

Leyendo nuestros suelos

Pautas para hacer un buen muestreo e interpretar correctamente los análisis de suelos para los principales nutrientes deficitarios en Argentina.

El diagnóstico de la fertilidad de suelos y recomendaciones de fertilización de cultivos contemplan diferentes etapas entre las que se destacan **muestreo de suelo**, análisis de la muestra en el laboratorio e interpretación de los resultados. La primera de ellas es clave, ya que representa el primer paso dentro del proceso que lleva a la recomendación de fertilización. Es decir, no existe análisis y/o recomendación que

mejore la representatividad o calidad de la muestra que se haya tomado. Por eso es necesario realizar un adecuado muestreo de suelo para poder evaluar con mayor precisión la disponibilidad de los distintos nutrientes. Esto permitirá realizar una mejor planificación de la siembra y de la fertilización, al emplear en cada lote o ambiente la dosis de nutrientes necesaria.

Un correcto muestreo debería contemplar los siguientes aspectos: 1) muestrear por separado las áreas de diferente productividad (**Figura 1**), 2) número suficiente de submuestras (25 a 30 submuestras o piques, principalmente en muestras superficiales), 3) repetición de la muestra superficial, particularmente para nutrientes poco móviles como el fósforo (P), y 4) elección del momento y profundidad de muestreo según nutriente.



Por: **Nahuel Reussi Calvo**^{1,2,3}, **Natalia Diovisalvi**³, **Nicolás Wyngaard**^{1,2} y **Fernando García**^{1,3}

