, 1994). El índice de Hartong (Vz 45°C) es un parámetro

que indica la intensidad potencial de acción de las enzimas proteolíticas desarrolladas durante el proceso de malteo. Se realiza una maceración a 45°C, que es la temperatura óptima para las enzimas proteolíticas, durante 1 hora (mosto Hartong). Por ese motivo, el extracto generado en tales condiciones (en porcentaje s/s) está compuesto fundamentalmente por sustancias nitrogenadas como producto de la disolución de proteínas complejas.

6. Mejoramiento Genético del Cultivo

La obtención de nuevos cultivares con alta calidad maltera, con parámetros estables de calidad comercial (tamaño de granos y porcentaje de proteínas) y rendimientos altos y estables aseguran la competitividad y la sustentabilidad de la cadena agroindustrial.

Tradicionalmente en Argentina el área sembrada al igual que las variedades que la integran, se encuentran reguladas por las malterías y exportadores a través de contratos de siembra y condiciones de compra, los cuales se ajustan a sus requerimientos de cantidad y calidad de grano. De esta manera, a través de la elección de variedades y de la aplicación de tecnologías de insumos y manejo del cultivo, se procura obtener granos que satisfagan las necesidades de calidad de malta que demanda la industria cervecera moderna, Actualmente los granos cerveceros poseen un valor diferencial superior a los granos forrajeros.

El mejoramiento genético de cualquier especie es un proceso de mejora continuo, el cual consiste en acumular genes favorables, para que los nuevos cultivares permitan aumentar y estabilizar los rendimientos y mejorar o mantener la calidad de los granos para un uso específico. A grandes rasgos, este proceso consiste en generar germoplasma, evaluar y seleccionar genotipos de acuerdo a las características de los cultivares demandados. El mejoramiento genético es una tecnología incorporada en la semilla, de fácil y masiva adopción, de bajo costo e inocua para el medio ambiente.

El incremento de los rendimientos del cultivo de cebada cervecera se debe a las mejoras en las ganancias genéticas de los cultivares desarrollados, a las mejoras en las técnicas de manejo y a la mayor aplicación de insumos como fertilizantes y agroquímicos, que permiten un control relativamente eficiente de malezas, plagas y enfermedades (Slafer *et al.*, 1994). Conocer el efecto del mejoramiento genético sobre el rendimiento y sus principales componentes y la calidad comercial e industrial del grano permitirá valorar y aumentar la eficiencia de los programas de desarrollo de cultivares.

Los programas de mejoramiento de cebada cervecera tienen como objetivos empíricos aumentar el rendimiento y la calidad de los granos. En muchos países de Europa, los cultivares son sometidos a evaluaciones en redes de ensayos para determinar objetivamente el rendimiento en grano y la calidad de los mismos para diferentes usos (cervecería, destilería o forraje). De esta manera, un cultivar sólo será denominado cervecero, cuando haya superado los estándares de calidad establecidos. Por el contrario, en Argentina no es obligatorio presentar análisis de calidad para la inscripción de los cultivares.

7. Ganancia Genética

Se puede separar la contribución relativa del mejoramiento genético y del manejo (tecnologías de manejo, aplicación de insumos y mejora en la maquinaria) a la mejora de un cultivo a través del tiempo (Slafer *et al.*, 1994; Duvick y Cassman, 1999). La ganancia genética puede ser estimada comparando un conjunto de cultivares liberados en diferentes años en condiciones y manejo homogéneo o a través de la comparación de datos de redes de evaluación de cultivares o datos de los mismos programas de mejoramiento (Bell *et al.*, 1995). La primera manera de estimar la ganancia genética puede tener como inconveniente que las prácticas agronómicas y la incidencia de plagas y enfermedades a través del tiempo incidan en el rendimiento de los cultivares más antiguos, ya que las actuales condiciones son diferentes a las condiciones en que estos cultivares tuvieron el pico de uso y

popularidad (Duvick *et al.*, 2004). En Argentina no se tienen documentados datos de ensayos de las viejas redes de evaluación en el cultivo de cebada cervecera.

La evaluación del impacto del mejoramiento genético sobre los caracteres que determinan el rendimiento de granos del cultivo de cebada puede ayudar a identificar características, ya sea potenciales o limitantes, para el futuro mejoramiento genético de este cultivo (Abeledo, *et al.*, 2003a; Sadras y Lawson, 2011). La tasa de la ganancia genética del rendimiento depende de los cultivares, del ambiente y del intervalo de tiempo bajo estudio, y usualmente es baja en ambientes de menor potencial (Austin *et al.* 1989; Slafer *et al.* 1994).

Específicamente, en el cultivo de cebada, los estudios relacionados con la temática de ganancia genética son escasos y en su mayoría se han realizado en América del Norte y Europa (Riggs *et al.*, 1981, Wych y Rasmusson, 1983; Martiniello *et al.*, 1987; Boukerrou y Rasmusson, 1990; Bulmanet *et al.*, 1993, Jedel y Helm, 1994; Muñoz *et al.*, 1998; Ortiz *et al.*, 2002; Pstota, *et al.*, 2009). La mayor parte de los autores mencionados coinciden en que el mejoramiento genético aumentó el rendimiento a través de un incremento en el número de granos por unidad de superficie y en el índice de cosecha.

En trigo el mejoramiento genético ha elevado los rendimientos en ambientes de alto y bajo potencial de rendimiento (Reynolds y Borlaug, 2006), con y sin la aplicación de fungicidas en cultivares de diferentes ciclos (Bainotti *et al.*, 2005). Similarmente, en cebada cervecera, el mejoramiento genético aumento el rendimiento de los cultivares modernos a través de un amplio rango de dosis de fertilización nitrogenada (Albeledo *et al.*, 2003b).

En Argentina, se dispone hasta el momento de un sólo trabajo que estudió la ganancia genética para el rendimiento en el cultivo de cebada cervecera. En el mismo, Albeledo *et al.* (2003a) evaluaron el rendimiento potencial de ocho cultivares liberados entre 1944 y 1998 en un solo ambiente, concluyendo que el rendimiento potencial de la cebada se mantuvo constante hasta el año 1970 y luego creció a una tasa de 41 kg ha⁻¹ año⁻¹ hasta el año 1998. Además, encontraron que el periodo

de crecimiento de la espiga se incrementó con el año de inscripción del cultivar. Sin embargo, la duración total del ciclo del cultivo no fue modificada. La biomasa total y la biomasa vegetativa a madurez también aumentaron con el año de liberación del cultivar a una tasa de 45 y 19 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. El índice de cosecha y la altura de los tallos no fueron modificados. Por otro lado, determinaron que un tercio del aumento logrado por los agricultores en ese periodo es por el aporte del mejoramiento genético al rendimiento potencial. La información generada en este trabajo resulta importante pero podría considerarse incompleta, debido a que se estudió un escaso número de cultivares en un solo ambiente ubicado fuera de las regiones de producción. Además, debe tenerse en cuenta que después del año 1998 hubo un fuerte recambio de cultivares que llega hasta el presente. Por estas razones resulta necesario generar más información acerca de la ganancia genética de cultivares de cebada cervecera en Argentina, evaluados en varios ambientes en las regiones de producción de cebada.

Respecto a la ganancia genética de la calidad maltera y cervecera en cebada existen muy pocos estudios a nivel mundial debido a que han sido consideradas variables secundarias respecto del rendimiento (Bulman *et al.*, 1993). El contenido de proteínas (o nitrógeno) de los granos de cebada fue uno de los caracteres de calidad del grano más evaluados en estudios de ganancia genética (Abeledo *et al.*, 2008; Passarella *et al.*, 2003; Bulman *et al.*, 1993; Wych y Rasmusson, 1983). Por un lado, Wych y Rasmusson (1983) en Estados Unidos y Bulman *et al.* (1993) en Canadá señalaron que los cultivares modernos de cebada mostraron mayor cantidad de nitrógeno en los granos que sus predecesores, sin variar el índice de cosecha de nitrógeno. Por otro lado, Albeledo *et al.* (2008), en Argentina, encontraron que los cultivares modernos tenían mayor cantidad de nitrógeno en grano por hectárea, mayor respuesta a la fertilización nitrogenada y un mayor índice de cosecha del nitrógeno.

Hay pocos estudios a nivel mundial que evalúen el efecto del mejoramiento genético sobre estos caracteres de calidad en el grano de cebada y en la malta. Pstota *et al.* (2009) determinaron el progreso de la calidad maltera de cebadas

cultivadas en la república Checa, utilizando los datos de los cultivares de los informes del Instituto de investigación de malta y cerveza de Brno en el periodo comprendido entre los años 1955 y 2005. Determinaron un aumento en el rendimiento de $53 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en el Peso de Mil Granos (PMG) con $0,177 \text{ gramos año}^{-1}$, una declinación en el contenido de proteínas y un aumento del 4% en el contenido de extracto entre las variedades liberadas a principio del siglo 21 en comparación con las liberadas a mediados de la década de 1950. También informaron un incremento en los valores de VZ 45 de $0,0645 \%$ en el periodo analizado.

En Argentina, Passarella *et al.* (2003) determinaron la ganancia genética en parámetros de calidad utilizando 8 cultivares liberados entre 1944 y 1988 cultivados durante dos años en una localidad. Encontraron que la concentración de proteínas decreció en los cultivares más modernos, a través de la disminución de la fracción C de hordeínas y el aumento de la fracción B y un aumento del nivel de extracto de $0,054\% \text{ año}^{-1}$. Estos autores destacan la introducción del cultivar Beka (1966) por su alta calidad, especialmente por el alto nivel de extracto. Estos autores no encontraron relación entre el peso de los granos, el tamaño de los granos y la friabilidad con el año de liberación de los cultivares.

Desde el año 2000 hubo un fuerte recambio de cultivares en los sistemas de producción. El cultivar introducido Scarlett, llegó a ocupar más del 80% de la superficie del cultivo, debido a su alto potencial de rendimiento como a su excelente calidad, reconocida a nivel internacional. Los cultivares de origen nacional fueron disminuyendo su superficie sembrada. Actualmente, más del 80% de la superficie sembrada corresponde a cultivares introducidos.

Para aumentar la eficiencia en los programas de mejoramiento genético de cebada cervecera, especialmente en Argentina donde la importancia de este cultivo ha aumentado tanto en la producción como en la agroindustria, resulta relevante estimar la ganancia genética de los principales caracteres que determinan el rendimiento y la calidad comercial e industrial de la cebada. De esta manera, se

podría pensar en definir un genotipo ideal que permita seguir aumentando los rendimientos, la calidad y la eficiencia en el uso de los recursos.

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de determinar la ganancia genética del carácter rendimiento y calidad de los granos, y sus respectivos componentes, evaluando 25 cultivares de cebada liberados en Argentina entre los años 1931 y 2007, cultivados en la región de producción.

HIPÓTESIS

- 1) El mejoramiento genético aumentó el rendimiento en grano del cultivo de cebada cervecera en Argentina.

- 2) El mejoramiento genético aumentó los caracteres que definen la calidad comercial del cultivo de cebada cervecera en Argentina.

- 3) El mejoramiento genético impactó positivamente sobre los caracteres que definen la calidad industrial del cultivo de cebada cervecera en Argentina.

- 4) Existe variabilidad genética en los componentes numéricos del rendimiento.

- 5) Existe variabilidad genética en los caracteres de calidad.

OBJETIVOS

- 1) Determinar la ganancia genética del rendimiento en grano y sus componentes en el cultivo de cebada cervecera en Argentina para el periodo 1931-2007.

- 2) Determinar la ganancia genética de la calidad comercial en el cultivo de cebada cervecera en Argentina bajo las actuales normas de comercialización.

- 3) Determinar la ganancia genética de la calidad industrial en el cultivo de cebada cervecera en Argentina.

- 4) Determinar la variabilidad genotípica para caracteres determinantes del rendimiento y sus componentes.

- 5) Determinar la variabilidad genotípica en la primera calidad y contenido de proteína de los granos y de la friabilidad, extracto e índice de Hartong en malta.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Material Vegetal

En el presente estudio se evaluaron 25 genotipos de cebada cervecera liberados como cultivares en Argentina entre los años 1931 y 2007. Excepto los últimos cultivares, Shakira, MP1109, MP546 y Scarlett, que actualmente se cultivan y de los cuales se utilizó semilla original proveniente de los semilleros, el resto fue multiplicado con semilla proveniente de la Colección de Germoplasma de Cebada Cervecera del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, ubicada en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) de Bordenave.

Los genotipos fueron seleccionados en base a la superficie sembrada, a datos de ensayos de las redes de evaluación de cultivares y a recomendaciones de referentes históricos del cultivo. Los cultivares, el año de libración y el tipo de cultivar (local o introducido) se muestran en la Tabla 1. Todos los genotipos evaluados en este estudio son de 2 hileras.

Tabla 1. Cultivares de cebada cervecera evaluados, año de liberación y tipo de cultivar

<i>CULTIVAR</i>	<i>Año de liberación</i>	<i>Tipo de Cultivar</i>
<i>Rivera 112/31</i>	1931	<i>Local</i>
<i>Chevalier Local</i>	1935	<i>Introducción</i>
<i>Cervecera Local</i>	1935	<i>Local</i>
<i>La Previsión 19</i>	1937	<i>Local</i>
<i>Malteria Heda</i>	1944	<i>Local</i>
<i>Malteria 150</i>	1960	<i>Local</i>
<i>Buck Cruz del Sur</i>	1961	<i>Local</i>
<i>Beka</i>	1966	<i>Introducción</i>
<i>Unión</i>	1970	<i>Introducción</i>
<i>Bonaerense Caupin</i>	1971	<i>Local</i>
<i>Bonita</i>	1971	<i>Local</i>
<i>Cañumil INTA</i>	1976	<i>Local</i>
<i>Quilmes 271</i>	1982	<i>Local</i>
<i>Quilmes Alfa</i>	1982	<i>Local</i>
<i>Clipper</i>	1983	<i>Introducción</i>
<i>Quilmes Sur</i>	1989	<i>Local</i>
<i>B1215</i>	1993	<i>Introducción</i>
<i>Quilmes Palomar</i>	1994	<i>Local</i>
<i>Carla INTA</i>	1995	<i>Local</i>
<i>Quilmes Ayelen</i>	1998	<i>Local</i>
<i>Scarlett</i>	1999	<i>Introducción</i>
<i>Barke</i>	1999	<i>Introducción</i>
<i>MP546</i>	2003	<i>Local</i>
<i>MP1109</i>	2006	<i>Local</i>
<i>Shakira</i>	2007	<i>Introducción</i>

2. Diseño Experimental

Los genotipos fueron evaluados en ensayos comparativos de rendimiento (ECR) en los siguientes 13 ambientes, definiendo como ambiente la combinación de año y localidad:

Balcarce (37° 49' 00" S y 58° 15' 00" W) en los años 2009 y 2010.

Bordenave (37° 48' 00" S y 63° 03' 00" W) en los años 2007 al 2010.

San Miguel Arcángel (34° 32' 00" S y 58° 43' 00" W) durante los años 2008 al 2010.

Coronel Suárez (37° 26' 46" S y 61° 53' 24" W) en los años 2009 y 2010.

Daireaux (36° 36' 00" S y 61° 45' 00" W) en los años 2009 y 2010.

Cada ECR se realizó según un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental (UE) consistió en una parcela de 5 metros de largo por 1,40 metros de ancho. La densidad de siembra se ajustó para obtener 250 plantas por metro cuadrado en cada parcela, considerando el peso de los granos y el poder germinativo. Los ECR fueron sembrados con sembradora de parcelas de experimentación. Durante la siembra se realizó una fertilización con 140 kg ha⁻¹ de fosfato di amónico. La fertilización nitrogenada se ajustó en base al rendimiento estimado en cada ambiente para los cultivares que se utilizan en la región y a la disponibilidad del nitrógeno a la siembra, con un rango de 110 a 150 kilogramos de nitrógeno por hectárea. Para tal fin se utilizó urea, que tiene una concentración de 46% de nitrógeno, aplicada al voleo en la etapa de macollaje temprano. Los ECR se mantuvieron libres de malezas, plagas y enfermedades mediante control químico de las mismas.

3. Determinaciones Agronómicas

Para determinar los estadios fenológicos, inicio de encañazón, espigazón y madurez de los genotipos de cebada se utilizó la escala decimal de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974).

Para determinar el rendimiento en granos de cada UE, se cosechó toda la parcela en forma mecánica, con cosechadoras de parcelas de experimentación. El rendimiento en granos se expresó en kg ha^{-1} ajustando el peso a un 12% de humedad.

En cada UE se determinó el peso de los granos a través del PMG y el número de granos por espigas, contando los granos de 20 espigas por parcela. El número de granos por metro cuadrado y el número de espigas por metro cuadrado fueron calculados indirectamente:

$$\text{Número de granos (m}^{-2}\text{)} = \text{Rendimiento (gramos m}^{-2}\text{)} / \text{PMG (gramos)}$$

$$\text{Número de espigas (m}^{-2}\text{)} = \text{Número de granos (m}^{-2}\text{)} / \text{Numero de granos por espiga}$$

4. Caracteres de Calidad Comercial

La clasificación del tamaño de los granos se determinó utilizando una clasificadora de granos que posee zarandas con agujeros rectangulares de 2,8, 2,5 y 2,2 milímetros (mm) de ancho, la cual cumple con las normas Analytica – EBC 1998. Para esta determinación se utilizaron 100 gramos de grano de cebada con una variación de 0,1 gramos. Según lo establecido por las normas antes mencionadas, después de 5 minutos de zarandeo se pesaron los granos retenidos en cada zaranda. El calibre o porcentaje de primera clasificación, se define como el porcentaje de granos que queda retenido sobre una zaranda de 2,5 mm, es decir, resulta de la suma del porcentaje retenido sobre zarandas de 2,8 mm más 2,5 mm.

El contenido de proteínas y de humedad de los granos cosechados se determinó en un espectrofotómetro infrarrojo cercano (NIRS) marca Foss – Tecator.

Para ello se utilizaron aproximadamente 500 gramos de granos de cebada limpios. Se registraron los datos de % de proteína y de humedad de los granos en cada UE. Esta metodología se encuentra normalizada (Normas Analytica – EBC, 1998).

5. Caracteres de calidad industrial (sobre malta)

Los caracteres de calidad industrial se determinaron sobre la malta elaborada con los granos de cada unidad experimental (parcela). Se maltearon los granos de cebada provenientes de los ECR que cumplieron en promedio, tanto en la primera calidad como en el contenido de proteínas de los granos, con los valores establecidos en los parámetros de calidad comercial vigentes en Argentina. En los ECR seleccionados se descartó una repetición por genotipo, tomado como criterio la repetición que poseía la concentración de proteínas en los granos más alejada de los valores presentes en el estándar de comercialización.

La transformación del grano de cebada en malta se realizó en un equipo denominado micromaltería, el cual permitió realizar los malteos, a los cual se lo denomina micromalteos, bajo condiciones estrictamente controladas, en forma muy homogénea y en pequeñas cantidades. Este instrumentó permitió elaborar 40 micromalteos por tanda.

Antes de ingresar las muestras de los granos de cebada a la micromaltería se realizó un acondicionamiento, que además de limpiarlas, permite uniformar todas las muestras por el tamaño de los granos. Este acondicionamiento se realizó pesando 500 gramos de granos de cada UE, que luego se pasaron por una limpiadora Labofix, con zaranda de 2,5 mm y cilindro alveolar. Posteriormente, se extrajeron manualmente las semillas de malezas, granos rotos, o cualquier otro tipo de impureza que no fue extraída con la limpiadora. De esta manera todas las muestras para micromaltear quedaron uniforme en cuanto al tamaño de los granos, independientemente del valor de primera calidad de los mismos, limpias y sin granos partidos o dañados.

Los micromalteos y los análisis posteriores fueron realizados en el laboratorio de calidad maltera y cervecera de la EEA INTA Bordenave, Argentina En la

micromaltería se realizó el remojo de los granos, la germinación y el secado de la malta. Para la realización de los micromalteos se utilizó un programa de malteado desarrollado por la Cátedra de Tecnología Cervecera de la Universidad Técnica de Munich, Weihenstephan, Alemania, el cual fue utilizado anteriormente con buenos resultados (Aguinaga, A. 2004).

Este proceso se realizó en las siguientes etapas:

1. Se colocaron 250 gramos (+/- 0,1) de granos de cebada acondicionados de cada UE en cada uno de los 40 recipientes que posee la micromaltería. De esta manera se maltearon tandas de 40 muestras

2. Remojo: Se realizaron dos inmersiones en agua de 5 horas cada una y descansos de aire de 19 horas posteriores a cada inmersión. La temperatura del agua fue de 15°C y los tiempos de extracción del dióxido de carbono (CO₂) fueron de 10 minutos. Una vez que finalizó la etapa de remojo, se registró la humedad de la malta verde a la salida del remojo.

3. Germinación: Se uniformaron todas las muestras de malta verde a 45% de humedad mediante riegos con agua. En este momento se inició la etapa de germinación, en la cual se mantuvo la temperatura a 15°C durante 96 horas.

4. Secado: El secado se efectuó aumentando la temperatura a 55°C durante 4 horas, luego se la subió a 60°C, en forma paulatina durante una hora, y se la dejó 6 horas. Posteriormente se hizo ascender la temperatura a una velocidad de 5°C por hora hasta los 80°C y a una velocidad de 2°C por hora hasta los 82°C, donde permaneció por un lapso de 3 horas (Tabla 2).

Tabla 2. Tiempo (horas) y temperatura (°C) de secado aplicada para secar la malta

<i>Tiempo (horas)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
4	55
1	Ascenso 55 a 60
6	60
1	Ascenso 60 a 65
1	Ascenso 65 a 70
1	Ascenso 70 a 75
1	Ascenso 75 a 80
1	Ascenso 80 a 82
3	82

5. Desbrotado y limpieza de malta: Una vez finalizado el micromalteo, se extrajeron las muestras de malta y se procedió al desbrotado (se eliminó el acróspiro y las raíces) y se limpió manualmente la malta obtenida. Con esta malta obtenida se procedió a realizar los análisis de friabilidad de malta, extracto de malta e Índice de Hartong (VZ45), utilizando las normas Analytica – EBC, 1998.

5.1 Friabilidad

Para determinar la friabilidad de la malta se utilizó un friabilímetro, marca Pfeuffer GmbH, Mess- und Prüfgeräte, D-8710-Kitzingen, Germany. El proceso consistió en tomar 50 +/- 0,1 gramos de malta y colocarla dentro del tambor del friabilímetro. Luego de 8 minutos, se vació el contenido del tambor zaranda y se registró el peso de la fracción retenida en el tambor (A) a los 0,1 gramos más cercanos, que es la fracción denominada "no friable". Los resultados fueron expresados en números enteros de acuerdo a la siguiente fórmula:

$F = 100 - 2 A$ Donde A es la fracción retenida dentro del tambor.

5.2 Extracto de malta

Para la determinación del extracto se debió obtener previamente el mosto. Para este tipo de análisis se utilizó el denominado "Mosto Congreso" (según normas Analytica – EBC, 1998). El contenido de extracto del mosto surge del peso específico por medio de la tabla oficial de azúcar (tabla Plato) para 20°C. El término "peso específico" significa la relación del peso de un volumen de líquido a 20°C con el peso del mismo volumen de agua a la misma temperatura.

El Mosto Congreso fue obtenido en tres pasos como se detalla a continuación:

1. Preparación de la muestra: Se molieron 60 gramos de malta en un molino DLFU estandarizado para esta operatoria. Se tomó una porción de 5 gramos de malta molida para la determinación de la humedad en estufa por el método de gravimetría, es decir por diferencia de pesos. Luego se pesaron exactamente 50 gramos de malta molida, que posteriormente se utilizaron para la maceración.

2. Maceración: este proceso se realizó con un instrumento denominado baño de maceración o macerador, el cual puede realizar tandas de 20 muestras de malta por proceso de maceración, en forma automática según el programa de tiempos y temperaturas deseado. Se empezó poniendo el baño de maceración a una temperatura de 45°C. En cada uno de los veinte vasos que dispone el macerador se colocaron 50 mililitros (ml) de agua destilada. Luego se le agregaron 50 gramos de malta molida agitando con una paleta de manera de que se forme una pasta. Posteriormente se agregaron 150 ml de agua, sin dejar de agitar para evitar la formación de grumos, manteniendo siempre la temperatura a 45 +/- 1°C. Inmediatamente después se ubicaron los vasos en el baño de maceración y se pusieron los agitadores en movimiento. Se mantuvo la temperatura a 45°C en el macerador por exactamente 30 minutos, luego de la cual se elevó 1°C por minuto durante 25 minutos. Cuando la temperatura alcanzó los 70°C se agregaron 100 ml más de agua destilada calentada a 70°C. Se mantuvo la temperatura de 70°C por 1

hora. Posteriormente se enfrió el macerador a temperatura ambiente en un tiempo que fue de 10 a 15 minutos. Se lavó cada agitador con una pequeña cantidad de agua destilada, se fueron sacando de a uno los vasos del macerador y se ajustó el contenido del mismo a 450 g por adición de agua destilada.

3. Filtración: El contenido de cada vaso de maceración se agitó cuidadosamente con una varilla de vidrio y se vertió inmediata y completamente en un filtro especial para esta operatoria. La filtración se dio por finalizada cuando el terrón aparecía seco o luego de una filtración lenta durante 2 horas.

4. La determinación del peso específico del mosto se realizó con un densímetro digital y automático Anthor Para 4000. Con los datos de humedad y densidad de la muestra, se obtuvieron los valores de grado plato, extracto sustancia natural (s/n) y extracto sustancia seca (s/s). Se determinó el contenido de extracto del mosto de acuerdo con la determinación del peso específico de la tabla oficial de azúcar, en gramos de extracto por 100 g de mosto.

El contenido de extracto en malta se calculó de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{a) } E_1 = \frac{P * (M + 800)}{100 - P} \quad \text{b) } E_2 = \frac{E_1 * 100}{100 - M}$$

E_1 : contenido de extracto en la muestra, (0/1) (m/m)

E_2 : contenido de extracto en malta seca, (0/1) (m/m)

P: contenido de extracto en mosto, en gramos por 100 g de mosto

M: contenido de humedad de la malta, (0/1) (m/m)

800: cantidad de agua destilada agregada en el macerador a los 100 g de malta.

Los resultados fueron expresados en % (m/m) con una cifra decimal.

5.3 Índice de Hartong (Vz 45 °C)

El Índice de Hartong se determinó utilizando 50 gramos de malta y haciendo un macerado de 60 minutos con agua a 45°C (por este macerado es que a esta determinación también se la denomina VZ 45). La operatoria se realizó moliendo 50 gramos de malta que se agregó a un vaso de maceración con 350 ml de agua destilada a 45°C. Luego, se llevó al macerador durante una hora a 200 rpm. Al llegar a los 30 minutos, se agregaron 30 mililitros de agua destilada (a 45°C).

Luego de cumplido el tiempo, se enfrió a 20°C rápidamente, se llevó el peso total a 450 gramos (harina + agua) y se filtró con papel de filtro, refiltrando una sola vez, al llegar a los 100 mililitros. La densidad se determinó con un densímetro automático Anthor Para 4000. Los resultados fueron calculados utilizando las siguientes fórmulas

$\%E \text{ s/n} = \frac{(800 + H) * \%P}{(100 - \%P)}$	$\%E \text{ s/s} = \frac{\%E \text{ s/n}}{(100 - H)}$	$Vz = \frac{\%E \text{ s/s} * 100}{\% E \text{ Congreso s/s}}$
---	---	--

Donde:

%Es/n: % de extracto de sustancia natural, calculado con la densidad del mosto Hartong.

%Es/s: % de extracto de sustancia seca, calculado con la densidad del mosto Hartong.

%E Congreso s/s: % de extracto de sustancia seca, calculado con la densidad del mosto obtenido por maceración del mosto congreso (el que se utilizó para la determinación del extracto de malta).

%P: por ciento en peso.

H: nivel de humedad.

6. Análisis Estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2014). Se realizó un análisis de varianza individual a cada ECR y un análisis conjunto sobre los ambientes (localidad y año) selectos, para las variables rendimiento en grano y sus componentes numéricos (número de granos y número de espigas por unidad de superficie, granos por espiga y peso de los granos), primera calidad de los granos, contenido de proteínas de los granos, rendimiento de proteína, friabilidad de la malta, extracto de malta e índice de Hartong.

Para el análisis individual de un ambiente fue adoptado el modelo estadístico:

$$Y_{ik} = \mu + G_i + \varepsilon_{ik}$$

Para el análisis conjunto se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

μ = media general

G_i = efecto del i-ésimo genotipo ($i = 1, 2, 3, \dots, g$);

A_j = efecto del j-ésimo ambiente ($j = 1, 2, 3, \dots, a$);

GA_{ij} = efecto de la interacción del i-ésimo genotipo con el j-ésimo ambiente;

ε_{ijk} = efecto del k-ésimo bloque dentro del j-ésimo ambiente ($k = 1, 2, 3, \dots, r$)

El grado de asociación entre las variables fue estimado mediante modelos de regresión y de correlación.

Para determinar la relación entre dos variables cuantitativas se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r):

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Para determinar la ganancia genética anual en el período de liberación de cultivos estudiado, se realizó un análisis de regresión lineal donde la variable independiente fue el año de liberación del cultivar y la variable dependiente fue la media fenotípica (repeticiones por ambientes) para cada carácter específico del conjunto de cultivos evaluados. La pendiente de la recta de regresión es el valor de la ganancia genética anual.

$$Y_{ij} = \alpha + \beta X_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y= variable dependiente

α = ordenada al origen

β = pendiente de la recta

X= es la variable independiente

ϵ = residual

Las comparaciones entre medias fueron realizadas utilizando el test de diferencias medias significativas (DMS) de Fisher, con un nivel de significación $\leq 0,05$. La nomenclatura a utilizar en cada caso será la siguiente: ns ($p > 0,05$), * ($p \leq 0,05$), ** ($p \leq 0,01$) y *** ($p \leq 0,001$).

RESULTADOS y DISCUSION

1. Rendimiento

El análisis individual de la varianza (ANAVA) del rendimiento en grano (kg ha^{-1}) en cada ensayo permitió identificar aquellos ambientes con un coeficiente de variación (CV%) menor al 15%, valor considerado aceptable en redes de evaluación de cultivares. Por lo tanto, el análisis conjunto de la varianza se realizó considerando los ocho ambientes que cumplieron con el criterio considerado. La alta variabilidad observada en los ensayos descartados fue consecuencia del perjuicio causado por factores abióticos de distinta índole (estrés hídrico, heladas tardías, granizo y problemas edáficos).

