

**Especialización en Cultivos de Granos**  
**Escuela para Graduados “Alberto Soriano”**  
**Facultad de Agronomía**  
**Universidad de Buenos Aires**

Trabajo de Coronamiento para acceder al título  
de  
Especialista en Cultivos de Granos

**Análisis de la variabilidad genotípica de cebada cervecera en  
rendimiento, porcentaje de proteína y calibre en distintos  
ambientes**

Gustavo Canal

Ing. en Producción Agropecuaria – UCA - 2008

Tutor: Ing. Agr. Dr. Leonor Gabriela Abeledo

Co-tutor: Ing. Agr. Dr. Karina E. D’Andrea

## ÍNDICE GENERAL

Resumen .....	1
1. Introducción .....	2
1.1. <i>Importancia del cultivo de cebada dentro de los esquemas de producción</i> .....	2
1.2. <i>La relación de compromiso entre rendimiento y calidad</i> .....	5
1.3. <i>El análisis de la interacción genotipo x ambiente</i> .....	8
2. Objetivos e Hipótesis .....	10
3. Metodología .....	11
3.1. <i>Composición de la base de datos utilizada</i> .....	11
3.2. <i>Condiciones generales de los ensayos que conformaron la base de datos utilizada</i> .....	13
3.3. <i>Análisis de los datos</i> .....	13
4. Resultados.....	15
4.1. <i>Rendimiento</i> .....	15
4.1.1. <i>Variaciones entre ambientes y genotipos</i> .....	15
4.1.2. <i>Adaptabilidad de los genotipos</i> .....	15
4.2. <i>Proteína</i> .....	19
4.2.1. <i>Variaciones entre ambientes y genotipos</i> .....	19
4.2.2. <i>Adaptabilidad de los genotipos</i> .....	20
4.3. <i>Calibre</i> .....	23
4.3.1. <i>Variaciones entre ambientes y genotipos</i> .....	23
4.3.2. <i>Adaptabilidad de los genotipos</i> .....	24
4.4. <i>Análisis de componentes principales</i> .....	28
4.5. <i>Relación entre variables</i> .....	32
4.5.1. <i>La relación entre rendimiento, proteína y calibre</i> .....	32
4.5.2. <i>Efecto del clima como condicionante del rendimiento, proteína y calibre</i> ..	34
5. Discusión .....	37
6. Conclusiones .....	43
7. Referencias bibliográficas .....	45
Anexo .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ambientes que conformaron la base de datos .....	12
Tabla 2. Análisis de varianza para rendimiento de 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes. ....	15
Tabla 3. Rendimiento medio, ordenada al origen (a; $\pm$ desvío estándar), pendiente (b; $\pm$ desvío estándar) y coeficiente de determinación $r^2$ para la regresión correspondiente al análisis de índice ambiental para rendimiento.....	18
Tabla 4. Análisis de varianza para porcentaje de proteína en grano de 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes. ....	20
Tabla 5. Porcentaje de proteína medio, ordenada al origen (a; $\pm$ desvío estándar), pendiente (b; $\pm$ desvío estándar) y coeficiente de determinación $r^2$ para la regresión correspondiente al análisis de índice ambiental para proteína .....	22
Tabla 6. Análisis de varianza para calibre de 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes. ....	24
Tabla 7. Calibre medio (%), ordenada al origen (a; $\pm$ desvío estándar), pendiente (b; $\pm$ desvío estándar) y coeficiente de determinación $r^2$ para la regresión correspondiente al análisis de índice ambiental para calibre .....	27
Tabla A1. Ambiente, abreviatura e índice ambiental para la variable rendimiento.....	50
Tabla A2. Ambiente, abreviatura e índice ambiental para la variable proteína. ....	51
Tabla A3. Ambiente, abreviatura e índice ambiental para la variable calibre.....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área sembrada, producción y rendimiento de cebada cervecera en Argentina para las campañas 1961 a 2008 .....	3
Figura 2. Esquema de la relación entre rendimiento y contenido de proteína en grano en función de la disponibilidad de nitrógeno en suelo .....	6
Figura 3. Relación entre el rendimiento y el índice ambiental para los cultivares de cebada cervecera (a) Ayelén, (b) B 1215, (c) Barke, (d) MP 1010, (e) MP 1109, (f) MP 546, (g) Scarlett y (h) Shakira .....	17
Figura 4. Relación entre el parámetro de estabilidad b y el rendimiento medio para 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes. ....	19
Figura 5. Relación entre el porcentaje de proteína en grano y el índice ambiental para los cultivares de cebada cervecera (a) Ayelén, (b) B 1215, (c) Barke, (d) MP 1010, (e) MP 1109, (f) MP 546, (g) Scarlett y (h) Shakira.....	21
Figura 6. Relación entre el parámetro de estabilidad b y el porcentaje de proteína medio para 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes.....	23
Figura 7. Relación entre calibre (primera calidad) y el índice ambiental para los cultivares de cebada (a) Ayelén, (b) B 1215, (c) Barke, (d) MP 1010, (e) MP 1109, (f) MP 546, (g) Scarlett y (h) Shakira.....	26
Figura 8. Relación entre el parámetro de estabilidad b y el calibre medio para 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes. ....	28
Figura 9. Biplot de componentes principales para 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes .....	29
Figura 10. (a) Biplot de componentes principales ordenado por ambiente. Los puntos corresponden a los valores medios de cada ambiente, (b) Dendograma de clasificación de los ambientes.....	31
Figura 11. Biplot de componentes principales ordenado por genotipo. ....	32
Figura 12. Relación entre proteína y rendimiento diferenciando por genotipo.....	33
Figura 13. Relación entre proteína y calibre diferenciando por genotipo.....	34
Figura 14. Relación entre el rendimiento y las precipitaciones durante el ciclo del cultivo. ....	35
Figura 15. Relación entre el porcentaje de proteína en grano y la temperatura media en post-floración .....	36
Figura 16. Relación entre el calibre y la temperatura media en post-floración.....	37
Figura A1. Ubicación geográfica de las localidades que conformaron la base de datos utilizada .....	48

Figura A2. Temperatura mínima media mensual, temperatura máxima media mensual y precipitaciones acumuladas por meses para los ambientes Alberti 2008 (a), Balcarce 2008 (b), Bordenave 2007 (c) y 2008 (d), Cabildo 2008 (e), Daireaux 2007 (f) y 2008 (g), Diamante 2007 (h) y 2008 (i), Borrego 2007 (j), San Justo 2007 (k), Tandil 2008 (l) y Tres Arroyos 2008 (m). ..... 49

## **DECLARACIÓN**

“Declaro que el material incluido en este trabajo no lo he presentado, en forma parcial o total en ésta u otra institución.”

## **Resumen**

### **Análisis de la variabilidad genotípica de cebada cervecera en rendimiento, porcentaje de proteína y calibre en distintos ambientes**

En Argentina el principal uso de la cebada cervecera es la industria maltera. En la actualidad el cultivo tuvo una expansión en superficie a nuevas zonas de siembra, lo cual sumado a la introducción de nuevos genotipos al mercado hace relevante el estudio de la interacción genotipo por ambiente (GxA). Al ser el principal destino la industria, son de suma importancia parámetros de calidad como porcentaje de proteína y calibre. El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento en cuanto a rendimiento, porcentaje de proteína y calibre de los principales genotipos argentinos de cebada cervecera en respuesta a variaciones ambientales. Para el trabajo se utilizaron los datos de la Red de Evaluación de Cultivares de Cebada coordinada por el INTA, se seleccionaron 8 genotipos y 14 ambientes (diferentes localidades en las campañas 2007 y 2008). Se determinaron las interacciones genotipo x ambiente realizando análisis de varianza, se calcularon los índices ambientales y se realizó un análisis de componentes principales. El ambiente fue el principal factor condicionante de las variaciones en rendimiento, porcentaje de proteína en grano o calibre, seguido por la interacción GxA y finalmente por el efecto genotipo. Los genotipos que presentaron los mayores rendimientos medios fueron también los que presentaron la mayor adaptabilidad. Las variaciones entre genotipos en porcentaje de proteína y calibre fueron más acentuadas que las obtenidas para rendimiento. El porcentaje de proteína en grano no presentó asociación con el rendimiento pero tuvo una relación negativa con el calibre. Las variaciones en ambientes (tanto por efecto sitio como por efecto año) estuvieron dadas por modificaciones en el nivel de precipitaciones en el ciclo del cultivo y por las temperaturas en post-floración.

**Palabras claves:** cebada cervecera, rendimiento, proteína, calibre, interacción GxA.

## **1. Introducción**

### **1.1. Importancia del cultivo de cebada dentro de los esquemas de producción**

La producción de cereales a nivel mundial alcanzó durante la última década un volumen promedio anual de producción de 2 mil millones de toneladas, siendo la cebada el cuarto cultivo en importancia en lo que respecta a volumen producido, detrás de maíz, arroz y trigo (FAO, 2010). La producción media anual de cebada durante dicha década fue de 153 millones de toneladas, representando un 8% de la producción total de cereales (FAO, 2010). El motivo de su importancia como cultivo radica tanto en la diversidad de usos que posee como en su amplia adaptación ecológica.

El cultivo de cebada posee una amplia distribución geográfica a nivel mundial, siendo cultivado en regiones agroecológicas tan disímiles como el centro de Europa, norte y sur de América y en regiones de Asia, África y Australia (FAO, 2010). Junto a su extensa distribución geográfica, el cultivo de cebada posee una amplia diversidad de usos. En la actualidad, el 85% de la producción mundial de cebada es utilizada como alimento forrajero (Fischbeck, 2002). En contraposición a ello, el destino principal de cebada en Argentina es la industria maltero-cervecera.

El nivel de producción de cebada cervecera en Argentina presentó diferentes tendencias a lo largo de los años: declinó durante la década de 1970, luego durante los comienzos de la década de 1980 se mantuvo constante en alrededor de 150 mil toneladas (90 mil has cosechadas), y hacia fines de la década de 1980 incrementó fuertemente su producción hasta alcanzar los volúmenes actuales de ca. 1,6 millones de toneladas por año (Fig. 1). Dichos aumentos de producción estuvieron asociados tanto a incrementos en el área sembrada como a incrementos en los rendimientos (Fig. 1). El área sembrada presentó un patrón de variaciones semejante al observado para producción: hasta la década de 1980 hubo una disminución en la superficie destinada al cultivo y a partir de allí se incrementó en forma constante. Por otro lado, la tendencia de rendimiento observada en nuestro país evidencia un primer período



(1960-1975) de baja tasa anual de aumento de rendimiento y un aumento sostenido a partir de 1980 (Fig. 1). El incremento en el rendimiento a nivel productivo estuvo asociado con la liberación al mercado a partir de 1970 de cultivares de alto potencial de rendimiento, donde ajustes bilineales, mostraron que hasta 1970 el rendimiento potencial de los cultivares fue de ca. 5200 kg/ha y luego el rendimiento aumentó a razón de 20 kg/ha por año (Abeledo *et al.*, 2003a).

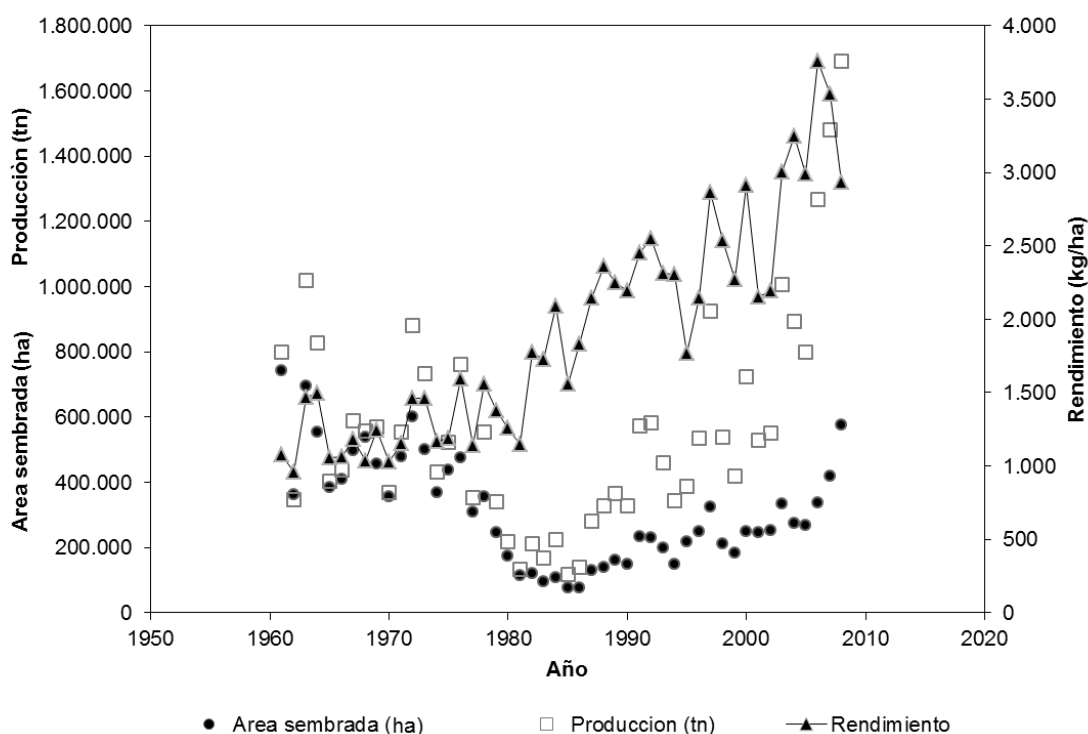


Figura 1. Área sembrada, producción y rendimiento de cebada cervecera en Argentina para las campañas 1961 a 2008. Fuente: FAO (2010).

Tradicionalmente la producción de cebada se encontraba restringida a la zona sur de la provincia de Buenos Aires. En la actualidad, los nuevos ambientes explorados por el cultivo en Argentina son principalmente el norte de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe. Es así como, al presente, en Argentina existen 5 zonas principales de producción de cebada cervecera. El sudeste bonaerense genera ca. 40% del volumen nacional de producción, el área central de Buenos Aires ca. 30%, el sudoeste

y la provincia de La Pampa ca. 25%, y el resto de la producción se ubica en el sudoeste de Córdoba y sudeste de Santa Fe (MAGPyA, 2010).

La expansión del cultivo se sustentó, en parte, a que la cebada libera los lotes con anterioridad al trigo, permitiendo una temprana implantación de cultivos de soja de segunda y un consiguiente aumento del rendimiento logrado (Calviño *et al.*, 2003). Estos autores observaron, para el sur de la Región Pampeana, una reducción promedio del 2% en el rendimiento de la soja de segunda por cada día de retraso en la fecha de siembra, poniendo en evidencia los efectos negativos de una desocupación tardía de los lotes.

