

Del paper al lote:

¿Cuándo, cómo y por qué debería fertilizar mis sojas?

Nahuel Reussi Calvo^{1,2,3}, Natalia Diovisalvi¹, Ángel Berardo¹ y Fernando O. García^{1,2,4}

¹Laboratorio FERTILAB, ²FCA-INTA Balcarce, ³CONICET, ⁴Consultor privado
E-mail: nreussicalvo@laboratoriofertilab.com.ar

La soja es el cultivo más importante de los sistemas productivos de la Argentina con una superficie sembrada ~18-20 millones de hectáreas y una producción ~45-50 millones de toneladas. Esto implica que gran parte del área sembrada cada año en el país se encuentra bajo monocultivo de soja o en rotaciones donde la soja cumple un papel preponderante. El manejo adecuado de la nutrición permite mejorar los rendimientos y captar respuestas rentables en ambientes con deficiencias nutricionales. Asimismo, resulta imprescindible para evitar balances negativos de nutrientes y/o atenuar los procesos de degradación de los suelos por el bajo aporte de residuos, y la rápida descomposición de los mismos.

En las regiones sojeras de Argentina, el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S) son los principales nutrientes que limitan con mayor frecuencia el rendimiento del cultivo. Sin embargo, en las últimas décadas, la intensificación de la agricultura ha generado una disminución en la disponibilidad de otros nutrientes como el zinc y el boro, los cuales se han diagnosticado como deficientes en algunos sistemas de producción de la región pampeana.

Las redes experimentales de las regiones CREA Sur de Santa Fe y Oeste muestran que la nutrición balanceada con PS genera respuestas promedio en rendimiento de soja de 620 y 596 kg ha⁻¹, un 16% de incremento sobre el testigo sin fertilizar. Estas respuestas se traducen en márgenes brutos de 80-90 \$/ha según sitio experimental (**Fig. 1**). Para captar estos incrementos en producción y rentabilidad, debemos diagnosticar los ambientes deficientes en P, S u otros nutrientes.

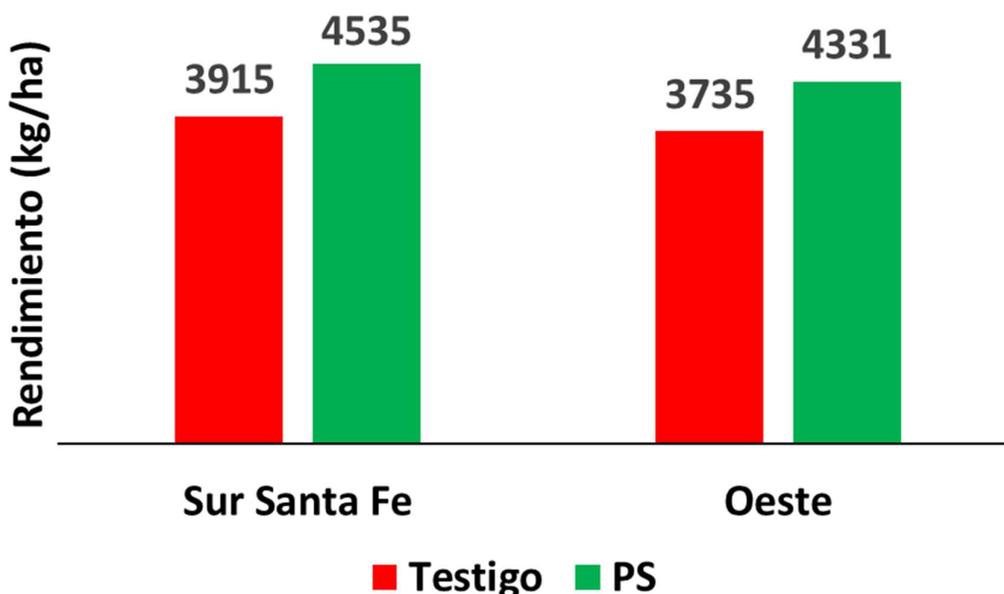


Figura 1. Rendimiento promedio de soja de primera sin fertilizar y con fertilización fosfatada y azufrada (PS) en las redes experimentales de la región CREA Sur de Santa Fe (Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, CREA-Nutrien Ag Solutions) y de la región CREA Oeste (RIDZO, CREA-Bunge-Nutrien Ag Solutions).

