

Fósforo: ¿Ver o no Ver?



Esteban Ciarlo

FERTILIZAR AC – Facultad de Agronomía (UBA)



Gerardo Rubio

INBA – CONICET - Facultad de Agronomía (UBA) –
Facultad Ciencias Agrarias (UN Rosario)



Fernando O. García

Consultor – Facultad de Ciencias Agrarias Balcarce (UNMdP)

7 y 8 de mayo

Metropolitano, Rosario

Fósforo: uno de los 17 nutrientes esenciales



Classification	Nutrient		Concentration in Plants ¹	
	Name	Symbol	Relative	Average
Macronutrients	Hydrogen	H	60,000,000	6%
	Carbon	C	40,000,000	45%
	Oxygen	O	30,000,000	45%
	Nitrogen	N	1,000,000	1.5%
	Potassium	K	250,000	1.0%
	Calcium	Ca	125,000	0.5%
	Magnesium	Mg	80,000	0.2%
	Phosphorus	P	60,000	0.2%
Micronutrients	Sulfur	S	30,000	0.2%
	Chloride	Cl	3,000	100 ppm (0.01%)
	Iron	Fe	2,000	100 ppm
	Boron	B	2,000	20 ppm
	Manganese	Mn	1,000	50 ppm
	Zinc	Zn	300	20 ppm
	Copper	Cu	100	6 ppm
	Nickel	Ni	2	0.1 ppm
	Molybdenum	Mo	1	0.1 ppm

P 2do o 3ro en venta de fertilizantes a nivel global

P 8vo en cantidad de nutriente requerido (5to de los que se obtienen desde el suelo)

¹Concentration expressed on a dry matter weight basis.

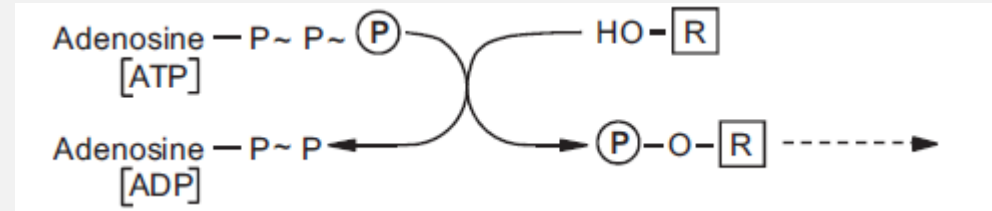
Havilin et al. 2017

Brown et al 2022 Plant Soil

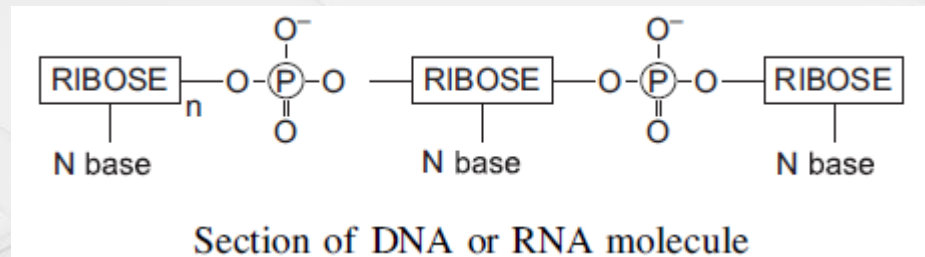


Que función cumple el fósforo en las plantas?

- ✓ Almacenamiento y transferencia de energía



- ✓ Componente estructural



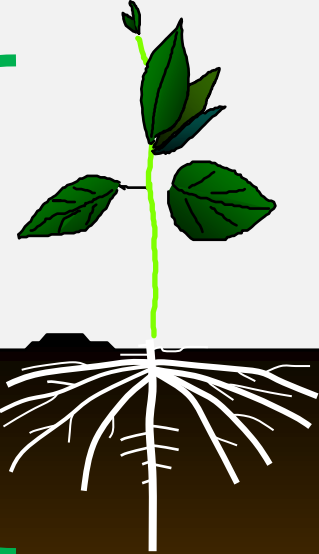
- ✓ Promoción del desarrollo de las raíces (*es realmente así?*)

Para que necesitan fósforo las plantas?

- ✓ Para promover el desarrollo de las raíces (*es realmente así?*)



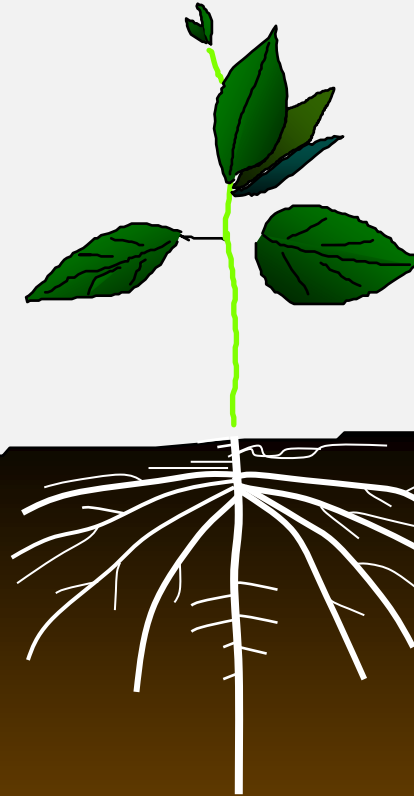
Biomasa total: 10
Parte aérea: 85%
Raíces: 15%



- luz



Biomasa total: 15
Parte aérea: 80%
Raíces: 20%



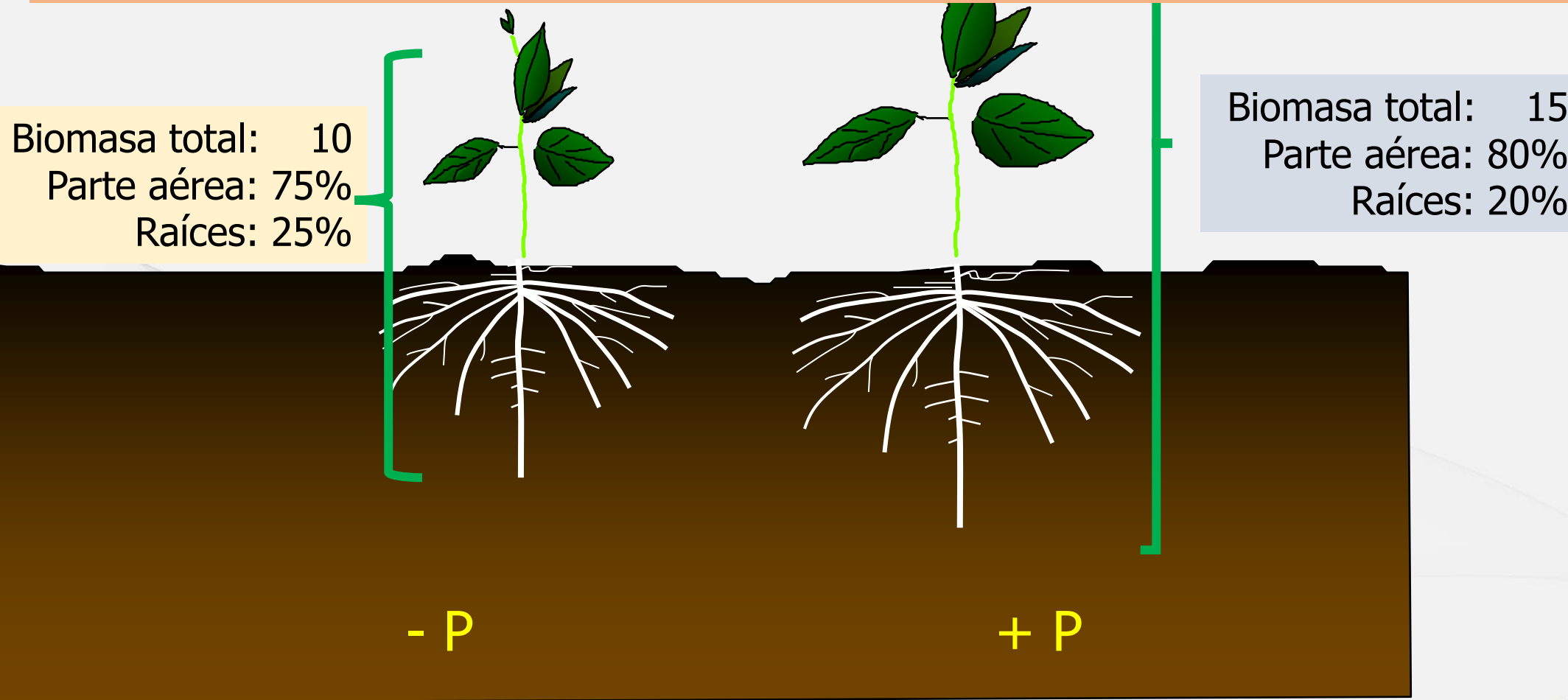
+ luz

Toda planta adapta su proporción de parte aérea y raíces de acuerdo al recurso que esté limitando su crecimiento

Para que necesitan fósforo las plantas?

