

DOSIS Y FUENTES DE NITRÓGENO-AZUFRE EN UNA SECUENCIA CEBADA-SOJA EN SAN ANTONIO DE ARECO

Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino,
Proyecto Regional Agrícola, Campaña 2009/10.

Gustavo N. Ferraris¹, Fernando Mousegne², Marcelo López de Sabando², Lucrecia A. Couretot¹ y Juan Urrutia³

1. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 (2700) Pergamino 2.AER San Antonio de Areco.3. Bunge Argentina SA.

nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción

En la Región Pampeana Argentina, nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) limitan los rendimientos en un grado variable según la región, cultivo y nivel de rendimiento. Los cereales de invierno han incrementado su productividad en los últimos años gracias a la mejora genética, el uso estratégico de insumos y un mayor ajuste en prácticas de manejo, como almacenaje de agua en el suelo, uso de modelos de fertilización o control de enfermedades. Las rotaciones con cereales de invierno son considerados como una secuencia, donde las prácticas implementadas afectan el rendimiento de esta especie, su calidad, y los del cultivo de segunda. Uno de los principales factores de mejora en los rendimientos del cultivo de segunda son los fertilizantes aplicados en el antecesor invernal, aunque los incrementos no siempre están debidamente cuantificados.

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) Evaluar el efecto de la fertilización con NS, combinando fuentes y dosis, sobre la productividad y calidad de cebada destinada a la producción de malta y 2) Cuantificar la residualidad de la fertilización en soja de segunda.

Materiales y métodos

Se realizó un experimento de campo en el establecimiento "La Fe", en San Antonio de Areco, sobre un suelo Serie Capitán Sarmiento, Argiudol típico de muy buena productividad. En el ensayo se evaluaron diferentes estrategias de fertilización nitrógeno-azufrada, que incluyeron sólidos -Urea y Urea + Yeso- y líquidos -UAN y SolMix, mezcla física de UAN + Tiosulfato de amonio-, aplicadas en su totalidad en cebada cervecera. Todo el sitio fue fertilizado de manera uniforme con 100 kg ha⁻¹ de superfosfato triple, a la siembra de la cebada. La soja de segunda posterior no fue fertilizada. Los experimentos fueron conducidos con un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La descripción de los tratamientos y la dosis de NS aportada se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados en el ensayo.*

Trat	Fuente	Momento de aplicación	Nivel N (suelo + fertilizante)	Dosis de S (kg ha ⁻¹)	Dosis de N foliar (kg ha ⁻¹)
T1	Testigo				
T2	Urea (46-0-0)	siembra	100	0	
T3	UAN (32-0-0)	siembra	100	0	
T4	Urea + Yeso (0-0-0-S18)	siembra	100	20	
T5	UAN + TSA (12-0-0-S26)	siembra	100	20	
T6	Urea (46-0-0)	siembra	140	0	
T7	UAN (32-0-0)	siembra	140	0	

T8	Urea + Yeso (0-0-0-S18)	siembra	140	20	
T9	UAN + TSA (12-0-0-S26)	siembra	140	20	
T10	UAN + TSA + Nfoliar (20-0-0)	siembra + antesis	100	20	N20
T11	UAN + TSA + Nfoliar (20-0-0)	siembra + antesis	140	20	N20

El ensayo del primer cultivo fue sembrado el día 26 de Junio, en siembra directa. El antecesor fue soja de primera y el cultivar Scarlett. La disponibilidad inicial de agua fue media a baja (100 mm de agua útil, medido a 2 m de profundidad). La soja de segunda se implantó el día 10 de Diciembre, inmediatamente después de la cosecha de cebada y con adecuada reserva hídrica en el perfil.

Previo a la siembra, se realizó un análisis químico de suelo por bloque, cuyos resultados promedio se expresan en la Tabla 2. La disponibilidad de N en suelo se sumaría al fertilizante hasta llegar al nivel deseado.

Tabla 2: Análisis de físico-químico de suelo a la siembra*.

