IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

CREA

Curso FUNDACREA
Buenos Aires, 29 de Septiembre de 2009

El manejo de los nutrientes bases y herramientas

Fernando O. Garcia
IPNI Cono Sur
fgarcia@ipni.net
www.ipni.net/lasc

Temario

- Introducción
  - Mejores practicas de manejo de nutrientes y fertilizantes
  - Indices de eficiencia de uso de nutrientes
- Las bases y herramientas
  - Bases: Dinámica de nutrientes en los sistemas agrícolas: Nitrógeno, fósforo, azufre, otros
  - Herramientas: Dosis, fuente, forma y momento correctos
- Nutrición del sistema

Las Mejores Prácticas de Manejo de Fertilizantes (MPMF)

Bruulsema et al., 2008

Principios científicos *específicos fundamentan las MPM de cultivos y uso de fertilizantes*

- *Los principios científicos son globales y aplicables al nivel práctico de manejo en el campo*
- *Su aplicación depende del sistema específico de cultivo que se encuentre bajo consideración*
- *Algunos ejemplos de principios científicos:*
  - *Ser consistentes con los mecanismos de los procesos conocidos*
  - *Utilizar métodos adecuados para evaluar la disponibilidad de nutrientes en suelo*
  - *Evaluar la demanda de nutrientes de la planta*
  - *Reconocer el momento en que los factores climáticos influencian la pérdida de nutrientes*

IPNI

Índices agronómicos para la eficiencia de uso de nutrientes

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

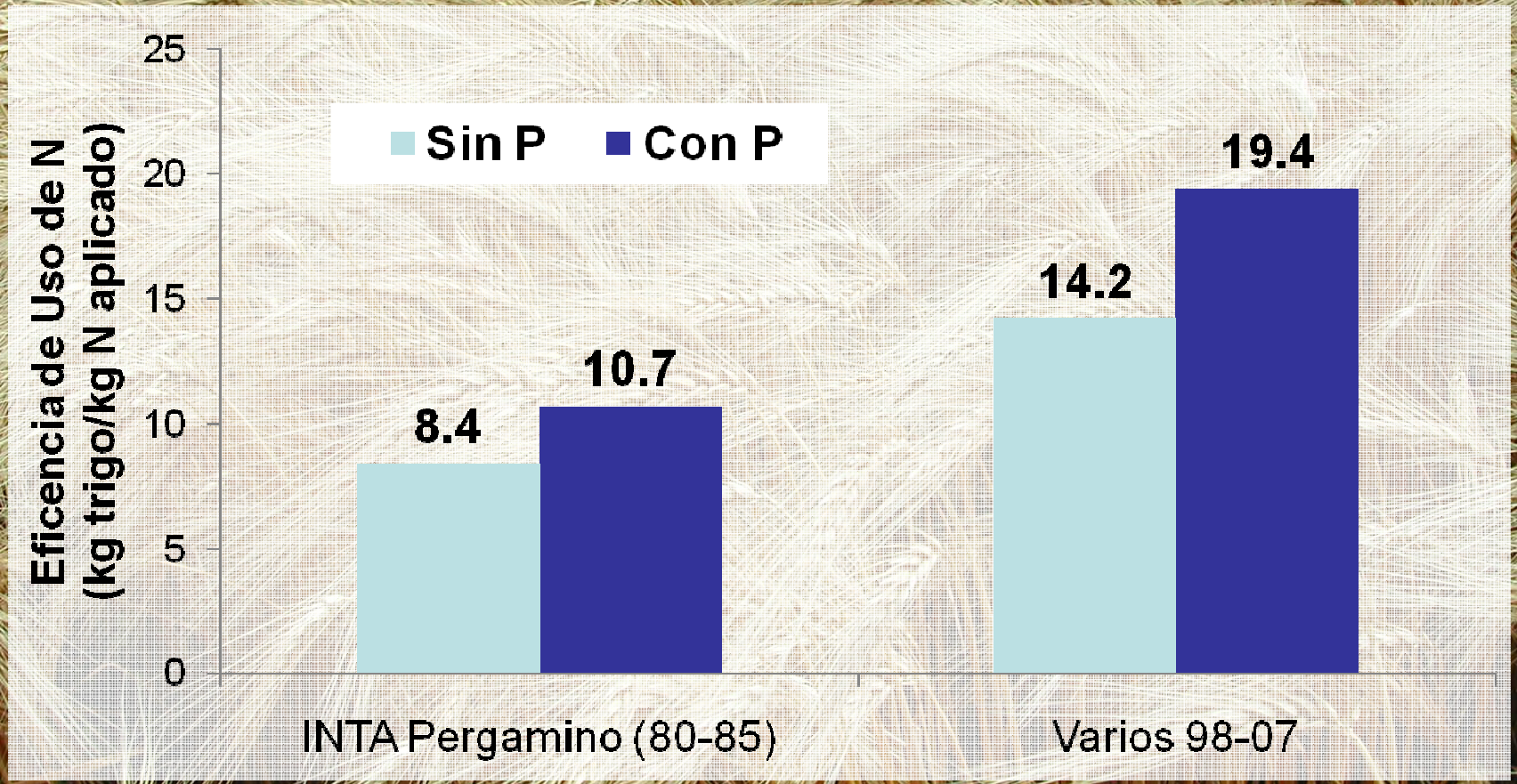
Cultivo	BPN		PPF	
	kg N removido / kg N aplicado	kg P removido / kg P aplicado	kg grano / kg N aplicado	kg grano / kg P aplicado
Maíz	1.1	0.8	87	296
Trigo	0.9	0.6	48	174
Soja	-	5.5	-	1011
Girasol	1.5	1.2	69	201

Indicadores de eficiencia de uso de N en trigo y maíz en Argentina
Ejemplo de ensayos

Indicador	Maíz (Rillo y Richmond, 2006 - INTA 9 de Julio)	Trigo (Garcia y Fabrizzi, 1998 – INTA/FCA Balcarce)
Eficiencia agronómica (Respuesta / N aplicado)	28-32	23-44
Eficiencia de recuperación (N absorbido / N aplicado)	0.70-0.80	0.62-0.85
Productividad parcial de N (Rendimiento / N aplicado)	65-91	38-91
Balance parcial de N (N extraído / N aplicado	0.9-1.2	0.70-1.33

Trigo: Eficiencia de uso de N sin y con aplicación de P

Compilado de Senigagliesi et al. (1987) y varios autores (1998-2007)



- ***Evaluar disponibilidad de todos los nutrientes deficientes en el sistema***
- ***Existen efectos de interacción y adición entre nutrientes***

Eficiencia de uso y consumo de agua en maíz bajo diferentes tratamientos de fertilización

Don Osvaldo 2005/06, G. Beltramo y col. (AAPRESID)

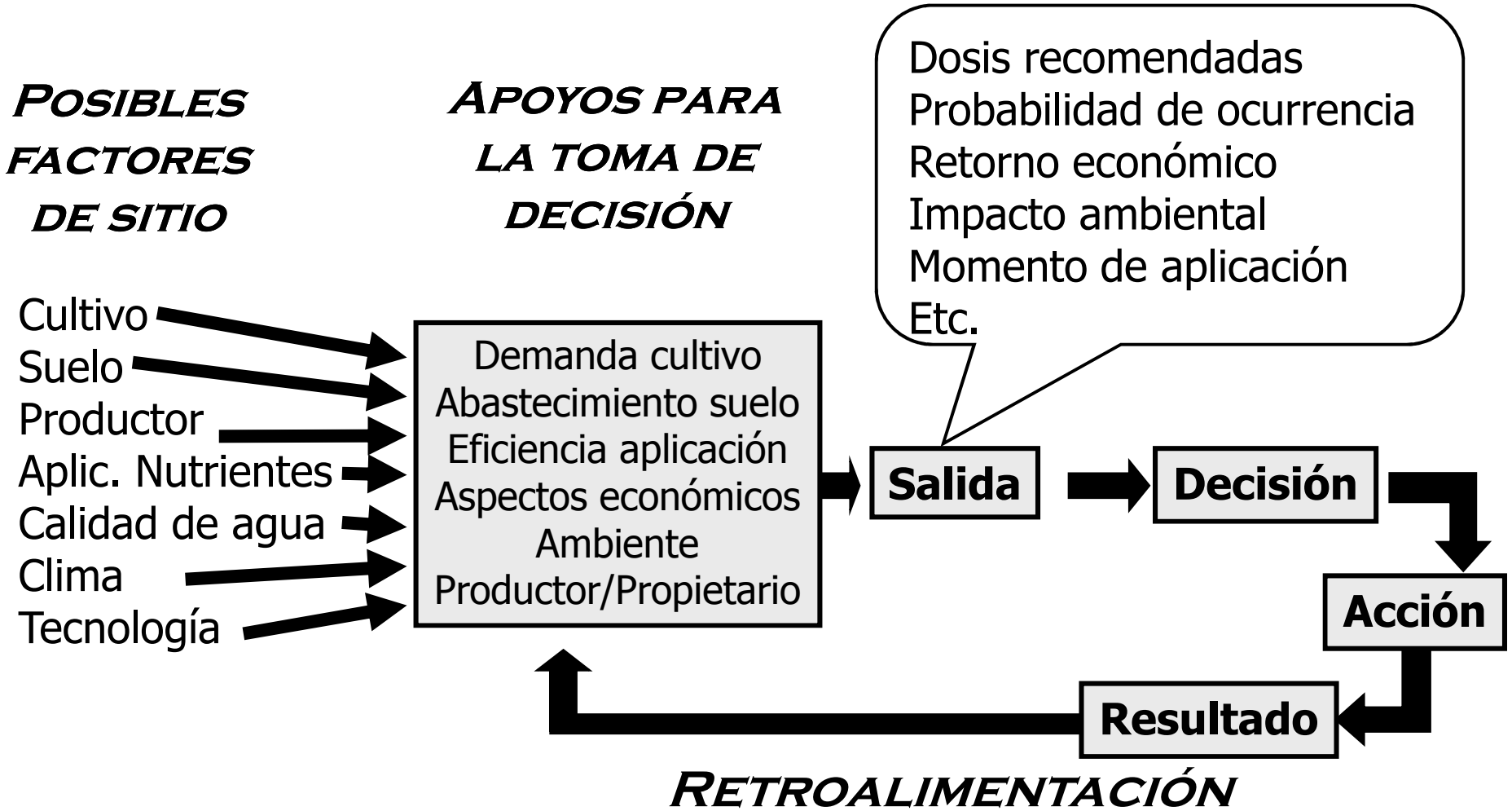
Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	EUA (kg/mm)	Consumo (mm)	Agua a Madurez (mm)
Testigo	4088	8.9	461	51
NP suficiencia	5211	11.4	452	88
NPS suficiencia	9334	19.6	475	39
NPS reposición	10901	21.9	498	40

Precipitaciones siembra a madurez 386 mm

Las Mejores Prácticas de Manejo de Fertilizantes (MPMF)

- Las MPM en el uso de fertilizantes (dosis, fuente, momento y ubicación) interactúan entre ellas, con las condiciones edafo-climáticas y las otras prácticas de manejo de suelo y de cultivo.
- La combinación adecuada de dosis-fuente-momento-ubicación es específica para cada condición de lote y/o sitio.
- Las MPM no solo afectan al cultivo inmediato, sino frecuentemente a los cultivos subsiguientes en la rotación.
- Las decisiones de implementación de las MPM de fertilizantes impactan la productividad y sustentabilidad del suelo, un recurso finito no renovable sobre el que se basa la producción agropecuaria nacional.
- Las interacciones entre los nutrientes son muy importantes debido a que la deficiencia de uno puede restringir la absorción y la utilización de otros: Importancia de la nutrición balanceada de los suelos y los cultivos.

Toma de decisiones en el manejo de nutrientes



Fixen, 2005

Trigo/Soja
Requerimientos Nutricionales

Nutriente	Trigo 5000 kg/ha		Soja 3000 kg/ha		Trigo + Soja	
	Necesidad	Extracción	Necesidad	Extracción	**Necesidad**	**Extracción**
	---------- *kg/ha* ----------					
N	**132**	**93**	**199**	**145**	**331**	**238**
P	**22**	**17**	**19**	**16**	**41**	**33**
S	**22**	**7**	**11**	**7**	**33**	**14**

Requerimientos expresados a humedad de recibo de granos (Trigo 13.5% y Soja 13%)

- ***La fijación simbiótica de N aporta gran parte del N para el cultivo de soja***

Alimentando 10000 kg de maíz

193 kg N
132 kg en grano

35 kg P
27 kg en grano

35 kg S
12 kg en grano

167 kg K
35 kg en grano

180 g B
3900 g Cl
110 g Cu
1100 g Fe
1660 g Mn
460 g Zn

26 kg Ca – 2 kg en grano
26 kg Mg – 14 kg en grano

Diagnóstico de la fertilidad para trigo/soja

Estado de desarrollo del cultivo de trigo

Pre-Siembra

Siembra

Macollaje

Floración

Llenado de granos

Cosecha

Planteo de balances de N
Modelos de simulación para N

Análisis de Suelo

- **P (0-20 cm)**
- **N-nitratos (0-60 cm)**
- **S-sulfatos (0-20 cm)**
- **Otros nutrientes: Mg, B, Cu, Zn (0-20 cm)**

Sensores remotos, Indice de verdor (Minolta SPAD 502)

Nitratos en savia de base de tallos

Análisis de hoja bandera

Concentración de nutrientes en grano

García y Berardo, 2005

IPNI

Diagnóstico de la fertilidad para maíz

Análisis de Suelo

- P (0-20 cm)
- N-nitratos (0-60 cm)
- S-sulfatos (0-20 cm)
- Otros nutrientes: Mg, B, Cu, Zn (0-20 cm)

Estado de desarrollo del cultivo

Pre-Siembra

Siembra

5-6 hojas

8-10 hojas

Floración

Madurez Fisiológica

Cosecha

Balances de N
Modelos de simulación

N-nitratos en suelo (0-30 cm)