✓ Para promover el desarrollo de las raíces (es realmente así?)

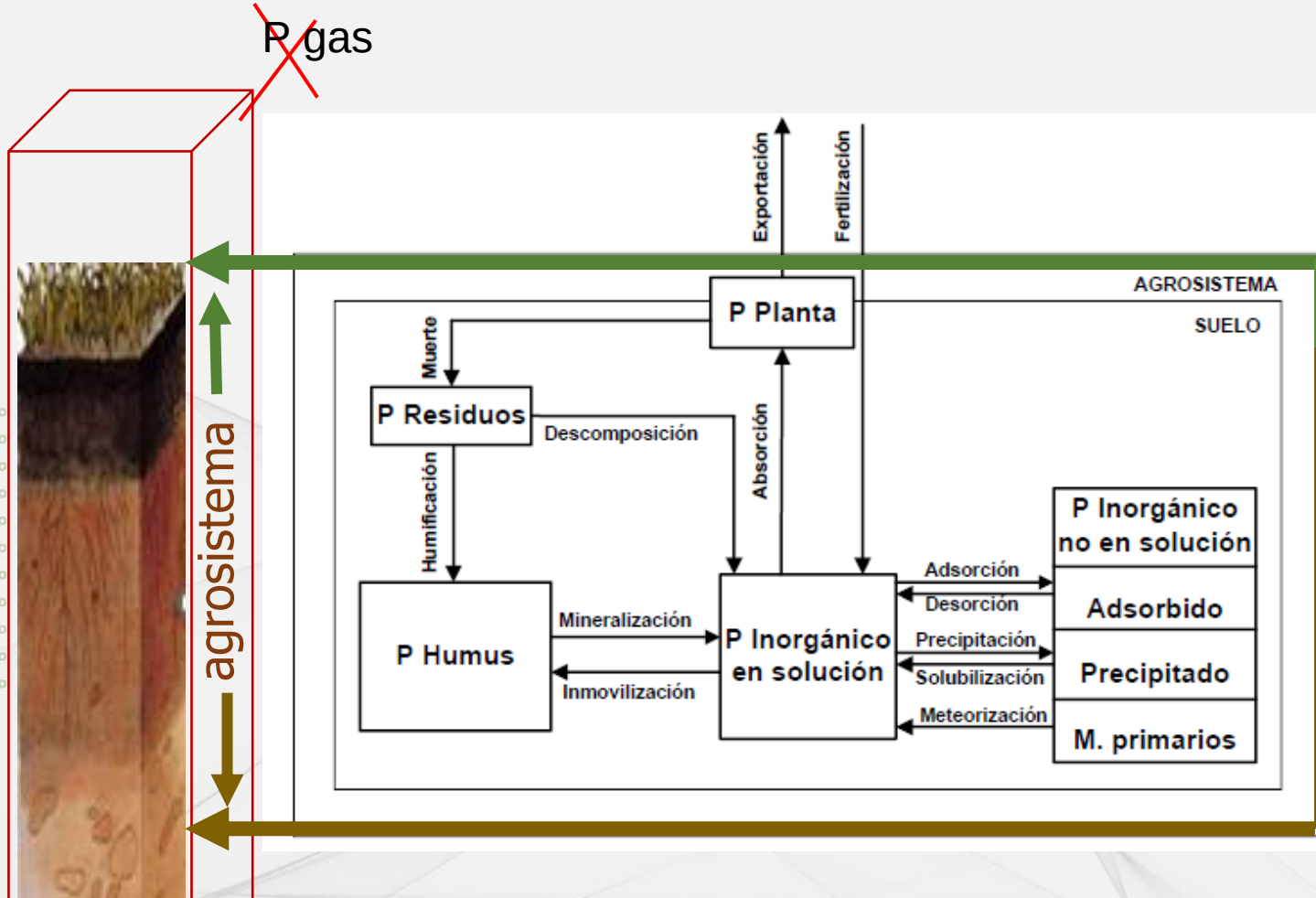
✓ El agregado de P a una planta con déficit de P promueve el crecimiento general de la planta y no particularmente de las raíces



Toda planta adecúa su proporción de parte aérea y subterránea de acuerdo al recurso que esté limitando su crecimiento

Las bases para entender el P en el suelo

1. Como circula dentro del agrosistema?



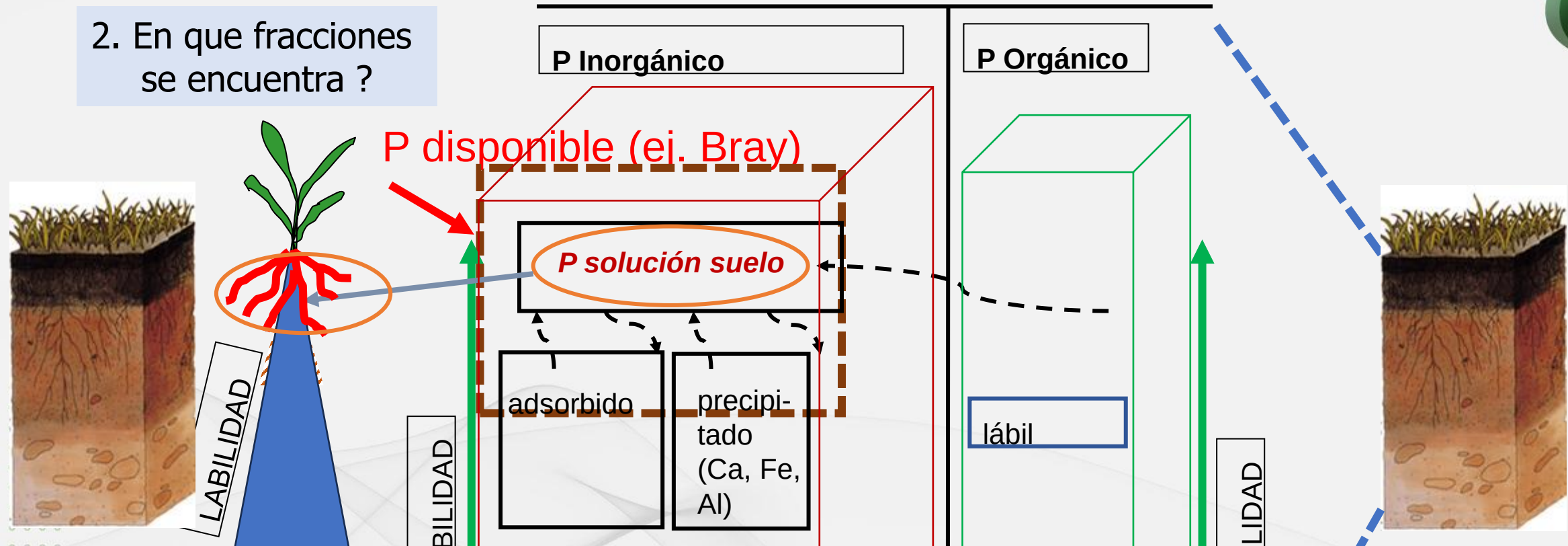
Es muy simple calcular el Balance:
 $P \text{ fertilizante} - P \text{ exportado}$