Identificación	SA de Areco		
Profundidad (cm)	0-20		20-40
pH	5,9	medio	
CE	0,508	medio	
MO %	3,12	medio	
NTotal	1,43	medio	
Pe (Bray1 - ppm)	12,6	bajo	
N-NO3	8		6
N (kg ha ⁻¹)	43,4	medio	
S-SO4	7	bajo	
Arcilla (g.kg ⁻¹)	g.kg ⁻¹	259	
Arena (g.kg ⁻¹)	g.kg ⁻¹	132	
Limo (g.kg ⁻¹)	g.kg ⁻¹	608	

*Nota: La humedad a la siembra fue media y la condición física del suelo levemente compactado y huelleado.

La recolección de ambos cultivos se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. A la cosecha de cebada, se midió el rendimiento y sus componentes, número (NG) y peso (PG) de los granos. En soja se determinó rendimiento, obteniendo así la productividad acumulada de la secuencia. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza (ANVA), comparaciones de medias y análisis de regresión.

Resultados y Discusión

A) Características climáticas de la campaña

Los rendimientos no estuvieron limitados por estrés hídrico. El clima fue benigno en San Antonio de Areco durante la campaña de invierno: La reserva hídrica inicial fue media, las precipitaciones invernales bien distribuidas (Figura 1.a). Las heladas fueron de menor intensidad que en otras localidades ubicadas más al Oeste, afectando menos al cultivo por ocurrir sobre suelo húmedo. No se registraron eventos con granizo durante el ciclo. Por último, el cociente fototermal fue muy alto, gracias a la buena insolación y especialmente

moderadas temperaturas. El ambiente fue mejor aún para soja de segunda, favorecida por precipitaciones muy abundantes desde el inicio del ciclo (Figura 1.b).

