

Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires

II. Efectos sobre el calibre y los componentes del rendimiento

P. Prystupa^{1*}, G. Ferraris², L. Ventimiglia³, T. Loewy⁴, L. Couretot², R. Bergh⁵ y F.H. Gutiérrez-Boem¹

Introducción

La calidad industrial de la cebada cervecera está asociada al tamaño o calibre y al contenido proteico de los granos (Briggs, 1998). La determinación del calibre se realiza pasando una muestra de granos por un juego de tres zarandas. El estándar de comercialización vigente en nuestro país determina que las partidas de cebada cervecera deben tener más de 85% de la suma de las fracciones retenidas en las zarandas de 2.5 y 2.8 mm (primera + segunda fracción).

La cebada debe tener un contenido proteico intermedio, ni excesivamente alto ni muy bajo, por lo que el manejo adecuado de la fertilización nitrogenada es fundamental para alcanzar altos rendimientos y adecuada calidad industrial simultáneamente. Las investigaciones realizadas en la provincia de Buenos Aires han permitido establecer que las variedades actualmente cultivadas de cebada pueden tener una alta respuesta a la fertilización nitrogenada, tanto en términos de rendimiento como de contenido proteico (Daverede et al., 2013; Ferraris et al., 2014; Ross et al., 2011; Ross et al., 2013). Esta respuesta puede estar acompañada por disminuciones del calibre de los granos (Daverede et al., 2013; Ross et al., 2011; Ross et al., 2013).

Una alternativa para aumentar el contenido de proteínas de los granos consiste en complementar las fertilizaciones nitrogenadas realizadas entre siembra y macollaje, con aplicaciones foliares durante espigazón. Esta aplicación se realiza cuando ya ha transcurrido una parte del ciclo del cultivo, razón por la cual se podría diagnosticar la necesidad de fertilización con mayor precisión.

En la región pampeana, las deficiencias de azufre (S) constituyen una de las tres principales limitantes nutricionales para la productividad de los cultivos. Aunque se han observado respuestas a la fertilización azufrada en diversos cultivos (Ejemplo, en trigo; Salvagiotti et al., 2009), en cultivos de cebada del sur de la provincia Buenos Aires no se comprobaron efectos generalizados de esta fertilización (Ross et al., 2011). En la literatura científica existen escasos trabajos en los que se evalúe el efecto de las deficiencias de S sobre el calibre de la cebada cervecera y los resultados obtenidos son contradictorios.

En esta serie de artículos presentamos los resultados finales de una red de experimentos iniciada en el marco

del convenio INTA-Fertilizar. Incluimos información que ya ha sido presentada parcialmente en esta revista (Prystupa et al., 2008) y en diversos congresos. En el primer trabajo de esta serie (Prystupa et al., 2016) describimos los efectos de la fertilización nitrogenada y azufrada entre siembra y macollaje y de la fertilización nitrogenada en espigazón, sobre el rendimiento, y el contenido proteico de los granos. En este segundo artículo describimos los efectos sobre el calibre y su relación con los componentes del rendimiento.

Materiales y métodos

Entre los años 2005 y 2008 se realizaron 25 experimentos distribuidos en el área de cultivo de cebada de la provincia de Buenos Aires. Se empleó la variedad Scarlett y se realizaron las prácticas culturales habituales para cada región. Todos los tratamientos fueron fertilizados con 20 kg de P ha⁻¹ a la siembra. En Prystupa et al. (2016) se describen más detalles de los experimentos.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, excepto en los sitios de Junín y Baigorrita, donde se realizaron cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados correspondieron a la combinación de distintos niveles de fertilización nitrogenada y azufrada a la siembra, y fertilización nitrogenada en espigazón (**Tabla 1**). Los diferentes niveles de nitrógeno (N) inicial se establecieron como la suma del N de nitrato presente en el suelo antes de la siembra (0-60 cm de profundidad), y el N aplicado con el fertilizante nitrogenado. Los tratamientos fertilizados con S recibieron 10 kg de S ha⁻¹, en una fuente soluble junto con la fertilización nitrogenada inicial. La fertilización nitrogenada se realizó durante macollaje en los ensayos realizados en el sur de la provincia (ensayos 1 a 10), e inmediatamente después de la siembra, en los realizados en el norte de la provincia (ensayos 10 a 25). Para ello, se aplicó urea en todos los experimentos, excepto en los ensayos 5 a 10 donde se empleó UAN. La fertilización nitrogenada foliar en espigazón se realizó aplicando urea en solución con bajo contenido de biuret sobre el canopeo.