¹ Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce.
² CONICET, 3FERTILAB,

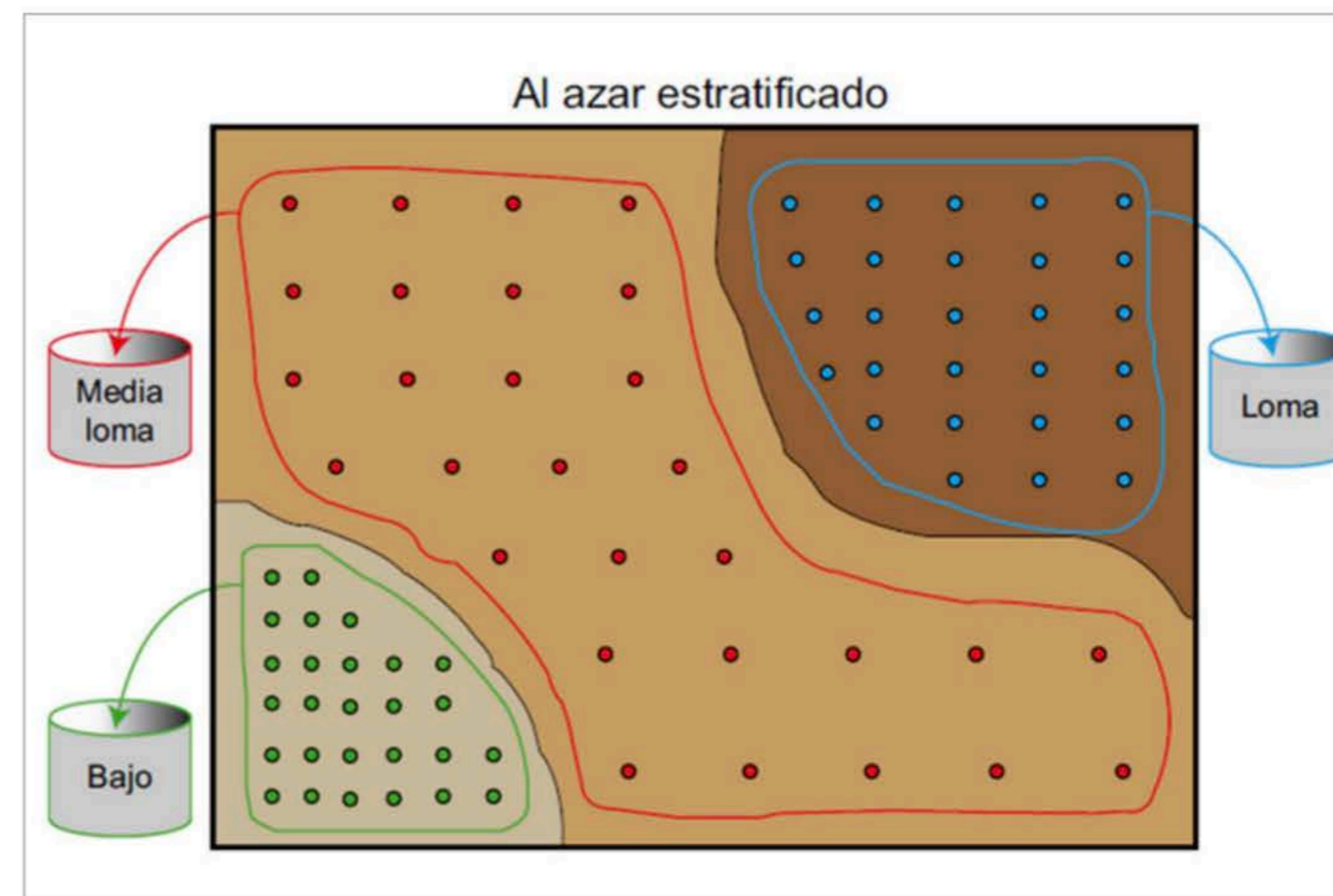


Figura 1: Esquema de muestreo al azar estratificado o por ambiente (Fuente: Carretero et al., 2016-*Informaciones Agronómicas-IPNI*).

Por otra parte, en lo que respecta al **análisis** propiamente dicho, si bien no deberían existir diferencias en los resultados entre laboratorios para una misma muestra, en caso de que existan diferencias, podría deberse a diferentes causas: 1) acondicionamiento de la muestra (fraccionamiento, mezclado, homogeneización, secado y molienda); 2) metodología de análisis; o 3) calidad analítica del laboratorio. Respecto a este último punto, existen rondas interlaboratorio (SAMPLA, PROINSA, entre otros) que contribuyen a mejorar la calidad de los análisis y de los resultados.

Es necesario realizar un adecuado muestreo de suelo para poder evaluar con mayor precisión la disponibilidad de los distintos nutrientes.

La etapa de **interpretación** puede ser definida como el proceso mediante el cual se trata de encontrar un significado más amplio sobre la información empírica recabada. Generalmente, para una mejor interpretación es necesario conocer el marco y/o contexto en el que se realiza la misma (por ej.: la zona, el ambiente, el sistema de producción, etc.). Actualmente, la mayoría de los métodos de diagnóstico de deficiencias de nutrientes basados en determinaciones de suelo cuantifican fracciones inorgánicas lábiles o índices que tratan de extraer una fracción proporcional de nutrientes semejante a la que toman las plantas. Dentro de los nutrientes, el nitrógeno (N) y el P son los que con mayor frecuencia limitan el rendimiento de

Nitrógeno

El N disponible a la siembra junto con el N mineralizado del suelo (que pasa de la materia orgánica a estar disponible para las plantas) y de los residuos del antecesor durante el ciclo del cultivo, constituyen las principales fuentes de N. Este abastecimiento de N determina el rendimiento y el contenido de proteína en cultivos sin fertilizar (**Figura 2**).

Para evaluar la disponibilidad de N inicial se recomienda el muestreo de suelo a la siembra del cultivo en los estratos superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales (20-50 o 20-40 y 40-60 cm). En años o regiones con excesos hídricos durante la pre-siembra y/o con antecesores que dan lugar a un corto período de barbecho (ej. soja, sobre todo de segunda), es conveniente realizar un segundo control de N en macollaje. Se propusieron distintos umbrales de disponibilidad de

los cultivos. Sin embargo, en las últimas décadas, la intensificación de la agricultura generó una disminución en la disponibilidad de azufre (S) en los suelos y, por lo tanto, es cada vez más frecuente determinar la respuesta en rendimiento frente al agregado de dicho nutriente. Asimismo, otros nutrientes como el zinc, el boro y el cloro se diagnosticaron como deficientes en algunos sistemas de producción de la región pampeana.

A continuación, se presenta una revisión resumida sobre los principales métodos para la interpretación de los análisis de suelos en trigo para los principales nutrientes deficitarios en Argentina: N, P y S.

N a la siembra (N suelo 0-60 cm + N fertilizante), que varían según la zona y el rendimiento objetivo, desde 90 hasta 210 kg de N por ha.

