



**50**  
**AACS**  
1960 - 2010  
ASOCIACION ARGENTINA  
CIENCIA DEL SUELO

**Comisión Química de Suelos**

**Jornadas Nacionales**  
**“Sistemas Productivos Sustentables:**  
**Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura”**  
*Bahía Blanca, 10 y 11 de Agosto de 2009*

# La Fertilización Fosfatada en la Argentina Actualidad, Manejo y Perspectivas

**Fernando O. García**



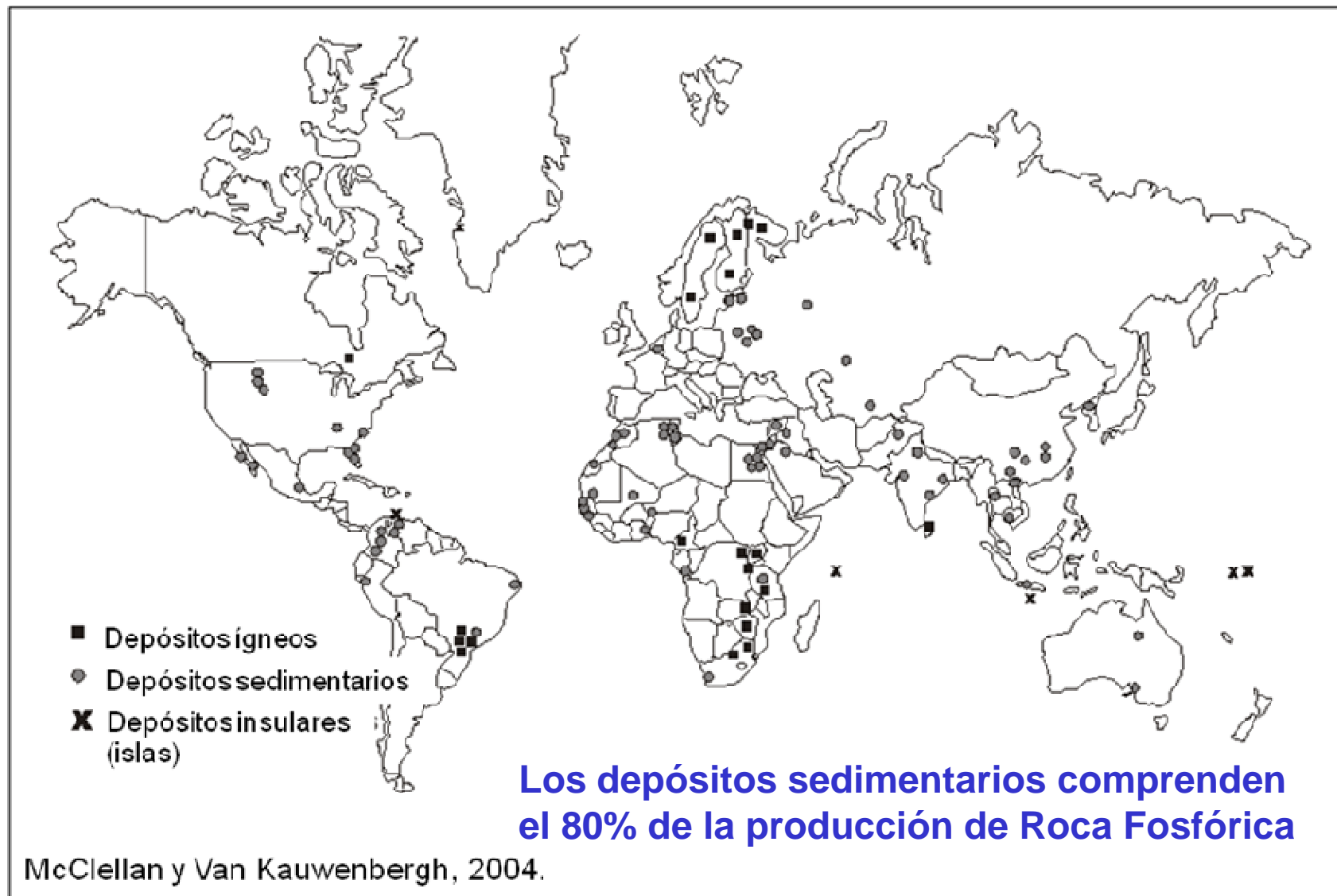
**Instituto Internacional  
de Nutrición de Plantas**  
**[www.ipni.net/lasc](http://www.ipni.net/lasc)**



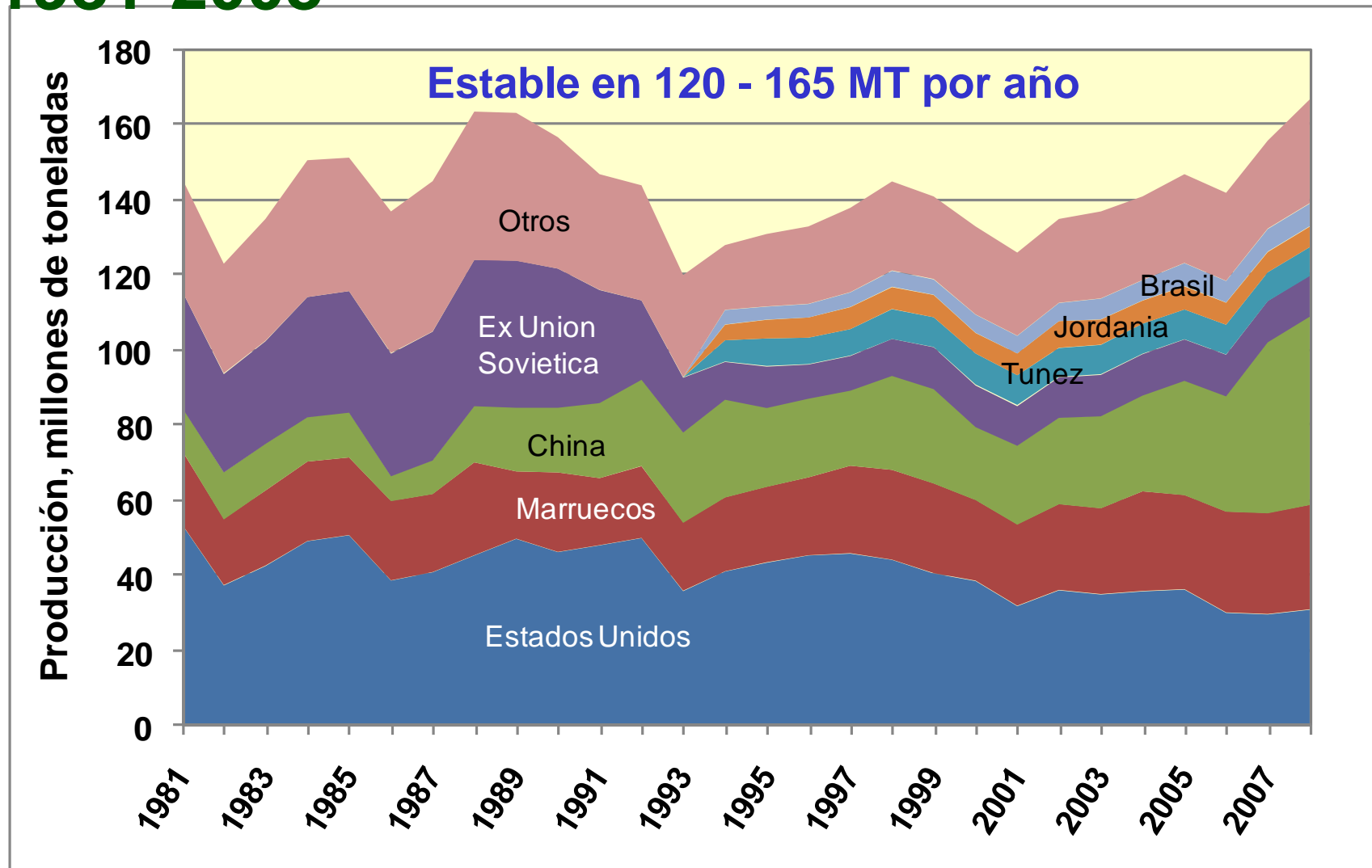
# Temario

- Actualidad
  - Reservas mundiales: ¿Hay suficientes reservas de P?
  - Consumo en Argentina, Balances de P, Eficiencias de uso
- Mejores practicas de manejo de P en cultivos extensivos
  - Dosis, fuente, momento y forma
- Perspectivas
  - Necesidades a futuro
  - Alternativas de manejo