Nitratos en savia de base de tallos

Análisis hoja de la espiga o inferior para concentración total de nutrientes

Indice de verdor (Minolta SPAD 502)

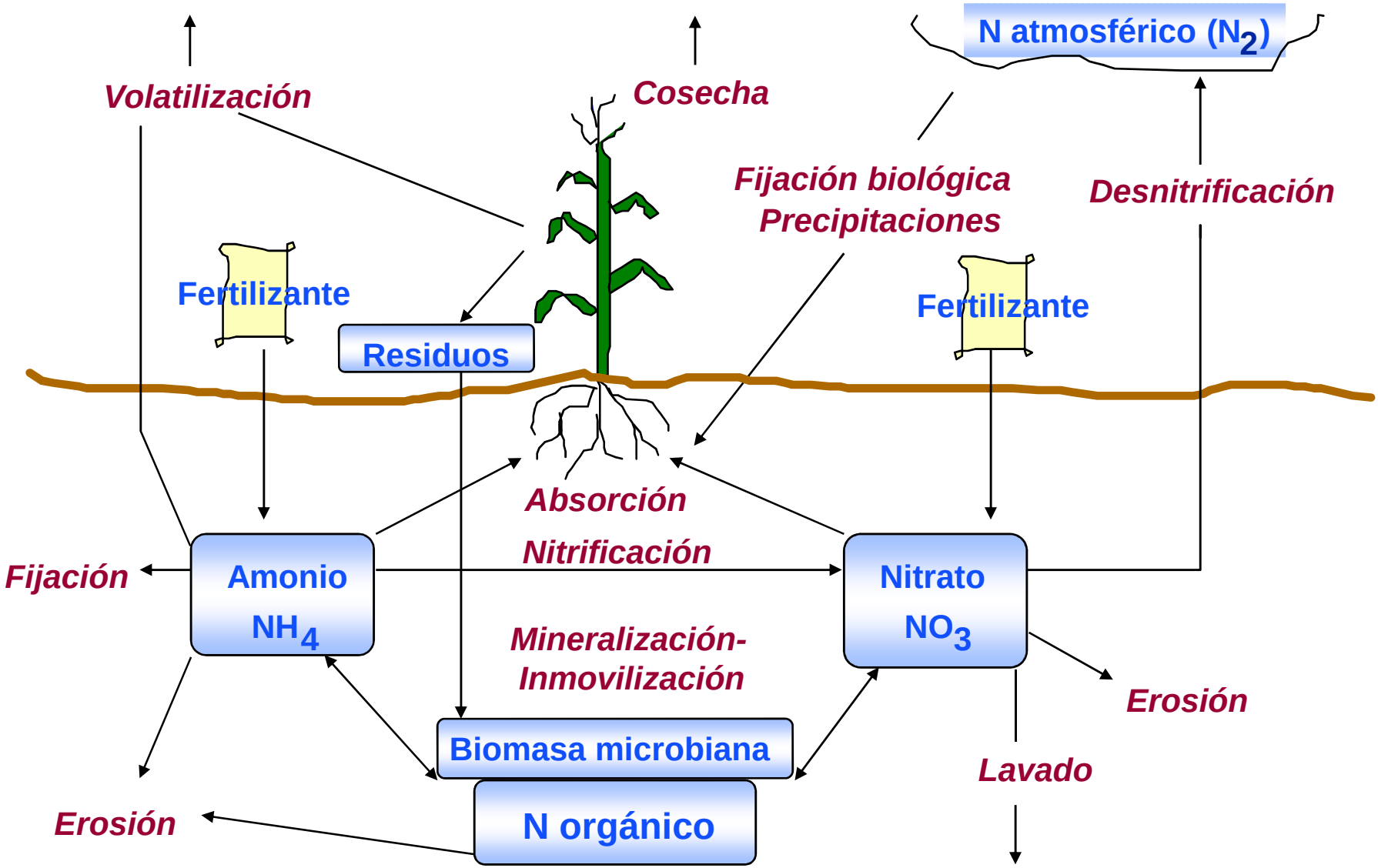
Sensores remotos

Nitratos en base de tallos

Concentración de nutrientes en grano

IPNI

Ciclo del N en ecosistemas agrícolas



Principales destinos del N de fertilizante en la región pampeana, expresados en porcentaje del N aplicado a cultivos de maíz y trigo

Destino	Rango	Referencias
Planta	35 al 80%	Melaj et al. 2003; Portela et al. 2006; Rillo y Richmond 2006; Rimski-Korsakov et al. 2008
Materia orgánica	7 al 29%	Sainz Rozas et al. 2004; Portela et al. 2006 ; Rimski-Korsakov et al. 2008;
Volatilización	1.1 al 30%	Videla et al., 1996; Garcia et al. 1999; Sainz Rozas et al. 2004; Rimski-Korsakov et al. 2007a
Denitrificación	0.13 al 6.9%	Palma et al. 1997; Picone et al. 1997; Sainz Rosas et al. 2001; Ciampitti et al. 2008
Lixiviación	<0.01 al 23%	Sainz Rozas, et al. 2004; Portela et al. 2006 ; Aparicio et al. 2008

Recomendación de fertilización nitrogenada a partir del balance de nitrógeno

(N fert * Ef) = (Ncult) - (N siembra* Es) + (Nmin* Em)

- ***N fert = N del fertilizante***
- ***Ncult = Rendimiento * Requerimiento de N del cultivo por tonelada de grano producido***
- ***N siembra = N disponible por muestreo (preferentemente hasta 60 cm)***
- ***N min = N mineralizado durante el ciclo del cultivo***
- ***Es, Em, Ef = Eficiencia de uso del N disponible a la siembra, del N mineralizado y del N del fertilizante.***

Rangos de eficiencias

Es 0.4-0.7

Em 0.7-0.9

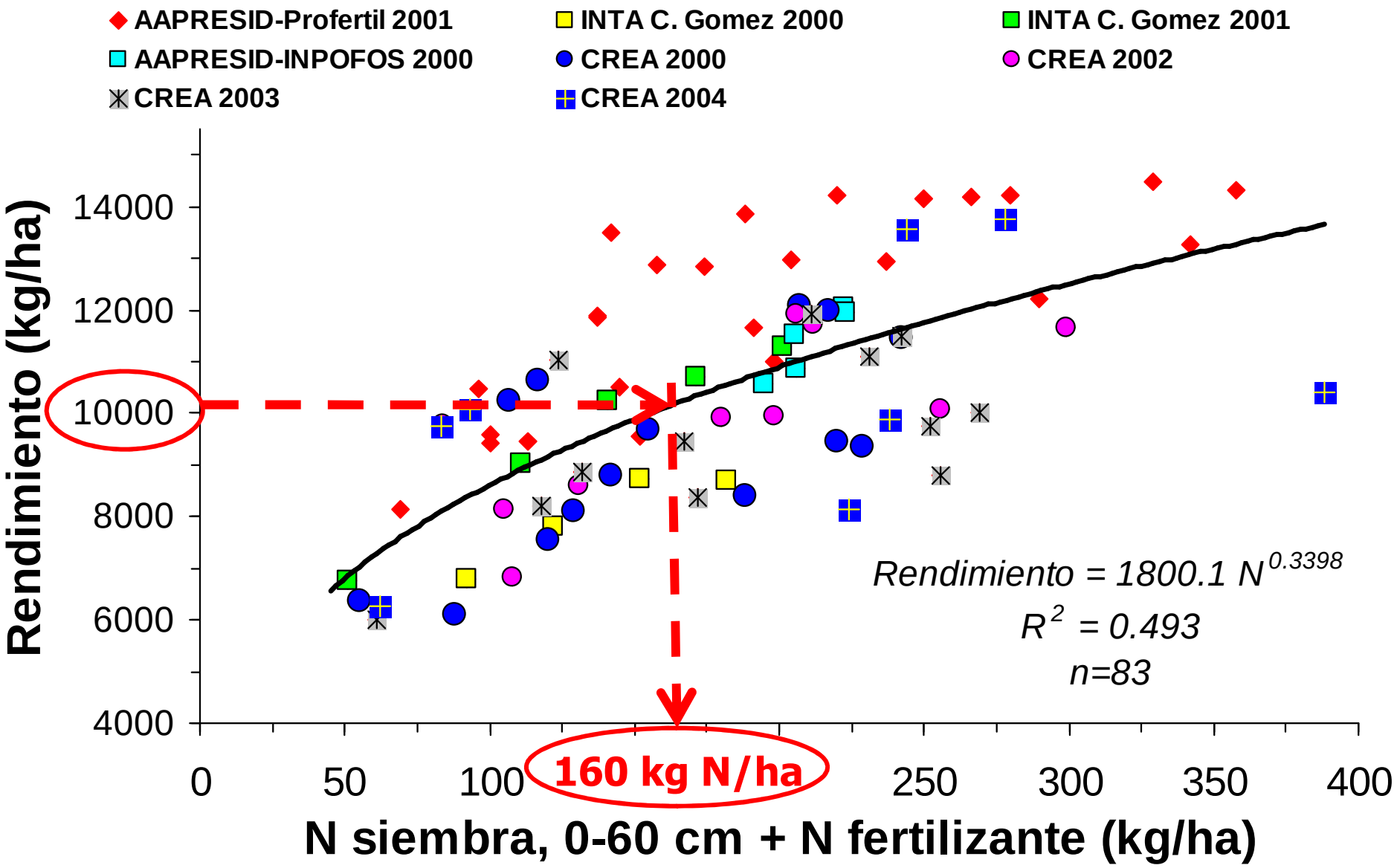
Ef 0.4-0.8

Análisis de nitratos en el suelo pre-siembra

- ***Se muestrea el suelo, en general hasta 60 cm, y se analiza el contenido de N-nitratos***
- ***La dosis a aplicar se estima descontándole el valor del contenido de N-nitratos a un valor crítico de disponibilidad de N en suelo a la siembra***
- ***El valor crítico varía según el potencial de rendimiento de trigo en el área***

Area	Valor crítico de N a pre-siembra	Rendimiento Objetivo	Fuente
	kg/ha a 0-60 cm	kg/ha	
Sudeste de Buenos Aires	125	3000-3500	González Montaner et al (1991)
Serrana de Buenos Aires	110	4000-4500	García et al. (1998)
Oeste de Buenos Aires	90	3000	González Montaner et al.
Centro-Sur de Santa Fe	70	2500	González Montaner et al.
Norte de Buenos Aires	100-140	3500-4000	Satorre et al.
Sur de Santa Fe y Córdoba	100-150	3200-4400	Blanco et al. (2004)

N disponible a la siembra y Rendimiento de Maíz



Cuanto N debo aplicar en un maíz de rendimiento objetivo 10000 kg/ha

- Análisis de suelo

N-NO3
0-20 cm 18 ppm – 20-40 cm 8 ppm – 40-60 cm 5 ppm

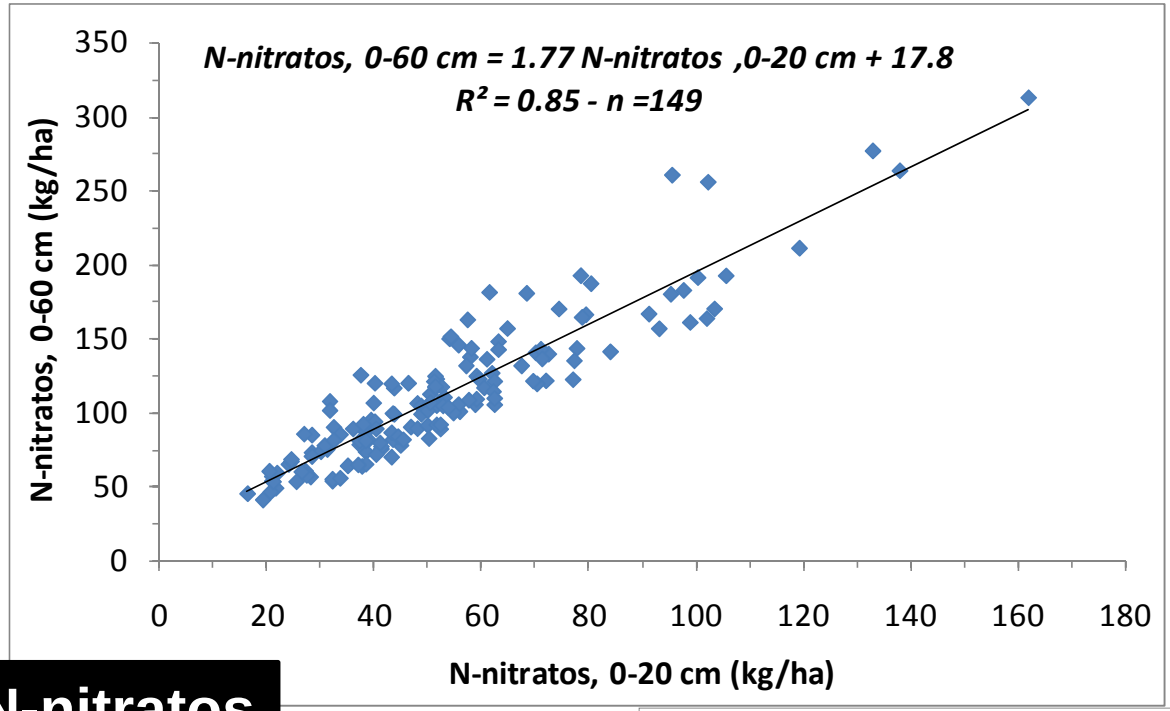
N-NO3
0-20 cm 40 kg/ha – 20-40 cm 18 kg/ha– 40-60 cm 12 kg/ha
Total 70 kg/ha

Objetivo 160 kg/ha – Análisis 70 kg/ha = 90 kg/ha N fertilizante

Rendimiento fertilizado 10000 kg/ha - Sin fertilizar 7700 kg/ha
2300 kg/ha → U$230 (Maíz a U$100/ton)
Costo → U$88 (Urea de U$450/ton)
Beneficio de U$142

