

Del paper al lote:

Claves para el manejo de nutrientes en el cultivo de papa

Nahuel Reussi Calvo^{1,2,3}, Claudia Gilletto², Ester Zamuner², Sandra Silva², Natalia Cassino², Natalia Diovisalvi¹,
Fernando Garcia^{1,2,4}

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

El sudeste bonaerense es la principal zona productora de papas del país, siendo la brecha de rendimiento (diferencia entre el rendimiento máximo del ambiente y el obtenido a campo) entre un 40 y 50%, por lo tanto, diagnosticar correctamente el estado nutricional del cultivo es condición necesaria para mejorar la eficiencia de utilización de los recursos e insumos involucrados en el sistema productivo. El manejo adecuado de la nutrición del cultivo constituye uno de los principales factores para maximizar la producción, reducir la brecha de rendimiento y obtener adecuada calidad industrial (materia seca en tubérculo).

Dentro de los nutrientes, el nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los que con mayor frecuencia limitan el rendimiento de papa. Sin embargo, en las últimas décadas, la intensificación de la agricultura ha generado una disminución en la disponibilidad de nutrientes secundarios como el azufre (S) y calcio (Ca), y de micronutrientes como el cinc (Zn) y boro (B) en los suelos. Por lo tanto, es factible determinar respuesta en rendimiento o calidad frente al agregado de dichos nutrientes. Trabajos realizados en los últimos años en la Unidad Integrada Balcarce, muestran respuesta promedio en rendimiento de tubérculo fresco de 9.5 t/ha para N; 12.0 t/ha para P; 5.9 t/ha para S; 8.9 t/ha para Ca; 7.9 t/ha para Zn y 6.4 t/ha para B (**Fig. 1**).