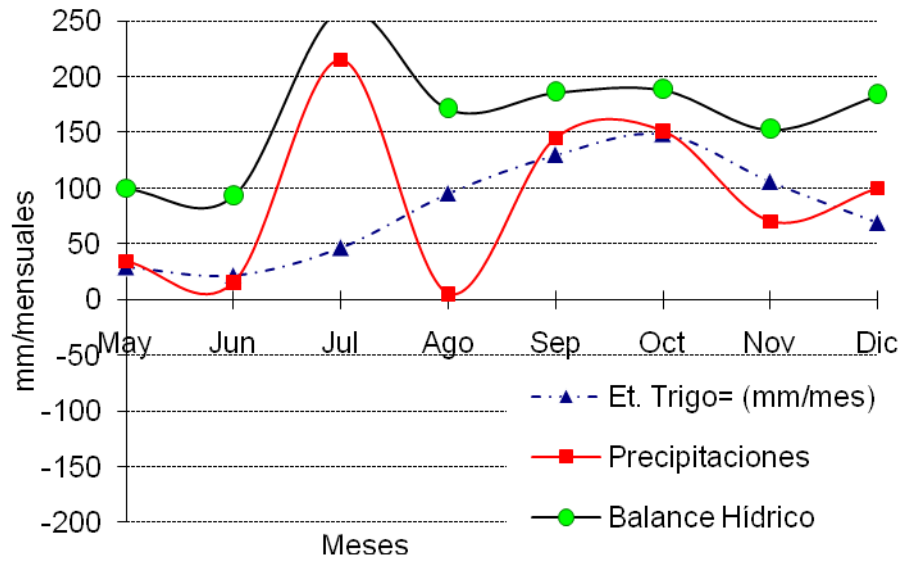


Figura 1.a

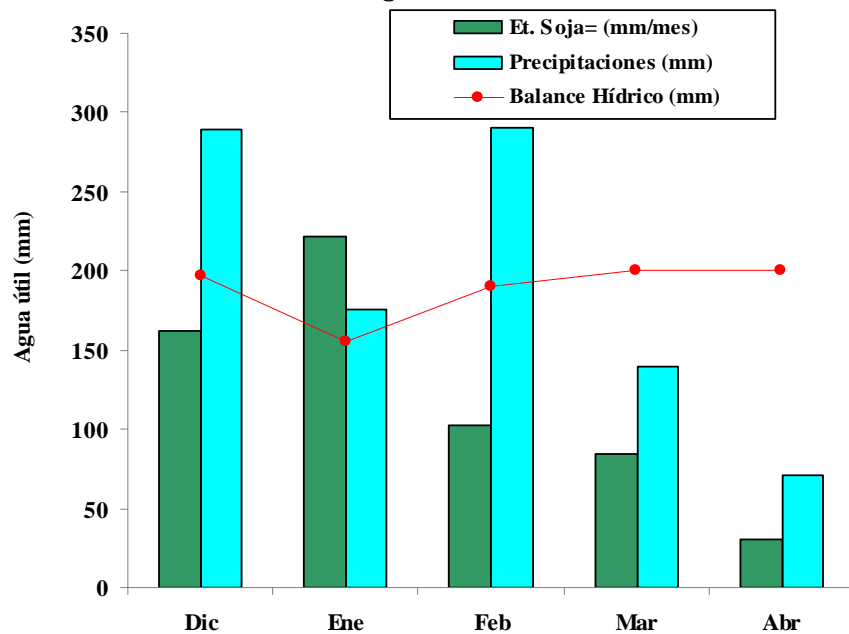


Figura 1.b

Figura 1. Evapotranspiración, precipitaciones y balance hídrico, expresados como lámina de agua útil (valores positivos) o déficit de evapotranspiración (valores negativos) para Cebada (1.a) y Soja de Segunda (1.b) en San Antonio de Areco. Valores acumulados en mm.

B) Rendimientos y otras variables de cultivo en cebada

En la Tabla 3 se presentan los datos de las variables evaluadas en el primer cultivo. No se observaron efectos fitotóxicos por la aplicación de N foliar. Las diferencias en rendimiento

(P=0,32, cv=13,6 %), NG (P=0,36, cv=15,1%) y PG (0,81, cv=6,8%) no fueron estadísticamente significativas.

Tabla 3. Fitotoxicidad de aplicaciones foliares, rendimiento y sus componentes, número (NG) y peso (PG) de los granos e incremento absoluto y porcentual sobre el testigo. San Antonio de Areco, campaña 2009/10.

Trat.	Fitotoxicidad	Rendimiento (kg/ha)	NG	PG x 1000	Incremento rendimiento (kg/ha)	Incremento rendimiento (%)	Proteína (%)
T1		4004	9352	43			8,5
T2		4885	12230	40	881	22%	9,8
T3		5219	12740	41	1215	30%	9,9
T4		5070	12112	42	1066	27%	9,7
T5		4780	12160	39	776	19%	9,8
T6		4945	11787	42	941	24%	10,8
T7		4175	10483	41	171	4%	11,2
T8		4807	12058	40	803	20%	10,9
T9		4934	12705	39	930	23%	10,9
T10	0	5494	13341	41	1490	37%	10,0
T11	0	4807	11404	42	803	20%	11,4

Escala de fitotoxicidad: 0-100.

Como era esperable, el N fue el nutriente con mayor impacto en cebada cervecera. Dosis crecientes aumentaron rendimiento y NG, sin afectar PG (Tabla 3). El NG se asoció de manera directa y significativa con los rendimientos, mientras que PG no guardó relación alguna (Figura 3). En esta experiencia, la cebada incrementó sus rendimientos hasta la dosis de 100 kgN ha⁻¹ (s+f), pero ésta no fue diferente en sus rendimientos medios de N140 aún cuando los rendimientos fueron elevados. Trabajos anteriores (Ferraris et al., 2008, Prystupa et al., 2008) informaron en cebada un umbral crítico de 115 kgN-1 ha (s+f) y ausencia de respuesta cuando el rendimiento medio del cultivo era menos a 4000 kg ha⁻¹. Estos resultados apoyan la hipótesis de un umbral crítico inferior al de trigo, acompañada de mayor adaptación para crecer en suelos pobres en nitrógeno (sin entrar en consideraciones sobre el efecto del N en el contenido de proteína) y menor eficiencia de uso del N del fertilizante. Sin embargo, las respuestas son estables y consistentes a la primera dosis de N (100 kg). De acuerdo con los resultados obtenidos en esta experiencia, el complemento de una aplicación moderada de N de base (alcanzar 100 kgN como oferta total) acompañada de S y la aplicación foliar en estado reproductivo aparece como una buena alternativa de manejo, que permite maximizar los rendimientos (Figura 4). Por su parte, el contenido proteico de los granos está regulado por la relación entre el N total ofertado y el rendimiento del cultivo (Tabla 4).