Un factor adicional que contribuyó al desarrollo del cultivo es que actualmente los genotipos de cebada presentan rendimientos similares a los del trigo. Los genotipos de cebada disponibles actualmente en el mercado argentino presentan rendimientos potenciales (*i.e.* cultivos creciendo sin limitaciones hídrico-nutricionales y sin restricciones bióticas; Evans y Fischer, 1999) de ca. 8000 kg/ha (Abeledo *et al.*, 2003b), siendo constante la incorporación de nuevos genotipos al mercado. En la actualidad los rendimientos medios nacionales alcanzan valores de aproximadamente 3500 kg/ha. La brecha entre los rendimientos potenciales y los logrados a campo puede deberse al uso de cultivares de bajo potencial de rendimiento. Sin embargo, es importante destacar que la cantidad de variedades en el mercado es limitada, y presentan una mayor persistencia que, por ejemplo, las variedades de trigo. En la actualidad Scarlett es la variedad que ocupa la mayor superficie sembrada en Argentina y se caracteriza por ser un cultivar europeo de alto potencial (Cattáneo, 2011). Adicionalmente, la brecha entre los rendimientos potenciales y logrados podría deberse a la expansión del cultivo hacia zonas de baja productividad, uso limitado de recursos o destinada dentro del esquema de rotaciones a las zonas de menor aptitud agrícola. En estas nuevas zonas de cultivo existe una mayor incertidumbre en la respuesta que presentarán las variedades, ya que las mismas son expuestas a un cambio de ambiente y de manejo. Estos cambios pueden hacer que el cultivo presente

diferentes respuestas a nivel de rendimiento y de variables asociadas a la calidad. Por esto es importante determinar como interactúan las variedades con el ambiente, tanto para el rendimiento como para la calidad.

### 1.2. La relación de compromiso entre rendimiento y calidad

Dado que en Argentina el principal destino del cultivo es la industria maltero-cervecera es de suma importancia la calidad del producto cosechado, además de su rendimiento, ya que en base a estos parámetros se forma el precio que recibe el productor. Existen varios indicadores de calidad para el cultivo, algunos de origen comercial y otros de origen industrial. Los parámetros de origen comercial son aquellos que están considerados en las normas de comercialización de cebada (CACBUE, 2010). Dentro de éstos, los más importantes son el porcentaje de proteína y el calibre de los granos. De acuerdo a las normas de comercialización, el contenido de proteína debe tener un valor mínimo de 10% y un valor máximo de 12% (aunque dichos estándares pueden presentar fluctuaciones entre años).

Desde el punto de vista productivo la optimización tanto del rendimiento como de su calidad implica una relación de compromiso entre ambos atributos debido a que suelen ser aspectos contrapuestos (Triboi y Triboi-Blondel, 2002). Fischer *et al.* (1993), en trigo, determinaron que la relación entre rendimiento y contenido de proteína en grano guarda una estrecha relación con la disponibilidad de N en suelo (Fig. 2), pudiéndose distinguir tres fases: (i) una etapa inicial en la que aumentos en el N disponible incrementan el rendimiento del cultivo pero disminuye el contenido de proteína en grano (efecto dilución; fase 1), (ii) una etapa donde el agregado adicional de N incrementa los rendimientos, aunque en forma menos que proporcional a la cantidad de nutriente adicionado (ley de rendimientos decrecientes), mientras que los niveles de proteína en grano se modifican levemente (fase 2) y (iii) la fase 3, en la que aumentos en la disponibilidad de N originan un aumento en la concentración de proteína en grano habiendo alcanzado el rendimiento un valor máximo (Fig. 2). A nivel

productivo el cultivo explora generalmente las fases 1 a 2; por esta razón se deben buscar genotipos que presenten alta eficiencia en el uso del nitrógeno para rendimiento ya que, a campo, un alto rendimiento normalmente está asociado a un bajo contenido de proteína (fases 1 a 2). Este mismo análisis puede hacerse extensivo al cultivo de cebada (Savin y Aguinaga, 2011); sin embargo, podría especularse que los niveles de disponibilidad de nitrógeno en suelo que optimizan rendimiento y proteína en grano diferirían entre ambos cultivos pero no hay trabajos puntuales sobre el tema.

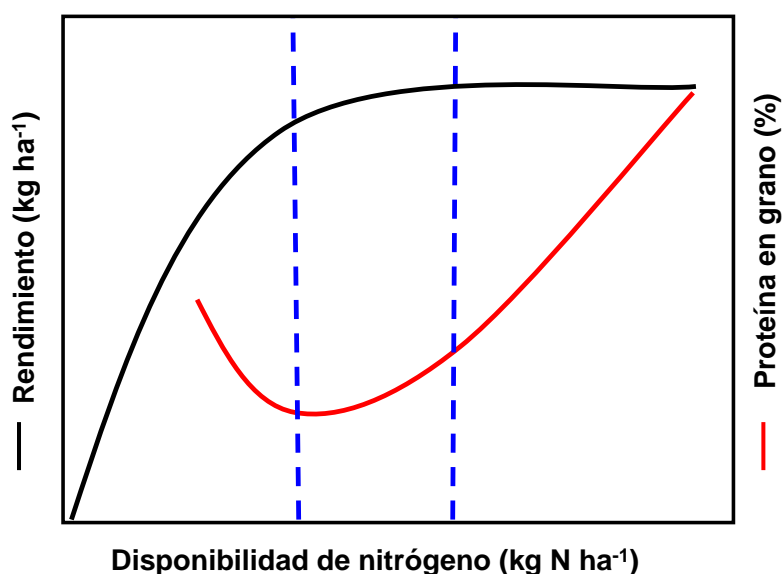


Figura 2. Esquema de la relación entre rendimiento y contenido de proteína en grano en función de la disponibilidad de nitrógeno en suelo. Las líneas punteadas delimitan el rango de condiciones tradicionalmente explorado a nivel productivo. Adaptado de Fischer *et al.* (1993).

La definición del contenido de proteína en grano puede ser explicado como la resultante de un componente genético y uno ambiental. En cebada existe gran diversidad genotípica en la concentración de proteína presente en los granos a madurez (Passarella *et al.*, 2003). Del componente ambiental, la temperatura explorada durante el período de llenado de grano es uno de los principales factores condicionantes del contenido de proteína en grano (Passarella *et al.*, 2002). Incrementos en la temperatura durante el período de llenado se relacionan con altos

valores de proteína (Passarella *et al.*, 2002). A nivel productivo, variaciones en la temperatura están asociadas a diferencias térmicas entre sitios y para un sitio dado a diferencias en la fecha de siembra y fecha de floración del cultivo.

El calibre de los granos se cuantifica a través del porcentaje de granos que no atraviesa una zaranda de 2,5 mm. Las normas establecen que dicho porcentaje debe ser como mínimo del 85 % (porcentaje denominado de primera calidad) y se asocia al tamaño y la uniformidad de los granos (CACBUE, 2010). Existe una relación positiva asintótica entre el peso del grano y el porcentaje de granos de primera calidad, o sea que a medida que el peso del grano aumenta es mayor el calibre de los mismos (Passarella *et al.*, 2003). Esto es importante para la calidad maltera y para asegurar uniformidad en la tasa de germinación de la partida. El calibre de los granos condiciona el porcentaje de proteína ya que altos calibres se relacionan con partidas de granos que presentan bajos porcentajes de proteína (Passarella *et al.*, 2002).

Los indicadores de calidad industrial son aquellos que afectan el proceso de malteado. En este proceso lo principal es la homogeneidad de los lotes, ya que de esto dependerá el posterior proceso a realizar. Parámetros de calidad malteros son: extracto de malta, friabilidad de la malta, contenido de nitrógeno en el grano malteado, índice Hartong y poder diastásico (Fishbeck, 2002).

El ambiente explorado por el cultivo y el genotipo utilizado, sumado a las prácticas de manejo utilizadas, definen el rendimiento y la calidad que se obtendrán. De allí la importancia de analizar el comportamiento de los genotipos en distintos ambientes. La necesidad de incrementar la productividad del cultivo de cebada, manteniendo la calidad comercial e industrial del grano, hace que la elección de la variedad y el análisis de su interacción con el ambiente sea un requisito indispensable para lograr estos objetivos.

### 1.3. El análisis de la interacción genotipo x ambiente

La expansión del cultivo hacia nuevas áreas así como la incorporación de nuevos genotipos al mercado genera incertidumbre en el rendimiento y parámetros de calidad asociados. Diferencias en el ambiente pueden generar efectos diferenciales entre genotipos. Se dice que existe interacción genotipo - ambiente (GxA) cuando existe una expresión diferencial de los genotipos en un rango de ambientes dado (Voltas *et al.*, 2001). La interacción GxA más frecuente es la denominada cualitativa o crossover que implica un cambio en el ranking de genotipo entre ambientes para la variable en estudio (*i.e.* rendimiento, proteína); es decir que el genotipo A puede ser superior al genotipo B en el ambiente X, pero inferior en el ambiente Y. Este tipo de interacción es la más frecuente y la que genera el mayor grado de imprecisión a nivel productivo (Voltas *et al.*, 2001). La metodología de índices ambientales y de análisis de componentes principales, junto con la realización de un análisis de varianza, constituyen las principales herramientas metodológicas para evaluar la interacción GxA.

El índice ambiental caracteriza un ambiente en base al promedio de todos los genotipos de una variable (rendimiento, proteína o calibre) para ese ambiente (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Rusell, 1966). El análisis consiste en realizar una regresión lineal entre la variable a analizar del genotipo (*i.e.* rendimiento) y la condición promedio de los genotipos evaluados en cada ambiente. En función de su estabilidad, los genotipos pueden clasificarse como de alta o baja estabilidad. La estabilidad está dada por la pendiente de la regresión (parámetro b), considerándose que cuanto más cercano el valor a 0 mayor la estabilidad (Finlay y Wilkinson, 1963). Los genotipos que presentan un valor b mayor a 1 responden a mejoras en el ambiente, por lo que son de alta adaptabilidad a buenos ambientes. La predictibilidad de la respuesta se estima en base al desvío de los datos con respecto a la función de regresión.

La metodología de análisis por componentes principales caracteriza la respuesta de los genotipos para el conjunto de ambientes explorados y posibilita analizar la

respuesta para el grupo de variables analizadas (*i.e.*, rendimiento, proteína, calibre). Adicionalmente, permite establecer grupos de comportamiento tanto de los genotipos (caracterizados en función del desempeño de cada genotipo en el conjunto de ambientes) como de los ambientes (en función del desempeño del conjunto de genotipos en cada ambiente) (de la Vega y de la Fuente, 2004).

La evaluación de variedades en diferentes localidades, a lo largo del tiempo, constituye una fuente de información para estimar las respuestas genotípicas ante variaciones en las condiciones ambientales, y de esta forma, estimar la interacción GxA.

## **2. Objetivos e Hipótesis**

El objetivo general del trabajo fue evaluar el comportamiento, en lo que refiere a rendimiento, porcentaje de proteína y calibre, de genotipos de cebada cervecera en respuesta a variaciones en el ambiente.

Los objetivos particulares de trabajo fueron:

- (i) Analizar la proporción de las variaciones en el rendimiento, porcentaje de proteína en grano y calibre asociadas al efecto ambiente, efecto genotipo o su interacción.
- (ii) Establecer relaciones funcionales entre el rendimiento alcanzado y variables asociadas a la calidad del cultivo (*i.e.* porcentaje de proteína en grano, calibre).

Las hipótesis consideradas fueron:

- (i) Tanto el rendimiento como las variables de calidad (*i.e.* porcentaje de proteína en grano y calibre) presentarán modificaciones por variaciones en el ambiente o el genotipo utilizado, siendo la interacción GxA mayor que el efecto directo del ambiente o de los genotipos como componente explicativo de dichas variaciones.
- (ii) Los materiales que presenten alto valor medio de una variable dada (rendimiento, porcentaje de proteína en grano o calibre) presentarán también mayor grado de adaptabilidad para esa variable ante mejoras en las condiciones ambientales.
- (iii) Altos rendimientos (sea por efecto del ambiente o genotípico) se asociarán con disminuciones en el porcentaje de proteína en grano y disminuciones en el calibre, tanto por efecto del ambiente como del genotipo.
- (iv) Las variables que definen la calidad del grano (porcentaje de proteína en grano y calibre) presentarán una asociación negativa entre sí ya que incrementos en la temperatura (asociado al factor ambiente) durante el período de llenado generarán aumentos en el porcentaje de proteína pero disminuciones en el calibre.



### **3. Metodología**

#### **3.1. Composición de la base de datos utilizada**

Para la realización del trabajo se recopiló información perteneciente a la Red de Evaluación de Cultivares de Cebada coordinada por el INTA Bordenave ([http://www.inta.gov.ar/bordenave/actividad/red\\_cebada/intro.htm](http://www.inta.gov.ar/bordenave/actividad/red_cebada/intro.htm)). Esta red brinda información de rendimiento, proteína y calibre. Al momento de realizar el trabajo estaban disponibles los datos de los años 2006, 2007 y 2008. En esos años en la red se evaluaron 14 cultivares diferentes en varias localidades de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos principalmente. La totalidad de los datos obtenidos fue organizada en una matriz, para su posterior ordenamiento y selección.

El ordenamiento y selección de la base de datos tuvo una primera etapa en la cual se eliminaron los datos pertenecientes al año 2006, debido a que se informaba que por la sequía que se presentó en la campaña había una gran influencia del error experimental. Debido a la baja cantidad de localidades que se repetían en los años 2007 y 2008 se decidió utilizar como ambiente a la combinación de la localidad con el año, obteniéndose de esta forma 19 ambientes (Tabla 1). Dentro del contexto del presente trabajo se definió entonces como ambiente a la combinación de localidad y año, y en algunos casos, cuando disponibles, se consideraron dos fechas de siembra por localidad y la utilización de fungicidas como fuentes de variabilidad (en todas las situaciones los ensayos fueron conducidos con aplicación de fungicidas excepto las dos situaciones en la que se menciona que no se utilizaron). Las localidades consideradas abarcan sitios de provincia de Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos (ver Fig. A1 del Anexo).

Tabla 1. Ambientes que conformaron la base de datos. Los ambientes se encuentran ordenados alfabéticamente.

<b>Ambiente (localidad año)</b>	<b>Abreviatura</b>
Alberti 2008	08-Alb
Balcarce 2008	08-Bal
Barrow 2008	08-Barrow
Bigand 2007 Sin fungicida	07-Big SF
Bigand 2007 Con fungicida	07-Big CF
Bordenave 2007 Primera fecha	07-Bv1
Bordenave 2007 Segunda fecha	07-Bv2
Bordenave 2008	08-Bv
Cabildo 2008	08-Cabildo
Daireaux 2007	07-Dx
Daireaux 2008	08-Dx
Diamante 2007 Sin fungicida	07-Diam SF
Diamante 2007 Con Fungicida	07-Diam CF
Diamante 2008	08-Diam
Dorrego 2007	07-Dorr
San Justo 2007	07-SJ
Tandil 2008	08-Tandil
Tres Arroyos 2008 Primera fecha	08-TA1
Tres Arroyos 2008 Segunda fecha	08-TA2

En una segunda etapa se eliminaron 4 de los genotipos evaluados (Quilmes Alfa, Josefina, MP 1012, Paine) que no se repetían en todos los ambientes de evaluación. Se finalizó esta etapa con 8 genotipos para analizar: Quilmes Ayelén, B 1215, Barke, MP 1010, MP 1109, MP 546, Scarlett y Shakira.

