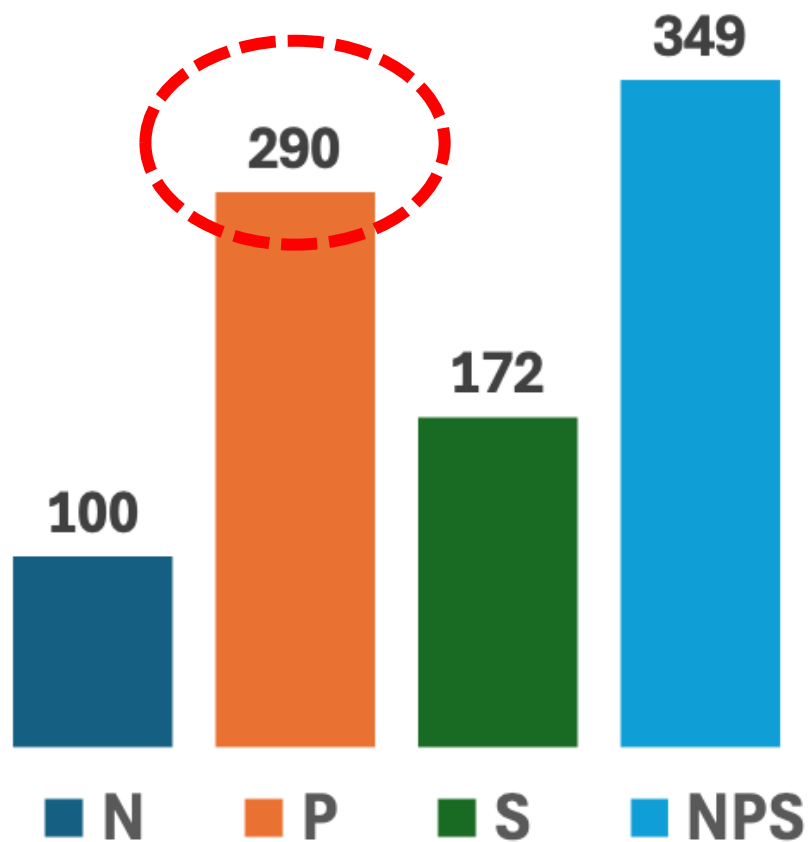


La nutrición balanceada incrementó el margen neto en trigo/soja 2ª

Margen neto (U\$/ha) para Trigo/Soja 2a.



✓ *Diferencias entre sitios según condición de fertilidad inicial en 2000.*

✓ *Las dosis aplicadas permitieron elevar los niveles de P Bray del suelo*

- *Dosis de N para rendimiento alcanzable de trigo ▲*
- *Dosis de P y S de reposición para trigo +soja 2ª. ▲*



¿Conviene fertilizar? ¿Los números dan?

Relación de precios (kg grano/kg nutriente)

Maíz 140 Trigo 180 Soja 250

MAP	kg grano por kg P		
800	25	20	14
900	28	22	16

Eficiencias en ambientes con deficiencias

25-65

40-60

15-30

El Manejo Responsable 4R de los nutrientes – los 4 Requisitos

¿Que?

Nutriente y Fuente

¿Cuánto?

Dosis

¿Cuándo?

Momento

¿Cómo?

