

FERTILIZACIÓN DE CEBADA CERVECERA EN AMBIENTES CON TOSCA EN EL SUR DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Fernando Ross¹, José Massigoge¹ y Martín Zamora¹

Introducción

En la zona de influencia de la Chacra Experimental de Barrow, la superficie destinada a cebada representa aproximadamente el 29% del total del área cultivada con cereales de cosecha fina, siendo el trigo el cultivo principal. No obstante, en el partido de Coronel Dorrego, el cultivo de cebada alcanza un 50% del área destinada a cultivos de cosecha fina. Claramente, la elección de los productores refleja la capacidad o los requerimientos ambientales de cada cultivo. Varias publicaciones coinciden que, en condiciones limitantes, las ventajas ecofisiológicas del cultivo de cebada le otorgan mayor productividad y estabilidad respecto del cultivo de trigo (Loewy y Ron, 2001; Zamora, 2001; Wehrhanhe, 2008; Giménez et al. 2008; Abeledo et al., 2008). Sin embargo, el destino principal de la producción de cebada está orientado a la maltería, con requerimientos de granos grandes y contenido proteico medio, requisitos que en ciertas campañas, no se pueden cumplir, por lo que el destino de los granos pasa a ser forrajero. Por esto, es necesario evaluar y determinar las necesidades del cultivo, su interacción con el ambiente y las pautas de manejo para lograr el rendimiento y la calidad requeridos.

En los sistemas productivos actuales, la siembra directa determina una reducción en tasa de mineralización de la materia orgánica (MO), favoreciendo la respuesta a la aplicación de fertilizantes. Los efectos de la fertilización nitrogenada sobre el cultivo de cebada han sido estudiados previamente. Sin embargo, los resultados obtenidos en nuestra región presentan una gran variabilidad (Rausch et al., 2003; Loewy et al., 2008; Ross et al., 2010a). El rendimiento de las nuevas variedades de cebada presenta una mayor respuesta a la aplicación de nitrógeno (N) (Prystupa, 2005), el cual se relaciona con un avance en la capacidad de fijación de granos por unidad de superficie. Bajo esta condición, la producción de cebada en ambientes con estrés puede determinar efectos adversos sobre la calidad de los granos (Ross et al., 2010b). El estrés durante el llenado de granos produce incrementos en la concentración de proteína (Rausch et al., 2003; Prystupa, 2005; Prystupa et al., 2008; Ross et al., 2010b), y una reducción del peso individual del grano (Ross et al., 2010a). Este efecto es de radical importancia porque el calibre alcanzado por los granos se relaciona directamente con el peso por grano.

Entonces, en ambientes con mayores limitaciones, el impacto negativo de la fertilización nitrogenada sobre el calibre del grano es notoriamente superior (Ross et al., 2010b).

Estos conceptos ponen de manifiesto la necesidad de realizar un diagnóstico de los niveles de fertilización nitrogenada requeridos según la capacidad del ambiente. Además, la agricultura sitio-específica va incrementando la demanda de información sobre indicadores de sitio, evaluaciones *in-situ* y toda información sobre mecanismos e interacciones del cultivo con el ambiente y el manejo.

Materiales y métodos

Durante las campañas agrícolas 2008/09, 2009/10 y 2010/11 se realizaron experimentos de fertilización en Aparicio (A), San Francisco de Bellocq (B), Claromecó (C) y Coronel Dorrego (D). En cada sitio se seleccionó un lote por año, y dentro de cada lote se seleccionaron dos ambientes: somero (s) y profundo (p) en Aparicio, Claromecó y Coronel Dorrego, y bajo y loma en Bellocq. En cada uno de estos ambientes se realizó el mismo ensayo de fertilización (Tabla 1), conformando un total de 24 ensayos (3 años x 4 localidades x 2 ambientes). Se utilizó un diseño en bloques aleatorizados con cuatro repeticiones, realizando el análisis estadístico con el modelo de efectos mixtos (Proc Mixed) de SAS.