La base de datos quedó finalmente conformada como una matriz cuadrada dada por la combinación de 19 ambientes y 8 genotipos.

### 3.2. Condiciones generales de los ensayos que conformaron la base de datos utilizada

Los ensayos fueron sembrados en fechas óptimas para cada localidad, utilizando densidades normales y siguiendo la tecnología propia de la zona. A modo de ejemplo se describen las fechas de siembra, emergencia, cosecha y densidad de 3 localidades de la red. El ensayo de Cabildo 2008 fue sembrado el 25/6/08, emergió el 7/7/08 y se cosechó el día 26/11/08, la densidad de siembra fue de 250 plantas/m<sup>2</sup>. En el ensayo de Bordenave 2008 la fecha de siembra fue del 9/7/08, la emergencia el 17/7/08 y la cosecha el día 25/11/08, la densidad de siembra fue de 250 plantas/m<sup>2</sup>. En Barrow 2008 la fecha de siembra fue el 1/7/08, la emergencia el 11/7/08, y la cosecha el día 27/11/08, la densidad de siembra fue de 250 plantas/m<sup>2</sup>. Al momento de madurez, los ensayos fueron cosechados mediante cosechadoras experimentales. En todos los ensayos se realizaron aplicaciones de fungicidas excepto en Bigand 2007 y Diamante 2007 donde se establecieron situaciones de tratamiento con y sin fungicida.

La campaña 2008 presentó condiciones de sequía con precipitaciones marcadamente inferiores a las registradas en 2007 y temperaturas superiores (ver Fig. A2 del Anexo).

### 3.3. Análisis de los datos

El primer análisis que se realizó de los datos fue un análisis de varianza para analizar el efecto directo del ambiente y de los genotipos y comprobar la existencia de interacciones genotipo por ambiente para cada parámetro evaluado (rendimiento, proteína y calibre). Para esto se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2009). Se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad del modelo. Para establecer diferencias significativas se utilizó una probabilidad del 5%.

Al comprobarse las interacciones GxA se procedió a calcular los índices ambientales. Para esto se utilizó el programa Prisma v. 4.00 (GraphPad, 2009). Se realizó el análisis de regresión para los datos, obteniéndose la pendiente, la ordenada al origen y el coeficiente de determinación  $r^2$ . Por último se realizó el análisis de

componentes principales, para lo que se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2009).

La relación entre diferentes variables (rendimiento y proteína, calibre y proteína) se estableció por medio de regresiones lineales. La respuesta del rendimiento, proteína y calibre a las condiciones meteorológicas (precipitaciones temperatura) se realizó utilizando la base de datos climáticos perteneciente a MAGyP (2010) y Tutiempo Network S.L. (2011) para las localidades disponibles (13 ambientes: Alberti 2008, Balcarce 2008, Bordenave 2007, Bordenave 2008, Cabildo 2008, Daireaux 2007, Daireaux 2008, Diamante 2007, Diamante 2008, Dorrego 2007, San Justo 2007, Tandil 2008 y Tres Arroyos 2008). El efecto de las variables climáticas se realizó dividiendo el cultivo en los estados de pre-floración y post-floración, considerando los días de junio a octubre como de pre-floración y los días del 01 de noviembre al 15 de diciembre como de post-floración. La relación entre las variables en estudio y las climáticas se realizó mediante análisis de regresión.

## **4. Resultados**

### **4.1. Rendimiento**

#### **4.1.1. Variaciones entre ambientes y genotipos**

El rango de rendimientos explorados para el conjunto de genotipos, sitios y años analizados fue de 1450 a 8400 kg/ha, con un rendimiento promedio de 4550 kg/ha. La variación en rendimiento estuvo asociada tanto al efecto directo de los genotipos (G) como del ambiente (A) y de la interacción GxA (Tabla 2). El ambiente explicó el 89% de la suma de cuadrados (excluyendo los residuales), la interacción genotipo x ambiente el 7% y el genotipo sólo el 4%, de forma tal que el ambiente fue el principal factor modulador de las variaciones en rendimiento, mientras que la interacción GxA tuvo un efecto superior al del genotipo *per se*.

Tabla 2. Análisis de varianza para rendimiento de 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes.

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC</b>	<b>g.l.</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Modelo	967142431	151	6404916	43,80	<0,0001
Ambiente (A)	859249150	18	47736063	326,41	<0,0001
Genotipo (G)	38052197	7	5436028	37,17	<0,0001
GxA	65323833	126	518443	3,55	<0,0001
Residuales	57327569	392	146243		

#### **4.1.2. Adaptabilidad de los genotipos**

El rendimiento medio de los ambientes abarcó desde ca. 2450 a 6280 kg/ha (Tabla A1 del Anexo). El rango de rendimientos medios por genotipo fue de 4068 a 4844 kg/ha, con un rendimiento promedio de 4550 kg/ha (Fig. 3). Los valores medios de rendimiento fueron similares entre genotipos, ya que la diferencia entre el genotipo que presentó el rendimiento medio mínimo (MP 546) y el máximo (Scarlett) fue de 770 kg/ha. Los dos genotipos que presentaron los mayores rendimientos medios fueron

Scarlett y B 1215 con 4844 y 4835 kg/ha respectivamente (Tabla 3). Los dos genotipos que presentaron los menores rendimientos medios fueron MP 546 y Ayelén con 4068 y 4160 kg/ha, respectivamente (Tabla 3). Los valores del coeficiente de determinación  $r^2$  que surgen del análisis de índice ambiental fueron elevados, y significativos ( $p < 0,001$ ), para todas las regresiones de los distintos genotipos (Tabla 3).

Ante mejoras en el ambiente todos los genotipos tendieron a incrementar su rendimiento. Sin embargo, analizado en función del índice ambiental, difirió entre materiales la magnitud de la respuesta (Fig. 3). El rango de pendientes exploradas (indicador del grado de adaptabilidad de los materiales) para la variable rendimiento fue de 0,82 a 1,18. Aquellos genotipos como Ayelén y MP 546, con pendiente menor a 1, fueron los que presentaron una menor respuesta a las variaciones en la calidad ambiental, presentando por lo tanto una mayor estabilidad. Los genotipos como B 1215 y Shakira, que presentaron pendientes mayores a 1, resultaron los más adaptados a buenos ambientes y con alta respuesta a mejoras en la calidad ambiental. Un grupo intermedio fue el conformado por genotipos como Barke, MP 1010, MP 1109 y Scarlett, que por su pendiente cercana a 1 presentaron una respuesta prácticamente equivalente a la mejora del ambiente.

Para el conjunto de datos, se destacó el genotipo Scarlett como el mejor para una amplia gama de ambientes, ya que fue el que presentó el mayor rendimiento medio, y una respuesta equivalente a la mejora del ambiente (pendiente = 0,99).

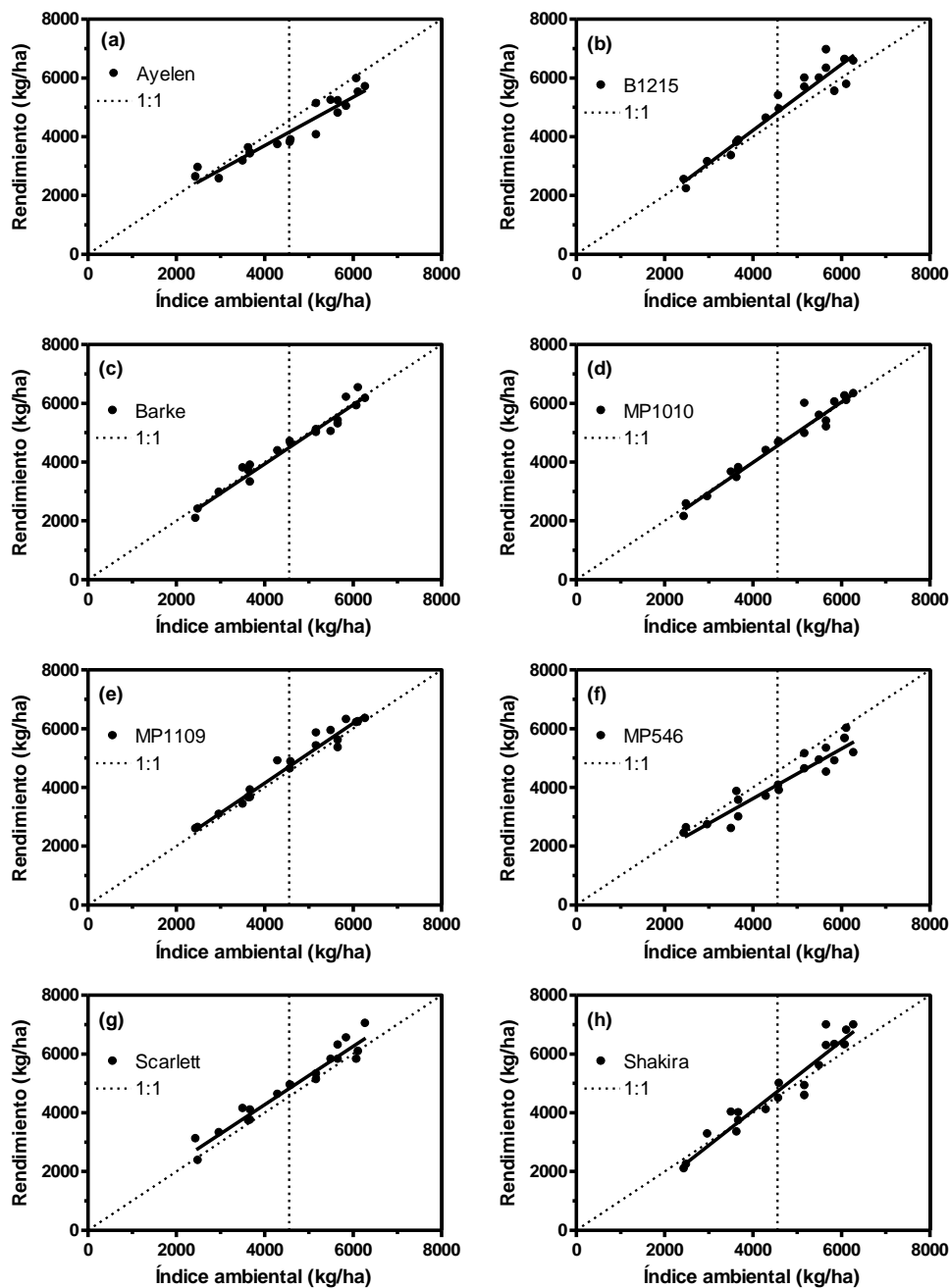


Figura 3. Relación entre el rendimiento y el índice ambiental para los cultivares de cebada cervecera (a) Ayelén, (b) B 1215, (c) Barke, (d) MP 1010, (e) MP 1109, (f) MP 546, (g) Scarlett, y (h) Shakira. La línea de puntos diagonal indica la relación 1:1. La línea de puntos vertical en 4550 kg/ha indica el rendimiento medio general para el conjunto de datos. La línea llena representa el ajuste de regresión. Los parámetros del ajuste de regresión se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Rendimiento medio, ordenada al origen (a;  $\pm$  desvío estándar), pendiente (b;  $\pm$  desvío estándar) y coeficiente de determinación  $r^2$  para la regresión correspondiente al análisis de índice ambiental para rendimiento. En todos los casos el ajuste de regresión presentó un nivel de significancia  $p < 0,001$ .

<b>Genotipo</b>	<b>Rendimiento medio (kg/ha)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>r^2</math></b>
Ayelén	4160	412 $\pm$ 295	0,82 $\pm$ 0,06	0,91
B 1215	4835	-241 $\pm$ 365	1,12 $\pm$ 0,07	0,93
Barke	4473	-73 $\pm$ 234	1,00 $\pm$ 0,05	0,96
MP 1010	4565	-106 $\pm$ 244	1,03 $\pm$ 0,05	0,96
MP 1109	4699	82 $\pm$ 222	1,02 $\pm$ 0,05	0,97
MP 546	4068	251 $\pm$ 329	0,84 $\pm$ 0,07	0,90
Scarlett	4844	318 $\pm$ 277	0,99 $\pm$ 0,06	0,94
Shakira	4762	-644 $\pm$ 381	1,18 $\pm$ 0,08	0,93

Para el conjunto de datos, los genotipos que presentaron los mayores rendimientos medios fueron también los que presentaron la mayor adaptabilidad (*i.e.* un valor b igual o mayor a 1) (Fig. 4.) Dentro de la Fig. 4, en el cuadrante superior derecho se ubican los genotipos que presentaron los mayores rendimientos medios y asociado ello en base a pendientes superiores a 1.



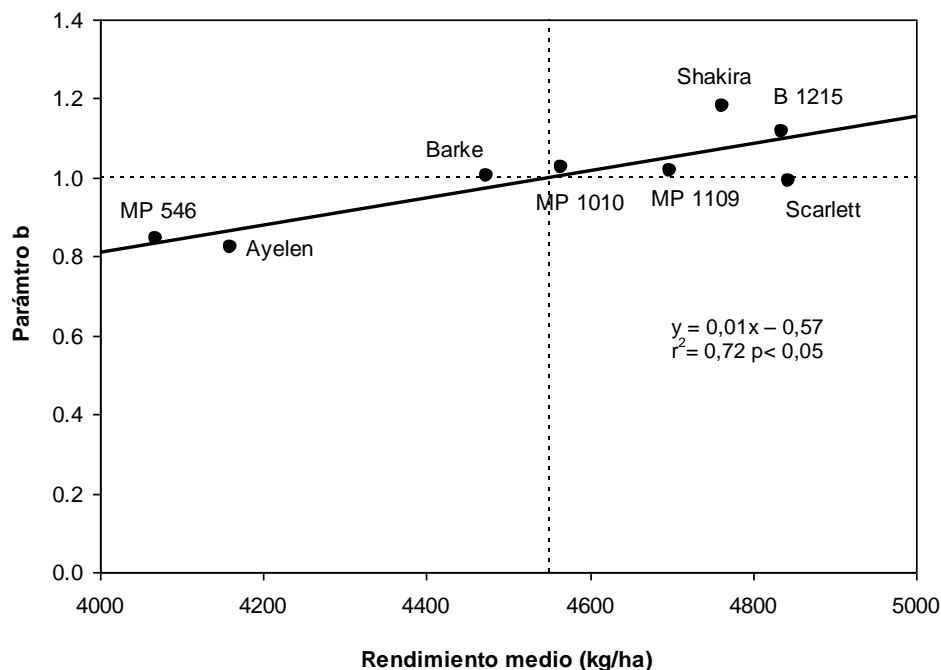


Figura 4. Relación entre el parámetro de estabilidad b y el rendimiento medio para 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes. La línea de puntos vertical en 4550 kg/ha indica el rendimiento medio general. La línea de puntos horizontal representa un valor de pendiente b igual a 1. La línea llena representa el ajuste del análisis de regresión.

