

¿CUÁLES FUERON LAS ESTRATEGIAS DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE CEBADA CERVECERA EN ARGENTINA EN LOS ÚLTIMOS 40 AÑOS?

Ibañez, C.^{1*}; Abeledo, L.G.^{1,2}; Rondanini, D.^{1,2}; Miralles, D.^{1,2}

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, C1417DSE, Buenos Aires, Argentina

² IFEVA-CONICET, Av. San Martín 4453, C1417DSE, Buenos Aires, Argentina

*E-mail: ibanez@agro.uba.ar

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cebada es el cuarto cereal del mundo por volumen de producción, detrás de maíz, arroz y trigo (FAOSTAT, 2022). En Sudamérica, la Argentina es el mayor productor de cebada (USDA, 2022), especializándose en cebada maltera cuya producción ha aumentado de forma notable y sostenida desde fines de la década del '80. El volumen de producción de un cultivo depende de la superficie destinada al mismo y de los rendimientos logrados. Dada la limitación física de expandir el área agrícola, la clave para aumentar la producción radica en incrementar el rendimiento logrado por unidad de superficie. En este contexto, el mejoramiento genético cumple un rol destacado para lograr aumentos en rendimientos por unidad de área.

Año a año se ha evidenciado un aumento sostenido en los rendimientos logrados de cebada en Argentina (BCR, 2022), asociado al proceso de mejoramiento genético y al avance en el conocimiento del cultivo y a la aplicación de nuevas tecnologías de producción (Abeledo et al., 2003; Satorre y Andrade, 2020). Estudios anteriores determinaron que la tasa de ganancia de rendimiento de cebada cervecera en Argentina por efecto del mejoramiento genético fue de 41 a 27 kg ha⁻¹ año⁻¹, dependiendo de la condición ambiente y el período considerado (Abeledo et al., 2003; Giménez, 2017); con cultivares liberados hasta los años 1998 y 2007, respectivamente. Hasta los años '90 en Argentina el mercado de cebada maltera era dominado por cultivares desarrollados en programas de mejoramiento nacionales; sin embargo, a partir de fines de los '90 se introdujeron al mercado nacional cultivares de alto potencial de rendimiento de origen europeo, y actualmente la mayoría de los materiales de cebada con destino para maltería son introducciones (Cattaneo, 2011).

La demanda de cebada para malta es altamente específica en lo que a parámetros de calidad respecta. Parámetros como el calibre, el contenido de proteína, el extracto de malta, y el poder diastásico del grano, entre otras características, son cuidadosamente tenidos en cuenta por la industria maltera a la hora de ponderar un

lote de cebada. Ello determina que el éxito productivo del cultivo de cebada cervecera dependa de lograr altos rendimientos junto con adecuadas variables de calidad maltera.

No identificamos estudios recientes que hayan evaluado el rol del mejoramiento genético de cebada en Argentina durante los últimos años sobre el rendimiento y variables de calidad. Por ello, comprender el grado de avance en rendimiento y calidad como producto de la mejora genética y los factores que están detrás es requisito indispensable para orientar al proceso de mejora y priorizar de manera efectiva las investigaciones futuras. El objetivo general del trabajo fue estudiar las variaciones en el rendimiento y en variables de calidad en cultivares de cebada cervecera liberados al mercado comercial de Argentina en los últimos 40 años, los que fueron expuestos a diferentes condiciones ambientales mediante diferentes fechas de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar el objetivo propuesto se realizaron ensayos a campo utilizando cultivares comerciales de cebada cervecera liberados en los últimos 40 años en Argentina, los que fueron sembrados en diferentes fechas de siembra (óptimas y subóptimas), sin restricciones abióticas ni bióticas.

Los 10 (diez) cultivares utilizados, su año de liberación al mercado argentino (entre 1982 y 2019) y su país de origen se detallan en el **Tabla 1**. Estos cultivares fueron utilizados dada su relevancia a nivel local considerando su área sembrada y su persistencia a lo largo de los años.

Los cultivares mencionados se sembraron en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA; 34° 35' S, 58° 29' O), sobre un suelo Argiudol vértico, en 3 (tres) fechas de siembra: 7 abril de 2022 (temprana), 14 de junio de 2022 (intermedia) y 31 de agosto de 2022 (tardía). El diseño dentro de cada fecha de siembra fue completamente aleatorizado con tres repeticiones. La densidad de siembra fue de 270, 300 y 330 pl m⁻², para la fecha de siembra temprana, intermedia y tardía, respectivamente.

Tabla 1. Cultivares de cebada cervecera analizados: nombre del cultivar, año de liberación al mercado argentino y país de origen (entre paréntesis).

Cultivar	Año de liberación (origen)
ALFA QUILMES	1982 (Argentina)
PAINÉ QUILMES	1997 (Argentina)
SCARLETT	1999 (Alemania)
SHAKIRA	2007 (Alemania)
CARISMA QUILMES	2009 (Argentina)
ANDREIA	2011 (Alemania)
TRAVELER	2014 (Francia)
CHARLES	2017 (Dinamarca)
MONTOYA	2017 (Alemania)
ALHUE	2019 (Alemania)

La siembra se realizó con una sembradora experimental y cada unidad experimental poseía un tamaño de 6 m² (7 surcos distanciados 0,175 m por 5 m de largo). A partir de los análisis de suelo realizados en presiembra (nitratos 0-60 cm), los valores de nitrógeno en suelo se llevaron a 250 kg ha⁻¹, para ello se aplicó urea como fertilizante distribuido en 2 momentos: postemergencia y pleno macollaje. Solo se aplicó nitrógeno como fertilizante ya que el campo experimental no presentó deficiencias de P, S o Zn. Los cultivos fueron conducidos sin restricciones bióticas ni abióticas dado que fueron regados periódicamente y se aplicaron fungicidas, herbicidas e insecticidas, dentro de los protocolos vigentes.