Tabla 1. Dosis de nitrógeno (N) y azufre (S) expresadas en kg ha⁻¹, aplicados en macollaje y espigazón, según tratamiento*

Tratamiento	N macollaje	S macollaje	N espigazón
	----- Dosis de N, kg ha ⁻¹ -----		
1	0	0	0
2	50	0	0
3	100	0	0
4	150	0	0
5	50	15	0
6	100	15	0
7	150	15	0
8	50	0	20
9	100	0	20
10	150	0	20

* El N a macollaje se aplicó en forma de UAN, en los tratamientos con S se aplicó mezcla líquida de UAN con tiosulfato. En espigazón se aplicó urea líquida de bajo contenido de biuret.

¹ Chacra Experimental Integrada Barrow. Casilla de correo 50 (7500), Tres Arroyos. Correo electrónico: fross@correo.inta.gov.ar

Durante los tres años de experimentación en los sitios con tosca (Coronel Dorrego, Aparicio y Claromecó), el antecesor fue trigo, a diferencia de Bellocq donde fue girasol en los dos primeros años y pastura en el último. La mayoría de los cultivos fueron sembrados en el mes de junio.

Para caracterizar los ambientes se midieron las siguientes variables de sitio: precipitaciones, determinaciones analíticas del suelo (MO, nitratos, humedad a la siembra) y profundidad a la tosca (Tabla 2). La evaluación de la profundidad de la tosca se realizó en forma intensiva, efectuando tres mediciones por unidad experimental. En todos los ensayos se aplicaron dosis suficientes de fertilizantes fosfatados para evitar limitaciones por deficiencia de fósforo.

Las variables de cultivo evaluadas fueron el rendimiento y sus componentes (número de granos por unidad de superficie y peso por grano), la partición ó índice de cosecha (IC), el porcentaje de proteína en granos, el calibre y la proporción de granos bajo zaranda de 2.5 mm.

Resultados

Las precipitaciones en el ciclo del cultivo resultaron escasas durante los años 2008/09 y 2009/10. Las lluvias ocurridas en el barbecho durante el 2008 en las localidades de Claromecó y Bellocq resultaron superiores

a lo normal. En el año 2010, las precipitaciones tanto en el barbecho como en el ciclo del cultivo resultaron equilibradas y suficientes para alcanzar una buena producción (Tabla 3). Si bien el barbecho se consideró desde principio de enero, para el caso de Bellocq debemos considerar que parte de lo acumulado fue utilizado por el cultivo de girasol.

Efectos en el rendimiento

La mayoría de los efectos evaluados (año, localidad, ambiente, tratamiento) afectaron el rendimiento, la proteína y el calibre. Muchas interacciones fueron significativas, es decir la respuesta a un efecto (en particular N) fue diferente ante variaciones de otros efectos. Por ejemplo, el N aplicado en macollaje afectó significativamente el rendimiento, pero su efecto fue diferente entre localidades y entre años. Interacciones equivalentes ocurrieron sobre la proteína y el calibre. Otro efecto significativo sobre el rendimiento fue el N foliar (espigazón, Ne), el cual afectó la proteína con interacción triple Año*Localidad*Ne. El efecto del S sobre el rendimiento, proteína y calibre no fue significativo en forma generalizada; sin embargo, la significancia de la interacción Año*Localidad*S sobre la proteína se debe a que afectó positivamente el contenido proteico en algunas localidades durante el 2008 (datos no mostrados). Estos resultados nos obligan a analizar sitio por sitio cada año,

Tabla 2. Características de suelo de cada uno de los sitios evaluados. Ns = nitrógeno de nitratos en el suelo para el estrato 0-60 cm, expresado en kg ha⁻¹, MO = materia orgánica para el estrato 0-20 cm, expresada en %, Pro-T = profundidad a la tosca, expresada en cm.

Sitio	----- 2008 -----			----- 2009 -----			----- 2010 -----		
	Ns kg ha ⁻¹	MO %	Pro-T cm	Ns kg ha ⁻¹	MO %	Pro-T cm	Ns kg ha ⁻¹	MO %	Pro-T cm
Dorrego Profundo	86	4	69	83	3.3	53	51	3.4	40
Dorrego Somero	102	3.4	45	94	3.4	41	35	3.8	82
Aparicio Profundo	121	2.7	77	54	2.8	101	57	3.5	46
Aparicio Somero	107	3.2	47	38	2.4	69	35	2.7	72
Claromecó Profundo	70	4.2	>100	71	4.2	>100	28	3.5	88
Claromecó Somero	87	2.9	56	47	4.0	58	27	3.7	73
Bellocq Bajo	88	4.2	>100	51	3.2	>100	95	4.5	>100
Bellocq Loma	85	4.4	>100	67	3.6	>100	111	4.4	>100

Tabla 3. Precipitaciones por año y localidad.