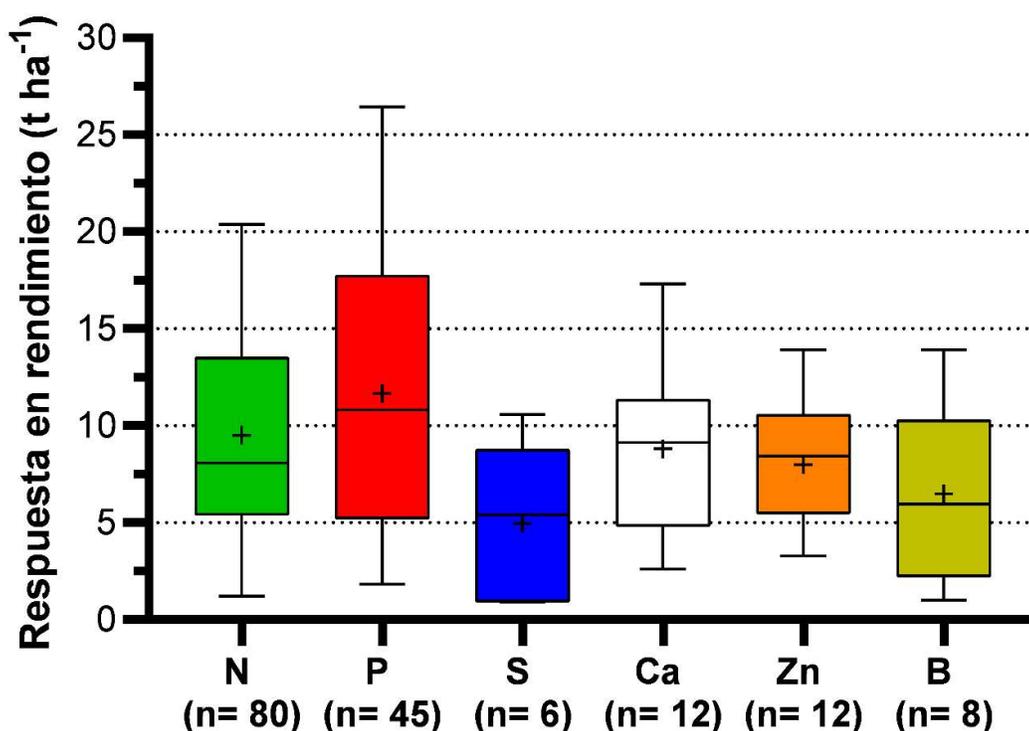


Figura 1. Respuesta en rendimiento de tubérculos fresco para nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), calcio (Ca), cinc (Zn) y boro (B) en el sudeste bonaerense. Las barras verticales indican los percentiles 5% y 95%, las cajas los percentiles 25% y 75%, la línea horizontal la mediana, y el signo “+” indica la media. Dosis de 50-200 kg N/ha; 25-200 kg P/ha; 10-20 kg S/ha; 40-80 kg Ca/ha; 150-600 g Zn/ha y 150-200 g B/ha. El rendimiento del testigo varío desde 30.6 hasta 62.7 t/ha según sitio. Fuente: experimentos del grupo Relación Suelo-Cultivo de la Unidad Integrada Balcarce desde 2008 hasta 2020. n: número de datos.

Nitrógeno, para construir rendimiento sin afectar calidad

El N disponible a la siembra junto con el N mineralizado del suelo y de los residuos del antecesor durante el ciclo del cultivo, constituyen las principales fuentes nitrogenadas que determinan el rendimiento en cultivos sin fertilizar (**Fig. 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 (20-40 cm). No obstante, en años o regiones con excesos hídricos durante la pre-siembra del cultivo y/o con bajas temperaturas, dicho análisis no ha presentado una adecuada capacidad predictiva del rendimiento del cultivo de papa. Por lo tanto, se ha evaluado, al igual que en trigo y maíz, la factibilidad de incorporar estimadores de la mineralización de N para mejorar la definición de la dosis de dicho nutriente.

El N mineralizado de la materia orgánica durante el ciclo de crecimiento del cultivo puede estimarse a partir de la determinación del N anaeróbico (Nan). 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 de suelo, se refleja en este índice. El muestreo de Nan puede realizarse en cualquier época del año y solo en el estrato 0-20 cm. En función de más de 6000 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. En general, para el cultivo de papa el aporte de N por mineralización es de 3.6 a 4.0 kg N/ha por cada ppm de Nan, valor que puede variar según zona, fecha de siembra y textura del suelo. Se han propuestos niveles umbrales de disponibilidad de N a la siembra ($N_{\text{suelo } 0-60\text{cm}} + N_{\text{fertilizante}} + N_{\text{mineralizable}}$) entre 240 y 280 kg N/ha para alcanzar el 95% del rendimiento máximo.

En papa, el aporte de N por mineralización desde el residuo del cultivo antecesor es cuantificado con la determinación de N inicial dado que la mayor proporción del cultivo se realiza bajo labranza convencional y con prolongado periodo de barbecho (2-3 meses). En caso contrario, se esperan aportes de N de antecesores leguminosas como soja y, aportes nulos o inmovilización de N, con residuos voluminosos de antecesores de gramíneas de alta relación C/N como trigo y cebada.