En el estadio de madurez se realizó en cada unidad experimental un corte de biomasa (1 m lineal) para establecer la acumulación de biomasa aérea total. Las muestras se secaron en estufa a 55°C por 72 h para luego determinar peso seco. Se separaron las espigas, se trillaron manualmente y se determinó el rendimiento y sus componentes fisiológicos y numéricos. El peso de mil granos fue estimado a través de la medición del peso seco de una submuestra de 200 granos. El número de granos por m² fue estimado como el cociente entre el rendimiento y el peso de mil granos. El número de granos por espiga fue estimado como el cociente entre el número de granos por m² y el número de espigas por m². El índice de cosecha se determinó como el cociente entre el rendimiento y la biomasa total a madurez.

A madurez se cosechó manualmente la totalidad de las espigas de las hileras centrales de cada unidad experimental y fueron trilladas con una trilladora experimental. Se midió el calibre de los granos para las diferentes zarandas que estipulan las bases de comercialización argentinas (2,8 mm; 2,5 mm; 2,2 mm y menos de 2,2 mm) mediante un equipo Zonytest. Los

granos fueron molidos y se midió su contenido de nitrógeno mediante la técnica de Kjeldahl. La concentración de proteína en grano se calculó como su concentración de nitrógeno afectado por un factor de conversión de 6,25.

Los resultados se analizaron mediante ANOVA y test de Tukey (con 5% de significancia) utilizando el programa InfoStat (Di Rienzo et al., 2010). Para establecer asociaciones entre las variables a estudiar se realizaron análisis de regresiones lineales y/o no lineales considerando cada unidad experimental (n=30) mediante el programa GraphPad Prism (Radushev et al., 2012).

RESULTADOS

Rendimiento en grano

Los rendimientos promedios fueron de 784, 626 y 335 g m⁻² en las fechas de siembra temprana, intermedia y tardía, respectivamente. El progreso genético para el rendimiento en grano varió dependiendo de las fechas de siembra. Para la fecha de siembra temprana el progreso genético fue de 97 kg ha⁻¹ año⁻¹ (R²=0.24), y estadísticamente significativa (p<0.05), mientras que en la fecha intermedia fue de 40 kg ha⁻¹ año⁻¹ (R²=0.07), y no significativa (p=0.15) y en la fecha de siembra tardía sin tendencia significativa (p≥0.10) (**Figura 1**). El progreso genético relativo (relativo con respecto al rendimiento promedio de cada fecha de siembra) fue de 1,1 % año⁻¹ para la siembra temprana, 0,6 % año⁻¹ para la fecha intermedia con una tendencia no significativa y se observó esta misma tendencia en la fecha de siembra tardía. Los mayores rendimientos se registraron para Scarlett (1999) y Charles (2017) en la fecha de siembra temprana, Montoya (2017) en la fecha de siembra intermedia, y Scarlett (1999) y Carisma (2009) en la fecha de siembra tardía.

Componentes numéricos del rendimiento

El número de granos por m² fue de 17911, 12843 y 8040 granos m⁻² en las fechas de siembra temprana, intermedia y tardía, respectivamente. El NG m⁻² no presentó una tendencia significativa con el año de liberación en la fecha de siembra temprana, se mantuvo sin grandes variaciones en la fecha de siembra intermedia y no se observó un efecto del año de liberación para la fecha tardía. Por lo tanto, no se observa una tendencia significativa del NG m⁻² y el año de liberación. (**Figura 2**). El peso promedio del grano presentó en las fechas de siembra temprana, intermedia y tardía valores de 44, 48 y 41.5 g, respectivamente. El peso de los granos mostró una tendencia significativa con el año de liberación en las 3 fechas de siembra a diferencia de lo observado para el NG m⁻². El mayor peso de grano se observó en la fecha

intermedia superando al peso de los granos de la fecha temprana, y en la fecha tardía todos los cultivares presentaron el menor peso de grano (**Figura 2**). Este resultado es relevante porque se contrapone a lo observado en trigo, donde el mejoramiento fue sinónimo de aumentos en el $NG\ m^{-2}$.

Biomasa total y partición

La biomasa total a madurez promedio alcanzó valores de 1568, 1196 y 689 $g\ m^{-2}$ en la fecha de siembra temprana, intermedia y tardía, respectivamente. En las 3 fechas de siembra la producción de biomasa tendió a aumentar con el año de liberación, pero esa tendencia no fue significativa ($p > 0.05$). En la fecha de siembra intermedia todos los cultivares mostraron una menor producción de biomasa respecto de la fecha de siembra temprana y, si bien los rendimientos no fueron muy diferentes entre los cultivares, los cultivares modernos tendieron a presentar mayores valores de biomasa respecto de los cultivares más antiguos. En la fecha de siembra tardía todos los cultivares mostraron una menor producción de biomasa y se destacó Scarlett (1999) con 847 $g\ m^{-2}$ superando el promedio de 689 $g\ m^{-2}$. En la fecha de siembra tardía se quebró esa leve tendencia al aumento de biomasa con el año de liberación y fueron los cultivares más antiguos quienes presentaron un mejor comportamiento (**Figura 3**).

