

Contenido proteico en granos de distinto tamaño en cebada cervecera

P.N. Magliano¹, P. Prystupa², F.H. Gutiérrez Boem^{2,3}

Introducción

Alrededor del 20% de la cebada producida en el mundo es transformada industrialmente para obtener malta, principal insumo de la industria cervecera (Cattáneo, 2011). La calidad industrial de la cebada cervecera se asocia directamente al contenido proteico y al tamaño de sus granos (Bishop, 1930; Briggs, 1998). En cebada, el tamaño de los granos es establecido por su ancho (no por su peso) y se lo determina pasando una muestra a través de un conjunto de pequeñas zarandas calibradas. Al porcentaje del peso de la muestra retenido sobre la zaranda cuyos orificios tienen un ancho de 2.5 mm se lo denomina calibre. El contenido proteico óptimo se encuentra entre el 10 y el 12%, el calibre debe ser mayor a 85% según el estándar de comercialización vigente en Argentina y el porcentaje que pasa a través de la zaranda con orificios de 2.2 mm de ancho debe ser menor del 3%. Estas características que hacen a la calidad industrial de la cebada, se determinan durante el ciclo del cultivo, y la fertilización nitrogenada es clave en ello (De Ruiter, 1999; O'Donovan et al., 2011; Pomeranz et al., 1976; Prystupa et al., 2012; Ross et al., 2011).

En las malterías se considera que las partidas de cebada que tienen bajo calibre, presentan alto contenido proteico. Esta relación negativa entre calibre y proteína es atribuida a que, dentro de una partida de cebada, los granos finos tienden a presentar un mayor contenido proteico que los granos gruesos. La literatura científica sobre el malteo de la cebada refleja este concepto general (Briggs, 1998; Newman y Newman, 2008; Savin y Aguinaga, 2011). La asociación negativa entre calibre y contenido proteico ha sido observada en diversos experimentos donde se comparan cultivares, niveles de disponibilidad hídrica o de nitrógeno (N) (De Ruiter y Haslemore, 1996; Pomeranz et al., 1976). Esta asociación puede tener dos explicaciones. En primer término, las sequías y las altas temperaturas ocurridas durante la etapa de llenado de grano provocan una reducción del calibre de los granos y un aumento en su contenido proteico (Fathi et al., 1997; Savin et al., 1997). Por lo tanto, partidas de cebada que provienen de cultivos que sufrieron estrés hídrico o térmico durante el llenado de grano tienen menor calibre y mayor contenido proteico de granos que aquellas partidas que provienen de cultivos que no los sufrieron. En segundo término, la fertilización nitrogenada, en cultivos deficientes en este nutriente, provoca simultáneamente aumentos en el contenido de proteína y reducción en el calibre (Weston et al., 1993; Grashoff y d'Antuono, 1997; O'Donovan et al., 2011; Ross et al., 2011; De Ruiter, 1999). La reducción en el tamaño de grano se debe a que, cuando se fertiliza con N u otro nutriente, aumenta el número de granos que provienen de macollos ya que se generan granos en posiciones más distales de la espiga que se caracterizan por un menor calibre (De Ruiter, 1999; Ellis y Marshall, 1998). Ambas

causas explican porque existe una asociación negativa entre calibre de grano y el contenido proteico cuando se comparan granos provenientes de distintos ambientes (Ejemplo, granos de cultivos que crecieron con distinta disponibilidad de N y/o condiciones ambientales durante su ciclo, como puede ser el caso de grano proveniente de distintos lotes de cultivo dentro de una misma región).