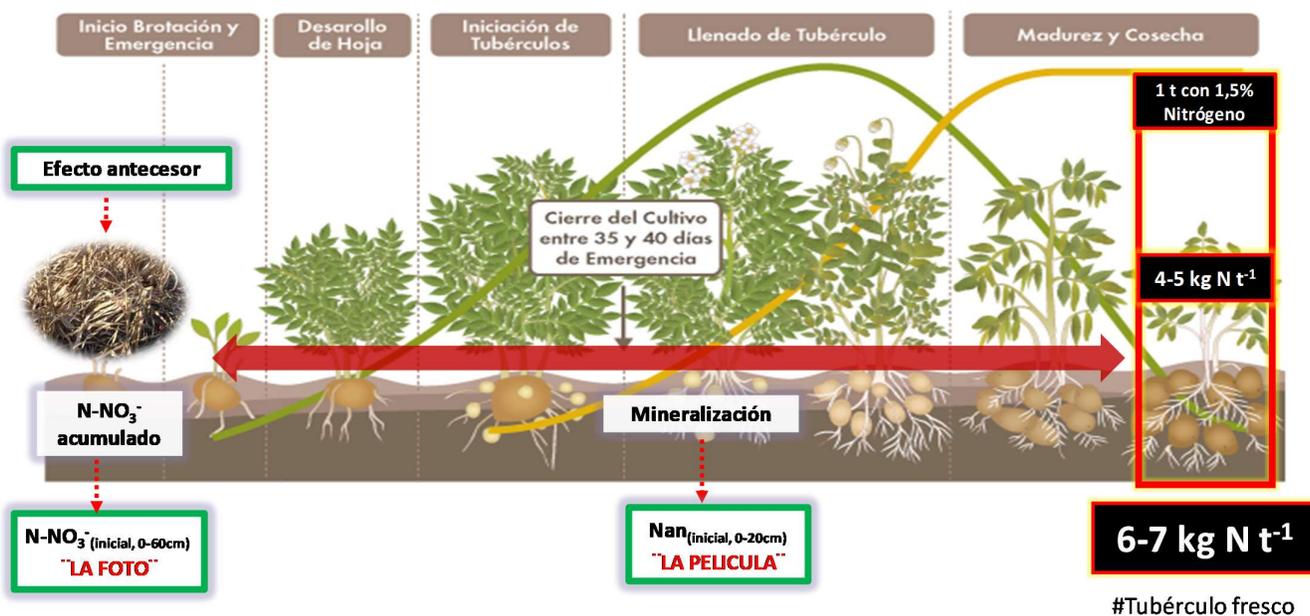


Figura 2. Abastecimiento de N del sistema para un cultivo de papa sin fertilizar: N de residuo de antecesores, N disponible en el suelo a la siembra y N mineralizado de la materia orgánica a lo largo del ciclo del cultivo. Ciclo adaptado de <https://medium.com/@AgroKilimo>.

Para producir 1 tonelada de tubérculo de papa, el cultivo necesita absorber aproximadamente 4-5 kg de N. Considerando una eficiencia de recuperación de N del sistema del 70%, se necesitan 6-7 kg de N en el suelo para producir 1 tonelada de papa (**Fig. 2**). De la misma manera, necesitamos aplicar 6-7 kg de N como

fertilizante por cada tonelada de rendimiento que queremos producir por sobre el cultivo sin fertilizar. No obstante, los mismos pueden variar entre 5 y 10 kg N en función de la eficiencia de absorción del N del suelo, la variedad y potencial del ambiente.

La **Fig. 3** muestra un ejemplo de determinación de la dosis de N a aplicar para un cultivo de papa en el sudeste bonaerense con un rendimiento objetivo de 50 t/ha en un suelo con 60 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 40 t/ha de rendimiento, para llegar a 50 t/ha se necesitarían aplicar 60 kg/ha de N como fertilizante (6 kg/ha de N en el sistema por tonelada de tubérculo producida).

Ejemplo de diagnóstico de Nitrógeno

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

$$1) \text{ N disponible} = \text{N inicial (60 kg ha}^{-1}\text{)} + \text{Nan}$$

$$2) \text{ N disponible con Nan} = \text{N inicial} + \text{Nan} = 60 \text{ kg ha}^{-1} + 180 \text{ kg ha}^{-1} (50 * 3.6) = 240 \text{ kg N ha}^{-1}$$

$$\text{Requerimiento de N} = 6 \text{ kg N t de tubérculo}$$

$$3) \text{ Rendimiento del testigo} = 240 \text{ kg N ha}^{-1} / 6 \text{ kg N t}^{-1} = 40 \text{ t ha}^{-1}$$

$$4) \text{ Respuesta} = 50 \text{ t ha}^{-1} - 40 \text{ t ha}^{-1} = 10 \text{ t ha}^{-1}$$

$$5) \text{ Dosis N} = 10 \text{ t ha}^{-1} * 6 \text{ kg N t tubérculo}^{-1} = 60 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Figura 3. Ejemplo de estimación de recomendación de fertilización nitrogenada en papa para el sudeste bonaerense utilizando la información de N disponible a la siembra, N anaeróbico (Nan), y rendimiento objetivo.