Forma

Muestreo: Clave para un buen diagnostico

→ → →



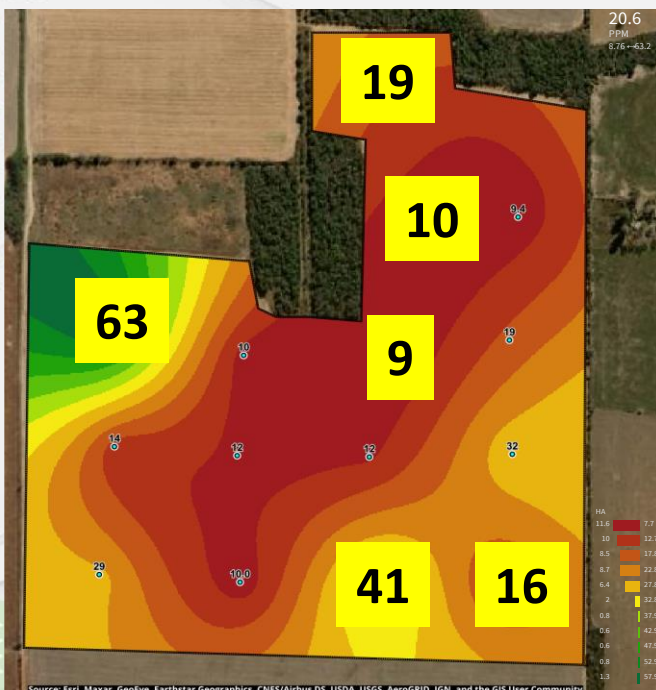
Cada muestra debe componerse de al menos 25-30 submuestras

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

→ → →

Momentos y formas de aplicación de fertilizantes fosfatados

Voleo pre-siembra o siembra

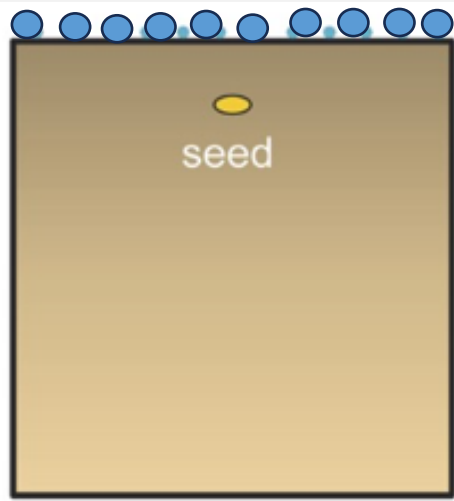


Bandas con la semilla, al costado y abajo o profundas

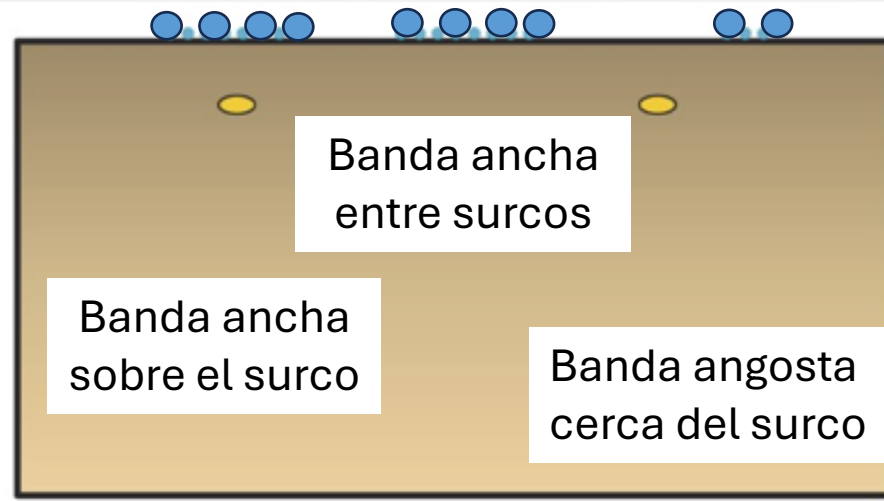
Aplicaciones foliares

Importancia de la disponibilidad temprana

Opciones de ubicación de fertilizantes fosfatados (IPNI, 2012)



Al voleo en superficie

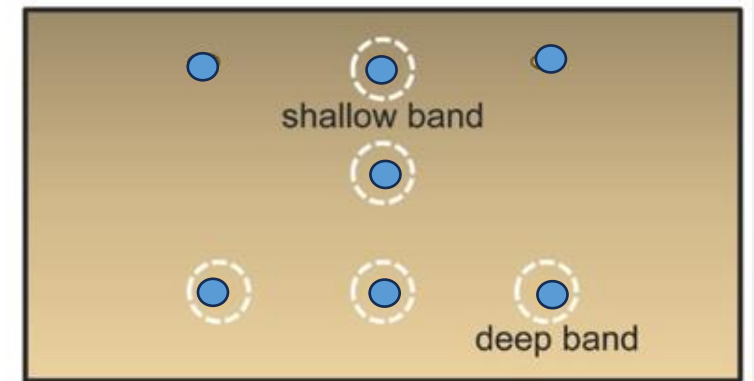


Banda ancha entre surcos
Banda ancha sobre el surco
Banda angosta cerca del surco