En partidas de grano provenientes de un ambiente determinado, incluso en granos provenientes de una misma planta, existen granos más grandes y más pequeños. Solo unos pocos autores midieron contenido proteico en granos de diferente grosor proveniente de un mismo ambiente. Li et al. (2008) separaron granos de cebada provenientes de cuatro ambientes en cuatro fracciones de calibre (> 2.8, 2.8-2.5, 2.5-2.2, y < 2.2 mm) y no encontraron diferencias entre los contenidos proteicos de cada fracción. En cebada, los granos provenientes de la base o del centro de la espiga tienen un peso de grano mayor que los del extremo apical (Ellis y Marshall, 1998; Yin et al., 2002). Si bien el calibre y el peso unitario de granos no son características equivalentes, existe una fuerte asociación entre estas dos variables (Pomeranz et al., 1976), por lo que se puede suponer que los granos apicales tienen menor calibre que los provenientes del centro de la espiga. Ellis y Marshall (1998) observaron que los granos apicales (más pequeños) tenían un contenido proteico mayor que los centrales aunque la diferencia era muy pequeña. Yin et al. (2002), en cambio, observaron que el contenido proteico de los granos de distintas posiciones variaba de acuerdo al momento de la fertilización nitrogenada: cuando se fertilizaba durante macollaje, los granos del centro y del ápice de la espiga tenían similares contenidos proteicos, mientras que cuando se fertilizaba en el estado de vaina engrosada, los granos centrales y basales (más grandes) tenían concentraciones proteicas menores que los apicales (más pequeños).

La diferencia de contenido de proteína entre fracciones de calibre tiene una implicancia práctica durante el manejo post-cosecha de los granos. Para mejorar el calibre de una partida de granos, es posible clasificar el cereal mediante una zaranda y eliminar la fracción más fina (Briggs, 1998). Si la fracción más fina tiene mayor contenido proteico que la más gruesa, durante la clasificación disminuirá el contenido proteico promedio de esa partida de granos. Ese es el caso si se zarandea una mezcla de granos provenientes de ambientes con distinta disponibilidad de N o que sufrieron distinto nivel de estrés post-antesis. Lo que suceda al zarandear granos provenientes de ambientes homogéneos dependerá de si los granos más finos y más gruesos provenientes de un mismo ambiente poseen, o no, distinto contenido proteico.

El objetivo de este trabajo fue determinar si, en un mismo ambiente, los granos correspondientes a las fracciones más finas poseen un contenido proteico distinto a los de

¹ IFEVA-CONICET, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: patriciomagliano@hotmail.com.

² Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

³ INBA-CONICET, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

las fracciones más gruesas. Nuestra hipótesis de trabajo es que los granos de distinto tamaño provenientes del mismo ambiente tendrían el mismo contenido proteico.

Materiales y métodos

En los años 2005, 2006 y 2008 se realizaron cuatro ensayos a campo con cultivos de cebada cervecera variedad 'Scarlett' alrededor de la ciudad de Junín (Buenos Aires), en la región pampeana argentina (-34°41'S, 60°59'W). El clima de la región es templado-húmedo, con una precipitación media anual de 850 mm y una temperatura media anual de 16 °C. Los suelos fueron Hapludoles énticos (sitios 1, 2 y 4) y Hapludol típico (sitio 3). Los ensayos se realizaron utilizando la tecnología de manejo del cultivo habitual para la zona, sobre la base de la siembra directa con barbecho químico. La siembra se realizó a principios de julio y la cosecha a fines de noviembre. El cultivo antecesor fue soja en todos los casos. La distancia entre surcos fue de 17.5 cm. Se realizó un control de malezas previo a la siembra y un mes post-emergencia, con un herbicida de amplio espectro, y se realizó un manejo preventivo de las plagas habituales de la zona.

El diseño experimental fue en bloques completos y la asignación de los tratamientos fue al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron 3 niveles de fertilización nitrogenada a la siembra: N0: sin fertilizar con nitrógeno; N1: con el fertilizante necesario para alcanzar

una disponibilidad de 100 kg N ha⁻¹ (Nd) sumando el N del fertilizante (Nf) más el presente en el suelo como nitratos hasta 60 cm de profundidad (Ns); y N2: con el fertilizante para una Nd de 160 kg N ha⁻¹. Cada parcela tuvo 39 m² de superficie. Se utilizó urea como fuente nitrogenada, y se realizó una fertilización de base con fósforo y azufre en todas las parcelas para llevar dichos nutrientes a niveles que no limiten el crecimiento del cultivo. El contenido de N como nitratos en el suelo hasta los 60 cm a la siembra del cultivo fue similar en los cuatro sitios experimentales, variando entre 46 y 53 kg ha⁻¹ de N.