# Depósitos mundiales de fosfatos económicos y potencialmente económicos

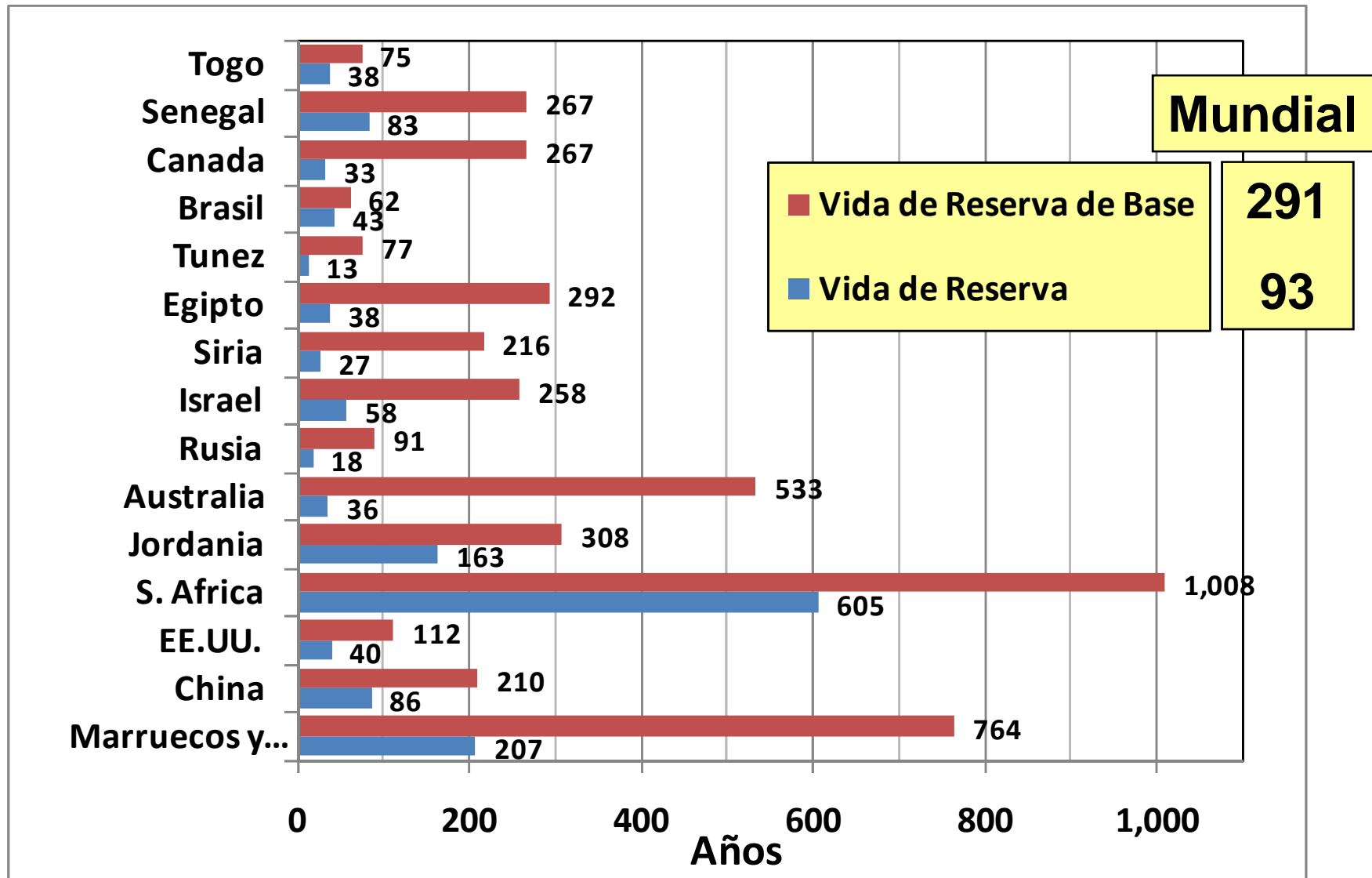


# Producción mundial de roca fosfórica, 1981-2008



<sup>1</sup>1992-1997 Ex Unión Soviética incluye la información de Kazakstán y Rusia; posteriormente, solamente Rusia. <sup>2</sup>Año 2008 estimado. Compilado a partir de USGC Reporte de Comodities de Minerales, 1983-2009.

# Vida de reserva y vida de reserva de base para las minas de fosfatos



Fuente: Fixen (2009) a partir de USGS, 2009 (basado sobre la producción de 2007-2008)

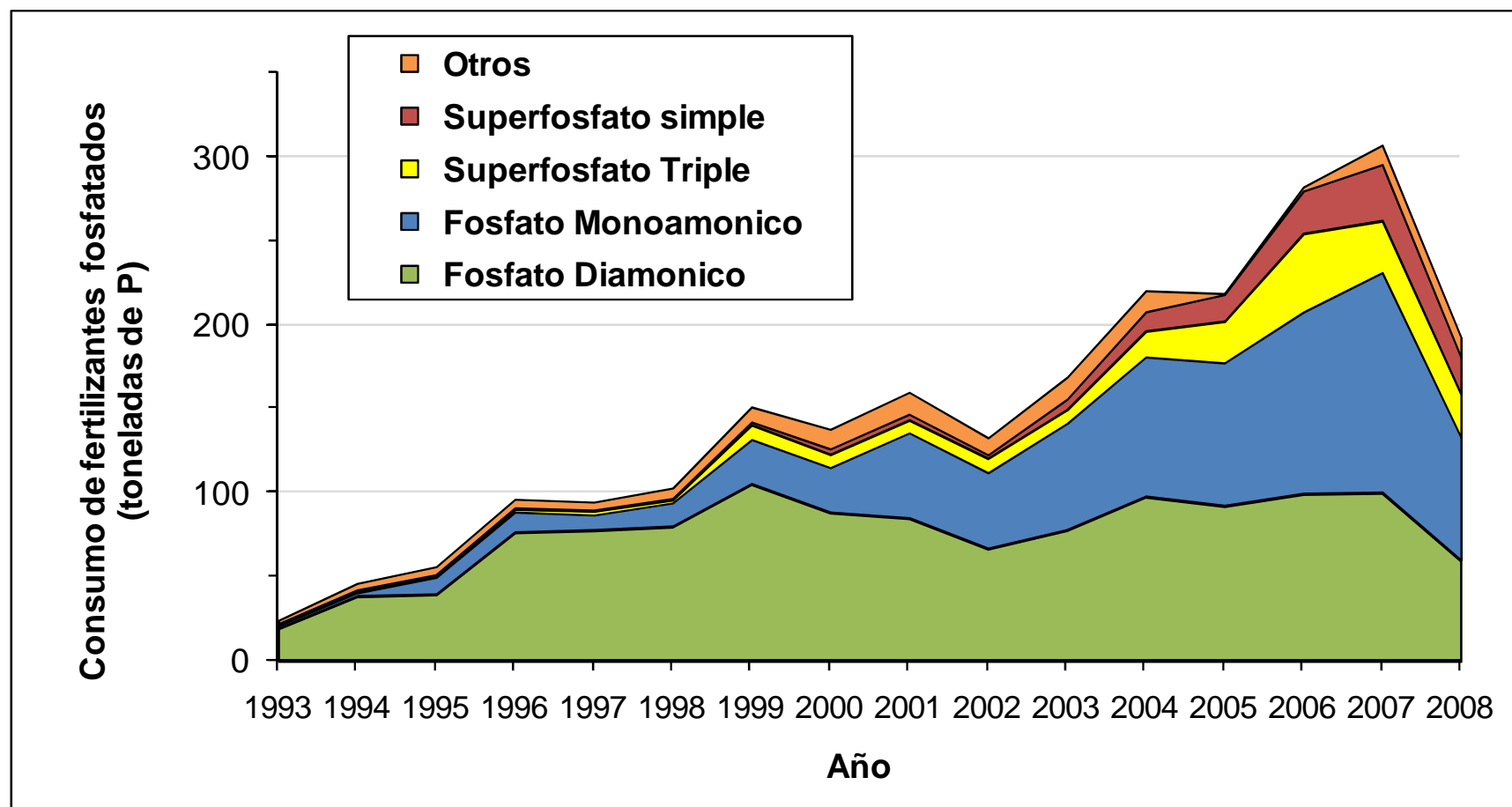




# Reservas y reservas de base de fosfatos estimadas (Fixen, 2009)

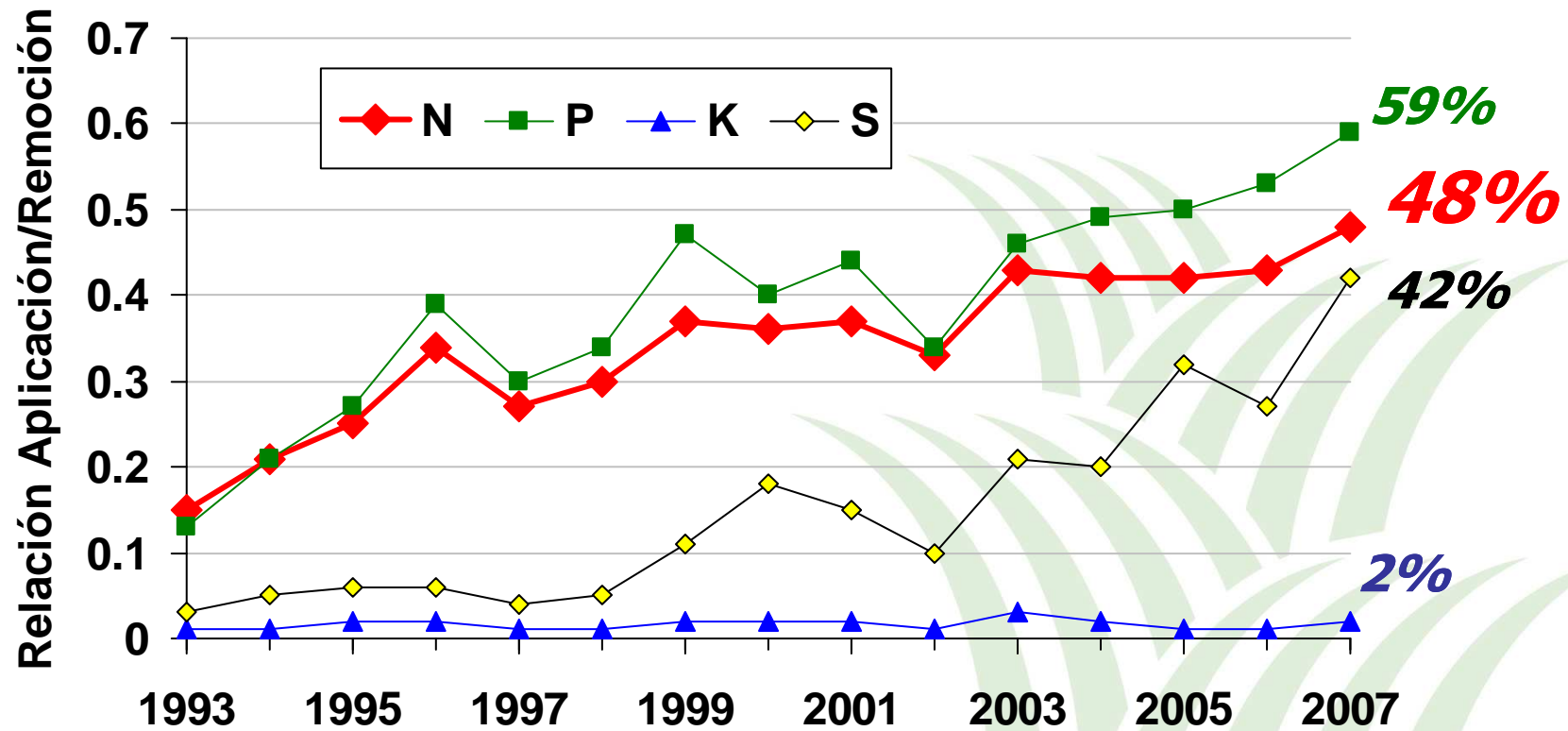
- Existe una gran incertidumbre en las estimaciones pero **el mundo no está al borde de la escasez de fosfatos de las materias primas**
- Las reservas mundiales y los recursos parecen **adecuados para el futuro previsible**
- **Los costos de P se incrementaran** con el tiempo a medida que los materiales que son extraídos con mayor facilidad sean consumidos
- **Ganar en eficiencia retardará el incremento en los costos:** Un incentivo para el perfeccionamiento y la implementación de las Mejores Practicas de Manejo (MPM)
- La roca fosfatada es un recurso natural no renovable de gran importancia para la producción de alimentos: Su administración racional **es una responsabilidad crítica para la agricultura**