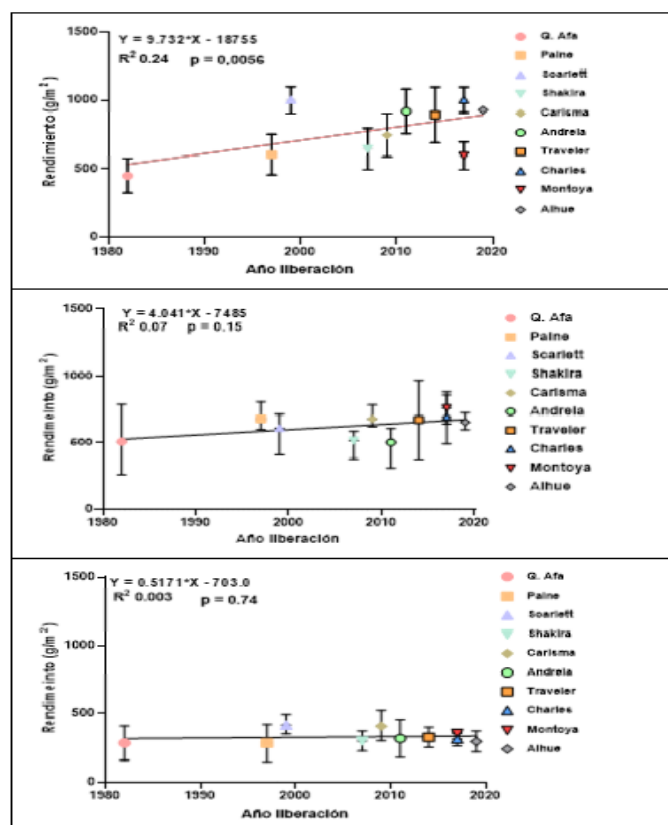


Figura 1. Rendimiento de cada cultivar cebada cervecera y año de liberación en una fecha de siembra temprana (panel superior), intermedia (panel central) y tardía (panel inferior). Dentro de cada panel, la línea llena corresponde al análisis de regresión. Se presentan los datos promedios de 3 repeticiones ($n = 30$).

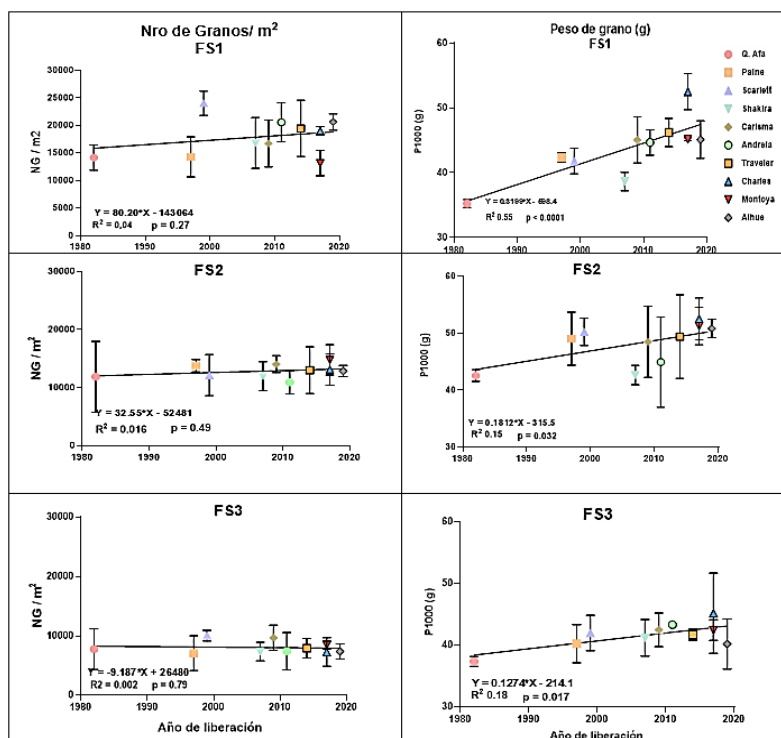


Figura 2. Número de granos por m^2 (panel izquierdo) y peso del grano (panel derecho) de cada cultivar de cebada cervecera y año de liberación en una fecha de siembra temprana (panel superior), intermedia (panel central) y tardía (panel inferior). Dentro de cada panel, la línea llena corresponde al análisis de regresión. Se presentan los datos promedios de 3 repeticiones ($n = 30$).

El índice de cosecha en la fecha de siembra temprana, intermedia y tardía fue de 0.50, 0.52 y 0.40%, respectivamente. La tendencia del IC fue creciente con el año de liberación en la fecha de siembra temprana e intermedia ($p < 0,05$). En la fecha de siembra temprana se destacó Scarlett (1999) con 0.55 de IC dentro de los cultivares antiguos. En la fecha de siembra tardía no se observa una tendencia significativa del IC y el año de liberación (**Figura 3**).

Proteína y calibre

La concentración de proteína en el grano en la fecha de siembra temprana estuvo entre 9,0% y 10,2%, en la fecha de siembra intermedia entre 11,0% y 13,4%, y en la última

fecha de siembra todos los cultivares superaron el 13%. En la fecha de siembra temprana, intermedia y tardía la concentración de proteína tendió a disminuir con el año de liberación, aunque solo se observó una tendencia estadísticamente significativa en la fecha intermedia, y se observó un aumento en la concentración de proteína en grano con el retraso de la fecha de siembra (**Figura 4**). En las fechas de siembra temprana e intermedia el porcentaje de granos retenidos en la zaranda de 2,5mm superó el 85% (1era calidad), en todos los cultivares a excepción de Q. Alfa (1982) que presentó un 77%. En la fecha de siembra intermedia se observaron los mayores valores de calibres para todos los cultivares, superando el 92%, y destacándose Andreia (2011) con 99%.