Localidad	----- 2008 -----		----- 2009 -----		----- 2010 -----	
	Barbecho	Ciclo	Barbecho	Ciclo	Barbecho	Ciclo
----- mm -----						
Dorrego	235	148	215	127	359	287
Aparicio	275	180	282	201	417	301
Claromecó	606	170	393	158	527	387
Bellocq	636	146	303	191	548	428

evaluando la influencia de las variables de sitio sobre la magnitud de la respuesta del cultivo.

Durante los años y sitios experimentados, la aplicación de dosis crecientes de N tuvo efectos positivos, neutrales y negativos sobre el rendimiento (**Figura 1**). En primer lugar, producto de que los efectos de la fertilización fueron diferentes entre años y localidades, debemos observar los resultados desagregados. En la localidad de Bellocq, la respuesta a la aplicación de N fue nula (**Figura 1**). La ausencia de respuesta durante las campañas 2008 y 2010 se debería a la presencia de pastura como antecesor dentro de los últimos dos años, habiendo aportado el suelo suficiente N para el cultivo (**Tabla 2**). En el año 2009, pese a menor cantidad de N en el suelo (**Tabla 2**), la respuesta estuvo limitada por estrés hídrico y térmico durante el llenado. Finalmente, en el año 2010, en el sitio Bellocq bajo se observó vuelco generalizado en los tratamientos fertilizados, provocando efectos depresores sobre el rendimiento (**Figura 1**).

Durante el 2009, año de menores precipitaciones (**Tabla 3**), se observó un efecto negativo sobre el rendimiento por la aplicación de dosis altas de N en los sitios Dp, Ds, Ap, As, y Cs (**Figura 1**), producto del déficit hídrico. Es decir, la estimulación del consumo hídrico temprano por la fertilización con altas dosis de N determinó que la limitación hídrica en el llenado fuese más intensa. No obstante, debemos considerar que los primeros 50 kg ha⁻¹ de N generaron una respuesta nula o positiva.

En el año 2008, en el sitio Cp no hubo respuesta a la adición de N (**Figura 1**), producto de que el ensayo se ubicó en las cercanías del arroyo Claromecó, sitio con buena profundidad y bien provisto de MO (**Tabla 1**). Los restantes sitios con tosca sin respuesta fueron Dp2008, Ds2008, As2008-10, y Cs2008. Contrariamente, los sitios con respuesta fueron Dp2010, Ds2010, Ap2008-10, Cp2009-10, y Cs2010 (**Figura 1**). En una primera aproximación, se observa que la frecuencia de respuesta es mayor en los sitios profundos y en el año de mayor precipitación.

Vale la pena aclarar que no necesariamente el sitio profundo rindió siempre más que el somero. Podemos ver en la **Figura 1** la interacción positiva Año*Sitio. Durante los años 2008 y 2009, los sitios someros de las localidades de Dorrego y Aparicio tuvieron rendimiento