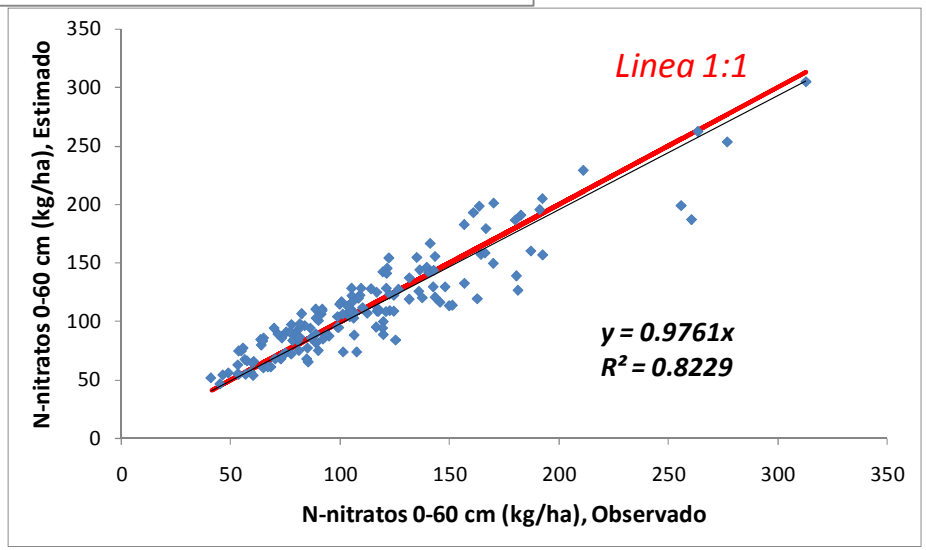
Relación N-nitratos a 0-20 cm y N-nitratos a 0-60 cm

Siembra Maíz – Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe



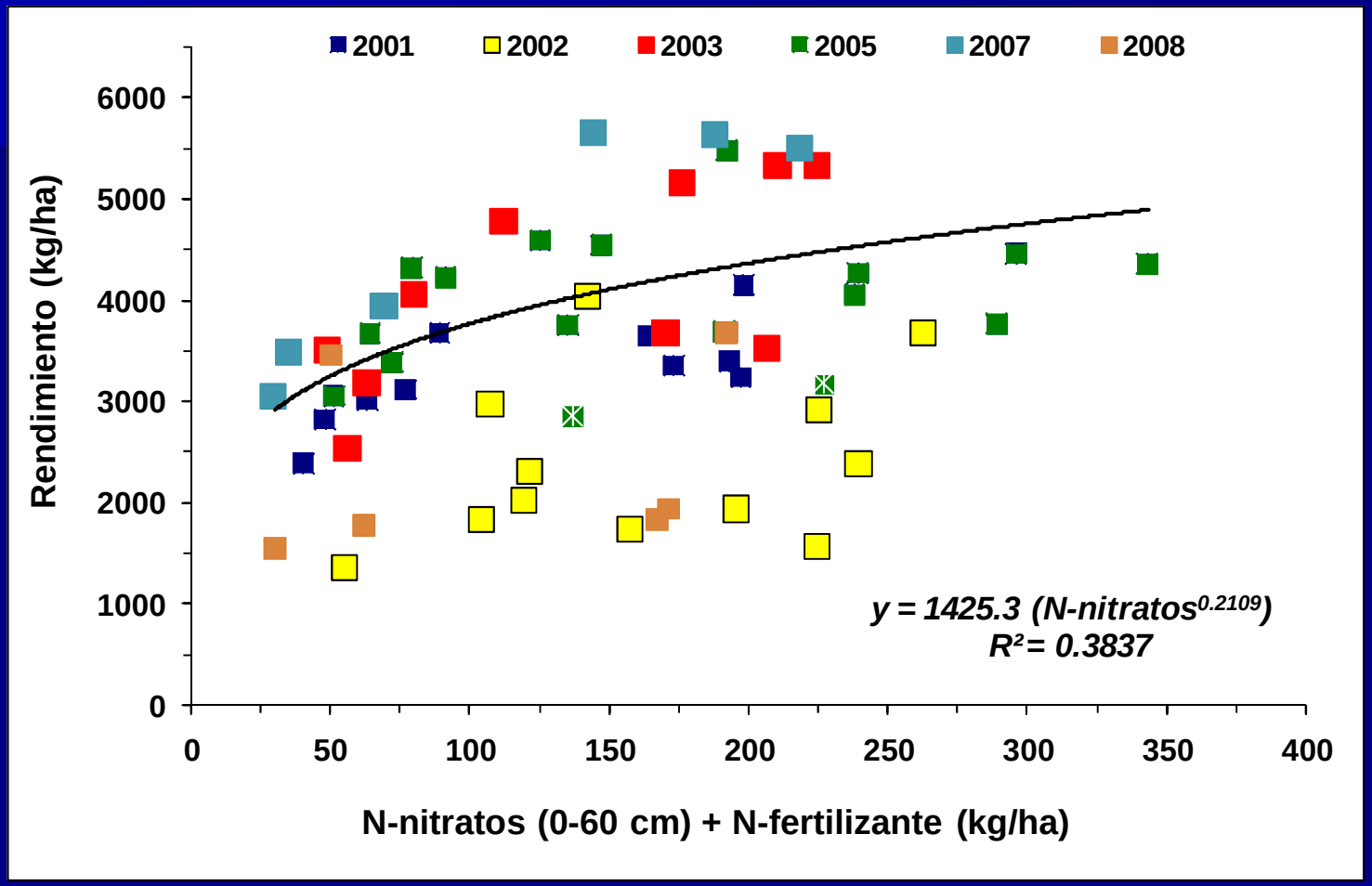
N-nitratos

ppm, 0-20 cm	kg/ha, 0-20 cm	kg/ha, 0-60 cm
10	24	60
20	48	103
30	72	145
40	96	188



Trigo: Red CREA Sur de Santa Fe

28 sitios en cinco campañas - 2001/02 a 2008/09



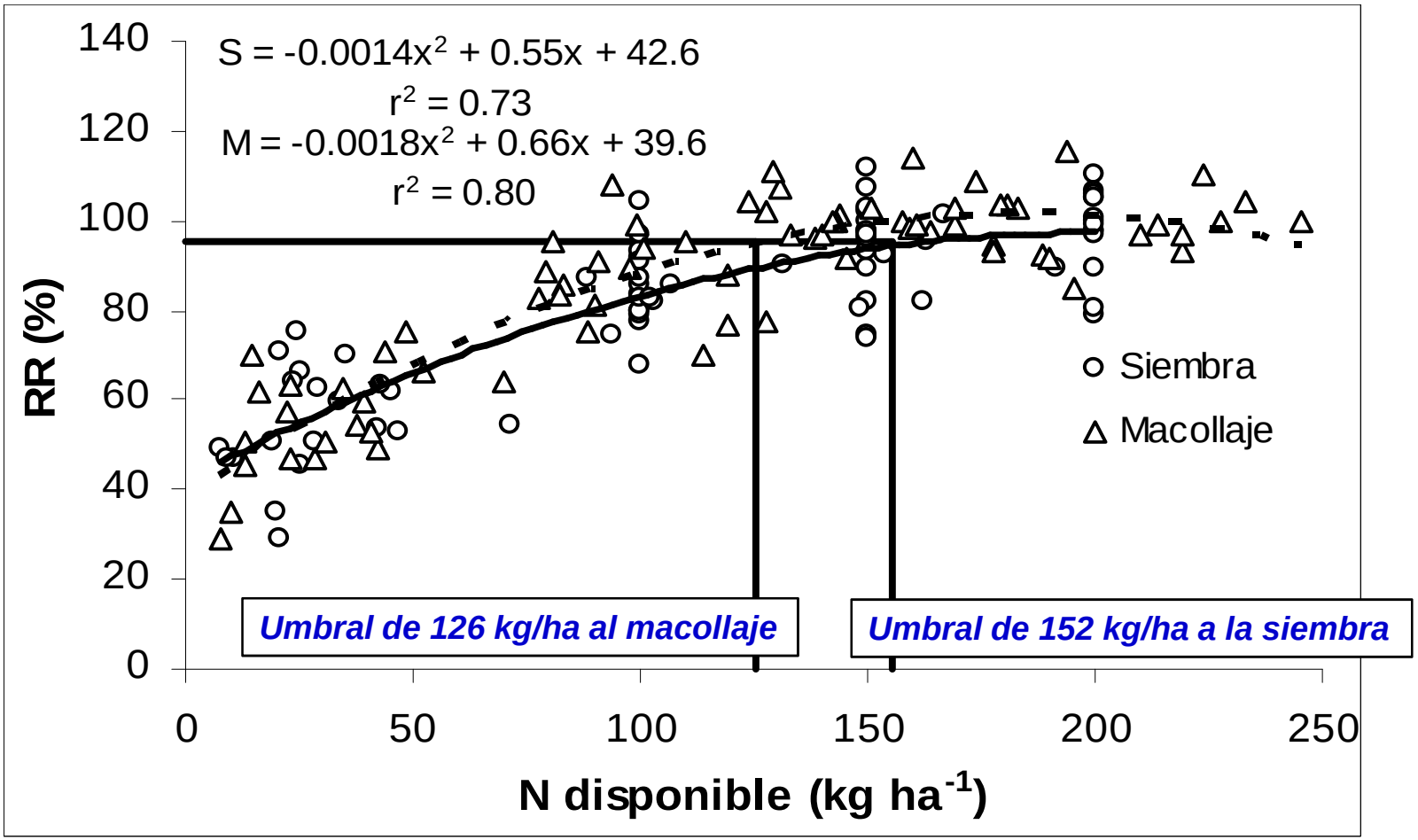
- *Ajuste sin datos 2002/03 , Santo Domingo 2005/06 y Lambare y La Hansa 2008/09*
- *Rendimientos de 4000 kg/ha con 130-140 kg de N disponible*

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

Diagnostico de fertilización nitrogenada de trigo en el sudeste bonaerense

Diez ensayos 2002/03 a 2005/06

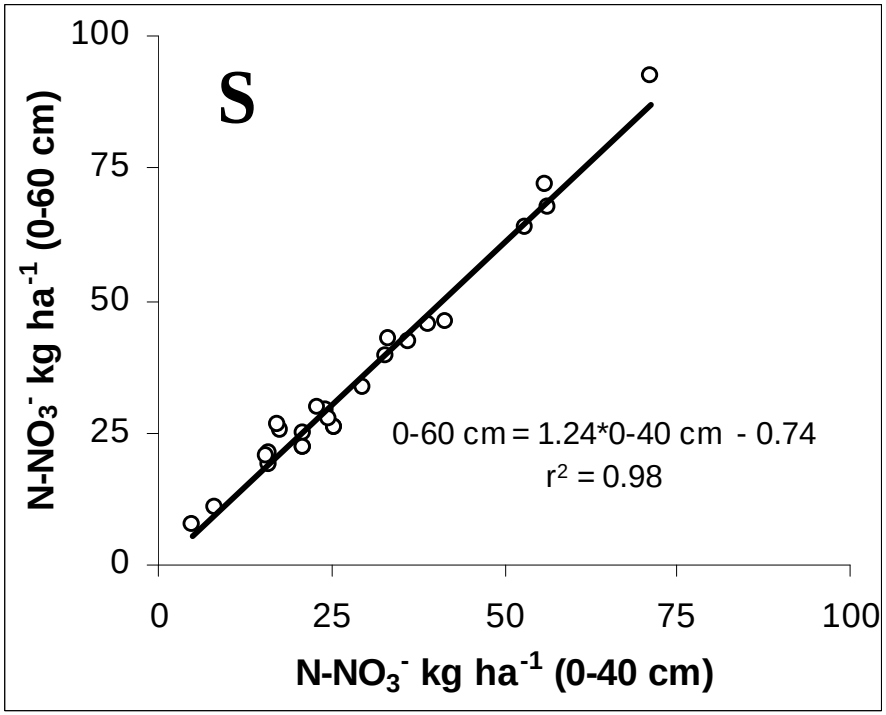
EEA INTA-FCA Balcarce – Barbieri et al. (2008)

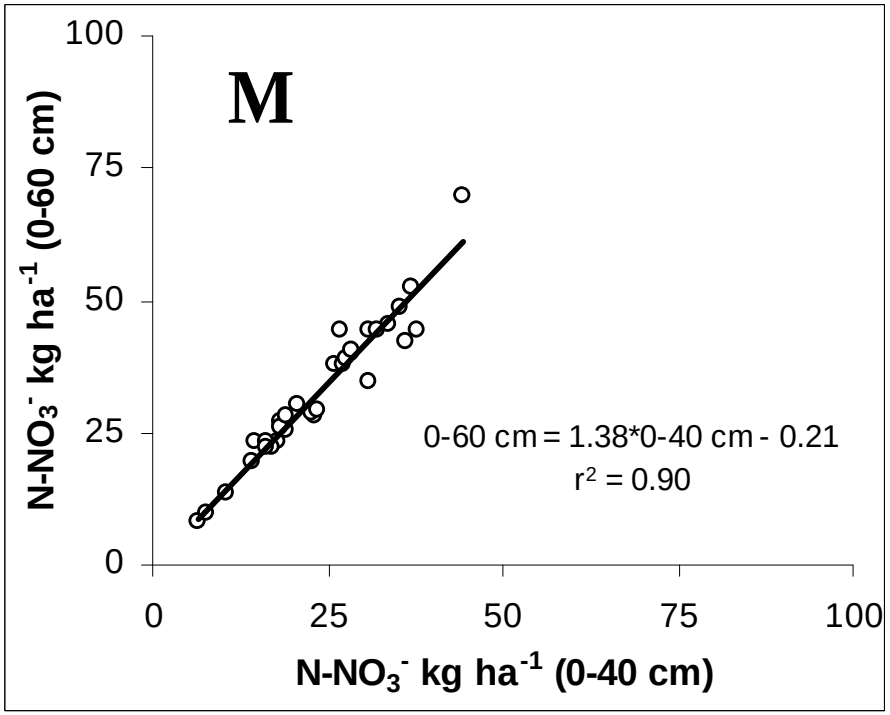


Rendimientos relativos del 95% para niveles promedio de 5000-5500 kg/ha

Relación entre N-nitratos a 0-60 cm y 0-40 cm a la siembra (S) y macollaje (M) de trigo en el sudeste bonaerense