La cosecha se efectuó en forma manual y se trilló en trilladora estacionaria. Sobre las muestras obtenidas se determinó el calibre empleando un sistema de zarandas calibradas Sortimat, que permite clasificar los granos en cuatro clases

¹ Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA)

² EEA INTA Pergamino

³ UEEA INTA 9 de Julio

⁴ EEA INTA Bordenave

⁵ EEA INTA-MAA Chacra Experimental Integrada de Barrow

* Autor de contacto. Correo electrónico: prystupa@agro.uba.ar

Tabla 1. Tratamientos realizados en los ensayos evaluados.

Tratamiento	N inicial	Cantidad de nutriente aplicada	
	N-NO ₃ en el suelo + N del fertilizante kg N ha ⁻¹	S en siembra	N en espigazón
N0	N-NO ₃ en el suelo	0	0
N1	70 (ó 100)	0	0
N2	100 (ó 130)	0	0
N3	130 (ó 160)	0	0
N1S	70 (ó 100)	10	0
N2S	100 (ó 130)	10	0
N3S	130 (ó 160)	10	0
N1SNe	70 (ó 100)	10	20
N2SNe	100 (ó 130)	10	20
N3SNe	130 (ó 160)	10	20

Nota: El N inicial indicado entre paréntesis indica los niveles de disponibilidad de N empleados en los experimentos 7, 8, 13, 20, 21 y 24. Ne representa N aplicado en espigazón del cultivo.

de acuerdo a su ancho: mayor a 2.8 mm (primera), entre 2.8 y 2.5 mm (segunda), entre 2.5 y 2.2 mm (tercera) y menor a 2.2 mm (cuarta). El calibre está conformado por la suma de las fracciones primera y segunda.

En 17 experimentos fueron evaluados los componentes del rendimiento. Para ello, de las muestras de granos obtenidas en cada parcela se pesaron tres submuestras de 100 granos cada una, para calcular el peso unitario y el número de granos por unidad de superficie.

Los resultados se analizaron por análisis de varianza. Cuando el efecto de los tratamientos fue significativo, se realizaron contrastes entre medias previamente planeados utilizando diferencia mínima significativa. La descripción de los contrastes se encuentra en (Prystupa et al., 2016). Para determinar el efecto simple del N inicial, las interacciones entre este y el S, y la interacción entre el N inicial y el N en espigazón, se combinaron contrastes. Las relaciones entre las variables fueron analizadas mediante regresiones simples y múltiples. Las variables independientes en las regresiones múltiples fueron seleccionadas mediante el método de stepwise, considerando los efectos lineales, cuadráticos y las interacciones entre las variables, teniendo en cuenta que ninguna variable independiente posea un variance influence factor (VIF) mayor a 2.

Resultados

Componentes del rendimiento

El número de granos por unidad de superficie varió mucho más que el peso unitario de granos. Los mayores valores de número de granos observados más que triplicaban a los menores valores, mientras que, en el caso del peso de granos, el valor más alto fue 1.3 veces mayor al más bajo. Dentro de los 15 experimentos en los que se midieron los componentes del rendimiento, la fertilización

nitrogenada inicial incrementó significativamente el número de granos en 6 de los 8 experimentos en que había aumentado el rendimiento significativamente y en uno en el que el incremento del rendimiento no llegó a ser significativo (datos no mostrados). El efecto de la fertilización azufrada y de la interacción entre la fertilización azufrada y la nitrogenada inicial sobre el número de granos, no fue significativo en ningún experimento. La fertilización nitrogenada en espigazón sólo disminuyó significativamente el número de granos en el experimento 24.

El peso unitario de los granos varió entre 31 y 42 mg. En dos experimentos (8 y 11) disminuyó significativamente por efecto de la fertilización nitrogenada. La fertilización azufrada aumentó significativamente el peso de los granos en dos experimentos (6 y 16). Sólo en el experimento 6, la fertilización nitrogenada en espigazón disminuyó significativamente esta variable.