Caja 1: Una fábrica de exportar nutrientes

La soja posee un mayor índice de cosecha de nutrientes comparado con los demás cultivos tradicionales (trigo, maíz, girasol), debido a la alta removilización de los mismos desde estructuras vegetativas al grano. Por lo tanto, a igual rendimiento y por los altos requerimientos, la soja produce una mayor exportación de nutrientes del sistema. Para la cosecha 2019/20, la producción a nivel nacional fue 49 millones de toneladas,

por lo que la remoción de N y potasio sería de aproximadamente 2.5 y 1.0 millones de toneladas, mientras que la de P y S sería de 250 y 150 mil toneladas, respectivamente.

Nitrógeno, un aliado desde la atmósfera

El cultivo de soja presenta altos requerimientos de N ($70\text{-}80\text{ kg N t}^{-1}$ de grano), sin embargo, una gran parte de los mismos son cubiertos por la fijación biológica del nitrógeno (FBN). A modo de ejemplo, para una soja de 3000 kg/ha el aporte de N por FBN va desde 90 a 180 kg N ha^{-1} , lo que representa el 37 al 72% del N asimilado por el cultivo. En la región pampeana, varios trabajos han determinado aportes promedio de N por FBN del 60% de las necesidades totales de N del cultivo (rangos de 25 a 90%), el cual va depender de la disponibilidad de N del suelo y de las características climáticas de la estación de crecimiento. Es válido mencionar que la FBN está estrechamente relacionada con el crecimiento del cultivo, debido a que la fotosíntesis provee de los asimilados para sostener la fijación y, por lo tanto, cualquier factor que afecte el crecimiento del cultivo va a afectar la FBN y viceversa. A pesar del extraordinario aporte de N por FBN, los balances de N son negativos debido a la alta extracción de N en el grano de soja. En este contexto, lo que se busca son sistemas de FBN más eficientes y efectivos para lo cual una correcta inoculación sumado a una nutrición balanceada resulta de suma importancia para optimizar el crecimiento de la soja y, por ende, que la FBN se exprese a su máxima intensidad. Trabajos recientes determinaron que la inoculación aún en lotes con historia de soja produce en promedio un 8% de respuesta en rendimiento ($+228\text{ kg/ha}$) en la región pampeana Argentina (**Fig. 2**). En base a lo mencionado, surge que la inoculación de la semilla de soja es una práctica indispensable para lograr una adecuada provisión de N para el cultivo.

Por último, la fertilización con N en el cultivo de soja no resultaría ser una práctica de manejo viable desde el punto de vista económico ni ambiental, por las potenciales pérdidas de N del sistema. Además, no es recomendable la aplicación de fertilizantes nitrogenados en soja debido a que afecta la FBN; respuestas a la fertilización con N solo se esperan en lotes en donde hay fallas en la nodulación.