El rendimiento en grano en este estudio se expresó con un 12% de humedad, que es el valor máximo admitido por la base de comercialización del cultivo de cebada en Argentina (MINAGRI, 2013). Para el ANAVA conjunto de esta variable se consideraron 791 datos correspondientes a 25 genotipos evaluados en 8 ambientes selectos y se consideraron como fuentes de variación el cultivar, el ambiente y la interacción entre ambos. El rendimiento en grano promedio fue de 3764 kg ha^{-1} , el CV% obtenido fue de 10,2 %, con un óptimo ajuste del modelo lineal ($R^2= 0,94$). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre cultivares, entre ambientes y para la interacción entre el cultivar y el ambiente ($p < 0,0001$). El cultivar, el ambiente y su interacción explicaron un 34,3%, un 50,3% y un 15,4% respectivamente, de la variabilidad total observada.

Es importante destacar el gran aporte a la varianza total observada que tuvo el componente cultivar, representado por genotipos inscriptos en distintos años, respecto del obtenido en estudios realizados sobre otros cultivos. Fraschina *et al.* (2005) midieron los componentes de la varianza en la red argentina de evaluación de cultivares de trigo con 9 cultivares de ciclo largo en 11 localidades y dos fechas de siembra durante las campañas 2003 y 2004, e informaron que la variabilidad por efectos ambientales fue del 88% mientras que la variabilidad por efecto del cultivar (genotipo) fue sólo del 1%. En otro análisis, los mismos autores, estudiaron el comportamiento de 11 cultivares de ciclo corto evaluados en 15 localidades, en dos fechas de siembra, durante las campañas mencionadas anteriormente, y

encontraron que el 91% de la variabilidad fue explicada por efectos ambientales y sólo el 2% correspondió al efecto del genotipo (cultivar).

En soja, Masiero *et al.* (2004) realizaron un análisis del rendimiento en grano con datos de la red de evaluación de cultivares de soja (RECSO) obtenidos durante las campañas 2001/02 y 2002/03. Los cultivares correspondían a los grupos de madurez (GM) IV (18 ensayos y 20 cultivares) y GM VI (14 ensayos y 7 cultivares) en las regiones pampeana norte y pampeana sur de Argentina. En los ensayos de GM IV determinaron que la variación entre cultivares representó solo el 3% de la variación total, el efecto ambiental representó el 87% y la interacción entre ambos el 10%. Dentro del 87% del efecto ambiental el 13 % fue debido a la variación entre las zonas ecológicas y el restante 74% a la localidad dentro de zona y año, es decir un efecto casi particular de ambientes que no responde a la zona ni el año de evaluación. Dentro del 10% de la interacción entre el cultivar y el ambiente, el 2% correspondió a la interacción del cultivar por el año y el 8% fue por la interacción cultivar por ensayo. El análisis de los cultivares perteneciente al GM VI no fue diferente ya que la variación entre cultivares representó solo el 4% de la variación total, el efecto ambiental el 82% y la interacción entre el cultivar y el ambiente el 14%. Dentro del 82% del efecto ambiental el 17% fue debido a zonas ecológicas y el restante 65% a localidad dentro de zona y año, es decir un efecto casi particular de ambientes que no responde a zona ni año. Dentro del 14% de la interacción el 3 % es cultivar por zona y el 11% es cultivar por ensayo.

La información reportada pone de manifiesto que en las redes de evaluación de los principales cultivos utilizados en Argentina (soja y trigo), a diferencia de lo obtenido en este estudio, la variabilidad genética entre cultivares es estrecha. La mayor variabilidad genotípica determinada en este estudio es debida a que contempla cultivares antiguos y modernos, mientras que las redes de evaluación solo contemplan a los cultivares actuales (modernos) y son, por consiguiente, un indicador de la estrecha variabilidad genética de cultivares coetáneos.

En la Tabla 3 se muestran las precipitaciones registradas en cada uno de los ambientes selectos, divididas en tres períodos. El primer periodo considerado se

extiende de enero a mayo, el cual es importante para la acumulación de agua en el suelo previo a la siembra del cultivo, el segundo periodo se extiende de junio a noviembre, que abarca la estación de crecimiento del cultivo y el tercer periodo abarca el mes de diciembre, en el cual las precipitaciones allí ocurridas no tienen un impacto importante en la generación del rendimiento en grano (estado de madurez fisiológica y cosecha).

Tabla 3. Precipitaciones registradas en los ambientes de evaluación durante las campañas 2007, 2008, 2009 y 2010 divididas arbitrariamente en tres periodos.

<i>Ambiente/Período</i>	Enero-Mayo	Junio - Noviembre	Diciembre	Total
Bordenave 2007	407	303	38	749
Bordenave 2008	256	160	59	475
San Miguel 2008	223	188	77	488
Daireaux 2009	296	219	88	603
Coronel Suárez 2010	371	215	21	607
Bordenave 2010	221	245	8	474
Balcarce 2010	415	379	35	829
Daireaux 2010	347	295	5	647

La heterogeneidad de las condiciones climáticas que se presentaron en los ocho ambientes seleccionados para la evaluación de los cultivares permitió observar una gran variabilidad ambiental y generó rendimientos disímiles entre los mismos. En consecuencia, el rendimiento mínimo y máximo promedio fue de 2403 kg ha⁻¹ y 5038 kg ha⁻¹ obtenidos en Daireaux durante las campañas 2009 y 2010, respectivamente (Tabla 4). En todos los ambientes las diferencias entre cultivares para el rendimiento en grano resultaron estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Se determinó que hubo una relación positiva entre el rendimiento en grano promedio de cada ambiente y las precipitaciones ocurridas durante la estación de crecimiento del cultivo ($r = 0,63$)

Tabla 4 . Unidades experimentales (n) rendimiento en grano (kg ha-1), coeficiente de variación (%), diferencia mínima significativa (kg ha-1), y rendimiento mínimo y máximo en cada ambiente de evaluación.

<i>AMBIENTE</i>	<i>n</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>CV %</i>	<i>DMS¹</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Daireaux 2010</i>	100	5038	9,0	638	3681	7360
<i>Balcarce 2010</i>	100	4909	8,7	600	2755	7125
<i>Bordenave 2007</i>	94	4064	10,0	594	1351	6249
<i>Bordenave 2010</i>	100	3943	9,4	523	2123	6459
<i>C. Suarez 2010</i>	100	3866	11,8	644	2721	5685
<i>Bordenave 2008</i>	99	3133	12,0	553	1242	4202
<i>San Miguel 2008</i>	98	2754	9,0	354	1965	3413
<i>Daireaux 2009</i>	100	2403	11,1	378	1280	3049

¹*Diferencia mínima significativa*

El ciclo de los cultivares evaluados se determinó arbitrariamente mediante la utilización de la fecha de espigazón que corresponde al estado Z5.5 de la escala Zadoks (1974). Para ello, se tomó como referencia la fecha 24 de octubre que se obtuvo al promediar la fecha de espigazón del cultivar precoz (16 de octubre: MP 546) y el cultivar más tardío incluido en el estudio (1 de noviembre: Cervecera Local). De esta manera, los cultivares que espigaron antes del 24 de octubre, fueron considerados de ciclo corto (CC) y aquellos que lo hicieron con posterioridad fueron considerados de ciclo largo (CL) (Tabla 5). Las fechas de siembra de los ensayos fueron las óptimas en cada ambiente. Más allá de la arbitrariedad del método, la fecha de referencia es agrónomicamente aceptable para separar los ciclos en los ambientes de evaluación explorados.

El mayor rendimiento promedio entre los cultivares fue alcanzado por Shakira (2007), con un promedio de 5328 kg ha⁻¹, con un valor mínimo de 3007 kg ha⁻¹ y con un valor máximo de 7360 kg ha⁻¹. Contrariamente, el menor rendimiento promedio fue alcanzado por el cultivar Cervecera local (1935) con un promedio 2283 kg ha⁻¹, con un valor mínimo de 1242 kg ha⁻¹ y un valor máximo de 3861 kg ha⁻¹. Es decir, el máximo rendimiento promedio fue logrado por el cultivar más moderno y el mínimo por uno de los cultivares más antiguos (Tabla 5).

Tabla 5. Nombre, año de liberación, ciclo, rendimiento promedio, mínimo y máximo y fecha media de espigazón (FME) de cada cultivar en los ocho ambientes de evaluación.

<i>Cultivar</i>	Año	Ciclo	n	Promedio	Mínimo	Máximo
Shakira	2007	CL	32	5328	3007	7360
MP1109	2006	CL	32	4993	2566	6666
MP546	2003	CC	32	4194	2966	5347
Scarlett	1999	CL	32	5058	3046	7072
Barke	1999	CL	32	4532	2045	6337
Q.Ayelen	1998	CC	32	4226	3005	5806
Carla INTA	1995	CL	32	3613	2437	4798
Q.Palomar	1994	CC	32	3667	1773	4817
B1215	1993	CL	32	4431	2221	6012
Q.Sur	1989	CC	30	3603	2426	5098
Clipper	1983	CC	32	3912	2313	5679
Q.271	1982	CC	30	3950	2804	5739
Q.Alfa	1982	CC	32	3739	2710	4716
Cañumil INTA	1976	CC	32	3404	2429	4584
B.Caupin	1971	CC	31	4264	2688	5657
Bonita	1971	CL	32	3298	2207	4501
Unión	1970	CL	32	3755	1983	5900
Beka	1966	CL	32	3389	1594	4640
B.Cruz del Sur	1961	CC	32	3520	2384	4766
Malteria 150	1960	CC	32	3368	2680	4485
Malteria Heda	1944	CC	32	3157	2600	4339
La Prevision 19	1937	CC	32	2993	2261	4537
Chevalier Local	1935	CL	28	2626	1242	4046
Cervecera Local	1935	CL	32	2283	1280	3861
Rivera 112/31	1931	CC	32	2692	1389	4011
PROMEDIO	-	-	-	3760	2323	5231

Se encontró una fuerte relación positiva entre el año de liberación de los cultivares y el rendimiento en grano, con un coeficiente de regresión de 0,76, siendo los cultivares más modernos los que alcanzaron el mayor rendimiento. Estos resultados también encuentran su fundamento en el análisis de varianza del rendimiento debido a que la interacción genotipo x ambiente representó sólo un 20% de la variabilidad total. La ganancia anual promedio entre los años 1931 y 2007 fue de 27,5 kilogramos de grano ha⁻¹ año⁻¹ (p<0,001) (Figura 2). Esto representa una ganancia relativa de 0,85% año⁻¹.

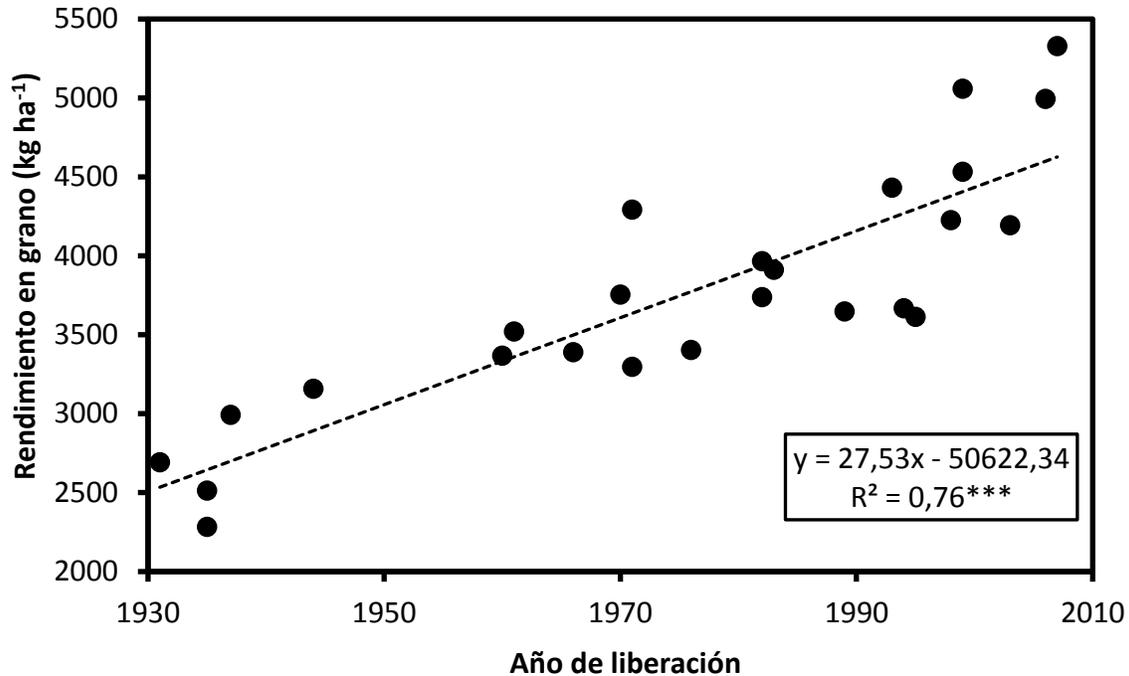


Figura 2 Relación entre el rendimiento en grano (kg ha^{-1}) y el año de liberación para cada cultivar evaluado.

Los resultados aquí obtenidos son similares a los informados por Abeledo *et al.* (2003) quienes determinaron bajo condiciones potenciales una ganancia genética de $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, evaluando 9 cultivares liberados en Argentina durante el período comprendido entre los años 1944 y 1998. Los cultivares evaluados en aquel estudio fueron: Maltería Heda (1944), Maltería 150 (1960), Beka (1966), Unión (1970), Quilmes Alfa (1982), Quilmes Sur (1989), B1215 (1993), Quilmes Palomar (1994) y Quilmes Ayelen (1998). De igual manera, cuando se analizó el mismo período explorado por Abeledo *et al.* con el conjunto de datos propios (8 ambientes y 16 cultivares) se determinó una ganancia genética equivalente de $22,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ($R^2 = 0,30$). Sin embargo, cuando se analizaron los mismos cultivares en los 8 ambientes bajo condiciones no potenciales, se determinó una ganancia genética levemente menor de $18,05 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ($R^2 = 0,64$). Estos resultados indican que aún bajo diferentes condiciones ambientales de evaluación la ganancia genética obtenida fue similar. Contrariamente, la ganancia genética para el rendimiento en grano aquí reportada ($27,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) fue significativamente mayor a la determinada sobre cultivares Nórdicos primaverales de dos hileras ($13 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

¹) liberados entre los años 1930 y 1991 (Ortiz *et al.*, 2002) y significativamente menor a la determinada en los cultivares invernales en Alemania de dos hileras ($52 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) liberados entre los años 1952 y 2005 (Ahlemeyer *et al.*, 2008).

En el cultivo de trigo, Bainotti *et al.* (2005) evaluaron 12 cultivares de ciclo largo y 9 de ciclo corto liberados en Argentina entre los años 1930 y 2000 en la localidad de Marcos Juárez durante cinco campañas comprendidas entre los años 1999 y 2004. A su vez, consideraron dos ambientes, con y sin aplicación de fungicida, y obtuvieron una ganancia genética de $33,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $27,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para los cultivares de ciclo largo y de $16,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $15,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para los cultivares de ciclo corto con y sin fungicida en ambos casos respectivamente. Por lo tanto, puede considerarse que la tasa de aumento del rendimiento en grano en el cultivo de cebada en Argentina por acción del mejoramiento genético es semejante a la alcanzada por los cultivares de trigo de ciclo largo.

Posteriormente, el período de liberación de los cultivares evaluados fue dividido arbitrariamente en tres sub-períodos que contemplaron una cantidad similar de cultivares: El primer sub-período fue el comprendido entre los años 1931 y 1969 y estuvo representado por 8 cultivares, el segundo sub-período fue el comprendido entre los años 1970 y 1989 y estuvo representado por 8 cultivares y el tercer sub-período fue el comprendido entre los años 1990 y 2007 y estuvo representado por 9 cultivares. Para el primer sub-período el rendimiento promedio fue de 3003 kg ha^{-1} y la ganancia genética fue de $28 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, similar a la determinada para el período completo. Para el segundo sub-período el rendimiento promedio fue de 3817 kg ha^{-1} y la ganancia genética fue casi nula con $1,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Para el último sub-período el rendimiento promedio fue de 4449 kg ha^{-1} y se determinó la mayor ganancia genética con un valor de $84,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 3). La presencia de un período de tiempo en el cual la ganancia genética es irrelevante coincide con lo obtenido por Abeledo *et al.* (2003).

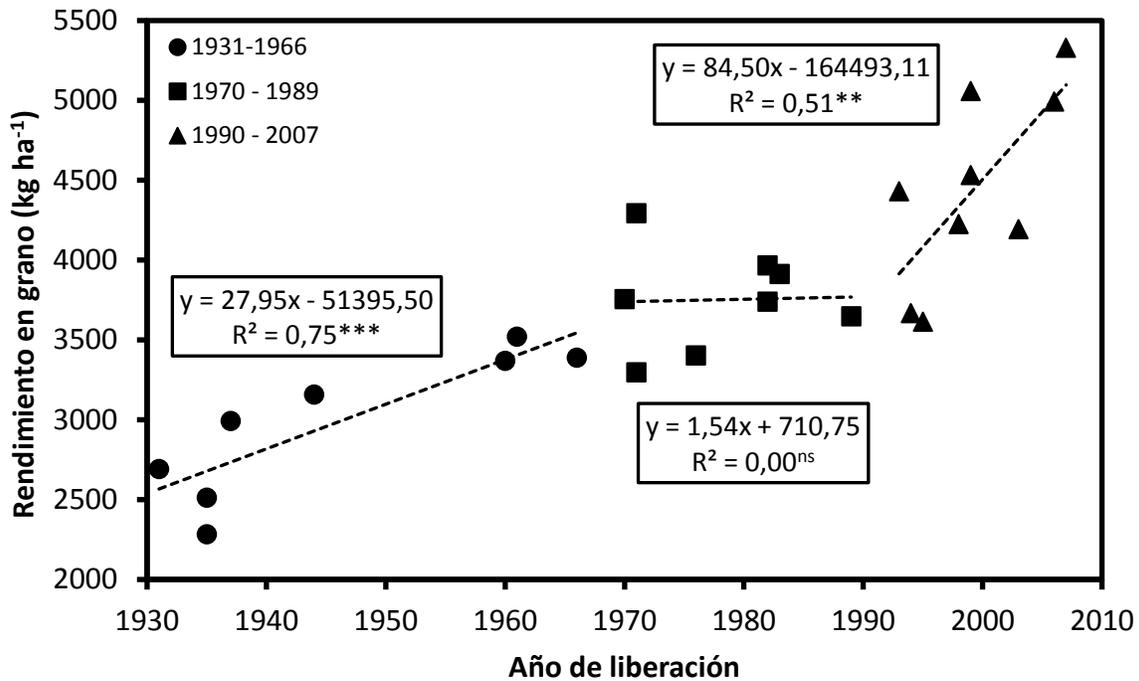


Figura 3 Relación entre el rendimiento (kg ha⁻¹) y el año de liberación para cada cultivar evaluado. Las líneas punteadas indican las regresiones lineales establecidas para los tres sub-períodos delimitados arbitrariamente.

En Argentina, se dispone de información estadística oficial sobre el cultivo de cebada (superficie, producción y rendimiento) a partir del año 1969 (SIIA, 2016). Cuando se analizó en esta base de datos el período 1970-2007, el rendimiento en grano a gran escala aumentó 55,6 kg ha⁻¹ año⁻¹, mientras que la ganancia genética determinada en este estudio en ese mismo período fue de 33 kg ha⁻¹ año⁻¹. Esta diferencia de 23 kg ha⁻¹ año⁻¹ podría explicarse por una mejora en la tecnificación del cultivo, el significativo aumento de la superficie sembrada en regiones de alto potencial de rendimiento como es el sudeste de la provincia de Buenos Aires, la mayor utilización de insumos (herbicidas y fertilizantes) y el desfase en el tiempo que hay entre que se inscribe un cultivar y su siembra a gran escala.

Por otro lado, se determinó la ganancia genética anual del rendimiento en grano en todo el período (1931-2007), clasificando a los cultivares según su ciclo, en ciclos cortos (CC) y ciclos largos (CL). El rendimiento en grano promedio fue 9% mayor en los cultivares de ciclo largo con 3944 kg ha⁻¹ en comparación con los

cultivares de ciclo corto con 3620 kg ha^{-1} , con una interacción significativa entre el ciclo y el ambiente ($p < 0,01$). En ambos ciclos los cultivares aumentaron el rendimiento a través del tiempo (Figura 4). La ganancia genética del rendimiento también fue mayor en los cultivares de ciclo largo, con un valor de $34,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (con 11 cultivares) mientras que en los cultivares de ciclo corto fue de $17,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (con 14 cultivares).

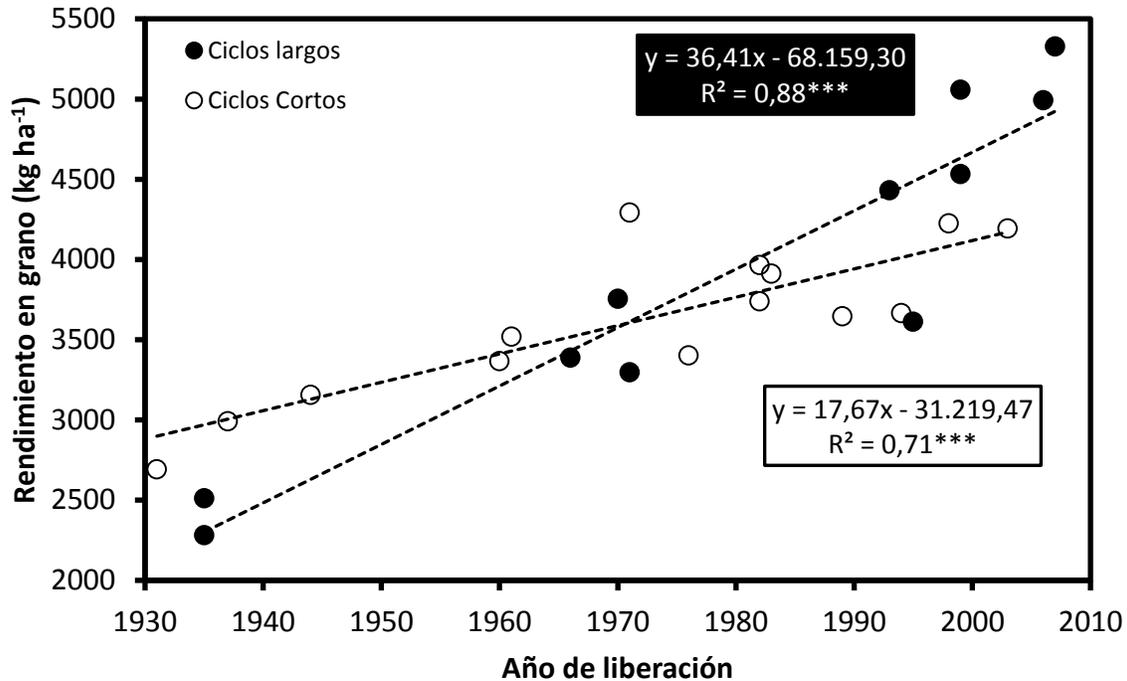


Figura 4 Relación entre el rendimiento en grano y el año de liberación para cada cultivar de ciclo largo (símbolos llenos) y de ciclo corto (símbolos vacíos) evaluado.

Estas evidencias indican que el mejoramiento genético en Argentina contribuyó, en términos generales, al aumento del rendimiento en grano a través del desarrollo de genotipos superadores de ciclo corto y largo liberados durante el período 1931-2007. Sin embargo, hasta el año 1970 aproximadamente, el rendimiento de los cultivares de ciclo corto fue mayor que el de los ciclos largos y lo contrario ocurrió desde allí hasta la actualidad. Esto se debe a una limitación de la clasificación de la duración del ciclo en función de la fecha de espigazón ya que la misma no contempla capacidad de generar macollos fértiles. En consecuencia, los ciclos largos más modernos no sólo presentan una espigazón más tardía sino que

presentan una mayor cantidad de macollos fértiles y en consecuencia poseen un mayor número de granos por unidad de área.

1.1 Componentes numéricos del rendimiento

1.1.1 Número de granos por unidad de superficie

El número de granos (NG) en este estudio fue considerado por unidad de superficie (m^2). Para el análisis de la varianza conjunto del NG se contemplaron 791 datos correspondientes a 25 cultivares (genotipos) evaluados en 8 ambientes y se consideraron como fuentes de variación el cultivar, el ambiente y la interacción entre ambos. El NG promedio fue de 8773 granos m^{-2} , el coeficiente de variación obtenido fue de 10,3 %, con un óptimo ajuste del modelo lineal ($R^2= 0,93$). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre cultivares, entre ambientes y para su interacción ($p<0,0001$). El cultivar, el ambiente y la interacción cultivar por ambiente explicaron un 50,5% un 32,3% y un 17,1% respectivamente, de la variabilidad total observada.

El ambiente con mayor NG fue Balcarce 2010 con 10836 granos m^{-2} mientras que el menor NG fue Daireaux 2009 con 5532 granos m^{-2} . En todos los ambientes se encontraron correlaciones positivas y significativas ($p<0,001$) entre el NG y el rendimiento en grano, incluso en los dos ambientes evaluados en 2008 (San Miguel y Bordenave) donde fue evidente el déficit hídrico durante la etapa de llenado de granos. En estos últimos, las correlaciones halladas resultaron ser significativas, pero con un nivel de ajuste menor de 0,81 y 0,86 para el ambiente San Miguel y Bordenave, respectivamente (Tabla 6).

Tabla 6. Número de granos m^{-2} promedio, coeficiente de variación porcentual (CV%), diferencias mínima significativa entre cultivares (DMS), menor y mayor NG y coeficiente de correlación entre el NG y el rendimiento (r) para cada ambiente evaluado.

<i>AMBIENTE</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV%</i>	<i>DMS</i>	<i>Menor</i>	<i>Mayor</i>	<i>r</i>
<i>Daireaux 2010</i>	10104	9,7	1387	7476	15322	0,96***
<i>Balcarce 2010</i>	10836	9,2	1408	6445	15986	0,96***
<i>Bordenave 2007</i>	9146	9,9	1334	2824	14563	0,97***
<i>Bordenave 2010</i>	9079	9,5	1215	5178	14563	0,96***
<i>C. Suarez 2010</i>	8377	10,5	1198	5745	11657	0,95***
<i>Bordenave 2008</i>	9782	12,6	1742	4755	14842	0,86***
<i>San Miguel 2008</i>	7422	8,5	906	5993	10049	0,81***
<i>Daireaux 2009</i>	5532	11,0	858	3228	7427	0,94***

*p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns no significativa

En términos absolutos, el mayor NG fue obtenido por el cultivar Scarlett en el ambiente Balcarce 2010 con 15986 granos m⁻², mientras que el menor NG correspondió al cultivar Riviera 112/31 en el ambiente Bordenave 2007 con 2824 granos m⁻². En promedio el cultivar con mayor NG fue Scarlett con 12654 granos m⁻² y el menor NG fue Maltería 150 con 5784 granos m⁻². Todos los cultivares presentaron asociación significativa (p<0,0001) entre el NG y el rendimiento en grano, con coeficientes de correlación iguales o superiores a 0,80 (Tabla 7).

Tabla 7. Año de liberación, ciclo, NG promedio, NG mínimo, NG máximo y coeficiente de correlación entre NG y rendimiento en grano (r) para cada cultivar evaluado. Orden de los cultivares de mayor a menor por año de liberación.

<i>CULTIVAR</i>	<i>Año de liberación</i>	<i>Ciclo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>r</i>
Shakira	2007	CL	12115	6678	15485	0,86***
MP1109	2006	CL	11535	5853	14418	0,86***
MP546	2003	CC	9458	6937	10840	0,88***
Barke	1999	CL	10893	4620	14515	0,87***
Scarlett	1999	CL	12654	6999	15986	0,84***
Q.Ayelen	1998	CC	10071	7427	12978	0,87***
Carla INTA	1995	CL	7823	5269	9180	0,88***
Q.Palomar	1994	CC	8853	4420	10710	0,84***
B1215	1993	CL	11830	5792	14842	0,80***
Q.Sur	1989	CC	7265	5079	9121	0,88***
Clipper	1983	CC	8691	4859	12005	0,90***
Q.271	1982	CC	9536	6846	12918	0,81***
Q.Alfa	1982	CC	8875	7362	10198	0,83***
Cañumil INTA	1976	CC	7418	5397	8750	0,80***
B.Caupin	1971	CC	10152	6405	12109	0,85***
Bonita	1971	CL	6692	4325	8141	0,82***
Unión	1970	CL	9527	4859	14681	0,92***
Beka	1966	CL	8466	3873	11306	0,87***
B.Cruz del Sur	1961	CC	8779	5860	12006	0,81***
Maltería 150	1960	CC	7254	5668	8842	0,80***
Maltería Heda	1944	CC	7132	5938	9277	0,85***
La Previsión 19	1937	CC	6541	5164	8375	0,80***
Cervecera Local	1935	CL	5809	3228	8412	0,91***
Chevalier Local	1935	CL	6111	3052	8198	0,92***
Rivera 112/31	1931	CC	5785	2824	7515	0,94***

*p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns no significativa

Cuando el rendimiento fue analizado como el producto entre el número de granos promedio por unidad de superficie (NG) y el peso promedio por grano (PG), se encontró que estuvo positivamente asociado en mayor medida con el NG (r= 0,88; p< 0,0001) que con el PG (r =0,32; p<0,0001). Esta fuerte asociación entre

rendimiento y NG ha sido descripta ampliamente en la literatura, tanto en trigo (Fischer, 1985; Magrín, 1990; Abbate *et al.*, 1995; Calderini *et al.*, 1999) como en cebada (Baethgen *et al.*, 1995; Abeledo *et al.*, 2002, 2003; Arisnabarreta y Miralles, 2006; Prystupa *et al.*, 2004). A su vez, Cossani *et al.* (2009) comprobaron la misma relación ensayando ambas especies aún bajo condiciones de estrés hídrico (trigo: $r = 0,92$; cebada: $r = 0,94$).

