

MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN EN CULTIVOS DE INVIERNO

INTRODUCCIÓN:

El trigo es el cultivo de invierno más importante de los sistemas productivos de la Argentina con una superficie sembrada que fluctúa entre 3,5 y 6,5 millones de hectáreas y una producción variable entre 8 y 16 millones de toneladas (MAGyP, 2015). Luego del trigo, el cultivo de Cebada es el segundo en orden de importancia con una superficie sembrada que alcanzó las 1,8 millones de hectáreas en 2012. El manejo inadecuado de la nutrición de los cultivos constituye uno de los principales factores que limitan la producción de los mismos en varias de las regiones argentinas. El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes que con mayor frecuencia limitan el rendimiento del trigo y cebada, sin embargo, en las últimas décadas la intensificación de la agricultura sumado a la falta de reposición de azufre (S) vía fertilizantes han generado una disminución en la disponibilidad de S en los suelos, y por lo tanto, es cada vez más frecuente la respuesta en rendimiento frente al agregado de dicho nutriente. En la Tabla 1, se indican los requerimientos nutricionales de los cultivos y se puede observar que los de P y S son similares (aproximadamente 4-5 kg de nutriente ton^{-1}), mientras que los de N son entre 6-7 veces superiores (25-30 kg N tn^{-1}). No obstante, la extracción de S por el grano es sensiblemente menor a P, por su menor índice de cosecha, lo cual explica en parte la residualidad del S para el cultivo siguiente en la rotación. Por otra parte, respecto al potasio (K), si bien sus requerimientos son similares a los de N, la extracción de dicho nutriente por el grano es mínima debido a que el 80% del K absorbido por el cultivo es devuelto al sistema por los rastrojos. Entre los otros macronutrientes, para el Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) sus requerimientos son bajos y la extracción por el grano es mínima para Ca y mayor para Mg (Tabla 1). En la actualidad, no se han determinado respuestas al agregado de K, Ca, Mg en cereales de invierno, siendo aún elevadas las reservas de K y Ca en suelo. Finalmente, respecto a los micronutrientes, en los últimos años se han determinado escasos casos con respuesta en rendimiento al agregado de Cinc y Cobre.

Tabla 1. Requerimientos nutricionales (kg de nutriente para producir una tonelada de grano), extracción (kg de nutriente en una tonelada de grano) e índice de cosecha de nutriente (proporción del total de nutriente absorbido que está presente en el grano) para el cultivo de trigo y cebada. Adaptado: García y Berardo (2005).

Nutriente	Requerimiento (kg ton ⁻¹)	Índice de cosecha	Extracción (kg ton ⁻¹)
Nitrógeno	25-30	0.70	20
Fósforo	4-5	0.80	3.5
Azufre	4-4.5	0.35	1.2
Potasio	19-20	0.20	5
Calcio	3	0.14	0.4
Magnesio	3	0.50	1.5
	g ha⁻¹		g ha⁻¹
Boro	25		2-5
Cobre	10	0.75	8
Hierro	140	0.43	60
Manganeso	70	0.36	25
Zinc	52	0.44	23

La acumulación de los nutrientes en el trigo y cebada sigue el mismo comportamiento que en otros cultivos, el cual se caracteriza por un adelantamiento de la absorción de los mismos respecto a la materia seca (Figura 1 y 2). A modo de ejemplo, la acumulación de N en floración del trigo representa entre 70 al 75 % de la acumulación total a madurez fisiológica, mientras que para la materia seca es de solo el 40-45% del total. Luego de dicho período, comienza el proceso de removilización del N desde raíces, tallos y hojas hacia las espigas y los granos, el cual puede cubrir entre el 50 al 100% de N acumulado en grano a cosecha. Para el caso de P, el cultivo absorbe hasta antesis entre el 75-85% del total de dicho nutriente que tendrá en madurez fisiológica, siguiendo el mismo patrón las curvas que para el caso de N (Figura 2). Por último, para S, si bien la información es escasa la acumulación pre-antesis representaría solamente el 50-60% del total de S acumulado por el cultivo, siendo relevante su disponibilidad en el periodo de llenado de grano. El conocimiento de la dinámica de acumulación de los distintos nutrientes por los cultivos es un aspecto clave al momento de definir la estrategia de fertilización, o sea el momento, la fuente y la dosis a utilizar, con el objetivo de maximizar la eficiencia de utilizaciones de dichos nutrientes.

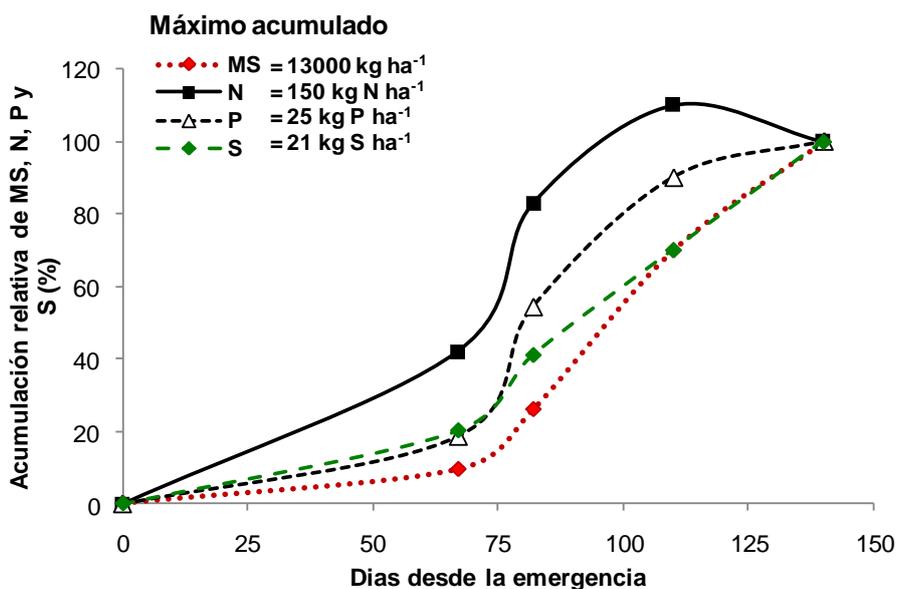


Figura 1. Acumulación relativa de materia seca (MS), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en función de los días desde la emergencia (DDE) del cultivo de trigo. (Fuente: Reussi Calvo, 2005).