Se midieron las precipitaciones durante el ciclo de los cultivos en estaciones meteorológicas ubicadas cerca de los ensayos (**Tabla 1**). Cuando el cultivo alcanzó la madurez comercial (granos con 12% de humedad) se cosechó una muestra de un metro cuadrado de cada parcela y se determinó el rendimiento, el calibre y el contenido de N de los granos. Para determinar el calibre y el contenido de N, las muestras se secaron en estufa a 65 °C durante 48 horas. El calibre se midió con una calibradora Sortimat K-3 (Pfeuffer), que clasificó a los granos en 4 fracciones: mayor a 2.8 mm (fracción 1), entre 2.8 y 2.5 mm (fracción 2), entre 2.5 y 2.2 mm (fracción 3) y menor a 2.2 mm (fracción 4). En cada una de las cuatro fracciones se determinó el contenido de N mediante colorimetría de digestos Kjeldahl (Baethgen y Alley, 1989). El contenido proteico de la muestra completa de cada parcela se obtuvo calculando el promedio del contenido proteico de cada fracción ponderado por su peso relativo al peso total de la muestra completa.

Para evaluar las diferencias en el rendimiento, el contenido proteico de la muestra completa y el calibre se realizaron análisis de varianza considerando el sitio y el N como factores principales. Para detectar diferencias en el contenido proteico de cada fracción de tamaño se realizaron análisis de varianza considerando la fracción de tamaño y el N como factores principales. Para evaluar el grado de asociación entre las variables medidas se realizaron análisis de regresión.

Resultados

La combinación de sitios experimentales y tratamientos de N generó una gran variación de ambientes que se vio reflejada tanto en el rendimiento como en el contenido de proteína de los granos. El rendimiento varió entre 1.5 y 6.5 Mg ha⁻¹ y el contenido proteico de los granos (muestra completa) varió entre 6.8 y 13.4%. El rendimiento y el contenido proteico de la muestra completa variaron significativamente entre sitios experimentales (**Tabla 1**). En líneas generales, los sitios con mayores precipitaciones presentaron mayores rendimientos y menores contenidos proteicos de la muestra completa (**Tabla 1**). La fertilización nitrogenada aumentó significativamente el rendimiento, en promedio, 0.3 Mg ha⁻¹. El efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento no varió entre sitios (efecto N x sitio no significativo). La fertilización nitrogenada también incrementó el contenido proteico,

Tabla 1. Precipitaciones, análisis de varianza del rendimiento y del contenido proteico de la muestra completa considerando el sitio y el nitrógeno (N) como factores principales, y análisis de varianza del calibre en cada sitio considerando el N como factor principal.

Factor	Precipitación	Rendimiento	Contenido proteico	Calibre ⁺
	mm	Mg ha ⁻¹	%	% > 2.5 mm
Sitio 1	310	3.97 ± 0.20 ^{**}	9.8 ± 0.41	87.0 ± 1.87
Sitio 2	320	4.33 ± 0.28	8.4 ± 0.29	89.3 ± 0.84
Sitio 3	373	5.96 ± 0.16	8.7 ± 0.29	79.5 ± 3.13
Sitio 4	243	2.22 ± 0.15	11.0 ± 0.14	63.0 ± 0.26
N0		4.01	8.4	83.7
N1		4.02	9.5	79.1
N2		4.34	10.6	76.4
ANOVA		----- valor p -----		
Sitio		<0.01	<0.01	-
N		0.03	<0.01	-
Sitio x N		0.26	<0.01	-
Efecto N				
Sitio 1		-	<0.01	0.02
Sitio 2		-	0.14	0.01
Sitio 3		-	<0.01	0.04
Sitio 4		-	<0.01	0.20

⁺ ANOVA realizado por sitio debido a la heterogeneidad de varianza cuando se combinaban sitios.

^{**} Media ± error estándar.

pero el efecto fue significativo solamente en los sitios 1, 3 y 4 (interacción N x sitio significativo). Además, el calibre disminuyó por efecto de la fertilización nitrogenada en los sitios 1, 2 y 3.