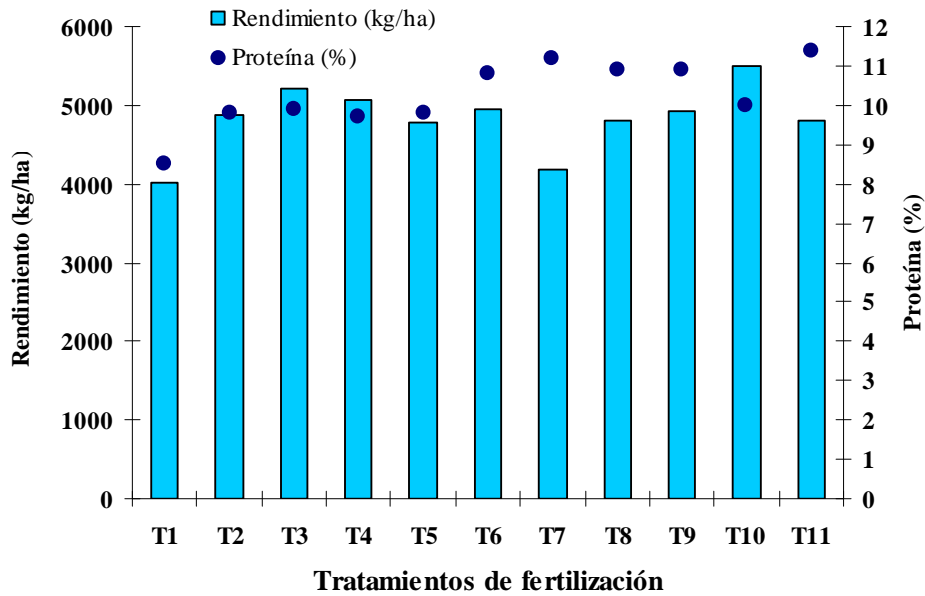


Figura 2. Producción grano (kg ha⁻¹) y concentración de proteína (%) de estrategias combinando niveles y fuentes de nitrógeno y azufre en cebada. Note la variación en los niveles proteicos según la oferta total de N: T1: (43 kgN ha⁻¹), T2 a T5 (100 kgN ha⁻¹), T5 a T9 (140 kgN ha⁻¹), T10 (120 kgN ha⁻¹), T11 (160 kgN ha⁻¹). Campaña 2009/2010.

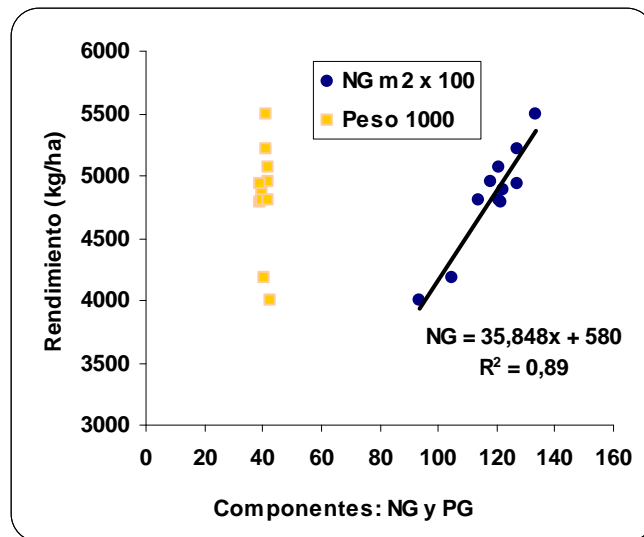


Figura 3. Relación entre número (NG) y peso (PG) de los granos y el rendimiento de cebada cervicera. San Antonio de Areco, Campaña 2009/2010.