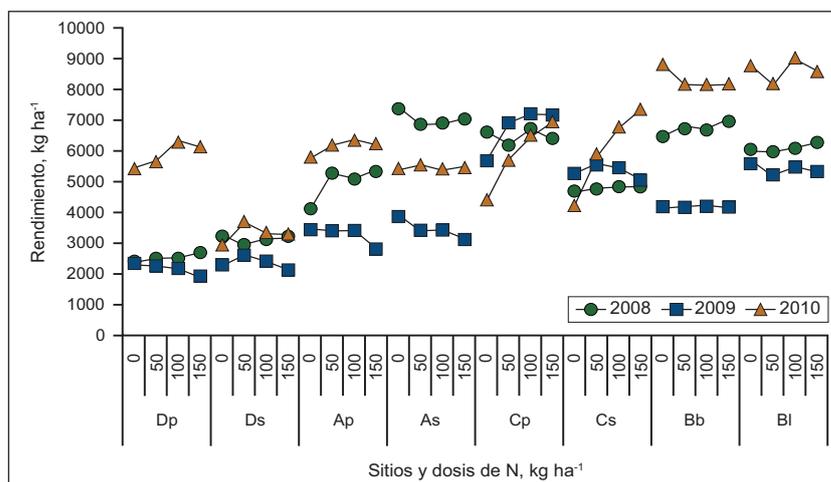


Figura 1. Rendimiento en función de la dosis de N aplicado en macollaje, año y sitio evaluado (Dp = Dorrego Profundo, Ds = Dorrego Somero, Ap = Aparicio Profundo, As = Aparicio Somero, Cp = Claromecó Profundo, Cs = Claromecó Somero, Bb = Bellocq Bajo, Bl = Bellocq Loma (somero)).

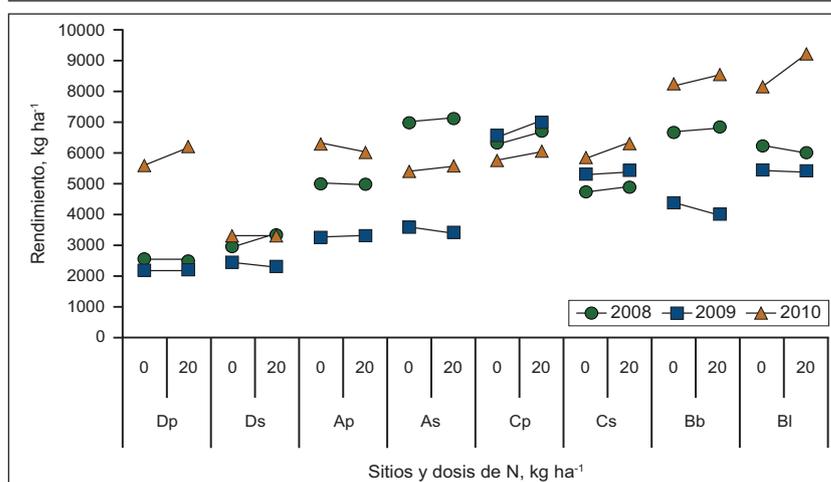


Figura 2. Rendimiento en función de la dosis de N foliar aplicado en espigazón, año y sitio evaluado (Dp = Dorrego Profundo, Ds = Dorrego Somero, Ap = Aparicio Profundo, As = Aparicio Somero, Cp = Claromecó Profundo, Cs = Claromecó Somero, Bb = Bellocq Bajo (profundo), Bl = Bellocq Loma (somero)).

semejante a los sitios profundos, producto de la escasez de precipitaciones acumuladas en el barbecho y durante las primeras etapas del ciclo (**Tabla 3**). En cambio, durante el año 2010, en ambas localidades, los sectores profundos rindieron más que los someros. Esto mismo ocurrió en la localidad de Claromecó en los años 2008 y 2009, dado que el sitio profundo expresó su capacidad extra para almacenar agua cuando las precipitaciones sobrepasaron la capacidad del sitio somero, pudiendo hacer uso de esta en los momentos deficitarios.

Como se observa en la **Figura 2**, la mayor frecuencia de respuesta en rendimiento a la aplicación de N en espigazón se observó en el año 2010. No obstante, podemos considerar que la mitad derecha de las localidades de la **Figura 2** tienen mayor frecuencia de respuesta (interacción triple; Año*Localidad*Ne, p=0.09).

Efectos en la calidad

Los efectos de la fertilización con N en macollaje sobre la calidad resultaron notorios y mayores a los efectos mencionados sobre rendimiento (Figuras 3, 4 y 5). En la Figura 3, podemos observar que las mayores respuestas en proteína están en la mitad izquierda (Dorrego y Aparicio), relacionado a menores rendimientos de estos sitios. En estos casos vemos que dosis crecientes de N incrementaron el nivel de proteína incluso en el año 2010, cuando la respuesta en rendimiento fue muy significativa (Figura 1 y 3). Por otro lado, en la mitad derecha de la Figura 3 se observa que, a excepción de C-2008, los incrementos en concentración de proteína son inferiores pero significativos. En estos casos, la magnitud de la respuesta en rendimiento o los niveles de rendimientos alcanzados actuaron diluyendo los aportes de N provistos con la fertilización. Si bien, no hubo respuesta en rendimiento en los sitios de Bellocq (Figura 1), la fertilización nitrogenada en macollaje aumentó los niveles de proteína (Figura 3). En 2008 en Bellocq, la excesiva humedad del suelo al momento de aplicación del N y la ocurrencia de una lluvia de magnitud luego de la aplicación habrían favorecido la lixiviación y ausencia de respuesta en rendimiento y proteína (Figuras 1 y 3).