Caja 1: ¿Y los excesos de N?

La aplicación de elevadas dosis de N puede afectar negativamente el rendimiento, por retrasar la maduración del cultivo y reducir la partición de biomasa hacia tubérculos. Además, aumenta el potencial de pérdida de N por lavado de nitrato.

Dada la dinámica del N, existen diferentes herramientas para monitorear el estatus nitrogenado durante el ciclo del cultivo. Uno de los métodos más difundido se basa en la determinación de *la concentración de N-Nitrato en pecíolos en base seca* desde inicio hasta fines de tuberización (cada 8-10 días aproximadamente). Trabajos realizados por la Unidad Integrada Balcarce han propuesto niveles críticos de 15600 ppm de N-nitrato en pecíolo para el periodo que va desde los 65 hasta los 75 días desde la plantación. Sin embargo, en la actualidad, existe una amplia gama de sensores de vegetación (de refractancia o transmitancia) o incluso imágenes satelitales de alta resolución los cuales permiten 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. Para el sudeste bonaerense, se desarrolló un modelo que permite estimar la dosis óptima económica de nitrógeno en función del índice de suficiencia de N (ISN = valor de SPAD del lote/ valor de SPAD de la franja saturada con N) para el periodo de llenado de tubérculos

(Fig. 4). Estas herramientas son de mayor utilidad en años donde mejora la expectativa de rendimiento o con excesos hídricos pos-fertilización.

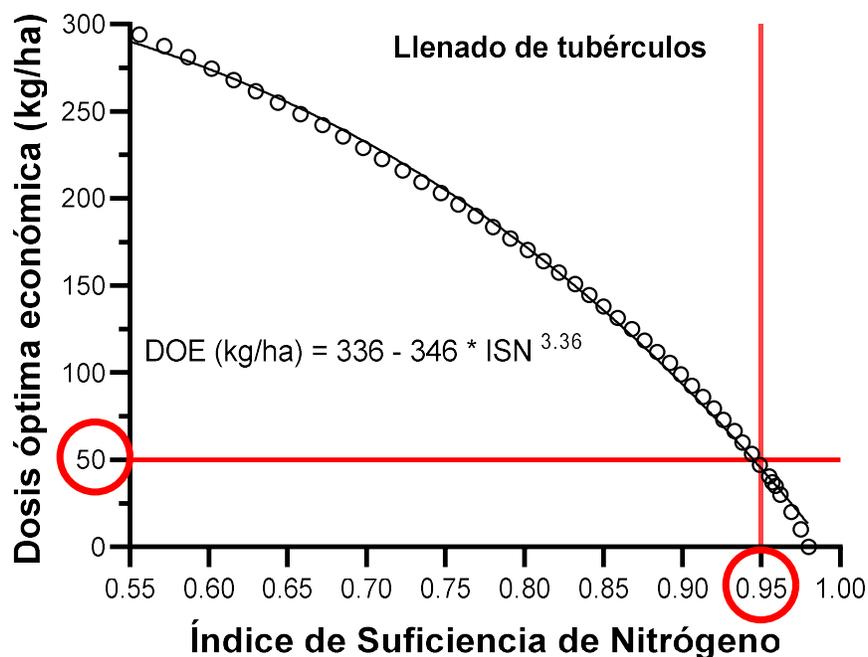


Figura 4. Relación entre la dosis óptima económica de N (DOE) y el índice de suficiencia de nitrógeno (valor de SPAD del lote/ valor de SPAD de la franja sin limitaciones de N) determinados en el llenado de tubérculos. Fuente: Grupo Relación Suelo-Cultivo (Unidad Integrada Balcarce).