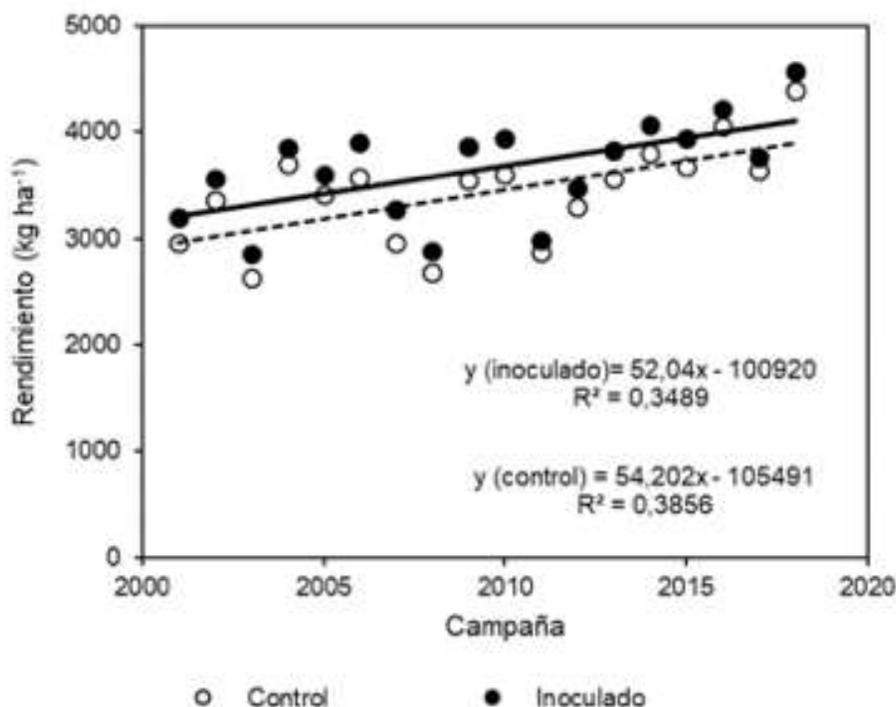


Figura 2. Rendimientos medios de soja durante 18 campañas según tratamientos de inoculación en regiones productivas de Argentina. Estudio de 1443 casos. Fuente: A. Peticari y col. (2019).

El fósforo, la base para los altos rendimientos y la FBN

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 soja es ideal ubicarse por arriba del rango crítico de P Bray de 8-11 ppm, el cual varía según la textura de los suelos (**Fig. 3**). A modo de ejemplo, en la **Fig. 4** se observa que por debajo de las 10 ppm de P Bray las eficiencias duplican la relación insumo:producto indicando la alta rentabilidad de la fertilización en estas condiciones. Además, aún con niveles de P Bray entre 10 y 15 ppm, las respuestas en rendimiento pueden pagar el costo de la aplicación. Esto remarca la importancia de la fertilización fosfatada en ambientes con niveles medios de P.

La recomendación a partir del análisis puede orientarse 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 soja siguiente.
- Las dosis de *Construcción y/o Mantenimiento* buscan elevar niveles bajos a 20 ppm y mantener niveles altos de P Bray (entre 20 y 30 ppm). En este caso se estima que para subir 1 ppm de P Bray se requiere aplicar 3 kg de P por arriba de la remoción de grano de los cultivos, 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 4.5 kg P por tonelada de grano (**Tabla 1**), y este valor también varía entre 3.5 y 5.5 kg P/t grano.

Las recomendaciones sugeridas en la **Tabla 1**, además de depender el 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.