En suelos pampeanos no hay riesgo de pérdida "indeseada" de P del agrosistema

Las bases para entender el P en el suelo

2. En que fracciones se encuentra ?



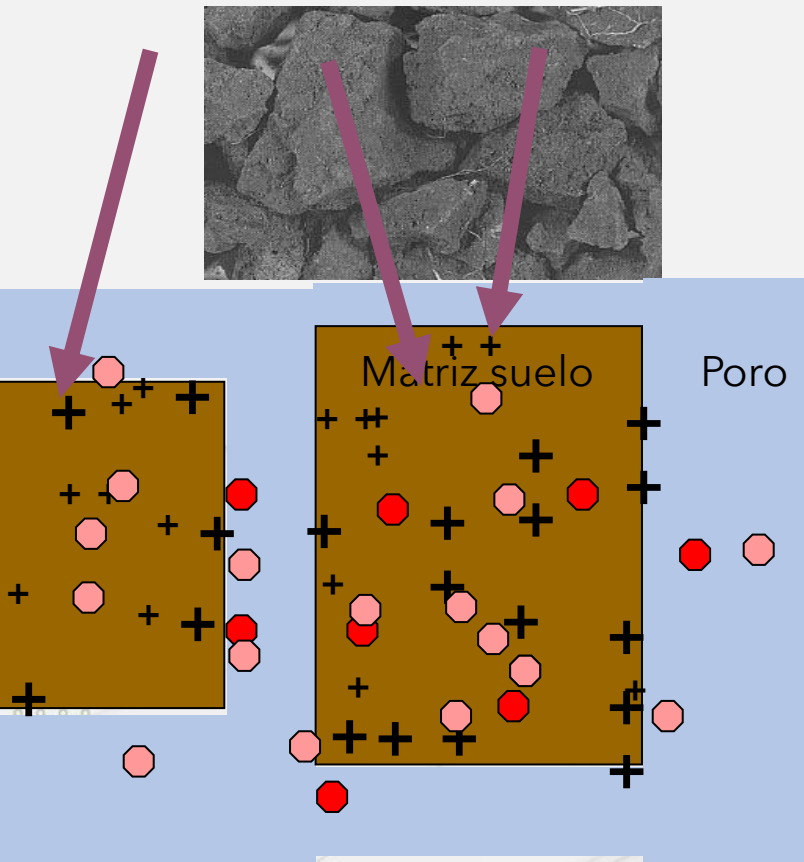
La planta toma solo el P en la solución del suelo pero hay que renovarlo constantemente.
El P tiene una fuerte interacción con la matriz del suelo.

Las bases para entender el P en el suelo

→ → →

3. Que implicancias prácticas tiene esta interacción P-matriz del suelo?

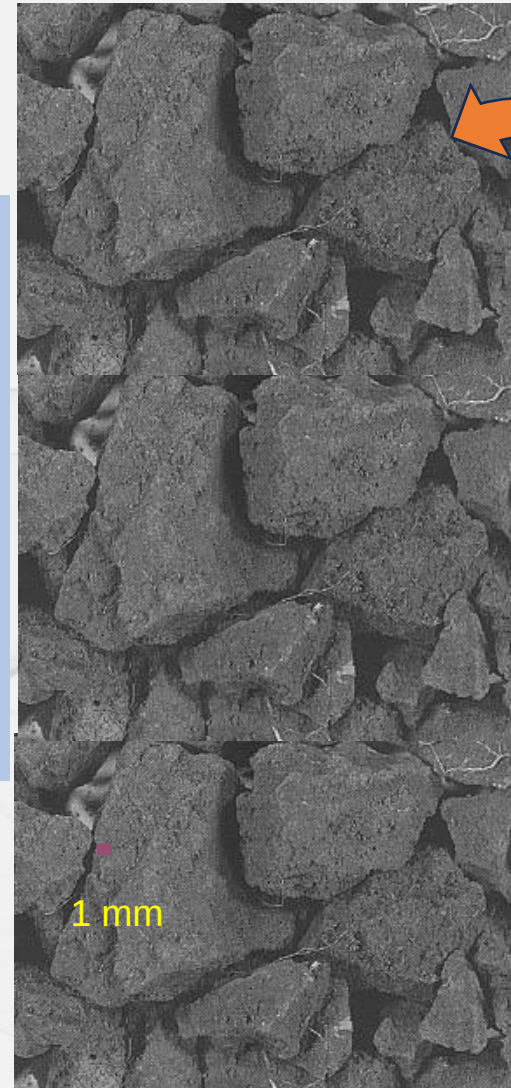
P disponible es P en solución
+ P adsorbido



+ arcilla, MO
Ca, Al, Fe

● 1 ppm inicial PO_4^{3-}
● 1 ppm PO_4 fertilizante

→ → →

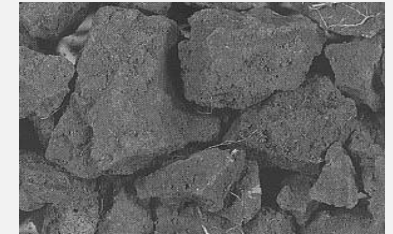


1 mm

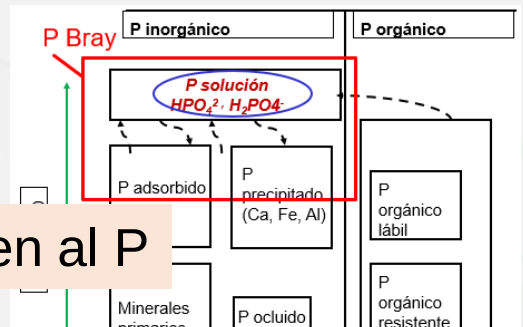
Inicial Bray P: 7
ppm (2 in
solucion, 5
adsorbido)

+
Fertilizacion
con 8 ppm P

P Bray: 11 ppm
3 en solucion; 8
adsorbido



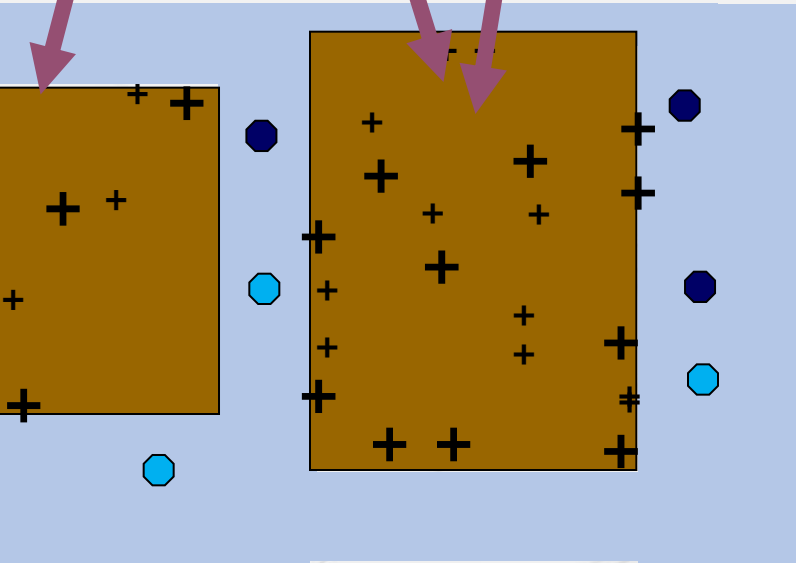
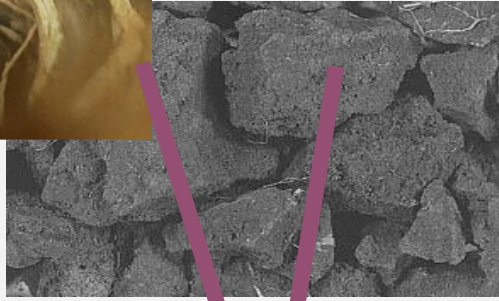
Los signos + retienen al P



P es retenido por la matriz del suelo
⇒ no se lixivia, se mueve solo unos mm
⇒ parte del fertilizante no está disponible

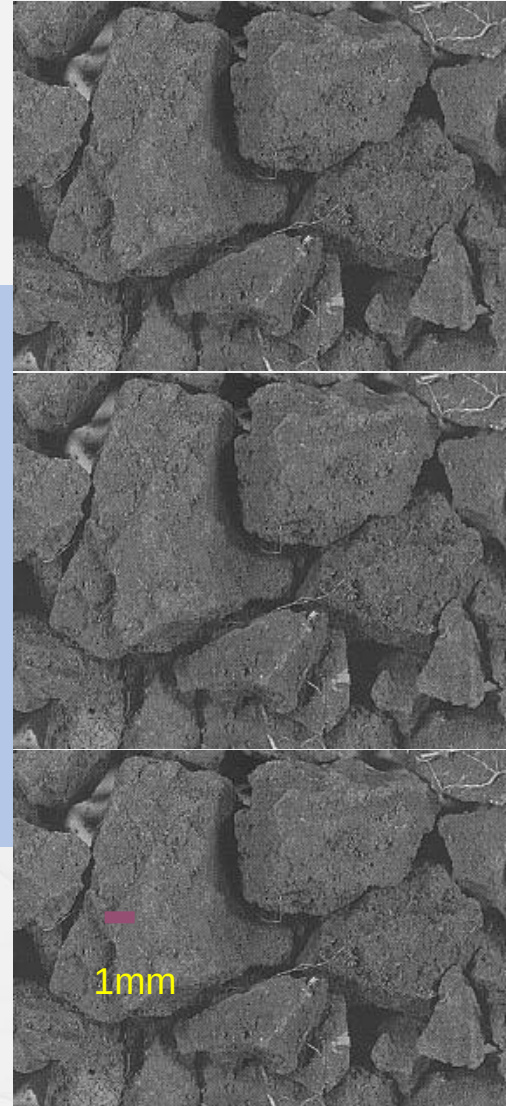
Las bases para entender el P en el suelo