El contenido proteico de la muestra completa se asoció negativamente con el calibre ($r = -0.58$) y el rendimiento ($r = -0.48$) (Figura 1). Cuando se consideraron los distintos niveles de N por separado el contenido proteico mostró una asociación más fuerte con el rendimiento ($R^2 = 0.61$) que con el calibre ($R^2 = 0.53$). Dado que el contenido proteico de la muestra completa aumentó con la fertilización nitrogenada y disminuyó con aumentos del rendimiento, se combinaron ambas variables mediante el cociente entre el Nd y el rendimiento del cultivo, un índice similar al propuesto por McKenzie et al. (2004). El contenido proteico aumentó con la mayor disponibilidad de N por tonelada de grano producida (Figura 1C).

El contenido proteico de todas las fracciones aumentó en respuesta a la mayor disponibilidad de N, en los 4 experimentos ($p < 0.01$). Solo en el sitio 4, las fracciones más finas presentaron contenidos proteicos significativamente mayores que las más gruesas (Figura 2, Tabla 2).

El contenido proteico de cada fracción aumentó linealmente en función del contenido proteico de la muestra completa (Figura 3, Tabla 3). Las pendientes de las funciones lineales ajustadas para las fracciones 1 y 2 fueron significativamente inferiores que las ajustadas para las fracciones 3 y 4 ($p < 0.05$). Esto indica que las fracciones gruesas (1 y 2) presentaron una tendencia menor a aumentar su contenido proteico respecto de las fracciones más finas (3 y 4), a medida que aumenta el contenido proteico de la muestra completa. Por lo tanto, las diferencias de contenido proteico de granos finos y gruesos se incrementaron cuando los contenidos proteicos de las muestras completas fueron altos. Por otro lado, la diferencia de contenido proteico entre granos finos y gruesos de cada muestra no estuvo relacionada con el calibre de la muestra ($R^2 = 0.06$, $p > 0.05$).

A partir del contenido proteico de cada fracción, se calculó cuanto disminuiría el contenido proteico de muestra completa si se eliminan las fracciones más finas (< 2.5 mm). Esta disminución en el contenido proteico de la muestra completa se asoció significativamente con el contenido proteico de muestra completa mediante una función segmentada (Figura 4). Cuando el contenido proteico de la muestra completa fue menor a 8.6%, la eliminación de las fracciones 3 y 4 no produjo ninguna variación en el contenido proteico de la muestra completa. Cuando el contenido proteico de la muestra completa fue mayor a 8.6%, la eliminación de las fracciones 3 y 4 disminuyó el contenido proteico de la muestra completa, y esta disminución aumentó linealmente con el contenido proteico de la muestra completa.

Discusión

En la región pampeana, al igual que en otras regiones agrícolas del mundo, el principal factor regulador de los rendimientos es la disponibilidad hídrica (Calviño y Sadras, 2002; Verón et al., 2004). No es extraño que, en este

Tabla 2. Análisis de varianza de los cuatro sitios, considerando la fracción de tamaño y el nitrógeno (N) como factores principales.

Factor	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
	valor p			
N	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Fracción de tamaño	0.02	0.16	0.18	<0.01
N x Fracción de tamaño	0.07	0.81	0.55	0.83

Tabla 3. Pendientes y coeficientes de correlación (R^2) de las funciones lineales ajustadas entre el contenido proteico de cada fracción de tamaño (%) y el contenido proteico de la muestra completa (%).

Fracción	Pendiente*	R^2
1	0.93 a	0.82
2	0.94 a	0.93
3	1.16 b	0.86
4	1.15 b	0.80

* Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

trabajo, los sitios con mayores precipitaciones tuvieran mayores rendimientos. Además, los sitios con mayores precipitaciones presentaron mayores calibres y menores contenidos proteicos en coincidencia con otros autores que han observado aumento de contenido proteico y disminución del calibre asociado a situaciones de estrés hídrico (Fathi et al., 1997; Savin et al., 1997). Podría interpretarse que, dada una determinada cantidad de N disponible, los mayores rendimientos generados durante los años con mayores precipitaciones generan un efecto de dilución del N en el grano (O'Donovan et al., 2011; Jedely Helm, 1994). En consecuencia, el contenido proteico de la muestra completa estuvo explicado por la disponibilidad de N por unidad de rendimiento obtenido tal como ha sido propuesto por McKenzie et al. (2004). Este cociente puede ser considerado como un índice de la abundancia relativa de N para la síntesis de proteína en el grano. Esta abundancia relativa de N puede aumentar tanto por una fertilización nitrogenada como por una caída de los rendimientos alcanzados.