Se encontró una buena relación significativa ($p < 0,001$) entre el año de liberación de los cultivares y el NG, con un coeficiente de regresión de 0,66 siendo los cultivares más modernos los que fijaron mayor cantidad de granos. La ganancia anual promedio entre los años 1931 y 2007 fue de 66 granos $m^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Figura 5).

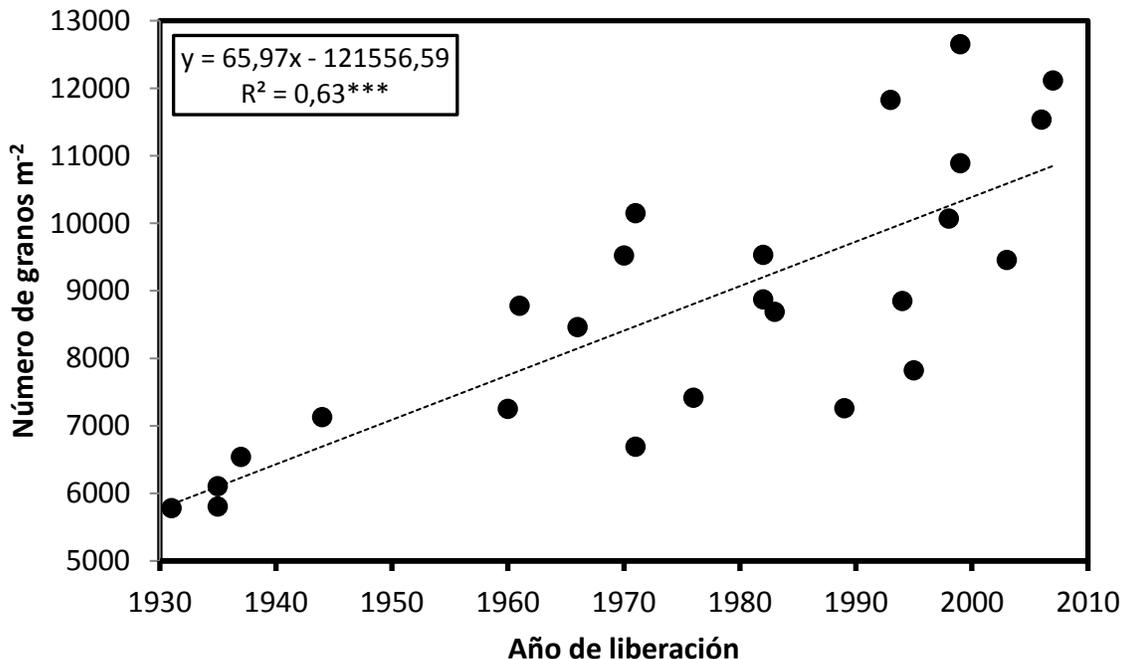


Figura 5 Relación entre el número de granos m^{-2} y el año de liberación para cada cultivar evaluado. La línea punteada indica la regresión lineal establecida.

La ganancia genética anual obtenida para el NG ($66 \text{ granos } m^{-2} \text{ año}^{-1}$) fue superior a la reportada por Abeledo *et al.* (2003), quienes obtuvieron una ganancia genética de $50 \text{ granos } m^{-2} \text{ año}^{-1}$ con igual grado de ajuste $R^2 = 0,63$. Cuando se calculó la ganancia genética utilizando los mismos cultivares, también se obtuvo un valor superior de $62 \text{ granos } m^{-2} \text{ año}^{-1}$, con un $R^2 = 0,53$.

Por otra parte, cuando se analizó el NG según el largo de ciclo de los cultivares evaluados se comprobó que aquellos de ciclo largo presentaron un mayor NG que los de ciclo corto (9438 granos m^{-2} vs. 8266 granos m^{-2}). Esta diferencia representó un 14% más de granos fijados en los cultivares de ciclo largo. Se obtuvieron diferencias significativas entre cultivares para el NG en cada ciclo ($P < 0,05$).

Cuando se dividió el período de liberación en estudio en tres sub-períodos según el criterio mencionado para rendimiento en grano, se comprobó una ganancia genética para el NG de 27 granos m^{-2} año⁻¹, para el sub-período 1931-1966 y de 132 granos m^{-2} año⁻¹ para el sub-período 1990-2007. Sin embargo, para el sub-período 1970-1989 se comprobó una tasa negativa con una pérdida de 35 granos m^{-2} año⁻¹.

El NG fue el principal componente afectado directa o indirectamente por el mejoramiento genético, que ha permitido aumentar en consecuencia el rendimiento en grano en el cultivo de cebada en Argentina. Esto coincide con lo obtenido por Abeledo *et al.* (2002; 2003) en cebada y también en trigo (Calderini *et al.*, 1999).

1.1.2 Número de espigas

El número de espigas (NE) en este estudio fue expresado por unidad de superficie (m^2). Para el análisis de la varianza conjunto de la variable NE se consideraron 691 datos correspondientes a 25 genotipos evaluados en 7 ambientes y se consideraron como fuentes de variación el cultivar, el ambiente y su interacción. El NE promedio fue de 397 espigas m^{-2} , el coeficiente de variación obtenido fue de 13,4%, con un óptimo ajuste del modelo lineal ($R^2=0,87$). Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre cultivares, entre ambientes y para la interacción cultivar por ambiente ($p < 0,0001$). El cultivar, el ambiente y la interacción explicaron un 50,6% un 31,7% y un 17,7% respectivamente, de la variabilidad total observada resultante de este conjunto de datos. Estos valores indican que los componentes considerados tuvieron similar implicancia sobre la variabilidad total que la registrada para la variable NG.

El ambiente que en promedio permitió lograr una mayor cantidad de vástagos fértiles fue Balcarce 2010, con 501 espigas m⁻², mientras que Daireaux 2009 fue el más restrictivo para esta variable con 270 espigas m⁻². Se observó una fuerte relación entre el NE y el rendimiento en todos los ambientes analizados ($p < 0,001$), con coeficientes de correlación que oscilaron entre 0,77 en Balcarce 2010 y 0,94 en Bordenave 2007 (Tabla 8).

Tabla 8. Número de espigas (NE) promedio, NE mínimo y máximo absoluto, coeficiente de variación porcentual (CV %), diferencias mínima significativa entre cultivares (D.M.S.), y coeficiente de correlación entre NE y rendimiento en grano (r) para cada ambiente evaluado.

<i>AMBIENTE</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV %</i>	<i>D.M.S.</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>r</i>
<i>Daireaux 2010</i>	425	11,4	68	312	583	0,79***
<i>Balcarce 2010</i>	501	12,8	90	270	678	0,87***
<i>Bordenave 2007</i>	377	13,9	77	114	604	0,94***
<i>Bordenave 2010</i>	430	15,5	94	239	643	0,77***
<i>Bordenave 2008</i>	401	13,6	77	191	616	0,85***
<i>San Miguel 2008</i>	378	12,2	66	296	526	0,79***
<i>Daireaux 2009</i>	270	12,5	48	138	350	0,88***

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; ns no significativa

El cultivar que mayor número de espigas promedio generó fue B1215 (1993) con 535 espigas m⁻² y el cultivar que menor número de espigas promedio generó fue Cervecera Local (1935) con 236 espigas m⁻². En términos absolutos, la mayor cantidad de espigas fue lograda por el cultivar B1215 en el ambiente Balcarce 2010 con 677 espigas m⁻², mientras que la menor cantidad de espigas fue lograda por el cultivar Chevalier local (1935) con 108 espigas m⁻² (Tabla 9). La densidad de siembra fue de 250 plantas m⁻², por lo tanto, cultivares con menos de 250 espigas m⁻² estarían indicando una pérdida de plantas o plantas que no fueron capaces de generar ninguna espiga. Se encontró una buena correlación con el rendimiento en grano en todos los cultivares, con coeficientes de correlación que oscilaron entre 0,62 y 0,87 ($p < 0,001$).

Tabla 9. Número de espigas m⁻² promedio, NE mínimo y máximo, ciclo año de liberación y ajuste de correlación con rendimiento en grano (r) para cada cultivar evaluado.

<i>CULTIVAR</i>	<i>Año</i>	<i>Ciclo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>r</i>
Shakira	2007	CL	533	304	659	0,83***
MP1109	2006	CL	492	288	629	0,76***
MP546	2003	CC	466	351	609	0,70***
Barke	1999	CL	442	193	597	0,80***
Scarlett	1999	CL	533	307	627	0,62***
Q.Ayelen	1998	CC	437	334	574	0,69***
Carla INTA	1995	CL	323	241	375	0,62***
Q.Palomar	1994	CC	378	199	443	0,81***
B1215	1993	CL	535	263	678	0,74***
Q.Sur	1989	CC	317	256	364	0,80***
Clipper	1983	CC	468	297	646	0,87***
Q.271	1982	CC	443	317	634	0,78***
Q.Alfa	1982	CC	401	344	512	0,70***
Cañumil INTA	1976	CC	386	307	456	0,67***
B.Caupin	1971	CC	428	296	519	0,79***
Bonita	1971	CL	305	240	369	0,66***
Union	1970	CL	394	212	610	0,84***
Beka	1966	CL	353	202	454	0,77***
B.Cruz del Sur	1961	CC	439	305	553	0,72***
Malteria 150	1960	CC	383	282	477	0,72***
Malteria Heda	1944	CC	375	297	506	0,84***
La Prevision 19	1937	CC	306	233	353	0,68***
Cervecera Local	1935	CL	236	139	331	0,75***
Chevalier Local	1935	CL	262	108	351	0,89***
Rivera 112/31	1931	CC	287	137	389	0,77***

*p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns no significativa

Se encontró una fuerte relación entre al año de liberación de los cultivares y el NE, con un coeficiente de regresión de 0,54 siendo los cultivares más modernos los que lograron mayor cantidad de espigas m⁻². La ganancia anual promedio entre los años 1931 y 2007 fue de 2,58 espigas m⁻² año⁻¹ (Figura 6) durante el período de liberación de cultivares estudiado en Argentina (1931-2007).

El número de espigas m⁻² estuvo estrechamente relacionado con el número de granos (r=0,90; p<0,0001) y con el rendimiento en grano (r= 0,80; p<0,0001), por lo que el incremento del rendimiento se debió principalmente al aumento del número

de espigas m^{-2} , coincidiendo con lo informado en Argentina por Abeledo *et al.* (2003) y también con lo reportado en otros países como Italia (Martinello *et al.*, 1987) y Estados Unidos (Wych y Rasmusson, 1983).

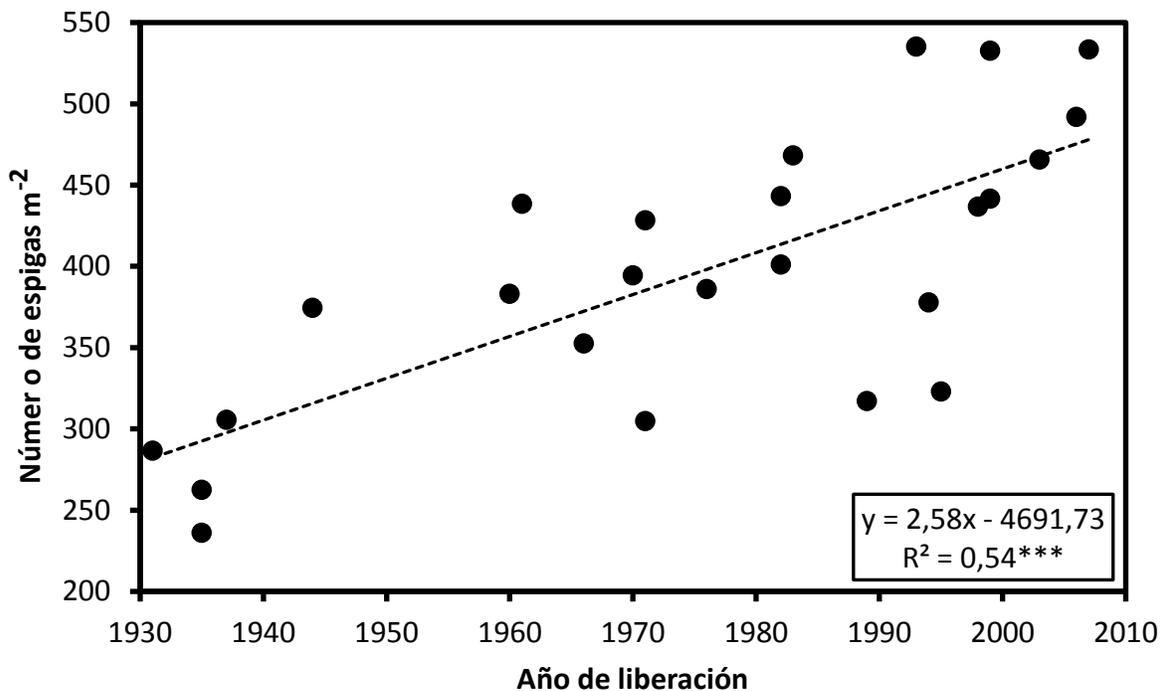


Figura 6 Relación entre el número de espigas m^{-2} y el año de liberación para cada cultivar evaluado.

Cuando se analizó el comportamiento de los cultivares según su ciclo, como se muestra en la Figura 7, se encontró que aquellos de ciclo corto presentaron una ganancia genética para espigas m^{-2} menor ($1,6 \text{ espigas } \text{m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) que la obtenida por los cultivares de ciclo largo ($3,6 \text{ espigas } \text{m}^{-2} \text{ año}^{-1}$).

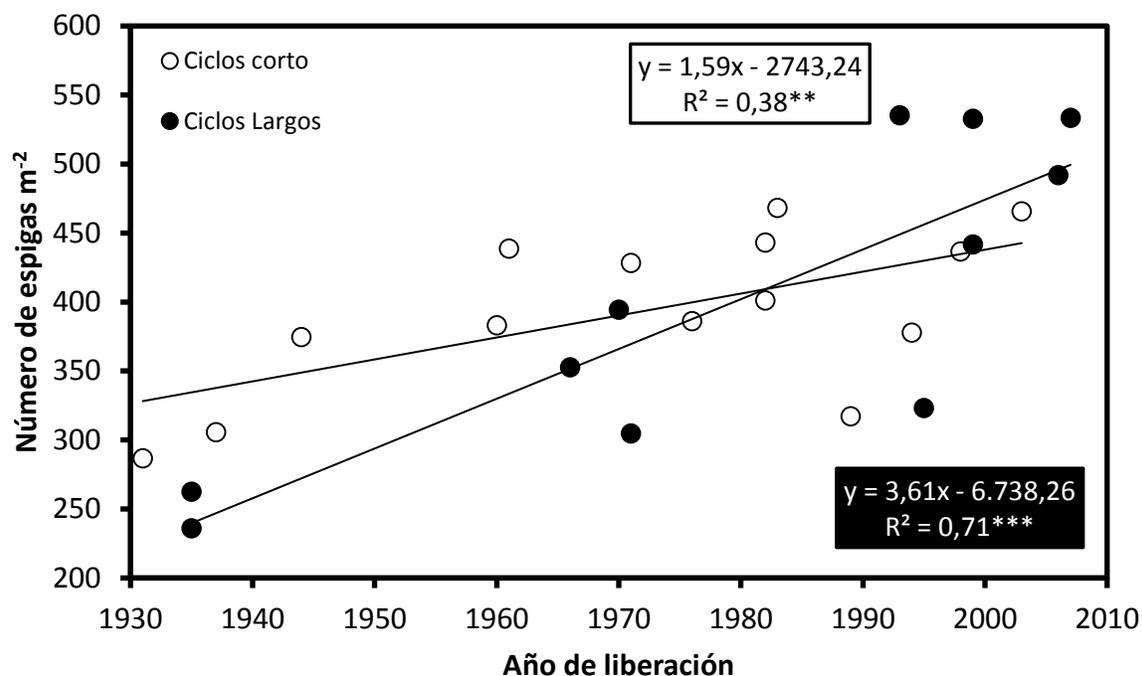


Figura 7 Relación entre el número de espigas m⁻² y el año de liberación para cada cultivar de ciclo largo (símbolos llenos) y de ciclo corto evaluado (símbolos vacíos).

1.1.3 Número de granos por espiga

Para el análisis de la varianza conjunto de la variable número de granos espiga⁻¹ (NGE) se consideraron 691 datos correspondientes a 25 cultivares evaluados en 7 ambientes (Tabla 10) y se consideraron como fuentes de variación el cultivar, el ambiente y su interacción. El NGE promedio fue de 22,3 granos espiga⁻¹, el coeficiente de variación obtenido fue de 7,62%, con un buen ajuste del modelo lineal ($R^2 = 0,80$). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre cultivares, entre ambientes y para la interacción entre el cultivar y el ambiente ($p < 0,0001$). El cultivar, el ambiente y la interacción cultivar por ambiente explicaron el 42,7% 40,0% y 17,2% respectivamente, de la variabilidad total observada resultante de este conjunto de datos.

El ambiente que en promedio permitió fijar una mayor cantidad de granos espiga⁻¹ fue Bordenave 2007, con 24,5 granos espiga⁻¹, mientras que el ambiente

más restrictivo para esta variable fue San Miguel 2009 con 19,8 granos espiga⁻¹. Solo en dos ambientes, Daireaux 2010 y Bordenave 2010, el NGE tuvo una leve relación con el rendimiento (Tabla 10).

Tabla 10. Número de granos espiga-1 promedio, NGE mínimo y máximo, coeficiente de variación porcentual (CV %), diferencias mínima significativa entre cultivares (D.M.S.), y correlación con rendimiento en grano (r) para cada ambiente de evaluación.

AMBIENTE	Promedio	CV %	D.M.S.	Mínimo	máximo	r
Daireaux 2010	23,9	5,3	1,78	18,7	27,4	0,44 ***
Balcarce 2010	21,7	6,1	1,86	18,1	25,7	0,24*
Bordenave 2007	24,5	7,8	2,79	19,6	28,7	0,1 ^{ns}
Bordenave 2010	21,4	12,5	3,77	17,5	25,4	0,34**
Bordenave 2008	24,6	4,7	1,62	20,6	27,0	0,02 ^{ns}
San Miguel 2008	19,8	7,3	2,05	17,7	21,5	-0,09*
Daireaux 2009	20,7	8,2	2,38	16,5	24,0	0,02 ^{ns}

*p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns no significativa

El cultivar que generó más granos espiga⁻¹ promedio fue Scarlett (1999) con 25,7 granos espiga⁻¹ mientras que el cultivar que menos granos espiga⁻¹ presentó fue Maltería 150 con 18,1 granos espiga⁻¹. En términos absolutos el mayor número de granos espiga⁻¹ fue alcanzado por el cultivar Cervecera Local (1935) en el ambiente Bordenave 2007 con 31,3 granos espiga⁻¹, mientras que el menor número de granos espiga⁻¹ fue logrado por el cultivar Clipper (1983) en el ambiente Daireaux 2009 con 14,7 granos espiga⁻¹ (Tabla 11). Estos resultados ponen de manifiesto la gran variabilidad genética observada para esta variable.

El NGE promedio presentó escasa asociación con el rendimiento en grano con un coeficiente de correlación de 0,29 (p<0,0001). Sin embargo, cuando se analizó el comportamiento individual entre estas variables por cultivar se observó que Scarlett, Beka, Carla INTA, Barke, Bonaerense Caupin, MP 1109, Quilmes Sur y Buck Cruz del Sur tuvieron una relación positiva (p<0,05) con un mejor ajuste respecto del análisis realizado con los valores promedio de 7 ambientes (r > 0,40) y el resto de los cultivares no presentaron relación alguna (Tabla 11). Esto indicaría que la estrategia para conformar el rendimiento difirió entre los cultivares.

Tabla 11. Número de granos espiga-1, NGE promedio, mínimo y máximo, ciclo, y nivel de correlación con el rendimiento en grano (*r*) para cada cultivar evaluado.

<i>CULTIVAR</i>	<i>Año</i>	<i>Ciclo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mínimo</i>	<i>máximo</i>	<i>r</i>
Scarlett	1999	CL	25,7	15,5	28,2	0,54**
Beka	1966	CL	24,9	15,5	29,2	0,52**
Carla INTA	1995	CL	24,7	16,7	30,6	0,46*
Barke	1999	CL	24,4	19,0	29,4	0,46*
Unión	1970	CL	24,3	19,2	28,2	0,37 ^{ns}
Cervecera Local	1935	CL	24,0	18,1	31,3	-0,01 ^{ns}
Shakira	2007	CL	23,6	17,1	27,6	0,30 ^{ns}
B.Caupin	1971	CC	23,4	19,3	27,7	0,42*
Chevalier Local	1935	CL	23,3	18,4	30,1	-0,19*
MP1109	2006	CL	23,0	17,8	27,8	0,55**
Q.Ayelen	1998	CC	22,7	17,7	28,0	0,37 ^{ns}
Q.Sur	1989	CC	22,3	18,5	26,9	0,60**
B1215	1993	CL	22,1	17,6	26,3	0,36 ^{ns}
La Previsión 19	1937	CC	21,4	17,7	25,2	0,32 ^{ns}
Q.Palomar	1994	CC	21,2	19,2	28,8	0,35 ^{ns}
Bonita	1971	CL	20,7	15,6	27,5	0,31 ^{ns}
Q.271	1982	CC	20,4	16,8	25,6	0,01 ^{ns}
Q.Alfa	1982	CC	20,0	17,7	27,7	-0,04 ^{ns}
Rivera 112/31	1931	CC	19,6	15,8	27,2	0,24 ^{ns}
MP546	2003	CC	19,2	16,2	24,4	0,24 ^{ns}
B.Cruz del Sur	1961	CC	19,1	16,2	23,7	0,42*
Clipper	1983	CC	18,8	14,7	26,4	0,35 ^{ns}
Maltería Heda	1944	CC	18,4	15,6	22,8	-0,19 ^{ns}
Cañumil INTA	1976	CC	18,3	15,4	22,9	0,39*
Maltería 150	1960	CC	18,1	15,5	21,9	0,20 ^{ns}

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; ^{ns} no significativa

Esta variable parece no haber sido objeto de mejora genética constante, al menos para el período de liberación en estudio ya que sólo se comprobó una tendencia positiva, determinándose una ganancia genética de 0,022 granos espiga⁻¹ (Figura 8). Esto coincide con las investigaciones de Wych y Rasmusson (1983), Bulman *et al.* (1993), Jadel y Helm (1994) y Abeledo *et al.* (2003).

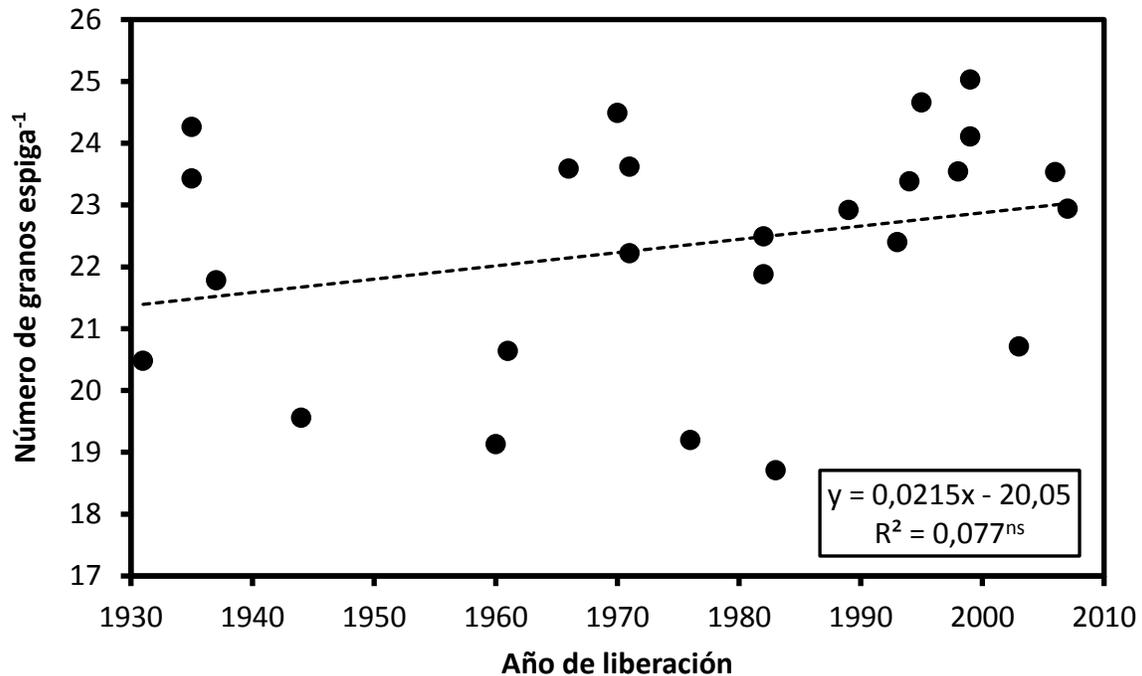


Figura 8 Relación entre el número de granos espiga⁻¹ y el año de liberación para cada cultivar evaluado.

En el análisis de varianza para el NGE por ciclo de los cultivares, hubo efectos del ciclo de los cultivares, el ambiente y su interacción ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 10,4%. En promedio los ciclos largos presentaron 23,1 granos espiga⁻¹ mientras que los ciclos cortos presentaron 20,7 granos espiga⁻¹. En los cultivares de ciclo corto se comprobó una leve tendencia positiva con el año de liberación mientras que en los cultivares de ciclo largo no se comprobaron modificaciones en esta variable (Figura 9).

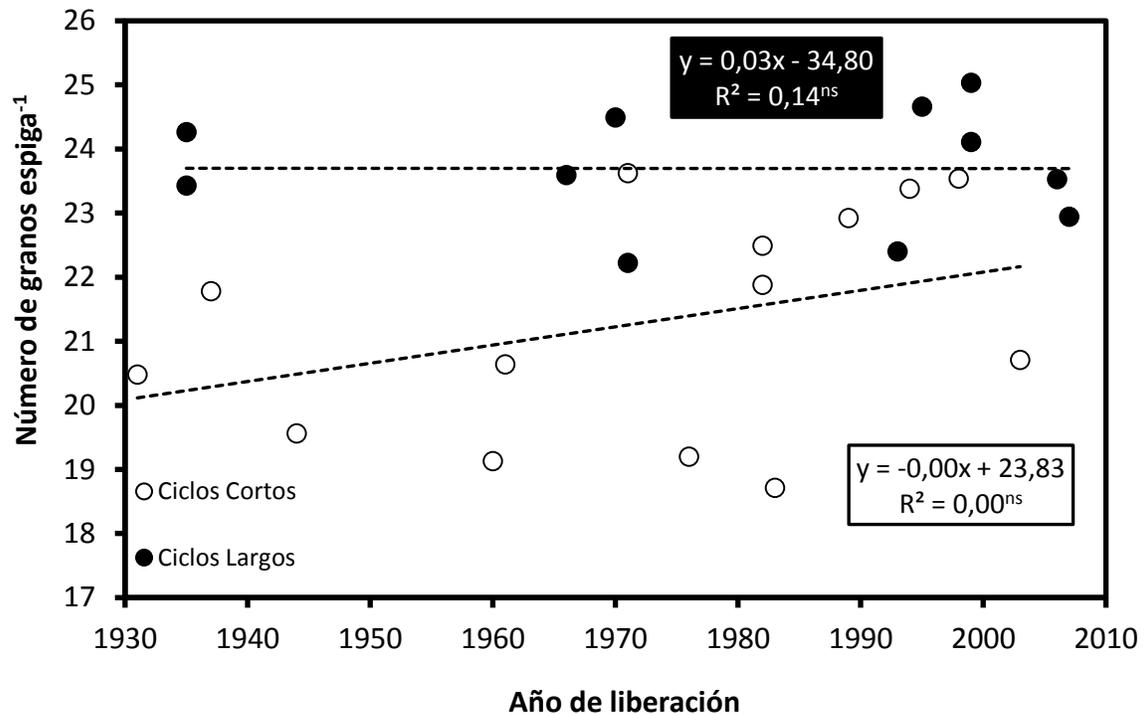


Figura 9 Relación entre el número de granos espiga⁻¹ y el año de liberación de cada cultivar de ciclo largo (símbolos llenos) y ciclo corto (símbolos vacíos) evaluado.

El NGE tuvo una relación positiva y significativa con el NG con un nivel de ajuste regular ($r = 0,35$, $n = 691$, $p < 0,001$). Por otro lado, no fue posible comprobar relación alguna con el número de espigas m^{-2} y tampoco con el peso de los granos.

En este trabajo se comprobó que el NGE contribuyó positivamente a la conformación del rendimiento en grano en varios cultivares pero en menor medida que lo hallado para el NE. Esto difiere de lo reportado por Abeledo *et al.* (2003) quienes encontraron que los cultivares modernos aumentaron el NE manteniendo constante el NGE. Esta diferencia se debe probablemente a que solo uno de los cultivares (Beka) en los que el NGE contribuye positivamente al rendimiento en este estudio fueron evaluados en aquella investigación.

1.1.4 Peso de los granos

Para el análisis de la varianza conjunto del peso de mil granos (PMG) se consideraron 791 datos correspondientes a 25 cultivares evaluados en 8 ambientes y se consideraron como fuentes de variación el cultivar, el ambiente y su interacción. El PMG promedio fue de 42,5 gramos, el coeficiente de variación obtenido fue de 4,2%, con un buen ajuste del modelo lineal ($R^2= 0,95$) y las diferencias fueron estadísticamente significativas entre cultivares, entre ambientes y para la interacción entre el cultivar y el ambiente ($p<0,0001$). El cultivar, el ambiente y la interacción cultivar por ambiente explicaron un 22,7% 71,3% y 6,0% respectivamente, de la variabilidad total observada resultante de este conjunto de datos.

El ambiente con mayor PMG fue Daireaux 2010, con un valor medio de 49,2 gramos, mientras que el ambiente con valor más bajo fue Bordenave 2008 con un promedio de PMG de 31,6 gramos. Estas diferencias entre las medias del PMG de los ambientes explican el gran efecto ambiental con respecto a la variabilidad total. (Tabla 12).

