

## El manejo de fósforo en sistemas agrícolas de la región pampeana argentina

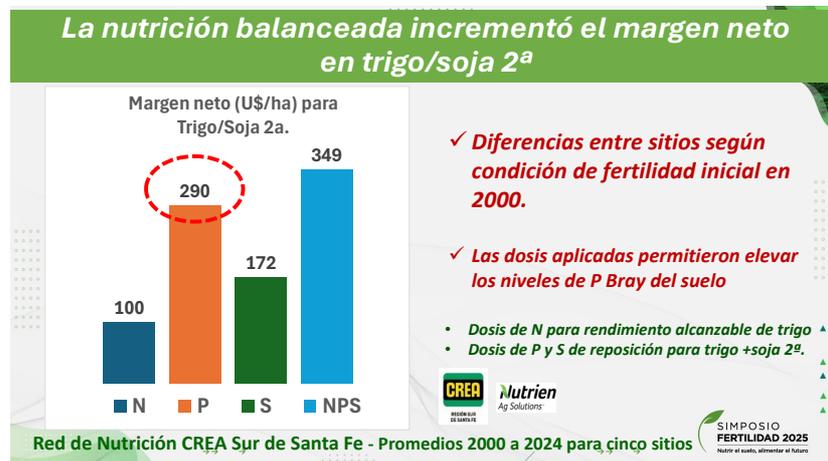
► ► Fernando O. García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Consultor, Profesor Libre Facultad de Ciencias Agrarias Balcarce (UNMdP)

✉ [fgarcia1957@gmail.com](mailto:fgarcia1957@gmail.com)

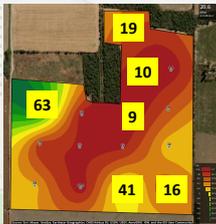
El fósforo (P) es uno de los 17 nutrientes considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Algunas consideraciones importantes a destacar sobre su manejo en los sistemas de producción de la región pampeana argentina son:

- Dos terceras partes de los suelos de la región pampeana muestran niveles deficientes de P (presentación de Sainz Rozas et al., 2025, en este Simposio).
- El adecuado abastecimiento de P resulta en incrementos en producción y en una mayor rentabilidad. Ejemplo de resultados de 25 años de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe:



- El análisis de suelo (P Bray) es la herramienta clave para decidir las necesidades de fertilización fosfatada. Las respuestas a la aplicación de P son rentables en lotes o ambientes con niveles de P Bray por debajo del rango crítico estimado para los diferentes cultivos (presentación de Rubio, 2025, en este Simposio).
- El muestreo es la etapa crítica en el proceso de análisis de suelos:

### Muestreo: Clave para un buen diagnostico

Cada muestra debe componerse de **al menos 25-30 submuestras**

**1 muestra por ambiente** o muestrear el área más representativa

**EVITAR** zonas cercanas a aguadas, alambrados, deyecciones, esquinas

**EVITAR** la línea de siembra del cultivo antecesor

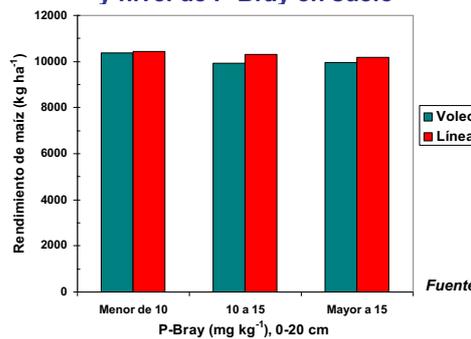
Respetar la profundidad de muestreo correspondiente

Promedio 21 ppm  
59% debajo de 17 ppm  
41% arriba de 17 ppm



- Las aplicaciones de P deben realizarse a la pre-siembra o siembra de los cultivos dada la importancia de un suministro temprano del nutriente para las plantas.
- Las aplicaciones al voleo pueden alcanzar eficiencias de uso similares a las aplicaciones localizadas en línea cuando se hacen en forma anticipada y con dosis correctas de P. Hay que evitar las aplicaciones en superficie en zonas con pendiente en épocas de alta intensidad de lluvias.

### Rendimiento de **maíz** según forma de aplicación del P y nivel de P-Bray en suelo

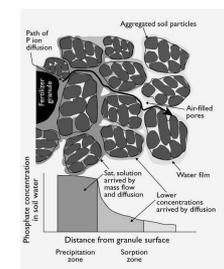
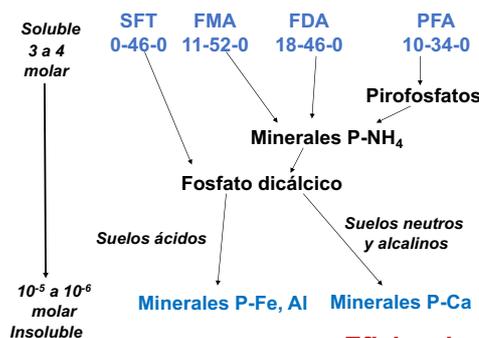


Fuente: Barbagelata, 2011

**Sin diferencias entre aplicaciones en línea y al voleo  
OJO con voleos en lotes con pendiente**

- Los fertilizantes convencionales (fosfatos monoamónico o diamónico, superfosfatos simple o triple) presentan eficiencias de uso similares por kg de P. La diferencias suelen presentarse según los nutrientes acompañantes.