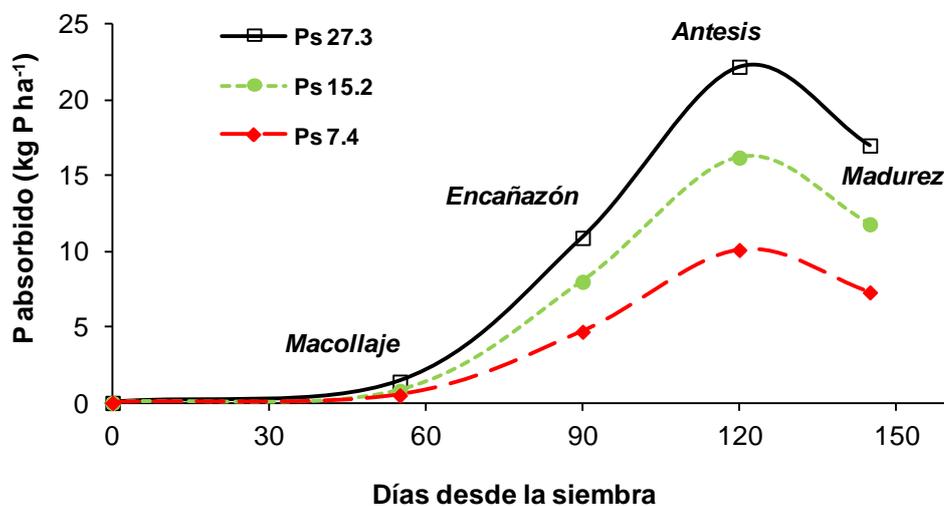


Figura 2. Acumulación de P en trigo en suelos con tres niveles de P Bray 1 (Ps 7.4; 15.2 y 27.3 mg kg⁻¹ P Bray 1) en Balcarce (Buenos Aires). Se indican los momentos de muestreo: macollaje, encañazón, antesis y madurez fisiológica. Adaptado de García y Berardo (2005).

MANEJO DE NITRÓGENO:

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción de los cultivos de la Región Pampeana, debido a las grandes cantidades requeridas por los mismos y a la frecuencia con que se observan sus deficiencias en los suelos. En general, para evaluar la disponibilidad de N se recomienda el muestreo de suelo a la siembra del cultivo en los estratos superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales (20-50 ó 20-40 y 40-60 cm). No obstante, en años ó regiones con excesos hídricos durante la pre-siembra del cultivo y/o con antecesores que dan lugar a un corto periodo de barbecho (ej. soja y sobre todo soja de segunda) es conveniente realizar un segundo control de nitrógeno en macollaje.

La metodología más difundida para el diagnóstico de la fertilización nitrogenada en trigo y cebada se basa principalmente en la determinación del contenido de nitrato en suelo (0-60 cm) antes de la siembra o al inicio del cultivo. Esta metodología considera un requerimiento promedio de 30 kilos de N por tonelada de grano; por lo tanto, en función del rendimiento que se quiera obtener (rendimiento objetivo) y la disponibilidad inicial de nitrógeno del suelo, se agrega la cantidad de nitrógeno necesaria para satisfacer los requerimientos del cultivo (Cuadro 1). *No obstante, este tipo de modelos simplificados no contemplan de forma directa el aporte de N por mineralización, el cual representa una fuente importante de N para los cultivos, particularmente en suelos con altos contenidos de materia orgánica y/o escasa historia agrícola del suelo.* En los modelos tradicionales esta cantidad de N varía en forma proporcional según el rendimiento del cultivo y no considera las diferencias por el manejo previo del suelo lo cual afecta la cantidad de N aportada por el suelo y por lo tanto la precisión del diagnóstico.

Cuadro 1. Ejemplo Modelo Tradicional

- 1) Rendimiento objetivo = 5 tn ha⁻¹
- 2) Requerimiento de nitrógeno para las 5 tn ha⁻¹ = 150 kg N ha⁻¹ (5 tn*30 kg N tn⁻¹)
- 3) Disponibilidad de nitrógeno en presiembra (0-60cm) = 70 kg ha⁻¹
- 4) **Dosis de nitrógeno a aplicar aprox. de 80 kg N ha⁻¹**.....

* Además se debe considerar el efecto del cultivo antecesor, lluvias previas, etc.

En los últimos años, trabajos realizados en forma conjunta entre el área técnica de FERTILAB y el grupo de Fertilidad de Suelos de la Unidad Integrada Balcarce (FCA-INTA), indican que la determinación del contenido de ***N anaeróbico*** (incubación en anaerobiosis de la muestra superficial durante una semana a 40°C) es un buen estimador del nitrógeno que se mineraliza durante el ciclo del cultivo. El empleo de este indicador ***mejora sensiblemente el diagnóstico y, por lo tanto, también la estimación de la dosis de nitrógeno a aplicar***, lo cual se explicaría en parte por el diferente potencial de mineralización que existe entre lotes o ambientes dentro de un mismo lote debido al manejo previo y/o los efectos de tipo suelo, aspectos que no se contemplan al considerar solamente el nivel de nitrato presente en el suelo en presiembra.

Los resultados de estas investigaciones indican que el ***requerimiento real de nitrógeno en el suelo por cada tonelada de grano es de aproximadamente 50 y no de 30 kg de N (Figura 3)***. No obstante, los mismos pueden variar entre 40 y 60 kg N en función de la eficiencia de absorción del N del suelo y de los niveles de proteína deseados. Por lo tanto, para

lograr un rendimiento de 6000 kg ha^{-1} , al considerar el aporte de N por mineralización, se requieren 300 y no 180 kg N ha^{-1} (Figura 3). Por lo tanto, el modelo que considera al *N anaeróbico* además de ser más preciso, realiza un ajuste más real de la fertilización por lo que se evitarían pérdidas en los rendimientos y en el contenido de proteína en grano. Esto suele ocurrir con el empleo de los *modelos tradicionales de diagnóstico* de nitrógeno, principalmente en ambientes o situaciones de elevados rendimientos y/o en suelos con prolongada historia agrícola, donde el aporte de N por mineralización durante el ciclo del cultivo no satisface los requerimientos de los cultivos dando lugar a pérdidas de rendimiento y sobre todo, a contenidos de proteína extremadamente bajos (8 a 9%). Además, la incorporación del Nan al modelo de diagnóstico también mejora la estimación del contenido o extracción de N en grano, siendo la recuperación promedio de N del sistema del 32% .