## 4.2. Proteína

### 4.2.1. Variaciones entre ambientes y genotipos

El rango de porcentajes de proteína explorado para el conjunto de genotipos y ambientes (Tabla A2 del Anexo) analizado fue de 11,2% a 19,9%, con un promedio general de 12,8%. La variación en el porcentaje de proteína estuvo asociada tanto al efecto directo de los genotipos (G) como del ambiente (A) y de la interacción GxA (Tabla 4). El ambiente explicó el 91% de la variabilidad (calculado como el porcentaje de la suma de cuadrados del ambiente respecto a la suma de cuadrados total excluyendo los residuales), la interacción genotipo x ambiente el 7% y el genotipo sólo el 1%.

Tabla 4. Análisis de varianza para porcentaje de proteína en grano de 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes.

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC</b>	<b>g.l.</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Modelo	1556,23	151	10,31	16,03	<0,0001
Ambiente (A)	1409,84	18	78,32	121,84	<0,0001
Genotipo (G)	22,94	7	3,28	5,10	<0,0001
GxA	110,05	126	0,87	1,36	0,0162
Residuales	216	336	0,64		

#### 4.2.2. Adaptabilidad de los genotipos

El porcentaje de proteína en grano medio explorado entre ambientes abarcó de ca. 9,7 a 18,3 % (Tabla A2 del Anexo); de forma que dadas las variaciones entre ambientes, los genotipos exploraron un amplio rango de porcentajes de proteína en grano. El grado de respuesta del porcentaje de proteína a cambios en el ambiente difirió entre genotipos (Fig. 5). El porcentaje de proteína medio explorado por genotipo fue de 12,3% a 13,2%, teniéndose que los valores medios de porcentaje de proteína entre genotipos difirieron en casi un punto (0,96%). Los dos genotipos que presentaron los mayores porcentajes de proteína medio fueron MP 546 y Ayelén con 13,2 y 13,0%, respectivamente. Los dos genotipos que presentaron los menores porcentajes de proteína fueron Scarlett con 12,3% y Shakira con 12,6% (Tabla 5).

El rango de pendientes exploradas para la variable porcentaje de proteína fue de 0,67 a 1,17. El genotipo MP 546 fue el que presentó la menor pendiente (0,67), por lo que sería el genotipo con mayor estabilidad para esta variable, presentando una menor respuesta a los cambios ambientales. El genotipo Barke fue el que presentó la mayor pendiente (1,17), siendo el menos estable en lo que respecta a porcentaje de proteína en grano y el que más responde a los cambios en el ambiente. Los valores del coeficiente de determinación  $r^2$  fueron elevados para todas las regresiones de los

distintos genotipos (Tabla 5), teniendo todas las respuestas un alto grado de predictibilidad ( $r^2 \geq 0,91$ ).

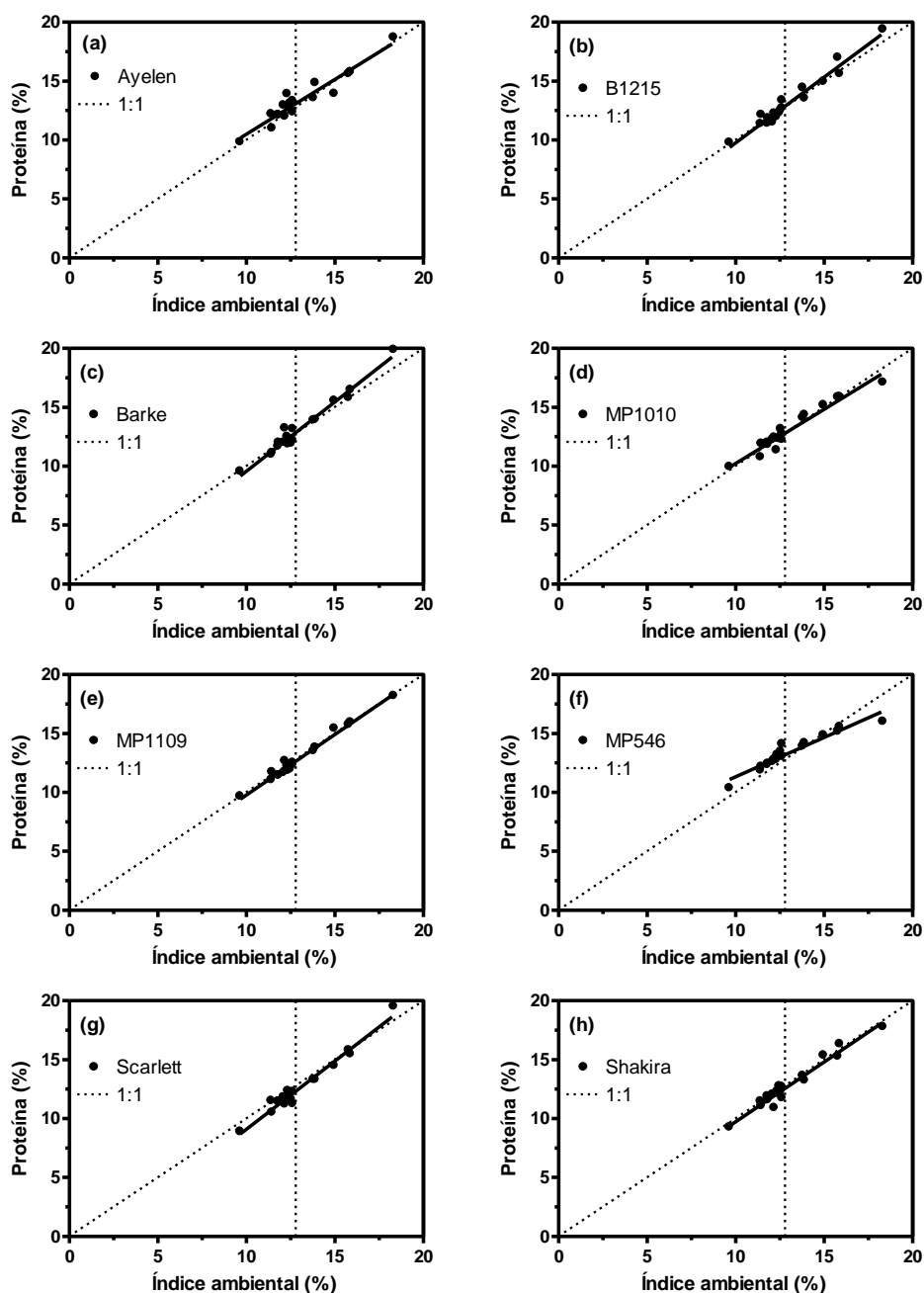


Figura 5. Relación entre el porcentaje de proteína en grano y el índice ambiental para los cultivares de cebada cervecera (a) Ayelén, (b) B 1215, (c) Barke, (d) MP 1010, (e) MP 1109, (f) MP 546, (g) Scarlett, y (h) Shakira. La línea vertical en 12,8% indica el contenido de proteína medio general para el conjunto de datos. La línea llena representa el ajuste de regresión. Los parámetros del ajuste de regresión se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje de proteína medio, ordenada al origen (a;  $\pm$  desvío estándar), pendiente (b;  $\pm$  desvío estándar) y coeficiente de determinación  $r^2$  para la regresión correspondiente al análisis de índice ambiental para proteína. En todos los casos el ajuste de regresión presentó un nivel de significancia  $p < 0,001$ .

<b>Genotipo</b>	<b>Proteína media (%)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>r^2</math></b>
Ayelén	13,02	1,19 $\pm$ 0,94	0,93 $\pm$ 0,07	0,91
B 1215	12,90	-1,37 $\pm$ 0,74	1,11 $\pm$ 0,05	0,96
Barke	12,88	-2,17 $\pm$ 0,68	1,17 $\pm$ 0,05	0,97
MP 1010	12,82	1,05 $\pm$ 0,726	0,92 $\pm$ 0,05	0,94
MP 1109	12,70	-0,50 $\pm$ 0,46	1,03 $\pm$ 0,03	0,98
MP 546	13,22	4,66 $\pm$ 0,66	0,67 $\pm$ 0,05	0,91
Scarlett	12,26	-2,46 $\pm$ 0,70	1,16 $\pm$ 0,05	0,97
Shakira	12,57	-0,40 $\pm$ 0,69	1,01 $\pm$ 0,05	0,96

Independientemente del valor de proteína medio, el valor b obtenido fue cercano a 1 (Fig. 6), salvo para el genotipo MP 546 que presentó un bajo valor de b con un elevado porcentaje medio de proteína, ubicándose en el cuadrante derecho inferior junto con genotipos que presentaron elevados valores de proteína con pendientes menores a 1.

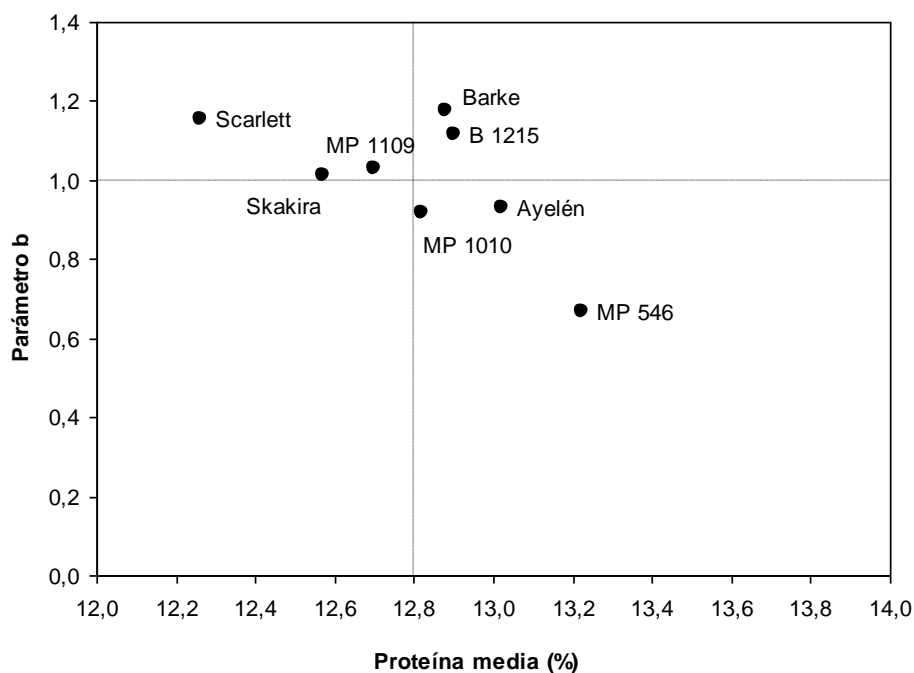


Figura 6. Relación entre el parámetro de estabilidad b y el porcentaje de proteína medio para 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes. La línea de puntos vertical en 12,8% indica el contenido de proteína medio general. La línea de puntos horizontal representa un valor de pendiente b igual a 1.

### 4.3. Calibre

#### 4.3.1. Variaciones entre ambientes y genotipos

El rango de calibre (primera calidad) explorado para el conjunto de genotipos, sitios y años analizados fue de 5% a 98%, con un promedio general de 76,4% (en la Tabla A3 del Anexo se detallan los índices ambientales por ambiente). La variación en calibre estuvo asociada tanto al efecto directo de los genotipos (G) como del ambiente (A) y de la interacción GxA (Tabla 6). El ambiente explicó el 89% de la variabilidad, la interacción genotipo x ambiente el 7% y el genotipo sólo el 4%.

Tabla 6. Análisis de varianza para calibre de 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes.

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC</b>	<b>g.l.</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Modelo	245042	151	1622	40,67	<0,0001
Ambiente (A)	216474	18	12026	301,43	<0,0001
Genotipo (G)	9622	7	1374	34,45	<0,0001
GxA	17143	126	136	3,41	<0,0001
Residuales	13405	336	39		

#### 4.3.2. Adaptabilidad de los genotipos

Las diferencias en el valor medio de calibre entre ambientes abarcó valores de 11,9 a 95,7% (Tabla A3 del Anexo). Modificaciones en las condiciones ambientales generaron una respuesta diferencial entre genotipos para calibre (Fig. 7). El rango de porcentajes de calibre de primera zaranda medios explorados por genotipo fue de 68% a 83%, con un promedio general de 76,4%. Los valores medio de calibre entre genotipos presentaron una diferencia máxima de 14,8%. Un aspecto importante a destacar es que estos calibres fueron inferiores a los requeridos para la comercialización, ya que el mínimo requerido es de 85%. Del total de casos analizados, solo un 16,4% está dentro de los límites de recibo para calibre. Los dos genotipos que presentaron los mayores porcentajes medios de calibre fueron MP 546 y Ayelén con 83 y 82%, respectivamente. Los dos genotipos que presentaron los menores calibres fueron Barke y B 1215 con 68 y 70%, respectivamente (Tabla 7).

El rango de pendientes exploradas para la variable calibre fue de 0,72 a 1,13 (Fig. 7; Tabla 7). Aquellos genotipos como Ayelén y MP 546, que presentaron una pendiente menor a 1, serían los que presentan una mayor estabilidad en calibre, ya que respondieron en menor medida a los cambios ambientales. Los genotipos como Barke, MP 1010 y MP 1109, que presentaron pendiente mayor a 1, tuvieron una alta respuesta a mejoras en la calidad ambiental. Un grupo intermedio de genotipos fue el conformado por genotipos como Sacrlett y Shakira, que por su pendiente cercana a 1

presentaron una respuesta equivalente a la mejora del ambiente. Los valores del coeficiente de determinación  $r^2$  fueron elevados para todas las regresiones de los distintos genotipos presentando entonces la respuesta una alta predictibilidad (Tabla 7).