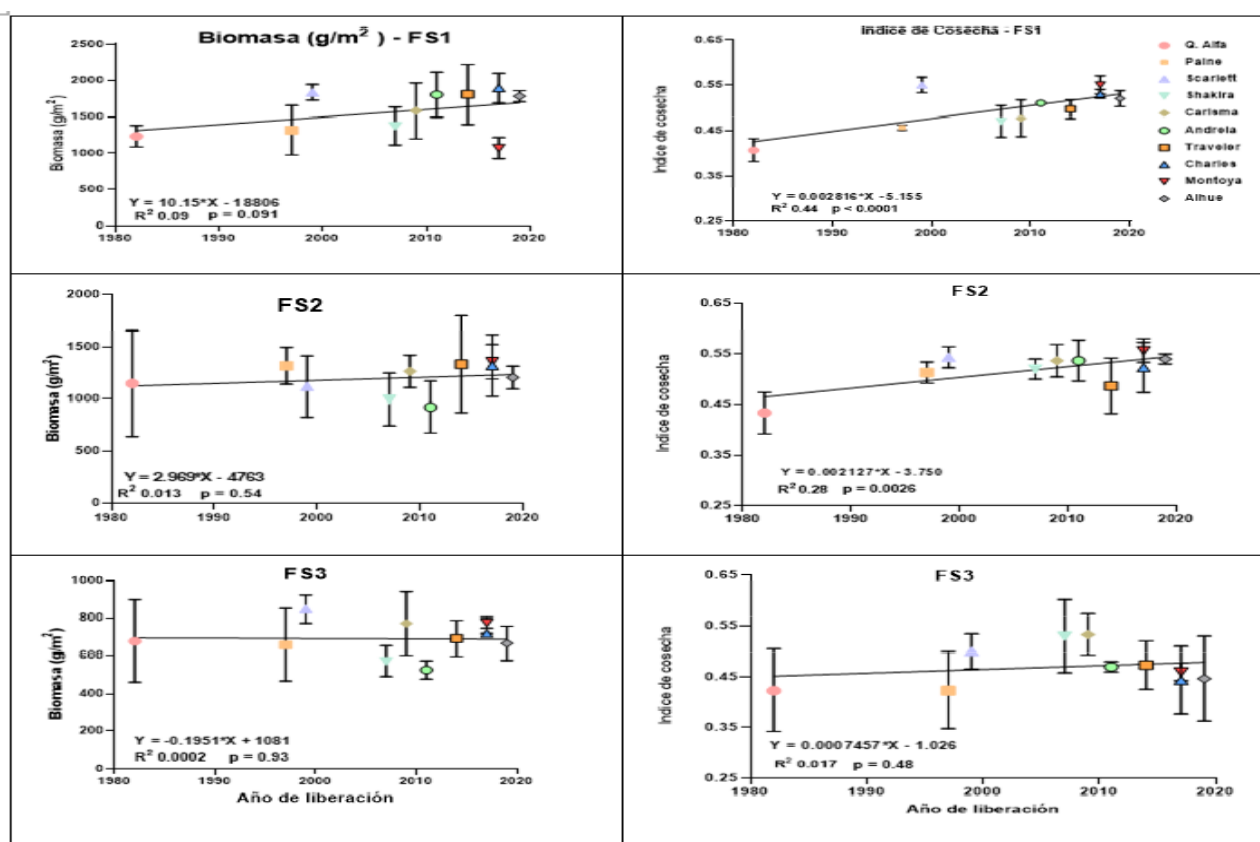


Figura 3. Biomasa total a madurez (panel izquierdo) e índice de cosecha (panel derecho) de cada cultivar de cebada cervecera y año de liberación en una fecha de siembra temprana (panel superior), intermedia (panel central) y tardía (panel inferior). Dentro de cada panel, la línea llena corresponde al análisis de regresión. Se presentan los datos promedios de 3 repeticiones (n = 30).

Los cultivares modernos fueron quienes mostraron los mayores calibres con valores entre 98-99%, solo Traveler (2014) obtuvo 92% pero superó ampliamente el 85% que la industria exige; al igual que Q. Alfa (1982) con un 91%. En la fecha de siembra tardía se observó un aumento del calibre con el año de liberación, pero la mayoría de los cultivares no superaron el 85% exigido por la industria. De los cultivares antiguos, Scarlett (1999) y Carisma (2009) superaron el 85% y de los modernos quienes superaron

el 85% fueron Andreia (2011), Charles (2017) y Montoya (2017) (**Figura 4**). *Relaciones funcionales*
La variabilidad entre cultivares y en los ambientes explorados permitió cubrir un amplio rango de rendimientos, entre 289 a 582 g m⁻². Las variaciones en rendimiento, para el conjunto de los datos, fueron explicadas por las variaciones en el número de granos logrados por m² más que por el peso de los granos dado el efecto de la fecha de siembra sobre ambas variables (**Figura 5**).

Con respecto al análisis de los componentes fisiológicos y el rendimiento total logrado, se observó una asociación positiva entre el rendimiento y la biomasa producida sin que se observase una asociación robusta entre el

rendimiento y las variaciones en el índice de cosecha. (Figura 6).