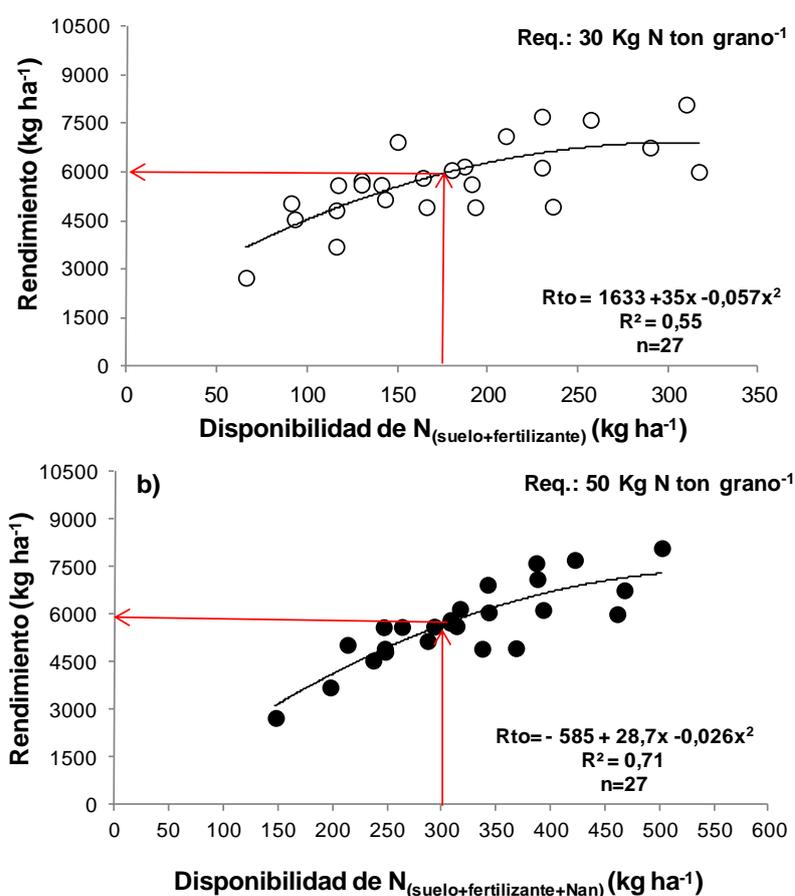


Figura 3. Rendimiento del cultivo de trigo en función de la disponibilidad de N: **a)** sin Nan ($N_{\text{suelo+fertilizante}}$) y **b)** con Nan ($N_{\text{suelo+fertilizante+Nan}}$). Los valores representan el promedio de tres repeticiones. Red de ensayos de fertilización en trigo de FERTILAB.

Para cebada, si bien los modelos están en vías de desarrollo no se deberían esperar grandes diferencias respecto de trigo debido a la similitud entre requerimiento y ciclos de ambos cultivos. En línea con lo mencionado, como ejemplo de la validación del modelo de diagnóstico que considera el Nan, en la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en distintos ensayos de fertilización nitrogenada de trigo y cebada conducidos por Bunge Fertilizantes entre 2011 y 2013. En la misma se presenta el contenido de $N\text{-NO}_3^-$ y Nan a la siembra, la suma de ambos pools de N ($N\text{-NO}_3^- + \text{Nan}$), el

rendimiento del testigo obtenido en cada ensayo y el estimado con el modelo desarrollado por FERTILAB. Considerando los numerosos factores que afectan el rendimiento de los cultivos, resulta casi sorprendente las mínimas diferencias determinadas entre los datos de rendimiento real de campo y los estimados con el modelo empleado en la actualidad, siendo estas en promedio de 220 kg ha⁻¹. A su vez, los requerimientos de N variaron entre 45 y 50 kg por tn de grano.

Tabla 2. Rendimiento del testigo en diferentes ensayos (trigo y cebada) y el estimado [**Rendimiento (kg/ha)** = -2023 + 44,3 * (N-NO₃⁻+Nan) - 0.0552 (N-NO₃⁻+Nan)²] en función de la disponibilidad de N del suelo (N-NO₃⁻ y Nan). Adaptado de Pugliese 2014 (Bunge Fertilizantes).

ENSAYOS (Localidad)	N-NO ₃ (kg/ha) (0-60 cm)	Nan (ppm)(0-20 cm)	N-NO ₃ + Nan (kg/ha)	Rendimiento real (kg/ha)	Rendimiento estimado (kg/ha)	Requerimiento de N (kg/ton)
Daireaux 2011	50	44	160	4200	3650	38
30 de agosto 2013	102	54	240	5100	5430	53
Tres arroyos 2012	40	40	170	4000	3910	43
Balcarce 2012	70	36	160	3200	3650	50
Tres Arroyos 2013	65	52	190	4200	4400	45
Gral. Puey. 2013	80	85	290	6300	6180	46
Balcarce 2013	82	60	240	5300	5430	45
Lobería 2013	82	57	230	5300	5256	43
Gral Puey. 2013 (cebada)	93	49	215	4770	4950	45
Tres Arroyos 2013 (cebada)	100	49	220	4800	5059	46

Por último, en la Tabla 3 se indica el rendimiento del testigo estimado para distintos niveles de disponibilidad de N en suelo (sea N-NO₃⁻, y/o Nan y/o N del fertilizante) y la respuesta a la aplicación de 50 kg de N ha⁻¹ de fertilizante. En la misma se observa que a medida que aumenta la disponibilidad de N del suelo la respuesta a la aplicación de 50 kg N es menor, siendo esta de 1200 y 400 kg/ha para suelos con una disponibilidad de 150 y 300 kg de N, respectivamente. Para dichas condiciones, la eficiencia de uso del N del fertilizante pasó de 24 a 8 kg de grano por kg de N aplicado, respectivamente. Esta información resulta de utilidad para definir la dosis de N a emplear en función de la relación insumo:producto presente en cada campaña.

Tabla 3. Rendimiento de trigo estimado para diferentes niveles de disponibilidad de N del suelo ($N-NO_3^- + Nan$), y su relación con la respuesta a la fertilización y requerimiento de N.