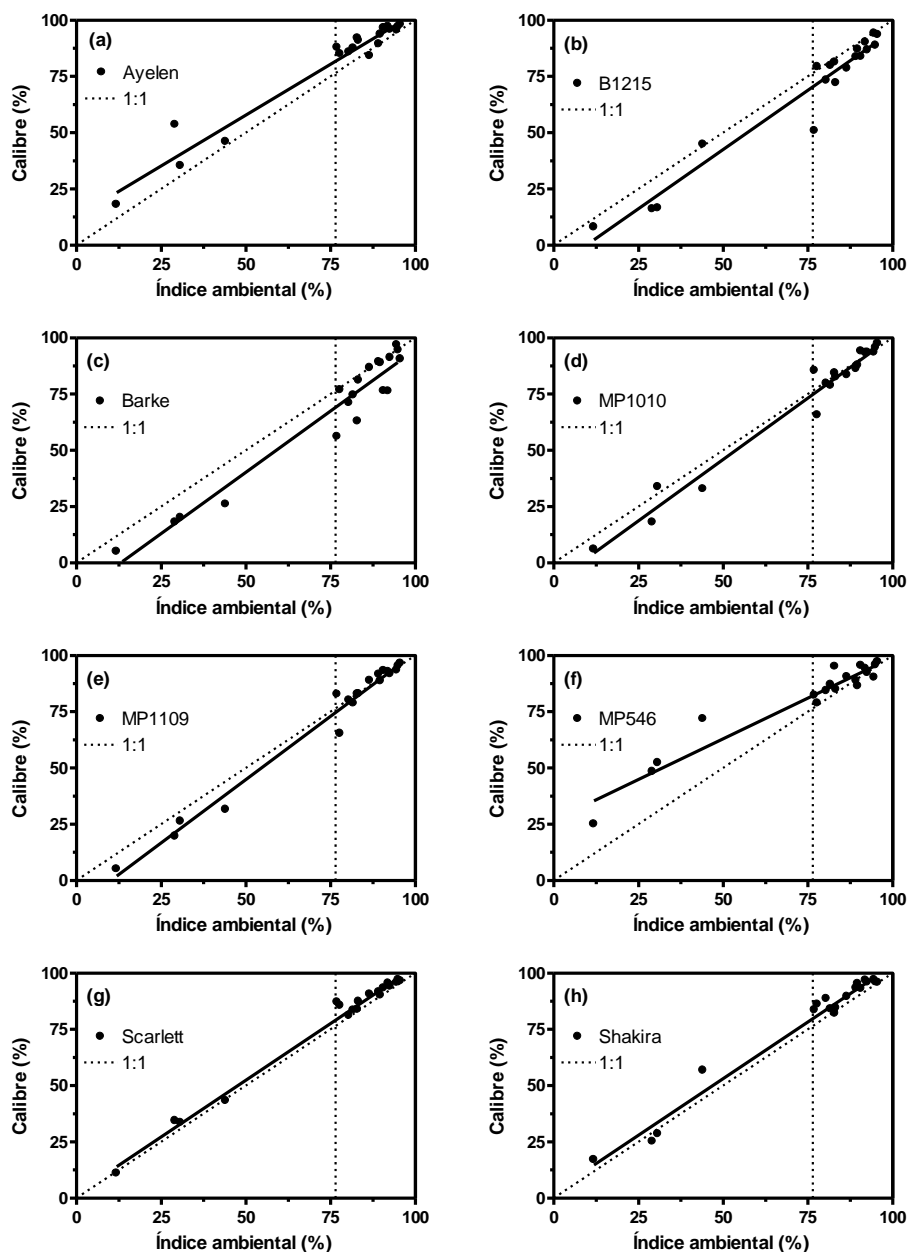


Figura 7. Relación entre calibre (primera calidad) y el índice ambiental para los cultivares de cebada (a) Ayelén, (b) B 1215, (c) Barke, (d) MP 1010, (e) MP 1109, (f) MP 546, (g) Scarlett, y (h) Shakira. La línea de puntos diagonal indica la relación 1:1. La línea vertical en 76,4% indica el calibre medio general para el conjunto de datos. La línea llena representa el ajuste de regresión. Los parámetros del ajuste de regresión se detallan en la Tabla 7.



Tabla 7. Calibre medio (%), ordenada al origen (a;  $\pm$  desvío estándar), pendiente (b;  $\pm$  desvío estándar) y coeficiente de determinación  $r^2$  para la regresión correspondiente al análisis de índice ambiental para calibre. En todos los casos el ajuste de regresión presentó un nivel de significancia  $p < 0,0001$ .

<b>Genotipo</b>	<b>Calibre (%) medio</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>r^2</math></b>
Ayelén	82,24	12,72 $\pm$ 3,73	0,90 $\pm$ 0,05	0,96
B 1215	70,24	-10,07 $\pm$ 4,79	1,05 $\pm$ 0,06	0,95
Barke	68,02	-14,24 $\pm$ 5,33	1,09 $\pm$ 0,07	0,94
MP 1010	74,92	-8,57 $\pm$ 3,58	1,09 $\pm$ 0,04	0,97
MP 1109	74,28	-11,44 $\pm$ 2,90	1,13 $\pm$ 0,04	0,98
MP 546	82,85	26,87 $\pm$ 3,75	0,72 $\pm$ 0,03	0,93
Scarlett	79,19	1,95 $\pm$ 2,08	1,01 $\pm$ 0,03	0,99
Shakira	79,69	2,79 $\pm$ 2,95	1,01 $\pm$ 0,04	0,98

A partir del calibre medio 76,4%, el valor b obtenido disminuye (Fig. 8). Los genotipos ubicados en el cuadrante inferior derecho de la Figura 8 combinaron estabilidad y capacidad de lograr un alto calibre, mientras que los ubicados en ambos cuadrantes superiores fueron más inestables.

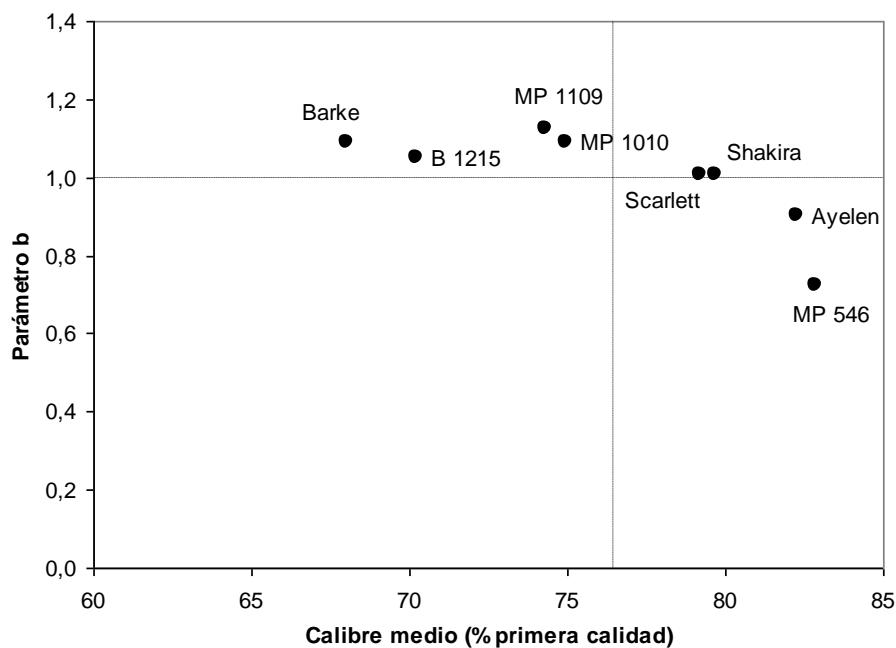


Figura 8. Relación entre el parámetro de estabilidad  $b$  y el calibre medio para 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes. La línea de puntos vertical en 76,4% indica el valor de calibre medio. La línea de puntos horizontal representa un valor de pendiente  $b$  igual a 1.

#### 4.4. Análisis de componentes principales

En la Figura 9 se observa el análisis de componentes principales, donde cada ambiente fue representado por un color diferente, siendo cada uno de los puntos de ese ambiente un genotipo diferente. Dado que la principal segregación se evidenció a través de los ambientes (colores iguales), se corroboró que independientemente de la variable bajo análisis el factor ambiente fue el principal modulador de las variaciones obtenidas sea en rendimiento, porcentaje de proteína en grano o calibre.

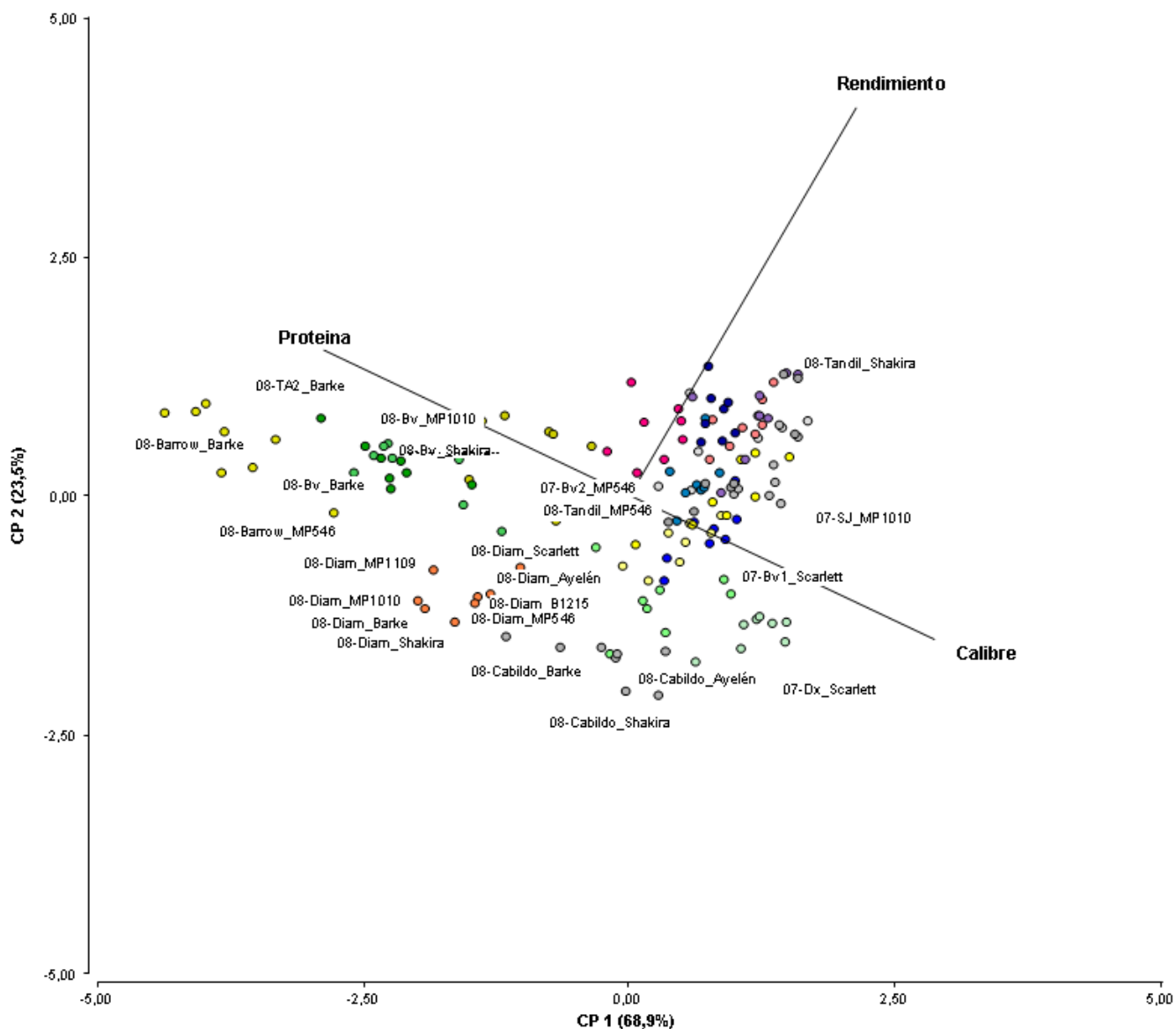


Figura 9. Biplot de componentes principales para 8 genotipos de cebada cervecera en 19 ambientes. El biplot fue ordenado por ambiente, representado cada color un ambiente (se grafican todos los genotipos para cada ambiente).

En la Figura 10 (a). se observa el análisis de componentes principales, donde cada ambiente fue representado por un símbolo. De este análisis primeramente puede observarse que algunas localidades que se repitieron en los dos años analizados se ubicaron en diferentes zonas del gráfico, por lo que presentaron un comportamiento diferente en rendimiento, proteína y calibre en función del año. Este es el caso de

Diamante, Bordenave y Daireaux. Esas diferencias que presentaron los genotipos ubicados en las mismas localidades demuestran que no sólo la localidad fue responsable de las variaciones obtenidas, sino también la variación climática interanual.

Puede verse también en la Figura 10 la forma en que se agrupan los ambientes por año, ya que la mayoría de los ambientes del año 2007 se ubicaron en el cuadrante superior derecho del gráfico, y los pertenecientes al año 2008 se ubicaron en la parte inferior del gráfico. Por medio del análisis de dendograma los ambientes se separaron en cuatro grupos (Fig. 10 b), estando los ambientes del año 2008 ubicados preferentemente en los dos grupos superiores y los del año 2007 en los grupos intermedio a inferiores.

Respecto a la relación entre variables, es de destacar el ángulo de casi  $180^\circ$  que conformaron los vectores de proteína y calibre, poniendo de manifiesto la relación negativa existente entre ambas variables. El ángulo recto existente entre los vectores proteína y rendimiento y entre calibre y rendimiento indicó, para el conjunto de datos, ausencia de asociación entre esas variables.

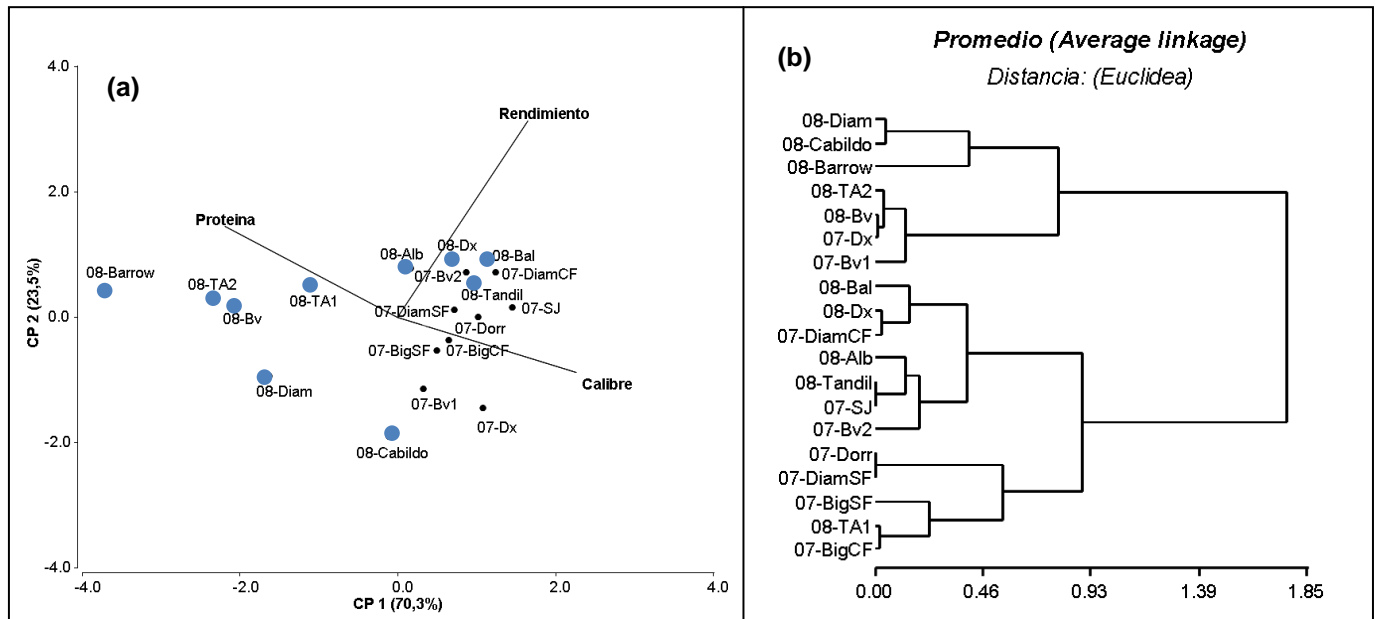


Figura 10. (a) Biplot de componentes principales ordenado por ambiente. Los puntos corresponden a los valores medios de cada ambiente. Los puntos azules (de menor tamaño) corresponden al año 2007 y los puntos celestes (de mayor tamaño) corresponden al año 2008. (b) Dendograma de clasificación de los ambientes.