El peso potencial de los granos de cereales en climas templados se determina por el tamaño potencial de los granos el cual queda definido por las condiciones ambientales durante el período pre y post-antesis temprano (Calderini *et al.*, 2006). Binmghan *et al.* (2007) informaron en cebada para el cultivar Pearl que los factores más influyentes en definir el peso del grano fueron la temperatura media del aire durante la aparición de aristas y la emergencia de la espiga y la cantidad de radiación interceptada durante el primer período de desarrollo del grano. Entre los ambientes evaluados, Daireaux 2010 podría considerarse como un ambiente que presentó condiciones climáticas cercanas al potencial, ya que en el mismo se registraron los PMG más elevados. Bajo las condiciones de este ambiente se determinó una gran variabilidad genética entre los cultivares para el PMG, con un valor máximo de 55 gramos obtenido por el cultivar Quilmes Sur (1989) y un valor mínimo de 45,3 gramos obtenido por el cultivar Cervecera Local (1935). Esto nos

permite concluir que el peso potencial de los granos además de estar determinado por las condiciones descritas en el párrafo anterior, está controlado genéticamente y hay variabilidad para este carácter. Además, en este ambiente el PMG promedio para los cultivares de ciclo corto fue de 49,8 gramos, mientras que el PMG promedio para los cultivares de ciclo largo fue de 48,5 gramos sin diferencias significativas entre ciclos ($p>0,05$).

Los ambientes de Bordenave 2008 y San Miguel 2008 tuvieron un bajo PMG debido a un fuerte déficit hídrico ocurrido durante la estación de crecimiento que se magnificó durante la etapa de llenado de los granos. Cuando se excluyeron del análisis los ambientes con estrés hídrico, la relación entre el PMG y el rendimiento en grano se desvaneció ($r=0,1$; $p> 0,01$; $n= 594$). Este acotamiento del número de ambientes considerados también generó cambios en la importancia relativa de cada componente de la varianza con respecto a la variación total. De esta manera, el efecto del cultivar, del ambiente y de la interacción cultivar por ambiente fue de 59%, 31% y 9% respectivamente versus 22,7%, 71,3% y 6,0% obtenidos en el análisis completo. Por otro lado, cuando se analizaron sólo los ambientes con estrés (2008) tampoco fue posible hallar una relación entre el PMG y el rendimiento en grano ($r=0,01$; $p>0,01$; $n=197$). En este caso, los efectos del cultivar, el ambiente y su interacción explicaron el 68%, 26% y 5% de la variación total respectivamente, cambiando de igual manera la importancia relativa de los efectos analizados. La relación entre el rendimiento y el PMG en el análisis global y la falta de relación en los análisis individuales sugieren que el arrebatado de los granos afectó negativamente el rendimiento, además del PMG.

Tabla 12. Peso de mil granos promedio (g), mínimo y máximo; coeficiente de variación porcentual (CV %), diferencias mínima significativa (D.M.S.) y coeficiente de correlación con el rendimiento (r) y probabilidad (P) para cada ambiente evaluado.

<i>AMBIENTE</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV %</i>	<i>D.M.S.</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>r</i>
<i>Daireaux 2010</i>	49,2	2,6	1,77	42,3	55,0	-0,16*
<i>Balcarce 2010</i>	45,6	3,5	2,23	40,0	54,8	-0,29*
<i>Bordenave 2007</i>	44,9	5,3	3,52	39,3	51,7	-0,24 ^{ns}
<i>Bordenave 2010</i>	42,5	3,8	2,30	37,3	50,0	-0,07 ^{ns}
<i>C. Suarez 2010</i>	45,2	4,4	2,82	39,3	51,0	0,1*
<i>Bordenave 2008</i>	31,6	7,8	3,50	25,2	41,0	0,18 ^{ns}
<i>San Miguel 2008</i>	36,4	2,7	1,41	28,8	41,8	0,12*
<i>Daireaux 2009</i>	44,5	2,9	1,83	39,3	52,0	0,18 ^{ns}

*p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns no significativa

El máximo valor de PMG en términos absolutos fue 55 gramos obtenido por el cultivar Quilmes Sur (1989) en el ambiente Daireaux 2010 y el valor mínimo fue 25,2 gramos obtenido por el cultivar Chevalier Local (1935) en el ambiente Bordenave 2008. En promedio, los cultivares Quilmes Sur y Bonita (1971) fueron los de mayor PMG con 48,9 gramos y 48,7 gramos respectivamente, mientras que el cultivar B1215 (1993) fue el de menor PMG con un valor de 37,3 g. (Tabla 13). Estos valores del PMG coinciden con los reportados en la bibliografía (Savin *et al.*, 1996; Voltas *et al.* 1998).

Tabla 13. Peso de mil granos (g) promedio, mínimo y máximo; ciclo, coeficiente de correlación con el rendimiento en grano (r) para cada cultivar evaluado.

<i>CULTIVAR</i>	Año	Ciclo	Promedio	Mínimo	máximo	r
Q.Sur	1989	CC	48,7	40,0	55,0	0,58***
Bonita	1971	CL	48,7	37,8	54,3	0,44**
Malteria 150	1960	CC	45,9	35,3	52,0	0,44**
Rivera 112/31	1931	CC	45,8	41,0	52,8	0,36*
Carla INTA	1995	CL	45,3	35,3	51,8	0,61***
Cañumil INTA	1976	CC	45,1	33,3	51,5	0,61***
La Prevision 19	1937	CC	44,9	30,5	53,0	0,65***
Clipper	1983	CC	44,5	34,8	49,5	0,25 ^{ns}
Malteria Heda	1944	CC	43,6	33,3	48,8	0,51**
MP546	2003	CC	43,5	35,3	48,5	0,55***
Shakira	2007	CL	43,2	29,5	49,8	0,55***
MP1109	2006	CL	42,4	28,8	50,8	0,58***
Chevalier Local	1935	CL	41,5	25,0	48,5	0,63**
Q.Alfa	1982	CC	41,3	33,3	47,8	0,74***
B.Caupin	1971	CC	41,3	32,0	47,8	0,56***
Barke	1999	CL	41,1	27,3	49,5	0,45**
Q.Ayelen	1998	CC	41,1	31,3	48,5	0,68***
Q.271	1982	CC	40,8	30,0	48,0	0,56***
Q.Palomar	1994	CC	40,7	30,3	46,3	0,54***
B.Cruz del Sur	1961	CC	40,0	29,8	47,5	0,27 ^{ns}
Scarlett	1999	CL	39,5	28,0	45,3	0,44*
Beka	1966	CL	39,5	27,5	46,5	0,50*
Unión	1970	CL	38,6	27,5	46,0	0,51**
Cervecera Local	1935	CL	38,3	26,0	45,3	0,55***
B1215	1993	CL	37,3	26,0	45,8	0,42*

*p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns no significativa

El PMG presentó una correlación positiva y significativa con el rendimiento en grano con un nivel de ajuste regular ($r=0,32$; $p<0,0001$; $n=791$ datos) cuando se analizó la totalidad de los ambientes. El análisis por cultivar permitió definir que hubo una relación positiva y significativa ($p<0,05$) entre el PMG y el rendimiento en grano para todos los cultivares, excepto para los cultivares Clipper (1983) y Buck Cruz del Sur (1961) (Tabla 13). Contrariamente, no hubo una relación definida y consistente entre el PMG y el rendimiento en grano obtenido en cada ambiente. La relación entre el PMG y el número de granos resultó muy débil ($r=0,14$; $p<0,01$; $n=791$ datos). Hay una relación directa y positiva entre el peso de los granos y el contenido de almidón de los mismos (Savin y Molina- Cano, 2002).

Cuando se analizó el PMG en los ambientes del 2008, por el largo de ciclo de los cultivares, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los cultivares de ciclo corto y largo ($p<0,05$), con valores de 35,9 gramos y 31,5 gramos, respectivamente. También hubo diferencias significativas entre los cultivares de ambos ciclos en el promedio de todos los ambientes, con valores de PMG de 43,4 gramos y 41,4 gramos para los cultivares de CC y CL, respectivamente. Las condiciones climáticas durante el llenado de los granos habrían sido más favorables para los cultivares de ciclo corto por producirse antes la espigazón y serían el origen de las diferencias para PMG entre ciclos.

En todos los ambientes analizados hubo diferencias significativas entre los cultivares para el PMG ($p<0,05$) y la interacción de los cultivares por los ambientes podría explicarse en parte porque hubo variabilidad en la tasa de llenado entre los cultivares.

Si bien se registró una amplia variabilidad para este carácter, no se observó un aumento del PMG a medida que se incorporaban los cultivares más nuevos a la regresión, razón por la cual la ganancia genética anual resultó nula. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Abeledo *et al.* (2003) y Pasarella *et al.* (2003). Contrariamente a lo informado en Argentina, Psota *et al.* (2009) encontraron una ganancia genética de $0,177$ gramos año^{-1} , en cultivares de la

República Checa liberados durante el período comprendido entre los años 1955 y 2005.

Por lo tanto, los resultados presentados sobre esta variable deben ser considerados como un logro del mejoramiento genético en cebada en Argentina, ya que se registró un aumento en el número de granos m^{-2} y se mantuvo constante el peso de mil granos. Este resultado difiere de los observado en trigo, donde a lo largo de los años aumentó el número de granos y disminuyó el peso de los granos (Slafer *et al.*, 1994). Por otro lado, al no comprobarse una asociación negativa entre el PMG y el NG que ponga en evidencia una compensación entre componentes, resulta lógico pensar que aún es posible a través de la mejora genética aumentar el peso de los granos y el número de granos m^{-2} simultáneamente. En tal caso, ambos componentes estarían contribuyendo a un aumento del rendimiento en grano en el cultivo de cebada.

1.2 Relación entre los componentes de rendimiento

Para comparar la contribución y la variabilidad de cada componente del rendimiento en cada cultivar se relativizaron los valores del rendimiento, el NG, el NGE y el PMG a su correspondiente valor promedio obtenido en los ambientes selectos (Tabla 14).

Tabla 14. Valores relativos de rendimiento (kg/ha), número de granos m⁻² (NG), número espigas m⁻² (NE), número de granos espiga⁻¹ (NGE) y peso de mil granos (PMG) obtenidos para cada cultivar evaluado.

<i>CULTIVAR</i>	<i>Año</i>	<i>Ciclo</i>	<i>Rend.</i>	<i>NG</i>	<i>NE</i>	<i>NGE</i>	<i>PMG</i>
<i>Shakira</i>	2007	CL	140,4	138,1	134,4	102,6	101,7
<i>MP1109</i>	2006	CL	131,2	131,5	124,0	105,3	99,8
<i>MP546</i>	2003	CC	110,4	107,8	117,3	92,7	102,4
<i>Scarlett</i>	1999	CL	134,2	144,3	134,2	107,9	93,0
<i>Barke</i>	1999	CL	120,0	124,2	111,3	112,0	96,6
<i>Q.Ayelen</i>	1998	CC	110,9	114,8	110,0	105,3	96,6
<i>Carla INTA</i>	1995	CL	95,1	89,2	81,4	110,3	106,6
<i>Q.Palomar</i>	1994	CC	96,7	100,9	95,2	104,6	95,8
<i>B1215</i>	1993	CL	118,3	134,9	134,9	100,2	87,7
<i>Q.Sur</i>	1989	CC	94,8	82,8	79,9	102,6	114,5
<i>Clipper</i>	1983	CC	103,8	99,1	118,0	83,7	104,8
<i>Q.271</i>	1982	CC	104,4	108,7	111,7	97,9	96,0
<i>Q.Alfa</i>	1982	CC	98,3	101,2	101,1	100,6	97,2
<i>Cañumil INTA</i>	1976	CC	89,8	84,6	97,3	85,9	106,2
<i>B.Caupin</i>	1971	CC	112,4	115,8	107,9	105,7	97,1
<i>Bonita</i>	1971	CL	87,3	76,3	76,8	99,4	114,5
<i>Union</i>	1970	CL	98,7	108,6	99,4	109,6	90,9
<i>Beka</i>	1966	CL	89,6	96,5	88,8	105,6	92,8
<i>B.Cruz del Sur</i>	1961	CC	94,2	100,1	110,5	92,4	94,1
<i>Malteria 150</i>	1960	CC	89,3	82,7	96,5	85,6	107,9
<i>Malteria Heda</i>	1944	CC	83,5	81,3	94,4	87,5	102,6
<i>La Prevision 19</i>	1937	CC	78,8	74,6	77,0	97,5	105,7
<i>Chevalier Local</i>	1935	CL	68,1	69,7	66,1	104,8	97,7
<i>Cervecera Local</i>	1935	CL	59,7	66,2	59,5	108,6	90,1
<i>Rivera 112/31</i>	1931	CC	71,1	66,0	72,2	91,6	107,8
PROMEDIO			3728	8771	397	22,3	42,5

El rendimiento promedio fue de 3728 kg ha⁻¹, compuesto por 8771 granos por m², con un peso de mil granos de 42,5 gramos. El número de granos m⁻², estuvo formado por 397 espigas con 22,3 granos espiga⁻¹.

El rendimiento en grano presentó un valor relativo máximo de 40,3% respecto del promedio obtenido en los siete ambientes selectos. El NG fue el componente numérico del rendimiento con mayor variabilidad, con un valor máximo relativo de 44%. El PMG por su parte presentó una variabilidad mucho menor con un valor máximo relativo de 14,5%.

De los componentes del NG, el NE resultó ser el más variable con un valor máximo relativo de 35%, mientras que el NGE tuvo un valor máximo relativo de 12%. En base a los resultados mencionados en párrafos anteriores, el NE fue el componente del NG más importante en la definición del rendimiento respecto al NGE. Ante una disminución del NE, el rendimiento podría ser compensado solo parcialmente por un mayor NGE y un mayor peso de los granos debido a que la cebada contiene espiguillas unifloras a diferencia del trigo.

Por lo expuesto, es posible deducir que el mejoramiento genético ha incrementado el rendimiento en grano en el cultivo de cebada mediante un aumento indirecto en el NG, principalmente a través del NE. Si se consideran los valores máximos relativos de cada componente sería posible obtener un genotipo ideal con un rendimiento promedio de 6870 kg ha⁻¹, con 14113 granos m⁻², obtenidos con 573 espigas m⁻² de 24,65 granos cada una y un peso de mil granos de 48,7 g. Esto hubiese significado una mejora en el rendimiento del 31% sobre el cultivar Shakira (2007) que fue el cultivar con mayor rendimiento. Por lo tanto, el mejoramiento genético dispone aún de variabilidad genética en cada uno de los componentes del rendimiento en el cultivo de cebada cervecera.

2. Calidad Comercial

2.1 Tamaño de los Granos

El tamaño de los granos se determinó a través de la denominada primera calidad de los granos. Esta se establece como el porcentaje de granos retenidos por encima de la zaranda de 2,5 milímetros. La primera calidad fue determinada en la totalidad de las unidades experimentales generando así una matriz de 791 datos originados por la combinación de 25 cultivares en los 8 ambientes selectos para la evaluación del rendimiento en grano. En la Figura 10 se presentan los valores promedios, mínimos y máximos de primera calidad determinada en cada ambiente de evaluación.

Para el análisis conjunto de la varianza de la primera calidad de los granos se utilizaron sólo los ambientes en los cuales el valor promedio superó el valor mínimo exigido por la norma de comercialización de cebada cervecera en Argentina (80% de los granos retenidos por encima de la zaranda de 2,5 milímetros).

En el ambiente Bordenave 2008, todos los cultivares tuvieron valores de primera calidad por debajo del 80% exigido por las normas de comercialización y se observó alta variabilidad que elevó el coeficiente de variación a 38%. En el ambiente San Miguel 2008 el promedio de primera calidad de granos fue de 59,3%, con un aceptable coeficiente de variación de 8,14%. En este ambiente se destacaron 5 cultivares que tuvieron valores promedio por encima del valor mínimo exigido comercialmente: Bonita (1971) 87,7%, Malteria Heda (1944) 85,6% Malteria 150 (1960) 84,4%, Quilmes Sur (1989) 82,2% y Cañumil INTA (1976) con 81,7%, los cuales no tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre sí ($p < 0,05$). Estos resultados ponen de manifiesto la amplia variabilidad genética de este conjunto de cultivares y la estabilidad que presentan algunos cultivares para mantener altos valores de calibre. En consecuencia, se descartaron los dos ECR del año 2008 (San Miguel y Bordenave) debido a que en ambos ambientes se presentó un severo estrés hídrico durante la etapa de llenado de los granos que afectó negativamente el tamaño de los mismos.

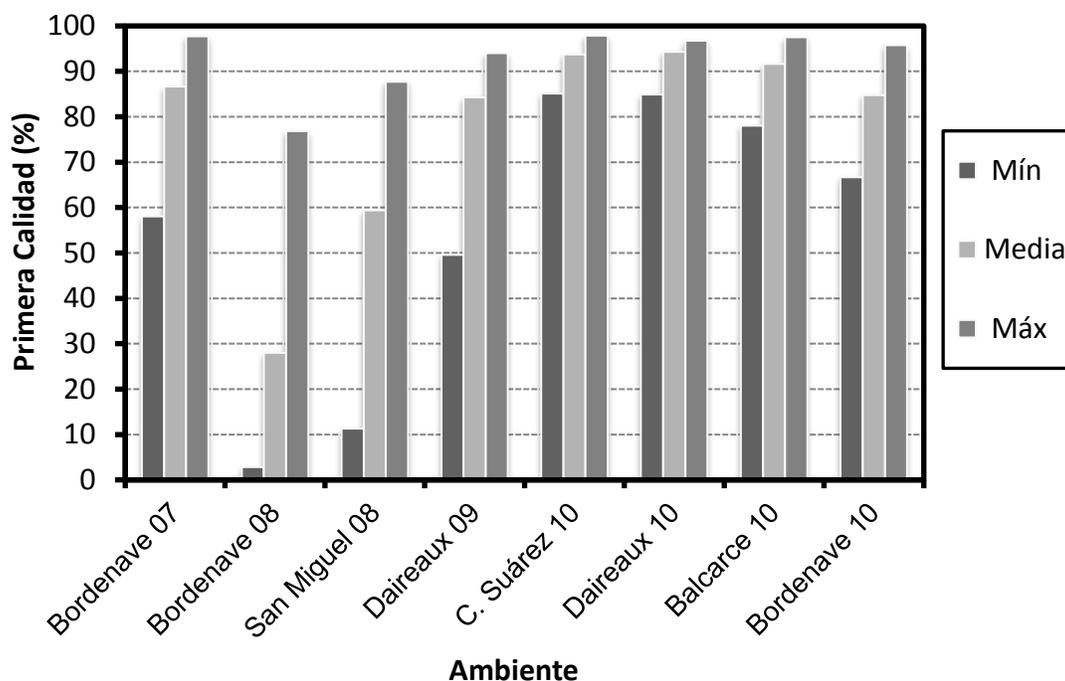


Figura 10 Valores promedios, mínimos y máximos de primera calidad (%) obtenidos en cada ambiente de evaluación.

Para el análisis de la varianza conjunto de la primera calidad de los granos se consideraron 569 datos correspondientes a 25 cultivares, evaluados en 6 ambientes y se consideraron como fuentes de variación el cultivar, el ambiente y su interacción. El valor de primera calidad promedio fue de 89,2%, el coeficiente de variación obtenido fue de 4,9%, con un buen ajuste del modelo lineal ($R^2= 0,8$) y las diferencias estadísticas fueron altamente significativas entre cultivares, entre ambientes y para la interacción entre el cultivar y el ambiente ($p<0,0001$). El cultivar, el ambiente y la interacción cultivar por ambiente explicaron un 43,7% un 26,0% y un 30,3% respectivamente, de la variabilidad total observada resultante de este conjunto de datos.

En este análisis el ambiente con mayor valor de primera calidad fue Daireaux 2010, con un valor medio de 94,3 %, mientras que el ambiente con valor más bajo fue Daireaux 2009 con un promedio del valor de primera calidad de 84,3% (Tabla 15). En todos los ambientes hubo cultivares que tuvieron valores por debajo del

80%. Hubo variabilidad entre y dentro de los ambientes para los valores de primera calidad de los granos.

Tabla 15. Peso de mil granos (gramos) promedio, mínimo y máximo, coeficiente de variación (CV%), diferencia mínima significativa (DMS) para cada ambiente de evaluación.

<i>AMBIENTE</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV %</i>	<i>DMS</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Daireaux 2010</i>	94,3	1,55	2,1	77,7	98,5
<i>C. Suárez 2010</i>	93,7	4,26	5,6	63	98,9
<i>Balcarce 2010</i>	91,6	2,71	3,5	66,7	98,6
<i>Bordenave 2007</i>	86,5	7,65	9,7	46,2	97,8
<i>Bordenave 2010</i>	84,7	4,97	5,9	59,1	97,9
<i>Daireaux 2009</i>	84,3	7,21	10	24,9	95,6

Los cultivares Bonita (1971) y Quilmes Sur (1989) tuvieron los mayores valores de primera calidad de los granos, ambos con 95,9%, mientras que el cultivar Cervecera Local (1935) presentó el menor valor para esta variable con 74,8%. Este último cultivar, junto con el cultivar introducido Beka (1966) tuvieron valores con promedio por debajo del 80% que exigen las actuales normas de comercialización (Tabla 16). Esto coincide con lo reportado por Pasarella *et al.* (2003) quienes también determinaron bajos valores de primera calidad en el cultivar Beka. El valor máximo de primera calidad fue alcanzado por el cultivar Quilmes Sur (1989) en el ambiente Coronel Suárez 2010 con 98,9% y el menor valor fue logrado por el cultivar Rivera 112/31 (1931) en el ambiente Daireaux 2009 con 24,9%.

Tabla 16. Primera Calidad promedio (%), menor y mayor porcentaje de primera calidad de granos, y coeficiente de correlación entre primera calidad y PMG. Orden de los cultivares de mayor a menor según primera calidad promedio, indicándose año de liberación y ciclo

<i>CULTIVAR</i>	<i>Año</i>	<i>Ciclo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>r</i>
Bonita	1971	CL	95,9	91,8	98,6	0,43
Q.Sur	1989	CC	95,9	92,1	98,9	0,01
Clipper	1983	CC	93,8	89,9	97,0	0,37
Malteria 150	1960	CC	93,7	86,7	98,0	0,37
MP546	2003	CC	93,5	87,7	97,2	0,65*
Q.Ayelen	1998	CC	93,2	89,0	96,3	0,29
Shakira	2007	CL	93,2	80,7	98,5	0,69*
Cañumil INTA	1976	CC	93,1	80,3	98,7	0,75*
Q.Alfa	1982	CC	92,9	85,5	97,7	0,69*
Carla INTA	1995	CL	92,5	85,3	97,7	0,68*
Malteria Heda	1944	CC	92,5	82,3	96,9	0,53*
La Prevision 19	1937	CC	92,4	75,5	98,5	0,63*
MP1109	2006	CL	91,4	82,9	96,6	0,74*
Q.271	1982	CC	90,9	79,8	97,8	0,66*
Scarlett	1999	CL	90,8	70,9	97,4	0,81*
B.Caupin	1971	CC	89,1	74,9	98,1	0,77*
Barke	1999	CL	88,8	61,2	97,1	0,65*
Union	1970	CL	87,4	66,7	96,2	0,74*
B.Cruz del Sur	1961	CC	86,1	70,5	94,3	0,44
Q.Palomar	1994	CC	85,9	63,8	93,5	0,64*
Rivera 112/31	1931	CC	84,9	24,9	96,7	0,54*
B1215	1993	CL	83,0	64,0	94,0	0,69*
Chevalier Local	1935	CL	82,8	49,0	95,3	0,74*
Beka	1966	CL	77,7	54,3	91,0	0,71*
Cervecera Local	1935	CL	74,8	46,2	98,4	0,79*

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; ns no significativa

Fue posible establecer una relación levemente positiva entre la primera calidad y el rendimiento de los granos ($r=0,34$, $P<0,0001$ y $n=569$) cuando se consideró el

conjunto total de datos, muy similar a la relación encontrada entre el rendimiento y el peso de los granos.

Se encontró una buena asociación positiva entre la primera calidad y el PMG ($r=0,59$, $P<0,0001$ y $n=569$) mediante la cual se puede determinar que el peso de los granos fue un factor importante que explicó alrededor del 60% de la variación observada en la primera calidad. La Figura 11 muestra una relación hiperbólica entre ambas variables para el conjunto total de los datos analizados coincidente con lo informado por Pasarrella *et al.* (2003). En aquel estudio se observó que en promedio los cultivares que tuvieron un PMG superior a 40 gramos presentaron valores de primera calidad superiores al 80% exigido como mínimo en las actuales normas de comercialización.

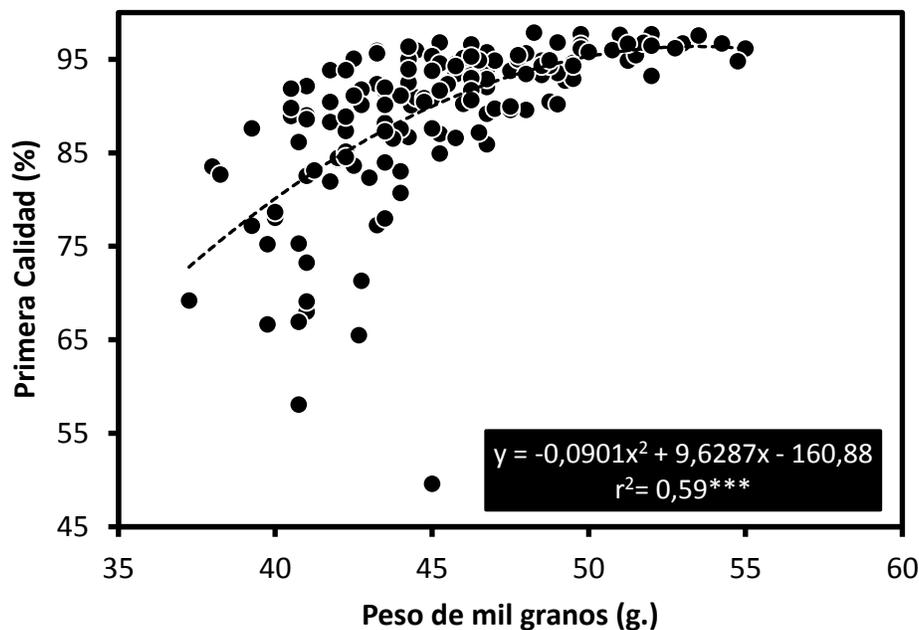


Figura 11 Relación entre la primera calidad (%) y el peso de mil granos (mg) para cada cultivar evaluado

En el presente estudio cultivares con peso de mil granos mayor a 40 gramos no siempre alcanzaron el mínimo valor exigido. Esto se debe principalmente a que la primera calidad es afectada no solo por el peso, sino también por la forma de los granos y además, está relacionada con la uniformidad de los mismos. En este

sentido, se sabe que granos con forma redondeada poseen mayor cantidad de almidón y una mejor distribución de las enzimas que degradan el endosperma (Arias, 1991). Por ejemplo, los cultivares Scarlett (1999) y Beka (1966) obtuvieron en promedio un PMG de 41,5 gramos pero con una primera calidad de 90,8% y 77,7% respectivamente. Por su parte, los cultivares Unión (1970) y Cervecera Local presentaron un PMG similar entre sí (38,6 gramos y 38,3 gramos respectivamente), pero diferentes valores de primera calidad: 87,4% y 74,8% respectivamente. La forma y uniformidad de los granos es importante para lograr granos más estables a este importante carácter involucrado en la comercialización del grano.

En aquellos cultivares con los valores más altos de primera calidad la relación entre el tamaño y el peso del grano no fue significativa (Tabla 16), debido a que tienen granos más grandes y pesados. En la mayoría de los cultivares con tamaño de granos intermedios y chicos, la correlación entre ambas variables fue positiva y significativa (Tabla 16).

El número de granos retenidos en la zaranda superior (2,8 mm) estuvo estrechamente correlacionado con la primera calidad con un ajuste de $r= 0,80$ ($p < 0,0001$). A partir de esta relación fue posible determinar que aquellos cultivares que generaron más del 30% de sus granos por encima de 2,8 mm no presentaron inconvenientes en lograr una primera calidad mayor o igual al 85%.

Si bien hubo un importante efecto del cultivar (genotipo) en la primera calidad, no se encontró una asociación fuerte entre este carácter y el año de liberación de los cultivares, aunque hubo una leve tendencia positiva como se muestra en la Figura 12. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Passarella *et al.* (2003) en Argentina pero difieren de los de Pstola *et al.* (2009) en la República Checa quienes registraron una ganancia genética para esta variable de 0,55% año⁻¹.