N- NO_3^- + Nan (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Respuesta a 50 kg de N (kg/ha)	EUN (kg gr/kg N)	Requerimiento de N (kg N/tn gr)
150	3400			
200	4600	1200	24	44
250	5600	1000	20	45
300	6300	700	14	48
350	6700	400	8	52
400	6850	150	3	58

Monitoreo del nitrógeno durante el ciclo

Algunas regiones productoras de trigo y cebada, como el sudeste bonaerense, se caracterizan por tener una muy baja probabilidad de déficit hídrico (menor al 5%) desde la siembra hasta la espigazón del cultivo y una alta potencialidad de rendimiento. Por lo tanto, en dichas zonas es factible considerar el fraccionamiento de la dosis de N, con el objetivo de maximizar el rendimiento, la eficiencia de uso de N (EUN) y mejorar también la calidad de los granos. Además, es válido recordar que la mayor acumulación de N se produce a partir de fines de macollaje y durante la encañazón, momento en el cual se obtendría la mayor EUN. Diferentes trabajos para trigo y cebada han obtenido mayores rendimientos y niveles de proteína en grano para aplicaciones al macollaje o encañazón respecto a la siembra (Figura 4). Por lo tanto, surge la necesidad de contar con herramientas que permitan monitorear el estatus nitrogenado del cultivo y, por ende, ajustar la dosis de N definida a la siembra según el contenido de nitrato y Nan. Además, es válido mencionar que aplicaciones de N en espigazón del cultivo de cebada, con el objetivo de incrementar los niveles de proteína en grano debido a la demanda de las malterías, han logrado en promedio aumentos de solo 0,75% (Prystupa y col., 2008). Por lo tanto, considerando que las fertilizaciones foliares más tardías no permiten la aplicación de elevadas dosis de N, se las considera solo suplementarias dentro del programa de fertilización.

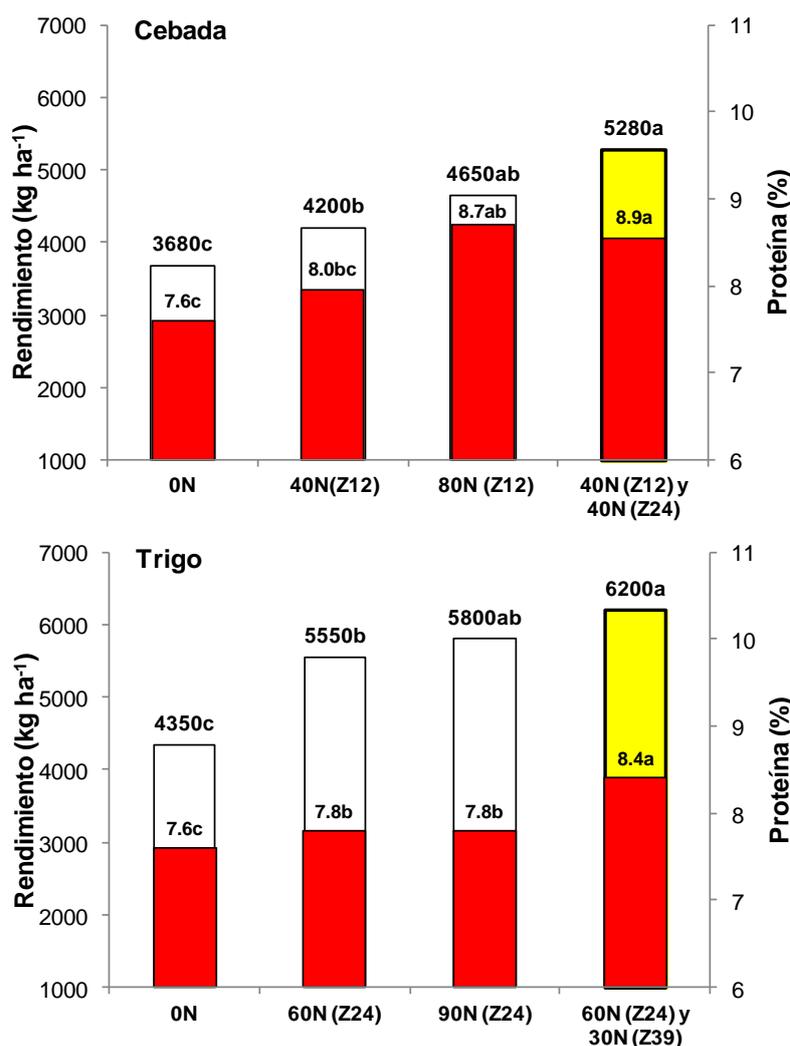


Figura 4. Rendimiento y proteína en grano del cultivo de cebada y trigo en función de la dosis y el fraccionamiento de nitrógeno. Z12 = dos hojas, Z24 = cuatro macollos y Z39 = hoja bandera. Fuente: Velasco y col. (2012) y FERTILAB. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 5% de probabilidad.

En la actualidad, existe una amplia gama de sensores remotos los cuales permitirían caracterizar, de forma rápida y no destructiva, el estatus nitrogenado durante el ciclo del cultivo. Dentro de estos el medidor de clorofila SPAD 502 y el sensor remoto Green Seeker son los más difundidos. Trabajos realizados en forma conjunta entre el área técnica de FERTILAB y el grupo de Fertilidad de Suelos de la Unidad Integrada Balcarce (FCA-INTA) muestran que ambas herramientas podrían ser empleadas para el monitoreo del estatus nitrogenado del trigo desde mediados de macollaje hasta hoja bandera del trigo. Además, se desarrolló un modelo que permitió estimar con un 58% de confianza la respuesta a N en el estadio de un nudo (Figura 5). *A modo de ejemplo, si el ISN o NDVI_r del lote en Z31 es de 0,90, según la ecuación de la Figura 5 la respuesta probable a N es de 890 kg ha⁻¹. Ahora, si consideramos un requerimiento promedio de N en el sistema de 50 kg tn⁻¹ de trigo la dosis a aplicar sería de 45-55 kg N ha⁻¹.* Para el cultivo de cebada la información disponible es aún escasa respecto al empleo de estas herramientas para el monitoreo temprano del estatus

nitrogenado del cultivo. Es válido mencionar que estas herramientas son de mayor utilidad en situaciones donde por excesos hídricos se producen pérdidas de N por lavado y/o condiciones climáticas muy favorables que permitan mejorar la expectativa de rendimiento definida a la siembra.