El N mineralizado desde la materia orgánica durante el ciclo de crecimiento del cultivo se puede estimar a partir de la determinación del N anaeróbico (Nan). Este índice refleja 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. El muestreo de Nan se puede realizar en cualquier época del año, solo en el estrato 0-20 cm, y debería monitorearse cada 3-4 años.

En función de más de 5000 muestras analizadas por FERTILAB para el sudeste bonaerense, el valor promedio de Nan fue de 60 ppm, con un 25% de los lotes con valores menores a 45

ppm y mayores a 75 ppm. Los valores promedio de Nan tienden a ser menores hacia el norte y oeste de región pampeana, con promedios de 45 ppm en el oeste de Buenos Aires y 40 ppm en el sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires. En general, para el cultivo de trigo el aporte de N por mineralización es de 2,0 a 2,4 kg N/ha por cada ppm de Nan, valor que varía según zona, fecha de siembra y textura del suelo.

El aporte de N por mineralización desde el residuo del cultivo antecesor se puede estimar a partir de información local. En general, se esperan aportes de N de antecesores leguminosas como soja o coberturas como vicia, y aportes nulos o inmovilización de N, con residuos voluminosos de antecesores de gramíneas de alta relación C/N como maíz y sorgo. Los valores pueden ir desde inmovilización (reducción en la disponibilidad) de N de 60 kg/ha hasta mineralización (aportes al cultivo) de 100 kg N/ha.



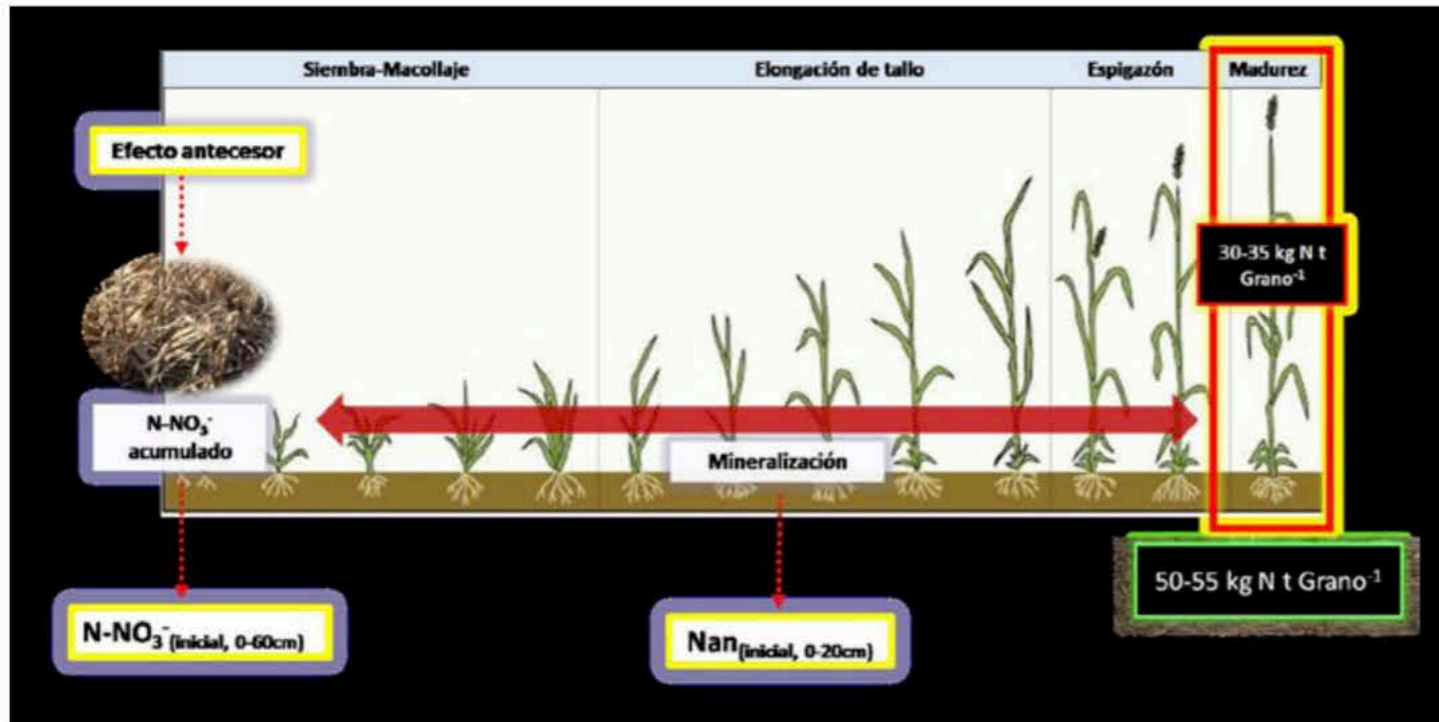
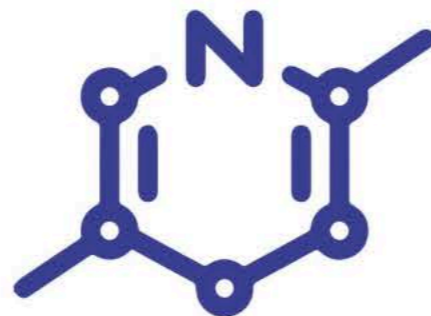