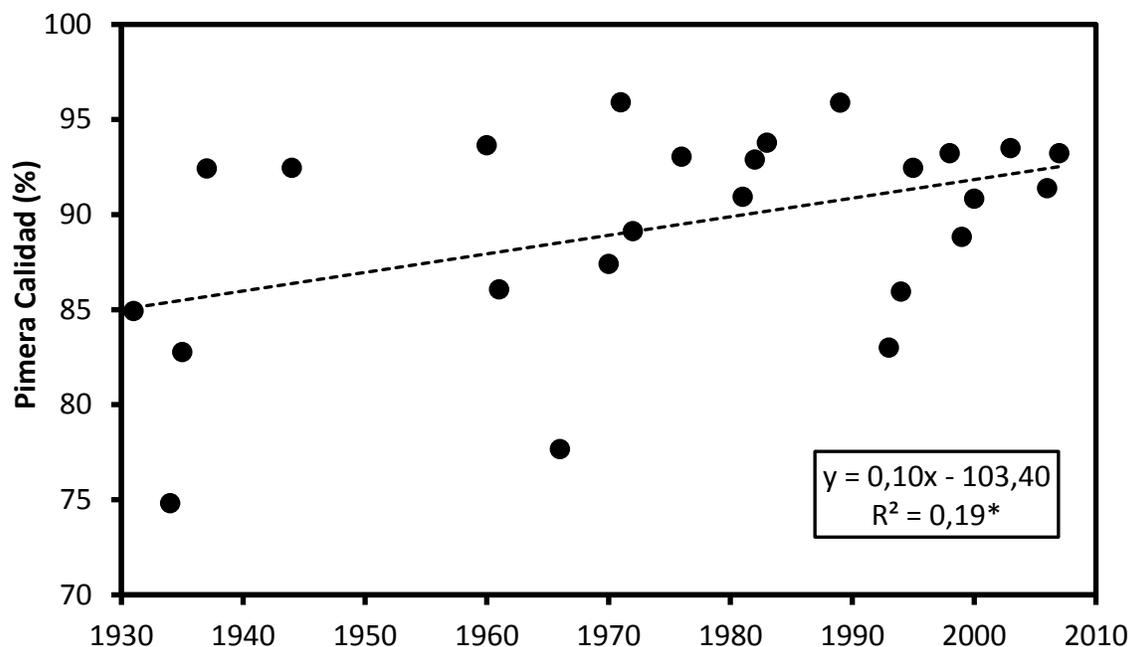
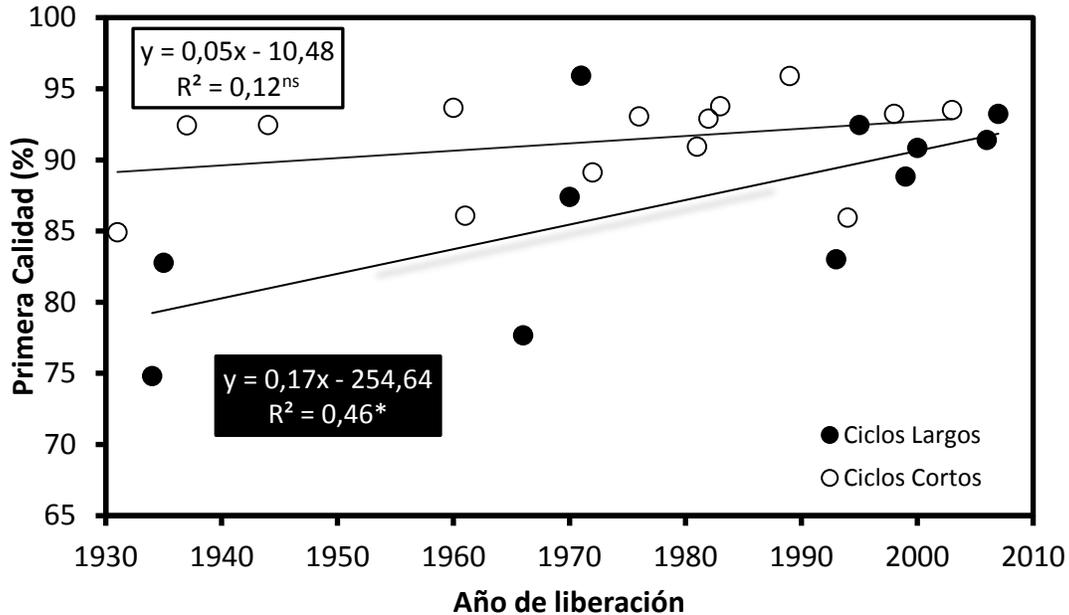


Figura 12 Relación entre la primera calidad promedio (%) y el año de liberación para cada cultivar evaluado.

Tradicionalmente, en Argentina los cultivares de ciclo corto presentaban menos problemas para alcanzar buenos calibres durante la fase de llenado de granos con buenos valores de primera calidad, mientras que los cultivares de ciclo largo eran más inestables en este carácter tal como fue descrito por Giménez *et al.* (2008) quien exploró 4 cultivares de ciclo corto y uno de ciclo largo en 5 fechas de siembra. El valor medio de primera calidad en los cultivares de ciclo corto fue de 91,3% y se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto del promedio alcanzado por los cultivares de ciclo largo (87,2 %). En la Figura 13, se observa que la ganancia genética de la primera calidad en los cultivares de ciclo corto fue prácticamente nula ($0,05\% \text{ año}^{-1}$) mientras que sí se comprobó un mayor efecto del mejoramiento genético sobre esta variable en los cultivares de ciclo largo ($0,17\% \text{ año}^{-1}$), los cuales presentaron mayor variabilidad entre sí para la primera calidad. La regresión establecida para los cultivares de ciclo largo tuvo un ajuste de 46% (R^2) y fue evidente que los cultivares más nuevos dentro de este ciclo alcanzaron una primera calidad equivalente a la obtenida por los cultivares de ciclo corto.

Figura 13 Relación entre la primera calidad y el año de liberación para cada cultivar de ciclo largo (símbolos llenos) y ciclo corto (símbolos vacíos) evaluado.



Resulta relevante mencionar, teniendo en cuenta la información analizada, que el mejoramiento genético ha sido capaz que incrementar el rendimiento en el cultivo de cebada cervecera sin perjuicios sobre la primera calidad y ha logrado aumentar simultáneamente el rendimiento y la primera calidad en los cultivares de ciclo largo durante el período de liberación de cultivares evaluados en el presente trabajo.

2.2 Contenido de proteínas

El análisis de varianza conjunto para el contenido de proteínas, considerando la matriz de 791 datos, mostró efectos significativos del cultivar (año de liberación), del ambiente y de la interacción entre ambos ($p < 0,0001$), que explicaron el 12,6%, el 77,5%, y 9,9% de la variabilidad total obtenida para este carácter respectivamente. El efecto ambiental tuvo una magnitud evidentemente mayor que el resto de los componentes de la varianza y pone de manifiesto el bajo control genético que existe sobre el contenido de proteínas. Esto coincide con lo obtenido por Aguinaga (2004), quien determinó que la disponibilidad de nitrógeno, la disponibilidad hídrica y las altas temperaturas (variables ambientales), particularmente durante el llenado de los granos son las principales variables que afectan el contenido de proteínas de los granos.

De los 8 ambientes analizados, el porcentaje promedio de proteínas fue de 13,9% y solo dos ambientes presentaron valores aceptables según la norma de comercialización vigente en Argentina (10-12%), Daireaux 2010 y Balcarce 2010 con 10,3% y 12% de proteínas, respectivamente (Tabla 17).

El elevado contenido de proteína promedio determinado en los distintos ambientes, por encima del límite máximo exigido (12%), es consecuencia de haber ajustado a priori una fertilización que permitiría obtener rendimientos potenciales. Como los rendimientos no fueron los esperados, el nitrógeno absorbido por la planta debió ser repartido en una menor cantidad de granos m^{-2} . Por otro lado, cuando el llenado de los granos es deficiente se reduce la acumulación de almidón en el grano a una tasa mayor que la acumulación de la proteína, porque esta última se acumula primero, lo cual genera una falta de dilución del contenido de nitrógeno que finalmente produce un aumento en el porcentaje de proteínas (Savin *et al.*, 2006). Una combinación de ambos factores ocurrió en menor o mayor intensidad en todos los ambientes evaluados. Abeledo *et al.* (2008) determinaron que el rendimiento en grano de los cultivares modernos fue superior al de los cultivares antiguos, independientemente de la disponibilidad de nitrógeno. Sin embargo, cuando la disponibilidad de nitrógeno fue mayor, la brecha absoluta entre los cultivares modernos y antiguos se extendió aún más.

Tabla 17. Contenido de proteínas promedio (%), mínimo y máximo, coeficiente de variación (%) y diferencia mínima significativa (D.M.S) para cada ambiente de evaluación.

<i>Ambiente</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV%</i>	<i>D.M.S.</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Daireaux 2010</i>	10,3	4,4	0,6	8,8	11,8
<i>Balcarce 2010</i>	12,0	4,2	0,7	9,7	14,2
<i>Bordenave 2007</i>	13,7	5,2	1,1	10,2	16,5
<i>Bordenave 2010</i>	13,9	3,7	0,8	11,6	16,4
<i>C. Suarez 2010</i>	14,7	9,4	1,8	10,2	18,4
<i>Bordenave 2008</i>	14,9	7,4	1,6	11,0	17,6
<i>San Miguel 2008</i>	15,7	4,8	0,9	13,1	20,4
<i>Daireaux 2009</i>	15,8	6,0	1,3	11,9	19,3

El cultivar Cervecera Local (1935) presentó el mayor contenido promedio de proteínas con un valor de 15,5%, mientras que el cultivar con menor contenido de proteínas promedio fue el cultivar Scarlett (1999) con un valor de 12,6%. En términos absolutos, el máximo valor de contenido de proteínas en grano lo obtuvo el cultivar Cervecera local (1935) en el ambiente San Miguel 2008 con un valor del 20,4%, mientras que el menor valor del contenido de proteínas en el grano lo obtuvieron los cultivares introducidos Barke (1999) y Shakira (2007) en el ambiente de Daireaux 2010 con un valor de 8,8% (Tabla 18).

Tabla 18. Contenido de proteínas promedio (%), mínimo y máximo, ciclo y año de liberación para cada cultivar evaluado. Orden de los cultivares de mayor a menor según el contenido promedio de proteína en grano.

<i>CULTIVAR</i>	<i>Año</i>	<i>Ciclo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Cervecera Local</i>	1935	CL	15,5	10,4	20,4
<i>Chevalier Local</i>	1935	CL	15,0	10,5	20,2
<i>Bonita</i>	1971	CL	14,7	11,0	17,2
<i>Rivera 112/31</i>	1931	CC	14,7	10,1	17,5
<i>La Prevision 19</i>	1937	CC	14,6	9,8	17,6
<i>Malteria 150</i>	1960	CC	14,5	10,6	17,0
<i>Q.Palomar</i>	1994	CC	14,4	10,0	17,4
<i>B.Cruz del Sur</i>	1961	CC	14,4	10,5	16,9
<i>Carla INTA</i>	1995	CL	14,1	10,2	17,3
<i>Malteria Heda</i>	1944	CC	14,0	10,4	18,3
<i>Clipper</i>	1983	CC	14,0	10,2	17,5
<i>Q.Sur</i>	1989	CC	14,0	9,4	17,1
<i>Union</i>	1970	CL	13,8	9,5	19,2
<i>B1215</i>	1993	CL	13,6	9,8	17,8
<i>Beka</i>	1966	CL	13,6	9,0	18,0
<i>B.Caupin</i>	1971	CC	13,5	9,7	16,7
<i>MP1109</i>	2006	CL	13,3	9,2	17,6
<i>Q.271</i>	1982	CC	13,3	9,1	16,5
<i>Q.Alfa</i>	1982	CC	13,3	9,2	16,7
<i>Cañumil INTA</i>	1976	CC	13,3	9,7	16,2
<i>Q.Ayelen</i>	1998	CC	13,2	9,9	16,0
<i>MP546</i>	2003	CC	13,2	9,5	16,3
<i>Barke</i>	1999	CL	13,2	8,8	17,3
<i>Shakira</i>	2007	CL	12,8	8,8	16,2
<i>Scarlett</i>	1999	CL	12,6	9,1	15,5

El contenido de proteína en grano presentó una clara relación negativa con el rendimiento con un coeficiente de correlación de -0,65 ($p < 0,0001$). Esta relación negativa se dio en todos los cultivares evaluados y en todos los ambientes. De los principales componentes numéricos del rendimiento analizados, tuvo una correlación negativa con el número de granos m^{-2} y con el número de espigas m^{-2}

con coeficientes de correlación (r) de -0,45 y -0,43, respectivamente ($p < 0,0001$). De la misma manera, se comprobó una asociación negativa entre el contenido de proteínas y el peso de los granos ($r = -0,43$; $p < 0,0001$) en coincidencia con los encontrado por Abeledo *et al.* (2008). Contrariamente, no se encontró relación entre el contenido de proteínas y el número de granos espiga⁻¹. La primera calidad de los granos y el calibre mayor a 2,8 milímetros tuvieron una relación negativa con coeficientes de correlación (r) de -0,45 y -0,60 respectivamente ($p < 0,001$). Estos resultados sugieren que, a mayor tamaño de los granos, menor es el contenido de proteínas, debido a que, los granos más grandes poseen un mayor contenido de almidón que produce un efecto de dilución de la proteína bajando su porcentaje, cómo se mencionó anteriormente.

La ganancia genética del contenido de proteínas en el grano de cebada cervecera para el periodo evaluado, en ambientes sin limitaciones de nitrógeno, resultó negativa. La tasa de disminución fue de 0,023% año⁻¹, con un coeficiente de regresión (r) de 0,59 (Figura 14). Esto indica que a igual cantidad de nitrógeno disponible los cultivares modernos presentaron menor contenido de proteínas en grano.

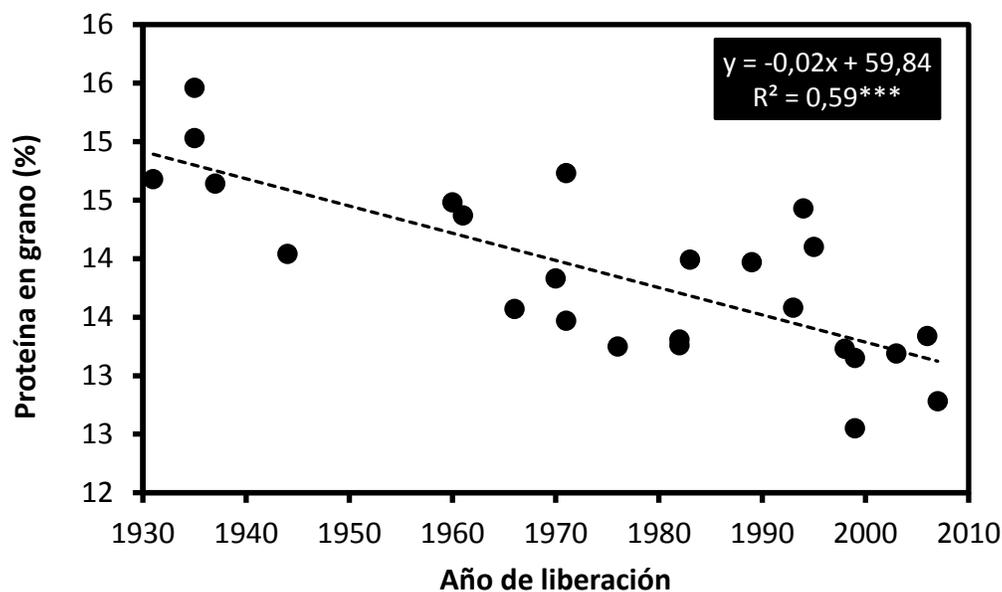


Figura 14 Relación entre el contenido promedio de proteína en grano (%) y el año de liberación para cada cultivar evaluado.

No se encontraron diferencias significativas en el contenido de proteínas en granos entre los cultivares de diferentes ciclo, con valores promedio de 13,9% para los CC y de 13,8% para los de CL.

Cuando se analizaron solamente los ambientes de Daireaux y Balcarce 2010, por tener valores promedios de proteínas en grano dentro del rango establecido por las normas de comercialización de cebada en Argentina, se encontró, nuevamente, una relación negativa entre el contenido de proteínas y el año de liberación del cultivar (Figura 15).

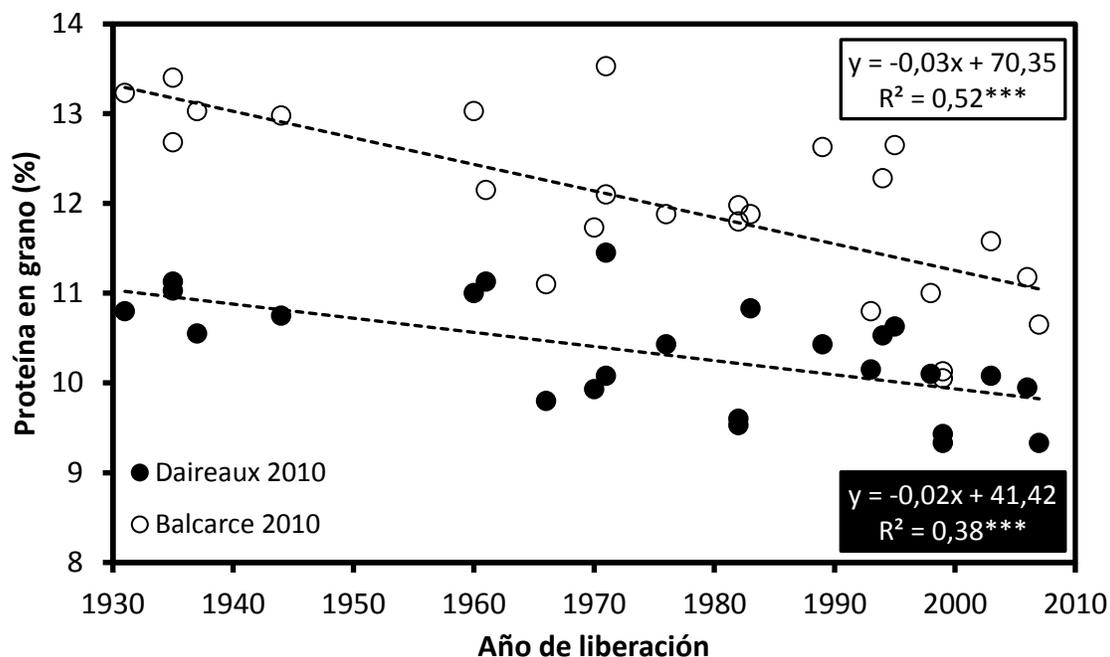


Figura 15 Relación entre contenido de proteína promedio en grano (%) y el año de liberación de cada cultivar evaluado en los ambientes de Daireaux 2010 (símbolos llenos) y Balcarce 2010 (símbolos vacíos).

Estos resultados no son coincidentes con los informados por Passarella *et al.* (2003) quienes no observaron una disminución en el contenido de proteínas relacionada con el año de liberación de los cultivares utilizados (período 1944-1998). Estas diferencias podrían deberse a que el período evaluado por estos autores fue más acotado que el incluido en el presente estudio (1931-2007), lo cual implicó que los cultivares en su mayoría fueran de ciclo corto (Maltería Heda, Maltería 150, Beka, Unión, Quilmes Alfa, Quilmes Sur, Quilmes Palomar y Quilmes Ayelén). Sin embargo, al analizar dicha relación utilizando los mismos cultivares que Pasarella *et al.* (2003), se obtuvieron resultados similares.

Por lo expuesto, este análisis indicaría que el contenido de proteína (nitrógeno) en grano en la cebada cervecera disminuyó en los cultivares más modernos porque presentaron mayor potencial de rendimiento en grano. Estos resultados son consistentes con lo observado en Argentina (Abeledo *et al.*, 2002; Passarella *et al.* 2003) y en otros países (Bulmanet *et al.*, 1993; Grausgruber *et al.*, 2002; Pstota *et al.*, 2009). Además, resultados similares fueron reportados para el cultivo de trigo (Calderini *et al.*, 1995 y Ortiz-Monasterio *et al.*, 1997; Guarda *et al.*, 2004; Fufa *et*

al., 2005). Para comprobar la última afirmación, se determinó la cantidad de proteína (en base a sustancia seca), con el rendimiento de los granos (llevado a sustancia seca) y con el contenido de proteínas en los granos (% de proteínas) en cada unidad experimental. A esta nueva variable se la denominó rendimiento de proteínas de los granos (RPG) y se expresó en kilogramos de proteína por hectárea. En algunos trabajos se la determinó a través del rendimiento de nitrógenos en grano.

Para el análisis de la varianza conjunto del RPG se consideraron 791 datos correspondientes a 25 cultivares (genotipos) evaluados en 8 ambientes y se consideraron como fuentes de variación el cultivar, el ambiente y la interacción entre ambos. El RPG promedio fue de 442 kg ha^{-1} , el coeficiente de variación obtenido fue de 10,2%, con un óptimo ajuste del modelo lineal ($R^2= 0,90$). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambientes, entre cultivares y para su interacción ($p<0,0001$). El cultivar, el ambiente y la interacción cultivar por ambiente explicaron el 36,0%, 44,2%, y 19,7% de la variabilidad total obtenida para este carácter. La variación en el RPG mostró un mayor efecto genético y de interacción en comparación con el porcentaje de proteínas.

La Tabla 19 muestra los RPG promedio, mínimo y máximo de los ocho ambientes evaluados. El ambiente que presentó mayor RPG fue Balcarce 2010 con 540 kg ha^{-1} (9,26 gramos de nitrógeno por m^2) mientras que el ambiente con menor RPG fue Daireaux 2009 con 311 kg ha^{-1} (5,33 gramos de nitrógeno m^{-2}). Se observó una amplia variabilidad en los valores de RPG de los cultivares dentro de cada ambiente.

Tabla 19. Rendimiento de proteínas totales (kg ha^{-1} promedio, mínimo y máximo absoluto en cada ambiente de evaluación.

<i>Ambiente</i>	<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Bordenave 2010</i>	100	540	289	898
<i>Bordenave 2007</i>	94	512	167	750
<i>Balcarce 2010</i>	100	509	286	715
<i>C. Suárez 2010</i>	100	459	226	697
<i>Daireaux 2010</i>	100	454	304	630
<i>Bordenave 2008</i>	99	427	140	636
<i>San Miguel 2008</i>	98	334	221	431
<i>Daireaux 2009</i>	100	311	159	447

En los resultados obtenidos se observa que el cultivar Shakira (2007) presentó en promedio mayor RPG (582 kg ha^{-1}), mientras que el cultivar Cervecera Local (1935) presentó en promedio menor RPG (292 kg ha^{-1}). Asimismo, en términos absolutos el cultivar con mayor RPG fue Shakira (2007) en Bordenave 2010 con 898 kg ha^{-1} , mientras que el cultivar con menor RPG fue Chevalier Local (1935) con 140 kg ha^{-1} (Tabla 20).

Tabla 20. Rendimiento de proteínas totales en grano (RPG) en kg ha⁻¹ promedio, mínimo y máximo de los cultivares evaluados.

<i>CULTIVAR</i>	<i>Año</i>	<i>Ciclo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Shakira	2007	CL	582	329	898
MP1109	2006	CL	566	309	871
Scarlett	1999	CL	539	296	750
B1215	1993	CL	517	275	748
Barke	1999	CL	503	265	742
B.Caupin	1971	CC	496	329	664
Q.Ayelen	1998	CC	483	290	636
MP546	2003	CC	481	339	688
Clipper	1983	CC	471	289	630
Q.Palomar	1994	CC	455	233	729
Q.271	1982	CC	454	325	644
Carla INTA	1995	CL	440	278	622
B.Cruz del Sur	1961	CC	439	268	711
Union	1970	CL	437	224	651
Q.Sur	1989	CC	434	255	636
Q.Alfa	1982	CC	429	282	560
Malteria 150	1960	CC	422	292	556
Bonita	1971	CL	418	267	542
Cañumil INTA	1976	CC	390	236	565
Beka	1966	CL	387	203	511
Malteria Heda	1944	CC	383	284	521
La Prevision 19	1937	CC	375	229	494
Rivera 112/31	1931	CC	337	167	470
Chevalier Local	1935	CL	329	140	554
Cervecera Local	1935	CL	292	159	467

Se encontró una correlación positiva entre los parámetros RPG y el rendimiento en granos ($r=0,86$ $p<0,0001$ y $n=791$ datos) independientemente del ambiente y los cultivares analizados. Esta relación resultó mayor a la publicada por

Abeledo *et al.* (2008), quienes utilizaron cuatro cultivares de cebada, liberados entre los años 1944 y 1998, y fertilización diferencial con dosis de nitrógeno variables.

El RPG en el cultivo de cebada cervecera en Argentina presentó una asociación positiva y significativa con el año de liberación de los cultivares (Figura 16), con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,76. Esta relación indica que los cultivares más modernos presentaron un mayor RPG. La ganancia anual promedio entre los años 1931 y 2007 fue de 2,58 kg de proteína ha^{-1} año^{-1} que equivale a 48 mg de N m^{-2} año^{-1} . Este valor representa una ganancia relativa de 1,32% año^{-1} .

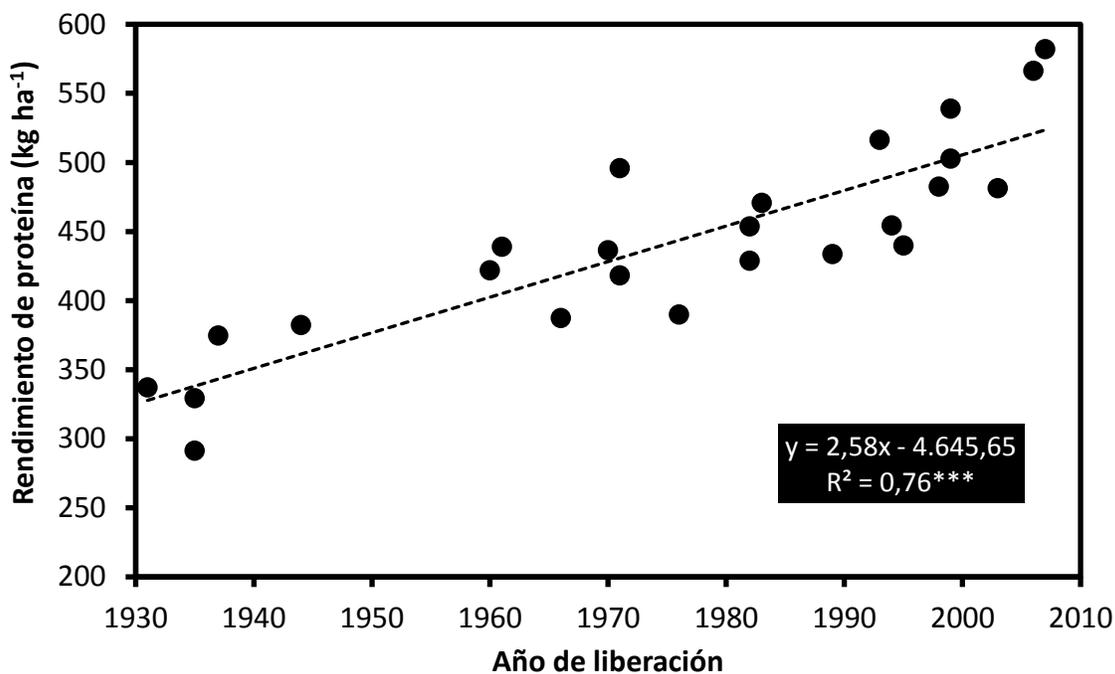


Figura 16 Relación entre el rendimiento de proteína total promedio (kg ha^{-1}) y el año de liberación de cada cultivar evaluado.

Al separar los cultivares según la longitud de su ciclo, se comprobó que aquellos cultivares de ciclo largo presentaron una ganancia genética para el RPG dos veces mayor que la obtenida por los cultivares de ciclo corto con valores de 3,427 kg N ha^{-1} año^{-1} y 1,639 kg N ha^{-1} año^{-1} respectivamente (Figura 17). Esta diferencia estuvo asociada al rendimiento en grano de los últimos cultivares introducidos.

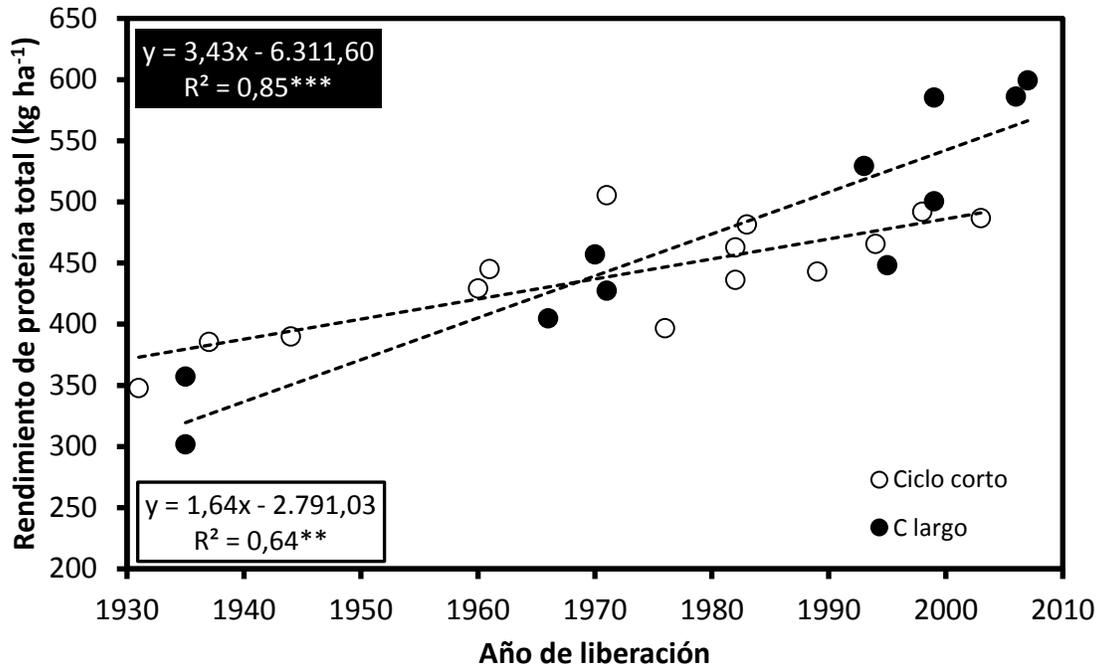


Figura 17 Relación entre el rendimiento de proteína total promedio (kg ha⁻¹) y el año de liberación de cada cultivar de ciclo largo (símbolos llenos) y de ciclo corto (símbolos vacíos) evaluado.

La ganancia genética, tanto absoluta como relativa, que se observó en el rendimiento de proteínas totales (ganancia de nitrógeno por rendimiento) es mayor a la obtenida por Abeledo *et al.* (2008), que fue de 32 mg N m⁻² año⁻¹ equivalente a un 0,33% año⁻¹. Esta diferencia puede deberse al mayor número de cultivares y a un periodo de tiempo de liberación de cultivares más extenso incluidos en este trabajo. Además, cabe destacar que en los ensayos realizados en esta tesis existió una alta disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Abeledo *et al.* (2008) concluyeron que el aumento de los rendimientos nitrogenados (proteínas) estaría asociado a una mayor partición de nitrógeno hacia los granos, ya que el mejoramiento genético habría aumentado el índice de cosecha del nitrógeno y no habría afectado la cantidad total de nitrógeno del cultivo a madurez. Además, el mejoramiento genético mejoró la eficiencia en el uso del nitrógeno, ya que los cultivares modernos produjeron más granos que los antiguos con la misma cantidad de nitrógeno disponible en suelo a siembra.

2.3. Conclusiones

El mejoramiento genético de cebada cervecera en Argentina mantuvo el tamaño de los granos en los cultivares de ciclo corto y lo aumentó en los cultivares de ciclos largos, con valores similares en la primera calidad de los granos en los genotipos modernos de ambos ciclos de cultivo.

El tamaño de los granos presentó un fuerte control genético y se comprobó que existe variabilidad genética para este carácter.

El tamaño de los granos estuvo relacionado con el peso y la forma de los mismos, por lo cual la primera calidad no dependió solo del peso de los granos.

El mejoramiento genético del cultivo de cebada disminuyó la concentración de proteínas en el grano por un efecto de dilución con el rendimiento.