En bandas superficiales de distinto ancho y distancia a la semilla

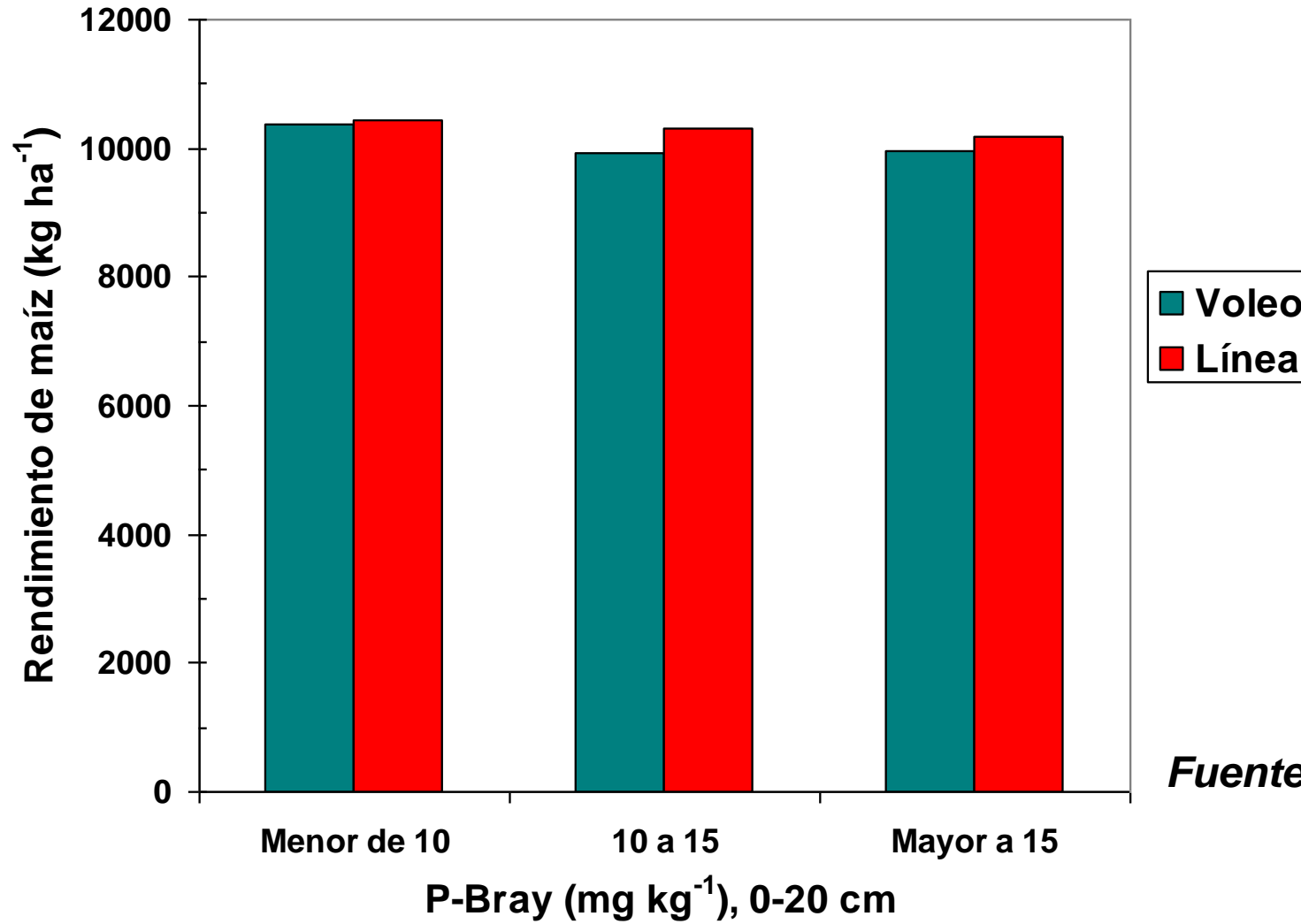


Bandeado con o cerca de la semilla



Bandeado a distintas distancias entre o debajo de la semilla