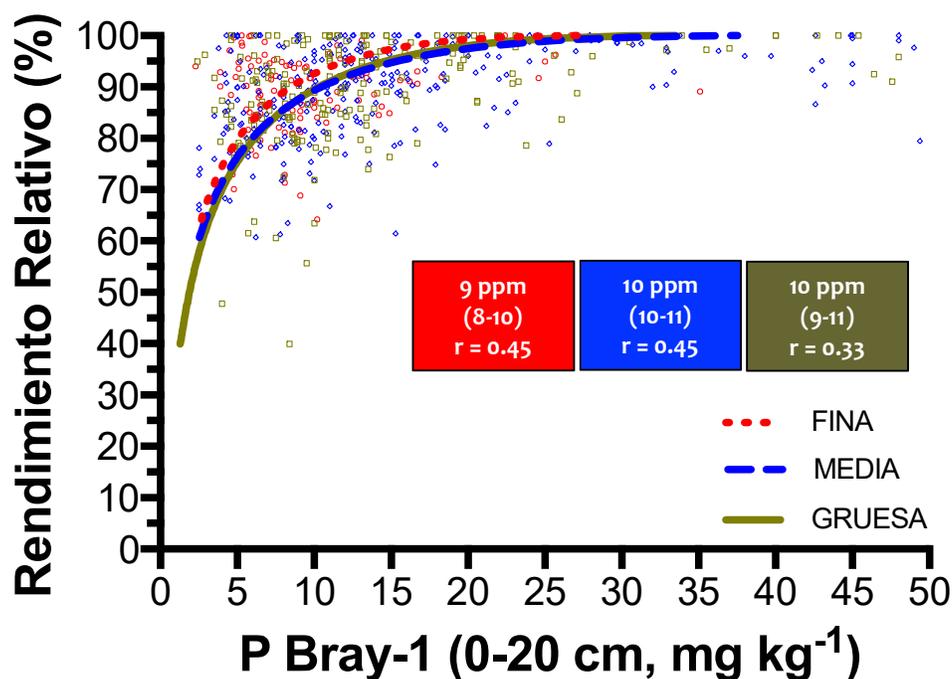


Figura 3. Rendimiento relativo de soja en función del nivel de $P_{\text{Bray-1}}$ (0-20 cm) a la siembra. Los valores de los recuadros indican el nivel crítico de $P_{\text{Bray-1}}$ para obtener 90% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 95% según textura de los suelos (Fina: Argiudoles Vérticos, Media: Argiudoles Típicos y Gruesa: Hapludoles). n = 592 ensayos en región pampeana entre 1972 y 2017. Fuente: Correndo y col. (2018).

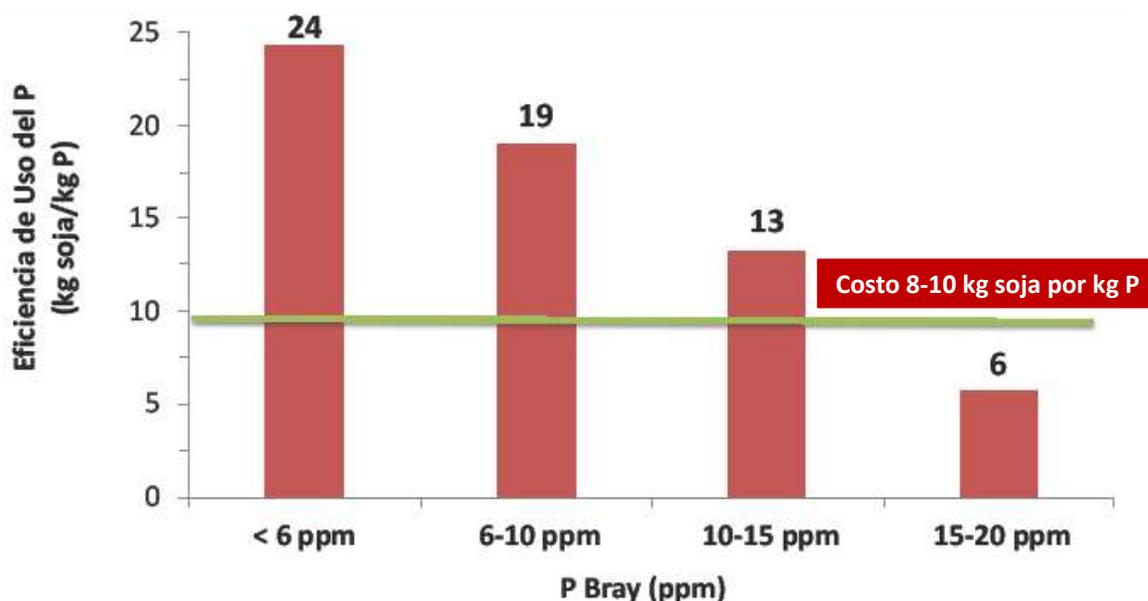


Figura 4. Eficiencia de uso de P para diferentes categorías de P Bray en suelo. La línea horizontal verde indica la relación insumo:producto histórica para soja de 8-10 kg grano para pagar 1 kg de P. Datos de 110 ensayos realizados por distintos autores en la región pampeana argentina.

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

Nivel de P extractable (P Bray 0-20 cm)	Dosis de suficiencia (kg P*/ha)	Dosis de reconstrucción y/o mantenimiento (kg P*/ha)
Menor de 5 ppm	15-20	$((20 - P \text{ Bray}) * 3 \text{ kg P/ppm}) + (t/\text{ha} * 4.5 \text{ kg P/t})$
5-10 ppm	10-15	$((20 - P \text{ Bray}) * 3 \text{ kg P/ppm}) + (t/\text{ha} * 4.5 \text{ kg P/t})$
10-15 ppm	5-10	$((20 - P \text{ Bray}) * 3 \text{ kg P/ppm}) + (t/\text{ha} * 4.5 \text{ kg P/t})$
15-20 ppm	-	$(t/\text{ha} * 4.5 \text{ kg P/t})$
Más de 20 ppm	-	No fertilizar, muestrear año siguiente

*Para transformar de P a P_2O_5 multiplicar por 2,29.