Figura 2: Abastecimiento de N del sistema para un cultivo de trigo sin fertilizar: N de residuo de antecesores, N disponible en el suelo a la siembra y N mineralizado de la materia orgánica a lo largo del ciclo del cultivo.

Para producir una tonelada de trigo con niveles proteicos adecuados (11-12%), el cultivo necesita absorber aproximadamente 30-35 kg de N. Considerando una eficiencia de recuperación de N del sistema del 60%, se necesitan 50-55 kg de N en el suelo para producir una tonelada de trigo (**Figura 2**). De la misma manera, necesitamos aplicar 50-55 kg de N como fertilizante por cada tonelada de rendimiento que queremos producir por sobre el cultivo sin fertilizar. No obstante, estos valores 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.

La **Figura 3** muestra un ejemplo de determinación de la dosis de N a aplicar para un cultivo de trigo con objetivo de rendimiento de 5000 kg/ha en un suelo con 40 kg N/ha según análisis



de N-nitrato a la siembra a 0-60 cm, Nan de 50 ppm y antecesor neutro (sin aporte de N de residuos). Con el abastecimiento de N del sistema, el cultivo podría alcanzar 2700 kg/ha de rendimiento. Para llegar a 5000 kg/ha se necesitarían aplicar 126 kg/ha de N como fertilizante (55 kg/ha de N en el sistema por tonelada de grano producida). Para cebada, si bien los modelos están en desarrollo, no se deberían esperar grandes diferencias respecto de trigo debido a la similitud entre requerimiento y ciclos de ambos cultivos.

Se esperan aportes de N de antecesores leguminosas como soja o coberturas como vicia, y aportes nulos o inmovilización de N, con residuos voluminosos de antecesores de gramíneas de alta relación C/N como maíz y sorgo.

Ejemplo de Diagnóstico de Nitrógeno

Rendimiento objetivo: 5 t/ha (11% proteína); Nan: 50 ppm (0-20 cm); Nitrato inicial = 40 kg/ha (0-60 cm).

- 1) **N disponible** = N inicial (40 kg ha⁻¹) + Nan
- 2) **N disponible con Nan** = N inicial + Nan = 40 kg ha⁻¹ + 110 kg ha⁻¹ (50*2.2) = 150 kg N ha⁻¹
- Requerimiento de N = 55 kg N t de grano
- 3) **Rendimiento del testigo** = 150 kg N ha⁻¹ / 55 kg N t grano⁻¹ = 2,7 t ha⁻¹
- 4) **Respuesta** = 5,0 t ha⁻¹ - 2,7 t ha⁻¹ = 2,3 t ha⁻¹
- 5) **Dosis N** = 2,3 t ha⁻¹ * 55 kg N t grano⁻¹ = 126 kg N ha⁻¹

Nota: Varía con la zona/cultivo/fecha de siembra

Figura 3: Ejemplo de estimación de recomendación de fertilización nitrogenada en trigo utilizando la información de N disponible a la siembra, N anaeróbico (Nan) y rendimiento objetivo.

Fósforo

La recomendación de fertilización fosfatada se basa en el diagnóstico de fertilidad a partir del análisis de suelo del P extractable (P Bray) a 0-20 cm. Para trigo es ideal ubicarse por arriba del rango crítico de 15-20 ppm P Bray (**Figura 4**).