# Fósforo: Uso Actual en Argentina



Fuente: SAGPyA y Fertilizar AC

# Argentina: Relaciones Aplicación/Extracción de N, P, K y S en cultivos extensivos





# Índices agronómicos para la eficiencia de uso de nutrientes



Índices	Cálculos
Eficiencia Agronómica	$EA = (\text{kg } \Delta \text{rendimiento del cultivo} / \text{kg de nutriente aplicado})$
Eficiencia aparente de Recuperación	$ER = (\text{kg de nutriente absorbido} / \text{kg de nutriente aplicado})$
Eficiencia Fisiológica	$EF = (\text{kg } \Delta \text{rendimiento} / \text{kg de nutriente absorbido})$
Productividad Parcial de Factor	$PPF = (\text{kg de rendimiento del cultivo} / \text{kg de nutriente aplicado})$
Balance Parcial del Nutriente	$BPN = (\text{kg nutriente removido} / \text{kg nutriente aplicado})$

*Adaptado de Dobermann (2007); Snyder y Bruulsema (2007)*

## Índices agronómicos para la eficiencia de uso de nutrientes

### Estimaciones para Argentina, 2007/08

<b>Cultivo</b>	<b>BPN</b>		<b>PPF</b>	
	kg N removido / kg N aplicado	kg P removido / kg P aplicado	kg grano / kg N aplicado	kg grano / kg P aplicado
<b>Maíz</b>	1.1	<b>0.8</b>	87	<b>296</b>
<b>Trigo</b>	0.9	<b>0.6</b>	48	<b>174</b>
<b>Soja</b>	-	<b>5.5</b>	-	<b>1011</b>
<b>Girasol</b>	1.5	<b>1.2</b>	69	<b>201</b>



## Soja: Eficiencia agronómica y balance parcial de P en 15 ensayos realizados en la región pampeana norte

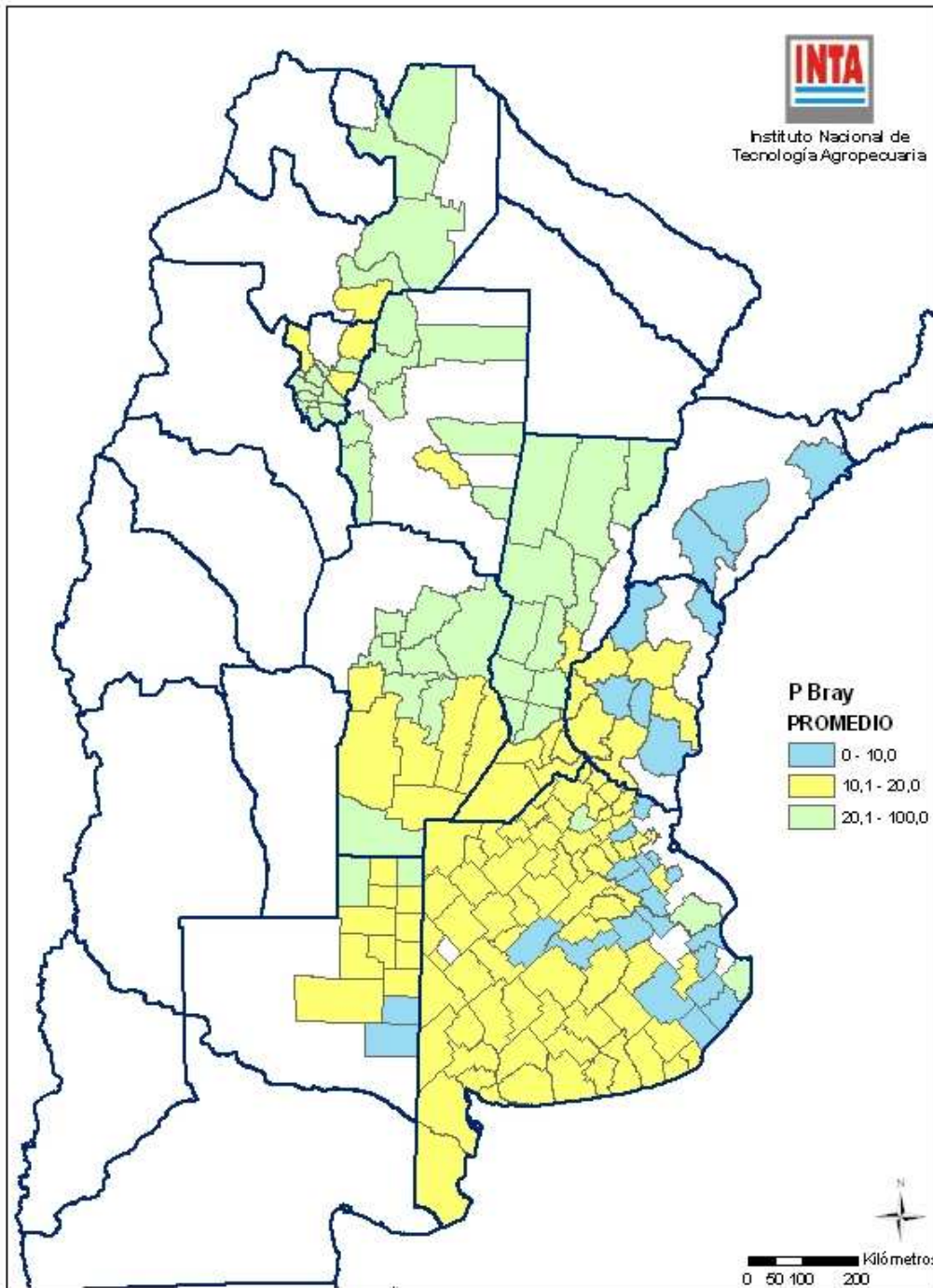
*Campaña 2003/04*

*Fuente: Melchiori et al. (2004), Proyecto INTA-IPNI-Mosaic*

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Eficiencia Agronómica (kg soja/kg P)
Testigo	3135	-
P10	3372	24
P20	3557	21
P30	3695	19

***Soja a U\$220 y FMA a U\$650***

***3 kg soja por kg de FMA o 13 kg soja por kg P***

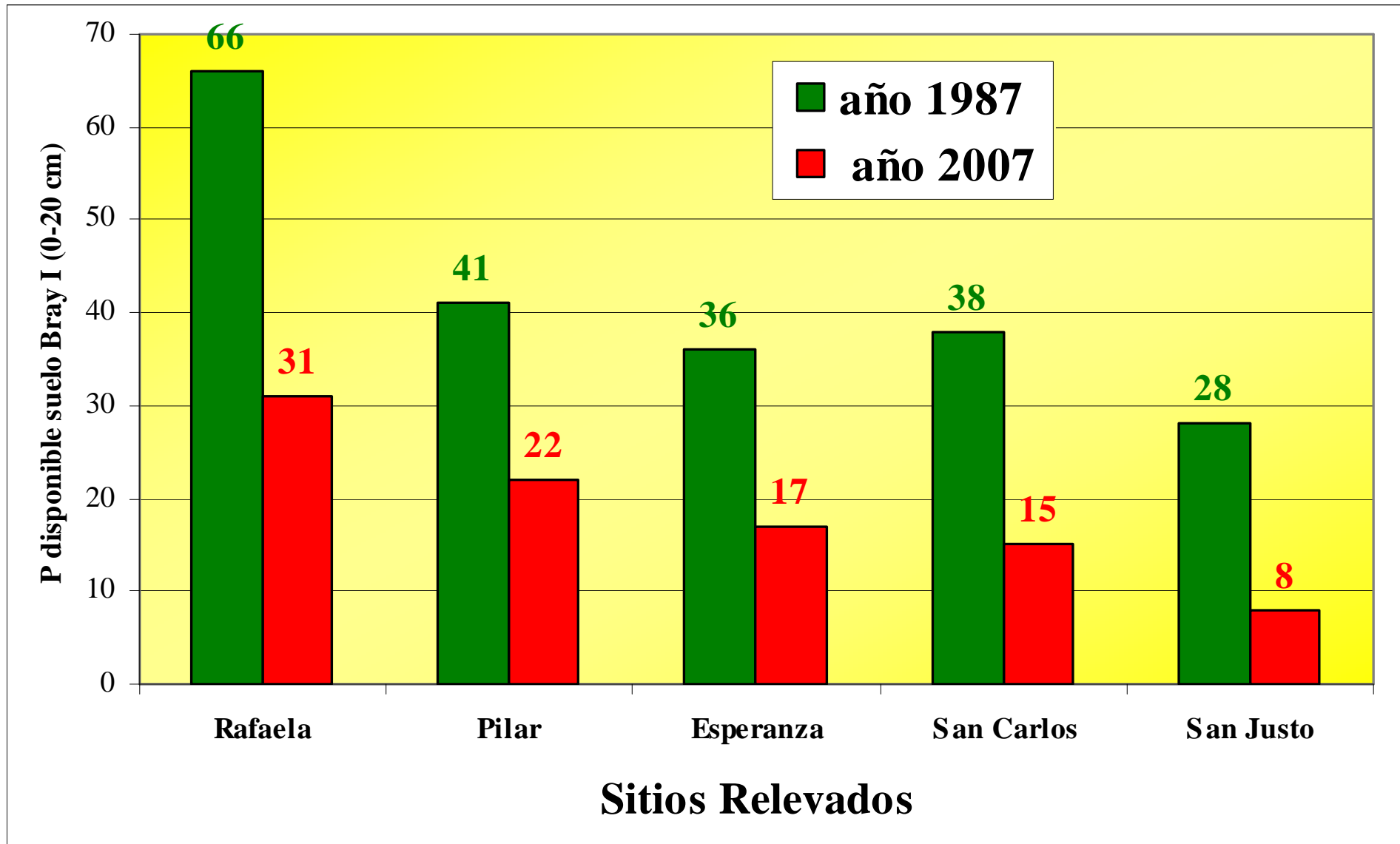


# Distribución de la concentración de fósforo extractable en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana y extrapampeana Argentina