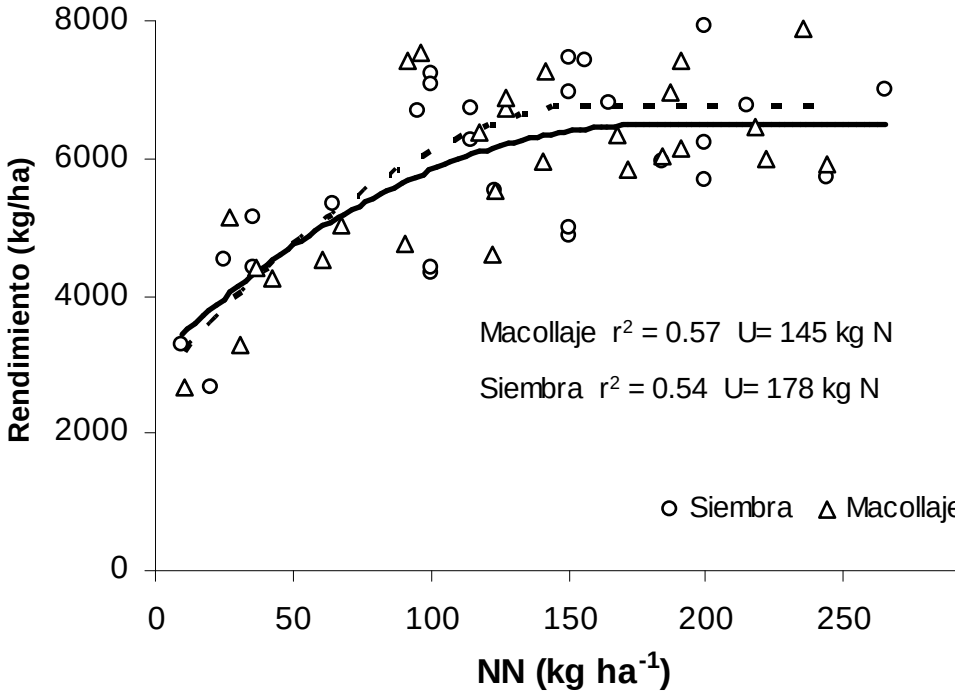
EEA INTA-FCA Balcarce – Barbieri et al. (2008)

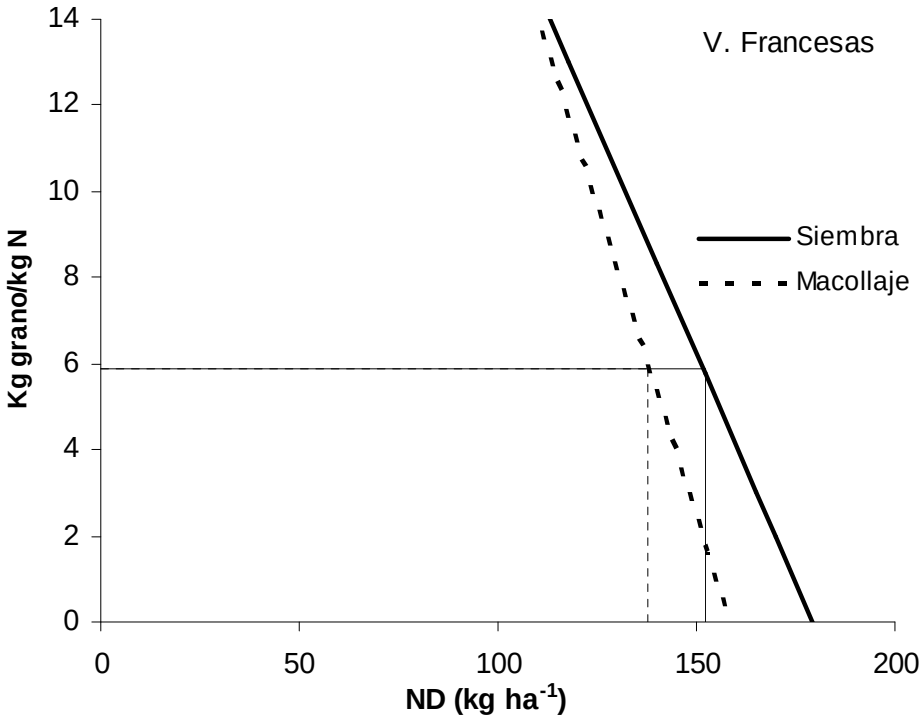




Los umbrales serian de 110 y 102 kg/ha de N-nitratos a la siembra y al macollaje si se muestrea a 0-40 cm de profundidad

Diagnostico de fertilización nitrogenada de trigo en el sudeste bonaerense





Variedad francesa

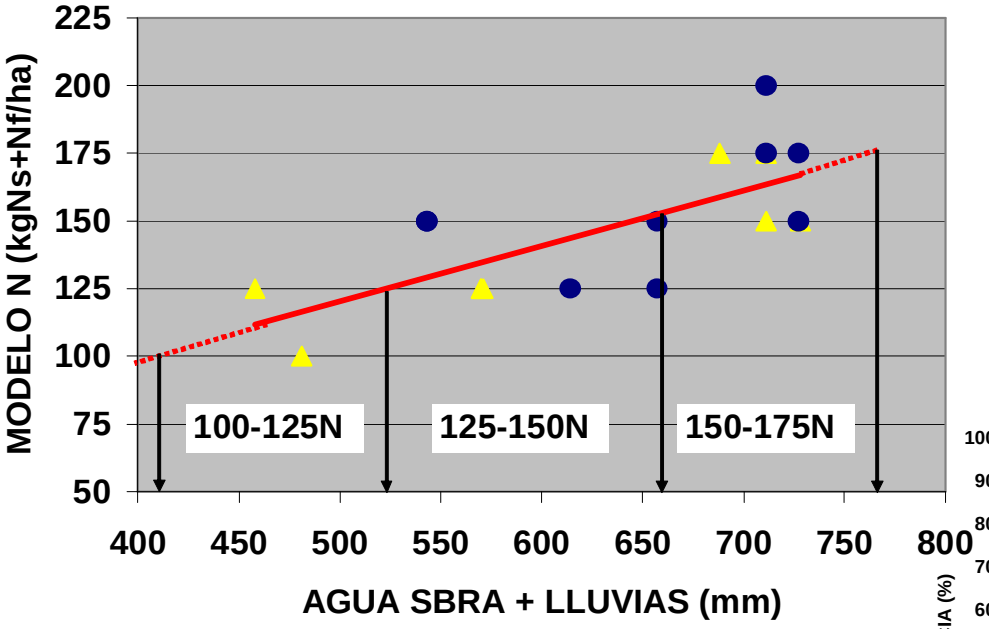
Alto rendimiento

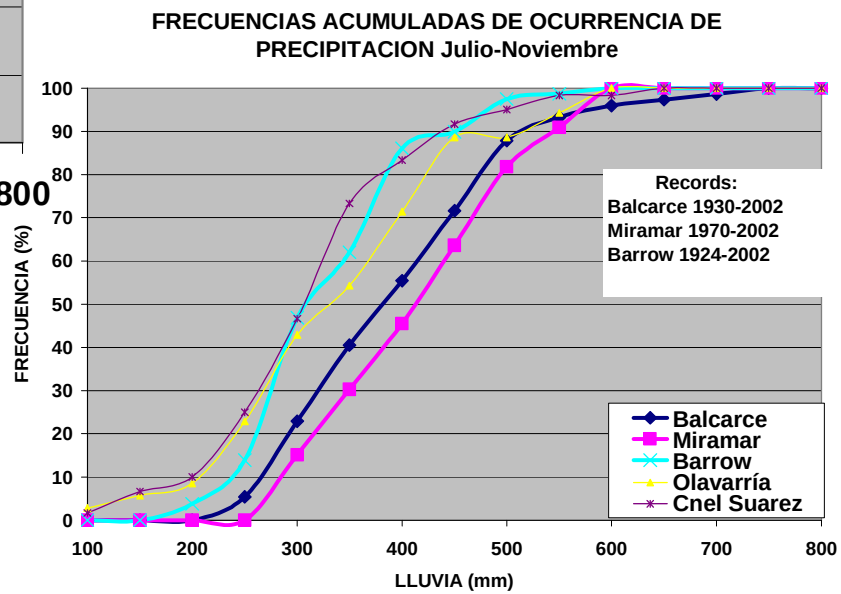
Barbieri et al., 2009
EEA INTA-FCA Balcarce

Modelos N siembra de acuerdo a profundidad de suelos (agua almacenada) y probabilidad de lluvias

Fuente: J. González Montaner y col. (2009)

MODELO N OPTIMO Y AGUA A LA SIEMBRA MAS LLUVIAS JUNIO A NOVIEMBRE. Cacho Rita y Colinas de la Galia 2001 a 2005. Variedades