El mejoramiento genético aumentó la eficiencia de utilización del nitrógeno, produciendo mayor cantidad de proteínas. Sin embargo, este aumento fue menor al del rendimiento en granos, lo cual explicó la menor concentración de proteínas en el grano.

La mayor eficiencia de uso del nitrógeno en los cultivares modernos mejoraría la relación insumo producto de los fertilizantes nitrogenados, ya que generan mayor cantidad de granos y proteína por unidad de superficie.

Los altos potenciales de rendimiento en grano logrados por el mejoramiento genético deben ser acompañados por altos niveles de nutrientes, especialmente nitrógeno, para mantener una adecuada concentración de proteínas en el grano.

3. Calidad Industrial

Las variables asociadas a la calidad de la malta que se determinaron fueron: la Friabilidad (%), el Extracto (%) y el Índice de Hartong (VZ 45). Las mismas fueron determinadas sobre muestras de granos previamente malteados de cada cultivar evaluado en los ambientes Balcarce 2010 y Daireaux 2010, debido a que el contenido de proteínas promedio en los ambientes mencionados se encontraba dentro del rango establecido por la norma de comercialización de cebada cervecera en Argentina (10-12%). Se realizaron micromalteos en tres de las cuatro repeticiones de cada ensayo (150 micromalteos) eligiendo las muestras que tenían contenidos de proteína más adecuados.

3.1 Friabilidad

La friabilidad de la malta es una medida de la modificación del endosperma del grano de cebada después de ser malteado. La friabilidad de la malta se determinó en porcentaje (%). Para el análisis de la varianza (ANAVA) conjunto de la variable friabilidad de la malta se consideraron 150 determinaciones correspondientes a 25 genotipos evaluados en 2 ambientes y se consideraron como fuentes de variación el cultivar, el ambiente y la interacción entre ambos. La friabilidad de la malta en promedio fue de 69,4%, el coeficiente de variación obtenido fue de 5,6%, con un óptimo ajuste del modelo lineal ($R^2= 0,97$) y las diferencias estadísticas fueron altamente significativas entre cultivares, entre ambientes y para la interacción entre el cultivar y el ambiente ($p<0,0001$). El cultivar, el ambiente y su interacción explicaron un 64,3%, un 25,8% y un 9,8% respectivamente, de la variabilidad total observada resultante de este conjunto de datos. Por lo expuesto, la friabilidad resultó ser una variable con un fuerte control genético.

El ambiente de Daireaux 2010 tuvo una friabilidad promedio de 77,9% y el ambiente Balcarce 2010 tuvo una friabilidad promedio del 60,8%. El cultivar Shakira (2007) presentó el máximo valor promedio con 94,9% y el máximo absoluto con 96,7% en el ambiente Daireaux 2010. El menor valor se obtuvo con el cultivar La

Previsión 19 (1937) con un valor promedio de 49,5% y un mínimo de 23,5% en Balcarce 2010 (Tabla 21). Esta información pone de manifiesto la gran variabilidad genética explorada en este conjunto de cultivares relacionada con el grado de modificación del endosperma.

Tabla 21. Friabilidad (%) Promedio, de Daireaux 2010, de Balcarce 2010 y variación en la friabilidad de ambos ambientes.

<i>CULTIVAR</i>	<i>Ciclo</i>	<i>Año</i>	<i>Promedio</i>	<i>Daireaux 2010</i>	<i>Balcarce 2010</i>	<i>Diferencia entre ambientes</i>
<i>Shakira</i>	CL	2007	94,9	96,7	93,0	3,7
<i>Barke</i>	CL	1999	94,0	95,3	92,7	2,6
<i>Scarlett</i>	CL	1999	92,3	92,2	92,3	-0,1
<i>B1215</i>	CL	1993	90,6	92,3	88,9	3,3
<i>MP1109</i>	CL	2006	80,8	86,9	74,8	12,1
<i>Q.Ayelen</i>	CC	1998	79,0	84,9	73,1	11,7
<i>Q.Palomar</i>	CC	1994	73,6	79,5	67,6	11,8
<i>Q.Alfa</i>	CC	1982	73,1	80,8	65,5	15,3
<i>Carla INTA</i>	CL	1995	73,0	77,9	68,1	9,8
<i>MP546</i>	CC	2003	72,4	82,6	62,3	20,3
<i>Unión</i>	CL	1970	72,2	80,5	64,0	16,5
<i>Clipper</i>	CC	1983	72,1	79,6	64,7	14,9
<i>Q.271</i>	CC	1982	68,2	79,9	56,5	23,4
<i>Cañumil INTA</i>	CC	1976	67,5	72,6	62,5	10,1
<i>Q.Sur</i>	CC	1989	67,1	76,1	58,0	18,1
<i>B.Caupin</i>	CC	1971	63,6	73,5	53,6	19,9
<i>Beka</i>	CL	1966	62,2	68,3	56,2	12,1
<i>Cervecera Local</i>	CL	1935	62,1	71,5	52,7	18,9
<i>Chevalier Local</i>	CL	1935	61,2	69,7	52,7	17,1
<i>Malteria 150</i>	CC	1960	56,5	68,5	44,5	24,0
<i>Malteria Heda</i>	CC	1944	55,7	72,0	39,5	32,5
<i>B. Cruz del Sur</i>	CC	1961	55,2	66,1	44,4	21,7
<i>Rivera 112/31</i>	CC	1931	50,7	70,7	30,6	40,1
<i>Bonita</i>	CL	1971	50,7	61,9	39,4	22,5
<i>La Previsión 19</i>	CC	1937	45,9	68,2	23,5	44,7

Todos los cultivares, excepto Scarlett (1999) que se mantuvo igual, presentaron en Daireaux 2010 mayores valores de friabilidad que en Balcarce 2010 (Tabla 21).

La friabilidad de la malta se correlacionó negativamente con el contenido de proteínas (%) con un coeficiente de correlación de $-0,85$ ($p < 0,0001$). Por su parte la correlación con el rendimiento en grano resultó ser positiva con un nivel de ajuste más bajo ($r = 0,62$; $p < 0,0001$), posiblemente por el grado de asociación entre ambas variables. En estos ambientes no se encontró relación alguna con la primera calidad ni con el PMG, posiblemente porque en ambos ambientes los valores de primera calidad fueron los adecuados para la industrialización.

El análisis de regresión de la friabilidad a través del año de liberación de los cultivares por ambiente permitió observar los efectos de la interacción entre el cultivar y el ambiente, que generaron dos pendientes significativamente diferentes ($p < 0,05$) (Figura 18). Esta diferencia en las pendientes es producto de la menor diferencia entre los valores de friabilidad de ambos ambientes de los cultivares más modernos. Los cultivares introducidos Shakira (2007), Barke (1999), Scarlett (1999) y B1215 (1993) se destacaron del resto de los cultivares en los dos ambientes por sus altos y estables valores de friabilidad de malta. Los cultivares más antiguos por su parte, además de poseer menores valores de friabilidad resultaron más inestables.

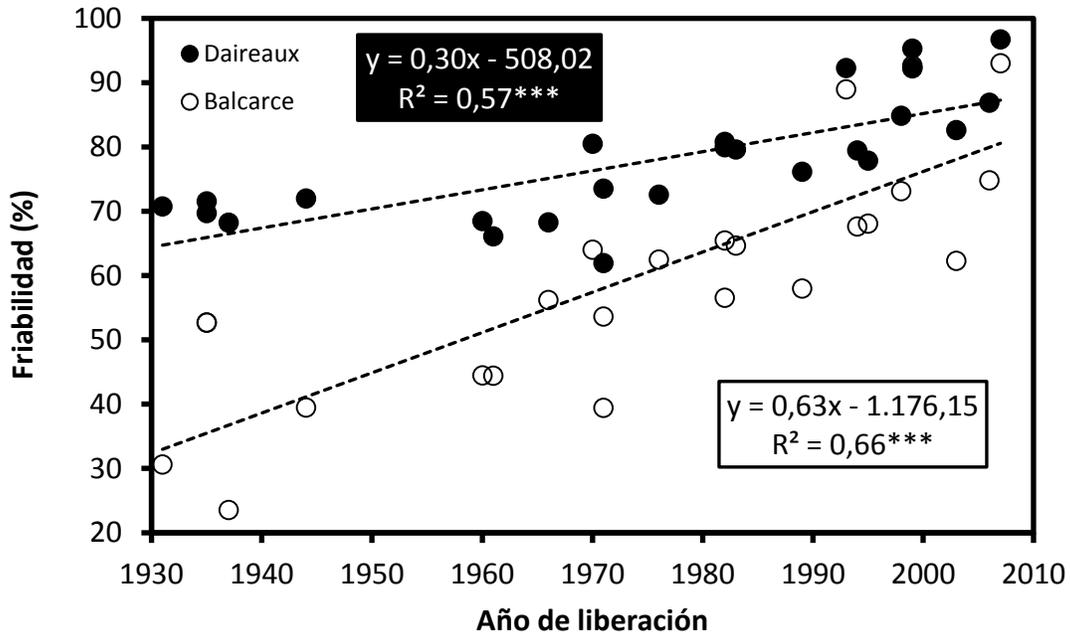


Figura 18 Relación entre la friabilidad de la malta (%) y el año de liberación para cada genotipo evaluado en los ambientes Daireaux (símbolos llenos) y Balcarce (símbolos vacíos) durante la campaña 2010.

La friabilidad de la malta en el cultivo de cebada cervecera en Argentina fue en aumento linealmente a través del tiempo mediante la liberación de cultivares (Figura 19). Se encontró una fuerte relación entre el año de liberación de los cultivares y la friabilidad de malta, con un coeficiente de regresión de 0,65 siendo los cultivares más modernos de mayor rendimiento. La ganancia anual promedio entre los años 1931 y 2007 fue de 0,46% año por año ($p < 0,001$) (Figura 19).

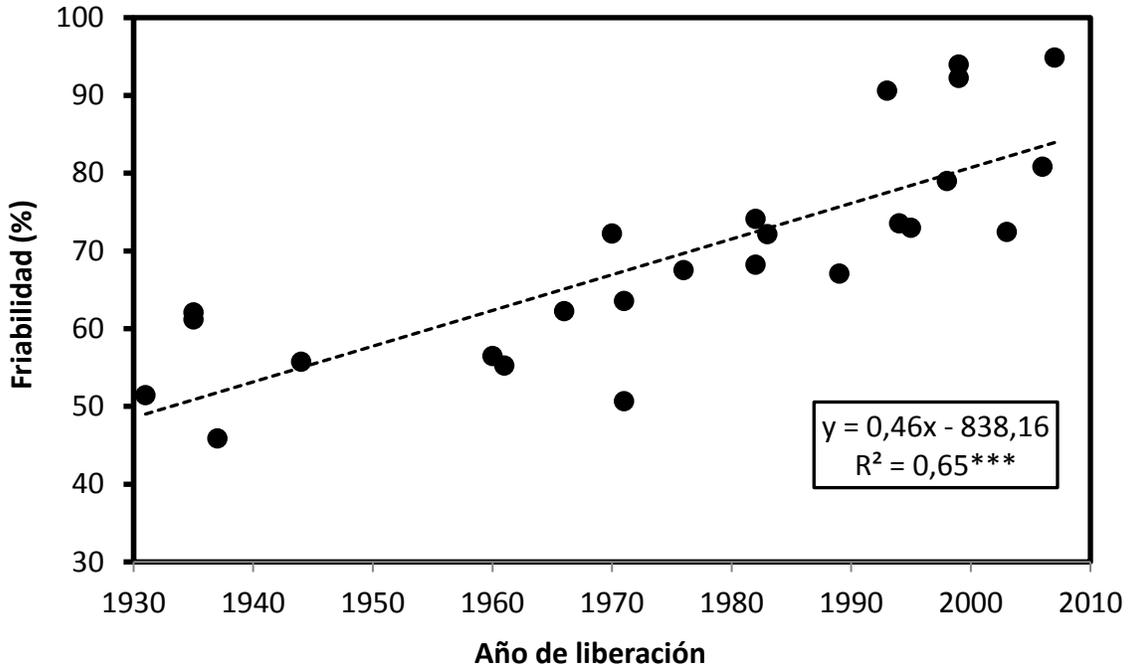


Figura 19 Relación entre la friabilidad de la malta y el año de liberación para cada cultivar evaluado.

Cuando se analizó la friabilidad de la malta según el ciclo de los cultivares, los cultivares de ciclo largo tuvieron mayor valor promedio (70,6%) en comparación con los cultivares de ciclo corto (53,6%) y significativamente diferentes entre sí ($p < 0,05$). Esto se debe principalmente que los cultivares introducidos, básicamente por su alta calidad industrial, son de CL.

Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Passarella *et al.* (2003) quienes también encontraron un incremento significativo en la modificación del endosperma (friabilidad de la malta) en relación al año de liberación de los cultivares evaluados. El mejoramiento genético también aumento la estabilidad de este complejo carácter.

3.2 Extracto de malta

El extracto de malta, principal carácter de calidad, es el porcentaje de sustancia seca de la malta que se disuelve en el mosto (en este caso mosto Congreso) durante el macerado y se expresó en % (s/s). Para el análisis de la varianza (ANAVA) conjunto de la variable extracto de malta de la malta se consideraron 150 datos correspondientes a 25 genotipos evaluados en 2 ambientes y se consideraron como fuentes de variación el cultivar, el ambiente y la interacción entre ambos. El extracto de la malta en promedio fue de 79,0%, el coeficiente de variación obtenido fue de 0,53%, con un óptimo ajuste del modelo lineal ($R^2= 0,98$) y las diferencias estadísticas fueron altamente significativas entre cultivares ($p<0,0001$), menores entre ambientes ($p<0,05$) y muy significativas para la interacción entre ambos ($p<0,0001$). El cultivar, el ambiente y su interacción explicaron un 66,1%, un 27,3% y un 6,6% respectivamente, de la variabilidad total observada resultante de este conjunto de datos. Por lo expuesto, el extracto de malta resultó ser una variable con un fuerte control genético.

En Daireaux 2010 el promedio del extracto de malta fue de 80,2% mientras que en Balcarce 2010 el promedio fue de 77,8%. También, se registraron diferencias entre cultivares, siendo Shakira (2007) el cultivar con mayor extracto de malta promedio (82,2%) y Rivera 112/31 el de menor valor (76,1%). La mejor combinación, en términos absolutos, fue el cultivar Scarlett (1999) en Daireaux con un valor de 82,8%, mientras que la peor combinación fue Rivera 112/31 (1931) y Cervecera Local (1935) en Balcarce 2010 (74,1%) (Tabla 22). Por lo tanto, la variabilidad observada para extracto de malta resultó ser muy amplia.

Tabla 22. Extracto (%) promedio, de Daireaux 2010, de Balcarce 2010 y variación en el % de extracto de ambos ambientes.

CULTIVAR	Ciclo	Año	Promedio	Daireaux 2010	Balcarce 2010	Diferencia ente ambientes
Shakira	CL	2007	82,2	82,3	82,0	0,3
Scarlett	CL	1999	82,0	82,8	81,2	1,5
Barke	CL	1999	82,0	82,4	81,5	0,9
B1215	CL	1993	81,7	81,7	81,7	0,0
MP1109	CL	2006	80,9	81,5	80,2	1,3
Carla INTA	CL	1995	80,2	81,2	79,3	1,9
Q.Ayelen	CC	1998	80,1	80,7	79,5	1,1
Q.271	CC	1982	79,4	81,0	77,9	3,1
Q.Alfa	CC	1982	79,4	80,6	78,2	2,4
Q.Sur	CC	1989	79,4	80,9	77,8	3,2
Cañumil INTA	CC	1976	79,3	80,1	78,4	1,7
Unión	CL	1970	79,2	80,2	78,3	1,9
MP546	CC	2003	79,1	80,4	77,8	2,6
Clipper	CC	1983	79,1	80,0	78,1	1,9
Q.Palomar	CC	1994	79,1	79,9	78,2	1,7
B.Caupin	CC	1971	77,9	79,5	76,3	3,1
Malteria 150	CC	1960	77,7	79,3	76,1	3,2
Malteria Heda	CC	1944	77,7	79,7	75,7	4,0
Beka	CL	1966	77,6	78,4	76,8	1,6
Bonita	CL	1971	77,4	78,7	76,1	2,6
Chevalier Local	CL	1935	77,3	79,1	75,5	3,6
La Previsión 19	CC	1937	77,3	79,1	75,4	3,8
B. Cruz del Sur	CC	1961	76,7	77,6	75,8	1,8
Cervecera Local	CL	1935	76,3	78,4	74,1	4,3
Rivera 112/31	CC	1931	75,8	77,6	74,1	3,5

Hubo una fuerte correlación negativa con el contenido de proteínas ($r = -0,84$; $p < 0,0001$) en coincidencia con lo hallado por otros autores (Cattivelli *et al.*, 1994;

Pstota *et al.*, 2009). Para entender la asociación negativa entre estas variables es necesario saber que, si las condiciones ambientales permiten una gran acumulación de carbohidratos en el grano, el contenido de proteínas se diluye y mayor es el porcentaje de extracto. Esta asociación negativa también fue informada por Aguinaga (2004) quien evaluó el cultivar Quilmes Palomar con distintas dosis de nitrógeno en varios ambientes.

El extracto tuvo una fuerte relación positiva con la friabilidad, con un coeficiente de correlación de 0,90 ($p < 0,0001$), ya que a mayor modificación del endosperma del grano de cebada malteado mayor es la cantidad de sustancia seca de la malta que se disuelve en el mosto. Esto se debe principalmente a la mayor degradación de las paredes celulares y la matriz proteica que recubre los granos de almidón (Arias, 1991).

Esta variable estuvo relacionada positivamente con el rendimiento de los granos, con un coeficiente de correlación de 0,66 ($p < 0,0001$), pudiéndose explicar por el menor contenido de proteínas que hay en los granos cuando mayor es el rendimiento. También tuvo una leve relación positiva con el tamaño de los granos determinado a través de la primera clasificación con un coeficiente de correlación de 0,29 ($p < 0,0001$) y no tuvo relación con el peso de los granos.

Cuando se relacionó el extracto de malta (%) con el año de liberación de los cultivares en cada ambiente se encontró que el porcentaje de extracto aumentó y que la brecha entre ambientes se fue acotando a medida que se incorporaban los cultivares más modernos a la regresión (Figura 20). Esto podría considerarse como un indicador del aumento y la estabilidad del porcentaje de extracto logrado por el mejoramiento genético. Daireaux 2010 fue el ambiente que permitió que todos los cultivares alcanzaran valores promedios de extracto mayores a los obtenidos en Balcarce 2010, siendo las pendientes diferentes significativamente ($p < 0,05$). El cultivar B1215 (1993) fue el más estable ya que presentó el mismo porcentaje de extracto en los dos ambientes selectos mientras que Cervecera Local presentó una diferencia de 4,3%, lo cual representó una caída del 5,5% en el ambiente Balcarce 2010.

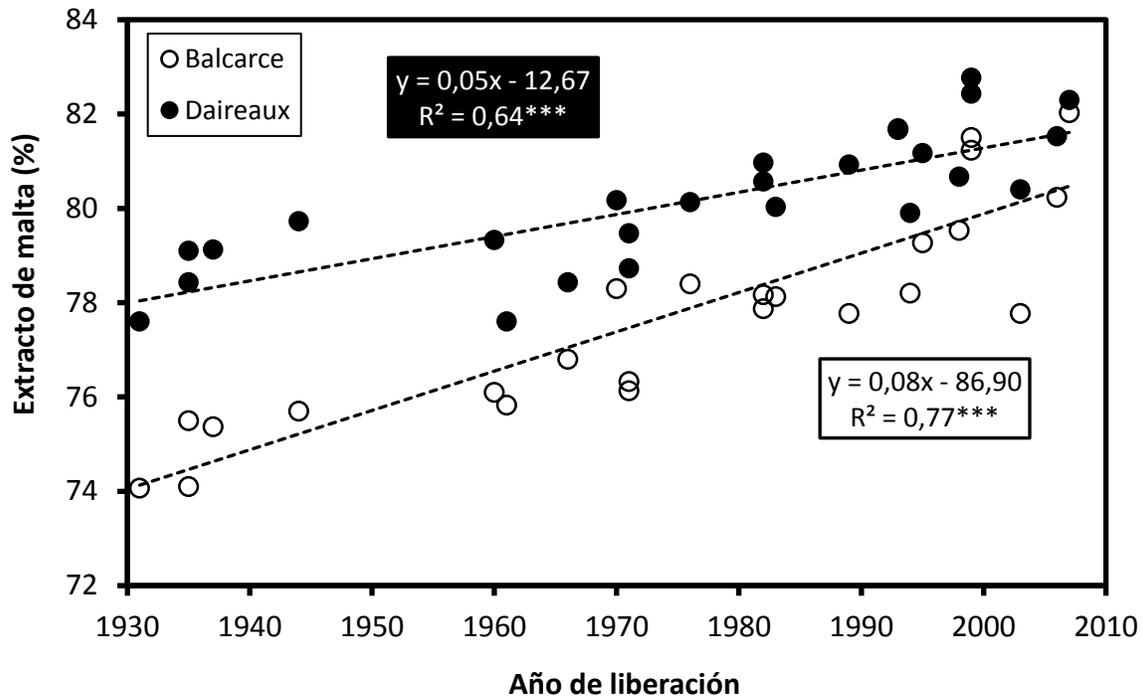


Figura 20 Relación entre el extracto de malta (%) y el año de liberación para cada cultivar en los ambientes Daireaux 2010 (símbolos llenos) y Balcarce 2010 (símbolos vacíos).

El extracto de malta en el cultivo de cebada cervecera en Argentina fue en aumento linealmente a través del tiempo mediante la liberación de cultivares (Figura 21). Se encontró una fuerte relación entre al año de liberación de los cultivares y el contenido de extracto de la malta con un coeficiente de regresión de 0,74 siendo los cultivares más modernos de mayor rendimiento. La ganancia anual promedio entre los años 1931 y 2007 fue de 0,06% por año ($p < 0,001$) (Figura 21).

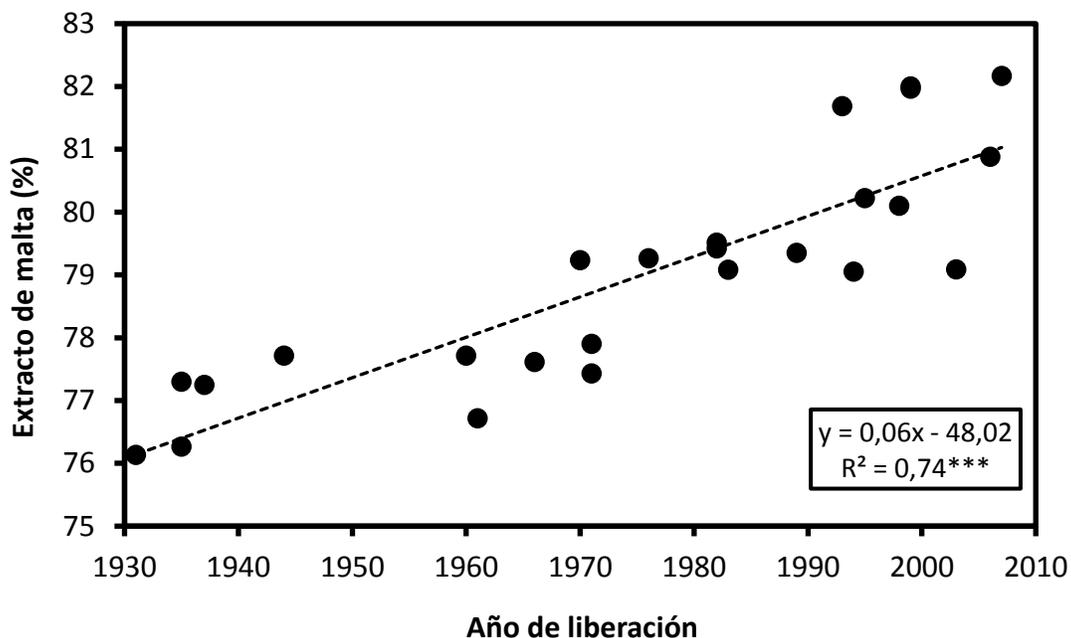


Figura 21 Relación entre el extracto de malta (%) y el año de liberación para cada cultivar evaluado.

Cuando los cultivares fueron separados por ciclo, se encontró que aquellos de ciclo largo presentaron mayor valor promedio de extracto de malta (79,6 %) que los de ciclo corto (78,4 %; $p < 0,05$). Por otro lado, no se observó interacción significativa entre el ciclo del cultivar y el ambiente para esta variable ($p \geq 0,05$).

En Argentina, en la última década, se introdujeron cultivares para mejorar la calidad de la malta, especialmente los valores de extracto de malta. Por este motivo, los cultivares introducidos Barke, Scarlett y Shakira son lo que presentaron altos valores y estabilidad en el porcentaje de extracto de malta, al igual que el cultivar introducido B1215 (1993). Equivalentes resultados fueron obtenidos por Pstota *et al.* (2009) en República Checa, quienes informaron que el mejoramiento genético aumentó el porcentaje de extracto en los cultivares más nuevos evaluados en ese estudio.

El aumento observado del extracto de malta en los cultivares más modernos pudo estar determinado por dos factores, el menor contenido de proteínas y el mayor potencial genético de los materiales para producir mayor extracto de malta. Para determinar el efecto genético, todos los genotipos deberían tener igual

contenido de proteína en grano, pero resulta prácticamente imposible de lograr en esta clase de ensayos. Sin embargo, es posible estimar el contenido de extracto teórico a partir de la ecuación de regresión establecida entre el porcentaje de extracto y el contenido de proteínas ($r = 0,84$):

$$\text{Extracto de malta} = -1,7004 * (\% \text{ de proteína}) + 97,897$$

El contenido de proteínas (%) en grano de cada cultivar es introducido en la fórmula y el resultado corresponde al porcentaje de extracto teórico. Si la diferencia entre el valor teórico y el observado es positiva, indicaría que hubo un efecto genético aditivo. Estas diferencias son relativas al conjunto de datos evaluados y a la variabilidad genética explorada con estos cultivares (Figura 22).

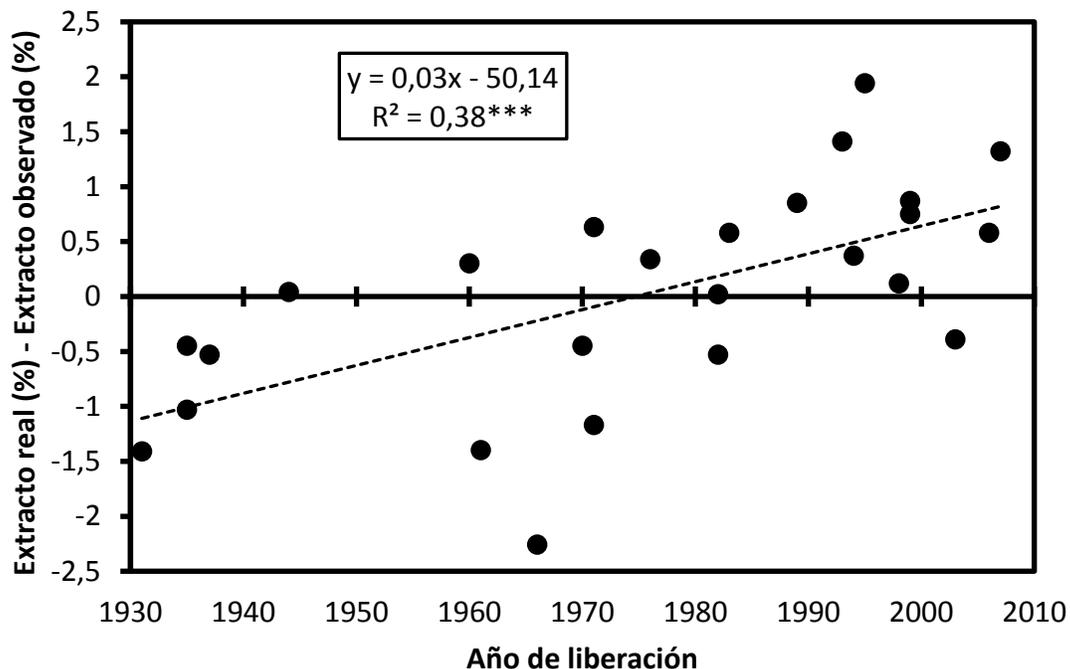


Figura 22 Relación el año de liberación y la diferencia entre el % de extracto de malta real y el observado para cada cultivar evaluado.

A través de este tipo de análisis fue posible determinar que los cultivares más modernos presentaron valores positivos lo cual sería indicaría que fueron capaces de producir más extracto de malta que el valor teórico correspondiente al contenido de proteínas que poseían en sus granos. Esto representa un avance del mejoramiento genético, y empíricamente significa que a igual contenido de proteína,

los cultivares modernos producen más extracto que los antiguos y que la ganancia genética es positiva.

3.3 Índice de Hartong (VZ 45 °C)

El Índice de Hartong expresa la actividad de las enzimas proteolíticas y de la α -amilasa. También es conocido como VZ 45°C ya que se realiza un macerado a 45°C. Este índice fue expresado en porcentaje (%). Para el análisis de la varianza (ANAVA) conjunto de la variable Índice de Hartong se consideraron 150 datos correspondientes a 25 genotipos evaluados en 2 ambientes y se consideraron como fuentes de variación el cultivar, el ambiente y la interacción entre ambos. El índice de Hartong en promedio fue de 34,8%, el coeficiente de variación obtenido fue de 6,57%, con un óptimo ajuste del modelo lineal ($R^2= 0,93$) y las diferencias estadísticas fueron altamente significativas entre cultivares ($p<0,0001$), entre ambientes ($p<0,0001$) y para la interacción entre ambos ($p<0,01$). El cultivar, el ambiente y su interacción explicaron un 67,9%, un 27,6% y un 4,5% respectivamente, de la variabilidad total observada resultante de este conjunto de datos. Por lo expuesto, Índice de Hartong resultó ser una variable con un fuerte control genético.

El cultivar introducido B1215 (1993) se destacó con un valor promedio de Índice de Hartong de 58,5. A su vez, al analizar el rango que da origen a este valor (rango: 56,3-60,7), fue evidente el alto potencial de acción de las enzimas proteolíticas y de la α -amilasa en el germoplasma de la cebada. Este cultivar siempre se destacó del resto en este carácter (Antonio Aguinaga, com. pers.). Shakira (2007) por su parte, fue el segundo mejor promedio (48,3). El cultivar con menor índice fue La Previsión 19 con un valor de 30,1 (rango: 25,0-35,2) (Tabla 23).