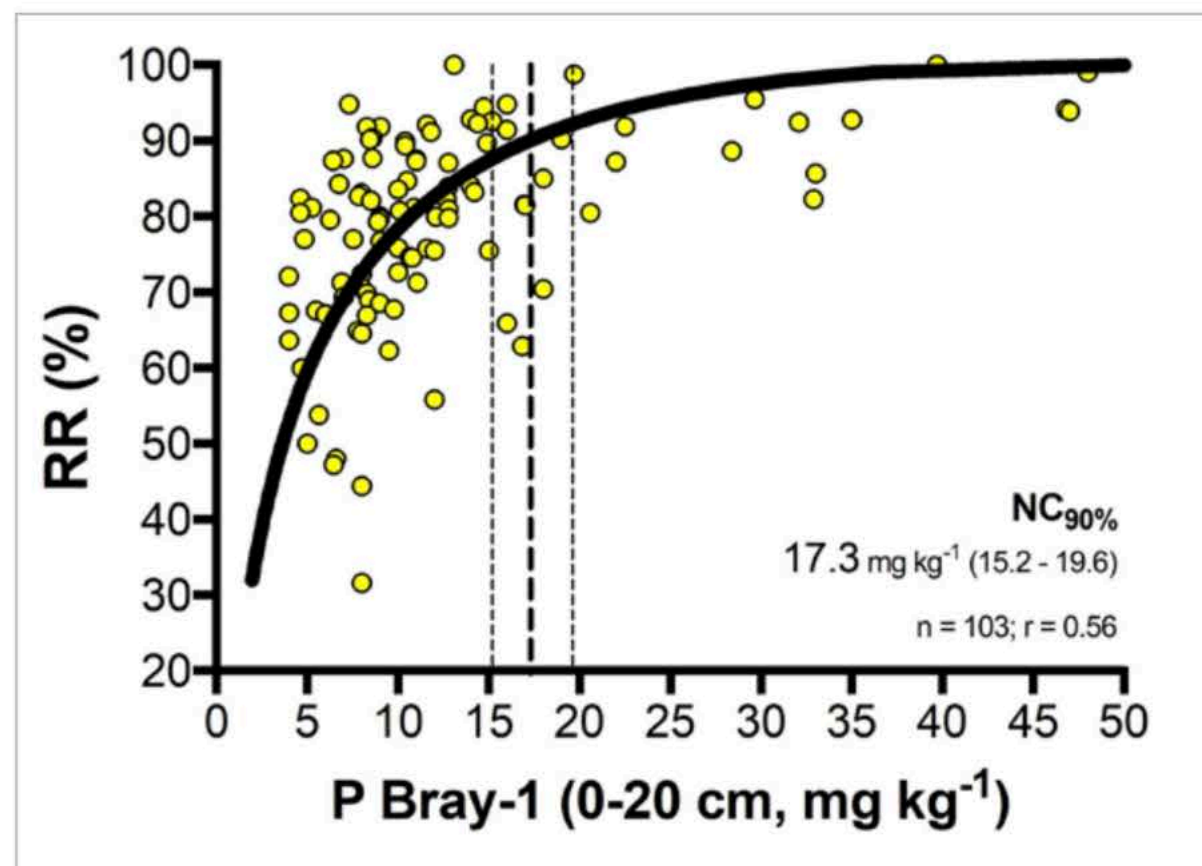


Figura 4: Rendimiento relativo (RR) de trigo en función del nivel de PBray-1 (0-20 cm) a la siembra. La línea punteada y la franja vertical gris indican el nivel crítico (17 mg kg⁻¹) de PBray-1 para obtener 90% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 95% (15 a 20 mg kg⁻¹). n= 103 ensayos en región pampeana entre 1998 y 2014

La recomendación a partir del análisis se puede orientar a satisfacer las necesidades del cultivo, también llamada Suficiencia, o a mejorar/mantener los niveles de P Bray del suelo, Construcción y Mantenimiento. La **Tabla 1** muestra recomendaciones generales sugeridas para distintos niveles de P Bray del suelo y según el rendimiento objetivo:

Las dosis de Suficiencia sugeridas dependen del nivel de P Bray y consideran solo el cultivo de trigo siguiente.