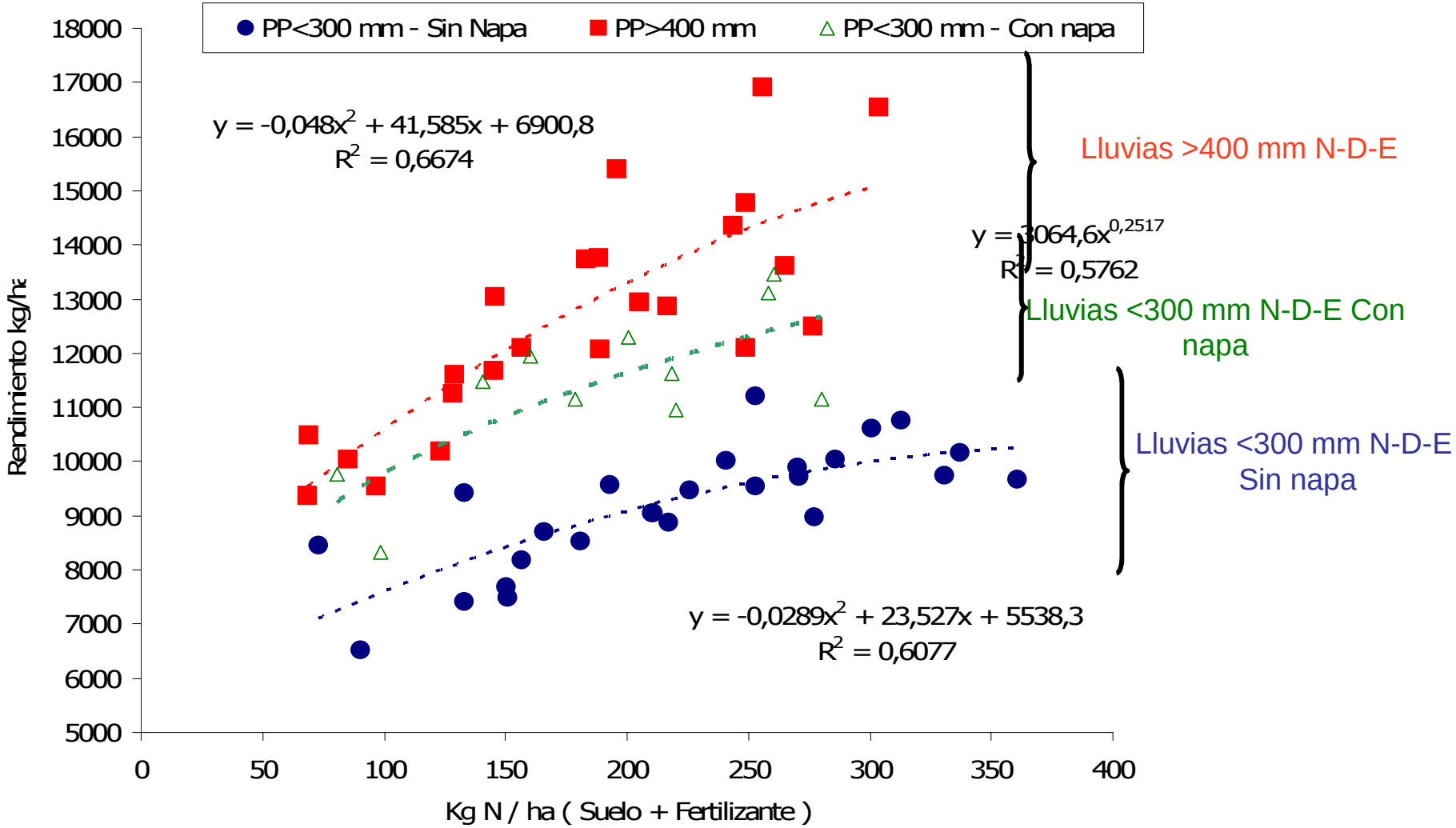




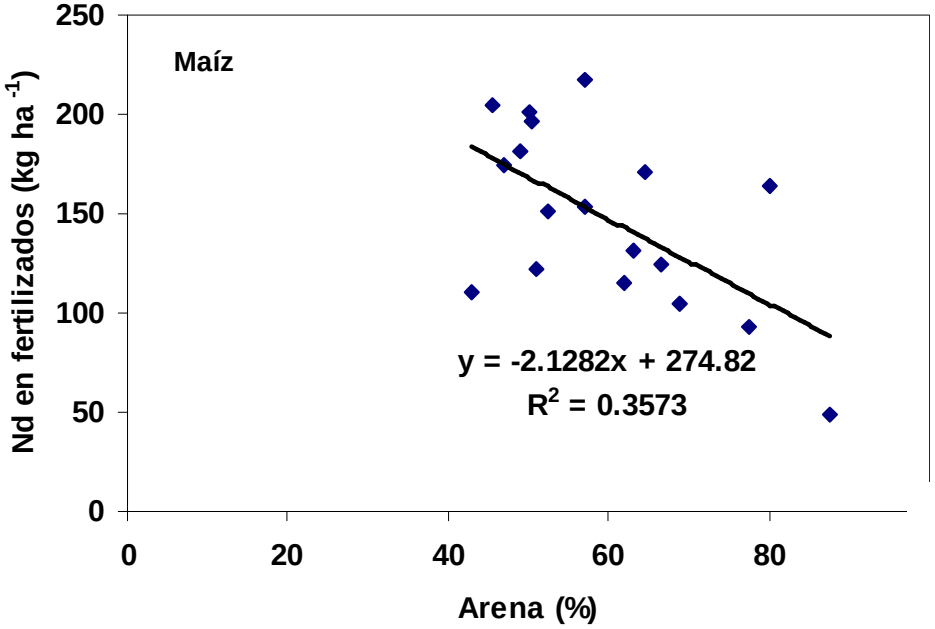
CREA Monte Maíz y Monte Buey-Inriville

Campañas 2003/04, 2004/05 y 2005-06

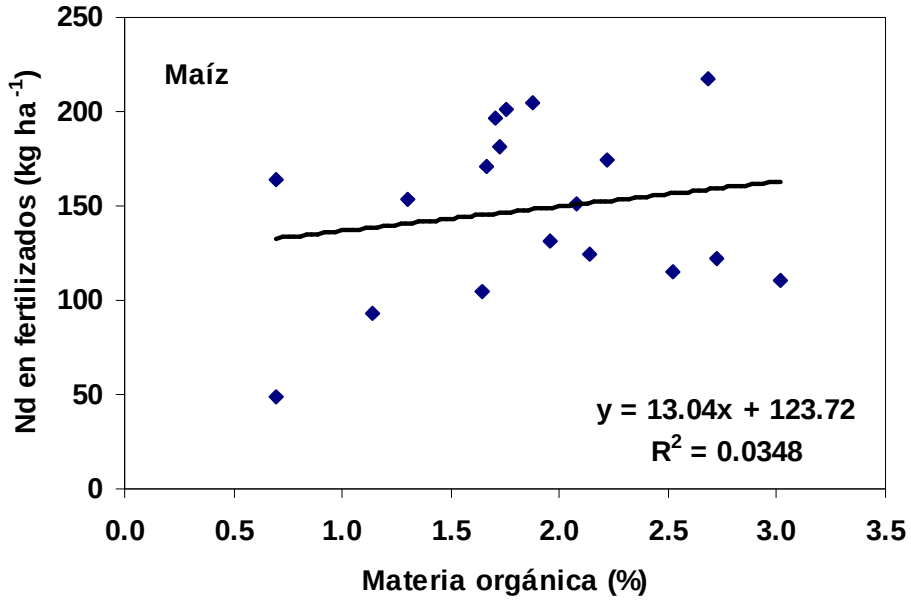
Respuesta de **N** en Maíz dependiendo lluvias en el periodo critico



Maíz. Fertilización con N: niveles críticos según indicadores de sitio en la región oeste pampeana

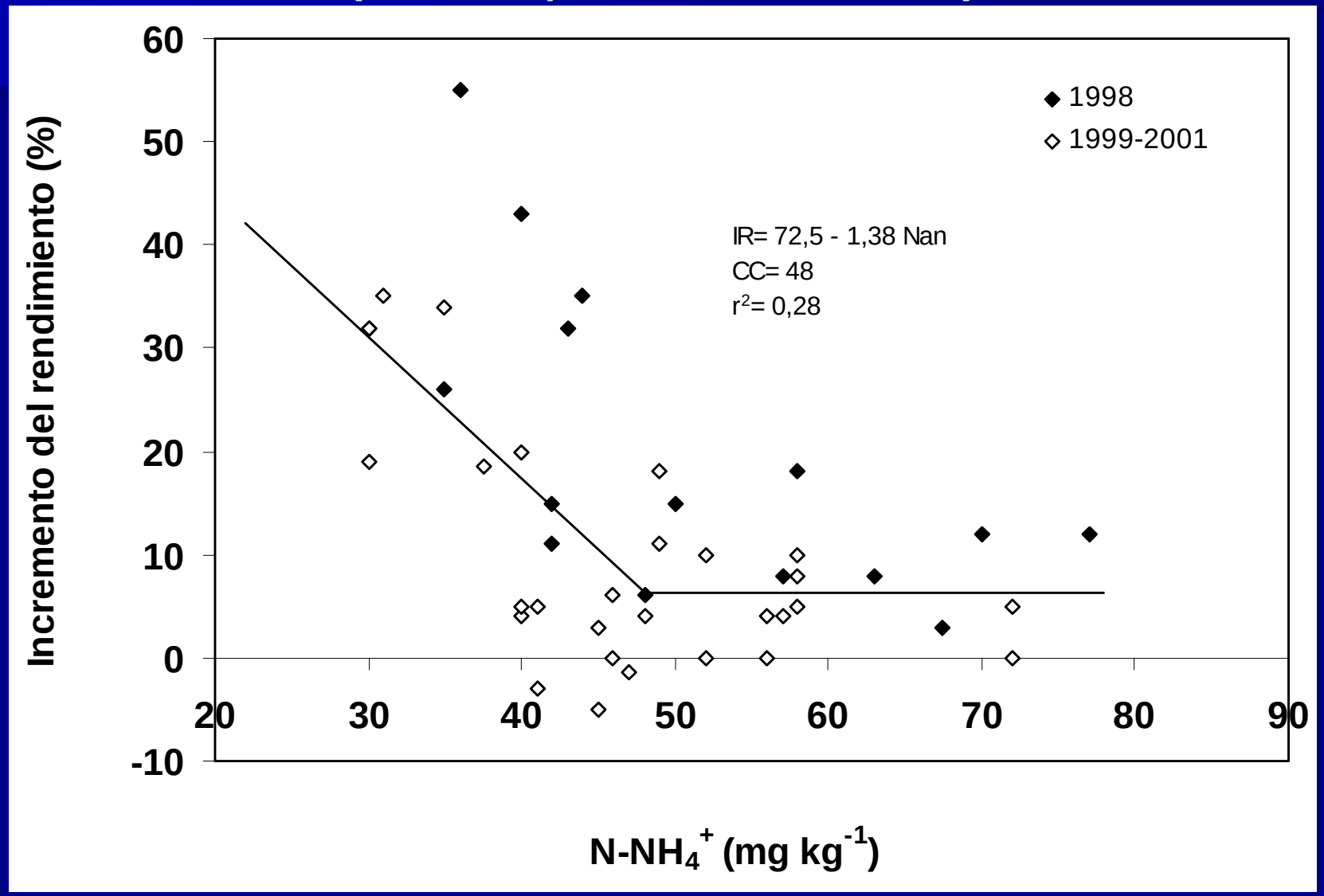


Díaz Zorita (2009)



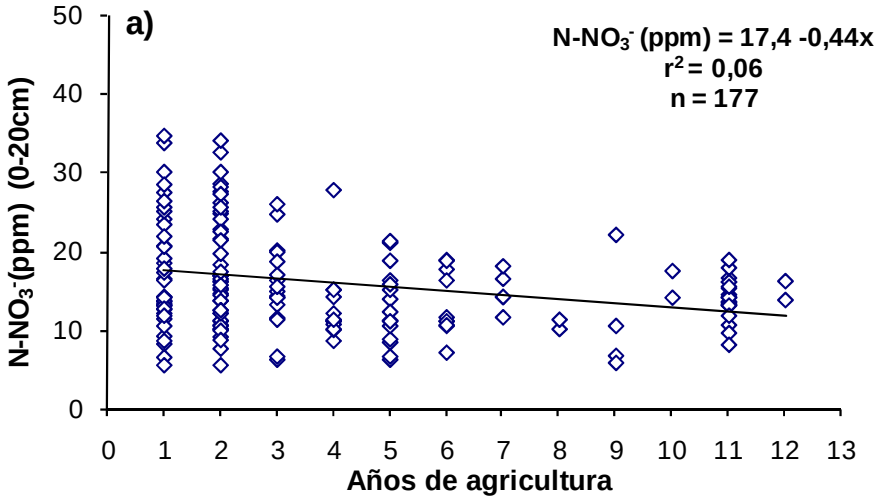
Maíz: Respuesta a N en función del N-amonio acumulado por incubación anaeróbica

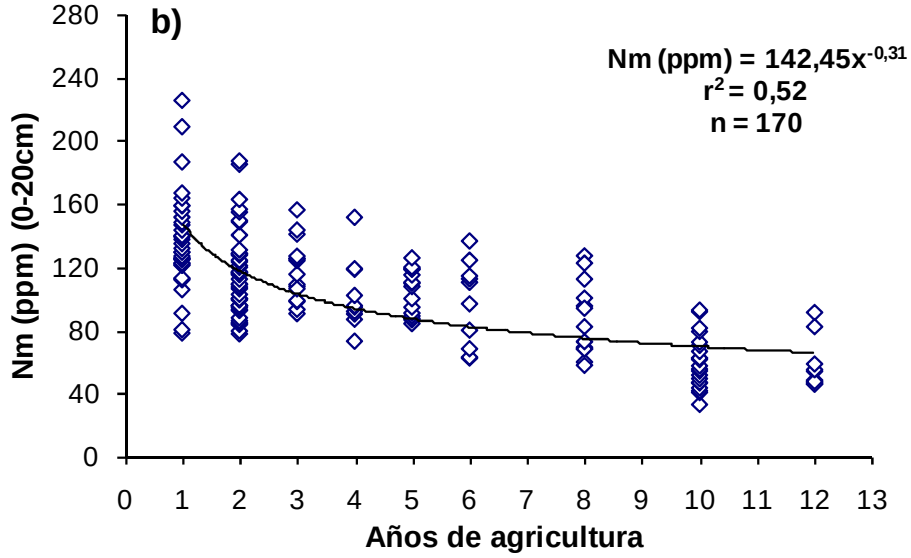
(Calviño y Echeverría, 2003)

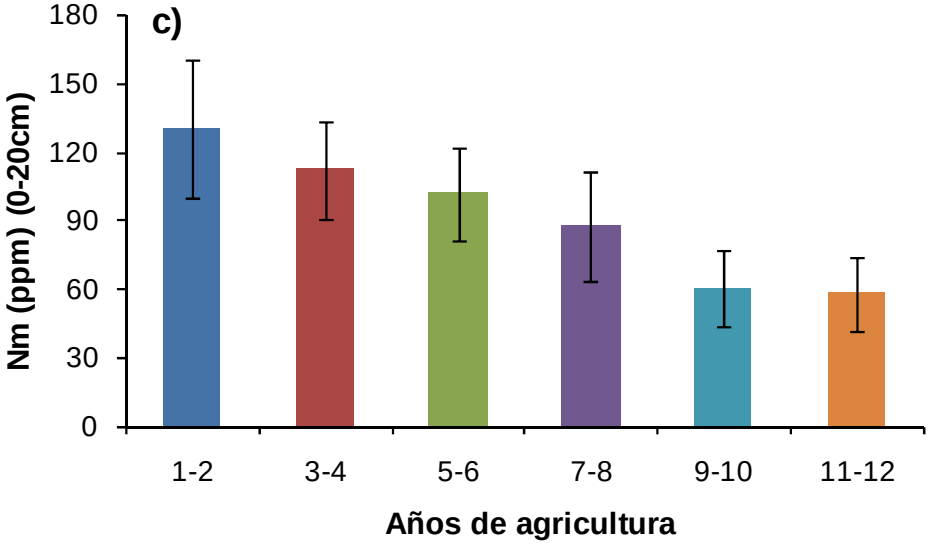


Nitrógeno anaeróbico potencialmente mineralizable: ¿Una nueva herramienta para mejorar el manejo de la fertilización nitrogenada?

Diosalvi y Berardo (2009) – Fertilab

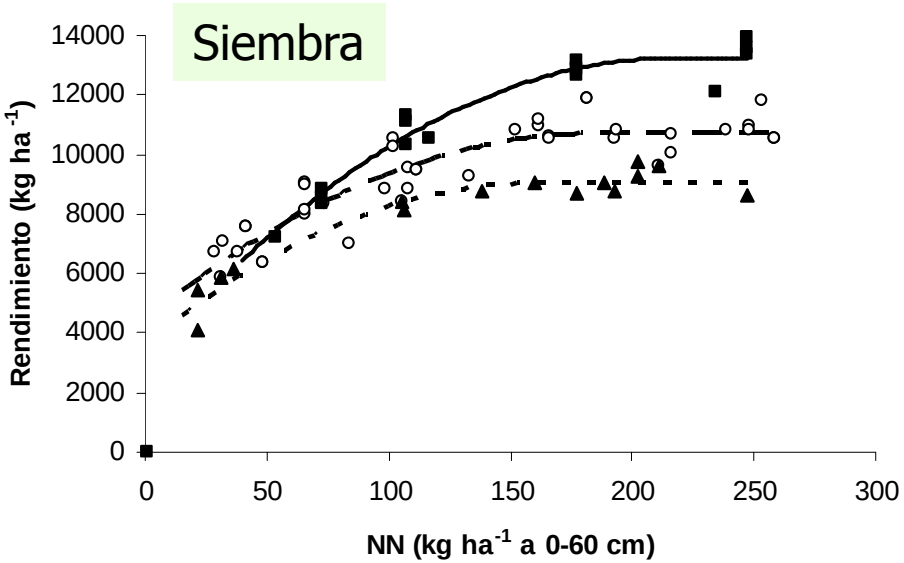


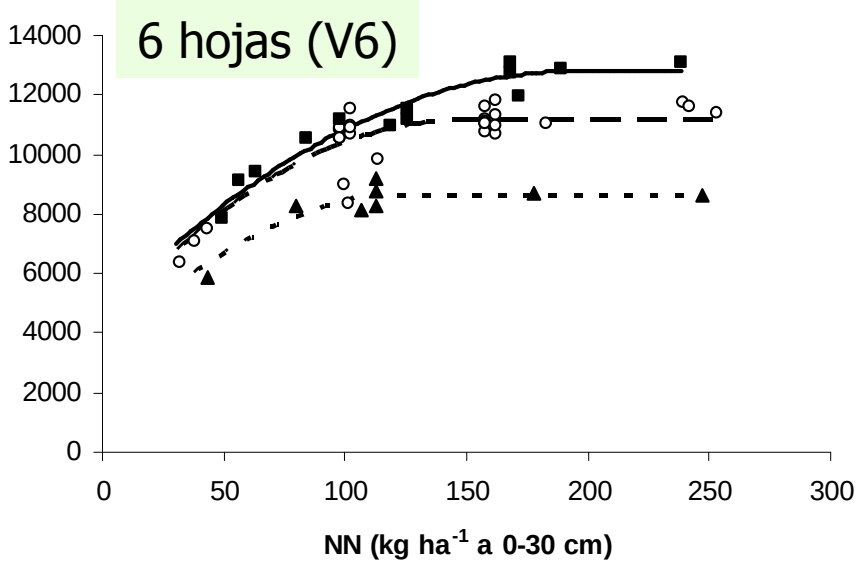




N disponible a la siembra y en V6 y rendimiento de maíz

Pagani et al. (2008) – EEA INTA/FCA Balcarce





Condición	Siembra (0-60 cm)		V6 (0-30 cm)	
	N optimo (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	N optimo (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)
Favorable	209	13239	198	12825
Promedio	194	10713	145	11163
Poco favorable	160	9021	113	8664