A modo de ejemplo, supongamos un lote con 9 ppm P Bray y un rendimiento objetivo de 4000 kg/ha:

- Dosis de *Suficiencia* sugerida sería de 15 kg P/ha.
- Dosis de *Construcción y/o Mantenimiento*:

$$\text{Dosis P} = ((20 - 9) * 3) + (4 \text{ t/ha} * 4.5 \text{ kg P/t})$$

$$\text{Dosis P} = (33 \text{ kg P/ha}) + (18 \text{ kg P/ha})$$

$$\text{Dosis P} = 51 \text{ kg P/ha}$$

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 reconstrucción 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 han demostrado, 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. Respecto a la aplicación en la línea, es recomendable evitar la colocación del fertilizante junto a la semilla debido al efecto fitotóxico del mismo sobre la soja y también sobre las bacterias fijadoras del N. Los efectos del

fertilizante van a depender de la textura, el contenido de materia orgánica y de la humedad del suelo, como así también del tipo de fertilizante y de la dosis, siendo mayores los daños en suelos arenosos y con bajo contenido de humedad. A modo de ejemplo, una pérdida del 20 % del stand de plántulas se puede producir con dosis desde 20 y hasta 80 kg ha⁻¹ de superfosfato simple según el tipo de suelo y el contenido de humedad (Ciampitti et al., 2006). Para minimizar dichos efectos se debería colocar el fertilizante a unos 4-5 cm de la línea de siembra. *Por otra parte, debido a la alta residualidad del P en los suelos de la Región Pampeana, en el doble cultivo trigo-soja la aplicación de P para la soja de segunda suele realizarse con la fertilización fosfatada del trigo u otro cultivo de invierno. En general, la dosis de P se define en función de la respuesta y de los requerimientos de ambos cultivos.*

Azufre, ¿Más que un plus en soja?

La deficiencia de S se ha generalizado en numerosos sistemas de soja. *En sitios con deficiencia de S, son esperables respuestas del orden de 12 a 19 kg de grano por kg S aplicado siendo la relación insumo:producto histórica de 6,2 kg de soja para pagar 1 kg de S.* 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.
- Análisis de S-sulfato: Nivel crítico menor de 10 ppm (0-20cm).
- 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.

Para la región pampeana, trabajos realizados por INTA y CREA han determinado un umbral crítico a la siembra del cultivo de 40 kg S ha⁻¹ (0-60 cm) o 10 ppm (0-20cm) (**Fig. 5**), respectivamente. Asimismo, el análisis de grano puede ser empleado para caracterizar el estatus azufrado que tuvo el cultivo con un nivel crítico de 0.33%, y programar la fertilización para los cultivos subsiguientes en la rotación. Respecto al momento de fertilización, en general, las aplicaciones de azufre se realizan a la siembra del cultivo de soja de primera. En el doble cultivo trigo-soja de segunda, la aplicación de S, al igual que para P, se realiza en el trigo considerando los requerimientos de ambos cultivos. Este planteo de fertilización es factible por el efecto residual del S, en parte como consecuencia de su bajo índice de cosecha (30-60% según especie).