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



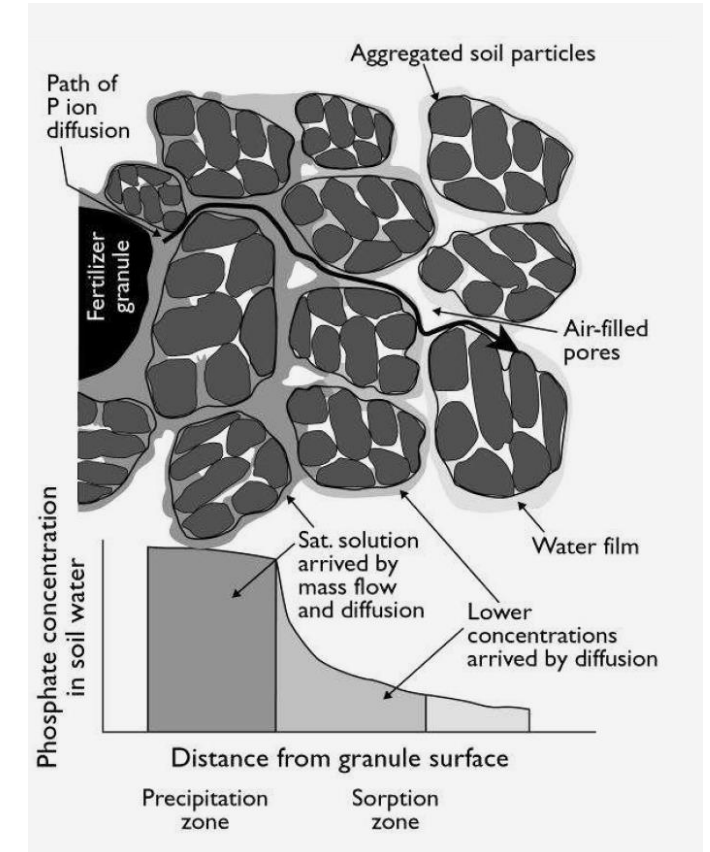
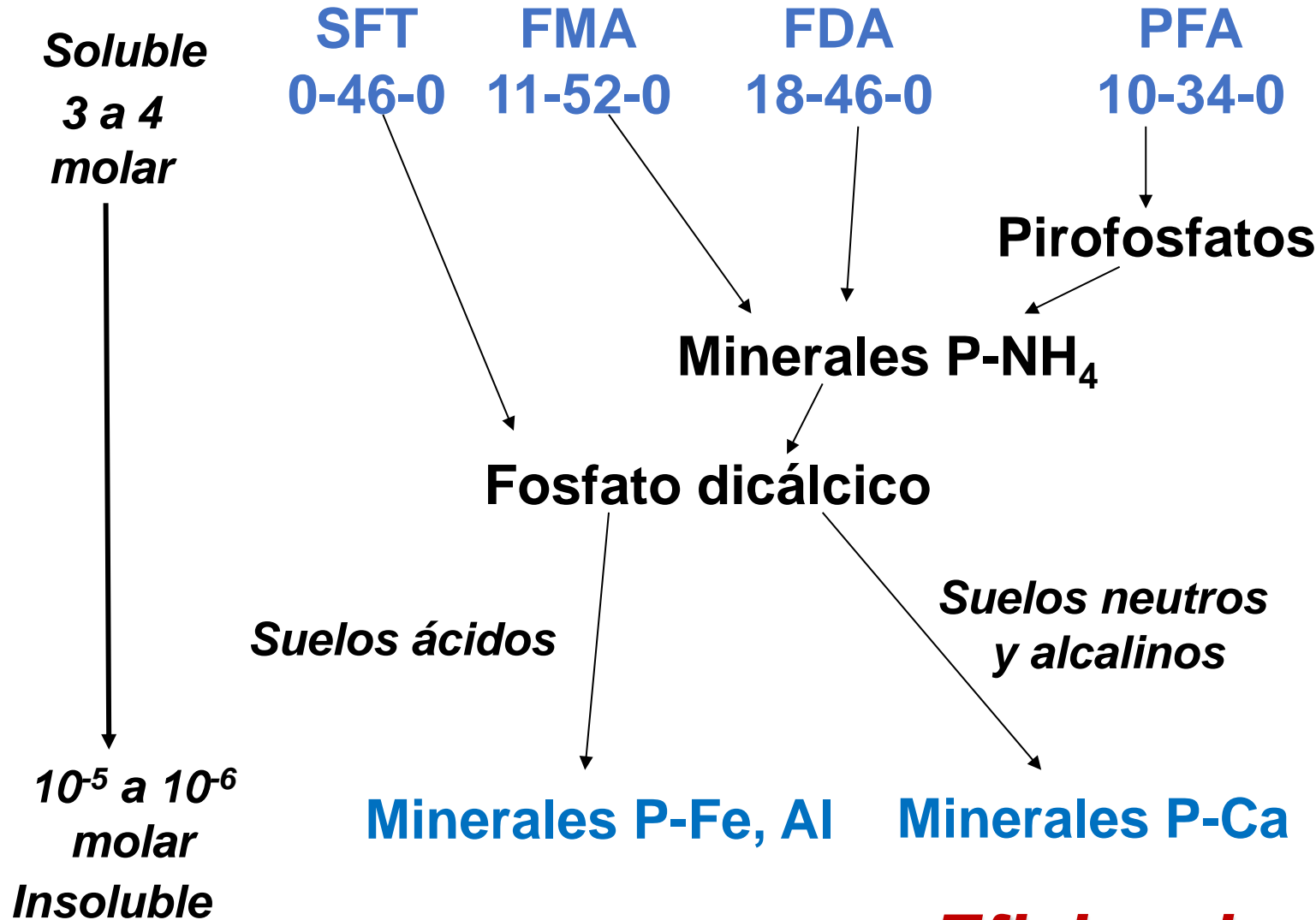
Fuente: Barbagelata, 2011