4. El N se comporta diferente



+ arcilla, MO

● 10 kg NO₃-



1mm

Valor inicial: 30 kg N - NO₃ / ha



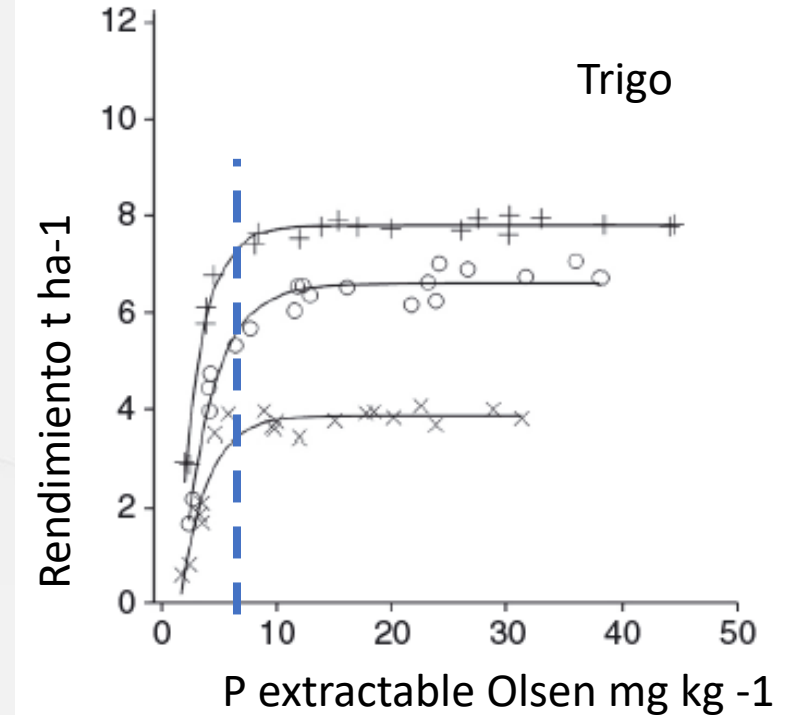
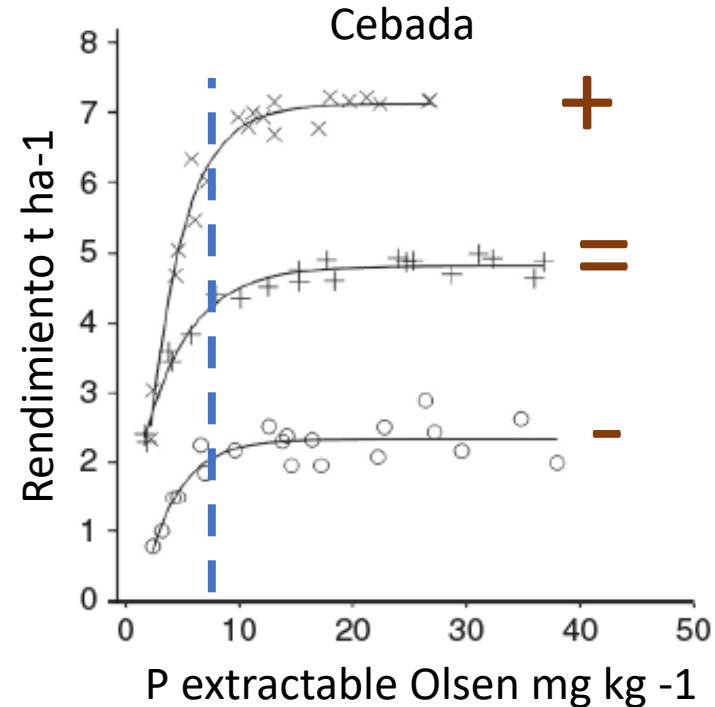
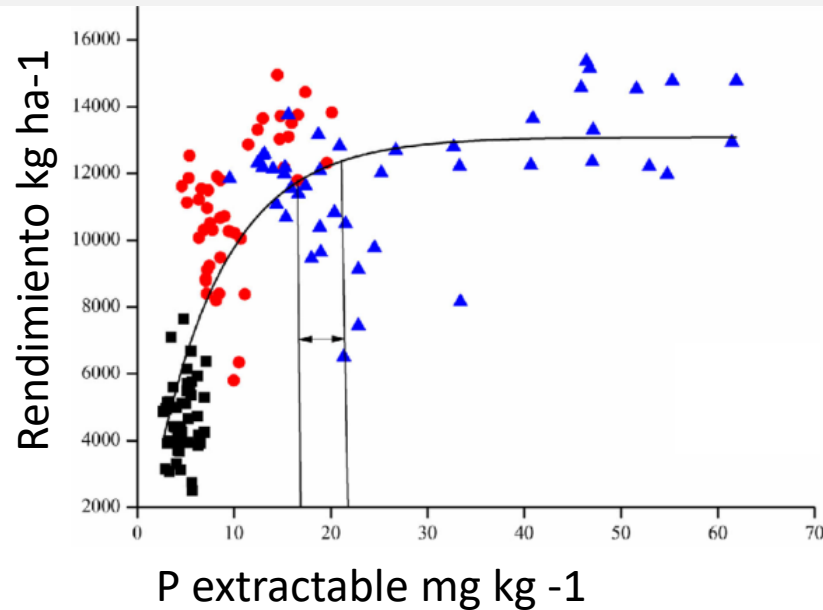
Fertilization
with 30 kg N
/ ha

60 kg N - NO₃ / ha

N NO es retenido por la matriz del suelo
⇒ Se mueve, se lixivia
⇒ en corto plazo todo el N fertilizante es disponible
⇒ N suelo + N fertilizante para el diagnóstico