*Muestras 0-20 cm, 2005 y 2006 (n=34447)*

*(Sainz Rozas y Echeverría, 2008)*

## Evolución de los niveles de P disponible del suelo (0-20 cm) en el área central Santa Fe (en 20 años)



Fuente: Hugo Fontanetto - Laboratorio Suelos INTA Rafaela

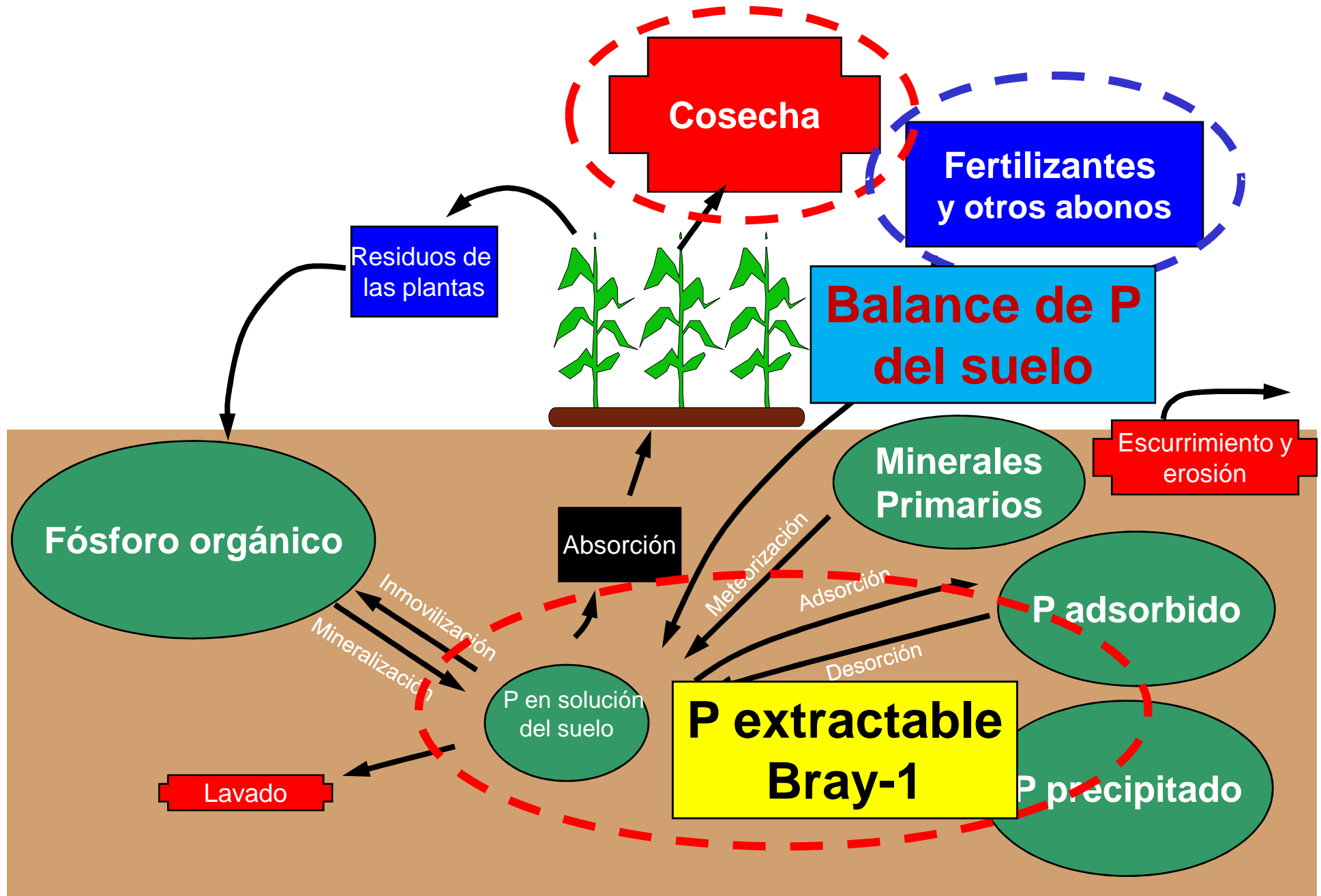


# Las Mejores Prácticas de Manejo de Fertilizantes (MPMF)



*Bruulsema et al., 2008*

# El Ciclo del Fósforo



# Destino del P del fertilizante

Destino	Rango	Referencias
Planta	15 al 35%	Mattingly, 1975; Johnston y Syers, 2001; <b>Ciampitti, 2009, Rubio et al. 1998</b>
Fracciones lábiles de P#	15 al 44%	Beck y Sánchez, 1994; Johnston y Syers, 2001; Dobermann et al., 2002; Zheng et al., 2002; Blake et al., 2003; <b>Boschetti et al., 2004</b> ; Verma et al., 2005; <b>Picone et al., 2008</b> ; Wang et al., 2007; <b>Ciampitti, 2009</b>
Fracciones moderadamente lábiles†	26 al 59%	Johnston y Syers, 2001; Zheng et al., 2002; Blake et al., 2003; <b>Boschetti et al., 2004</b> ; Verma et al., 2005; <b>Picone et al., 2008</b> ; Wang et al., 2007; <b>Ciampitti, 2009</b>
Fracción recalcitrante o más estable£	17 al 36%	Johnston y Syers, 2001; Zheng et al., 2002; Blake et al., 2003; <b>Vázquez et al., 2008</b> ; <b>Ciampitti, 2009</b>

# Fracciones P resina o MIA, Pi- y Po- $\text{NaHCO}_3$

**Ciampitti et al., 2009**

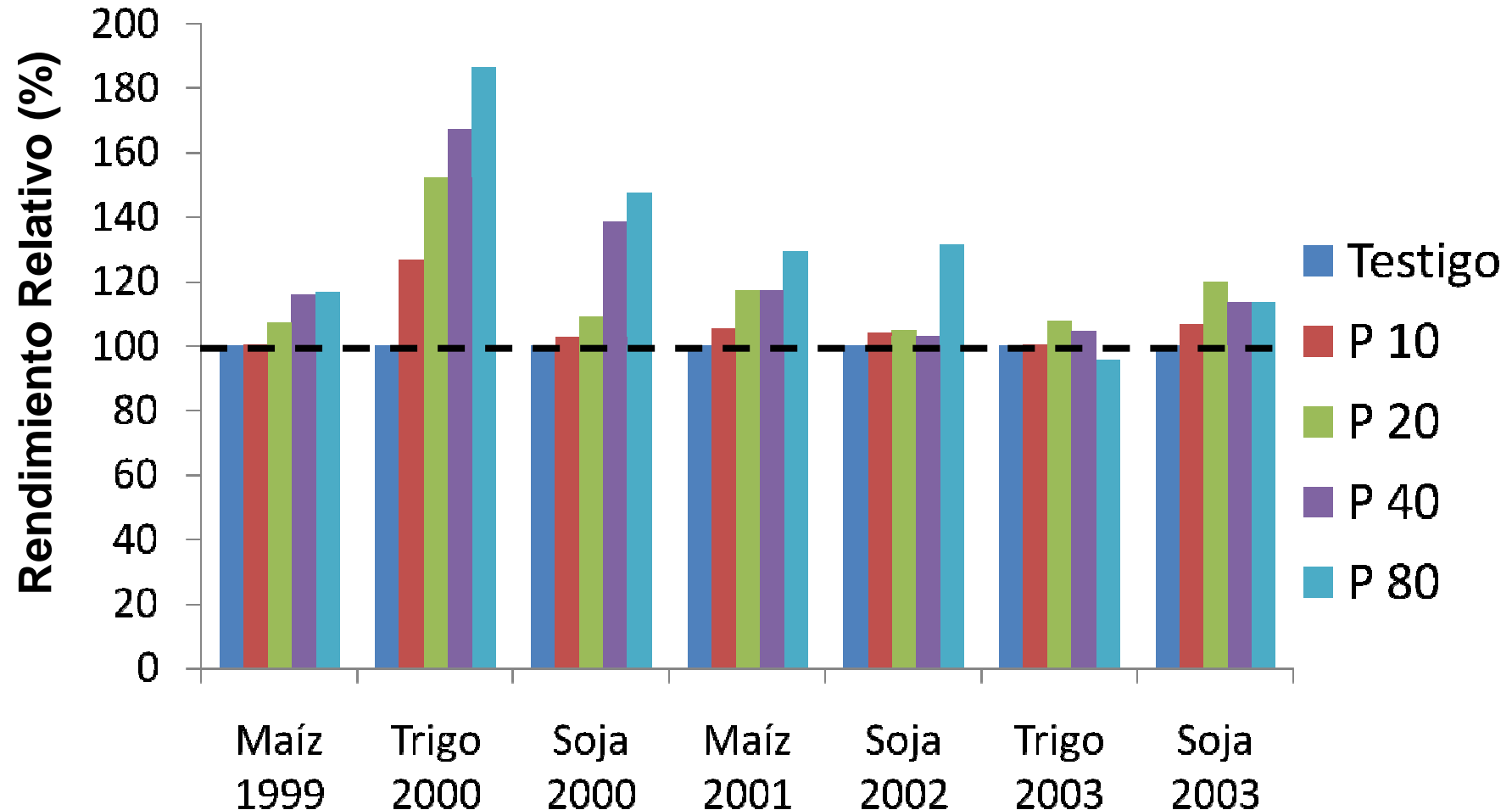
† Fracciones Pi- y Po- NaOH, y P-HCl

£ Fracción de P extraído con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o digestión con  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$