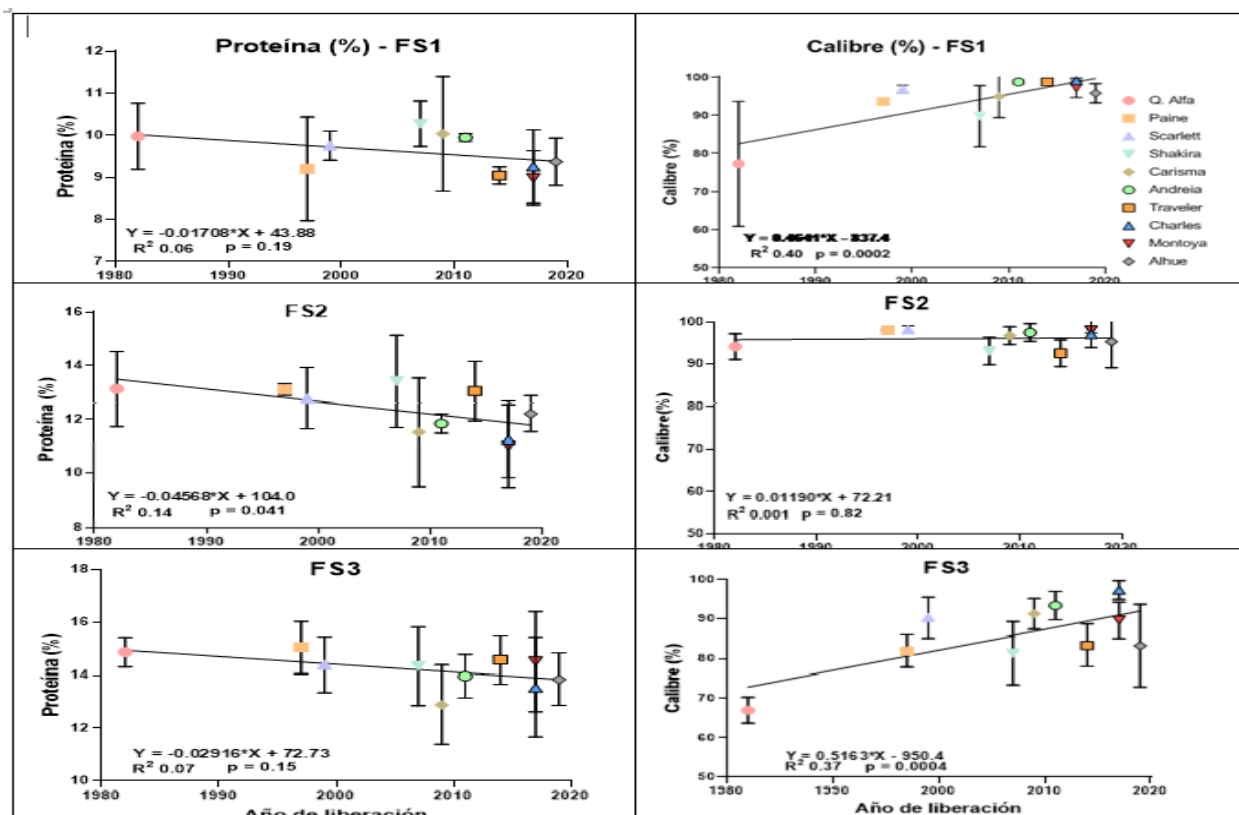


Figura 4. Concentración de proteína en el grano (panel izquierdo) y calibre (panel derecho) de cada cultivar de cebada cervecera y año de liberación en una fecha de siembra temprana (panel superior), intermedia (panel central) y tardía (panel inferior). Dentro de cada panel, la línea llena corresponde al análisis de regresión.

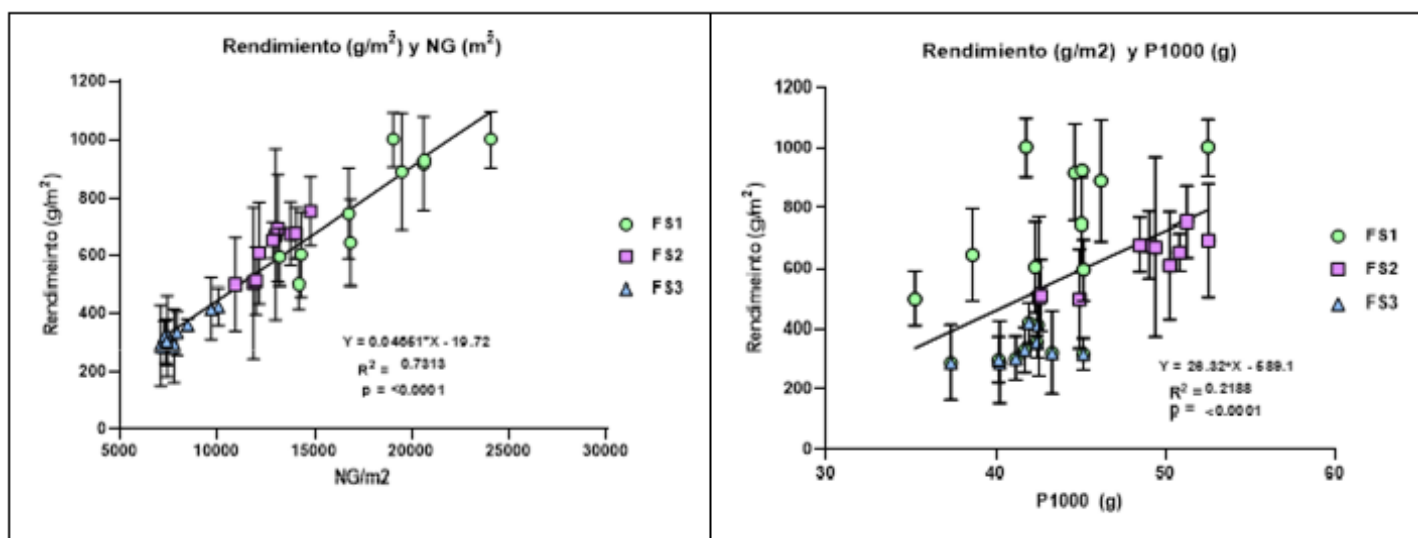


Figura 5. Rendimiento en función del número de granos por m² (NG m⁻², panel izquierdo) y del peso del grano (P1000, panel derecho), para cultivares de cebada liberados al mercado de 1982 a 2019 creciendo en tres fechas de siembra.