Diagnóstico del P en el suelo

P extractable: herramienta básica

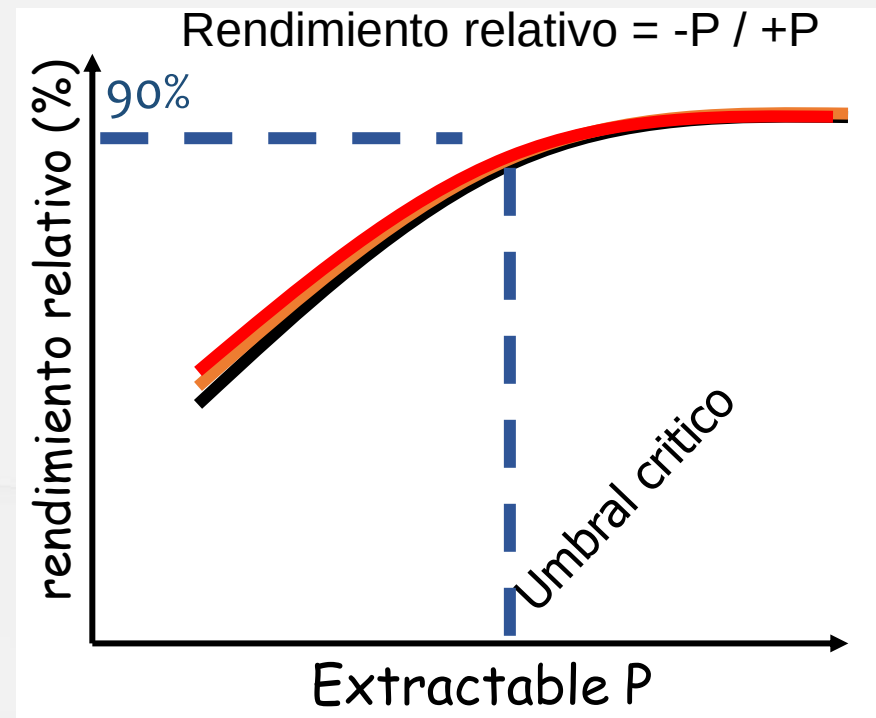
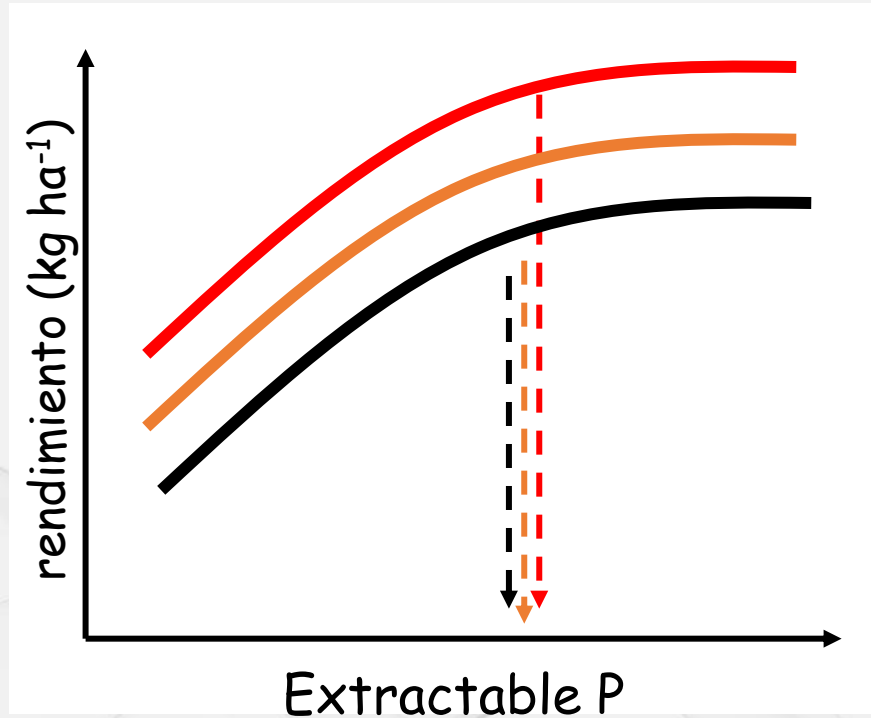


=>P extractable es buen predictor del rendimiento
=>Se llega a un nivel optimo y luego no hay mas respuesta
=>Ese nivel optimo no cambia con el rendimiento del cultivo

Poulton et al 2012

Diagnóstico del P en el suelo

Umbral crítico son relativamente constantes para cada cultivo e independientes del rendimiento.



Umbral crítico: P disponible para alcanzar el 90-95% del rendimiento potencial. A partir de este nivel, no se necesitan fertilizantes.

Excelente noticia!. No nos preocupamos por el rendimiento porque el nivel crítico de P es constante para cada cultivo.

Diagnóstico del P en el suelo

→ → →



Porqué los umbrales críticos son relativamente independientes del rendimiento?

P no se puede mover mas que 3-8 mm en el suelo

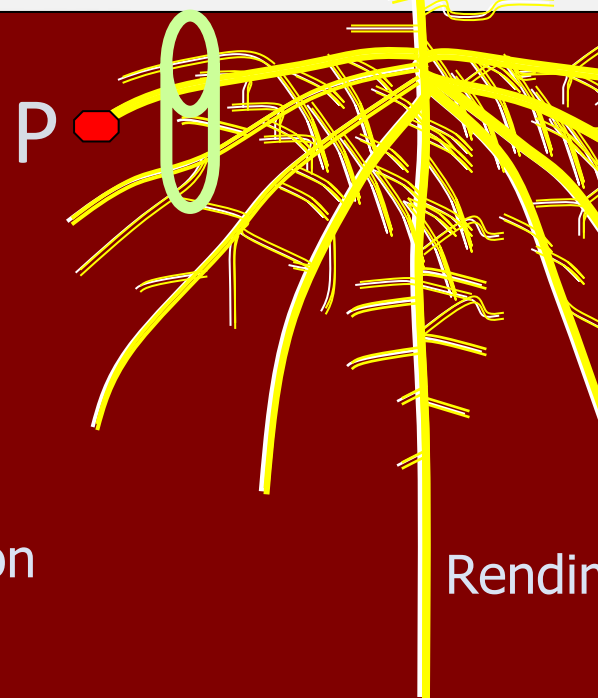


- ✓ > rendimiento => plantas más grandes
- ✓ mayor necesidad de P
- ✓ mayor exploración del suelo
- ✓ mayor capacidad de absorción de P
- ✓ = **nivel crítico de P del suelo**



Zona de captura de P

Rendimiento: 3 ton

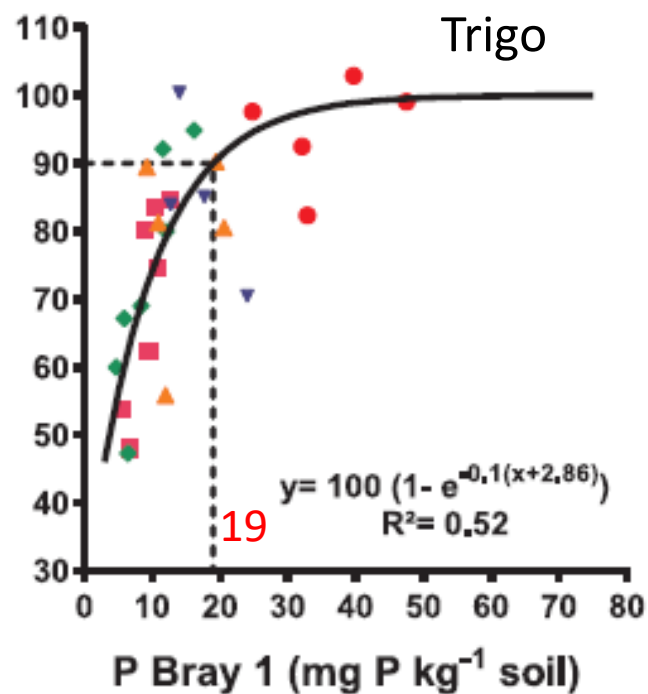
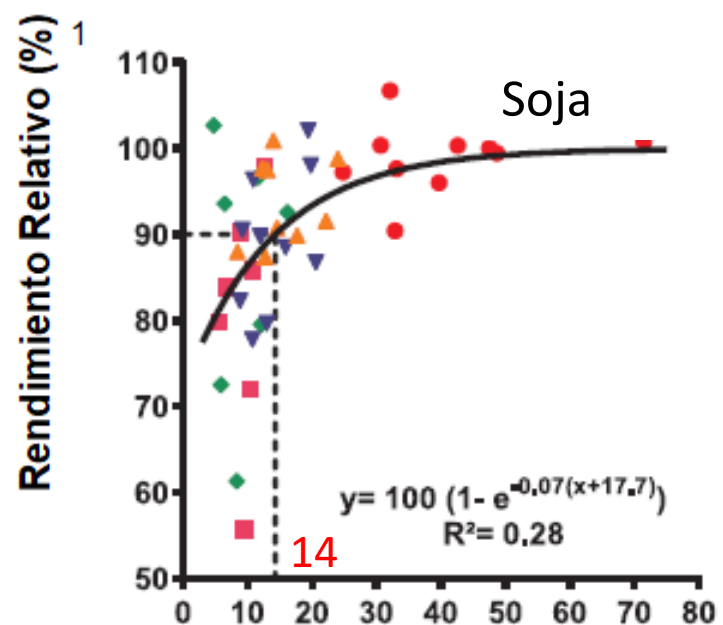
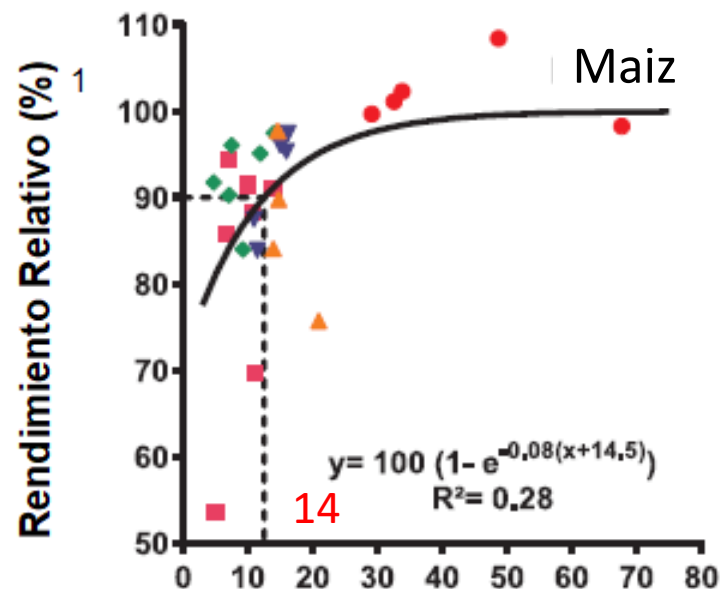