En muestras provenientes de un determinado ambiente, los granos más pequeños tienen un contenido proteico mayor a los granos de mayor tamaño sólo cuando el contenido proteico de la muestra completa es superior a un umbral de 8.6%, es decir cuando provienen de ambientes con una alta abundancia relativa de N. En cultivos con contenidos proteicos bajos, esta diferencia no se observa. En coincidencia, Yin et al. (2002), observaron que en tratamientos con bajos contenido proteico de la muestra completa (obtenidos mediante fertilizaciones nitrogenadas tempranas), los granos apicales más finos no tenían contenidos proteicos distintos de los granos basales, más gruesos. En cambio, con alto contenido proteico de la muestra completa (obtenidos mediante fertilizaciones nitrogenadas tardías), los granos apicales tenían contenidos proteicos mayores que los granos basales. Otros autores no observaron diferencias de contenido proteico entre fracciones de calibre aún con contenidos proteicos medios superiores a 8.6% (Li et al., 2008). Es probable que este valor umbral, entonces, no sea universal, y que pueda

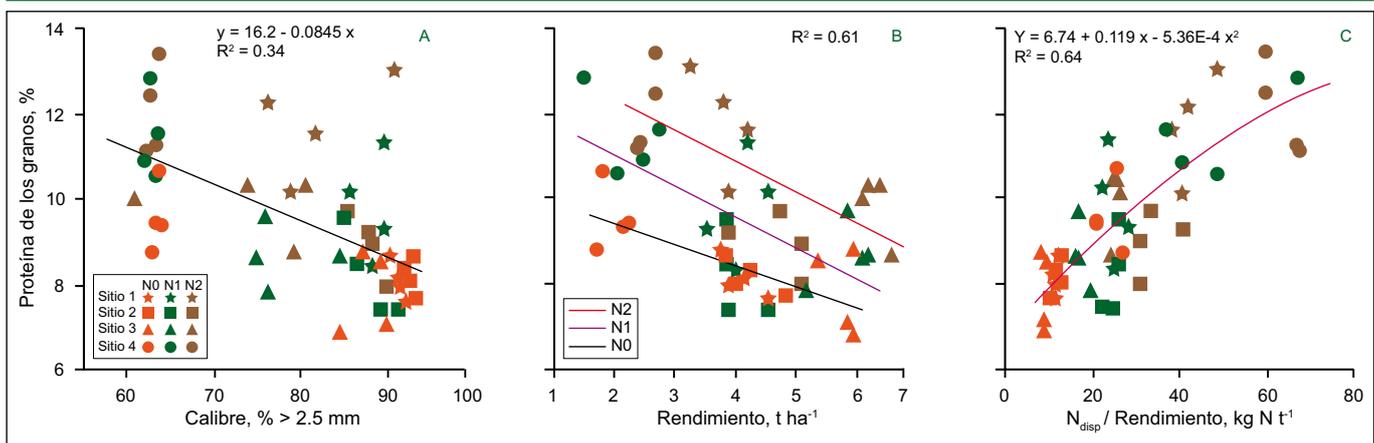


Figura 1. Contenido proteico de la muestra completa en función del calibre (> 2.5 mm) (A), del rendimiento del cultivo (Mg ha⁻¹) (B), y del cociente entre el nitrógeno disponible y el rendimiento del cultivo (kg N Mg⁻¹) (C). Cada punto representa una parcela.