Si consideramos el N, proviniera de la suma del N del suelo evaluado a la siembra más el aplicado mediante la fertilización, necesario para alcanzar un nivel de proteína de 11%; durante el 2008 fueron requeridos 39 kg de N t⁻¹ de grano, en el 2009 se incrementó a 42.1 kg de N t⁻¹ de grano y en el 2010 resultó de 27.5 kg de N t⁻¹ de grano. Debemos adicionar que en los años secos (2008 y 2009) se observó un alto nivel inicial de N en el suelo y se obtuvieron bajos rendimientos. No obstante, estos datos nos muestran lo ineficiente que fue el cultivo en años secos para capturar el N aplicado. Si bien, no se efectuaron análisis, el nivel de N remanente en el suelo al final del ciclo del cultivo resultaría elevado.

En la Figura 3 podemos ver que en todos los casos la fertilización con N a la siembra fue suficiente para alcanzar 11% de proteína. Sin embargo, se logró una respuesta promedio de 0.8% de incremento

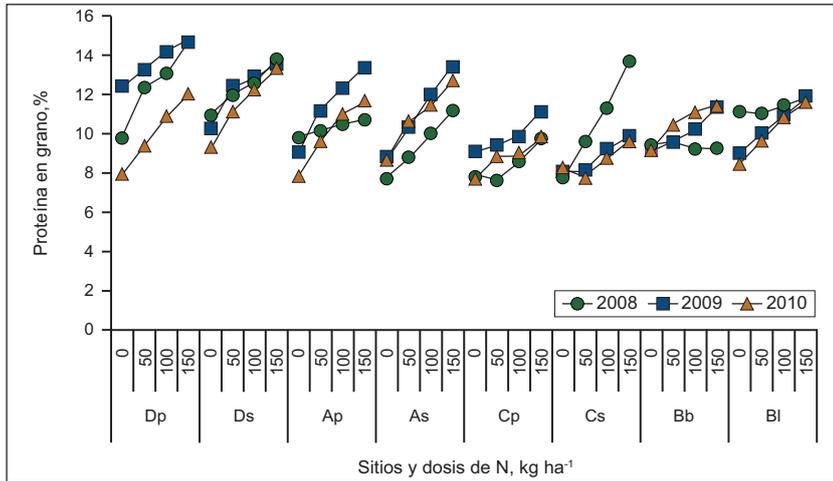


Figura 3. Proteína en función de la dosis de N aplicado en macollaje, año y sitio evaluado (Dp = Dorrego Profundo, Ds = Dorrego Somero, Ap = Aparicio Profundo, As = Aparicio Somero, Cp = Claromecó Profundo, Cs = Claromecó Somero, Bb = Bellocq Bajo (profundo), Bl = Bellocq Loma (somero)).