Rendimiento: 5 ton

Diagnóstico del P en el suelo

Umbrales críticos varían entre cultivos

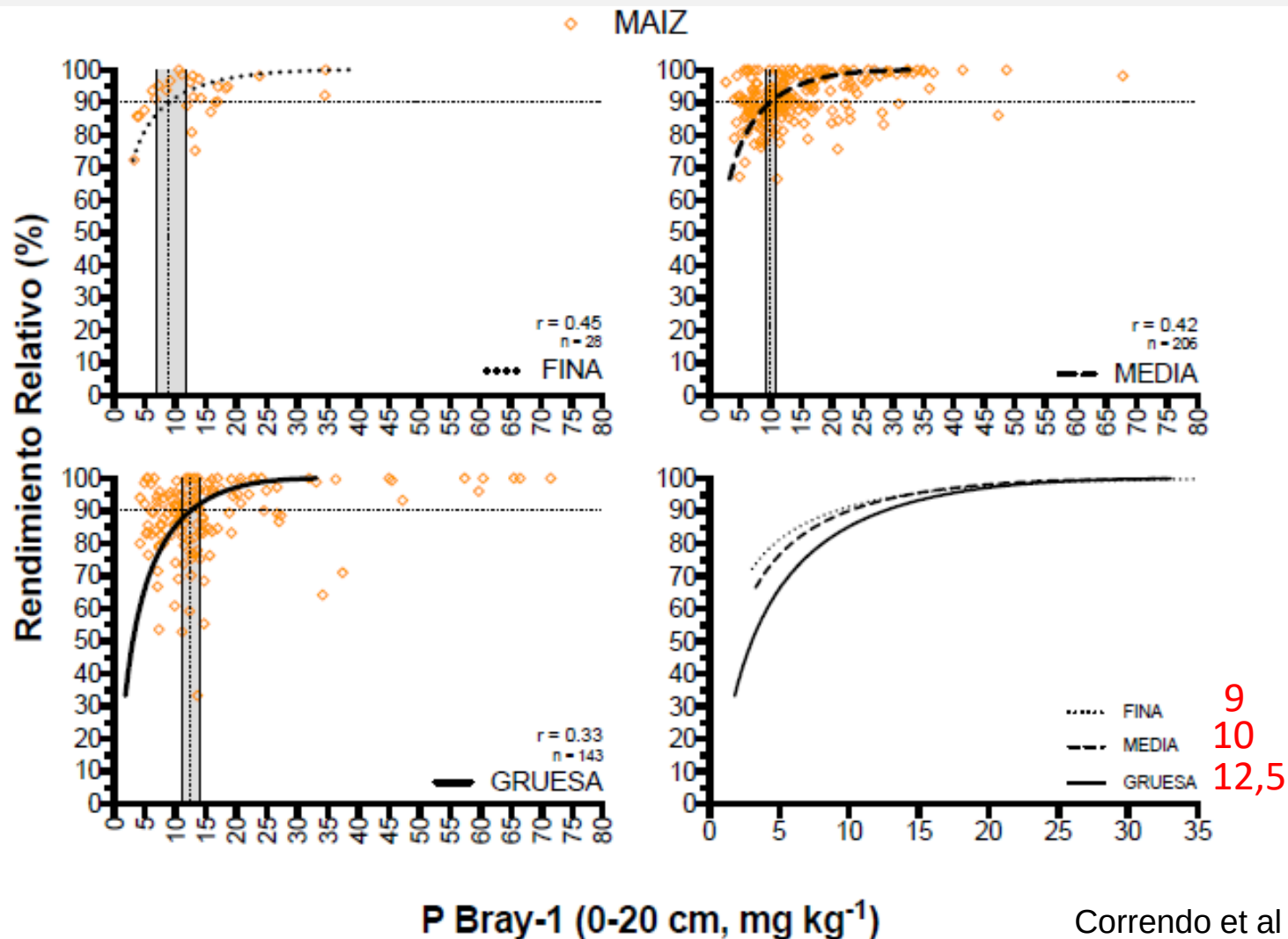
Norte de la region Pampeana



Sucunza et al 2018
Eur J Agron

Diagnóstico del P en el suelo

Umbrales críticos menores en suelos con texturas finas.
Datos de recopilación de experimentos.

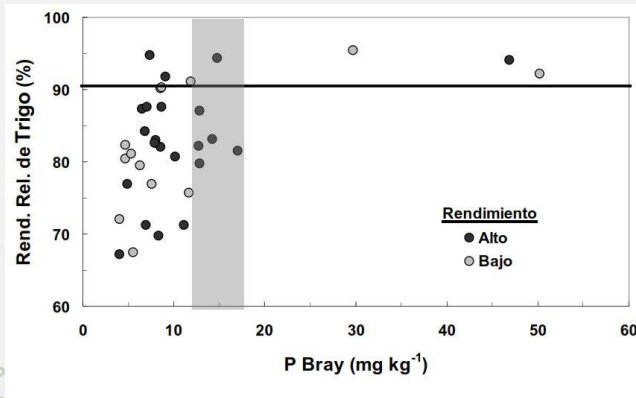


Toda la region Pampeana

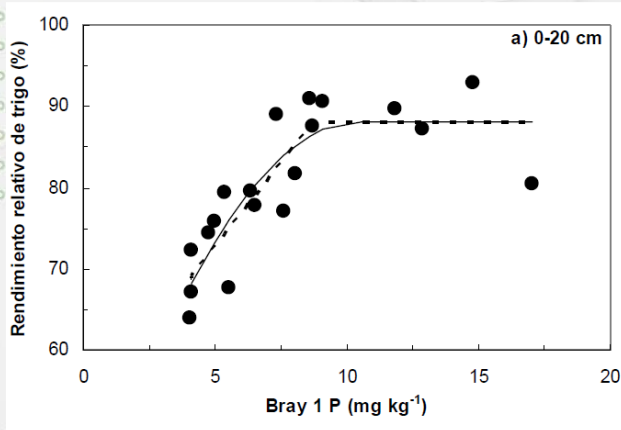
no se observó efecto del
potencial de rendimiento sobre
el umbral crítico

Diagnóstico del P en el suelo

Amplia disponibilidad de información para la Región Pampeana



Trigo. Barbagelata et al. 2011

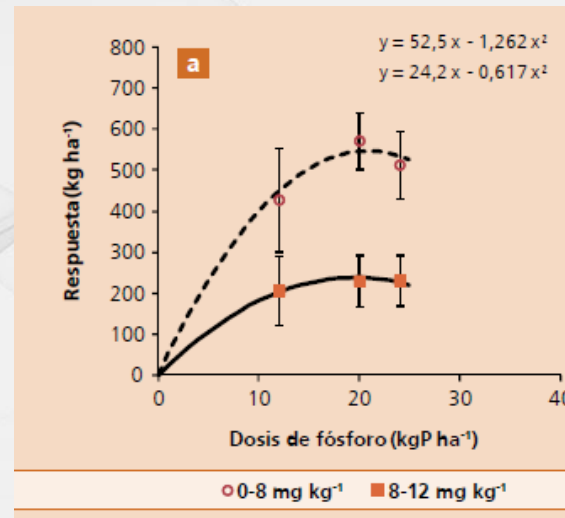


Trigo. Barbagelata, Melchiori
2008

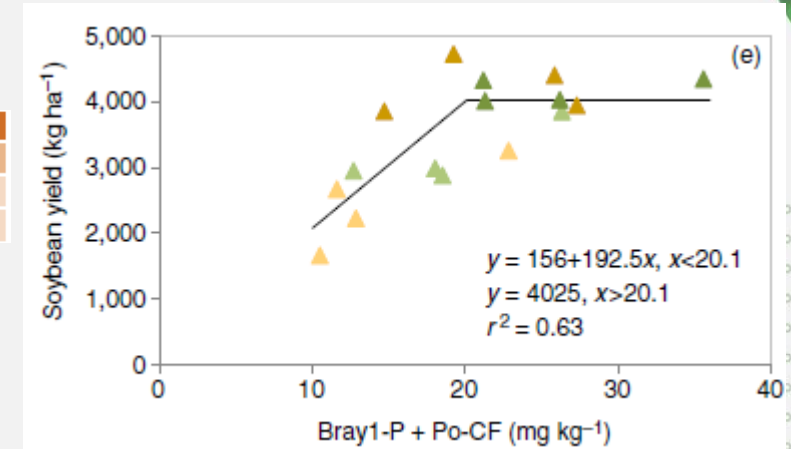
Toda la region Pampeana

Cultivo	Categorías de concentración de P				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Maíz	< 5	5-13	13-16	16-20	> 20