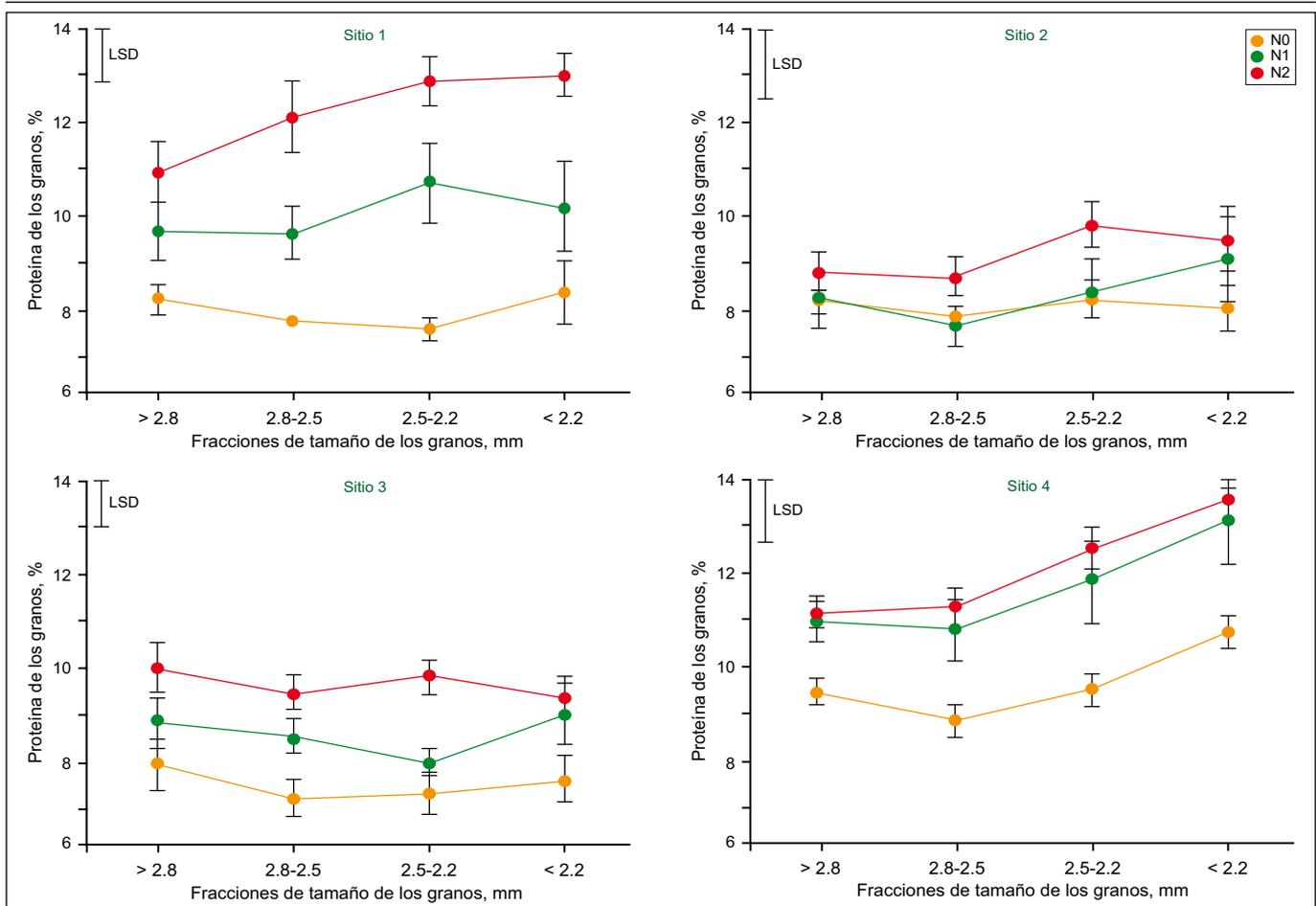


Figura 2. Contenido proteico de cada fracción de tamaño para cada nivel de nitrógeno disponible (N0: sin fertilización nitrogenada, N1: 100 kg N ha⁻¹, N2: 160 kg N ha⁻¹), en los cuatro sitios. Los puntos representan las medias de 4 parcelas y las barras verticales los errores estándar de la media. LSD: mínima diferencia significativa (p < 0.05).

depender del cultivar empleado.