Las dosis de Construcción y/o Mantenimiento buscan elevar niveles bajos y mantener niveles altos de P Bray. En este caso se estima que para subir 1 ppm de P Bray se debe aplicar 3 kg de P por arriba de la remoción de grano de los cultivos (**Tabla 1**), pero este valor varía entre 2.5 y 4 kg P por ppm P Bray. Para reponer el P removido en granos, se estima una concentración de 3.2 kg P por tonelada de grano (**Tabla 1**), y este valor también varía entre 2.8 y 3.6 kg P/t grano.

Nivel de P extractable (P Bray 0-20 cm)	Dosis de suficiencia (kg P*/ha)	Dosis de construcción y/o mantenimiento (kg P*/ha)
Menor de 10 ppm	20-25	((20 - P Bray) * 3 kg P/ppm) + (t/ha * 3.2 kg P/t)
10-15 ppm	15-20	((20 - P Bray) * 3 kg P/ppm) + (t/ha * 3.2 kg P/t)
15-20 ppm	10-15	(t/ha * 3.2 kg P/t)
20-25 ppm	5-10	(t/ha * 3.2 kg P/t)
25-30 ppm	-	(t/ha * 3.2 kg P/t)
Más de 30 ppm	-	No fertilizar, muestrear año siguiente.

**Para transformar de P a P2O5 multiplicar por 2,29.*

Tabla 1: Recomendaciones sugeridas de fertilización fosfatada para trigo según niveles de P extractable (ppm P Bray, 0-20 cm) y rendimiento objetivo (t/ha).

Las recomendaciones sugeridas en la **Tabla 1**, además de depender del nivel de P Bray y rendimiento, variarán de acuerdo a la relación de precios fertilizante/grano, el capital disponible y la percepción frente al riesgo. Además, en caso de considerar el doble cultivo trigo/soja de segunda, las dosis deberían aumentar para ambos criterios de recomendación según productividad de la soja.

Dosis de Suficiencia sugerida sería de 20 kg P/ha.

Dosis de Construcción y/o Mantenimiento:
 Dosis P = ((20 - 9) * 3) + (5 t/ha * 3.2 kg P/t)
 Dosis P = (33 kg P/ha) + (16 kg P/ha)
 Dosis P = 49 kg P/ha

A modo de ejemplo, supongamos un lote con 9 ppm P Bray y un rendimiento objetivo de 5000 kg/ha:

En el caso de Construcción y/o Mantenimiento lo recomendado es aportar los kg de P de construcción a lo largo de 3-6 años de manera de reducir las cantidades aplicadas por cultivo. Esto reduce el costo financiero y la posibilidad de que se produzca un consumo excesivo de P (consumo de lujo). En el ejemplo anterior, los 33 kg P de construcción se podrían aplicar en dosis sucesivas de 11 kg P/ha en tres años.

Respecto a la **forma de aplicación de P**, existen varios trabajos que demostraron, para suelos

con bajo nivel de P Bray y/o para dosis bajas de fertilización, una mayor eficiencia de la aplicación en la línea respecto al voleo. Las diferencias entre sistemas de aplicación es menor cuando mayor es el nivel de P Bray del suelo o la dosis de P aplicada. Las aplicaciones al voleo anticipadas alcanzan eficiencias similares a la aplicación en línea con P Bray de 10 ppm o mayor y con dosis de 20 kg/ha de P o mayores. Son especialmente útiles en planteos de Construcción y/o Mantenimiento que generalmente utilizan dosis de fertilización altas.

Azufre

La deficiencia de S se generalizó en numerosos sistemas de trigo, especialmente en trigo/soja. La principal reserva de S del suelo es la materia orgánica, al igual que la de N y una gran parte del P. El diagnóstico se basa en identificar los lotes deficientes a partir de las siguientes observaciones:

Caracterización del ambiente.

- Suelos con bajo contenido de materia orgánica, suelos arenosos.
- Sistemas de cultivo más intensivos, disminución del contenido de materia orgánica.

Para la región pampeana, trabajos realizados por INTA determinaron un umbral crítico a la siembra del cultivo de 45 kg S ha⁻¹ (0-60 cm), siendo correcto el diagnóstico en el 79% de los casos estudiados (Figura 5). Además, para el sudeste bonaerense, el Nan podría contribuir

Análisis de S-sulfato: nivel crítico menor de 10 ppm (0-20 cm).

Presencia de napa o uso de riego: frecuentemente las napas y las aguas de riego pueden contener altos niveles de sulfato. Algo similar se observa en suelos con tosca por acumulación de sulfato.