Maíz, Echeverria, Sainz Rozas, Barbieri (2024, ed digital); Echeverria, Garcia (1998)



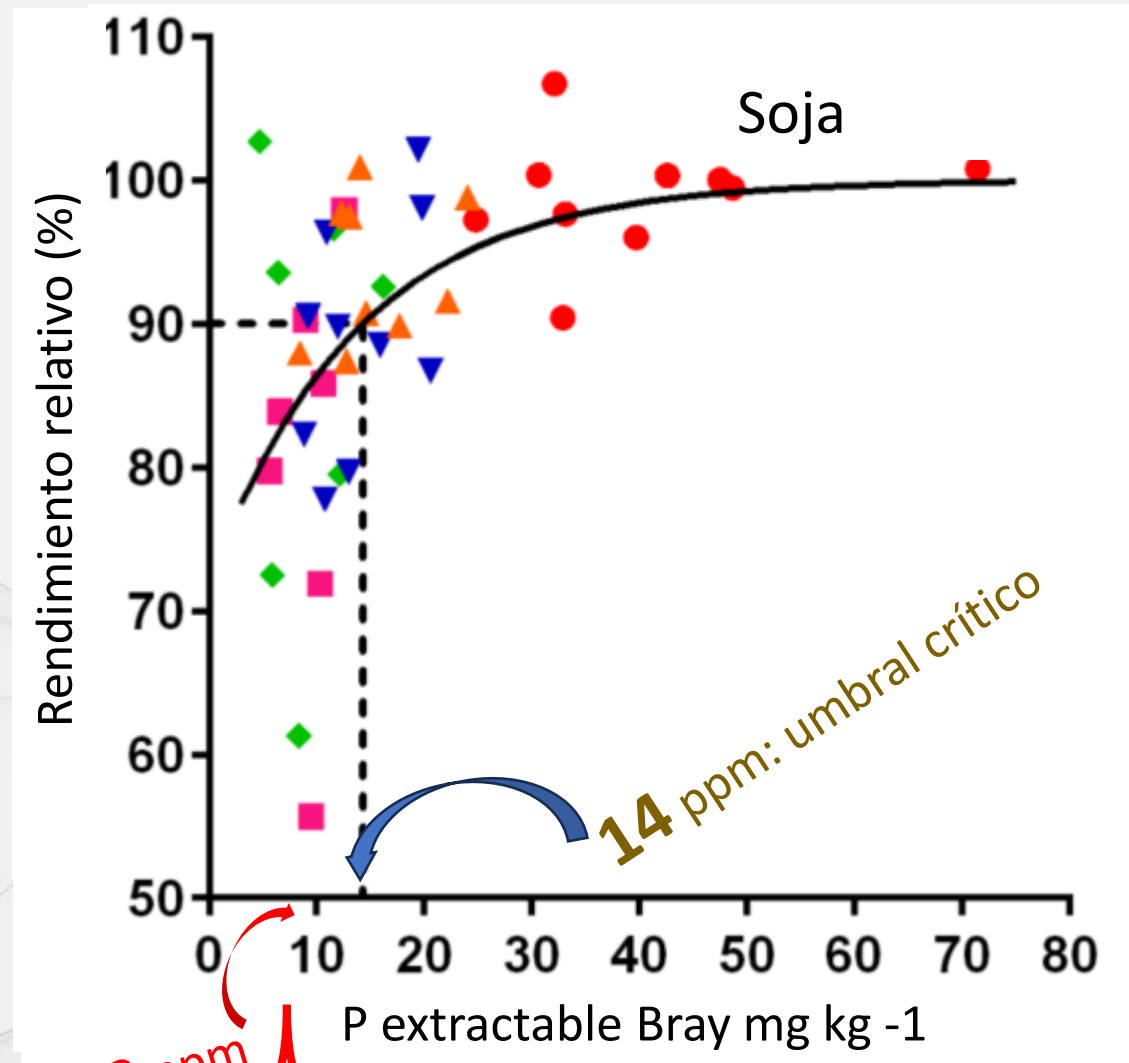
Soja, G Boem Salvagiotti
(2024, ed digital)



Soja. Appelhans et al. (2020)

Excelente noticia!. La información disponible en la Región Pampeana sobre fertilización fosforada es igual o mayor que en las regiones agrícolas de países competidores (ej. corn belt).

¿Qué herramientas poseemos para determinar la dosis de P? → → →



1. Enriquecimiento

Cuántos kg P/ ha son necesarios para elevar el P Bray en 1 ppm?

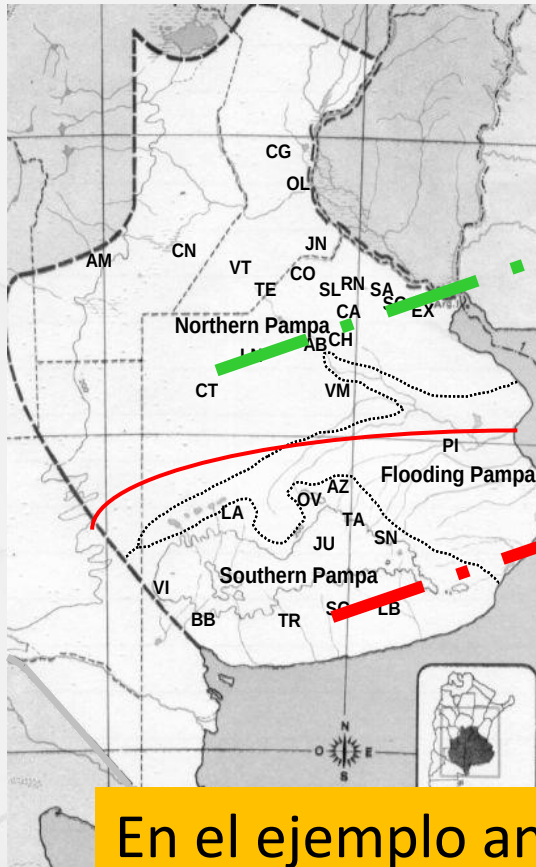
Análisis de suelo: 9 ppm

14-9= 5 ppm

¿Qué herramientas poseemos para determinar la dosis de P?

1. Enriquecimiento

Cuántos kg P/ ha son necesarios para elevar el P Bray en 1 ppm?