Nuestros resultados muestran que el contenido proteico de los granos está principalmente determinado por la abundancia relativa de N de cada ambiente, y no por el tamaño de los granos (Figura 1C, Figura 3). Las diferencias observadas en contenido proteico entre granos de distinto tamaño de una misma parcela fueron muchos más pequeñas que las diferencias de proteína entre muestras que provenían de distintos ambientes, incluso en granos del mismo tamaño (Figura 3). La diferencia del contenido proteico de los granos entre las fracciones finas y gruesas

de muestras con contenido proteico de muestra completa mayor a 11% fue de 1.15%, lo que resulta una diferencia pequeña si se la compara con el efecto del ambiente, cuyo rango de variación que fue desde 6.8 hasta 13.4% (Figura 1, Figura 3). Por consiguiente, si después de la cosecha, se clasifican los granos eliminando los más pequeños puede, en algunos casos, disminuir levemente el contenido proteico de los granos pero difícilmente revierta el efecto del ambiente del cultivo sobre esta característica del cereal. Nuestros resultados sugieren que el hecho que las partidas de granos de bajo calibre suelen tener altos contenidos de

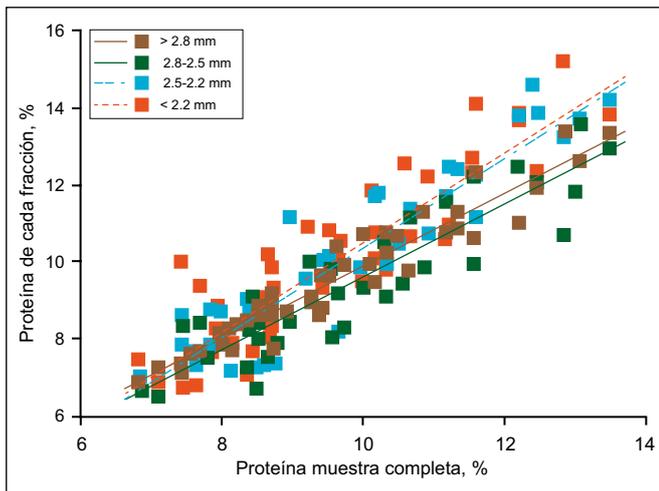


Figura 3. Contenido proteico de cada fracción en función del contenido proteico de la muestra completa. Cada punto representa a una fracción de tamaño en una muestra.

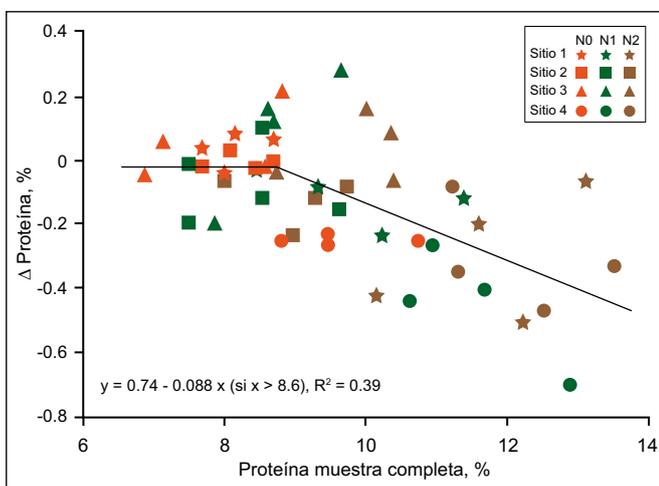


Figura 4. Cambio en el contenido proteico de la muestra cuando se excluyen de ella los granos más finos (< 2.5 mm), en función del contenido proteico inicial de la muestra completa.

proteínas no se debe a la mayor proporción de granos finos de esas partidas. Es probable que esas partidas con alta proteína y bajo calibre provengan de ambientes con una alta abundancia relativa de N dada por una fertilización nitrogenada o por un bajo rendimiento causado por un stress post-anthesis. Estos dos factores pueden causar una simultánea caída del calibre y aumento del contenido de proteína, como se observa en el Sitio 4 (Figura 2), dando por resultado partidas con una alta proporción de granos finos y alto contenido de proteína.

Bibliografía

Baethgen, W.E., y M.M. Alley. 1989. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20:961-969.

Bishop, L.R. 1930. Statistical studies of the analytical data accumulated in the course of the barley investigations. *J. Inst. Brew.* 36:421-434.

Briggs, D.E. 1998. *Malts and malting.* Blackie Academic y Professional. Londres. 796 p.

Calviño, P., y V.O. Sadras. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. *Field Crops Res.* 74:1-11.