### Las reacciones de los fertilizantes fosfatados varían entre fuentes, pero finalmente el suelo determina los productos de reacción



Fuente: Hedley y McLaughlin (1992)

**Eficiencias similares por kg de P**

- Las alternativas a los fertilizantes fosfatados convencionales son los fertilizantes de eficiencia mejorada, las rocas fosfatadas. Los reciclados orgánicos e inorgánicos y los biofertilizantes. Todos estos productos constituyen alternativas interesantes y promisorias, pero deben ser evaluados según la evidencia científica y técnica disponible y los objetivos y condiciones de cada sistema de producción.

**Uso de fuentes alternativas de P**  
*Otras que ortofosfato*

- Polifosfatos
- Acido fosfórico/Fosfitos

**Liberación Lenta**  
*Reducción de contacto con el suelo y de área superficial*

- Recubrimientos
- Polímeros
- Modificaciones avanzadas y de pH
- Sustratos
- Nanopartículas
- Oxidos de grafeno
- Hidroóxidos dobles estratificados
- Matrices orgánicas
- Superabsorbentes
- Estructuras metal orgánicas
- Minerales de solubilidad limitada
- Roca fosfórica
- Productos de la recuperación de aguas residuales
- Nano hidroxapatita

**Bloqueadores**  
*Disrupción de precipitación y de complejo de esfera interna*

- Polímero maleico-itaconico
- Sustancias húmicas

**Inductores**  
*Estimulación de adquisición de P planta-microbio*

- Nanopartículas de "óxido"

**Resumen de los diversos enfoques que se están probando en busca de fertilizantes fosfatados más eficientes**  
*Adaptado de Weeks y Hettiarachchi (2019)*



### Reciclados

- Estiércol, cama de pollo, efluentes, barros cloacales, otros
- Contribuyen a la circularidad
- Concentraciones variables de nutrientes
- Necesidad de diagnosticar en función de P para evitar excesos
- Posibilidad de combinar con fuentes convencionales

Animal	P total	P inorgánico
% de materia seca		
Bovinos de carne	0,7-1,2	0,5-0,8
Bovinos de leche	0,5-1,2	0,3-1,0
Porcinos	1,5-2,5	0,8-2,0
Aves	0,9-2,2	0,3-1,2
Equinos	0,4-1,4	0,2-0,8

(Havlin et al., 1999)

Foto: Ing. Edith Weder

### Biofertilizantes

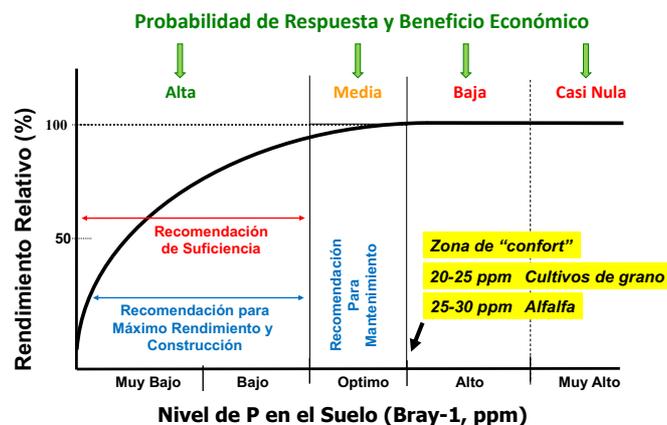
- Microorganismos (bacterias, hongos)
- Oportunidad para agricultura regenerativa
- Efecto acidificante, ¿solubilización?
- Efectos no relacionados a nutrición fosfatada: PGPR, abastecimiento de agua y otros nutrientes, supresión de enfermedades
- Competencia con microflora nativa
- Necesidad de mayor investigación en procesos y de evidencia científica a campo

Vías conceptuales para los microorganismos solubilizadores de fósforo (Raymond et al., 2021)

Representación conceptual de una curva de respuesta del cultivo (obstrucción de fósforo [P], rendimiento o biomasa) con tres escenarios de productividad (Raymond et al., 2021)

Raymond et al., 2021; Callaghan et al., 2022; Kumar et al., 2022; Zhu et al., 2024; Barrow, 2025

- La dinámica de P en los suelos pampeanos indica que en situaciones de aplicaciones menores que las extracciones en grano o forraje, los niveles de P Bray disminuyen, mientras que cuando se aplican cantidades de P superiores a la remoción, el nivel de P Bray sube. Esta dinámica permite manejar el P en la rotación de cultivos, buscando mejorar niveles de P Bray en suelos deficientes con balances positivos (aplicación > extracción) y reponiendo P para mantener niveles de P inmediatamente superiores a los rangos críticos:



Adaptado de Mallarino, 2007