N Región Pampeana
4.2 kg P ha⁻¹
para elevar 1 ppm

S Región Pampeana
5.4 kg P ha⁻¹
para elevar 1 ppm

$$b = 0.4536 - 0.00344 \text{Arc} + 0.00356 \text{Pinic}_{\text{Bray1}} + 0.162 \text{Zona}$$

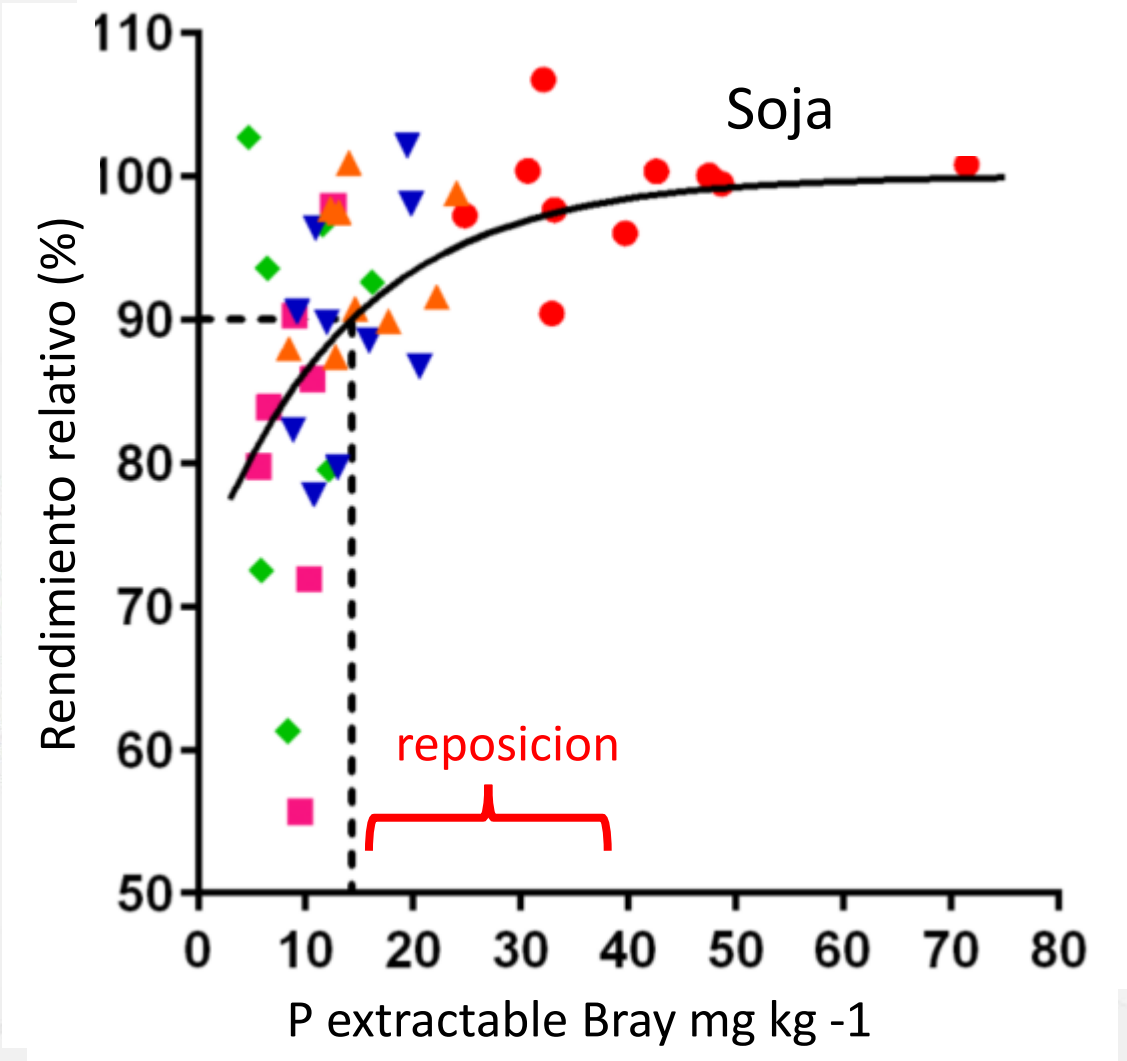
Zona=1 Norte; 0= Sur

En el ejemplo anterior, si era del Norte de la region el calculo es
 $5 \text{ ppm} * 4,2 \text{ kg P / ppm} \Rightarrow \text{dosis recomendada} = 21 \text{ kg P / ha}$

Clay, %
clay + silt, %
Silt, %
Al_{ox}, mmol kg⁻¹
Fe_{ox}, mmol kg⁻¹
Ca, cmol_c kg⁻¹
Ca + Mg, cmol_c kg⁻¹
Clay_{SSA-BET}, m² g soil⁻¹
clay pore area, m² g⁻¹
pH
total carbon, g kg⁻¹
P_{Bray1}, µg P g⁻¹
P_{Mehlich3}, µg P g⁻¹
total P, µg P g⁻¹

¿Qué herramientas poseemos para determinar la dosis de P?

2. Reposición

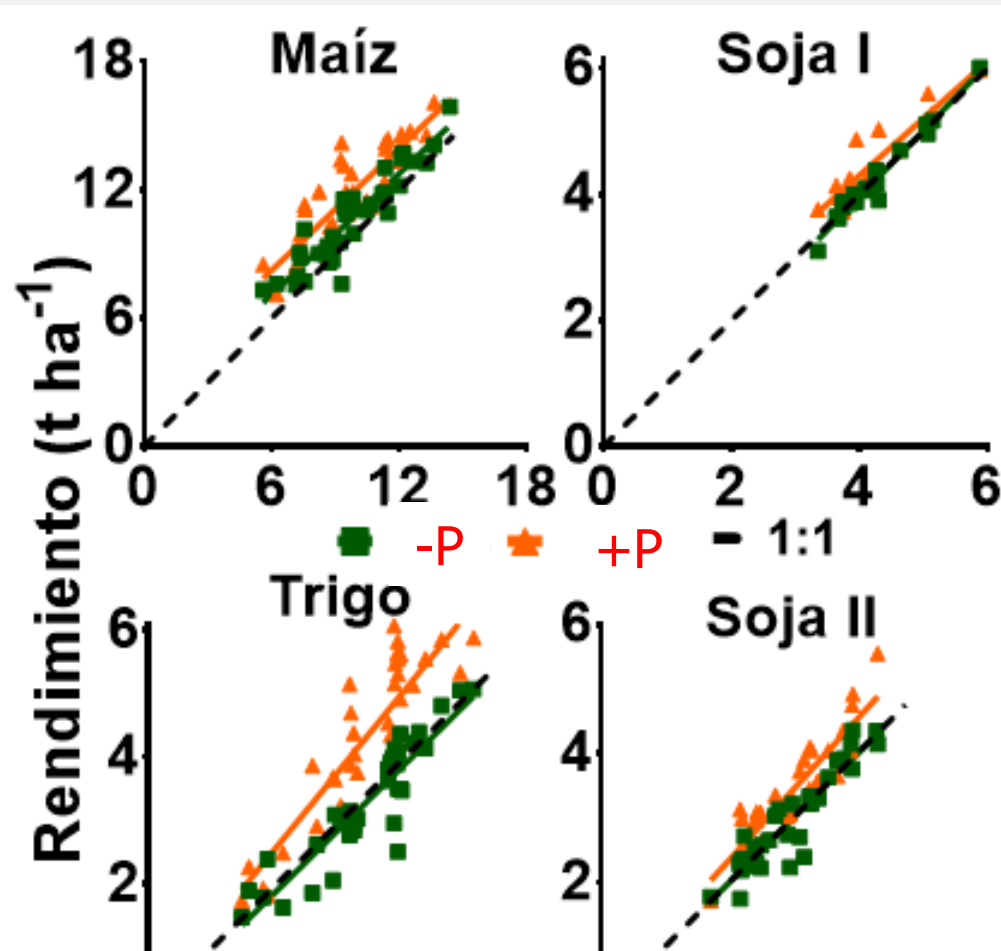


Cultivo	Exportación kg P ton grano-1
Colza	11
Girasol	7
Soja	6
Trigo	4
Maiz	3

Ciampitti, Garcia IPNI

Diagnóstico del P en el suelo

→ → →

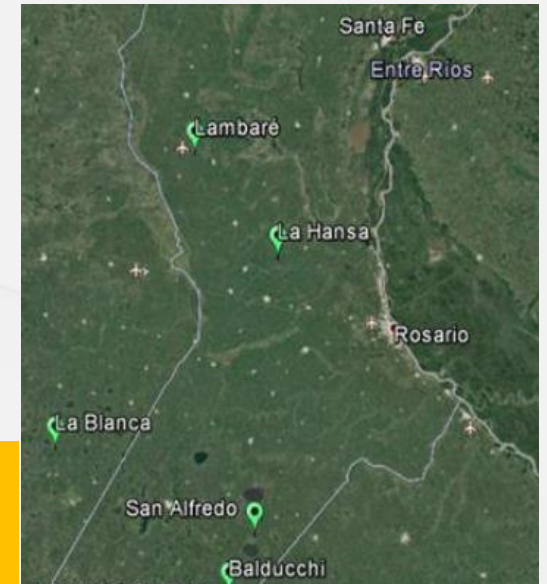


Y si me toca un año desfavorable?

En años desfavorables se observaron respuestas positivas al P

20 años

=> Son esperables respuestas positivas en ambientes favorables y desfavorables.



desfavorable ... favorable

desfavorable ... favorable

Manenti et al 2023
Agron J

→ → →

→ → →