Considerando todos los tratamientos y todos los sitios, el rendimiento se asoció positiva y significativamente tanto con el número de granos por unidad de superficie como con el peso unitario de los granos, aunque la asociación con el número de granos fue mucho más estrecha que con el peso unitario (**Ec. 1 y 2**). La asociación con el peso de granos fue curvilínea, indicando que, con altos rendimientos, la variación en el peso de grano es mucho menor que con bajos rendimientos.

$$\text{Rend} = 4105 \cdot \text{NG} - 3\,077\,000 \quad (R^2 = 0.967; p < 0.001; n = 143) \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{Rend} = -41.52 \text{ PUG}^2 + 3476.9 \text{ PUG} - 67362 \quad (R^2 = 0.493; p < 0.001; n = 143) \quad (\text{Ec. 2})$$

donde Rend es Rendimiento (kg ha⁻¹); NG es el número de granos (ha⁻¹) y PUG es la biomasa de un grano (mg).

Calibre

El calibre varió mucho entre experimentos y tratamientos. Se observaron valores entre 50% y 99%. La fertilización nitrogenada disminuyó significativamente el calibre en 10 experimentos (**Tabla 2**). Promediando todos los experimentos, el calibre disminuyó 0.6% (en términos absolutos), por efecto de la fertilización nitrogenada. En cambio, la fertilización azufrada incrementó significativamente el calibre en tres experimentos. La fertilización nitrogenada en espigazón afectó el calibre en tres experimentos, pero los efectos fueron variables: en dos experimentos el calibre subió y en uno disminuyó.

La disponibilidad de N por sí sola no pudo explicar las variaciones en el calibre (**Figura 1**). Pero cuando se consideraron, además, otras variables ambientales, el calibre se relacionó negativamente con el N disponible y en forma positiva con las precipitaciones de agosto y octubre (**Ec. 3**).

$$\text{CAL} = 68.78 - 0.07294 \text{ Ndis} + 0.85101 \text{ AGO} - 0.00653 \text{ AGO}^2 + 0.10248 \text{ OCT} \quad (R^2 = 0.426; R^2 \text{ Ajust.} = 0.394; \text{RSME} = 1.369 \text{ 105}; p < 0.001; n = 143) \quad (\text{Ec. 3})$$

donde CAL es calibre (%); AGO y OCT son las precipitaciones (mm) durante los meses respectivos y Ndis es el N en el fertilizante más N como NO_3^- de 0 a 60 cm de profundidad en pre-siembra (kg ha^{-1}).

El calibre se asoció en forma positiva con el peso unitario de los granos (**Figura 2a**). La relación fue curvilínea indicando que cuando el peso unitario de granos es relativamente alto (Ejemplo, mayores a 38 mg), sus variaciones se asocian con pequeñas variaciones en el calibre, mientras que cuando los pesos son bajos, se

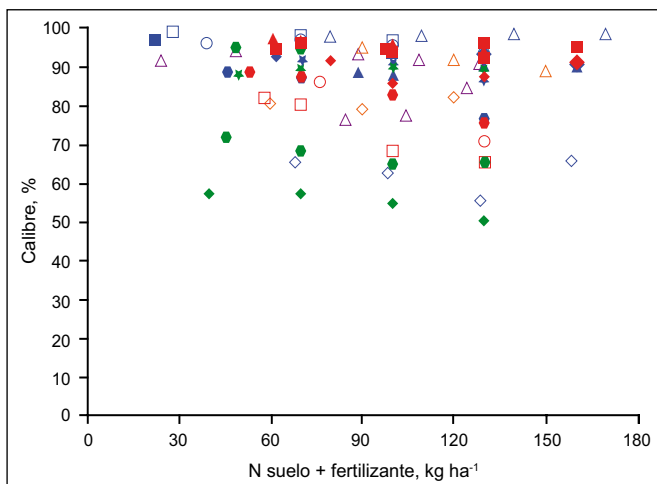


Figura 1. Calibre en función de la disponibilidad de N (N en el fertilizante + N en NO_3^- de 0 a 60 cm de profundidad) en los tratamientos N0, N1, N2 y N3 (sin fertilización azufrada ni nitrogenada en espigazón). Cada punto indica la media de las 3 ó 4 (de acuerdo al experimento) parcelas. Distintas formas de marcadores indican distintas localidades, distintos colores indican distintos años (rojo indica 2005, azul 2006, violeta 2007 y verde 2008). El número de observaciones es de 96.