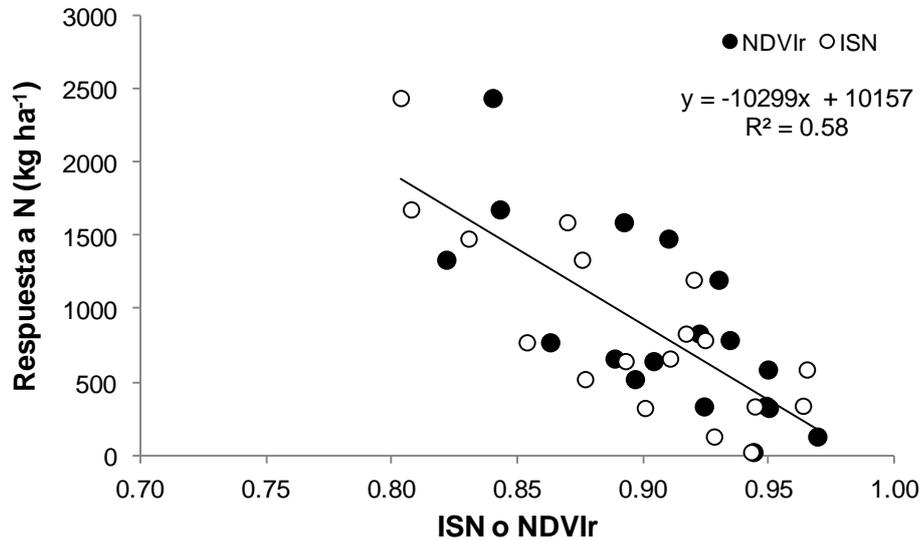


Figura 5. Relación entre la respuesta en rendimiento del cultivo de trigo a la re-fertilización con N y el ISN (= valor de SPAD del lote/ valor de SPAD de la franja sin limitaciones de nitrógeno) o NDVIr (= valor del Green Seeker del lote/ valor del Green Seeker de la franja sin limitaciones de nitrógeno) determinados en el estadio de un nudo del trigo (Z31).

MANEJO DE FÓSFORO:

Para evaluar la disponibilidad de P en trigo y cebada se recomienda el muestreo de suelo en superficie (0-20cm) antes de la siembra, siendo importante tomar un número elevado de submuestras (30-40) particularmente en planteos bajo siembra directa. La dosis recomendada de fertilización fosfatada depende del nivel de P Bray, del rendimiento esperado, de la relación de precios grano/fertilizante, del sistema de tenencia de la tierra (propietario o arrendatario) y del criterio de recomendación del laboratorio y/o asesor (Tabla 4). No obstante, otras características del sitio deben ser consideradas para mejorar la precisión de la recomendación como son el contenido de materia orgánica, la presencia de capas compactadas, la textura, la historia de fertilización con P, el perfil de P, etc. Respecto al criterio de recomendación, debe tenerse en cuenta que existen dos tipos: el de suficiencia y el de reconstrucción y mantenimiento. El criterio de suficiencia pretende satisfacer los requerimientos del cultivo a implantar, mientras que el de reconstrucción y mantenimiento también incluye aportes para mejorar el nivel de P disponible en el suelo a partir de la residualidad del nutriente en el suelo. A modo de ejemplo, la Figura 6 muestra a partir de 7 años de experimentación que para aumentar en 1 ppm el nivel de P Bray en el suelo es necesario en promedio un balance positivo de fertilización fosfatada de 11 kg P ha⁻¹ (= 55 kg ha⁻¹ de fosfato monoamónico o diamónico). Esta información puede variar según zona, tipo y textura de suelo, tiempo desde la aplicación, etc.

Para diferentes aéreas de la Región Pampeana numerosos autores han determinados los niveles críticos de P Bray por debajo de los cuales la probabilidad de respuesta al agregado de P es alta. En el sudeste bonaerense, Berardo (1994) y Zamuner et al., (2005) determinaron niveles críticos de P Bray de 14 y 15 ppm para el cultivo de trigo bajo labranza convencional y siembra directa, respectivamente. Otros trabajos, obtuvieron respuestas al agregado de P con niveles de P Bray de hasta 25-28 ppm para rendimientos de 6000-6500 kg ha⁻¹ (Berardo et al., 1999). Es válido mencionar, que el cultivo de Cebada en general presenta mayor susceptibilidad a la deficiencia de P respecto a trigo, siendo la respuesta promedio de 870 y 670, respectivamente (Ferraris et al., 2012).

Tabla 4. Recomendación orientativa de fertilización fosfatada para trigo y cebada según nivel de P Bray y rendimiento esperado (Fuente: FERTILAB, 2015).

Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Nivel de P Bray 1 (mg kg ⁻¹)					
	5	10	15	20	25	30
-----Dosis de DAP o MAP (kg ha ⁻¹)-----						
3000	90 (45)	70 (35)	50 (25)	--	--	--
4000	120 (60)	100 (50)	80 (40)	60 (30)	--	--
5000	150 (75)	130 (65)	110 (55)	90 (45)	70 (35)	--
6000	165 (80)	150 (75)	125 (60)	100 (50)	80 (40)	60 (30)
7000	180 (90)	165 (80)	150 (75)	125 (60)	100 (50)	75 (35)

(): dosis de P en P₂O₅.

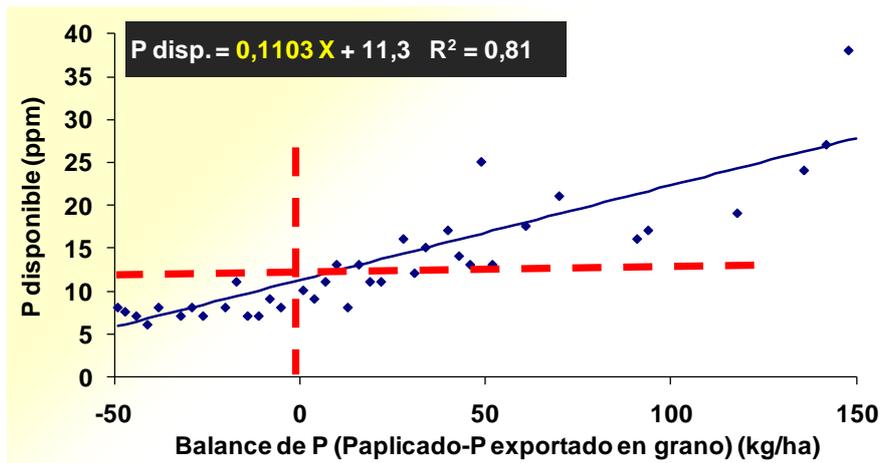


Figura 6. Cambios en el P disponible en el suelo según balance entre P aplicado y P extraído en grano. Fuente: Berardo (comun. pers.) y Ventimiglia (comun.pers.).