Pese a ser el ambiente el principal modulador de las diferencias observadas entre rendimiento, porcentaje de proteína o calibre, fue factible también caracterizar a los genotipos para el conjunto de variables analizadas. En la Figura 11 se puede observar la mayor similitud en el comportamiento medio de los genotipos. Por ejemplo, Scarlett presentó un alto grado de similitud con Shakira y, por otro lado MP 546 con Ayelén. Scarlett y Shakira presentaron altos rendimientos, con los menores porcentajes de proteína en grano y valores medios de calibre. En cambio MP 546 y Ayelén fueron los genotipos que presentaron el menor rendimiento medio, el mayor porcentaje medio de proteína y el mayor calibre medio. Es decir que si bien para el conjunto de datos no hubo asociación entre rendimiento y porcentaje de proteína en granos, entre los genotipos puede diferenciarse un grupo de materiales caracterizados por tender a presentar altos rendimientos y valores de bajos a medios de porcentaje de proteína y otro grupo que tiende a presentar valores bajos de rendimiento pero altos valores de proteína.

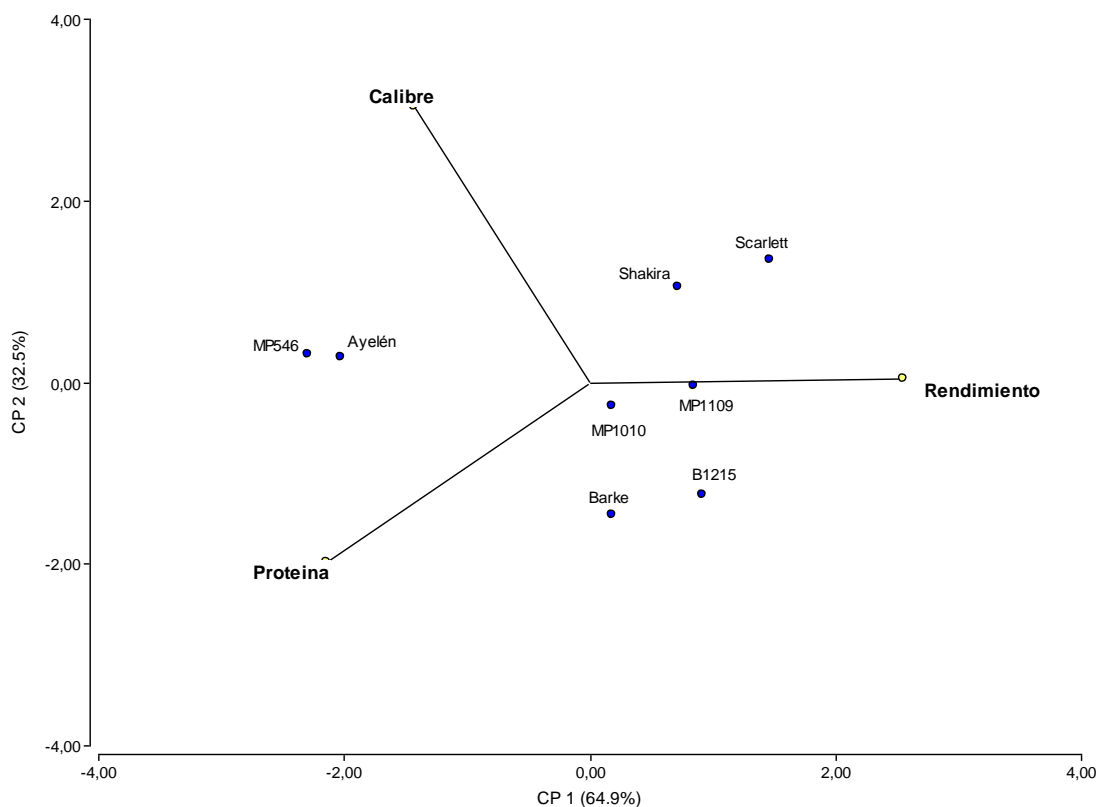


Figura 11. Biplot de componentes principales ordenado por genotipo. Los puntos corresponden a los valores medios de cada genotipo.

Como conclusión de estos gráficos se puede decir que la variable que más condicionó el comportamiento de los genotipos fue el ambiente, ya que los grupos de ambientes se encontraron en zonas definidas (Fig. 9). Sin embargo, merece destacarse que no resultó factible agrupar los ambientes por zonas geográficas, siendo también importante la variabilidad interanual (Fig. 10). El ambiente condicionó mayormente el comportamiento; sin embargo, dentro de cada ambiente los genotipos presentaron diferencias aunque más sutiles (Fig. 11).

#### 4.5. Relación entre variables

##### 4.5.1. La relación entre rendimiento, proteína y calibre

No hubo una relación significativa entre el porcentaje de proteína en grano y el rendimiento para el conjunto de los datos. Sin embargo, para rendimientos menores a 4000 kg/ha, el rango de porcentaje de proteína explorado fue altamente variable (de

8,9 a 19,9 %), mientras que para rendimientos superiores a 4000 kg/ha el rango de proteína fue acotado (de 10,8 a 14,5 %). Esta respuesta fue independiente del genotipo, ya que se puede observar en los ambientes marcados (08-Barrow, 08-Diamante, 08-Cabildo y 07-Daireaux) en la Figura 12 que las diferencias en proteína y rendimiento se dan principalmente por el ambiente, y en una segunda instancia por el genotipo. Para la base de datos en estudio, altos rendimientos no se asociaron entonces necesariamente con mermas (o incrementos) en el porcentaje de proteína en grano.

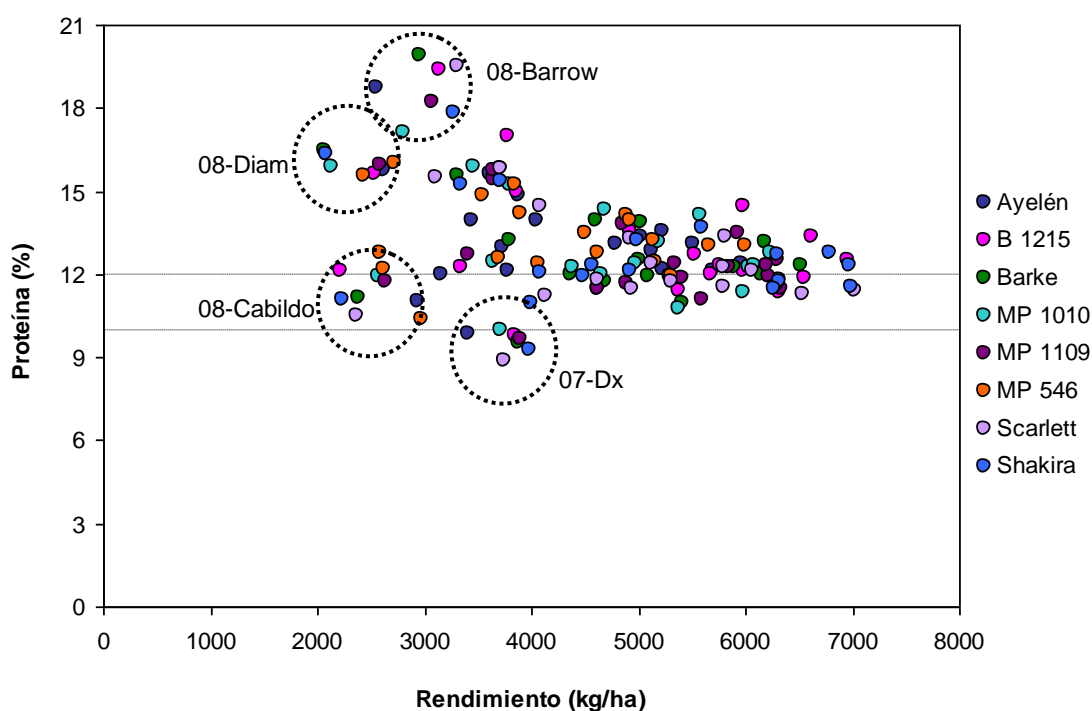


Figura 12. Relación entre proteína y rendimiento diferenciando por genotipo. Las líneas punteadas horizontales indican el rango de proteína aceptado comercialmente.

El porcentaje de proteína en grano se relacionó negativamente con el calibre de los granos (Fig. 13). El análisis de regresión para el conjunto de los datos (sin diferenciar por genotipo) arrojó una pendiente (b) de -0,059, una ordenada al origen (a) de 17, y un coeficiente  $r^2$  de 0,59. Barke y B 1215 fueron genotipos que se caracterizaron por presentar un bajo calibre más allá de su contenido proteico. Granos con porcentaje de proteína superior al 14% se asociaron con partidas de bajo calibre.

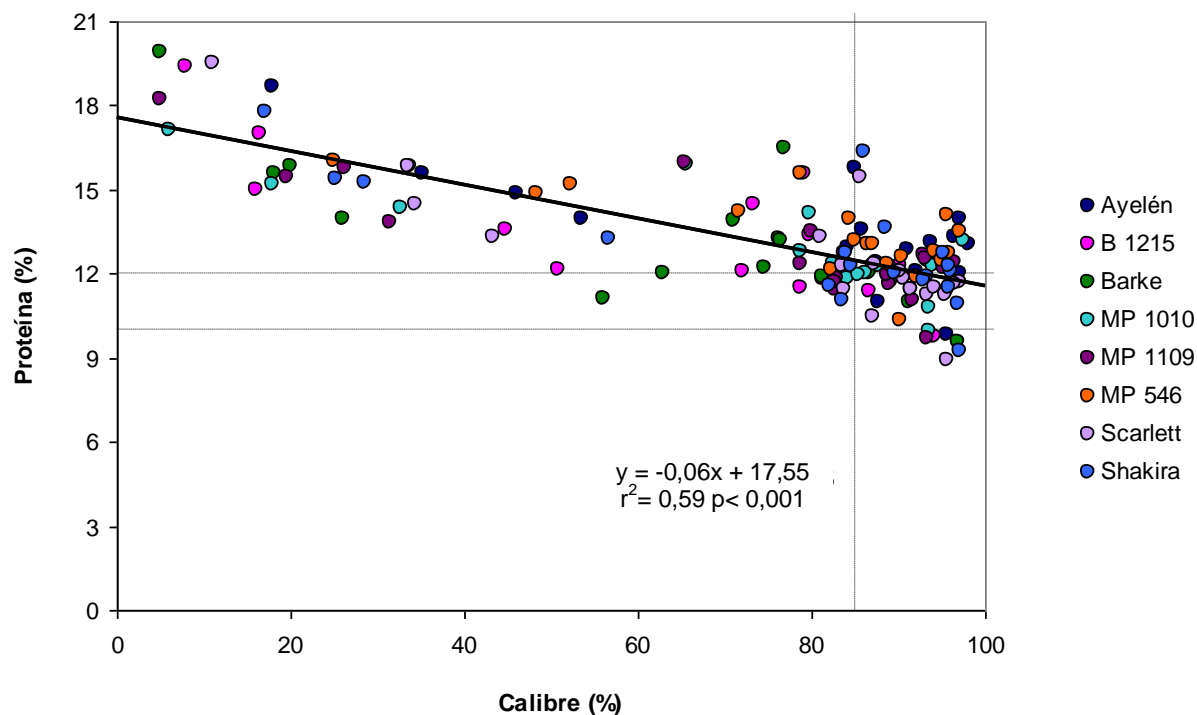


Figura 13. Relación entre proteína y calibre diferenciando por genotipo. Las líneas punteadas horizontales indican el rango de proteína aceptado comercialmente. La línea de puntos vertical indica el porcentaje de calibre mínimo requerido. La línea llena representa el ajuste de regresión.

Las relaciones establecidas entre proteína y calibre determinaron que una baja proporción de las partidas de granos analizadas sea apta comercialmente (27 datos de 152, 18%).

#### 4.5.2. Efecto del clima como condicionante del rendimiento, proteína y calibre

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo (contabilizando los meses de junio a diciembre) condicionaron el rendimiento final alcanzado, teniéndose que el rendimiento aumentó 8 kg/ha por cada 1 mm de incremento en las precipitaciones (Fig. 14). No hubo relación estadísticamente significativa entre el rendimiento y las variaciones en temperatura mínima, temperatura máxima o temperatura media sean contabilizadas para todo el ciclo, durante el período de pre-floración o de post-floración ( $p > 0,10$ ).



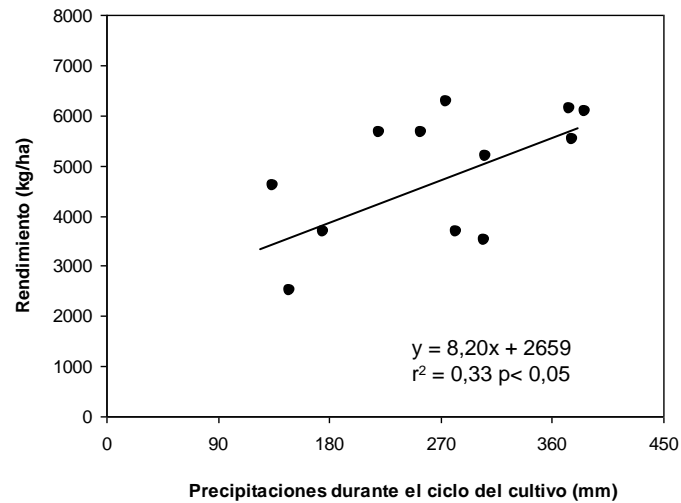


Figura 14. Relación entre el rendimiento y las precipitaciones durante el ciclo del cultivo. La línea llena representa el ajuste de regresión. Datos promedio de rendimiento para cada ambiente.