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

Fuentes de P

- Fertilizantes convencionales
- Fertilizantes de eficiencia mejorada
- Rocas fosfatadas
- Reciclados orgánicos e inorgánicos
- Biofertilizantes

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

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
 - Óxidos de grafeno
 - Hidróxidos dobles estratificados
- **Matrices orgánicas**
 - Superabsorbentes
 - Estructuras metal orgánicas
- **Minerales de solubilidad limitada**
 - Roca fosfórica
 - Productos de la recuperación de aguas residuales
 - Nano hidroxiapatita

Bloqueadores

Disrupción de precipitación y de complejado de esfera interna

- Polímero maleico-itacónico
- Sustancias húmicas

Inductores

Estimulación de adquisición de P planta-microbio

- Nanopartículas de "óxido"

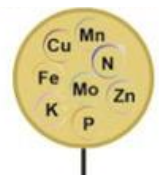
Resumen de los diversos enfoques que se están probando en busca de fertilizantes fosfatados más eficientes

Adaptado de Weeks y Hettiarachchi (2019)

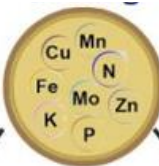
¿Cómo funcionan los “nuevos” fertilizantes?

Fertilizantes Recubiertos

Granulo de fertilizante



Cobertura



Fertilizantes de señales derivadas de plantas

Incorporando señales de plantas en recubrimientos



Cobertura

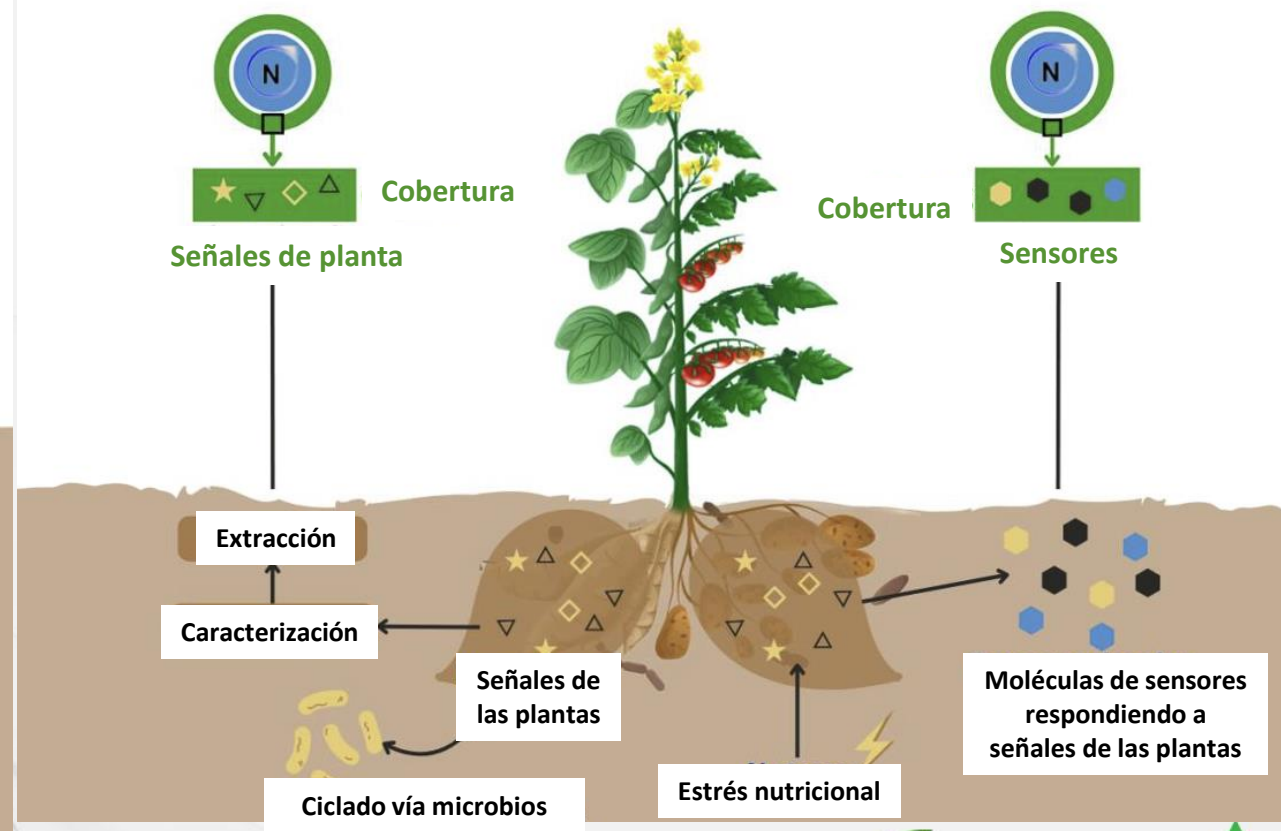
Señales de planta

Incorporando sensores de señales de plantas en recubrimientos



Cobertura

Sensores



Fuente: Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition. 2025. <https://sprpn.org>

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

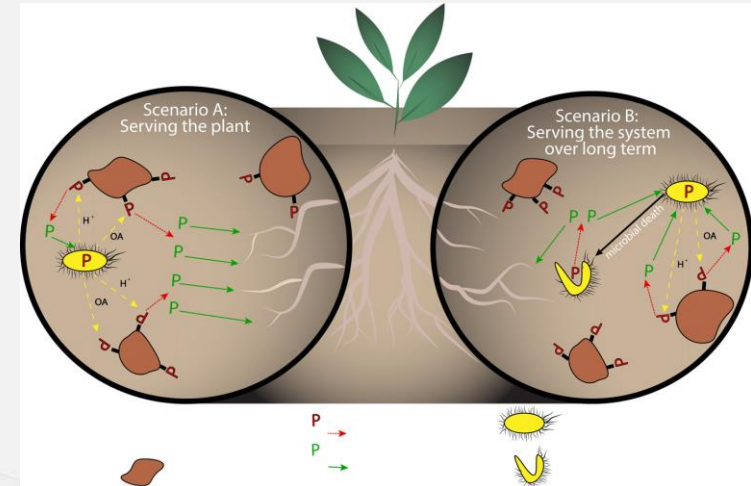
(Havlin et al., 1999)