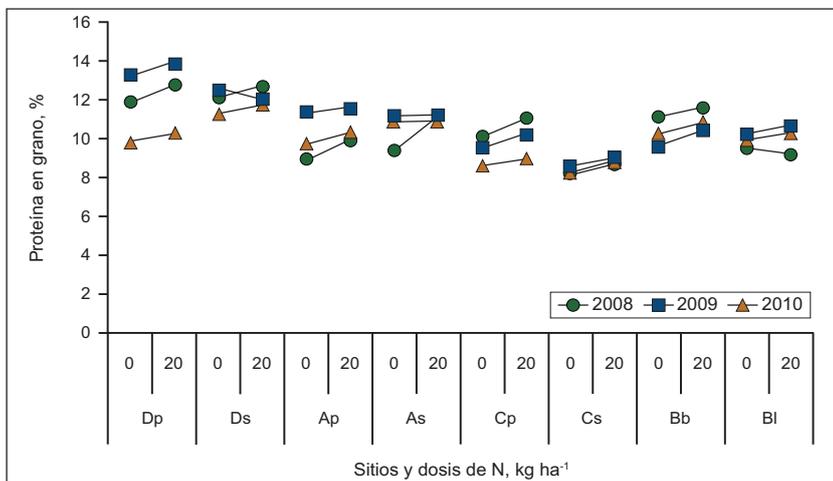


Figura 4. Proteína en función de la dosis de N aplicado en macollaje, año y sitio evaluado (Dp = Dorrego Profundo, Ds = Dorrego Somero, Ap = Aparicio Profundo, As = Aparicio Somero, Cp = Claromecó Profundo, Cs = Claromecó Somero, Bb = Bellocq Bajo (profundo), Bl = Bellocq Loma (somero)).

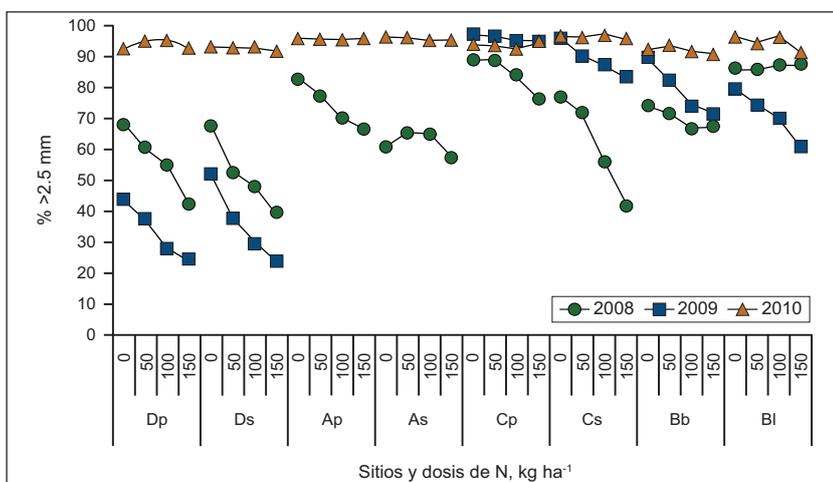


Figura 5. Calibre en función de la dosis de N aplicado al macollaje, año y sitio evaluado (Dp = Dorrego Profundo, Ds = Dorrego Somero, Ap = Aparicio Profundo, As = Aparicio Somero, Cp = Claromecó Profundo, Cs = Claromecó Somero, Bb = Bellocq Bajo (profundo), Bl = Bellocq Loma (somero)).

de la proteína en granos con la aplicación de 20 kg ha⁻¹ de urea foliar en espigazón. Estos incrementos están combinados con los aumentos de rendimiento alcanzados en los sitios de mayor producción (220 kg ha⁻¹, **Figura 2**).

La aplicación de N afectó el calibre de los granos con una fuerte interacción con año y sitio (**Figura 5**). Notoriamente en los años 2008 y 2009, en Dorrego y Aparicio y en Claromercó somero 2008 y Bellocq bajo 2009 se observaron las reducciones más grandes del calibre por efecto de la aplicación de N. Estos sitios se caracterizaron por baja respuesta en rendimiento y alta respuesta en proteína ante el agregado de N (**Figuras 1 y 3**). Para el resto de los sitios, en las campañas 2008 y 2009, los efectos sobre el calibre fueron menores. Por último, durante el 2010, los efectos del N sobre el calibre resultaron nulos por la presencia de buenas precipitaciones en el llenado de los granos (**Figura 5; Tabla 2**).

En todos los años y sitios, la aplicación de N produjo incrementos en el número de granos por unidad de superficie (datos no mostrados). Según el sitio, cuanto mayor fue la limitación durante la etapa de llenado, los incrementos en el número de granos se relacionaron con menores pesos individuales (por grano). El calibre fue una variable dependiente del peso por grano. En el año 2010 no hubo efectos de la fertilización nitrogenada sobre el calibre. Sin embargo, en el 2008 y 2009, con balance superior a 22 kg de N t⁻¹ de grano, el calibre se reducía linealmente debajo del 80%. Llegando en muchos casos a una situación de compromiso, con el aporte de N de fertilizante necesario para niveles de 11% de proteína, el calibre resultó en niveles inferiores al 60%.