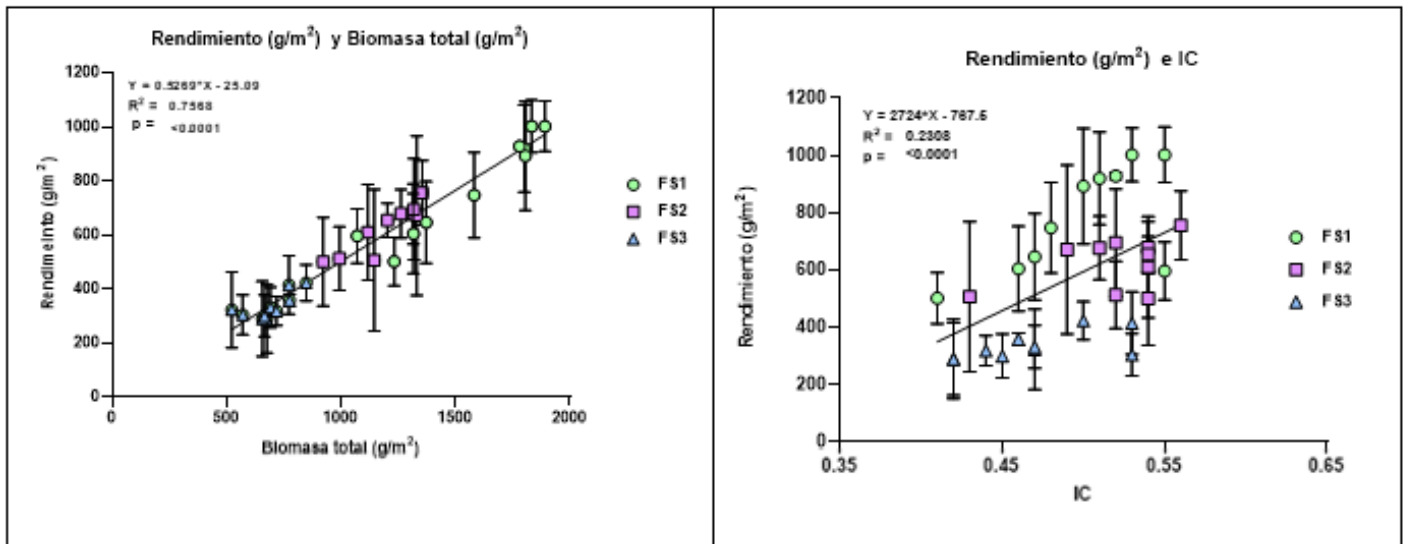


Figura 6. Rendimiento en función de la biomasa total a madurez (panel izquierdo) y del índice de cosecha (IC, panel derecho), para cultivares de cebada liberados al mercado de 1982 a 2019 creciendo en tres fechas de siembra (FS1 a FS3).

La concentración de proteína en el grano mostró una tendencia creciente a medida que disminuyeron los rendimientos, producto del retraso en la fecha de siembra (Figura 7). El calibre de los granos mostró un aumento a medida que los rendimientos aumentaban; como se observó anteriormente, los rendimientos más

altos en este ensayo se obtuvieron en la fecha de siembra temprana, sin embargo, los calibres que superaron ampliamente el 85% exigido por la industria se obtuvieron en la fecha de siembra intermedia (Figura 7).