# Residualidad de Fósforo

INTA 9 de Julio (Buenos Aires) - Suelo Hapludol típico

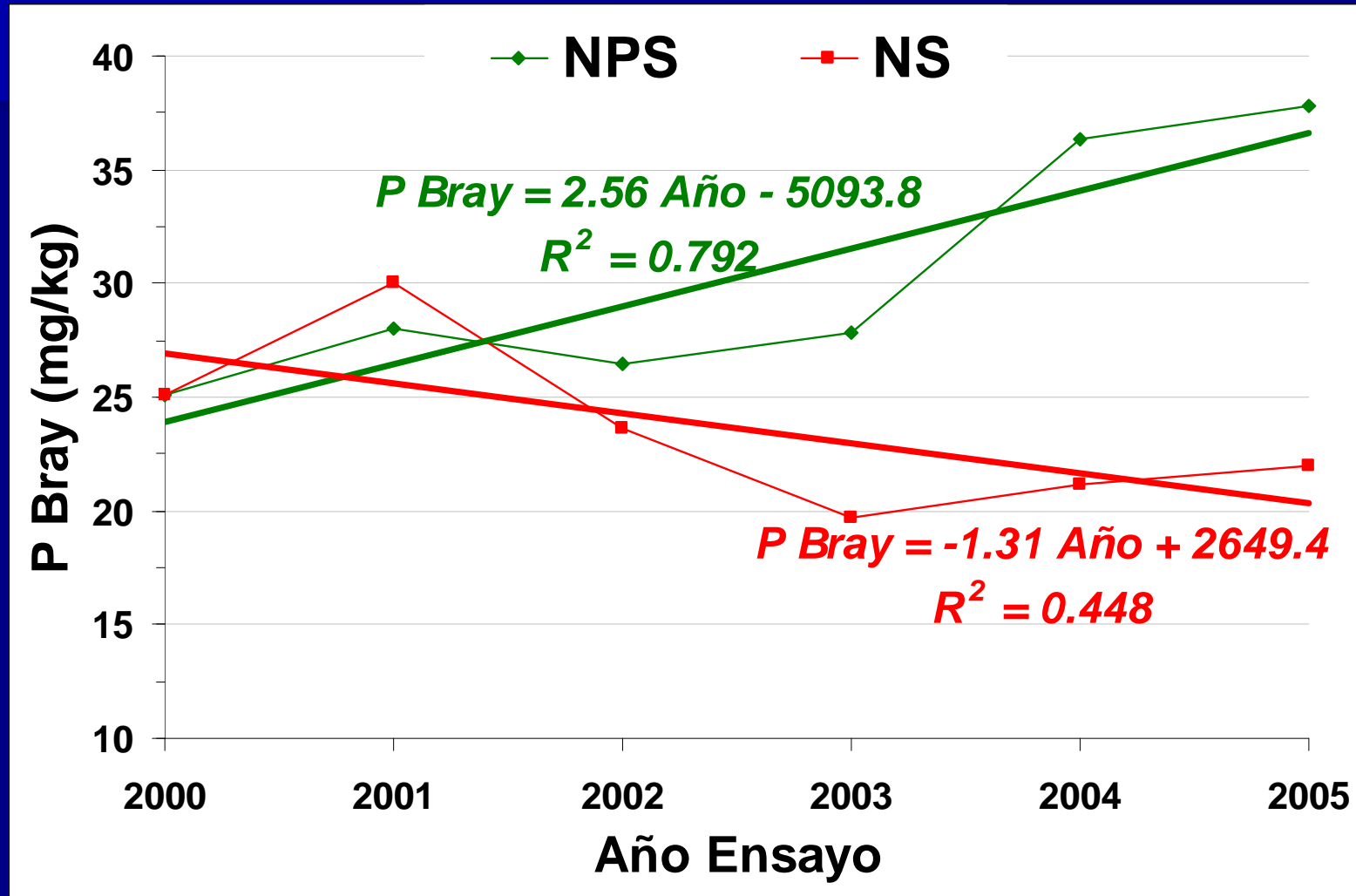


***P aplicado a la siembra del Maíz en Septiembre 1999***  
***P Bray inicial 9 ppm***

# Evolución de P Bray según manejo de la fertilización

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

Promedios para rotación Maíz-Soja-Trigo/Soja (6 años)



Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP



# ¿Cómo deberíamos manejar fósforo?

- Conocer el nivel de P Bray según análisis de suelo



# Relación entre el contenido de P disponible del suelo (Bray 1) y los rendimientos de los cultivos

Cultivo	Umbral Crítico (ppm)	Referencia
Trigo	15-20	Echeverría y García, 1998; García et al., 2005; García, 2007
Soja	9-14	Echeverría y García, 1998; Melchiori et al., 2002; Gutiérrez Boem et al., 2002; Díaz Zorita et al., 2002; Fontanetto, 2004; García et al., 2005
Girasol	10-15	Díaz Zorita, 2004
Maíz	13-18	García et al., 1997; Ferrari et al., 2000; Mistrorigo et al., 2000; Berardo et al., 2001; García, 2002; García et al., 2005

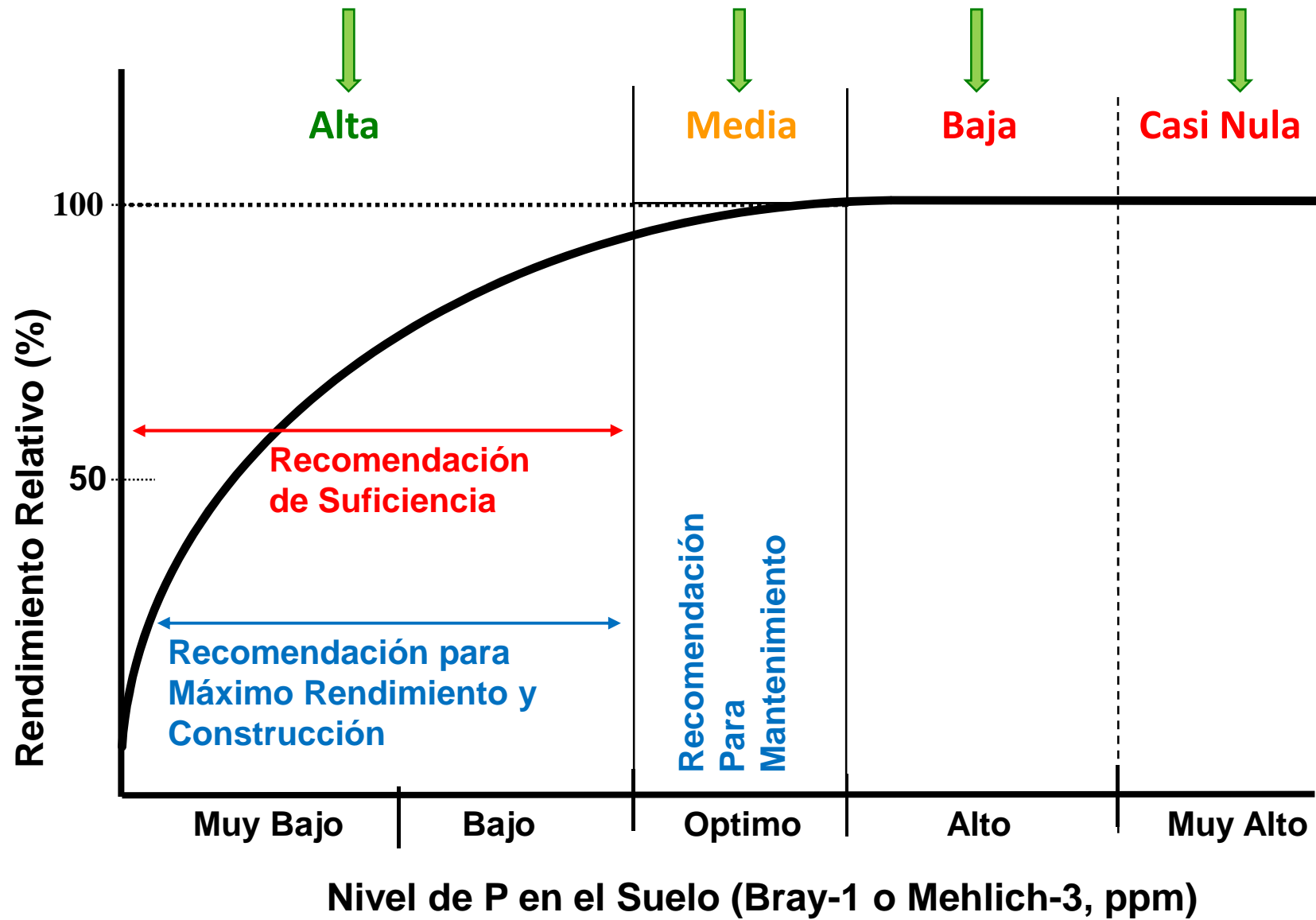
P Bray (mg/kg)

# ¿Cómo deberíamos manejar fósforo?

- Conocer el nivel de P Bray según análisis de suelo
- Decidir
  - Fertilización para el cultivo (Suficiencia), o
  - Fertilización de “construcción y mantenimiento”: Implica mantener y/o mejorar el nivel de P Bray del suelo (Reposición)