El fósforo, la base para los altos rendimientos

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 papa es ideal ubicarse por arriba del nivel crítico de P Bray de 30 ppm (Fig. 5). No obstante, el rango crítico va de 26 a 34 ppm, zona en la cual pueden o no observarse respuesta al agregado de P. Es válido mencionar que el **umbral ambiental de P Bray es de 39 ppm**, por lo tanto, niveles mayores de P podrían generar potenciales pérdidas del nutriente desde el suelo a los cauces de agua.

En la mayoría de los cultivos, 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, *Reconstrucción* 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 papa siguiente.
- Las dosis de *Reconstrucción* y/o *Mantenimiento* buscan elevar niveles bajos a 30 ppm y mantener niveles altos de P Bray (entre 30 y 32 ppm). En este caso se estima que para subir 1 ppm de P Bray se requiere aplicar 4 kg de P por arriba de la remoción en tubérculo de los cultivos (**Tabla 1**), pero este valor varía entre 3 y 5 kg P por ppm P Bray. Para reponer el P removido en tubérculo se estima una extracción de 0.45 kg P por tonelada de tubérculo fresco (**Tabla 1**), y este valor también varía entre 0.4 y 0.6 kg P/t tubérculo.

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.

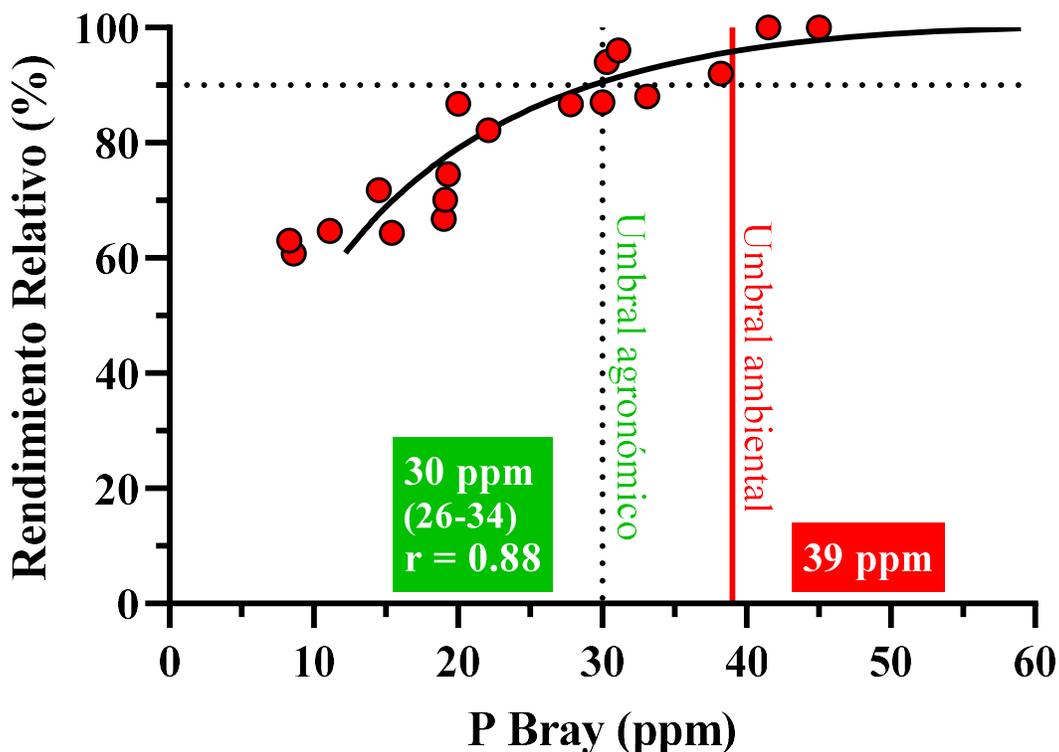


Figura 5. Rendimiento relativo de papa en función del nivel de P Bray (0-20 cm) a la siembra. Los valores del recuadro verde indican el umbral crítico agronómico de P Bray para obtener 90% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 95%. El valor del recuadro rojo indica el umbral ambiental de P Bray. Fuente: adaptado de Zamuner y col. (2016).