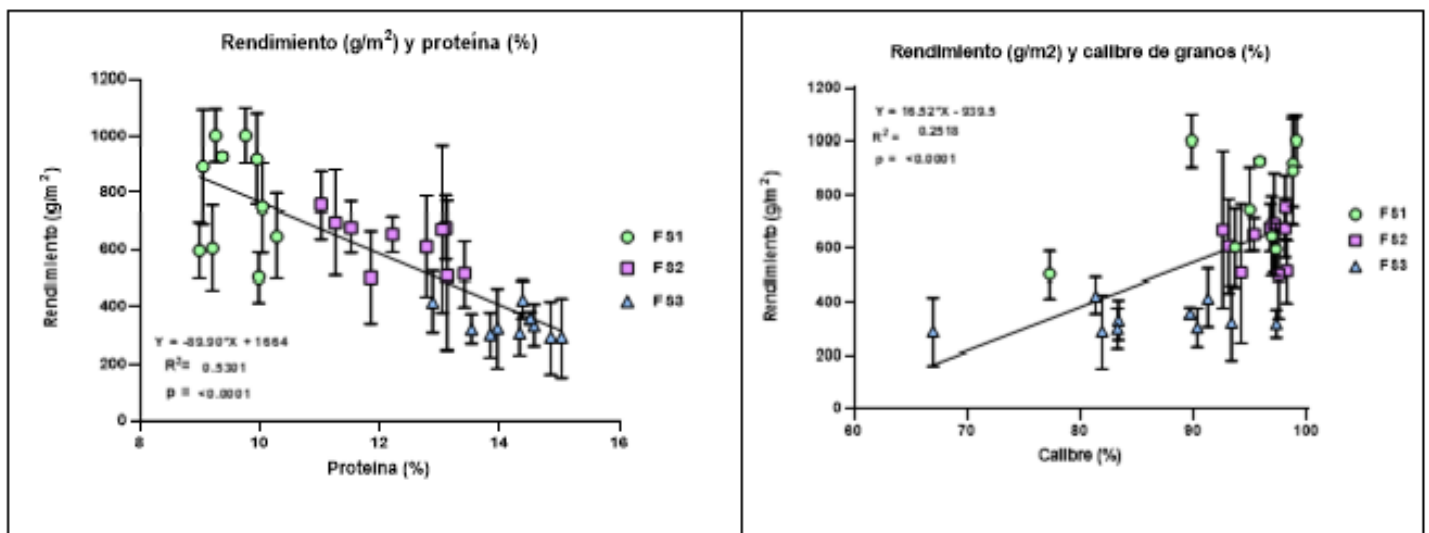


Figura 7. Rendimiento en función de la concentración de proteína en el grano (panel izquierdo) y del calibre del grano (panel derecho), para cultivares de cebada liberados al mercado de 1982 a 2019 creciendo en tres fechas de siembra (FS1 a FS3).

DISCUSIÓN

La tasa de progreso genético máxima se obtuvo en la fecha de siembra temprana, es decir en el ambiente de mayor potencialidad, con un valor de 9,7 g m⁻² año⁻¹. Dicho valor es superior al obtenido por estudios en los que previamente se evaluó el rol del mejoramiento

genético en Argentina: 4,1 g m⁻² año⁻¹ para el período 1944-1998 (Abeledo et al., 2003), y 2,7 g m⁻² año⁻¹ para el período 1931-2007 (Giménez, 2017). Si bien se observaron en el presente estudio pendientes positivas en el progreso genético de los materiales en Argentina, un análisis más detallado por periodos sugiere que la tasa de progreso genético fue sustancialmente reducida a

partir del año 2010 (ver Figura 1). Estas evidencias muestran que es necesario incrementar dicha tasa ya que en los últimos 10 años el progreso genético se ha reducido notoriamente comparado con el periodo previo a la introducción de los materiales europeos.

El orden de magnitud de la tasa de progreso genético se encuentra supeditado a la condición ambiental bajo la cual creció el cultivo, dado que la tasa de progreso genético disminuyó desde la fecha de siembra temprana a la tardía. Por consiguiente, cuanto mayor fue el rendimiento medio del ensayo, mayor fue la tasa de progreso genético. Ello puede también estar explicando la alta tasa de progreso genético obtenida en nuestro estudio respecto a los realizados previamente por Abeledo et al. (2003) y Giménez (2017). Una estrategia para evaluar comparativamente la tasa de progreso genético entre estudios es relativizarla. Cuantificada con relación al rendimiento promedio del ensayo, la tasa de progreso genético en la fecha temprana fue de $1,1 \text{ \% año}^{-1}$. Dicho valor continúa siendo superior al obtenido por estudios previos ($0,72 \text{ \% año}^{-1}$, en Abeledo et al., 2003; $0,71 \text{ \% año}^{-1}$, en Giménez, 2017), y remarca el logro del mejoramiento local al menos hasta el año 2010. Estudios realizados en otros países indicaron que el rendimiento de cebada por progreso genético aumentó desde $0,40 \text{ \% año}^{-1}$ en Estados Unidos (Condón et al., 2009) y $0,43 \text{ \% año}^{-1}$ en Australia (Cossani et al., 2022), hasta $1,10 \text{ \% año}^{-1}$ en Brasil (Rodrigues et al., 2020) y $1,34 \text{ \% año}^{-1}$ en Alemania (Laidig et al., 2017). Por consiguiente, sea por la comparación con estudios locales o internacionales, el proceso de mejoramiento genético de cebada cervecera en Argentina durante los últimos 40 años (y especialmente en el periodo 1980-2010) se destacó por presentar una alta tasa de progreso.

El número de granos fue el principal componente numérico que explicó la variabilidad en rendimiento, sea por efecto cultivar o por la condición ambiente dada por las fechas de siembra. Ello se encuentra en línea con estudios previos en los que se observó que el aumento de rendimiento por efecto del mejoramiento genético en cebada estuvo asociado a variaciones en el rendimiento (Abeledo et al., 2001). El sostenimiento del peso del grano observado en nuestro estudio es consistente con lo detallado recientemente para el proceso de mejoramiento genético de trigo en Argentina (Lo Valvo et al., 2018). Es importante destacar que el sostenimiento del calibre ante aumentos en el rendimiento es un factor clave en el cultivo de cebada debido a los requerimientos de la industria maltera que demanda un determinado calibre (>85%).

Con relación a los componentes fisiológicos del rendimiento, las variaciones en rendimiento fueron explicadas por la biomasa total a madurez más que por el

índice de cosecha. Sin embargo, esas variaciones en biomasa total estuvieron dadas por el efecto de la fecha de siembra más que por el efecto cultivar. Ello es consistente con que modificar la biomasa total por efecto cultivar constituye un desafío pendiente de la ecofisiología de cultivos de cereales (Reynolds et al., 2021).

Respecto al contenido total de proteína en grano la tendencia fue creciente a medida que se retrasó la fecha de siembra, con variaciones entre 8 y 15%. Los valores altos de proteína de la fecha de siembra tardía coincidieron con una disminución en el calibre de los granos donde solo la mitad de los cultivares estudiados lograron superar el 85% exigido por la industria, y todos superaron el 13% de contenido de proteína máximo que establece la misma. Con estos resultados, y teniendo en cuenta las exigencias de la industria, ninguno de estos cultivares estudiados podrían ser comercializados como cebada cervecera debido a que contenidos proteicos excesivamente altos disminuyen el rendimiento de la malta y generan problemas de turbidez en la cerveza (Savin, Aguinaga, 2011). Por otro lado, se observó una variación en el contenido de proteína total en las fechas temprana e intermedia; sin embargo, todas lograron porcentaje entre 9.5 y 13% exigido por la industria. La relación negativa entre concentración de proteína en grano y fechas de siembras tardías observada en este ensayo coincide con lo encontrado por otros autores (Gil, A, 2016).