Respecto a la forma de aplicación de P, existen varios trabajos que han demostrado para suelos con baja disponibilidad de P o para dosis bajas de P una mayor eficiencia de la aplicación en la línea respecto al voleo (Figura 7). No obstante, otros autores determinaron para maíz y soja bajo siembra directa que las aplicaciones de P al voleo en forma anticipada podrían ser un estrategia alternativa, con similares respuestas a la aplicación en línea a la siembra (Mallarino, 2001). Sin embargo, debido a la escasa lluvias invernales en la región pampeana, las aplicaciones anticipadas de P no siempre resultan en una alternativa viable para cultivos de verano. La aplicación de una fracción de P a la siembra es una alternativa de fácil manejo. Además, es necesario realizar mayor investigación para evaluar la eficiencia de dicha forma de fertilización fosfatada en el cultivo de trigo. Es válido mencionar que debido a la alta residualidad de este nutriente en los suelos de la Región Pampeana, en muchos sistemas de producción se planifica la aplicación de P dentro de la rotación teniendo en cuenta no solo la respuesta y los requerimiento del cultivo que se fertiliza sino también del que le sigue en la rotación, tal es el caso de la secuencia trigo-soja o cebada- soja de segunda.

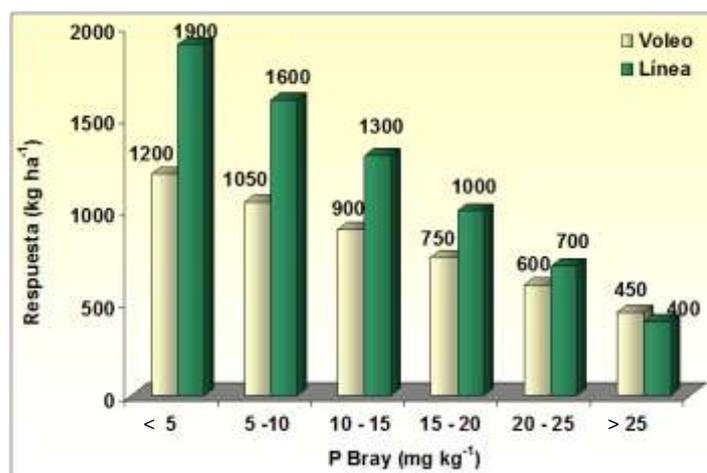


Figura 7. Repuesta en rendimiento al agregado de 22 kg P ha⁻¹ al voleo y en la línea de siembra en función de la disponibilidad de P en el suelo. Fuente: Berardo et al. (1999).

MANEJO DE AZUFRE:

A pesar del bajo requerimiento de S del cultivo de trigo y cebada (Tabla 1), en los últimos años se ha observado respuesta positiva a la fertilización con este nutriente en la Región Pampeana. A partir de información generada entre 1995-2009, Steinbach y Álvarez (2012) determinaron respuestas medias para trigo de 300 kg grano ha⁻¹, siendo la eficiencia de uso del fertilizante de 17 kg grano por kg de S aplicado (Figura 8). En una red más reciente de 30 ensayos, se determinó un 17% de sitios con respuesta, siendo la misma de 500 kg ha⁻¹ (Echeverría et al., 2011). Para una red de ensayos en cebada en la Región Pampeana, Prystupa y Ferraris (2011) observaron respuestas significativas a S en el 20 % de los casos, particularmente en ambientes de mayor potencial de rendimiento, siendo la magnitud de la respuesta de 590 kg ha⁻¹. En general, la relación histórica de precio de grano por kg S es de 9:1, lo cual evidencia la rentabilidad de la práctica de fertilización sin considerar su efecto residual. Si consideramos que en el doble cultivo trigo-soja 2 o cebada-soja 2, la aplicación de S se realiza considerando los requerimientos de ambos cultivos al igual que para el caso de P, sobre todo por los altos requerimientos de este nutriente por parte de la soja y el bajo índice de cosecha de S del trigo y la cebada, el beneficio económico de la fertilización se incrementa considerablemente.

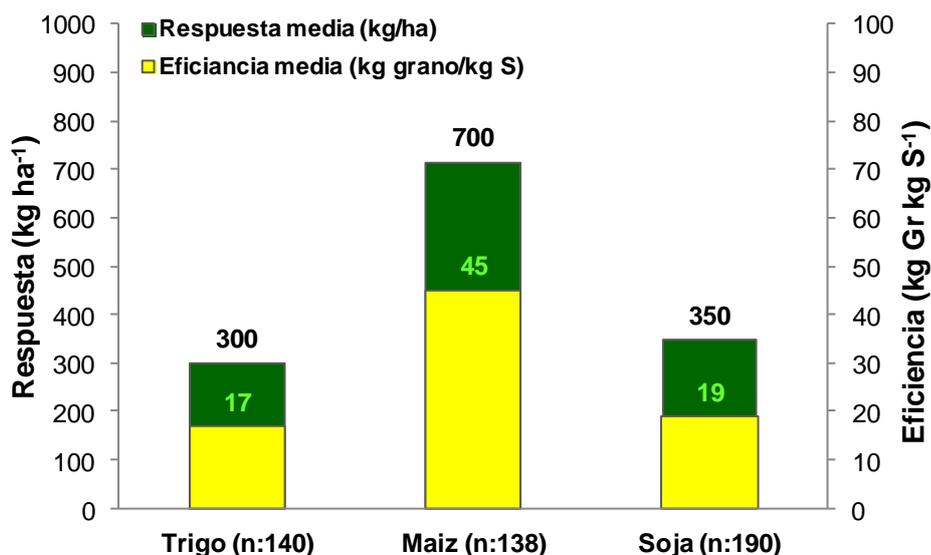


Figura 8. Respuesta en rendimiento y eficiencia promedio de uso de azufre para diferentes cultivos de la región pampeana. Adaptado de Steinbach y Álvarez (2012).

Al igual que para nitrógeno, para S se recomienda el muestreo de suelo en los estratos superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales (20-40 y 40-60 cm) antes de la siembra del cultivo. Los muestreos en los estratos inferiores son más importantes en suelos de texturas arenosas y/o regiones con abundantes precipitaciones, debido a la movilidad de este nutriente. Además, en años con excesos hídricos a la siembra del cultivo y en presencia de barbechos muy cortos (ejemplo: antecesor soja) es conveniente realizar los muestreos de suelo al inicio del período de macollaje del cultivo. Para el sudeste bonaerense, se han determinado un umbral de 36 kg S ha⁻¹ (0-60 cm), siendo correcto el diagnóstico en el 80% de los casos estudiados (Figura 9).