Tabla 1. Recomendaciones sugeridas de fertilización fosfatada para papa 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 10 ppm	100	$((30 \text{ ppm} - \text{P Bray}) * 4 \text{ kg P/ppm}) + (\text{t/ha} * 0.45 \text{ kg P/t})$
10-15 ppm	80	$((30 \text{ ppm} - \text{P Bray}) * 4 \text{ kg P/ppm}) + (\text{t/ha} * 0.45 \text{ kg P/t})$
15-20 ppm	60	$((30 \text{ ppm} - \text{P Bray}) * 4 \text{ kg P/ppm}) + (\text{t/ha} * 0.45 \text{ kg P/t})$
20-25 ppm	40	$((30 \text{ ppm} - \text{P Bray}) * 4 \text{ kg P/ppm}) + (\text{t/ha} * 0.45 \text{ kg P/t})$
25-30 ppm	20	$((30 \text{ ppm} - \text{P Bray}) * 4 \text{ kg P/ppm}) + (\text{t/ha} * 0.45 \text{ kg P/t})$
30-39 ppm	-	$(\text{t/ha} * 0.45 \text{ kg P/t})$
Más de 39 ppm	-	No fertilizar, muestrear año siguiente

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

A modo de ejemplo, supongamos un lote con 12 ppm P Bray y un rendimiento objetivo de 50 t/ha:

- Dosis de *Suficiencia* sugerida:

$$\text{Dosis P} = ((30 \text{ ppm} - 12 \text{ ppm}) * 4 \text{ kg P/ppm}) = 72 \text{ kg P/ha}$$
- Dosis de *Reconstrucción y/o Mantenimiento* sugerida:

$$\text{Dosis P} = ((30 \text{ ppm} - 12 \text{ ppm}) * 4 \text{ kg P/ppm}) + (50 \text{ t/ha} * 0.45 \text{ kg P/t})$$

$$\text{Dosis P} = (72 \text{ kg P/ha}) + (23 \text{ kg P/ha})$$

$$\text{Dosis P} = 95 \text{ kg P/ha}$$

Respecto a la *forma de aplicación de P*, existen varios trabajos que han demostrado, que para dosis mayores a 70 kg P/ha (~ 350 kg/ha de producto), se logra una mayor eficiencia realizando el 33% de la aplicación al voleo previo a la plantación y el resto en la banda a la siembra. Las aplicaciones al voleo anticipadas deben ser realizadas en ambientes con escasa pendiente para evitar pérdidas P por escorrentía.

Al igual que para N, la determinación de la concentración de P-fosfato o P-total en pecíolos entre los 70 y 90 días desde plantación podría ser utilizado como herramienta de monitoreo del estado nutricional del cultivo. Se han definido niveles críticos que van desde 1000 a 1500 ppm para P-fosfato y de 2400 a 3000 ppm para P total según momento de muestreo. En la actualidad, el grupo Relación Suelo-Cultivo de la Unidad Integrada Balcarce está investigando en dicha temática.

¿El plus del azufre?

La deficiencia de S se ha generalizado en numerosos sistemas de cultivos, sin embargo, en papa es menos frecuente debido al aporte de distintas fuentes naturales de S. 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.
- Análisis de S-sulfato: Nivel crítico menor de 8-10 ppm (0-20 cm).
- *Uso de riego: Las aguas de riego pueden contener altos niveles de sulfato, lo cual representa una fuente clave de S para el cultivo.*
- *Fungicidas: Se ha determinado aportes de 14 kg S/ha (~14 t/ha de tubérculo fresco).*
- Balances de S en el sistema: Buscar balances neutros o levemente positivos. Para el cultivo de papa, la extracción promedio de azufre por tonelada de tubérculo fresco es de 0,30-0,40 kg/ha.

Caja 2: ¿Qué hay de nuevo viejo?