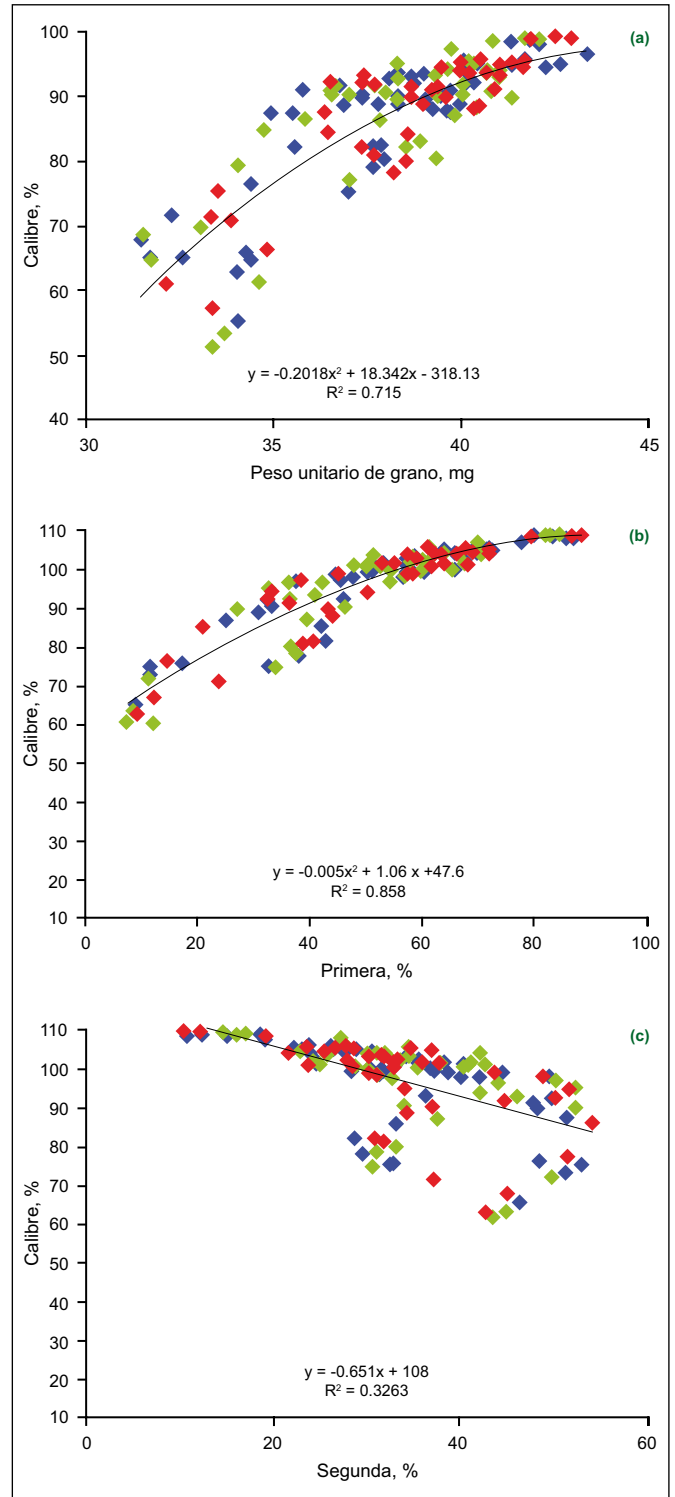


Figura 2. Calibre (%) en función del peso unitario de grano (a), de la primera fracción (b) y de la segunda fracción. Cada punto indica un tratamiento en un experimento. Cada punto indica la media de las 3 ó 4 (de acuerdo al experimento) parcelas. Puntos azules corresponden a tratamientos sin fertilización azufrada inicial ni nitrogenada en espigazón (trats. N0, N1, N2 y N3), puntos verdes corresponden a tratamientos con fertilización azufrada inicial pero sin fertilización nitrogenada en espigazón (trats. N1S, N2S y N3S) y puntos rojos corresponden a tratamientos con fertilización azufrada inicial y nitrogenada en espigazón (trats. N1SNe, N2SNe y N3SNe). Se indica la función ajustada. Todas las funciones fueron significativas ($p < 0.001$) y el número de observaciones es de 143.