Aumentos en el contenido de proteína en grano estuvieron asociados positivamente con altas temperaturas durante el período de post-floración (Fig. 15). Por cada un 1 °C de incremento en las temperaturas medias en post-floración el porcentaje de proteína en grano aumentó 0,37 % (Fig. 15). No hubo efecto de las precipitaciones en post-floración sobre el contenido de proteína en grano ( $p < 0,10$ ).

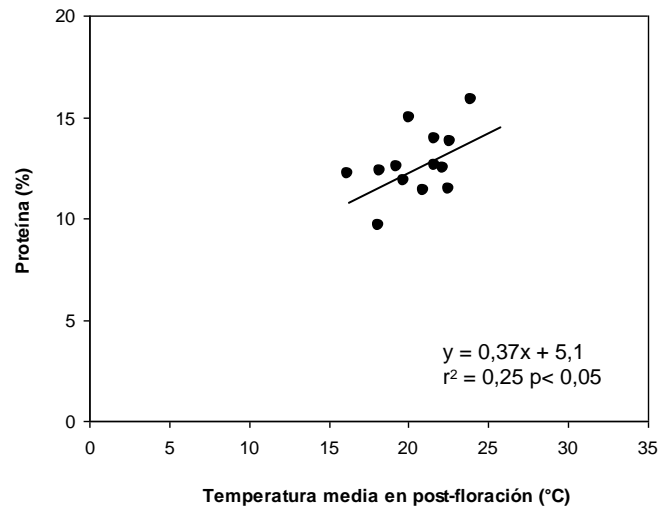


Figura 15. Relación entre el porcentaje de proteína en grano y la temperatura media en post-floración. La línea llena representa el ajuste de regresión. Datos promedio de proteína para cada ambiente.

Por otro lado, disminuciones en el calibre estuvieron asociadas a la ocurrencia de altas temperaturas en post-floración (Fig. 16), sin que se establezca una relación significativa con el nivel de precipitaciones en post-floración ( $p < 0,10$ ). Incrementos en la temperatura media en post-floración de 1 °C generaron una disminución del 2,3 % en el calibre.

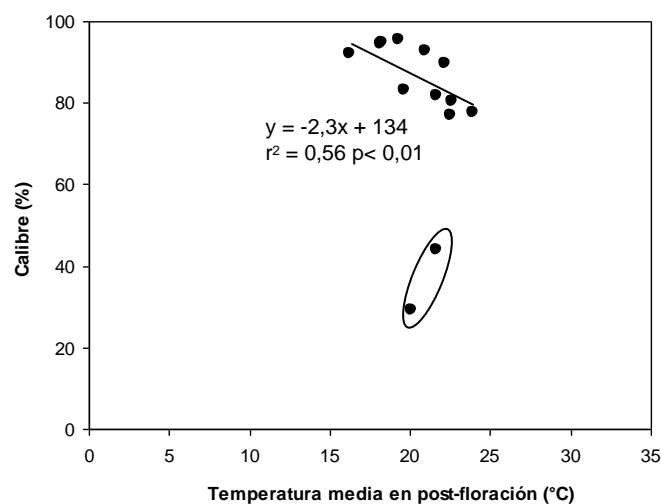


Figura 16. Relación entre el calibre y la temperatura media en post-floración. La línea llena representa el ajuste de regresión. Los datos en círculo, menores a un calibre del 50%, no fueron considerados en el análisis de regresión (Bordenave 2008, Tres Arroyos 2008). Datos promedio de calibre para cada ambiente.

## **5. Discusión**

El cultivo de cebada cervecera en Argentina presenta en la actualidad un importante crecimiento. En los últimos años el área de cebada se expandió, y al hacerlo abarcó nuevos ambientes, en los cuales no es conocido el comportamiento del cultivo, más aun considerando la introducción permanente de nuevos materiales al mercado. En el presente trabajo, y con objeto de conocer el comportamiento de los genotipos de cebada en diferentes ambientes, se realizó una evaluación de las variedades de cebada utilizando una base de datos pública correspondiente a la Red Nacional de Evaluación de Cultivares (INTA Bordenave, 2009). Se utilizó un análisis de varianza para comprobar la interacción genotipo por ambiente, posteriormente se realizó un análisis de índice ambiental y por último un análisis de componentes principales. Con estos análisis fue posible no sólo caracterizar los distintos genotipos evaluados sino también las principales áreas de producción y la interacción genotipo x ambiente. Cabe destacar que, a futuro, sería valioso incorporar dentro de la información proporcionada por la Red, datos referidos a características generales de la

conducción de los ensayos (fecha y densidad de siembra, nivel de fertilización, presencia o no de plagas y enfermedades, control de malezas, etc.) así como la descripción de los datos meteorológicos.

Tanto en el caso de rendimiento, como de proteína y calibre se detectó un fuerte impacto del factor ambiental sobre la respuesta, siendo el resto de la respuesta explicado en segundo lugar por la interacción genotipo x ambiente y por último por el genotipo. Es importante destacar el amplio rango de rendimientos explorado en el análisis, ya que se observaron rendimientos desde 1450 a 8400 kg/ha, con un rendimiento medio de 4550 kg/ha. Este rendimiento medio fue superior al rendimiento medio real a nivel país, donde para las dos campañas analizadas el rendimiento medio nacional para el cultivo de cebada cervecera fue de 3655 kg/ha (MAGyP, 2010). Esta diferencia puede deberse a que los ensayos se realizan en ambientes de productividad media a alta y a que la heterogeneidad de ambientes explorados a nivel productivo es amplia, dada esa heterogeneidad no sólo por la diversidad de sitios considerados sino también por la implementación de diferentes prácticas de manejo entre productores. A su vez, debe considerarse que los ensayos fueron cosechados mediante máquinas experimentales, lo cual reduce las pérdidas de cosecha. A nivel país, las pérdidas promedio de cosecha en el cultivo de cebada han sido cuantificadas en 126 kg/ha (ca. 5% del rendimiento medio nacional) (Bragachini et al., 2011).

Los resultados del presente trabajo dejan a descubierto el alto potencial de rendimiento de la cebada, aspecto que no siempre se refleja a campo ya que tradicionalmente es un cultivo destinado a los lotes de menor productividad en comparación con el cultivo de trigo. Sin embargo, es un cultivo que puede ser competitivo frente al trigo, ya que alcanza rendimientos similares e incluso superiores (de hecho, el rendimiento medio nacional de trigo fue de 2730 kg/ha en esas dos campañas según datos del MAGyP, 2010).

Dentro de la base de datos utilizada, los ambientes estuvieron conformados por la combinación de sitios y años, así como por condiciones diversas de fechas de

siembras (en dos situaciones) y tratamientos de no aplicación de fungicidas (en otras dos situaciones). La diversidad de condiciones exploradas permitió considerar un alto número de ambientes analizados y alcanzar así un amplio rango de variaciones en rendimiento, proteína y calibre, sin que se genere en los ajustes un desvío de la linealidad o exploración de condiciones outliers, requisito a considerar para que el análisis de índice ambiental sea válido (Sharma, 2006). El ambiente fue el principal modulador de las variaciones obtenidas en todas las variables analizadas (rendimiento, porcentaje de proteína en grano y calibre). El rango de ambientes explorados en las dos campañas analizadas fue sumamente amplio, ya que se analizaron varios sitios en diferentes años. Como prueba de esto se observa que los índices ambientales para rendimiento presentaron valores que van de los 2400 a los 6400 kg/ha. En las dos campañas analizadas no fue posible caracterizar un ambiente solamente por su sitio, ya que hubo una gran variabilidad con el efecto año. El año 2008 se caracterizó por presentar condiciones que generaron estrés hídrico y térmico en los cultivos, especialmente en los últimos meses de su ciclo, coincidiendo con el período de llenado de granos, afectando rendimiento y calidad. Sería entonces interesante estudiar el efecto año en un mayor período de tiempo y ampliando la base de datos. Tampoco fue posible zonificar las respuestas, ya que localidades o sitios cercanos geográficamente presentaron diferentes comportamientos en cuanto a rendimiento, proteína y calibre.

El ambiente en el cual se obtuvo el mayor rendimiento medio fue 08-Balcarce con 6282 kg/ha, con un porcentaje de proteína de 11,8% y un calibre de 83%. A pesar del elevado rendimiento y el correcto contenido de proteína, el calibre no alcanzó al necesario para el estándar de comercialización. De todos los ambientes evaluados el único que cumplió con el estándar de comercialización fue 07-Bigand, que presentó un rendimiento de 4579 kg/ha, un porcentaje de proteína de 11,8% y un calibre de 86,6%.

La elección del genotipo constituye un aspecto fundamental dentro de la toma de decisiones a nivel productivo. Esta diferencia se manifiesta a nivel zonal, donde las

diferencias en rendimiento y calidad se debieron principalmente al genotipo. En cambio cuando se analizan varios ambientes a nivel país (localidades distantes en diferentes campañas), como en este trabajo, las principales diferencias estuvieron dadas por el ambiente. El genotipo que alcanzó el mayor rendimiento medio fue Scarlett, además en el análisis de índice ambiental presentó una pendiente cercana a 1, por lo que es un genotipo que responde linealmente a mejoras en el ambiente. Estos datos explicarían las razones por las que Scarlett es el genotipo más utilizado a nivel país. El genotipo Shakira presentó un buen rendimiento, pero es de destacar su elevada pendiente, otorgándole una alta adaptabilidad a buenos ambientes. Ayelén es el genotipo que presentó mayor adaptabilidad a malos ambientes, ya que su pendiente fue la más baja de todos los genotipos evaluados, además de ser el genotipo más estable en rendimiento.

En cebada destinada a la industria maltero-cervecera la calidad del grano juega un rol tan importante como el rendimiento. En cuanto a contenido de proteína en grano, los genotipos fueron bastante semejantes, ya que no hubo grandes diferencias entre ellos, siendo Scarlet el cultivar que presentó el valor medio de proteína más cercano al estándar de comercialización. La diferencia observada entre genotipos para el valor de proteína medio fue de 0,96%. El rango de proteína explorado fue elevado, de 11,2% a 19,9%, con un promedio de 12,8%. El estándar de calidad requiere partidas de 10% a 12% de proteína, por lo que en este caso una gran cantidad de las partidas obtenidas en los ensayos analizados sería de rechazo. El rango de pendientes exploradas para el análisis de índice ambiental presentó una mayor amplitud que la de rendimiento, ya que se obtuvieron valores entre 0,67 y 1,17. El genotipo MP 546 fue el que presentó la menor pendiente, siendo el genotipo más estable en porcentaje de proteína; mientras que Barke y Scarlett fueron los que presentaron las mayores pendientes. A diferencia de lo buscado en rendimiento, en el caso de porcentaje de proteína, el genotipo ideal sería aquel que presente valores de proteína medios entre 10 y 12% y para ese caso

con baja pendiente. O sea que presentaría valores correctos de proteína frente a un amplio rango de calidad ambiental.

En cuanto a calibre, los genotipos presentaron diferencias, pero en la mayoría de los casos sus valores medios estuvieron por debajo del requerido por el estándar de comercialización. Se pueden diferenciar grupos de genotipos con mayores valores de calibre, como ser MP 546 y Ayelén, mientras que Barke y B 1215 presentaron los menores valores medios de calibre. Entre ambos grupos las diferencias en porcentaje de calibre llegó a ser de 15 puntos porcentuales.

Se observó una relación negativa entre el porcentaje de proteína y el calibre de los granos. Sin embargo, las partidas que presentaron calibres elevados también presentaron valores de proteína aptos. A pesar de esperarse una relación negativa entre rendimiento y proteína (a mayor rendimiento menor proteína) (Triboi y Triboi-Blondel, 2002), para el presente conjunto de datos no se encontró relación entre ambos. En el presente trabajo el ambiente fue, para el conjunto de datos, el principal modulador de las variaciones en rendimiento y porcentaje de proteína siendo la falta de correlación entre ambas variables explicada por el hecho que el rango de rendimiento explorado (1450 a 8400 kg/ha, representando una variación de ca.480 % entre el valor mínimo y máximo) fue sensiblemente superior en términos relativos al rango de porcentaje de proteína explorado (11,2% a 19,9%, siendo una variación relativa de ca. 80%). Es decir que la definición del porcentaje de proteína en grano fue un carácter más conservativo que la definición del rendimiento.

Un aspecto a considerar es que la sequía y elevadas temperaturas presentes en la campaña 2008 influyeron en los cultivos acortando la duración del periodo de llenado de granos, reduciendo el peso del grano y dando altos porcentajes de proteína y bajos calibres. De hecho, ambientes con altas precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo favorecieron el establecimiento de altos rendimientos. A su vez, las temperaturas en post-floración fueron el principal condicionante del contenido de proteína en los granos y del calibre. Para el grupo de datos analizados, las variaciones en precipitaciones y

temperatura estuvieron dadas tanto por la diversidad de sitios como de años explorados. Dado el impacto del ambiente como determinante de las variables ecofisiológicas analizadas, un aspecto futuro a considerar es el estudio de la variabilidad climática (i) entre sitios y (ii) entre años para un mismo sitio.

Para el conjunto de variables ecofisiológicas analizadas (rendimiento, proteína en grano, calibre) y en base a todos los análisis realizados, a nivel genotipo, se puede observar que algunos de ellos presentan similitudes entre sí en sus comportamientos, como ser MP 546 con Ayelén y Scarlett con Shakira. Sin embargo, un aspecto importante a destacar es que dentro de las condiciones evaluadas sólo el 18% de las situaciones presentaron valores de porcentaje de proteína en grano y de calibre dentro del rango demandando por la industria, sin que ello estuviera asociado a algún genotipo en particular. Este dato revela la importancia de la calidad como determinante de la viabilidad comercial del cultivo a nivel productivo. Y constituye, a su vez, un aspecto a ser considerado dentro de las líneas emprendidas en investigación.

En síntesis, las condiciones ambientales fueron las que explicaron en mayor medida la variabilidad en rendimiento, porcentaje de proteína y calibre, pese a que los mismos genotipos en diferentes ambientes presentaron diferentes respuestas. Las diferencias entre genotipos fueron más sutiles que las ambientales, pero importantes al momento de elegir un genotipo para un lote en particular.



## **6. Conclusiones**

La primer hipótesis planteaba que *(i) Tanto el rendimiento como las variables de calidad (i.e. porcentaje de proteína en grano y calibre) presentarán modificaciones por variaciones en el ambiente o el genotipo utilizado, siendo la interacción GxA mayor que el efecto directo del ambiente o de los genotipos como componente explicativa de dichas variaciones.*

La primer hipótesis planteada es rechazada, ya que se detectó que la componente que mayor efecto ejerció sobre el rendimiento, el porcentaje de proteína o el calibre fue el ambiente, siendo seguido por la interacción GxA y por último por el genotipo.