Cattáneo, M. 2011. Los mercados de cebada cervicera en la Argentina

y en el mundo. En: D.J. Miralles, R.L. Benech Arnold y L.G. Abeledo (eds.). *Cebada cervicera.* Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. pp. 275-284.

De Ruiter, J.M. 1999. Yield and quality of malting barley (*Hordeum vulgare* L. "Valetta") in response to irrigation and nitrogen fertilisation. *New Zealand J. Crop. Hort. Sci.* 27:307-317.

De Ruiter, J.M., y R.M. Haslemore. 1996. Role of nitrogen and dry matter partitioning in determining the quality of malting barley. *New Zealand J. Crop. Hort. Sci.* 24:77-87.

Ellis, R.P., y B. Marshall. 1998. Growth, yield and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) in response to nitrogen uptake. II. Plant development and rate of germination. *J. Exp. Bot.* 49:1021-1029.

Fathi, G., G.K. McDonald, y R.C.M. Lance. 1997. Effect of post-anthesis water stress on the yield and grain protein concentration of barley grown at two levels of nitrogen. *Aust. J. Agric. Res.* 48:67-80.

Grashoff, C., y L.F. d'Antuono. 1997. Effect of shading and nitrogen application on yield, grain size distribution and concentrations of nitrogen and water soluble carbohydrates in malting spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Eur. J. Agron.* 6:275-293.

Jedel, P.E., y J.H. Helm. 1994. Assessment of western Canadian barleys of historical interest: I. Yield and agronomic traits. *Crop Sci.* 34:922-927.

Li, Y., P.B. Schwarz, J.M. Barr, y R.D. Horsley. 2008. Factors predicting malt extract within a single barley cultivar. *J. Cereal Sci.* 48:531-538.

McKenzie, R.H., A.B. Middleton, L. Hall, J. DeMulder, y E. Bremer. 2004. Fertilizer response of barley grain in south and central Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 84:513-523.

Newman, R.K., y C.W. Newman. 2008. *Barley for food and health: science, technology, and products.* John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, U.S.A. 245 p.

O'Donovan, J.T., T.K. Turkington, M.J. Edney, G.W. Clayton, R.H. McKenzie, P.E. Juskiw, G.P. Lafond, C.A. Grant, S. Brandt, K.N. Harker, E.N. Johnson, y W.E. May. 2011. Seeding rate, nitrogen rate, and cultivar effects on malting barley production. *Agron. J.* 103:709-716.

Pomeranz, Y., N.N. Standridge, E.A. Hockett, D.M. Wesenberg, y G.D. Booth. 1976. Effects of nitrogen fertilizer on malting quality of widely varying barley cultivars. *Cereal Chem.* 53:574-585.

Prystupa, P., G. Ferraris, T. Loewy, F.H. Gutiérrez Boem, L. Ventimiglia, L. Couretot, y R. Bergh. 2012. Fertilización nitrogenada de cebada cervicera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. 16-20 de abril de 2012. Actas en CD.

Ross, F., J. Massigoge, y M. Zamora. 2011. Fertilización de cebada cervicera en ambientes con tosca en el sur de Buenos Aires, Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 3:9-13.

Savin, R., y A. Aguinaga. 2011. Los requerimientos de la industria: calidad comercial e industrial y sus determinantes. En: *Cebada cervicera.* D.J. Miralles, R.L. Benech Arnold y L.G. Abeledo (Eds.). Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. pp. 207-238.

Savin, R., P.J. Stone, M.E. Nicolas, y I.F. Wardlaw. 1997. Grain growth and malting quality of barley. 1. Effects of heat stress and moderately high temperature. *Aust. J. Agric. Res.* 48:615-624.

Verón, S.R., J.M. Paruelo, y G.A. Slafer. 2004. Interannual variability of wheat yield in the Argentine Pampas during the 20th century. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103:177-190.

Weston, D.T., R.D. Horsley, P.B. Schwarz, y R.J. Goos. 1993. Nitrogen and planting effects on low-protein spring barley. *Agron. J.* 85:1170-1174.

Yin, C., G.P. Zhang, J.M. Wang, y J.X. Chen. 2002. Variation of Beta-amylase activity in barley affected by cultivar and environment and its relation to protein content and grain weight. *J. Cereal Sci.* 36:307-312. ✪