## Probabilidad de Respuesta y Beneficio Económico



Adaptado de Mallarino, 2007  IPNI

# *Filosofías de Manejo de la Fertilización de nutrientes de baja movilidad*

## **1. Suficiencia o Respuesta Estricta**

- **Se fertiliza solamente por debajo del nivel crítico.**
- Para cada nivel debajo del nivel crítico distintas dosis determinan el óptimo rendimiento físico o económico.
- No consideran efectos de la fertilización en los niveles de nutriente en el suelo.
- Requiere buen conocimiento de las dosis óptimas para cada cultivo, y del nivel inicial y precisión en el análisis de suelo.
- Aumenta el retorno por kg de nutriente y también el riesgo de perder respuesta total y retorno a la producción.
- Requiere atención y cuidado, muestreo frecuente y formas de aplicación costosas.
- **Buena opción para suelos “fijadores”, lotes en arrendamiento anual.**

***Adaptado de Mallarino (2006 y 2007)***





# Trigo

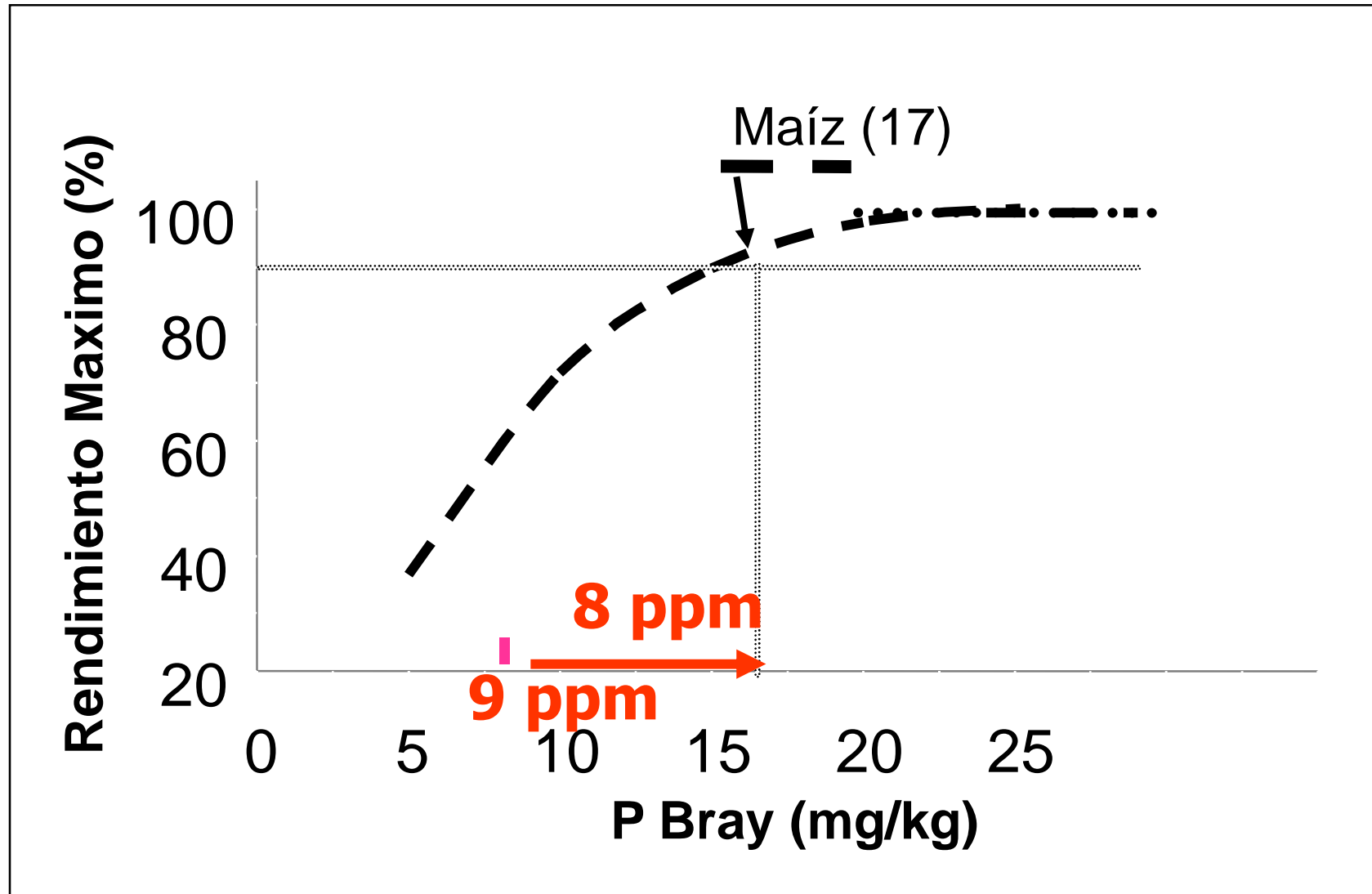
## Recomendación de fertilización fosfatada según contenido de P disponible (Bray 1) y rendimiento objetivo

(INTA-FCA Balcarce - Echeverría y García, 1998)

Rendimiento	Concentración de P disponible en el suelo (ppm)						
	Menos 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
qq/ha	----- kg P/ha -----						
20	20	15	13	11	9	7	
30	23	19	17	15	13	11	
40	27	22	21	18	17	14	10
50	31	26	24	22	20	18	14
60	34	30	28	26	24	22	17
70	38	33	31	29	28	26	21

# Criterio de Suficiencia

¿Qué herramientas poseemos para determinar la dosis de P?



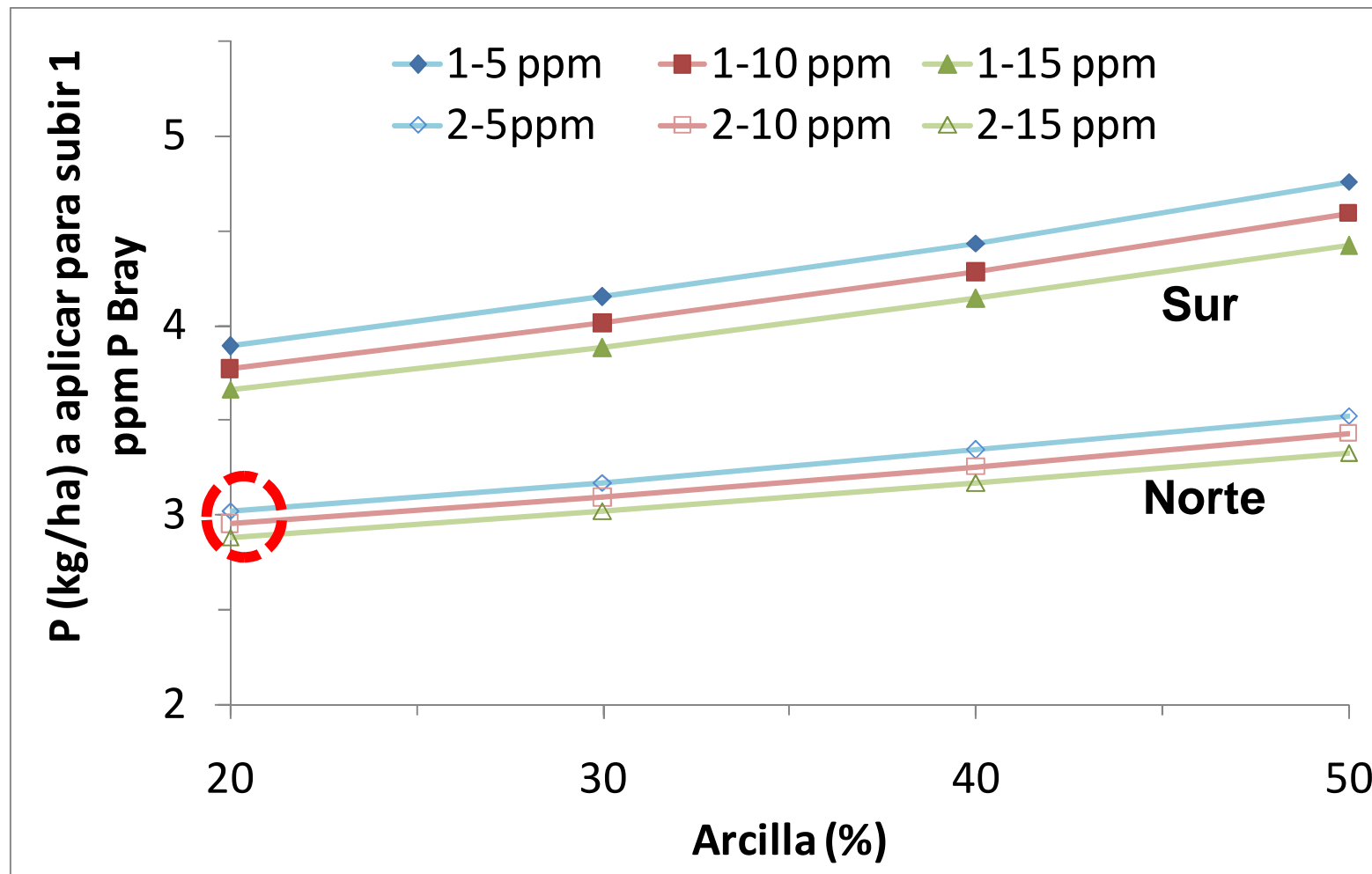
¿Cuánto kg de P debo aplicar para subir  
1 ppm de P Bray en el próximo cultivo?