Maíz: Dosis de N a aplicar según análisis de nitratos al estado V5-6

Dosis de N (kg/ha) = (NC – CS) x F

NC = nivel crítico (20-25 ppm N-NO_3^-)

CS = concentración de N-NO_3^- en el suelo (ppm)

F = factor de conversión ≈ 8-13 kg N/ha por ppm N-NO_3^- en el suelo

<u>Ejemplo</u>

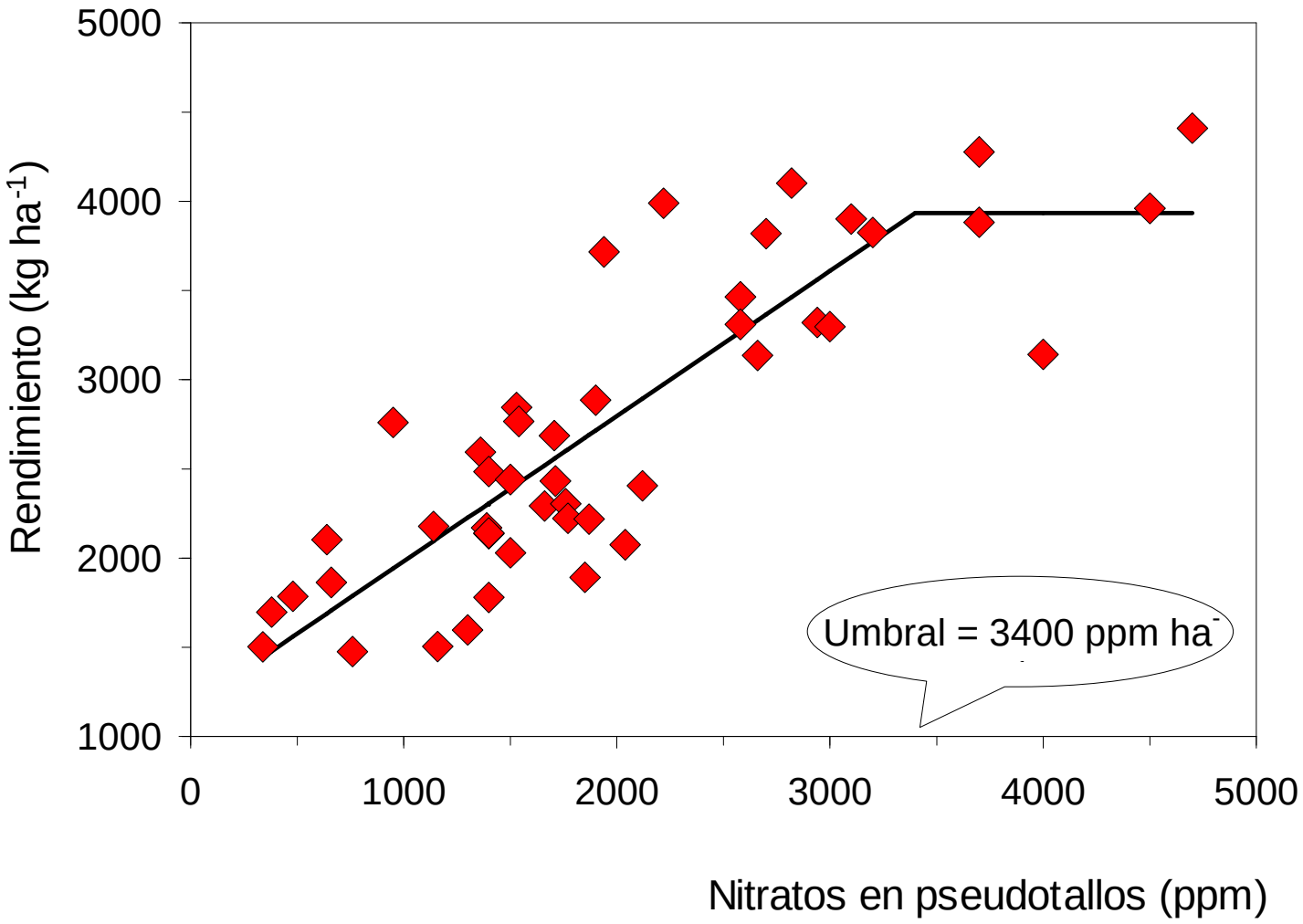
Dosis de N (kg/ha) = (22 ppm – 16 ppm) x 10 kg N/ppm = 60 kg/ha de N o 130 kg/ha de urea

<u>Valor del factor de conversión (F)</u>

- ***Blackmer et al. (1997) para Iowa (EE.UU.): 9 kg N/ha por ppm N-NO_3^-***
- ***Echeverría et al. (2005) para el sudeste de Buenos Aires: 8-10 kg N/ha por ppm N-NO_3^-***
- ***Bianchini et al. (2005) para Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe: 12-13 kg N/ha por ppm N-NO_3^- (0-20 cm)***

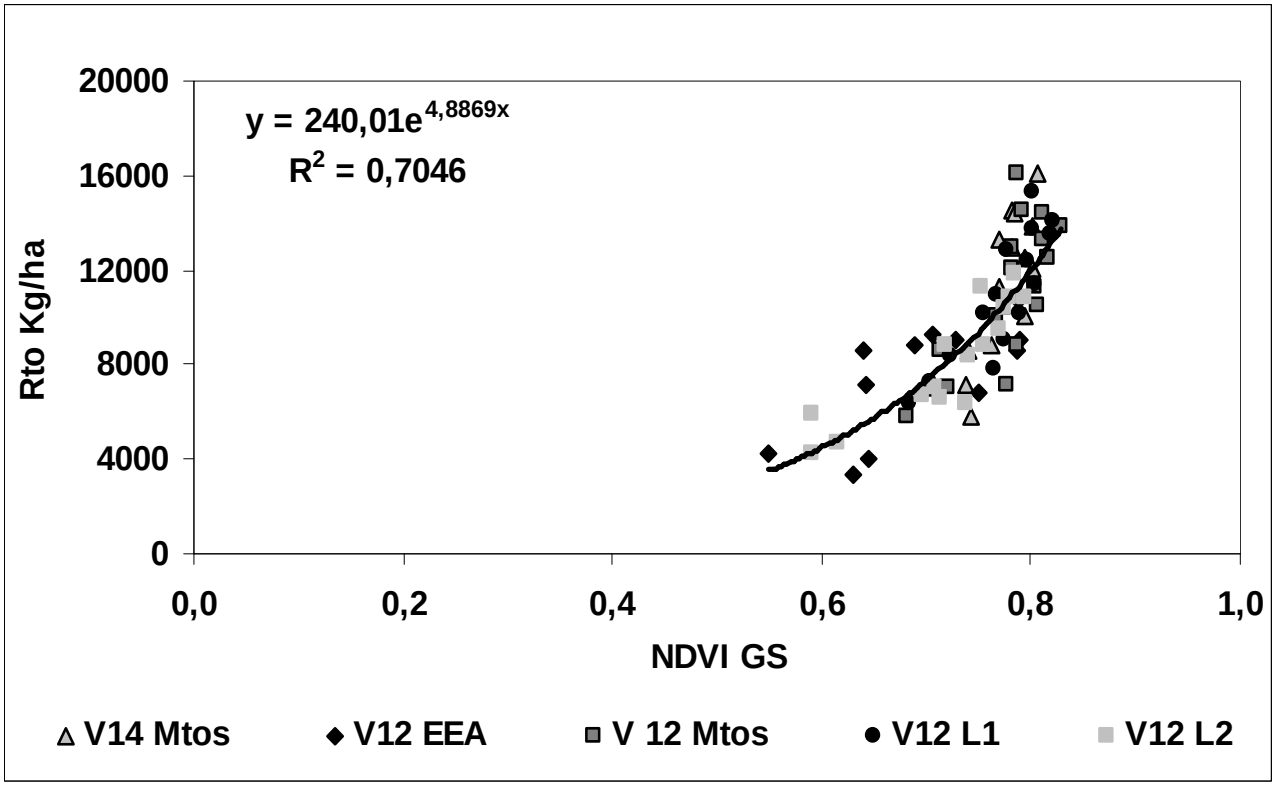
Relación entre la concentración de nitratos en pseudotallos y el rendimiento en trigo

Centro-Sur de Santa Fe – Salvagiotti (2004)



Relación entre el NDVI determinado con un sensor GreenSeeker® en distintos estadios y el rendimiento de maíz

Melchiori y col. 2005 - EEA INTA Paraná



NDVI, Índice normalizado de diferencias de vegetación

Uso de modelos de simulación para el manejo de la fertilización nitrogenada

E. Satorre y colaboradores - AACREA-Facultad de Agronomía (UBA)

Modelos de Simulación

Entradas

Clima: pp,T°,Rad

Suelo: Perfil, Agua, nitrógeno

Manejo:
- **Siembra**
  - Fecha
  - Densidad
  - Diseño
- **Fertilización nitrogenada**
- **Riego**

Genotipo:
Trigo
Escorpión, Guapo y Baguette 10
Don Enrique

GECER
Modelo de Simulación Agronómica Funcional - paso diario

Salidas

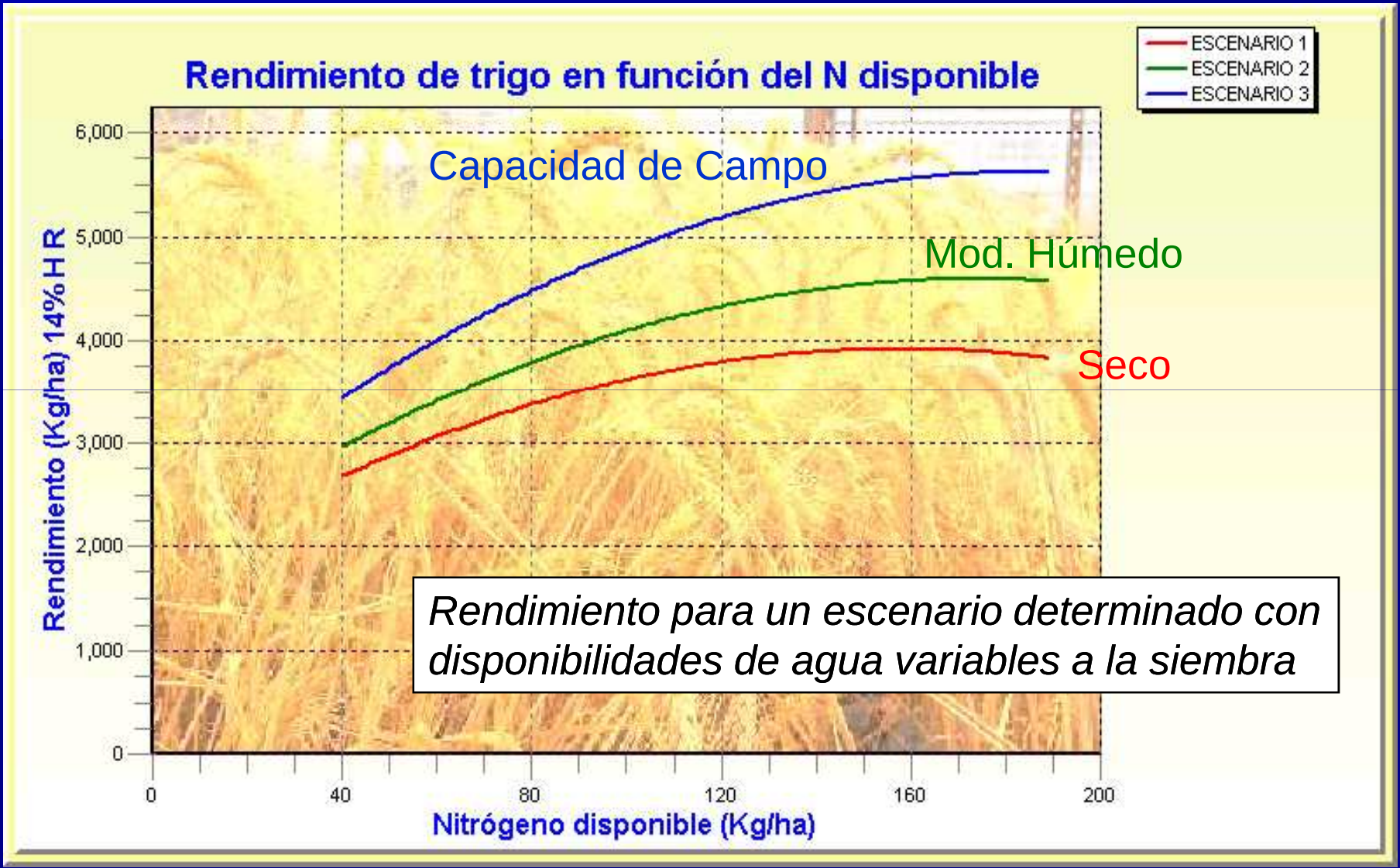
- Fenología
- Biomasa de órganos vegetativos
- Rendimiento y sus componentes
- Consumo de Agua y Nitrógeno
- Agua y nitrógeno en el suelo