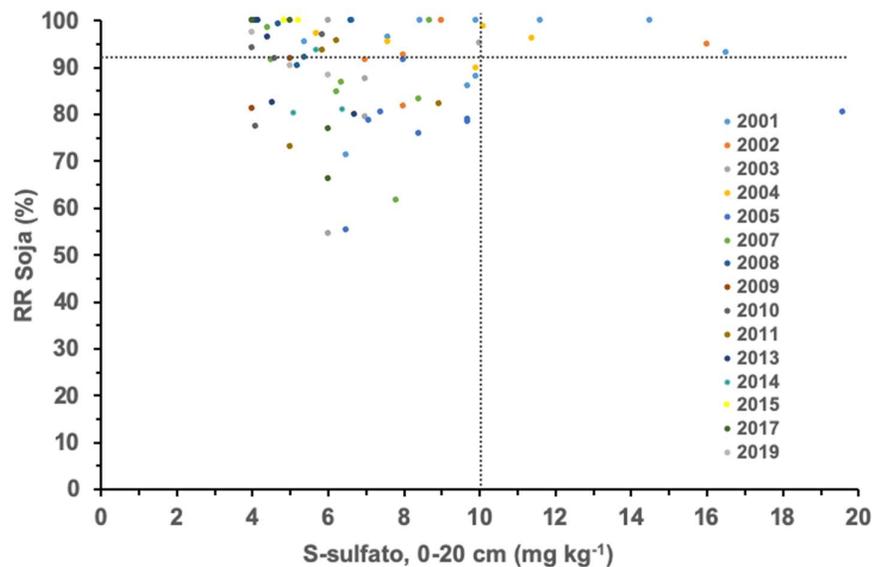


Figura 5. Rendimiento relativo (RR) de soja (NP:NPS) en función del nivel de S-SO₄⁻² (0-20 cm) a la siembra. n=74. Las líneas punteadas indican un nivel crítico de 10 mg kg⁻¹ de S-SO₄⁻² para obtener 95% del rendimiento relativo. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. CREA-Nutrien Ag Solutions. Campañas 2001/02 a 2019/20.

Caja 2: La ley del mínimo: ¿Otros nutrientes?

En los últimos años, en toda la región pampeana, se han incrementado los casos de deficiencias de **Zn** y **B** en soja, con respuestas de rendimiento que oscilan entre 3% y 6%. Para **Zn** se ha calibrado el análisis de suelo en pre-siembra de Zn-DTPA (0-20 cm), con alta frecuencia de respuesta a la aplicación con valores menores de 1.1 mg/kg. En cuanto a la tecnología de fertilización, las respuestas se observan tanto con aplicaciones al suelo de mezclas sólidas (químicas o físicas) y con líquidos, o en tratamientos de semillas y foliares. Respecto a **B**, trabajos recientes indican que niveles de **B** extractable con acetato de amonio (0-20 cm) por debajo de 0.76 mg/kg indicarían lotes con deficiencia. Para este nutriente, las aplicaciones en estadios reproductivos (R1-R2) presentarían resultados promisorios debido a las funciones del **B** y su bajo movilidad en planta. Por último, se han determinado respuesta al agregado de **cobalto** y **molibdeno** del orden del 2.5% en el cultivo de soja.

Análisis de granos: ¿Monitoreo final?

Conocer la concentración de nutrientes en el grano puede indicarnos si hicimos un manejo correcto de la nutrición del cultivo. Por ejemplo, por debajo de 0.45% P nos indicaría que este nutriente posiblemente limito el rendimiento del cultivo de soja. Se han sugerido las siguientes concentraciones de nutrientes en grano para cultivos de soja sin limitaciones nutricionales:

<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>
----- % -----						----- ppm -----				
5.2	0.45	1.65	0.26	0.30	0.33	7	11	65	43	36

¿Conviene fertilizar? ¿Los números dan?

Los niveles de **EFICIENCIA** de uso de P y S en soja varían de 20 a 40 kg grano por kg de P y 20 a 60 kg grano por kg de S en ambientes deficientes de estos nutrientes. El **COSTO** (kg grano necesarios para pagar un kg de nutriente) varía históricamente entre 8 a 12 kg/kg para P y de 5 a 10 kg/kg para S. Esto evidencia la **RENTABILIDAD** de la práctica de fertilización, aún sin considerar el efecto residual de cada nutriente. Además, considerando los niveles actuales de extracción de P y de S, su residualidad en el suelo y el reciclaje a través de los residuos de cosecha, es fundamental empezar a manejar la fertilización en función del balance de nutrientes dentro de la rotación para una agricultura sustentable.

Para una correcta nutrición del cultivo de soja es fundamental la inoculación y efectuar un cuidadoso muestreo de suelo con fines de diagnóstico en post de una nutrición balanceada, la cual contribuye a la sustentabilidad de los sistemas de producción.