Conclusiones

El rendimiento del cultivo de cebada fue significativamente afectado por la fertilización nitrogenada. Sin embargo, la magnitud de la respuesta varió entre años y sitios evaluados. La profundidad del suelo, que afecta el nivel de reserva de agua a la siembra, constituyó otro factor de importancia, afectando el nivel de producción. Entre los casos evaluados, los lotes que tuvieron un buen barbecho y colmaron su capacidad de almacenaje de agua presentaron los mayores rendimientos. Sin embargo, fueron las precipitaciones desde mediados del ciclo del cultivo las que afectaron la eficiencia de uso del N del fertilizante. En los ambientes someros (con tosca), con buenas precipitaciones desde mediados de ciclo se determinó un requerimiento de 28 kg de N t⁻¹ de cebada para alcanzar 11% de proteína, sin afectar el calibre de los granos.

Los resultados nos muestran que para realizar un programa de fertilización es necesario realizar un análisis de suelo por ambiente. Luego, debemos integrar este resultado con la historia del lote, considerando los últimos antecesores y su productividad. Las mayores concentraciones de N se encontraron cuando hubo pastura uno o dos años atrás, o producto de un mal

rendimiento del cultivo anterior. También, debemos considerar el paquete tecnológico que se utilizó en el lote durante el año previo y la posibilidad de lavado o lixiviación por lluvias abundantes durante el barbecho.

Agradecimientos

A los productores que colaboran con sus lotes, al laboratorio de granos de la Chacra Experimental de Barrow y a la empresa Bunge-PASA, proveedora de los fertilizantes líquidos.

Bibliografía

- Abeledo, L., C. Mignone, y D.J. Miralles. 2008 Rendimiento comparado y contenido de proteína en grano en trigo y cebada cervecera en respuesta a la disponibilidad de nitrógeno y azufre. VII Congreso Nacional de Trigo, La Pampa. MF33.
- Giménez, F., F. Moreyra, V. Conti, y J.C. Tomaso. 2008. Comparación del rendimiento de variedades de cereales de invierno. VII Congreso Nacional de Trigo, La Pampa. MF36.
- Loewy, T., y M.M. Ron. 2001. Componentes de rendimiento en trigo y cebada cervecera bajo distintos niveles nutricionales. V Congreso Nacional de Trigo, Villa Carlos Paz. 7p.
- Loewy, T., R. Bergh, G. Ferraris, L. Ventimiglia, F.H. Gutierrez Boem, P. Prystupa, y L. Couretot. 2008. Fertilización de cebada cervecera cv Scarlett: I. Efecto del nitrógeno basal. XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes (SL). Manejo y conservación del agua y suelo, riego y drenaje. 234p.
- Prystupa, P. 2005. Fertilidad de suelos y Fertilización de cultivos. Editores: Echeverría H. y García F. Grancharoff Impresores. Capítulo 15, 317p.
- Prystupa, P., G. Ferraris, T. Loewy, R. Bergh, L. Ventimiglia, F.H. Gutierrez Boem y L. Couleot. 2008. Fertilización de cebada cervecera cv Scarlett: IV. Estimación de la respuesta del contenido proteico a la fertilización nitrogenada. XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes (SL). Manejo y conservación del agua y suelo, riego y drenaje. 239p.
- Rausch, A., A. Lazzari, y M.R. Landriscini. 2003. Disponibilidad de nitrógeno en el suelo y su influencia en el rendimiento de este cultivo con buena calidad Maltera. Fertilizar No 32, septiembre 2003. pp.13-17.
- Ross, F., J. Massigoge, y M. Zamora. 2010a. Efectos del ambiente y la fertilización en cebada cervecera cv Scarlett: I Rendimiento. XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Rosario. 142p.
- Ross, F., J. Massigoge, y M. Zamora. 2010b. Efectos del ambiente y la fertilización en cebada cervecera cv Scarlett: II Calidad. XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Rosario. 148p.
- Wehrhanhe, L. 2008. Evaluación comparativa de rendimiento y calidad de avena, cebada y trigo. VII Congreso Nacional de Trigo, La Pampa. S-21p.
- Zamora, M. 2001. Comportamiento de trigo y cebada cervecera ante condiciones de estrés hídrico. Página Web CHEI Barrow.*