Tabla 23. Índice de Hartong (%) promedio, de Daireaux 2010, de Balcarce 2010 y variación en el índice de Hartong de ambos ambientes.

<i>CULTIVAR</i>	<i>Ciclo</i>	<i>Año</i>	<i>Promedio</i>	<i>Daireaux 2010</i>	<i>Balcarce 2010</i>	<i>Diferencia entre ambientes</i>
B1215	CL	1993	58,5	60,7	56,3	4,4
Shakira	CL	2007	43,8	46,2	41,4	4,8
Scarlett	CL	1999	43,6	47,8	39,4	8,5
Q.Palomar	CC	1994	43,3	49,2	37,3	11,9
Malteria 150	CC	1960	43,3	47,6	39,0	8,6
MP546	CC	2003	43,3	49,6	36,9	12,6
Carla INTA	CL	1995	42,3	48,5	36,2	12,3
Barke	CL	1999	42,1	45,6	38,7	6,9
Bonita	CL	1971	40,6	43,2	38,0	5,2
Q.Sur	CC	1989	38,8	42,2	35,4	6,8
Cañumil INTA	CC	1976	38,4	40,9	36,0	4,9
Q.Alfa	CC	1982	37,7	40,7	34,6	6,1
Clipper	CC	1983	37,5	41,6	33,4	8,2
Q.Ayelen	CC	1998	37,1	41,4	32,8	8,5
Malteria Heda	CC	1944	37,0	44,0	30,1	13,9
MP1109	CL	2006	36,7	41,2	32,3	8,9
Union	CL	1970	35,2	36,9	33,4	3,5
Q.271	CC	1982	34,6	37,8	31,4	6,4
Beka	CL	1966	34,5	35,3	33,6	1,7
Cervecera Local	CL	1935	34,4	36,1	32,6	3,5
Chevalier Local	CL	1935	32,3	35,5	29,1	6,4
B.Cruz del Sur	CC	1961	32,0	35,5	28,4	7,1
Rivera 112/31	CC	1931	31,6	36,9	26,3	10,6
B.Caupin	CC	1971	31,2	34,5	27,8	6,7
La Prevision 19	CC	1937	30,1	35,2	25,0	10,2

El Índice de Hartong estuvo positivamente correlacionado con el extracto y la friabilidad de la malta, con un coeficiente de correlación de 0,65 y 0,66 respectivamente ($p < 0,0001$). Asimismo, estuvo levemente correlacionado con el rendimiento y el tamaño de los granos (primera calidad) con coeficientes de

correlación de 0,32 y 0,12 ($p < 0,0001$) y no tuvo relación con el peso de los granos. Por otro lado, tuvo una relación negativa con el contenido de proteínas, con un coeficiente de -0,49 ($p < 0,0001$).

Cuando se analizó el índice de Hartong por ambiente y el año de liberación de los cultivares, se encontró que la relación fue positiva y que las regresiones lineales ajustadas para cada ambiente eran paralelas (pendiente=0,15) (Figura 23). Se encontraron diferencias significativas entre el índice promedio para el ambiente Daireaux 2010 y Balcarce 2010 con valores de 42,2 y 36,4 respectivamente.

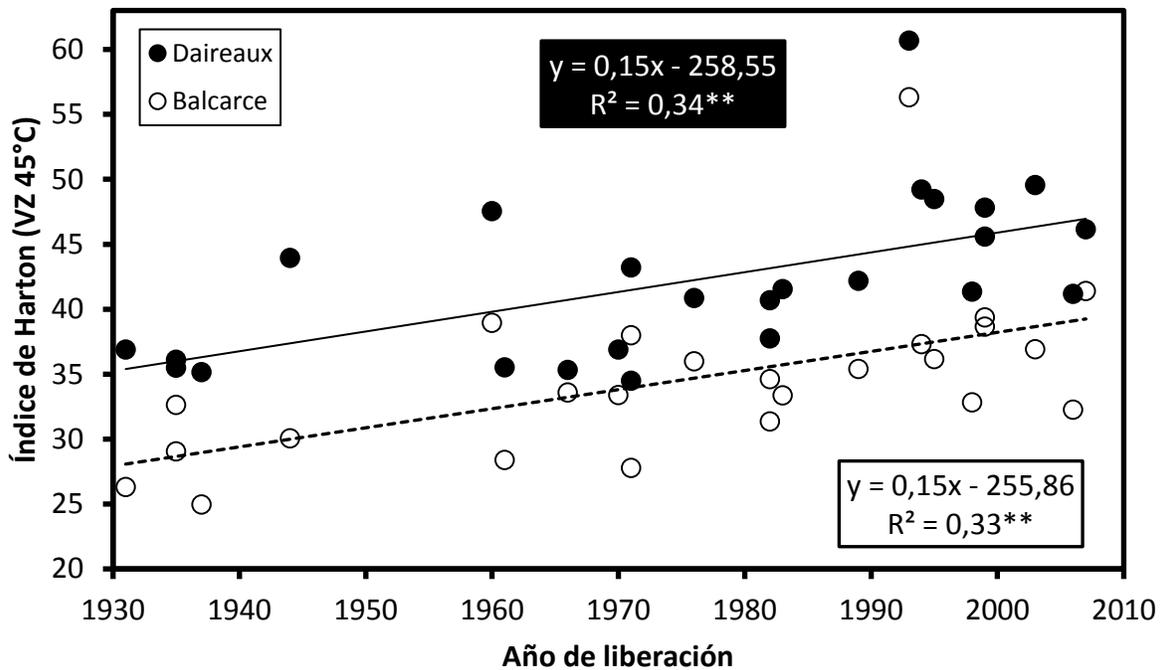


Figura 23 Relación entre el Índice de Hartong (VZ 45°C) y el año de liberación para cada cultivar evaluado en los ambientes de Daireaux 2010 (símbolos llenos) y Balcarce 2010 (símbolos vacíos)

La expresión de la actividad de las enzimas proteolíticas y de la α -amilasa, estimadas a través del Índice de Hartong en el cultivo de cebada cervecera en Argentina fue en aumento linealmente a través del tiempo mediante la liberación de cultivares (Figura 24). Se encontró una relación entre el año de liberación de los cultivares y el contenido de extracto de la malta con un coeficiente de regresión de 0,36 teniendo los cultivares más modernos de mayor Índice de Hartong. La ganancia

anual promedio entre los años 1931 y 2007 fue de 0,15% por año ($p < 0,001$) (Figura 24).

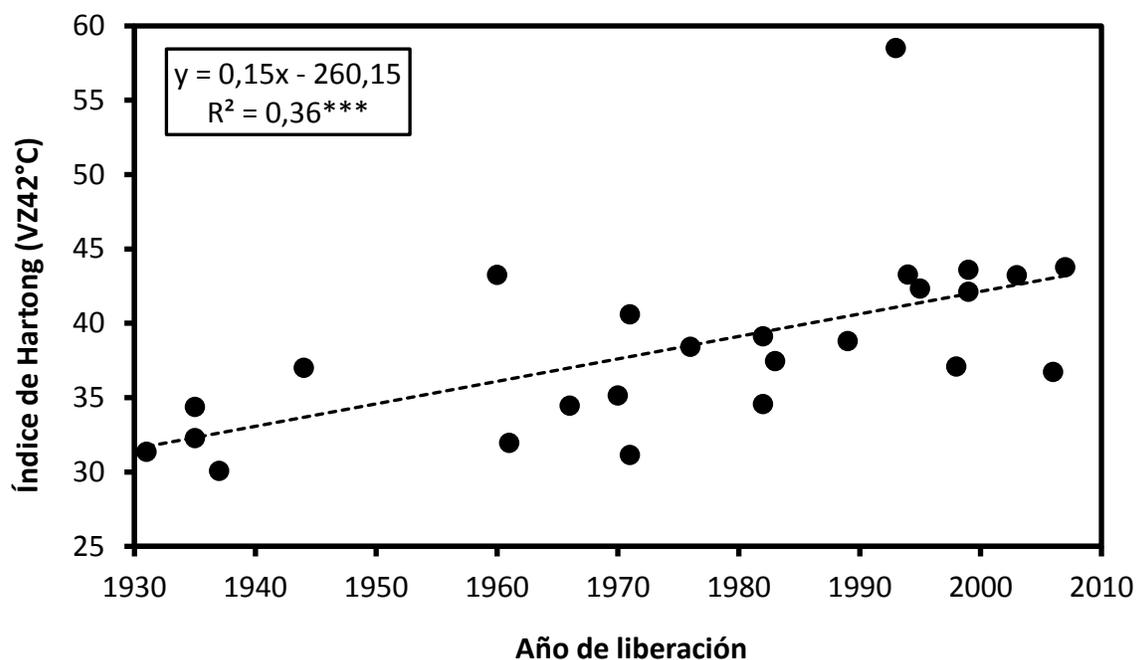


Figura 24 Relación entre el Índice de Hartong (VZ 45°C) y el año de liberación para cada cultivar evaluado.

Un aumento del Índice de Hartong a través del mejoramiento genético también fue encontrado por Pstota *et al.* (2009) en los cultivares de la república Checa.

3.4 Conclusiones del Capítulo

La calidad industrial de la malta originada de granos de cebada cervecera en Argentina ha aumentado a través del tiempo debido al mejoramiento genético del cultivo.

El mejoramiento genético ha aumentado el contenido de extracto de la malta, produciendo una mejora en la competitividad de la malta generada y aumentando la eficiencia de los procesos de industrialización, ya que este carácter está relacionado directamente con la cantidad de cervecera que produce una malta.

El mejoramiento ha aumentado la actividad enzimática de la malta, pudiendo ser estimada a través del Índice de Hartong y de la friabilidad de la malta.

Hay variabilidad genética en los caracteres de calidad industrial de malta evaluados, por lo que aún se puede seguir aumentando los caracteres de calidad industrial a través del mejoramiento genético del cultivo de cebada cervecera.

El mejoramiento genético ha aumentado la estabilidad de los parámetros de calidad evaluados.

CONCLUSIONES

El mejoramiento genético aumentó el rendimiento en grano del cultivo de cebada cervecera en Argentina con una ganancia de 27,5 kilogramos de grano ha⁻¹ año⁻¹. Sin embargo, esta ganancia no fue constante a través del tiempo. En los primeros 35 años fue similar al promedio de la serie total de años, en los siguientes 19 años no hubo ganancia genética significativa y aumentó considerablemente en los últimos 17 años. Los cultivares de ciclo largo tuvieron una mayor ganancia genética para el rendimiento en grano que los cultivares de ciclo corto. Se comprobó además que el mejoramiento genético aumentó el rendimiento a través de un incremento en el número de granos y mantuvo constante el peso de los granos. Este incremento se debió principalmente a una mejora en el número de espigas por unidad de superficie. Se observó variabilidad genética en todos los componentes del rendimiento, lo cual permite asegurar que el mejoramiento genético tiene margen aún para seguir aumentando el rendimiento en grano. Hasta el momento, resulta valioso mencionar que el mejoramiento genético ha sido capaz de incrementar el rendimiento en grano en el cultivo de cebada cervecera sin perjuicios sobre la primera calidad y además ha logrado aumentar simultáneamente ambas variables en los cultivares de ciclo largo durante el período de liberación considerado en el presente trabajo. Esto difiere de lo ocurrido en trigo pan donde el mejoramiento genético aumento el número de granos, pero bajo el peso de los mismos y en general disminuyó la calidad de los granos.

Por otro lado, el mejoramiento genético aumentó la eficiencia de utilización del nitrógeno, produciendo mayor cantidad de proteína en grano. Sin embargo, este aumento no fue proporcional al aumento del rendimiento en grano, generando así una menor concentración de proteínas en el grano. La mayor eficiencia en el uso del nitrógeno en los cultivares modernos mejoraría la relación insumo producto de los fertilizantes nitrogenados, ya que generaría mayor cantidad de granos y proteína por unidad de superficie con la misma cantidad de fertilizante.

La calidad industrial de la malta del cultivo de cebada cervecera en Argentina ha aumentado a través del tiempo. El mejoramiento genético ha incrementado el contenido de extracto de malta lo cual produjo una mejora en la competitividad de la malta generada que en consecuencia aumentó la eficiencia de los procesos de industrialización, ya que este carácter se encuentra relacionado directamente con la cantidad de cerveza que produce una malta. También ha aumentado la actividad enzimática de la malta (índice de Hartong) y la friabilidad de la misma.

Finalmente, se comprobó una amplia variabilidad genética y estabilidad en los caracteres de calidad industrial de malta evaluados, por lo cual el mejoramiento genético podría aún avanzar en la obtención de mejores combinaciones de estos parámetros.

BIBLIOGRAFÍA

- Abeledo, G., Calderini, D. F., Slafer, G. A. 2008. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. *Field Crops Research* 106: 171-178.
- Abeledo, G., Calderini, D. F., Slafer, G. A. 2003a. Genetic improvement of barley yield potential and its physiological determinants in Argentina (1944 – 1998) *Euphytica* 130: 325-334.
- Abeledo, G., Calderini, D. F., Slafer, G. A. 2003b. Genetic improvement of barley responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica* 133: 291-298.
- Abeledo, G., Calderini, D. F., Slafer, G. 2002. Physiological changes associated with genetic improvement of grain yield barley. En: Slafer G.A., Molina Cano J.L., Savin R., Araus J.L. y Romagosa I. (Eds), *Barley: recent Advances from molecular Biology to Agronomy of Yield and Quality*. Food Products Press, New York. pp 361-386.
- Ablin, A. 2014. El Mercado de la cerveza. Informe Sectorial N° 3 Abril de 2014. Ministerios de Agroindustria de la Nación.
- Aguinaga, A. 2014. Análisis de Las relaciones entre proteínas de reserva, calidad maltera y ambiente de cultivo en cebada cervecera. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias Universidad Nacional del Sur, 149 páginas.
- Alzueta, I. 2008. Caracterización fenológica de cultivares comerciales de cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) y análisis de la generación del rendimiento. Trabajo de especialización en Cultivos de Granos. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, pp. 42.
- Alzugaray, J. 2013. Mercado de la Cebada: Realidad y perspectiva. 4to Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.
- Arias, G. 1991. Calidad Industrial de la Cebada Cervecera. Instituta Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). ISBN: 9974-556-17-1. 54 pp.
- Arisnabarreta, S. y Miralles, D.J. 2006. Yield responsiveness in two and six rowed barley grown in contrasting nitrogen environments. *Journal of Agronomy Crop Science*. 192: 178-185.
- Austin, R. B., Ford, M. A., Morgan, C. L. (1989) Genetic improvement of Winter wheat: a further evaluation. *The Journal of Agricultural Science* 112: 295 – 301.

- Baethgen, F., Christianson, C. B. y Lamothe, A.G. 1995. Nitrogen fertilizer effects on growth, grain yield y yield components of malting barley. *Field Crops Research*. 43: 87-99.
- Bainotti, C., Frascina, J., Salines, J., Masiero, B., Formica, M., Nisi, J., Alberione, E. y Gómez, D. 2005. Yield increase of argentine wheat cultivars released from 1930 to 2000. 7th International Wheat Conference, Nov 27 – Dec 2, 2005, Mar del Plata – Argentina. Abstracts pp 285.
- Bamforth, C. W. and Barclay, A. H., M., 1993. Malting technology and the uses of malt. In: *Barley Chemistry and Technology*, Mac Gregor, A. and Bhatta, R. Editors.
- Bard, A. Müller, K., Schafer-Pregl, R., El Rabey, H., Effgern. S., Ibrahim, H. Pozzi, C., Rohde, W. y Salanini, F. 2000. On the Origin and Domestication History of Barley (*Hordeum vulgare*). *Oxford Journals. Molecular, Biology & Evolution* 17 (4): 499-510.
- Bell, M.A, Fischer, R. A., Byerlee, D. y Sayre, K. 1995. Genetic and agronomic contributions to yield gains: a case study for wheat. *Field Crops Research* 44: 55-65.
- Bingham, I., Blake, J., Foukes, M. J. y Spink, J. 2007. Is barley yield in the UK sink limited?: II. Factors affecting potential grain size. *Field Crops Research* 101(2): 212-220
- Boukerrou, L. y Rasmusson, D. D. 1990. Breeding for high biomass yield in spring barley. *Crop Science* 30 (1): 31-35.
- Bulman, P., Mather, D. E. y Smith, D. L. 1993. Genetic improvement of spring barley cultivars grown in eastern Canada from 1910 to 1998. *Euphytica* 71 (1): 35–48.
- Calderini, D. F., Torres-León, S., Slafer, G. A., 1995. Consequence of wheat breeding on nitrogen and phosphorous yield grain nitrogen and phosphorous concentration and associated traits. *Annals of Botany* 73: 315-322.
- Calderini, D. F., Reynolds, M. P. y Slafer, G.A. 1999. Genetic gains in wheat yield and main physiological change associated with them during the 20th century. En: E.H. Satorre & G.A. Slafer (Eds), *Wheat, Ecology and Physiology of Yield Determination* Food Product Press, New York. pp 351-377.
- Calderini, D.F., Reynolds, M.P., Slafer, G.A. 2006. Source–sink effects on grain weight of bread wheat, durum wheat, and triticale at different locations. *Australian Journal of Agricultural Research* 57, pp. 227–233.
- Cattaneo, M. 2013. Cebada cervecera en Argentina. 4to Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca, Argentina. 2013.

- Cattivelli, L., Delogu, G., Terzi, V. y Stanca A. M. 1994. Progress in barley breeder. In: G.A. Slafer (Ed) Genetic Improvement of Field Crops, pp 95-161. Marcel Dekker Press, New York.
- 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: 205-2013.
- Di Giulio, A.M. Nuevas normas de comercialización de cebada en Argentina. IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca (Argentina) del 30 de octubre al 1 de noviembre de 2013.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Donald CM (1981) Competitive plants, communal plants and yield in wheat crops. In "Wheat science – today and tomorrow (Eds. LT Evans, W J Peacock) pp. 223 – 247. (Cambridge University Press: Cambridge, UK).
- Duvich, D. N. y Cassman, K. G. 1999. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the north-central United States. *Crop Science* 39: 1622-1630.
- European Brewery Convention. 1998. Analytica – EBC. Published by VERLAG HANS CARL Getränke – Fachverlag, 5th edition.
- Evans, L. T., 1993. *Crop Evolution. Adaptation and Yield*. Cambridge University Press. pp. 486.
- Fisher, R.A. 1975. Yield potential of dwarf spring wheat and the effect of shading. *Crop Science* 15: 607-6013.
- Frascina, J., Masiero, B., Bainotti, C., Salines, J. y Nisi, J. 2005. Components of variance of multilocation yield trial. 7th International Wheat Conference, Nov 27 – Dec 2, 2005, Mar del Plata – Argentina. Abstracts pp 236.
- Fufa, H., Baenziger, S. P., Beecher, B. S., Graybosch, R.A., Eskridge, K. M. y Nelson, L.A., 2005. Genetic improvement trends in agronomic performances and end-use quality characteristics among hard red winter wheat cultivars in Nebraska. *Euphytica* 144: 187-198.
- Gimenez, F. y Tomaso, J.C. 2004. Mejoramiento genético: producción de haploides duplicados. *IDIA XXI*, 4(6): 217-219. [en línea] <<http://www.biblioteca.org.ar/libros/210289.pdf>>
- Giménez F., Conti V., Moreyra F., Tomaso J. C. 2008. Actas del VII Congreso Nacional de Trigo - V Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal –

- I Encuentro del MERCOSUR. 2, 3 y 4 de septiembre de 2008. Santa Rosa, La Pampa.
- Guarda G., Padovan, S., Delogu, G., 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian Bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal Agronomy* 21: 181-192.
 - Jedel, P. y Helm, J.H. 1994. Assessment of western Canadian barleys of historical interest: I. Yield and agronomic traits. *Crop Science* 34 (2): 922 – 927.
 - Kunze, W. Tecnología para Cerveceros y Malteros, VLB Berlín, 2006. Citado por Miralles, D. J.; Benech-Arnold, R.L. y Abeledo, L.G. Eds. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires. 284 pp.
 - Mac Gregor, A. 1996. Biochemistry of malting. The way forward. Proceeding of VII International Barley Genetic Symposium, University of Saskatchewan, Canada, 1-6.
 - Masiero, B. L. ; H. Baigorri; F. Piatti; M. Bodrero; R. Vicentini; H. Peltzer; E. Weilenmann; F. Gutheim; J. Villar- Genotype environment interaction of maturity group IV and VI cultivars in the Argentine pampean region. VII World soybean research conference. IV International soybean processing and utilization conference. III Congreso brasileiro de soja. Foz do Iguazú. Brazil. 29 de febrero al 5 de marzo de 2004.
 - Masiero, B. y Fuentes, F. 2005. Componentes de variación en ensayos de la red nacional de evaluación de cultivares de soja 2004/05. *Revista de información para extensión* N° 97, Estación Experimental Marcos Juárez. Septiembre de 2005.
 - Magrin, G. 1990. Tesis Doctoral. Facteurs de stress agissant sur la production du blé en Argentine. Evaluation de mécanismes d'adaptation a la sécheresse. Thèse Dr. Ing Montpellier, Francia. 80p.
 - Martiniello, P. G., Deloug, G., Oboard, M., Boggini, G y Stanca, A. M. 1987. Breeding progress in grain yield and selected agronomic characters of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) over the last quarter of the century. *Plant Breeder* 99: 289 – 294.
 - Ministerio de Agroindustria, 2016. En internet: <http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/index.php>
 - Miralles, D. J., Arisnabarreta, S. y Alzueta, I. 2011. Desarrollo ontogénico y generación del rendimiento (Capítulo1). Miralles, D. J.; Benech-Arnold, R.L. y Abeledo, L.G. Eds. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires. 284 pp.
 - Molina Cano, J. L. 1989. La cebada. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN 84-7114-263-5.

- Moreyra, F. 2012. Determinación del rendimiento en cultivares de cebada cervecera. Tesis de Magister Scientiae en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. pp 74.
- Muñoz, P., Voltas, J., Arauz J. L., Igartua, E y Romagosa, I. 1998. Changes over time in the adaptation of barley release in north-eastern Spain. *Plant Breeder* 117: 531 – 535.
- Narziss, L. 1976. *Die Bierbrauerei*, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart. Citado por Miralles, D. J.; Benech-Arnold, R.L. y Abeledo, L.G. Eds. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires. 284 pp.
- Ortiz-Monasterio, J. L., Pena, R.J., Sayre, K.D., Rajaram, S., 1997. CIMMYT's genetic progress in wheat grain quality under four nitrogen rate.
- Ortiz, R, Mohamed, S. F., Madsen, S., Weibull, J. y Christianse, J. L. 2001. Assessment of phenotypic variation in winter barley in Scandinavia. *Soil and Plant Science*. 51 (1): 6 -13.
- Passarella, V.S., Savin, R., Abeledo G.L. y Slafer G. 2003. Malting quality as affected by barley breeding (1944-1988) in Argentina. *Euphitica* 134: 161-167.
- Psota, V., Hartmann, J., Sejkorova, S., Loucková T. y Vejrazka K. 2009. 50 years of Progress in Quality of Malting Barley Grown in the Czech Republic. Publication N° G-2009-1112-1017. The Institute of Brewing & Distilling.
- Riggs, T. J., Hanson, P. R., Start, N. D., Miles, D.M., Morgan, C. L., y Ford, M. A.. 1981. Comparison of spring barley varieties grown in England and Wales between 1880 and 1980. *Journal Agric Sci Camb* 97: 599 – 610.
- Sadras, V O. y Lawson Chris. 2011. Genetic gain in yield and associated changes in phenotype, trait plasticity and competitive ability of South Australian Wheat varieties released between 1958 and 2007. *Crop & Pasture Science*. 62: 533 – 549.
- Salas – Salvadó, J., Garcia – Lorda, P., Sanchez Ripollés, J. M.. 2005. La alimentación humana y la nutrición a través de la historia. Editorial Glosa, Barcelona. P. 42 – 50.
- Savin, R. y Aguinaga, A. 2011. Los requerimientos de la industria: calidad comercial e industrial y sus determinantes. Capítulo 8. En: *Cebada cervecera*. Miralles, D. J.; Benech-Arnold, R.L. y Abeledo, L.G. Eds. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires. 284 pp.
- Savin, R., Prystupa, P. y Araus, J.L. 2006. Hordein as affected by post anthesis source-sink ratio under different nitrogen availabilities. *Journal of Cereal Science* 44: 113-116.

- Savin, R. y Molina Cano, J.R. 2002. Changes in malting quality and its determinants in response to abiotic stresses. En: Slafer, G.A., Molina Cano J.L., Savin R., Araus J.L. y Romagosa I. (Eds), Barley: recent Advances from molecular Biology to Agronomy of Yield and Quality. Food Products Press, New York. pp 361-386.
- Savin, R., Stone, P.J. y Nicolas, M. E. 1996. Responses of grain growth and malting quality of barley to short periods of high temperature in field studies using portable chambers. Australian Journal Agriculture Research. 47: 465-477.
- SIIA. 2017. Sistema Integrado de Información Agropecuaria del Ministerio de Agroindustria de la Nación Argentina. En internet: http://www.siiia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php
- Slafer, G.A., Satorre, H.H., y Andrade, F. H. 1994. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In "Genetic improvement of field crops. (Ed. GA Slafer) pp 1 -68 (Marcel Dekker: New York).
- Voltas, J., Ramagosa, I. y Araus, J. L. 1998. Growth and final weight of central and lateral barley grain under Mediterranean conditions as influenced by sink strength. Crops Science 38: 84-89.
- Wych, R. D., y Rasmusson, D. C. 1983. Genetic improvement in malting barley cultivars since 1920. Crop Science 23: 1037 – 1040.
- Zadoks, J. C., Chang, T.T. y Konzak, C. F. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. Weed Research 14:415-421.

ANEXO

Tabla 24. ANVA de rendimiento en granos

<i>Variable</i>	<i>n</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
<i>Rendimiento en grano (kg ha⁻¹)</i>	791	0,94	0,91	10,21

<i>Fuente de Variación</i>	<i>SC</i>	<i>GI</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
<i>Modelo.</i>	1271150292	223	5700226	38,58	<0,0001
<i>Ambiente</i>	630747686	7	90106812	362,16	<0,0001 *
<i>Genotipo</i>	439989569	24	18332899	124,09	<0,0001
<i>Ambiente>Bloque</i>	5971354	24	248806	1,68	0,0225
<i>Genotipo x Ambiente</i>	194441683	168	1157391	7,83	<0,0001
<i>Error</i>	83765386	567	147734		
<i>Total</i>	1354915678	790			

*** Error: Ambiente > Bloque**

Tabla 25. Granos por espiga de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M.S.

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Bordenave 2007	Bordenave 2008	San Miguel 2008	Daireaux 2009	Daireaux 2010	Balcarce 2010	Bordena 2010
Barke	1999	27.3	26.9	19.8	24.0	27.4	24.4	25.4
Carla INTA	1995	28.5	27.0	19.7	21.8	25.7	24.7	25.3
Union	1970	26.9	26.1	20.5	23.1	26.3	24.3	24.3
Cervecera Local	1935	28.7	26.3	20.2	23.6	25.4	24.0	21.6
Scarlett	1999	26.2	25.8	20.2	22.9	27.2	25.7	20.8
B.Caupin	1971	24.7	26.4	21.5	21.7	25.5	23.4	22.5
Beka	1966	28.0	26.5	19.1	19.3	23.5	24.9	23.9
Q.Ayelen	1998	26.9	25.8	19.1	22.3	26.3	22.7	21.8
MP1109	2006	24.2	24.9	20.5	20.5	26.5	23.0	25.1
Chevalier Local	1935	28.5	25.2	21.4	20.1	23.5	23.3	22.7
Q.Palomar	1994	27.1	27.0	20.7	22.2	24.0	21.2	21.6
Q.Sur	1989	26.6	25.6	21.4	20.0	25.2	22.3	21.2
Shakira	2007	22.8	24.9	20.0	22.1	25.0	23.6	22.4
Q.Alfa	1982	24.0	26.2	20.9	21.5	23.5	20.0	21.5
B1215	1993	25.0	24.1	19.2	22.1	22.6	22.1	21.8
Bonita	1971	25.2	26.8	19.4	18.1	23.0	20.7	22.6
Q.271	1982	23.3	24.8	18.8	21.7	24.0	20.4	21.0
La Prevision 19	1937	22.2	23.0	20.1	21.0	23.9	21.4	21.1
MP546	2003	23.5	23.1	18.8	19.9	22.7	19.2	17.8
B.Cruz del Sur	1961	23.0	22.7	19.1	19.2	21.0	19.1	20.5
Rivera 112/31	1931	21.4	20.7	20.3	18.7	24.1	19.6	18.7
Malteria Heda	1944	20.2	21.4	20.1	19.3	19.8	18.4	17.8
Cañumil INTA	1976	19.9	20.6	18.9	17.8	21.5	18.3	17.5
Malteria 150	1960	20.2	20.7	17.9	18.3	20.8	18.1	18.0
Clipper	1983	19.6	21.8	17.7	16.5	18.7	18.8	18.0
PROMEDIO		24.5	24.6	19.8	20.7	23.9	21.7	21.4
CV%		7.7	4.7	7.3	8.2	5.3	6.1	12.5
D.M.S. (p<0,05)		2.8	1.6	2.0	2.3	1.8	1.9	3.8

Tabla 26. ANVA de N° Granos m-2

<i>Variable</i>	<i>n</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
N° Granos m ²	791	0,93	0,9	10,29

<i>Fuente de variación</i>	<i>SC</i>	<i>GI</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Modelo.	6136458059	223	27517749	33,67	<0,0001
Ambiente	1971095381	7	281585054	164,97	<0,0001
Genotipo	3080264475	24	128344353	157,03	<0,0001
Ambiente>Bloque	40965048	24	1706877	2,09	0,0019
Genotipo x Ambiente	1044133155	168	6215078	7,6	<0,0001
Error	463434634	567	817345		
Total	6599892692	790			

*** Error: Ambiente > Bloque**

Tabla 27. Nº de granos por m2 de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M.S.