*Rubio et al. (2007) - FAUBA*

***Por ejemplo: suelo con 20%  
de arcilla, en la región  
Pampeana Norte***

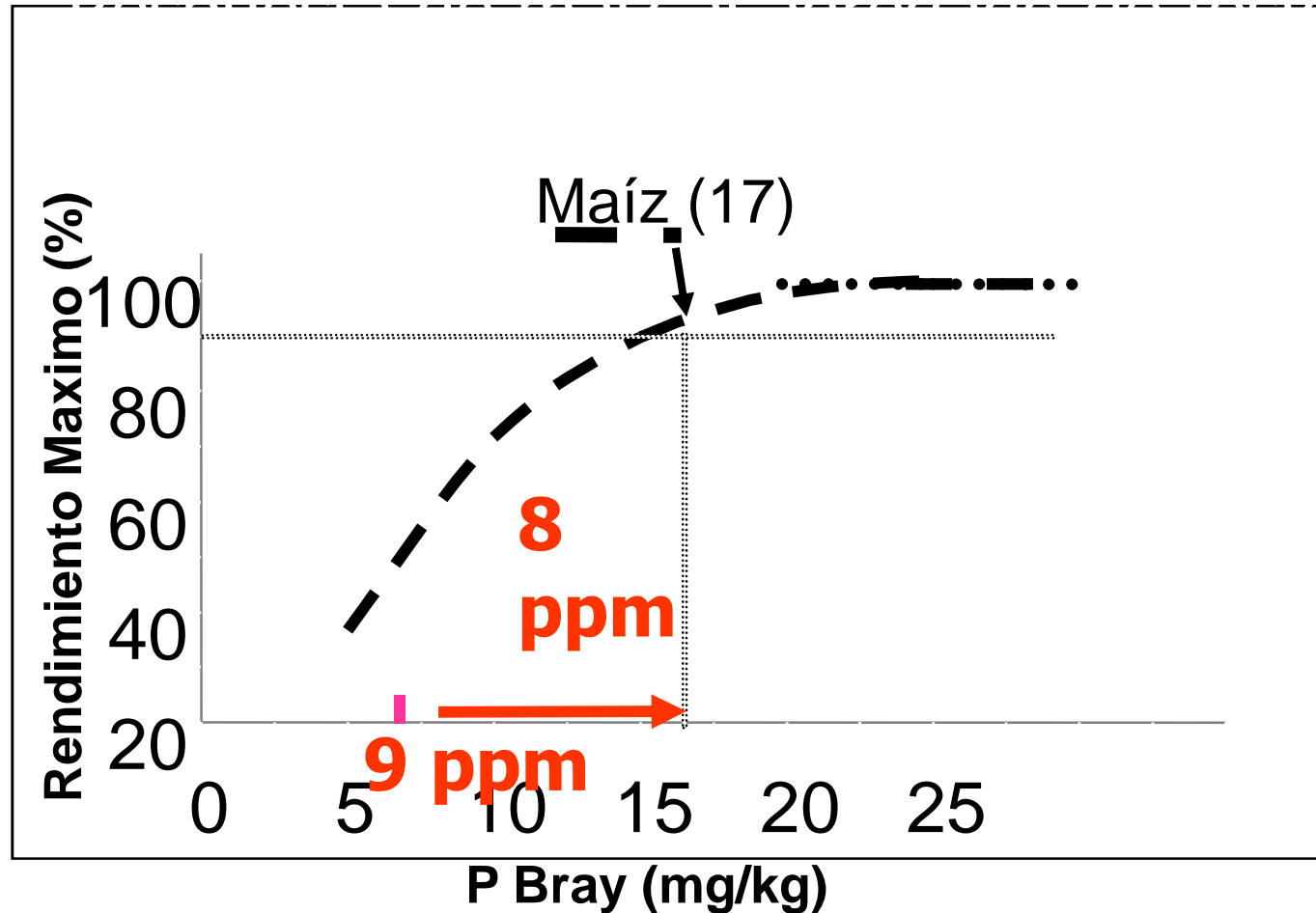
# ¿Cuánto kg de P debo aplicar para subir 1 ppm de P Bray en Región Pampeana? Dosis según P Bray inicial, % de Arcilla y Zona

Rubio et al. (2008) - FAUBA



Asume densidad aparente de 1.1 t/m<sup>3</sup> y profundidad de 0-20 cm

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



**3 kg P ha<sup>-1</sup> para aumentar 1 ppm de P Bray**

**8 ppm (\*3) = 24 kg P ha<sup>-1</sup>**

**En términos de fertilizante fosfatado sería aprox. de  
120 kg ha<sup>-1</sup> de FDA o SPT (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).**



# *Filosofías de Manejo de la Fertilización de nutrientes de baja movilidad*

## **2. Construir al Nivel Deseado y Mantenerlo**

- **No se debe trabajar en la zona de deficiencia grave y probable.**
- Si el nivel de P es bajo, se fertiliza no solo para alcanzar el máximo rendimiento, sino para asegurar que se sube el nivel inicial.
- Llegar al óptimo nivel en 4 a 6 años y mantenerlo, generalmente basado en la remoción de nutriente con las cosechas. Sencilla, fácil de implementar.
- Puede reducir el retorno por kg de nutriente pero también reduce el riesgo de disminuir el retorno a la producción.
- Menor impacto de errores de calibración de análisis de suelo, recomendaciones y de muestreo.
- No requiere muestreos frecuentes ni métodos de aplicaciones costosas.
- **Razonable en suelos poco o no “fijadores”, lotes de propiedad.**

***Adaptado de Mallarino (2006 y 2007)***



# Extracción de nutrientes de distintos cultivos

<b>Nutriente</b>	<b>kg de nutriente / tonelada de cultivo*</b>					
	<b>Trigo</b>	<b>Maíz</b>	<b>Soja</b>	<b>Girasol</b>	<b>Sorgo</b>	<b>Cebada</b>
Nitrógeno	18	13	49	22	17	13
<b>Fósforo</b>	<b>3.3</b>	<b>2.6</b>	<b>5.3</b>	<b>5.8</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>
Potasio	3.3	3.5	17	5.6	3.0	4.0
Calcio	0.4	0.2	2.7	1.3	1.0	-
Magnesio	2.3	1.3	3.2	2.7	1.0	1.0
Azufre	1.3	1.2	2.5	1.7	2.0	2.0

\* La extracción está expresada en base a la Humedad Comercial (Hc) de cada cultivo

**Ciampitti y García (2007), IA No. 33, AA No. 11**



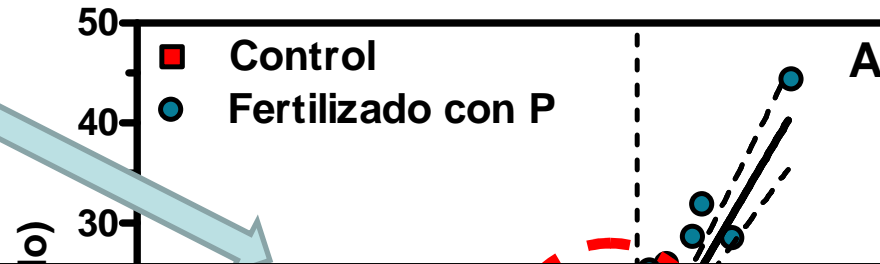
# ¿Cuánto kg de P debo aplicar para construir 1 ppm de P Bray?

**Factores:** Nivel P Bray 1 inicial, Textura, Tiempo que se considera, Extracción de P por granos o forrajes

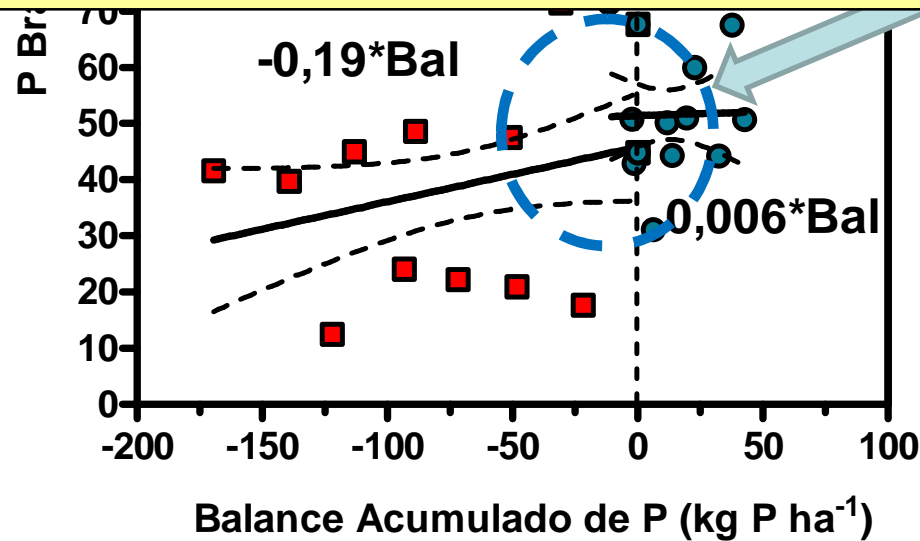
Referencia	Necesidad de P	Comentarios
	kg P/ppm P Bray	
Grattone y Berardo (2000)	6.7	SE Buenos Aires, 1 año, extracción incluida
Berardo et al., com. pers.	9.1	7 años, sin extracción
Ventimiglia et al., com.pers.	10	7 años, sin extracción
Bianchini et al., com. pers.	5.5	1 año, sin extracción, P Bray inicial 22.5 ppm
Red CREA Sur de Santa Fe (2006)	6.4-6.8 10.1-13.3	7 años, sin extracción P Bray inicial > 25 ppm P Bray inicial < 25 ppm

# Región Pampeana Central: Relación entre el balance de P en suelo y el P extractable Bray P-1

Suelos  
< 20 ppm



*La dinámica del P Bray depende del nivel inicial de P y del balance de P (P aplicado – P removido por el cultivo)*



# Manejo de la fertilization fosfatada



- **Fuente Correcta**

- La eficiencia de uso de los fertilizantes fosfatados por unidad de P es equivalente para las fuentes SFT, FDA, FMA y SPS