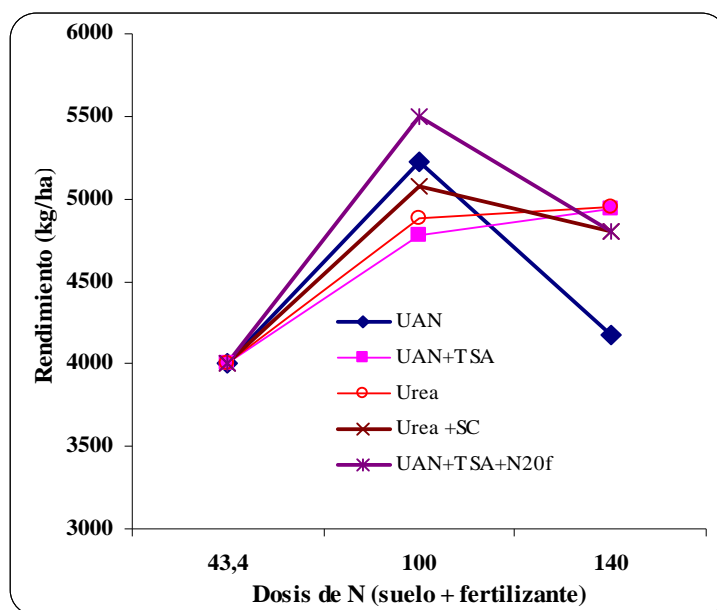


Figura 4. Rendimiento de cebada a niveles crecientes de nitrógeno, según fuente y uso adicional de azufre y nitrógeno foliar. San Antonio de Areco, Campaña 2009/2010.

C) Efectos residuales de la fertilización en soja de segunda

Se determinaron diferencias significativas en los rendimientos ($P=0,000$, $cv=2,1\%$) como resultado del efecto residual de los fertilizantes aplicados en cebada. Este comportamiento, con ausencia de respuesta significativa en el cereal de invierno, y respuesta residual de menor magnitud pero muy consistente, estable y por ello significativa, fue observado en un ensayo similar de trigo/soja conducido en La Trinidad por nuestro grupo de trabajo. El tratamiento de mayor productividad fue el T10, con 100 kgN^{-1} a la siembra y 20 kg N ha^{-1} foliar en hoja bandera. Cinco tratamientos (T4, T5, T8, T9 y el mencionado T10) no difirieron entre si, alcanzando el rendimiento máximo (Figura 5). Como característica común, todos estos recibieron el aporte de S.

Comparados a través de contrastes, no se determinaron diferencias entre niveles de N en soja (N100 vs N140), fuentes (líquidos vs sólidos) o uso de N foliar (Nf0 vs Nf20). En cambio, se determinó efecto significativo del S aplicado al trigo sobre soja de segunda (Tabla 4).

La productividad acumulada de los dos cultivos mostró una tendencia creciente y aditiva, aunque de bajo ajuste (Figura 6). Con precipitaciones abundantes, y una fertilización adecuada de los nutrientes con efecto residual como PS, la relación entre los rendimientos del primer y el segundo cultivo no necesariamente debe ser inversa.

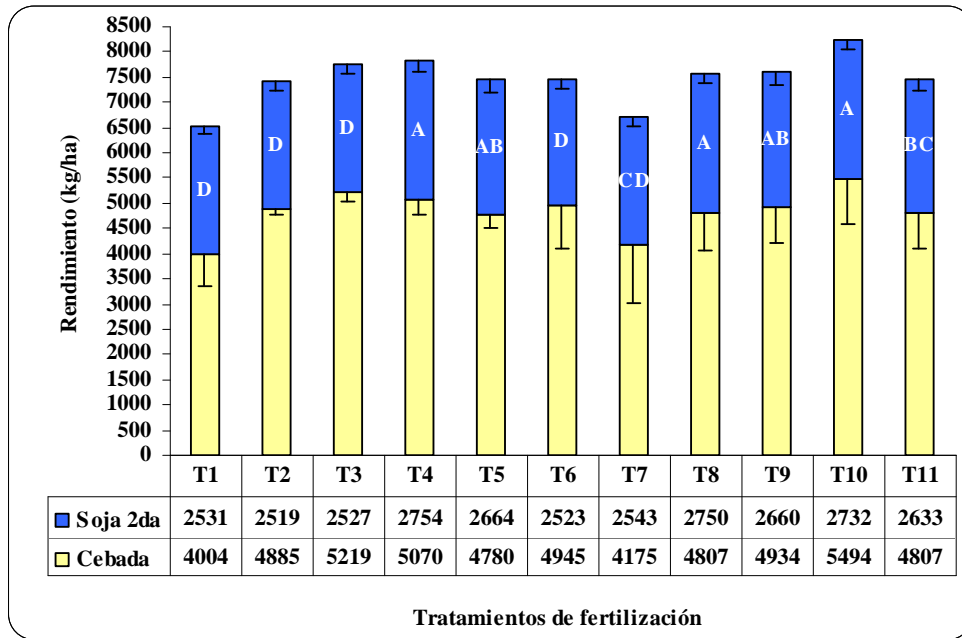


Figura 5. Rendimiento de la secuencia cebada-soja de segunda de diferentes estrategias combinando niveles y fuentes de nitrógeno, azufre y zinc. Letras distintas representan diferencias significativas en los rendimientos de soja ($P < 0,05$). Las barras de error indican la desviación standard de la media. La Trinidad, General Arenales. Campaña 2009/2010.