- *Condición de sitio (Escenario): Suelo, ciclo de cultivo, fecha de siembra, densidad, disponibilidad de agua a la siembra, análisis de suelo*
- *Serie histórica climática (Localidad)*
- *Modelo de simulación agronómica (MSA)*
- *Evaluación de rendimientos, respuestas y riesgo*

Triguero
PROFERTIL
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE AGRONOMÍA
Triguero
CREA
Escenario 1
Escenario 2
Escenario 3
AYUDA
Calculadora
Notas
Graficar
Créditos
Mapas
Trigo

Modelo Triguero

FAUBA- CREA (Satorre y col., 2003)



Rendimiento para un escenario determinado con disponibilidades de agua variables a la siembra

Escenario: Localidad Marcos Juárez, Serie Hansen, Variedad Baguette 10

Fertilizantes nitrogenados
Momento, Formas y Fuentes de aplicación

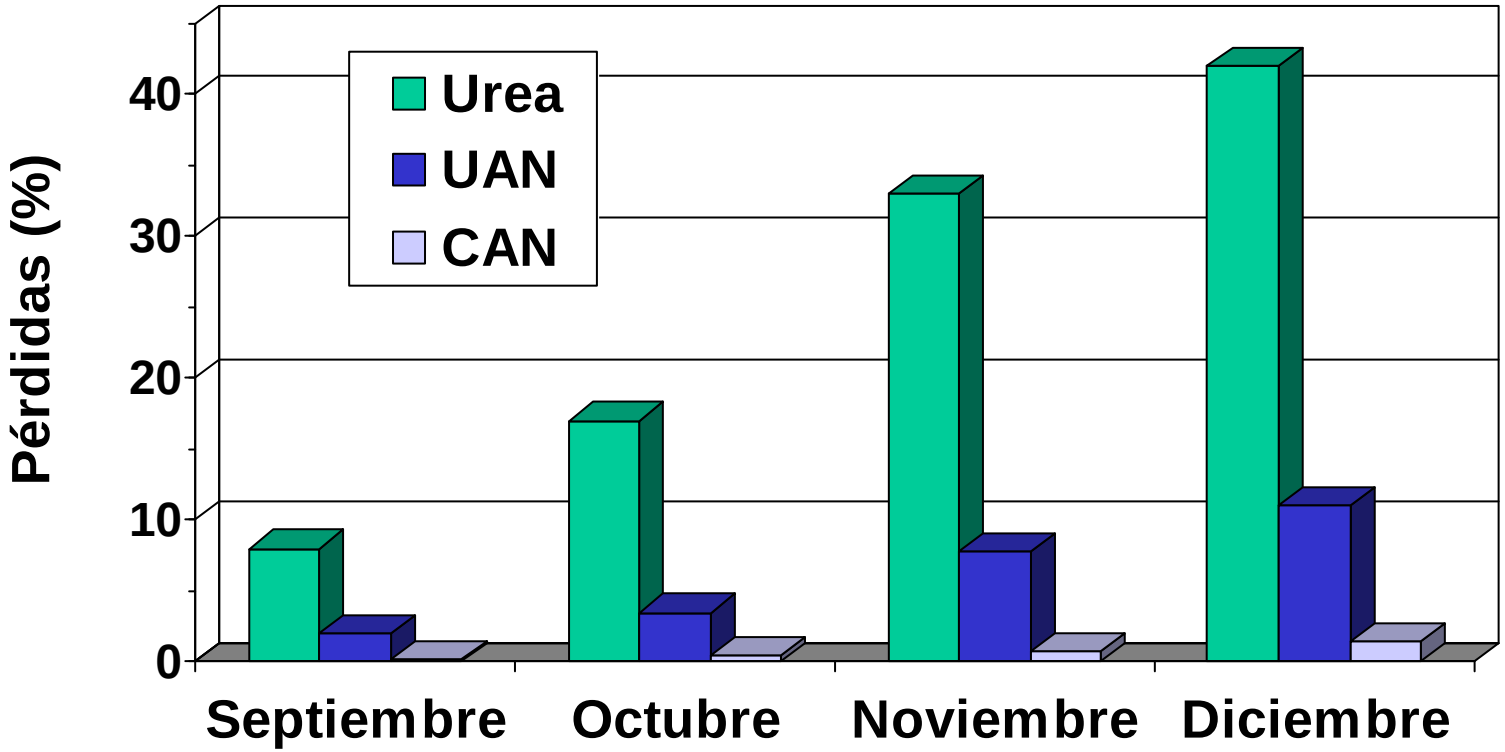
- **Aplicaciones en 5-6 hojas son más eficientes bajo condiciones húmedas entre la siembra y la aplicación**
- **Aplicaciones a la siembra presentan similares eficiencias con bajas precipitaciones entre la siembra y 5-6 hojas**
- **La incorporación es la forma de aplicación más eficiente de cualquier fuente nitrogenada.**
- **Aplicaciones superficiales con temperaturas medias del aire mayores de 15ºC durante 3-4 días resultan en pérdidas por volatilización de amoníaco a partir de fertilizantes que contengan urea.**
- **En aplicaciones superficiales de urea sobre un suelo/rastrojo seco, las pérdidas por volatilización son prácticamente nulas.**
- **Las pérdidas por volatilización e inmovilización serán potencialmente mayores a mayor cobertura de residuos.**
- **La aplicación en bandas superficiales concentradas de UAN o urea en superficie reduce el riesgo de volatilización y la inmovilización.**

IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION

Fertilizantes nitrogenados
Momento, Formas y Fuentes de aplicación

- Aplicaciones al macollaje o divididas son más eficientes bajo condiciones húmedas entre la siembra y el final del macollaje
- Aplicaciones a la siembra presentan mayores eficiencias en condiciones secas entre la siembra y fin de macollaje
- La incorporación es la forma de aplicación más eficiente de cualquier fuente nitrogenada.
- Aplicaciones superficiales con temperaturas medias del aire menores de 15ºC durante tres días resultan en bajas pérdidas por volatilización de amoníaco a partir de fertilizantes que contengan urea.
- En aplicaciones superficiales de urea sobre un suelo/rastrojo seco, las pérdidas por volatilización son prácticamente nulas.
- Las pérdidas por volatilización e inmovilización serán potencialmente mayores a mayor cobertura de residuos.
- La aplicación en bandas superficiales concentradas de UAN o urea en superficie reduce el riesgo de volatilización y la inmovilización.

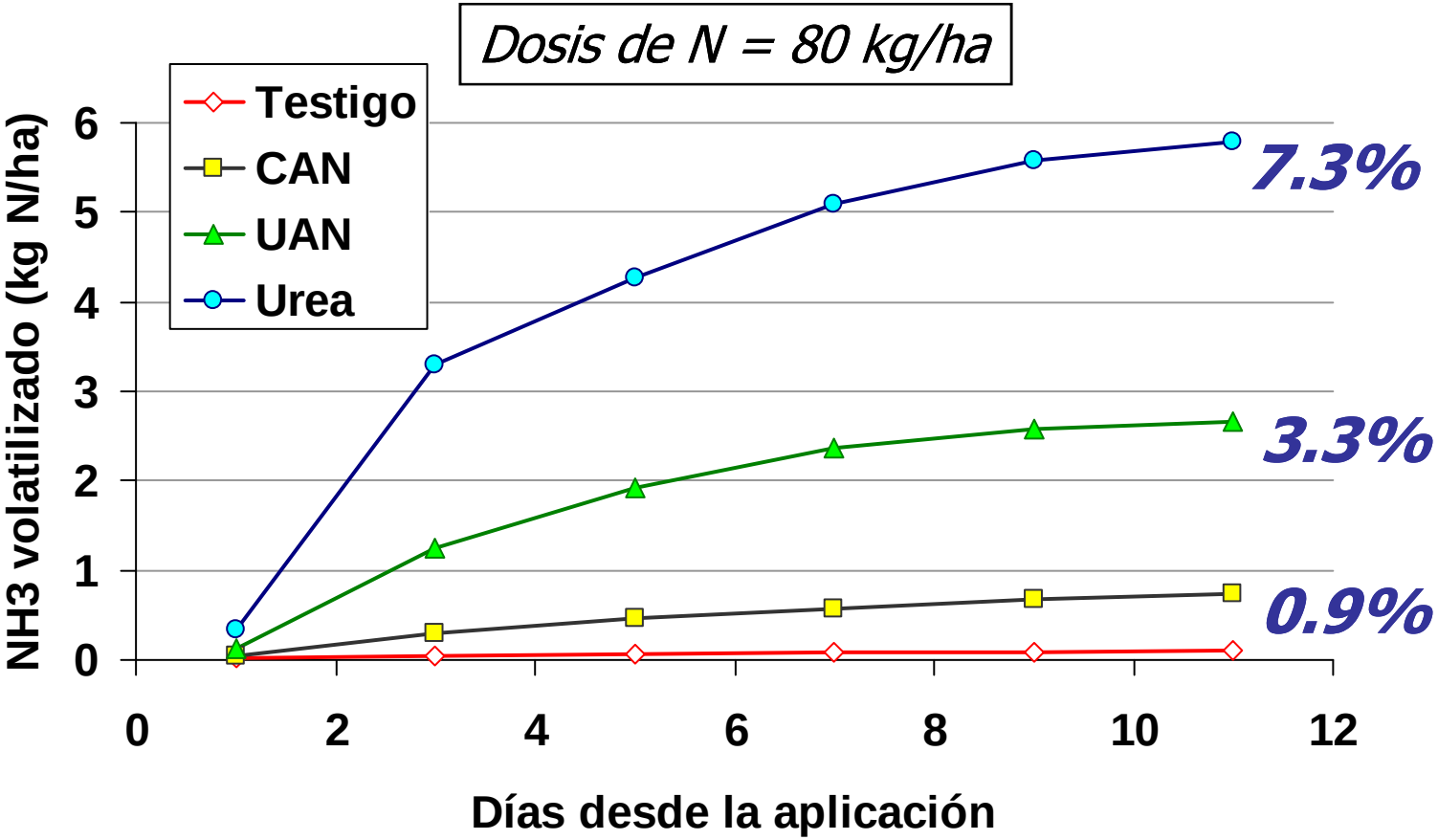
Volatilización de amoníaco
a partir de distintas fuentes nitrogenadas
EEA INTA Rafaela - Fontanetto (1999)



Dosis de 50 kg/ha de N al Voleo en Siembra Directa

Trigo
Volatilización de NH_3 en aplicaciones superficiales bajo siembra directa

Fontanetto et al. (2001) - EEA INTA Rafaela

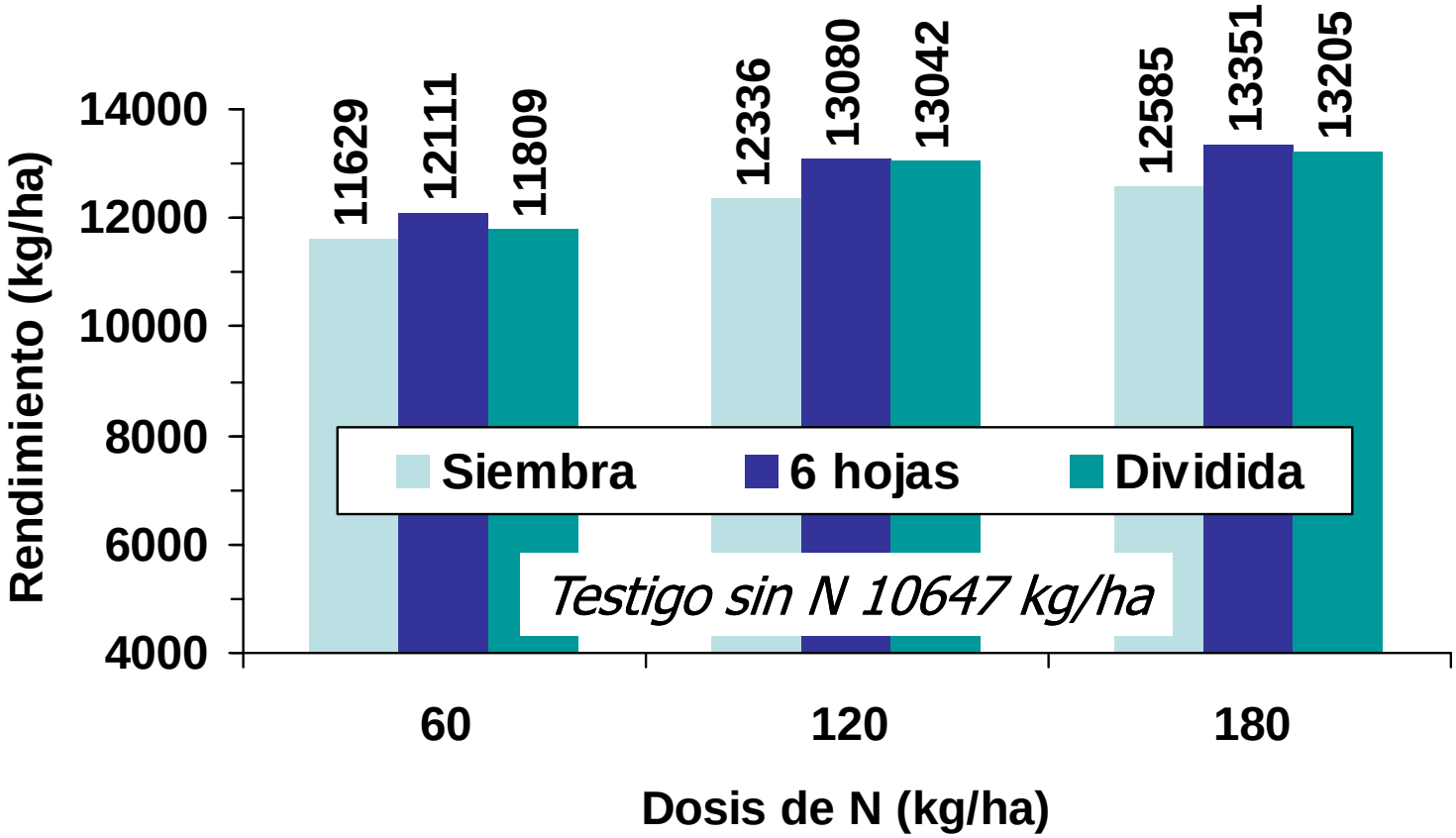


- ➲ *Campaña 1999/00 - Rafaela (Santa Fe) - Antecesor Soja SD - 55% cobertura*
- ➲ *Argiudol típico - MO 3.07 - pH 5.9*
- ➲ *Aplicaciones del 2 de Junio*