Calcio

La deficiencia de este nutriente afecta no solo el rendimiento sino también la calidad de los tubérculos al disminuir la firmeza de los tejidos, el contenido de materia seca y almidón. Investigaciones recientes, para el sudeste bonaerense, han propuesto niveles críticos de calcio en suelo de 11,3 meq 100 g⁻¹ y en hoja (70 días desde plantación) de 0,93 g 100 g⁻¹, por debajo de los cuales existe una alta probabilidad de observar respuesta a la fertilización. Además, en sitios con deficiencia, la aplicación de Ca incrementó un 11% el contenido de almidón y un 5% el porcentaje de materia seca del tubérculo, mejorando la calidad de los mismos.

Micronutrientes

En los últimos años, en toda la región pampeana, se han incrementado los casos de deficiencias de **Zn** y **B** en diferentes cultivos extensivos. Para el cultivo de papa la respuesta promedio en rendimiento a **Zn** varía entre 5 y 24% y a **B** entre 2 y 24%. Además, en sitios con deficiencia, la fertilización puede incrementar el porcentaje de materia seca y de almidón en tubérculos. Si bien, todavía no se ha calibrado el análisis de suelo en pre-siembra como métodos de diagnóstico para ambos micronutrientes, se pueden considerar como orientativos los valores definidos para cultivos extensivos de 1.1 mg/kg para **Zn-DTPA** (0-20 cm) y de 0.6-0.8 mg/kg (0-20cm) para **B** extraído con agua caliente. En cuanto a la tecnología de fertilización, las respuestas se han observado con aplicaciones foliares.

Análisis de tubérculos: Cuánto se va del lote y ¿algo más?

Conocer la concentración de nutrientes en el tubérculo nos puede indicar los niveles de extracción de nutrientes del lote y orientarnos si hicimos un manejo correcto de la nutrición del cultivo. Además, contenidos de N-nitrato en los tubérculos mayores a 40 ppm afectarían sus propiedades organolépticas. Las

siguientes concentraciones de nutrientes en tubérculos pueden utilizarse como orientativas para el cultivo de papa sin limitaciones nutricionales:

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- % -----						----- ppm -----				
1.5	0.25	1.6	0.06	0.10	0.16	60	9	94	12	21

¿Los números siempre dan? ¿Y el costo del ambiente?

Los niveles de **EFICIENCIA** más frecuentes de uso de los nutrientes en el sudeste bonaerense varían de 44 a 150 kg tubérculo por kg de N aplicado; de 100 a 200 kg tubérculo por kg de P y 900 a 1000 kg tubérculo por kg de S en ambientes con deficiencias de nutrientes. El **COSTO** (kg tubérculo fresco necesarios para pagar un kg de nutriente) varía históricamente entre 2 y 11 kg/kg para N, de 10 a 40 kg/kg para P y de 6 a 15 kg/kg para S. Esto evidencia la **RENTABILIDAD** de la práctica de fertilización, aún sin considerar el efecto residual de cada nutriente. Además, en cultivos de alto valor como la papa, el precio de los fertilizantes representa una baja proporción (aproximadamente 8%) del costo total de producción. Por lo tanto, en los últimos años el sistema de producción de papa se ha caracterizado por el uso excesivo de fertilizantes a base de N y P y la baja adopción del análisis de suelo previo a la plantación como herramienta de decisión, lo cual, sumado a la baja eficiencia de recuperación por el cultivo, debido a su escaso desarrollo radical, aumentan la probabilidad de contaminación ambiental. La demanda actual de alimentos nos plantea la necesidad de desacoplar su producción de la contaminación del ambiente para lo cual, entre otras cosas, debemos ser eficientes y efectivos en el uso de los nutrientes. En este contexto, los métodos de diagnóstico y monitoreo durante el ciclo del cultivo cumplen un rol fundamental.

Para un correcto manejo de la nutrición en el cultivo es fundamental hacer Agricultura en Base a Evidencias que implica realizar evaluaciones, tomar decisiones en base a evidencias científicas y analizar cada situación en particular (no hay recetas únicas).