Tabla 2. Respuesta del calibre al nitrógeno inicial (Ni), al azufre (S) y al nitrógeno en espigazón (Ne) y análisis de varianza en cada sitio. La respuesta al Ni se calculó como la diferencia entre el tratamiento N0 y el máximo de los tratamientos N1, N2 y N3. La respuesta al S se calculó como la diferencia entre los promedios de los tratamientos (N1, N2 y N3) y (N1S, N2S y N3S). La respuesta a Ne se calculó como la diferencia entre los promedios de los tratamientos (N1S, N2S y N3S) y (N1SNe, N2SNe y N3SNe). En el análisis de varianza, NS indica $p > 0.05$ y el número indica la probabilidad cuando $p < 0.05$.

Sitio	----- Respuesta, % -----			----- Análisis de varianza, valor p -----				
	Ni	S	Ne	Ni	S	Ni * S	Ne	Ni * Ne
1	-0.8	1.5	-1.0	0.006	0.007	NS	0.042	NS
2	-1.9	-6.2	4.0	0.025	NS	NS	NS	NS
3	1.0	-0.1	0.7	0.049	NS	NS	NS	NS
4	-3.0	-3.8	-4.4	0.011	NS	0.039	NS	NS
5	1.0	-6.0	3.4	NS	NS	NS	NS	NS
6	1.7	2.0	-1.0	NS	NS	NS	NS	NS
7	0.7	0.5	-0.1	NS	0.038	NS	NS	NS
8	-3.3	-1.3	3.2	0.001	NS	NS	0.004	NS
9	-0.9	-1.5	5.0	NS	NS	NS	0.001	NS
10	-7.0	3.6	-8.7	NS	NS	NS	NS	NS
11	-1.2	2.0	-0.2	0.003	0.018	NS	NS	NS
12	1.1	-0.3	0.8	NS	NS	NS	NS	NS
13	1.0	-0.6	0.1	NS	NS	NS	NS	NS
14	-0.5	0.9	1.6	NS	NS	NS	NS	NS
15	-0.9	-0.3	-0.7	0.001	NS	NS	NS	NS
16	1.8	0.1	0.1	NS	NS	NS	NS	NS
17	-1.7	1.6	-1.1	0.001	NS	NS	NS	NS
18	-1.2	0.3	0.3	0.007	NS	NS	NS	NS
19	-3.9	1.6	0.1	NS	NS	NS	NS	NS
20	1.5	0.0	1.5	NS	NS	NS	NS	NS
21	0.1	-0.6	2.3	NS	NS	NS	NS	NS
23	0.3	-1.5	-1.0	NS	NS	NS	NS	NS
24	1.7	1.5	-0.8	NS	NS	NS	NS	NS
25	-0.4	0.5	-0.6	0.003	NS	NS	NS	NS

asocian con variaciones en el calibre mayores. Esto se debe a que con pesos unitarios de grano por debajo de 38 mg (aproximadamente), las disminuciones del peso se asocian con disminuciones de la primera fracción, sin cambios importantes en la segunda fracción, mientras que con peso de granos mayores a 38 mg, los aumentos en el peso de grano se asocian con aumentos de la primera fracción, compensadas parcialmente por reducciones en la segunda. Passarella et al. (2003) observaron una relación similar entre calibre y peso unitario de granos cuando compararon 8 cultivares de cebada que han sido empleados en la región pampeana en distintos periodos históricos.

En esta red se observó que cuando aumenta la primera fracción, disminuye la segunda (**Ec. 4**), en forma similar a lo observado por Ross et al. (2013). Las variaciones en

el calibre se asociaron positivamente a las variaciones en la primera fracción y en forma negativa a la segunda fracción (**Figura 2b y 2c**).