- **Momento Correcto**

- Se aplican en pre-siembra o al momento de la siembra

- **Forma Correcta**

- La aplicación en bandas es la mas eficiente

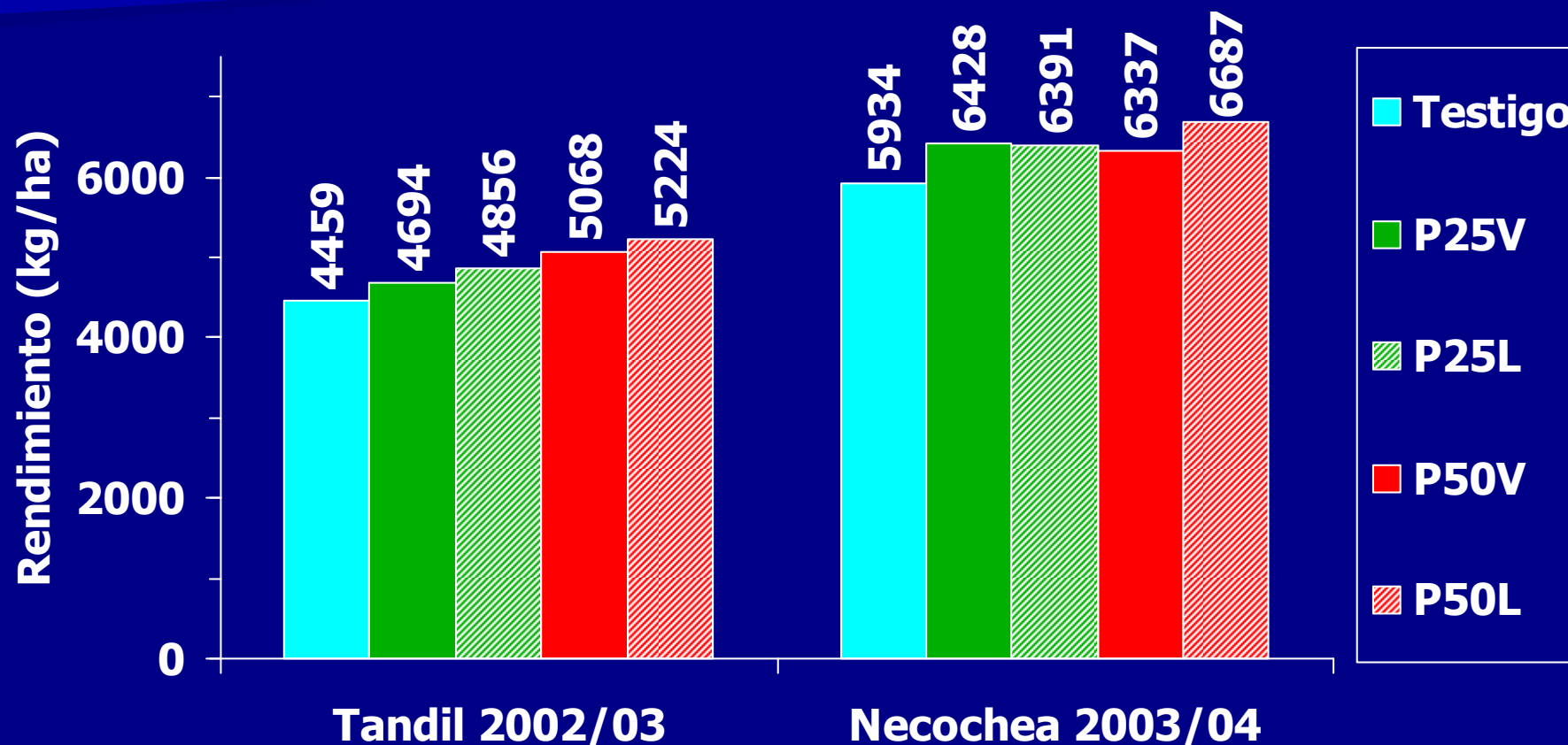
- » **Fitotoxicidad:** evitar contacto con semilla y aplicar el fertilizante por lo menos a 5 cm de las semillas

# Métodos de aplicación de P en trigo bajo siembra directa

*Sainz Rozas et al. (2003) y Echeverría et al. (2004)*

*EEA INTA-FCA Balcarce - Ensayos Red AAPRESID-Mosaic*

*L = Localizado en bandas V = al voleo anticipado*



*P Bray 8.3 ppm - MO 5.5% - pH 6.4*

*P Bray 14 ppm - MO 5.7% - pH 6.0*

N no limitante

# ¿Cuándo el P al voleo puede funcionar como el bandeado?

- 1. Suelos no fijadores de P*
- 2. Nivel de P del suelo mayor a 8-10 ppm*
- 3. Dosis mayor de 20-25 kg P/ha (100-125 kg/ha de FDA o SFT)*
- 4. Tiempo biológico (temperatura y humedad)*
- 5. Lluvias post-aplicación > 50 mm*
- 6. Nivel de cobertura no excesivo (efecto pantalla)*





## Fósforo en maíz

Sin P

NS 11138 kg/ha

Con P

NPS 12073 kg/ha

*Perspectivas*

*Ensayo La Marta - CREA Sur de Santa Fe 2000/01 - Thomas et al. (2001)*

**Proyección de producción de cultivos de granos, y porcentaje de reposición y consumo de P para 2015 de la Fundación Producir Conservando (Oliverio y López, 2008) y proyección en base a dosis promedio**

Cultivo	Superficie ha	Producción ton	Base reposición		Base dosis promedio	
			Reposición %	Consumo miles ton	Dosis kg/ha	Consumo miles ton
Trigo	6.300.000	17.760.432	100	63	12	75.6
Maíz	6.100.000	37.687.603	98	97.6	15	91.5
Sorgo	700	3.487.959	91	10.5	15	10.5
Soja	19.100.000	55.092.779	96	286.5	15	286.5
Girasol	2.300.000	4.348.039	96	25.3	12	27.6
<b>Total</b>	<b>34.500.000</b>	<b>118.376.833</b>		<b>482.9</b>		<b>491.7</b>

*Garcia y Darwich, 2009*



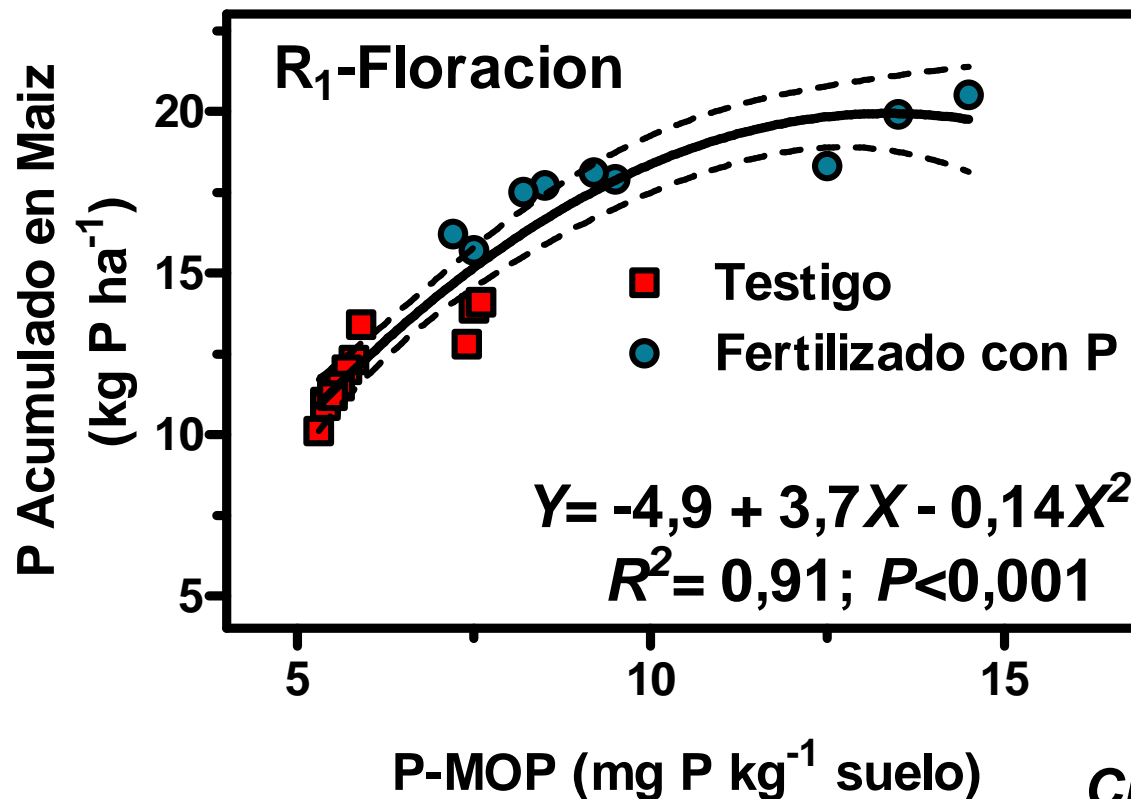
# Diagnóstico de la fertilidad

- Alternativas de extracción con otros extractantes (Mehlich 3), resinas (van Raij, 1998)
- Problemas de muestreo
- Efectos de estratificación
- Desarrollo de modelos mecanísticos
- Rol de la fracción orgánica de P



# P en materia orgánica particulada o joven

## *Futura línea de investigación*




*En promedio para suelos de la región pampeana norte, en los primeros 20 cm del perfil, con valores de 2.6% de MO podrían presentar 17 kg P orgánico potencialmente disponible para la nutrición del cultivo.*



# Estrategias de Manejo

- Reciclado: Estiércol, cama de pollo, biosólidos, compost
- Rol de micorrizas y otros microorganismos
- Fertilizantes de mayor eficiencia: polímeros, otros
- Aplicaciones en dosis variables



The background of the slide is a photograph of a rural landscape. In the foreground, there is a field of tall, dry grasses. In the middle ground, there is a dirt road and some green crops. In the background, there are trees and a building under a blue sky with some clouds.

“El país no tiene otra alternativa que practicar una agricultura basada en la ciencia y la tecnología, ya que poseer algunas de las mejores tierras agrícolas del mundo no es suficiente”

Informe “Las Ciencias Agropecuarias en la Argentina”  
R. Blake, E. Fereres, T. Henzell y W. Powell  
Fundación Antorchas, 2002

***Un desafío para toda la Sociedad***



**Muchas Gracias!**



**Presentación disponible en  
[WWW.IPNI.NET/LASC](http://WWW.IPNI.NET/LASC)**