Tabla 4. Contrastes ortogonales para rendimiento entre grupos de tratamiento con características comunes entre sí.

Contrastes	Rendimiento (kg/ha)	P=	Efecto significativo
S0 vs S20	T4, T5, T8, T9 vs T2, T3, T6, T7,	0,000	S20
líquidos vs sólidos	T3, T5, T7, T9 vs T2, T4, T6, T8	0,100	ns
N100 vs N140	T6, T7, T8, T9 vs T2, T3, T4, T5	0,895	ns
Nf0 vs Nf20	T10 vs T9	0,128	ns

La productividad acumulada de los dos cultivos mostró una tendencia creciente y aditiva, aunque de bajo ajuste (Figura 6). Con precipitaciones abundantes, y una fertilización adecuada de los nutrientes con efecto residual como PS, la relación entre los rendimientos del primer y el segundo cultivo no necesariamente debe ser inversa.

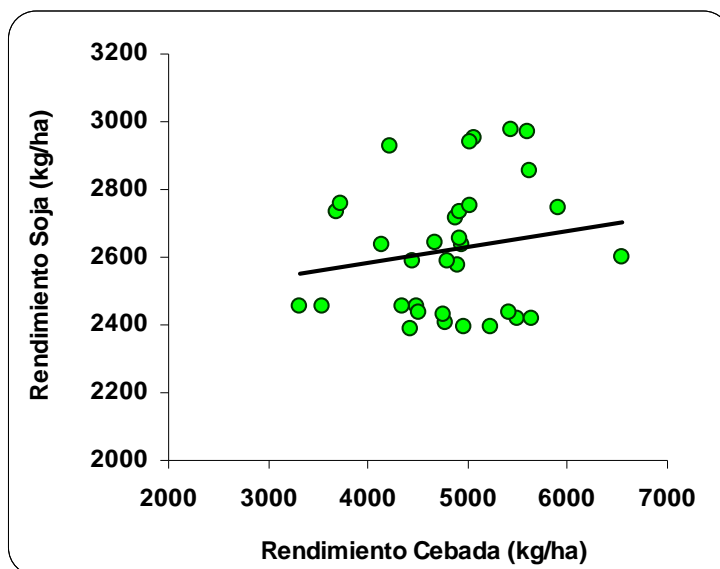


Figura 6. Relación entre los rendimientos parcelarios de cebada y soja de segunda en una secuencia de cultivos.

Consideraciones finales

- El N fue el elemento de mayor impacto en cebada. No obstante se verificó respuesta a la primera dosis, no se observaron diferencias entre N100 y N140.
- La concentración de proteína de los granos estuvo fuertemente asociada al aporte total de N (suelo, fertilizante a la siembra y N foliar) y su relación con el rendimiento del cultivo.
- Se determinaron diferencias significativas en los rendimientos de soja por efecto residual de los fertilizantes aplicados en cebada. El agregado de S fue el único factor con efecto significativo sobre los rendimientos de soja.
- Un incremento en la dosis de N al suelo o foliar en cebada, a pesar de favorecer el agotamiento de factores productivos a partir de un mayor rendimiento, no necesariamente impactó negativamente los rendimientos de soja,
- Bajo suficiencia nutricional y buena disponibilidad hídrica, es posible obtener relaciones positivas entre los rendimientos de cebada y soja de segunda. De este modo, algunas estrategias representadas por tratamientos del ensayo permitirían maximizar los rendimientos en ambos cultivos.

Objetivos pendientes para futuras experiencias

Se plantea la necesidad de indagar el efecto de la fertilización al suelo y foliar sobre aspectos centrales de calidad en cebada (proteína, calibre, porcentaje de extracto mediante micromalteo), así como también desarrollar métodos y criterios de fertilización para nuevas variedades que potencialmente podrían reemplazar al cultivar europeo más difundido.