Foto: Ing. Edith Weder

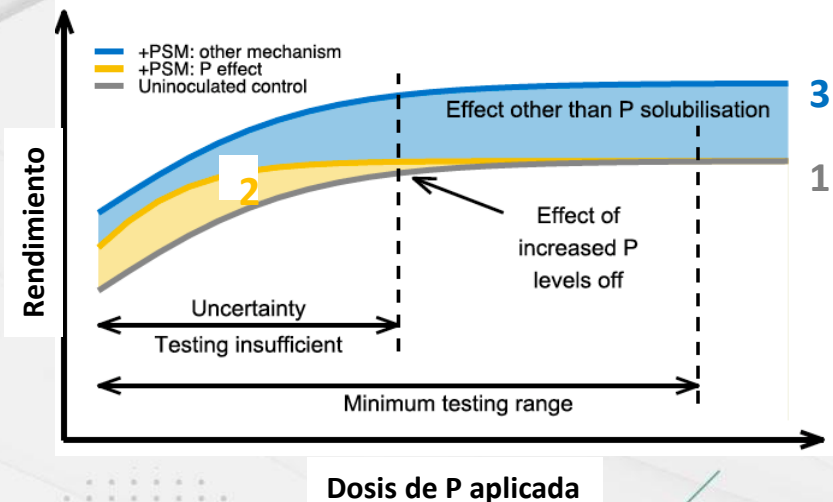
Biofertilizantes

- 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 (absorción 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

¿Como manejamos P según escenario?

P suelo menor que niveles críticos (menores a 14 ppm)

- Construir en campañas con **relaciones de precio grano/P favorables**
 - Usar fuentes económicas de P
- Usar “**especialidades/arrancadores**” en línea: Posibilidad de sumar otros nutrientes a P en formulaciones especiales

P suelo en niveles críticos (15-20 ppm)

- Considerar **impacto en P del suelo** según balance post-cosecha para reponer en campañas con **relaciones de precio grano/P favorables**
- Usar “**especialidades/arrancadores**” en línea: Posibilidad de sumar otros nutrientes a P en formulaciones especiales

P suelo superiores a 20 ppm

- Monitorear niveles de P Bray
- Usar “**especialidades/arrancadores**” en línea: Posibilidad de sumar otros nutrientes a P en formulaciones especiales

¿y en lotes que arrendamos?

¿Cuáles son las claves del manejo de P?

El ciclo del P es simple y con una única salida relevante que es la exportación por el cultivo

Su elevada residualidad en suelos pampeanos permite el manejo para la rotación

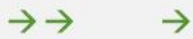
El P Bray es un buen predictor del rendimiento de los cultivos. Los umbrales críticos varían entre cultivos, pero no con el rendimiento

Son esperables respuestas positivas al P aun en años desfavorables climáticamente

Sin diferencias entre fuentes convencionales, oportunidades con fertilizantes especiales

Disponibilidad temprana: Aplicaciones pre-siembra o siembra

La información disponible sobre fertilización fosforada es similar que a la de otros países exportadores de granos



¡Muchas gracias por la atención!

Fósforo: ¿Ver o no Ver?



Esteban Ciarlo

FERTILIZAR AC – Facultad de Agronomía (UBA)



Gerardo Rubio

INBA – Facultad de Agronomía (UBA)



Fernando O. García

Consultor – Facultad de Ciencias Agrarias Balcarce (UNMdP)

7 y 8 de mayo

Metropolitano, Rosario

Respuesta a P en trigo

(Ensayo G. Ferraris INTA Pergamino, Oct 2021)