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Bordenave 2007	Bordenave 2008	San Miguel 2008	Daireaux 2009	C. Suarez 2010	Daireaux 2010	Balcarce 2010	Bordenave 2010	PROMEDIO
Scarlett	1999	14437	14668	9986	6999	11657	15322	15986	12178	12654
Shakira	2007	13303	12901	8422	6678	11322	14489	15485	14322	12115
B1215	1993	14563	14842	10049	5792	10732	11496	14817	12351	11830
MP1109	2006	12455	12758	8784	5853	10931	12719	14358	14418	11535
Barke	1999	14492	11432	8645	4620	9630	11412	14515	12397	10893
B.Caupin	1971	11396	11045	8868	6405	10277	11601	12109	9829	10191
Q.Ayelen	1998	11601	10074	8135	7427	9053	10962	12978	10340	10071
Union	1970	9947	9318	7194	4859	8689	11581	14681	9945	9527
Q.271	1982	9388	10616	8227	6846	9045	9451	12918	9723	9527
MP546	2003	10101	10082	7390	6937	8850	10840	10650	10814	9458
Q.Alfa	1982	8939	9715	7407	7362	8713	9700	10198	8963	8875
Q.Palomar	1994	10571	10710	7730	4420	8956	10235	9298	8905	8853
B.Cruz del Sur	1961	10976	12006	7235	5860	6882	9071	10392	7812	8779
Clipper	1983	8896	10932	6506	4859	8094	9565	12005	8674	8691
Beka	1966	9395	9124	6677	3873	9214	9822	11306	8315	8466
Carla INTA	1995	8476	8339	6491	5269	7323	9107	9180	8401	7823
Cañumil INTA	1976	6860	8312	6669	5397	7582	8750	8314	7458	7418
Q.Sur	1989	8286	8690	6290	5079	7041	9121	7554	6573	7329
Malteria 150	1960	5668	8842	6238	5807	7011	8465	8584	7418	7254
Malteria Heda	1944	5938	7620	6804	6362	6228	8290	9277	6535	7132
Bonita	1971	6627	7962	6186	4325	6566	8141	7573	6156	6692
La Prevision 19	1937	5164	7168	6103	5399	5870	8375	7428	6823	6541
Chevalier Local	1935	3052	4853	6453	3867	6702	8198	7336	7518	5997
Cervecera Local	1935	4020	5290	6588	3228	7315	8412	6445	5178	5809
Rivera 112/31	1931	2824	6015	5993	4769	5745	7476	7515	5943	5785
PROMEDIO		9095	9733	7403	5532	8377	10104	10836	9079	8770
CV%		9,9	12,6	8,5	11,0	10,2	9,7	9,2	9,5	
D.M.S. (p<0,05)		1333	1742	906	858	479	1387	1408	1215	

Tabla 28. ANVA de Espigas m-

<i>Variable</i>	<i>n</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
<i>Espigas m²</i>	691	0,87	0,82	13,41

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
<i>Modelo.</i>	9439607	195	48408	17,02	<0,0001
<i>Ambiente</i>	2956606	6	492768	96,27	<0,0001
<i>GENOTIPO</i>	4725979	24	196916	69,24	<0,0001
<i>Ambiente>BLOQUE</i>	107490	21	5119	1,8	0,0163
<i>GENOTIPO*Ambiente</i>	1649532	144	11455	4,03	<0,0001
<i>Error</i>	1407725	495	2844		
<i>Total</i>	10847332	690			

*** Error: Ambiente > Bloque**

Tabla 29. Espigas por m2 de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M.S.

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Bordenave 2007	Bordenave 2008	San Miguel 2008	Daireaux 2009	Daireaux 2010	Balcarce 2010	Bordenave 2010	PROMEDIO
B1215	1993	586	616	526	263	511	678	568	535
Shakira	2007	604	518	423	304	583	659	644	533
Scarlett	1999	553	571	496	307	564	627	611	533
MP1109	2006	515	513	431	288	482	629	587	492
Clipper	1983	456	505	370	297	515	646	490	468
MP546	2003	429	437	396	351	479	560	609	466
Barke	1999	532	426	437	193	417	597	489	442
Q.271	1982	406	428	440	317	394	634	465	440
B.Cruz del Sur	1961	481	531	381	305	434	553	386	439
Q.Ayelen	1998	433	390	427	334	418	574	482	437
B.Caupin	1971	464	419	414	296	455	519	439	430
Q.Alfa	1982	379	375	359	344	414	512	426	401
Union	1970	371	357	352	212	443	610	418	394
Cañumil INTA	1976	344	404	355	307	408	456	430	386
Malteria 150	1960	282	429	351	319	407	477	417	383
Q.Palomar	1994	391	397	374	199	428	443	413	378
Malteria Heda	1944	297	357	339	333	421	506	369	375
Beka	1966	337	346	354	202	426	454	350	353
Carla INTA	1995	299	311	336	241	355	375	345	323
Q.Sur	1989	312	341	295	256	364	339	310	317
La Prevision 19	1937	233	313	310	258	353	348	324	306
Bonita	1971	264	298	322	240	357	369	285	305
Rivera 112/31	1931	137	291	298	258	312	389	322	287
Chevalier Local	1935	108	193	302	195	351	315	337	257
Cervecera Local	1935	143	202	328	139	331	270	240	236
PROMEDIO		374	399	377	270	425	501	430	397
CV%		13.9	13.6	12.2	12.5	11.4	12.8	15.5	
D.M.S. (p<0,05)		76.8	77.1	66.1	47.7	68.4	90	94	

Tabla 30. ANVA de N° Granos por espiga

<i>Variable</i>	<i>n</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
<i>N° Granos espiga</i>	<i>691</i>	<i>0,8</i>	<i>0,72</i>	<i>7,62</i>

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
<i>Modelo.</i>	<i>5664</i>	<i>195</i>	<i>29</i>	<i>10,02</i>	<i><0,0001</i>
<i>Ambiente</i>	<i>2195</i>	<i>6</i>	<i>366</i>	<i>41,73</i>	<i><0,0001</i>
<i>GENOTIPO</i>	<i>2341</i>	<i>24</i>	<i>98</i>	<i>33,64</i>	<i><0,0001</i>
<i>Ambiente>BLOQUE</i>	<i>184</i>	<i>21</i>	<i>9</i>	<i>3,02</i>	<i><0,0001</i>
<i>GENOTIPO*Ambiente</i>	<i>945</i>	<i>144</i>	<i>7</i>	<i>2,26</i>	<i><0,0001</i>
<i>Error</i>	<i>1435</i>	<i>495</i>	<i>3</i>		
<i>Total</i>	<i>7099</i>	<i>690</i>			

Tabla 31. Nº de granos por espiga de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M.S.

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Bordenave 2007	Bordenave 2008	San Miguel 2008	Daireaux 2009	Daireaux 2010	Balcarce 2010	Bordenave 2010	PROMEDIO
Barke	1999	27,3	26,9	19,8	24,0	27,4	24,4	25,4	25,0
Carla INTA	1995	28,5	27,0	19,7	21,8	25,7	24,7	25,3	24,7
Union	1970	26,9	26,1	20,5	23,1	26,3	24,3	24,3	24,5
Cervecera Local	1935	28,7	26,3	20,2	23,6	25,4	24,0	21,6	24,3
Scarlett	1999	26,2	25,8	20,2	22,9	27,2	25,7	20,8	24,1
B.Caupin	1971	24,7	26,4	21,5	21,7	25,5	23,4	22,5	23,7
Beka	1966	28,0	26,5	19,1	19,3	23,5	24,9	23,9	23,6
Q.Ayelen	1998	26,9	25,8	19,1	22,3	26,3	22,7	21,8	23,5
MP1109	2006	24,2	24,9	20,5	20,5	26,5	23,0	25,1	23,5
Chevalier Local	1935	28,5	25,2	21,4	20,1	23,5	23,3	22,7	23,5
Q.Palomar	1994	27,1	27,0	20,7	22,2	24,0	21,2	21,6	23,4
Q.Sur	1989	26,6	25,6	21,4	20,0	25,2	22,3	21,2	23,2
Shakira	2007	22,8	24,9	20,0	22,1	25,0	23,6	22,4	22,9
Q.Alfa	1982	24,0	26,2	20,9	21,5	23,5	20,0	21,5	22,5
B1215	1993	25,0	24,1	19,2	22,1	22,6	22,1	21,8	22,4
Bonita	1971	25,2	26,8	19,4	18,1	23,0	20,7	22,6	22,2
Q.271	1982	23,3	24,8	18,8	21,7	24,0	20,4	21,0	22,0
La Prevision 19	1937	22,2	23,0	20,1	21,0	23,9	21,4	21,1	21,8
MP546	2003	23,5	23,1	18,8	19,9	22,7	19,2	17,8	20,7
B.Cruz del Sur	1961	23,0	22,7	19,1	19,2	21,0	19,1	20,5	20,6
Rivera 112/31	1931	21,4	20,7	20,3	18,7	24,1	19,6	18,7	20,5
Malteria Heda	1944	20,2	21,4	20,1	19,3	19,8	18,4	17,8	19,6
Cañumil INTA	1976	19,9	20,6	18,9	17,8	21,5	18,3	17,5	19,2
Malteria 150	1960	20,2	20,7	17,9	18,3	20,8	18,1	18,0	19,1
Clipper	1983	19,6	21,8	17,7	16,5	18,7	18,8	18,0	18,7
PROMEDIO		24,5	24,6	19,8	20,7	23,9	21,7	21,4	22,4
CV%		7,7	4,7	7,3	8,2	5,3	6,1	12,5	
D.M.S. (p<0,05)		2,8	1,6	2,0	2,3	1,8	1,9	3,8	

Tabla 32. ANVA de peso de mil granos (PMG, mg)

<i>Variable</i>	<i>n</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
PMG	791	0,95	0,93	4,17

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Modelo.	31978	223	143	45,75	<0,0001
Ambiente	22545	7	3221	227,61	<0,0001
GENOTIPO	7184	24	299	95,49	<0,0001
Ambiente>BLOQUE	340	24	14	4,51	<0,0001
GENOTIPO*Ambiente	1910	168	11	3,63	<0,0001
Error	1777	567	3		
Total	33756	790			

Tabla 33. Peso de mil granos (PMG, mg) de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M.S.

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Bordenave 2007	Bordenave 2008	San Miguel 2008	Daireaux 2009	C. Suarez 2010	Daireaux 2010	Balcarce 2010	Bordenave 2010	PROMEDIO
Cervecera Local	1935	17,5	18,7	15,3	16,6	13,4	11,0	13,4	17,7	15,5
Chevalier Local	1935	17,3	19,3	14,9	15,9	14,4	11,1	12,7	16,3	15,2
Bonita	1971	15,3	15,9	15,0	16,5	13,8	11,5	13,5	16,4	14,7
Rivera 112/31	1931	16,5	16,1	14,0	15,3	15,5	10,8	13,2	16,2	14,7
La Prevision 19	1937	16,0	16,1	14,3	15,2	15,5	10,6	13,0	16,6	14,6
Malteria 150	1960	16,2	15,8	14,1	14,9	14,3	11,0	13,0	16,6	14,5
Q.Palomar	1994	15,6	15,9	14,8	16,5	13,6	10,5	12,3	16,4	14,4
B.Cruz del Sur	1961	15,3	15,4	13,8	15,4	15,4	11,1	12,2	16,5	14,4
Carla INTA	1995	14,1	15,4	14,3	15,3	14,2	10,6	12,7	16,4	14,1
Malteria Heda	1944	16,0	15,2	13,3	14,1	13,7	10,8	13,0	16,4	14,0
Q.Sur	1989	14,9	15,0	14,1	14,6	14,4	10,4	12,6	16,2	14,0
Clipper	1983	14,8	14,5	14,4	15,5	13,7	10,8	11,9	16,3	14,0
Union	1970	13,7	17,4	14,1	15,1	13,2	9,9	11,7	15,4	13,8
B1215	1993	14,1	15,9	13,9	15,4	13,1	10,2	10,8	15,5	13,6
Beka	1966	13,6	16,5	13,9	15,8	12,7	9,8	11,1	15,3	13,6
B.Caupin	1971	14,0	14,8	13,1	14,5	13,8	10,1	12,1	15,6	13,5
Q.271	1982	14,5	15,6	13,9	13,9	12,5	9,5	11,8	15,4	13,4
MP1109	2006	13,4	16,6	13,2	15,2	13,3	10,0	11,2	13,9	13,3
Q.Alfa	1982	14,0	14,3	13,3	13,7	13,3	9,6	12,0	16,0	13,3
Cañumil INTA	1976	14,5	14,7	13,8	12,8	12,6	10,4	11,9	15,4	13,3
Q.Ayelen	1998	14,2	14,4	13,3	13,3	14,3	10,1	11,0	15,3	13,2
MP546	2003	14,2	14,4	13,4	13,1	13,7	10,1	11,6	15,2	13,2
Barke	1999	13,7	16,2	13,8	15,5	12,6	9,3	10,1	14,0	13,2
Shakira	2007	12,8	14,5	12,8	14,4	12,9	9,3	10,7	15,0	12,8
Scarlett	1999	12,2	15,2	12,5	14,1	12,2	9,4	10,1	14,8	12,5
PROMEDIO		14,7	15,7	13,9	14,9	13,7	10,3	12,0	15,8	13,9
CV%		5,34	7,81	2,71	2,93	4,44	2,55	3,47	3,84	
D.M.S. (p<0,05)		3,5	3,5	1,4	1,8	2,8	1,8	2,23	2,3	

Tabla 34. ANVA de Primera Calidad (%)

<i>Variable</i>	<i>n</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
<i>Primera Calidad</i>	569	0,83	0,76	4,89

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
<i>Modelo.</i>	37528	166	226	11,83	<0,0001
<i>Ambiente</i>	9658	5	1932	75,16	<0,0001
<i>GENOTIPO</i>	16213	24	676	35,35	<0,0001
<i>Ambiente>BLOQUE</i>	437	17	26	1,34	0,1611
<i>GENOTIPO*Ambiente</i>	11221	120	94	4,89	<0,0001
<i>Error</i>	7682	402	19		
<i>Total</i>	45210	568			

Tabla 35. Primera Calidad (%) de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M.S.

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Bordenave 2007	Daireaux 2009	C. Suarez 2010	Daireaux 2010	Balcarce 2010	Bordenave 2010	PROMEDIO
Q.Sur	1989	97.7	93.5	97.7	96.2	94.8	95.8	95.9
Bonita	1971	94.9	93.2	97.6	96.7	97.6	94.9	95.8
Clipper	1983	92.1	93.7	95.8	94.3	94.9	92.0	93.8
Malteria 150	1960	90.5	89.6	96.6	96.5	96.2	91.7	93.5
MP546	2003	93.9	90.8	95.4	94.9	95.3	90.1	93.4
Shakira	2007	89.2	94.0	96.7	96.6	94.3	88.9	93.3
Q.Ayelen	1998	93.8	90.4	95.1	94.3	94.0	91.1	93.1
Cañumil INTA	1976	92.7	90.2	97.9	95.4	96.8	84.6	92.9
Q.Alfa	1982	92.3	88.6	96.4	95.5	93.8	89.8	92.7
Malteria Heda	1944	87.0	93.7	95.0	94.3	94.9	90.1	92.5
Carla INTA	1995	94.1	89.7	92.9	96.8	90.0	90.7	92.3
La Prevision 19	1937	92.9	85.9	96.8	96.7	96.7	84.0	92.2
MP1109	2006	91.1	87.6	93.8	96.0	91.7	87.3	91.2
Scarlett	1999	89.0	90.4	95.7	94.6	91.8	83.5	90.8
Q.271	1982	90.9	84.2	95.9	95.6	91.1	86.1	90.7
Barke	1999	75.3	90.8	94.5	94.6	91.6	86.5	88.9
B.Caupin	1971	90.1	82.3	96.0	95.0	87.4	82.5	88.9
Union	1970	89.0	84.4	93.9	95.1	78.7	82.7	87.3
B.Cruz del Sur	1961	88.2	81.9	88.3	89.6	92.2	75.2	85.9
Q.Palomar	1994	83.0	66.9	92.5	93.0	92.4	83.1	85.2
Rivera 112/31	1931	90.2	49.6	93.3	96.2	93.4	78.0	83.4
B1215	1993	77.4	77.2	87.6	93.4	91.9	69.2	82.8
Chevalier Local	1935	65.5	77.3	86.6	93.3	87.5	80.7	81.8
Beka	1966	68.0	71.3	86.7	87.2	78.0	73.2	77.4
Cervecera Local	1935	58.1	69.1	85.1	84.9	83.6	66.7	74.6
PROMEDIO		86.7	84.3	93.7	94.3	91.6	84.7	89.2
CV%		7.7	7.2	4.3	1.5	2.7	5.0	
D.M.S. (p<0,05)		9.7	9.9	5.6	2.1	3.5	6.0	

Tabla 36. ANVA de proteína en grano (% PROT)

<i>Variable</i>	<i>N</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
<i>%PROT</i>	<i>791</i>	<i>0,89</i>	<i>0,85</i>	<i>6,06</i>

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
<i>Modelo.</i>	<i>3279</i>	<i>223</i>	<i>15</i>	<i>20,89</i>	<i><0,0001</i>
<i>Ambiente</i>	<i>2490</i>	<i>7</i>	<i>356</i>	<i>141,9</i>	<i><0,0001</i>
<i>GENOTIPO</i>	<i>412</i>	<i>24</i>	<i>17</i>	<i>24,37</i>	<i><0,0001</i>
<i>Ambiente>BLOQUE</i>	<i>60</i>	<i>24</i>	<i>3</i>	<i>3,56</i>	<i><0,0001</i>
<i>GENOTIPO*Ambiente</i>	<i>317</i>	<i>168</i>	<i>2</i>	<i>2,68</i>	<i><0,0001</i>
<i>Error</i>	<i>399</i>	<i>567</i>	<i>1</i>		
<i>Total</i>	<i>3678</i>	<i>790</i>			

Tabla 37. Proteína en grano (%) de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M.S.

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Bordenave 2007	Bordenave 2008	San Miguel 2008	Daireaux 2009	C. Suarez 2010	Daireaux 2010	Balcarce 2010	Bordenave 2010	PROMEDIO
Cervecera Local	1935	17.5	18.7	15.3	16.6	13.4	11.0	13.4	17.7	15.5
Chevalier Local	1935	17.3	19.3	14.9	15.9	14.4	11.1	12.7	16.3	15.2
Bonita	1971	15.3	15.9	15.0	16.5	13.8	11.5	13.5	16.4	14.7
Rivera 112/31	1931	16.5	16.1	14.0	15.3	15.5	10.8	13.2	16.2	14.7
La Prevision 19	1937	16.0	16.1	14.3	15.2	15.5	10.6	13.0	16.6	14.6
Malteria 150	1960	16.2	15.8	14.1	14.9	14.3	11.0	13.0	16.6	14.5
Q.Palomar	1994	15.6	15.9	14.8	16.5	13.6	10.5	12.3	16.4	14.4
B.Cruz del Sur	1961	15.3	15.4	13.8	15.4	15.4	11.1	12.2	16.5	14.4
Carla INTA	1995	14.1	15.4	14.3	15.3	14.2	10.6	12.7	16.4	14.1
Malteria Heda	1944	16.0	15.2	13.3	14.1	13.7	10.8	13.0	16.4	14.0
Q.Sur	1989	14.9	15.0	14.1	14.6	14.4	10.4	12.6	16.2	14.0
Clipper	1983	14.8	14.5	14.4	15.5	13.7	10.8	11.9	16.3	14.0
Union	1970	13.7	17.4	14.1	15.1	13.2	9.9	11.7	15.4	13.8
B1215	1993	14.1	15.9	13.9	15.4	13.1	10.2	10.8	15.5	13.6
Beka	1966	13.6	16.5	13.9	15.8	12.7	9.8	11.1	15.3	13.6
B.Caupin	1971	14.0	14.8	13.1	14.5	13.8	10.1	12.1	15.6	13.5
Q.271	1982	14.5	15.6	13.9	13.9	12.5	9.5	11.8	15.4	13.4
MP1109	2006	13.4	16.6	13.2	15.2	13.3	10.0	11.2	13.9	13.3
Q.Alfa	1982	14.0	14.3	13.3	13.7	13.3	9.6	12.0	16.0	13.3
Cañumil INTA	1976	14.5	14.7	13.8	12.8	12.6	10.4	11.9	15.4	13.3
Q.Ayelen	1998	14.2	14.4	13.3	13.3	14.3	10.1	11.0	15.3	13.2
MP546	2003	14.2	14.4	13.4	13.1	13.7	10.1	11.6	15.2	13.2
Barke	1999	13.7	16.2	13.8	15.5	12.6	9.3	10.1	14.0	13.2
Shakira	2007	12.8	14.5	12.8	14.4	12.9	9.3	10.7	15.0	12.8
Scarlett	1999	12.2	15.2	12.5	14.1	12.2	9.4	10.1	14.8	12.5
PROMEDIO		14.7	15.7	13.9	14.9	13.7	10.3	12.0	15.8	13.9
CV%		5.2	7.4	4.8	6.0	9.4	4.4	4.2	3.7	
D.M.S. (p<0,05)		1.1	1.6	0.9	1.3	1.8	0.6	0.7	0.8	

Tabla 38. ANVA de Proteínas totales (kg ha-1)

<i>Variable</i>	<i>n</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
<i>Proteínas Totales</i>	791	0,9	0,87	10,21

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
<i>Modelo.</i>	10942078	223	49068	24	<0,0001
<i>Ambiente</i>	4795075	7	685011	335,01	<0,0001
<i>GENOTIPO</i>	3906846	24	162785	79,61	<0,0001
<i>Ambiente>BLOQUE</i>	100650	24	4194	2,05	0,0024
<i>GENOTIPO*Ambiente</i>	2139508	168	12735	6,23	<0,0001
<i>Error</i>	1159388	567	2045		
<i>Total</i>	12101467	790			

Tabla 39 . Proteínas totales (kg ha-1) de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M.

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Bordenave 2007	Bordenave 2008	San Miguel 2008	Daireaux 2009	C.Suarez 2010	Daireaux 2010	Balcarce 2010	Bordenave 2010	PROMEDIO
Shakira	2007	698	495	350	377	643	603	668	823	582
MP1109	2006	650	554	352	343	618	575	654	785	566
Scarlett	1999	639	562	374	377	550	585	608	620	539
B1215	1993	698	552	392	301	497	477	572	646	517
Barke	1999	715	454	353	278	501	472	564	686	503
B.Caupin	1971	623	470	381	341	567	502	548	567	500
Q.Ayelen	1998	606	408	352	353	494	481	562	606	483
MP546	2003	593	458	348	350	491	472	506	635	481
Clipper	1983	546	496	333	316	467	461	594	556	471
Q.271	1982	538	447	368	343	442	387	596	551	459
Q.Palomar	1994	641	465	346	256	483	447	458	542	455
Q.Sur	1989	565	471	324	311	453	469	462	483	442
Carla INTA	1995	516	410	329	327	432	449	488	570	440
B.Cruz del Sur	1961	640	494	316	320	395	428	456	464	439
Union	1970	490	400	298	262	435	473	607	528	437
Q.Alfa	1982	478	414	317	358	457	398	485	524	429
Malteria 150	1960	397	441	333	356	419	433	493	505	422
Bonita	1971	461	431	342	320	415	453	482	443	418
Cañumil INTA	1976	436	366	345	271	415	422	429	438	390
Beka	1966	458	370	274	220	465	399	444	470	387
Malteria Heda	1944	376	346	340	358	339	390	496	417	383
La Prevision 19	1937	362	317	313	328	373	421	439	446	375
Rivera 112/31	1931	201	354	311	283	370	383	420	378	337
Chevalier Local	1935	201	211	253	231	396	395	362	488	317
Cervecera Local	1935	256	229	265	187	367	375	325	329	292
PROMEDIO		511	425	332	311	459	454	509	540	443
CV%		10,4	12,8	8,3	10,2	11,7	9,4	8,8	8,5	
D.M.S. (p<0,05)		78	78	39	45	76	60	63	64	

Tabla 40. ANVA de % Friabilidad

<i>Variable</i>	<i>n</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
<i>% Friabilidad</i>	150	0,97	0,95	5,6

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
<i>Modelo</i>	42469	53	801	53,09	<0,0001
<i>Ambiente</i>	10948	1	10948	469,3	<0,0001
<i>Genotipo</i>	27255	24	1136	75,24	<0,0001
<i>Ambiente > Repetición</i>	93	4	23	1,55	0,1952
<i>Genotipo x Ambiente</i>	4172	24	174	11,52	<0,0001
<i>Error</i>	1449	96	15		
<i>Total</i>	43918	149			

Tabla 41. % Friabilidad de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M.S.

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Daireaux 2010	Balcarce 2010	PROMEDIO
Shakira	2007	96.7	93.0	94.9
Barke	1999	95.3	92.7	94.0
Scarlett	1999	92.2	92.3	92.3
B1215	1993	92.3	88.9	90.6
MP1109	2006	86.9	74.8	80.8
Q.Ayelen	1998	84.9	73.1	79.0
Q.Palomar	1994	79.5	67.6	73.6
Q.Afa	1982	80.8	65.5	73.1
Carla INTA	1995	77.9	68.1	73.0
MP546	2003	82.6	62.3	72.4
Union	1970	80.5	64.0	▼ 72.2
Clipper	1983	79.6	64.7	▼ 72.1
Q.271	1982	79.9	56.5	▼ 68.2
Cañumil INTA	1976	72.6	62.5	▼ 67.5
Q.Sur	1989	76.1	58.0	▼ 67.1
B.Caupin	1971	73.5	53.6	▼ 63.6
Beka	1966	68.3	56.2	▼ 62.2
Cervecera Local	1935	71.5	52.7	▼ 62.1
Chevalier Local	1935	69.7	52.7	▼ 61.2
Malteria 150	1960	68.5	44.5	▼ 56.5
Malteria Heda	1944	72.0	39.5	▼ 55.7
B.Cruz del Sur	1961	66.1	44.4	▼ 55.2
Rivera 112/31	1931	70.7	30.6	▼ 50.7
Bonita	1971	61.9	39.4	▼ 50.7
La Prevision 19	1937	68.2	23.5	▼ 45.9
PROMEDIO		77.9	60.8	69.4
CV%		4.3	7.2	
D.M.S. (p<0,05)		5.5	7.2	

Tabla 42. ANVA de % Extracto Congreso s/s

<i>Variable</i>	<i>N</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
% Extracto Congreso s/s	150	1	0,97	0,53

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Modelo	764	53	14	82,11	<0,0001
Ambiente	197	1	197	18,02	0,0132
Genotipo	476	24	20	113,04	<0,0001
Ambiente>Repetición	44	4	11	62,14	<0,0001
Genotipo x Ambiente	48	24	2	11,28	<0,0001
Error	17	96	0		
Total	781	149			

Tabla 43. % Extracto de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M.S.

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Daireaux 2010	Balcarce 2010	Promedio
Shakira	2007	82,3	82,0	82,2
Scarlett	1999	82,8	81,2	82,0
Barke	1999	82,4	81,5	82,0
B1215	1993	81,7	81,7	81,7
MP1109	2006	81,5	80,2	80,9
Carla INTA	1995	81,2	79,3	80,2
Q.Ayelen	1998	80,7	79,5	80,1
Q.271	1982	81,0	77,9	79,4
Q.Alfa	1982	80,6	78,2	79,4
Q.Sur	1989	80,9	77,8	79,4
Cañumil INTA	1976	80,1	78,4	79,3
Union	1970	80,2	78,3	79,2
MP546	2003	80,4	77,8	79,1
Clipper	1983	80,0	78,1	79,1
Q.Palomar	1994	79,9	78,2	79,1
B.Caupin	1971	79,5	76,3	77,9
Malteria 150	1960	79,3	76,1	77,7
Malteria Heda	1944	79,7	75,7	77,7
Beka	1966	78,4	76,8	77,6
Bonita	1971	78,7	76,1	77,4
Chevalier Loca	1935	79,1	75,5	77,3
La Prevision 19	1937	79,1	75,4	77,3
B.Cruz del Sur	1961	77,6	75,8	76,7
Cervecera Local	1935	78,4	74,1	76,3
Rivera 112/31	1931	77,6	74,1	75,8
PROMEDIO		81,0	79,3	80,2
CV%		0,6	0,5	
D.M.S. (p<0,05)		0,8	0,6	

Tabla 44. ANVA de VZ 45°

<i>Variable</i>	<i>N</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
VZ 45°	150	1	0,89	6,57

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Modelo	7787	53	147	23,09	<0,0001
Ambiente	2136	1	2136	247,47	0,0001
Genotipo	5266	24	219	34,49	<0,0001
Ambiente > Repetición	35	4	9	1,36	0,2547
Genotipo x Ambiente	350	24	15	2,29	0,0024
Error	611	96	6		
Total	8398	149			

Tabla 45. Vz45 de los cultivares en los ambientes, sus promedios, CV% y D.M

AMBIENTE CULTIVAR	Año	Daireaux 2010	Balcarce 2010	PROMEDIO
B1215	1993	60.7	56.3	58.5
Shakira	2007	46.2	41.4	43.8
Scarlett	1999	47.8	39.4	43.6
Q.Palomar	1994	49.2	37.3	43.3
Malteria 150	1960	47.6	39.0	43.3
MP546	2003	49.6	36.9	43.3
Carla INTA	1995	48.5	36.2	42.3
Barke	1999	45.6	38.7	42.1
Bonita	1971	43.2	38.0	40.6
Q.Sur	1989	42.2	35.4	38.8
Cañumil INTA	1976	40.9	36.0	38.4
Q.Alfa	1982	40.7	34.6	37.7
Clipper	1983	41.6	33.4	37.5
Q.Ayelen	1998	41.4	32.8	37.1
Malteria Heda	1944	44.0	30.1	37.0
MP1109	2006	41.2	32.3	36.7
Union	1970	36.9	33.4	35.2
Q.271	1982	37.8	31.4	34.6
Beka	1966	35.3	33.6	34.5
Cervecera Local	1935	36.1	32.6	34.4
Chevalier Local	1935	35.5	29.1	32.3
B.Cruz del Sur	1961	35.5	28.4	32.0
Rivera 112/31	1931	36.9	26.3	31.6
B.Caupin	1971	34.5	27.8	31.2
La Prevision 19	1937	35.2	25.0	30.1
PROMEDIO		42.2	34.6	38.4
CV%		5.6	7.7	
D.M.S. (p<0,05)		3.9	4.4	