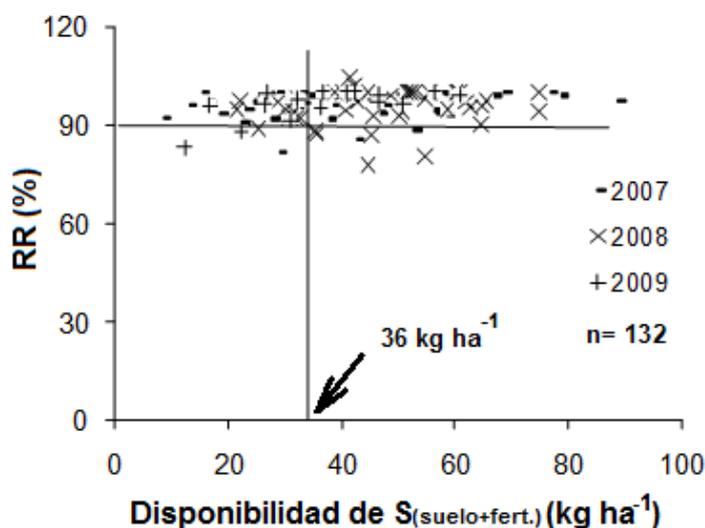


Figura 9. Rendimiento relativo (RR) de trigo en función de la disponibilidad de S (S-sulfato +S del fertilizante) en suelo en ensayos de fertilización azufrada de las campañas 2007, 2008 y 2009. n= número de muestras (Echeverría et al., 2011).

Otra alternativa promisoriosa es el muestreo de planta entera para determinar la relación N:S en biomasa aérea. En cultivos de trigo del sudeste bonaerense, se determinó que la relación N:S en planta desde fin de macollaje hasta aparición de hoja bandera es un adecuado método de diagnóstico de deficiencia de S (Reussi Calvo et al., 2011). Estos resultados indican un umbral de 15,5:1, por encima del cual se produciría deficiencia de S (Figura 15). Utilizando dicho umbral se logró diagnosticar correctamente el 95% de las muestras provenientes de ensayos de varias zonas de la Región Pampeana (Echeverría et al., 2011). No obstante, el momento de realización de este tipo de diagnóstico puede representar una limitante para la adopción de esta tecnología.

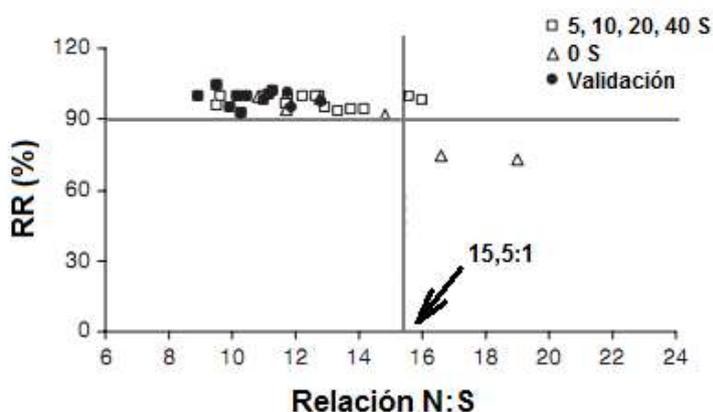


Figura 10. Rendimiento relativo (RR) de trigo en función de la relación N:S en el estadio de un nudo visible, para ensayos realizados con dosis de 0, 5, 10, 20 y 40 kg S ha⁻¹. Adaptado de Reussi Calvo et al. (2011).

Por último, el análisis de grano de trigo puede ser empleado para caracterizar el estatus azufrado que tuvo el cultivo, y programar la fertilización para los cultivos subsiguientes en la rotación. Granos provenientes de cultivos que manifestaron respuesta a S son aquellos con una concentración menor a 1,5% de S y con una relación N:S mayor a 13:1 (Reussi Calvo et al., 2011). De esta forma, Reussi Calvo et al. (2011) pudieron diagnosticar correctamente el 77% de las muestras, mientras que Echeverría et al. (2011) obtuvieron un 98% de los sitios diagnosticados correctamente, lo cual reafirma la robustez de dicho método de diagnóstico. Además, es válido mencionar que este análisis permitiría identificar no solo lotes con deficiencia de S sino también situaciones con deficiencias de N ó desbalances de ambos nutrientes. A modo de ejemplo en un relevamiento de 110 casos realizado en el sudeste bonaerense por el laboratorio FERTILAB se observó que el 30% de los granos provenían de cultivos con deficiencia de S y un 41% con deficiencia de N (Figura 11).

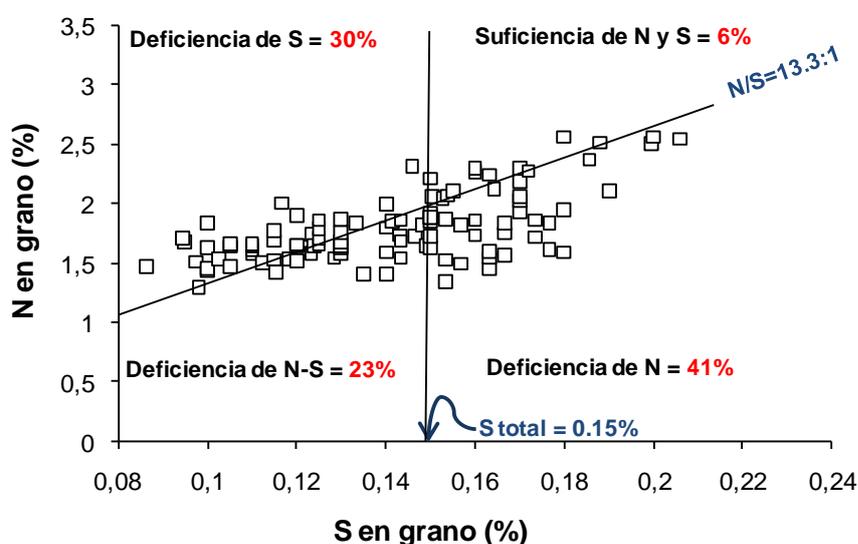


Figura 11. Relación entre la concentración de nitrógeno (N) y azufre (S) en grano. La línea vertical y oblicua corresponden a una concentración de 0,15 % de S y a una relación N:S de 13.3:1, propuestos como umbrales de deficiencias de S en grano. En cada cuadrante se indica el porcentaje de situaciones con o sin deficiencia de N y S. Fuente: Laboratorio de suelos FERTILAB.