Balances de S en el sistema: buscar balances neutros o levemente positivos.

a identificar lotes con problemas de S, siendo el nivel crítico de 62 ppm (Figura 5). Asimismo, el análisis de grano puede ser empleado para caracterizar el estatus azufrado que tuvo el cultivo y programar la fertilización para los cultivos subsiguientes en la rotación.

Al igual que para N, la aplicación de S se puede realizar a la siembra o en estadios avanzados del cultivo debido a la absorción demorada de dicho nutriente. Además, dada la residualidad de S, se puede aprovechar para aplicar todo el S de la secuencia trigo/soja de segunda al momento de fertilizar el trigo.

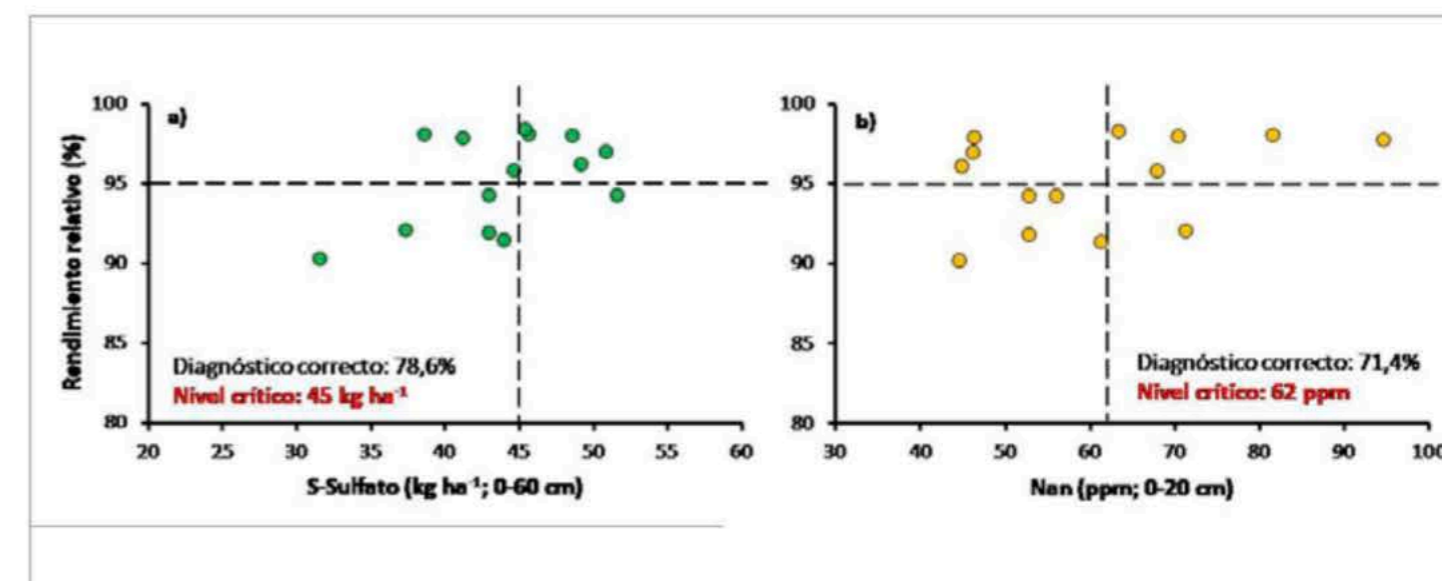


Figura 5: Rendimiento relativo de trigo en función de: a) S-sulfato y b) Nan en presiembra. Fuente: W. Carciocchi-Grupo Relación Suelo-Cultivo (Unidad Integrada Balcarce).

Para finalizar, **en suelos con deficiencias de nutrientes**, las respuestas más frecuentes son de 10 a 25 kg grano por kg de nitrógeno; de 40 a 60 kg grano por kg de fósforo; y 40 a 80 kg grano por kg de azufre. El **costo** (kg grano necesarios para pagar un kg de nutriente) para la presente campaña varía de 10 a 12 kg/kg para nitrógeno, de 20 a 25 kg/kg para fósforo y de 7 a 9 kg/kg para azufre. Esto evidencia la **rentabilidad** de la práctica de fertilización, aún con los elevados precios de los fertilizantes a nivel internacional y sin considerar el efecto benéfico a largo plazo de la nutrición balanceada sobre la salud edáfica.