El calibre varió, en mayor medida, como consecuencia de la variación de los ambientes entre los sitios experimentales y, en menor medida, por el efecto de los tratamientos. Para analizar las variaciones debido a los tratamientos en forma independiente de las variaciones debido a los ambientes, se calculó un índice que denominamos “calibre relativo”, dividiendo el calibre de cada tratamiento por el promedio de todos los tratamientos de cada experimento. De manera similar se calcularon los índices “primera relativa” y “segunda relativa”, dividiendo el valor de cada tratamiento por el promedio de cada sitio. El calibre relativo se asoció positivamente a la “primera fracción relativa” y en forma

negativa y poco robusta a la “segunda relativa” (Ec. 5 y 6). Es decir que las variaciones del calibre debidas a los tratamientos de fertilización estuvieron determinadas por variaciones en la primera fracción.

$$\text{Seg} = -0.0054 \text{ Pri}^2 + 0.0601 \text{ Pri} + 47.635 \quad (R^2 = 0.81; \quad p < 0.001; n = 143) \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\text{CalRel} = 0.257 \text{ PriRel} - 0.743 \quad (R^2 = 0.72; p < 0.001; \quad n = 143) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{CalRel} = -0.0694 \text{ SegRel} + 1.0694 \quad (R^2 = 0.05; p = 0.026; \quad n = 143) \quad (\text{Ec. 6})$$

donde Seg es Segunda fracción (%); Pri es Primera fracción (%); CalRel es el calibre dividido el promedio de calibre de cada experimento; PriRel es la primera fracción dividido por el promedio de la primera fracción de cada experimento; y SegRel es la segunda fracción dividido por el promedio de la segunda fracción de cada experimento.

Conclusiones

- La disponibilidad hídrica tuvo una gran importancia en la regulación del calibre (al igual que en la regulación del rendimiento y del contenido proteico de los granos). Es interesante destacar que las precipitaciones no aparecen multiplicando la disponibilidad de N, indicando que los efectos de la fertilización con N sobre el calibre ocurren tanto en años húmedos como en años secos a diferencia de lo observado con el rendimiento.
- Las variaciones del calibre originadas por los tratamientos o por los ambientes estuvieron determinados por los cambios en la primera fracción. Los cambios de segunda fracción, por el contrario, se asociaron negativamente con cambios en el calibre. El calibre es un estimador confiable del peso unitario del grano, en particular de la primera fracción (> 2.5 mm).

Agradecimientos

A Fertilizar Asociación Civil por el apoyo económico recibido durante los dos primeros años de ensayos y a Maltería Pampa S.A., en particular al Ing. Agr. Daniel Desmery del Laboratorio de la Planta Tres Arroyos, por los análisis de calidad de las muestras de cebada.



Ensayo de Fertilización de Cebada. Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Bibliografía

- Briggs, D.E. 1998. Malts and malting. Blackie Academic & Professional. Londres.
- Daverede, I., F. Miguez, R. Frigerio, y J. Scanlan. 2013. Respuesta de la cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) a la fertilización y aplicación de fungicida. Actas IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca.
- Ferraris, G.N., F. Mousegne, M. Barraco, J. Cavo, L. Couretot, R. Falconi, E. Lemos, M. López de Sabando, G. Magnone, A. Martín, P. Melilli, O. Ferraris, A. Paganini, G. Pérez, R. Pontoni, J. Zanettini, C. Scianca, R. Solá, M.G. Tellería, y L. Ventimiglia. 2014. Rendimiento y respuesta comparada a fósforo y nitrógeno en trigo y cebada cervecera (2009, 2010, 2011, 2012 y 2013). Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca.
- Passarella, V. S., R. Savin, L.G. Abeledo, y G.A. Slafer. 2003. Malting quality as affected by barley breeding (1944-1998) in Argentina. *Euphytica* 134:161-167.
- Prystupa, P., R. Bergh, G. Ferraris, T. Loewy, L. Ventimiglia, F.H. Gutierrez Boem, y L. Couretot. 2008. Fertilización nitrogenada y azufrada en cebada cervecera cv. Scarlett. *Informaciones Agronómicas* 38:5-11.
- Prystupa, P., G. Ferraris, L. Ventimiglia, T. Loewy, L. Couretot, R. Bergh, y F.H. Gutiérrez Boem. 2016. Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires: I. Efectos sobre el rendimiento y el contenido proteico de los granos. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 21:7-14.
- Ross, F., J. Massigoge, y M. Zamora. 2011. Fertilización de cebada cervecera en ambientes con tosca en el sur de Buenos Aires, Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 3:9-13.
- Ross, F., M.L. Seghezzi, y L. Wehrhahne. 2013. Manejo de la calidad comercial del cultivo de cebada cervecera en suelos someros. Actas IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca.
- Salvagiotti, F., J.M. Castellarín, D.J. Miralles, y H.M. Pedrol. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research* 113:170-177.