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones derivadas del trabajo son: (i) la tasa de progreso genético en condiciones potenciales (i.e. fecha de siembra temprana) fue de $9,7 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$; (ii) cuanto mayor el rendimiento medio explorado, mayor fue la tasa de progreso genético; (iii) por efecto del mejoramiento genético, el peso del grano fue el principal componente numérico y el índice de cosecha el principal componente fisiológico que aumentaron con el año de liberación de los cultivares, mientras que la fecha de siembra impactó principalmente sobre el número de granos por m^2 y la biomasa total a madurez.; y (iv) el contenido de proteína aumentó por encima de lo exigido cuanto menor fue el rendimiento logrado y esta tendencia se repitió cuando se observó el calibre de grano. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan a orientar el proceso de mejoramiento en el cultivo de cebada.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la facultad de agronomía de la Universidad de Buenos Aires por permitir que me siga formando profesionalmente; a Maxi y Juan que trabajan codo a codo en el campito experimental de la facultad para llevar adelante los ensayos; a Gonzalo y Ailén, mis compañeros de oficinas por su apoyo incondicional y ayudar a enriquecer las discusiones; a mi director Daniel Miralles por aceptarme y guiarme en este camino de doctorando, a mi codirectora Gaby Abeledo por su dedicación, paciencia y aportes continuos, a mi consultora Deborah Rondanini por su apoyo y confianza y a UBACYT por financiar esta beca. A todos, muchas gracias.

BIBLIOGRAFÍA

- Abeledo, L. G., Calderini, D. F., Slafer, G. A. 2001. Physiological changes associated with breeding progress in barley. En: Barley: Recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality. Eds. Slafer, G. A., Molina Cano, J. L., Araus, J. L., Savin, R., Romagosa, I. Journal of Crop Production. The Haworth Press, Inc. New York. pp. 361-385.
- Abeledo, L. G., Calderini, D. F. & Slafer, G. A. 2003. Genetic improvement of barley yields potential and its physiological determinants in Argentina (1944–1998). *Euphytica*, 130, 325-334.
- BCR, 2022. Bolsa de Comercio de Rosario. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal-38>. Verificado Mayo 2022
- Condón, F., Rasmusson, D. C., Schiefelbein, E., Velasquez, G. & Smith, K. P. 2009. Effect of advanced cycle breeding on genetic gain and phenotypic diversity in barley breeding germplasm. *Crop Science*, 49, 1751-1761.
- Cossani, C. M., Palta, J. & Sadras, V. O. 2022. Genetic yield gain between 1942 and 2013 and associated changes in phenology, yield components and root traits of Australian barley. *Plant and Soil*, 480, 151-163.
- Di Rienzo J.A. et al. 2010 InfoStat. Profesional Group InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- FAOSTAT. 2022. Datos sobre alimentación y agricultura, Cultivos y productos de ganadería Verificado mayo 2022. <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Gil, A., Miravalles, M. T., Moreyra, F., Conti, V. 2016. Calidad industrial de la cebada cervecera: impacto de la fecha de siembra. Editorial Departamento de Agronomía, universidad Nacional del Sur
- Gimenez, F.J. 2017. Ganancia Genética en Cebada Cervecera (*Hordeum vulgare* L.) en Argentina durante el período 1931-2007. Tesis de Doctor en Agronomía. Universidad Nacional del Sur.
- Laidig, F., Piepho, H. P., Rentel, D., Drobek, T., & Meyer, U. 2017. Breeding progress, genotypic and environmental variation and correlation of quality traits in malting barley in German official variety trials between 1983 and 2015. *Theoretical and Applied Genetics*, 130, 2411-2429.
- Lo Valvo, P. J., Miralles, D. J., & Serrago, R. A. 2018. Genetic progress in Argentine bread wheat varieties released between 1918 and 2011: Changes in physiological and numerical yield components. *Field Crops Research*, 221, 314-321.
- Otero, E. A., Miralles, D. J., & Benech-Arnold, R. L. 2021. Development of a precise thermal time model for grain filling in barley: A critical assessment of base temperature estimation methods from field-collected data. *Field Crops Research*, 260, 108003.
- Radushev et al. 2012. GraphPadPrism versión 8.0.0 for Windows, GraphPad Software, San Diego, California, USA. www.graphpad.com
- Reynolds, M. P., Atkin, O., Bennett, M. J., Cooper, M., Dodd, I. C., Foulkes, M. J. & Pogson, B. 2021. Addressing Research Bottlenecks to Crop Productivity. *Trends in Plant Science*, 26, 607-630.
- Rodrigues, O., Minella, E., & Costenaro, E. R. (2020) Genetic improvement of barley (*Hordeum vulgare*, L.) in Brazil: Yield increase and associated Traits. *Agricultural Sciences*, 11, 425-438.
- Satorre, E. H., & Andrade, F. H. 2021. Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. *Ciencia Hoy*, 173, 19-27.
- Savin R., Aguinaga, A.A. 2011. Los requerimientos de la industria: calidad comercial e industrial y sus determinantes. En Miralles, D., Benech-Arnold, R., Abeledo, G. (Eds), *Cebada cervecera* (pp 211-213). Editorial Facultad de Agronomía.
- USDA 2022. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/statsByCommodity>. Verificado mayo 2022.