En la actualidad, existe una amplia gama de fertilizantes azufrados sólidos y líquidos en el mercado, los cuales pueden contener o no otros nutrientes (Melgar y Camozzi, 2002). Los fertilizantes altamente solubles, como el sulfato de amonio (21-0-0-24), representan una forma de S rápidamente disponible para el cultivo. Si bien esto puede significar una ventaja con respecto a otros fertilizantes azufrados, es necesario que exista una adecuada sincronización con la demanda por parte del cultivo para lograr alta eficiencia de utilización de dicha fuente. Otra fuente de S empleada en la actualidad el sulfato de calcio ó yeso (18-20 % S), cuyo valor comercial depende de su solubilidad y grado de pretratamiento. Si bien la solubilidad de este fertilizante es menor que la del sulfato de amonio, trabajos realizados en la región pampeana no han determinado diferencias significativas en rendimiento de soja entre dichas fuentes (Gutierrez Boem et al., 2007). Por otra parte, los fertilizantes líquidos con S constituyen una alternativa interesante, siendo el tiosulfato de amonio (26 % S) el más difundido. Este fertilizante cuando es aplicado al suelo produce S elemental y sulfato en partes iguales, por lo que

parte del mismo esta rápidamente disponible para el cultivo y el resto debe oxidarse para poder ser absorbido. Además, es un fertilizante versátil ya que puede ser utilizado en mezclas líquidas con N (ej.UAN), fósforo, potasio y en fertirriego. No obstante, en los últimos años se observa una mayor oferta de fertilizantes complejos “NPS” que contienen el S en diferentes formas químicas (e.g. SO_4^{-2} y S^0), lo cual podría generar diferencias en la eficiencia de uso de S por los cultivos, y distinto efecto residual. Esto puede resultar ventajoso para el doble cultivo (ej. trigo/soja), ya que como fue mencionado la soja en este caso no suele fertilizarse con S ni P, dado que estos dos nutrientes se aplican en el trigo considerando la demanda de ambos cultivos.

DEFICIENCIA DE N, P Y S EN TRIGO



Deficiencia de N: Clorosis en las hojas inferiores, reducción del crecimiento, expansión foliar y muerte de macollos.

Fuente: Fertilab.



Deficiencia de P: Reducción del crecimiento inicial, número de macollos y resistencia a heladas.

Fuente: Fernando García (IPNI Cono Sur).

Tecnología y Experiencia al Servicio del Sector Agropecuario.

Moreno 4524 – Tel.: 0223 - 472-4184 / 475-6763

B7600CUF – Mar del Plata – Pcia. Buenos Aires

info@laboratoriofertilab.com.ar – www.laboratoriofertilab.com.ar



Deficiencia de S: Clorosis en las hojas jóvenes, menor expansión foliar y reducción del número de macollos.

Fuente: FERTILAB.

Bibliografía:

- Barbieri, P.A., H.R. Sainz Rozas y H.E. Echeverría. 2009. Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. Ciencia del suelo (aceptado).
- Berardo A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo del trigo en el área de influencia de la Estación Experimental INTA-Balcarce. Boletín Técnico No. 128. EEA INTA Balcarce.
- Berardo A., F. Grattone y G. Borrajo. 1999. Fertilización fosfatada de trigo: Respuesta y forma de aplicación. Informaciones Agronómicas 2:1-3. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Bergh, R., T. Loewy y H.E. Echeverría. 2006. Importancia de la fertilización nitrogenada sobre la calidad panadera del trigo. Revista de la 37 Fiesta Provincial del Trigo, 4-12/3/2006. Tres Arroyos, Buenos Aires. pp 23-27.
- Calviño, P; H.E. Echeverría y M. Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 20:36-42.
- Calviño P.A. y M. Redolatti. 2004. Resultados de dividir la dosis de nitrógeno en trigos de alto rendimiento en el sudeste de bonaerense. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná-Entre Ríos. p 171 Junio 2004.
- Echeverría, H., N. Reussi Calvo, A. Pagani, y L. Fernández. 2011. Métodos de diagnóstico de deficiencia de azufre en los cultivos de trigo, soja de segunda y maíz. Presentado en Simposio Fertilidad 2011. pp 98-107.
- Ferraris, G.N.; Mousegne, F.; Barraco, M.; Couretot, L.; Cavo, J.; Falconi, R.; Ferraris, O.; Lemos, E.; Lopez de Sabando, M.; Magnone, G.; Maertín, A.; Melilli, P.; Paganini, A.; Perez, G.; Pontoni, R.; Zanettini, J.; Scianca, C.; Sola, R.; Telleria, M.G.; Ventimiglia, L 2012. Rendimiento y eficiencia comparativa de uso de fósforo, nitrógeno y agua en trigo y cebada cervecera en la región centro y noroeste de buenos aires. Área de Desarrollo Rural. INTA EEA Pergamino. 2INTA EEA General Villegas 3El Ceibo Cereales, Arribeños 4INTA EEA San Pedro. Proyecto Regional Agrícola, CRBAN 12 p
- García, F.O. y A. Berardo. 2005. Trigo. En: Echeverría H.E. y F.O. García (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 233-253.
- Gutierrez Boem F.H., F. Salvaggiotti, G. Ferraris, A. Quiroga, M. Barraco, H. Vivas, P. Prystupa y H.E. Echeverría. 2006. Identificación de sitios deficientes en azufre mediante el análisis de grano de soja. Mercosoja. 26-30 de junio, Rosario. 4 p.
- Mallarino, A. 2001. Manejo de la fertilización con fósforo y potasio para maíz y soja en el centro-oeste de los Estados Unidos. Actas Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2001". INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

-
- Melgar R. y M.E. Camozzi. 2002. Guía de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. 2° Ed. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Prystupa, P. y G. Ferraris. 2011. Nutrición mineral y fertilización en cebada cervecera. En: Miralles, D.J.; Benech, A.; Abeledo, L.G (eds.) Cebada Cervecera. Editorial Facultad de Agronomía Buenos Aires pp. 35-62
- Quattrocchio, A., H.E. Echeverría y S.I. Alonso. 2004. Estrategias de fertilización nitrogenada de cultivares de trigo pan: rendimiento y proteína. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná-Entre Ríos. 22-25 Junio de 2004.
- Reussi Calvo, N.I. Respuesta de un cultivo de trigo a la fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada bajo siembra directa y labranza convencional. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de ciencias agrarias. 45 p.
- Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2011. Diagnosing sulfur deficiency in spring red wheat: plant analysis. *Journal of Plant Nutrition*. 34:573–589.
- MAGyP, 2015. Trigo Pan. Disponible en <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>, verificado 16/03/2015.
- Steinbach, H.S., y R. Alvarez. 2012. Revisión del efecto de la fertilización con azufre sobre el rendimiento de trigo, maíz y soja en la región pampeana. Actas XIX Congr. Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congr. Arg. de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina 16 - 20 de abril.
- Zamuner, E.C., L.I. Picone, H.E. Echeverria. 2005. Comparison of phosphorus fertilization diagnostic methods for wheat under no-tillage. *Soil and Tillage Research* 89:70-77.