La segunda hipótesis indicaba que *(ii) Los materiales que presenten alto valor medio de una variable dada (rendimiento, porcentaje de proteína en grano o calibre) presentarán también mayor grado de adaptabilidad para esa variable ante mejoras en las condiciones ambientales.*

La segunda hipótesis planteada es parcialmente aceptada ya que altos valores medios de rendimiento estuvieron asociados con altos valores del parámetro de adaptabilidad b. Mientras que para porcentaje de proteína en grano y calibre no hubo relación entre su valor medio y la adaptabilidad.

La tercer hipótesis mencionaba que *(iii) Altos rendimientos (sea por efecto del ambiente o genotípico) se asociarán con disminuciones en el porcentaje de proteína en grano y disminuciones en el calibre, tanto por efecto del ambiente como del genotipo.*

Esta hipótesis planteada también es rechazada, ya que para el conjunto de datos con los que se trabajó no se logró detectar una disminución en el porcentaje de proteína o el calibre de los granos ante aumentos del rendimiento.

La cuarta hipótesis establecía que *(iv) Las variables que definen la calidad del grano (porcentaje de proteína en grano y calibre) presentarán una asociación negativa entre sí ya que incrementos en la temperatura (asociado al factor ambiente) durante el*

*período de llenado generarán aumentos en el porcentaje de proteína pero disminuciones en el calibre.*

Esta hipótesis es aceptada ya que aumentos en el porcentaje de proteína en grano se asociaron con bajos calibres, dándose que aumentos en la temperatura en post-floración generaron altos porcentajes de proteína en grano pero disminuciones en el calibre.

## **7. Referencias bibliográficas**

- Abeledo LG, Calderini DF, Slafer GA, 2003a. Genetic improvement of barley yield potential and its physiological determinants in Argentina (1944–1998). *Euphytica* 130: 325-334.
- Abeledo LG, Calderini DF, Slafer GA, 2003b. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica* 133: 291-298.
- Bragachini M; Méndez A, Peiretti J, Scaramuzza F, Villarroel D, Vélez JP, Sánchez, F, 2011. Reguladores automáticos de flujo en cosechadoras. Red Agricultura de Precisión. <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/cosecha.asp>. Verificado 06 de febrero de 2012.
- CACBUE, 2010. Cámara Arbitral de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Norma V Anexo A. Norma de Calidad para la Comercialización de Cebada Cervecera. <http://www.cabcbue.com.ar/>. Verificado 15 de septiembre de 2010.
- Calviño PA, Sadras VO, Andrade FH, 2003. Quantification of environmental and management effects on the yield of late-sown soybean. *Field Crops Research* 83: 67-77.
- Cattáneo M, 2011. Los mercados de cebada cervecera en Argentina y en el mundo. En: Cebada cervecera. Eds. Miralles DJ, Benech-Arnold RL, Abeledo LG. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. pp. 275-284.
- de la Vega AJ, de la Fuente EB, 2004. Elección de genotipos. En: Producción de Granos. Satorre EH, Benech Arnold RL, Slafer GA, de la Fuente EB, Miralles DJ, Otegui ME, Savin R (eds.). Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. pp. 317-349.
- Di Rienzo JA, Balzarini M, Gonzalez L, Casanoves F, Tablada M, Robledo CW, 2009. InfoStat. Versión estudiantil. <http://www.infostat.com.ar>.
- Eberhart A, Rusell W, 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40.

- Evans LT, Fischer, RA, 1999. Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance. *Crop Science* 39: 1544-1551.
- FAO (2010) Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Agricultural Information Centre. Agriculture data. <http://www.fao.org/>. Verificado 01 de octubre de 2009.
- Finlay KW, Wilkinson AA, 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 742-754.
- Fischbeck G, 2002. Contribution of Barley to Agriculture: A Brief Overview. En: *Barley Science: Recent Advances from Molecular Biology to Agronomy of Yield and Quality*. Eds. Slafer GA, Molina Cano JL, Araus JL, Savin R, Romagosa I. *Journal of Crop Production*. The Haworth Press, Inc. New York. pp. 1-14.
- Fischer R.A., Howe G.N., Ibrahim Z., 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. I. Grain yield and protein content. *Field Crops Research* 33: 37-56.
- GraphPad, 2009. GraphPad Prism. Graph Pad Software, Inc. <http://www.graphpad.com>.
- INTA Bordenave, 2009. Red Nacional de Cebada Cervecera. EEA INTA Bordenave. [http://www.inta.gov.ar/bordenave/actividad/red\\_cebada/intro.htm](http://www.inta.gov.ar/bordenave/actividad/red_cebada/intro.htm). Verificado 01 de octubre de 2009.
- MAGyP, 2010. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Estimaciones y Estadísticas. <http://www.sii.gov.ar/>. Verificado 19 de noviembre de 2010.
- Passarella VS, Savin R, Slafer GA, 2002. Grain weight and malting quality as affected by brief periods of increased spike temperature under field conditions. *Australian Journal of Agricultural Research* 53: 1219-1227.
- Passarella VS, Savin R, Abeledo LG, Slafer GA, 2003. Malting quality as affected by barley breeding (1944-1998) in Argentina. *Euphytica* 134: 161-167.

- Savin R, Aguinaga A, 2011. Los requerimientos de la industria: calidad comercial e industrial y sus determinantes. En: Cebada cervecera. Eds. Miralles DJ, Benech-Arnold RL, Abeledo LG. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. pp. 205-241.
- Sharma JR, 2006. En: Analysis of stability parameters. En: Statistical and Biometrical Techniques in Plant Breeding. Eds. Sharma JR. New Age International (P) Limited, Publishers. New Dehli. pp. 107-124.
- Triboï E., Triboï-Blondel A.M., 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem - invited paper. European Journal of Agronomy 16: 163-186.
- Tutiempo Network S.L. (2011). El tiempo en el mundo. <http://www.tutiempo.net/>. Verificado el 15 de junio de 2011.
- Voltas J, van Eeuwijk, García del Moral LF, Molina-Cano JL, Romagosa I, 2001. Genotype by Environment Interaction and Adaptation in Barley Breeding: Basic Concepts and Methods of Analysis. En: Barley: Recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality. Slafer GA, Molina-Cano JL, Araus JL, Savin R, Romagosa I (eds.). Journal of Crop Production. Food Product Press N.Y. pp. 205-241.

**Anexo**



Figura A1. Ubicación geográfica de las localidades que conformaron la base de datos utilizada. Tomado de Google Earth versión 5.2.1.1588.

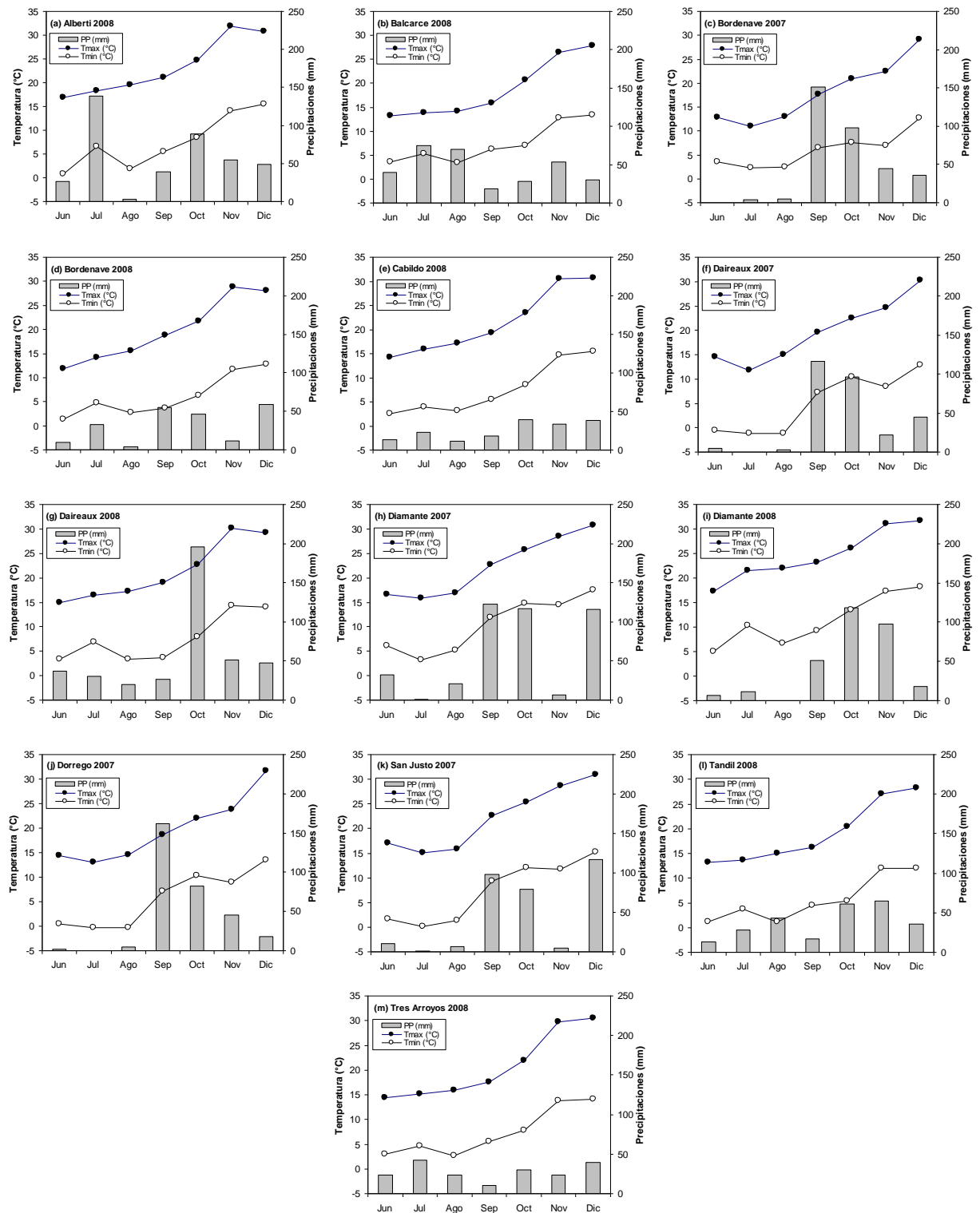


Figura A2. Temperatura mínima media mensual, temperatura máxima media mensual y precipitaciones acumuladas por meses para los ambientes Alberti 2008 (a), Balcarce 2008 (b), Bordenave 2007 (c) y 2008 (d), Cabildo 2008 (e), Daireaux 2007 (f) y 2008 (g), Diamante 2007 (h) y 2008 (i), Borrego 2007 (j), San Justo 2007 (k), Tandil 2008 (l), y Tres Arroyos 2008 (m). Datos en (a, f, g, h, i, m) tomados de Tutiempo Network S.L. (2011). Datos en (b, c, d, e, j, k, l) tomados de MAGyP (2010).

Tabla A1. Ambiente, abreviatura e índice ambiental para la variable rendimiento. Los ambientes se encuentran ordenados de menor a mayor Índice Ambiental (IA).

<b>Ambiente (localidad año)</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>IA (kg/ha)</b>
Diamante 2008	08-Diam	2447
Cabildo 2008	08-Cabildo	2498
Barrow 2008	08-Barrow	2980
Bordenave 2007 Primera fecha	07-Bv1	3511
Tres Arroyos 2008 Segunda fecha	08-TA2	3641
Bordenave 2008	08-Bv	3678
Daireaux 2007	07-Dx	3683
Bigand 2007 Sin fungicida	07-Big SF	4299
Bigand 2007 Con fungicida	07-Big CF	4579
Tres Arroyos 2008 Primera fecha	08-TA1	4597
Dorrego 2007	07-Dorr	5175
Diamante 2007 Sin fungicida	07-Diam SF	5177
Alberti 2008	08-Alb	5509
San Justo 2007	07-SJ	5665
Tandil 2008	08-Tandil	5669
Bordenave 2007 Segunda fecha	07-Bv2	5854
Daireaux 2008	08-Dx	6088
Diamante 2007 Con Fungicida	07-Diam CF	6122
Balcarce 2008	08-Bal	6282



Tabla A2. Ambiente, abreviatura e índice ambiental para la variable proteína. Los ambientes se encuentran ordenados de menor a mayor Índice Ambiental (IA).

<b>Ambiente (localidad año)</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>IA (%)</b>
Daireaux 2007	07-Dx	9,66
San Justo 2007	07-SJ	11,41
Cabildo 2008	08-Cabildo	11,46
Bigand 2007 Con fungicida	07-Big CF	11,80
Balcarce 2008	08-Bal	11,83
Bigand 2007 Sin fungicida	07-Big SF	12,10
Bordenave 2007 Primera fecha	07-Bv1	12,19
Dorrego 2007	07-Dorr	12,32
Diamante 2007 Sin fungicida	07-Diam SF	12,36
Diamante 2007 Con Fungicida	07-Diam CF	12,48
Tandil 2008	08-Tandil	12,56
Bordenave 2007 Segunda fecha	07-Bv2	12,63
Daireaux 2008	08-Dx	12,63
Alberti 2008	08-Alb	13,81
Tres Arroyos Primera fecha	08-TA1	13,91
Bordenave 2008	08-Bv	14,98
Tres Arroyos Segunda fecha	08-TA2	15,78
Diamante 2008	08-Diam	15,88
Barrow 2008	08-Barrow	18,33

Tabla A3. Ambiente, abreviatura e índice ambiental para la variable calibre. Los ambientes se encuentran ordenados de menor a mayor Índice Ambiental (IA).

<b>Ambiente (localidad año)</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>IA (%)</b>
Barrow 2008	08-Barrow	11,9
Bordenave 2008	08-Bv	29,1
Tres Arroyos Segunda fecha	08-TA2	30,8
Tres Arroyos Primera fecha	08-TA1	44,1
Cabildo 2008	08-Cabildo	77,0
Diamante 2008	08-Diam	77,8
Alberti 2008	08-Alb	80,5
Daireaux 2008	08-Dx	81,7
Balcarce 2008	08-Bal	83,0
Diamante 2007 Sin fungicida	07-Diam SF	83,3
Bigand 2007 Sin fungicida	07-Big SF	86,6
Bigand 2007 Con fungicida	07-Big CF	89,2
Diamante 2007 Con Fungicida	07-Diam CF	89,7
Bordenave 2007 Segunda fecha	07-Bv2	90,7
Bordenave 2007 Primera fecha	07-Bv1	92,0
San Justo 2007	07-SJ	92,6
Daireaux 2007	07-Dx	94,6
Dorrego 2007	07-Dorr	95,0
Tandil 2008	08-Tandil	95,7