Maíz: Momentos de Aplicación del N

Gudelj y col. – EEA INTA Marcos Juárez

Promedios de 6 lotes en Marcos Juárez - 2000/01



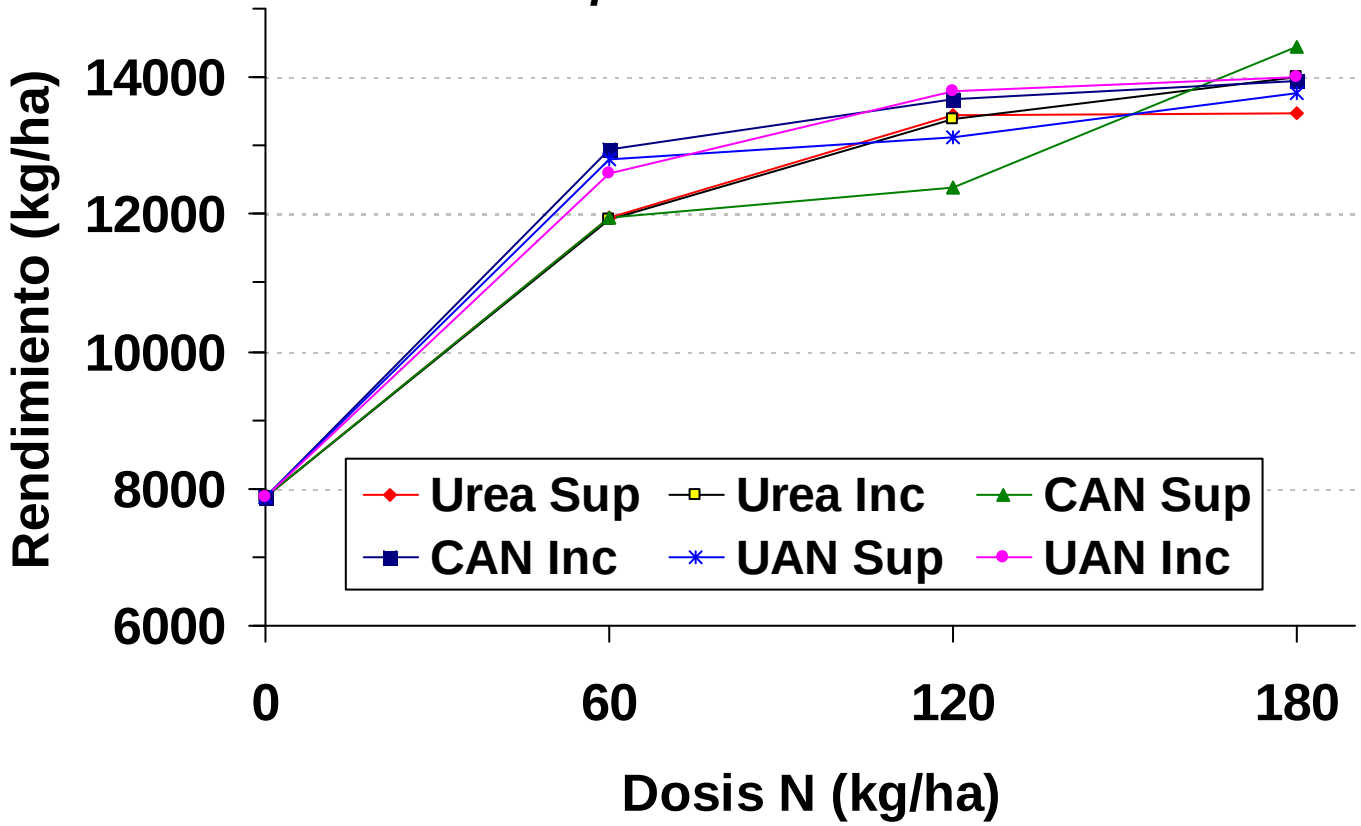
Diferencias significativas Siembra vs. 6 hojas en 3 de los 6 lotes

- *Siembras del 7 al 11/10/00 – Precipitaciones Siembra-6 hojas de 256 mm*
- *Aplicación de N como urea: al voleo a la siembra e incorporada a las 6 hojas*
- *66 mm de precipitación inmediatamente después de la aplicación a la siembra*

Dosis * Fuente * Forma de Aplicación de N en Maíz

EEA INTA Marcos Juárez – Gudelj y col. 2002/03

Campaña 2002/03 – Antecesor Trigo/Soja – 95% cobertura a la siembra
Siembra 23/10/02 – Aplicación en 6ª. Hoja 30/11/02
Temperatura media del aire 16-27ºC – 5 mm de lluvia al día 11 y 13 desde la aplicación



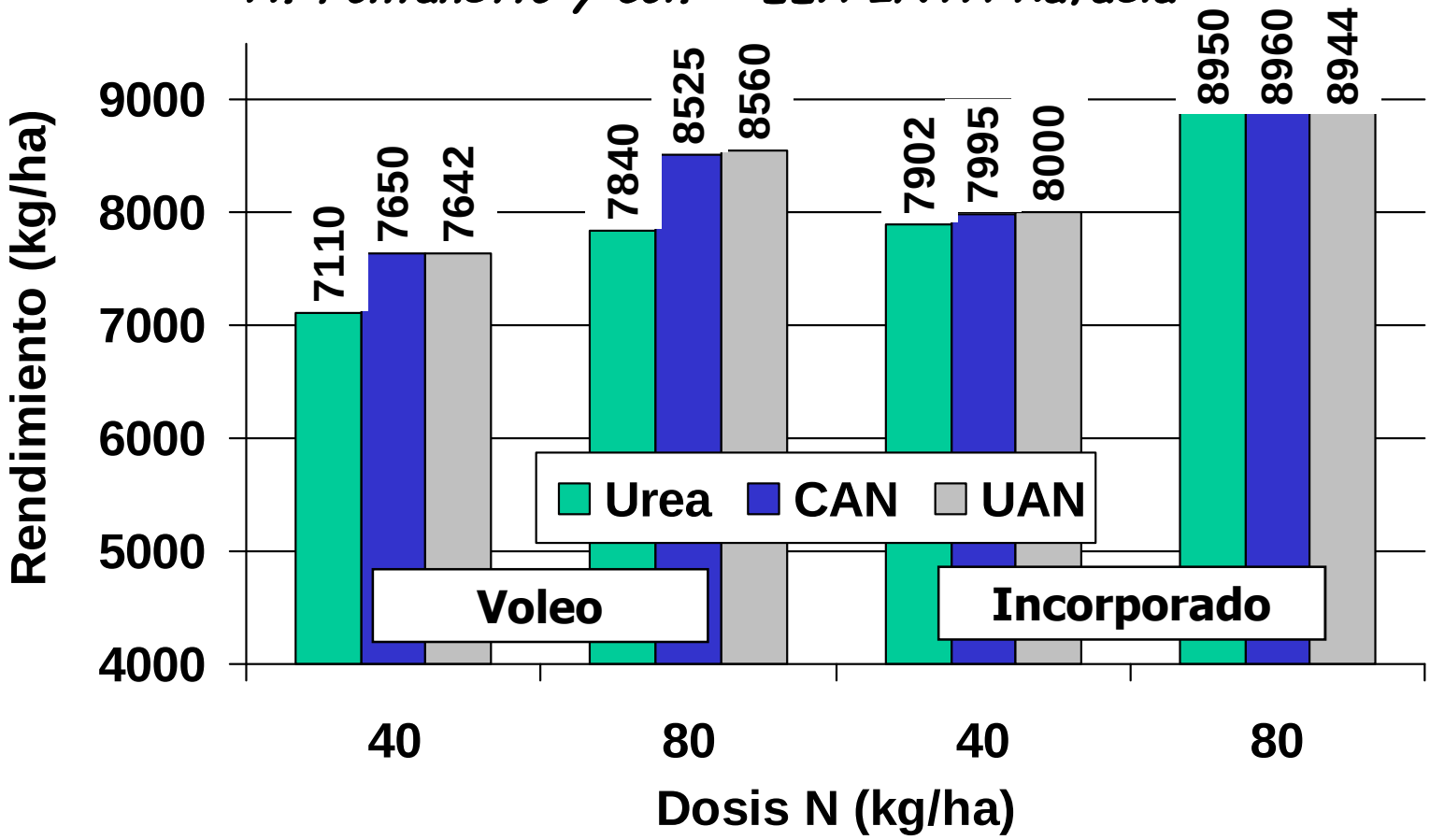
- *Diferencias significativas entre dosis de N*
- *Sin diferencias entre fuentes y formas de aplicación*

Maíz : Fuentes Nitrogenadas y Método de Aplicación bajo Siembra Directa

Aplicación a la 5-6ª Hoja

San Carlos (Santa Fe) – Campaña 2002/03

H. Fontanetto y col. - EEA INTA Rafaela

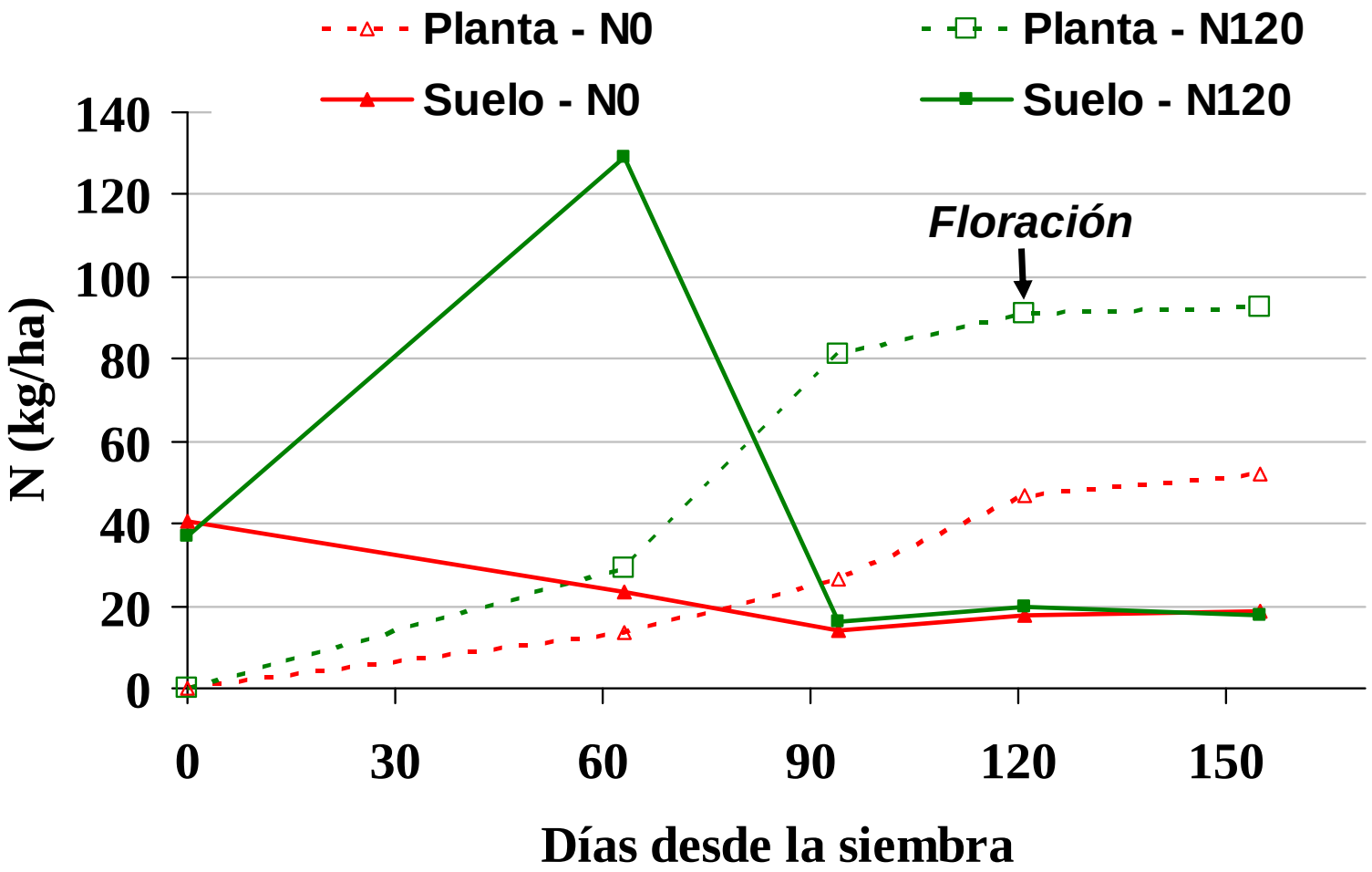


Testigo sin Nitrógeno 6720 kg/ha

¿ Cuando aplicar el N en Trigo?

Absorción de N y contenido de N en el suelo (0-100 cm)

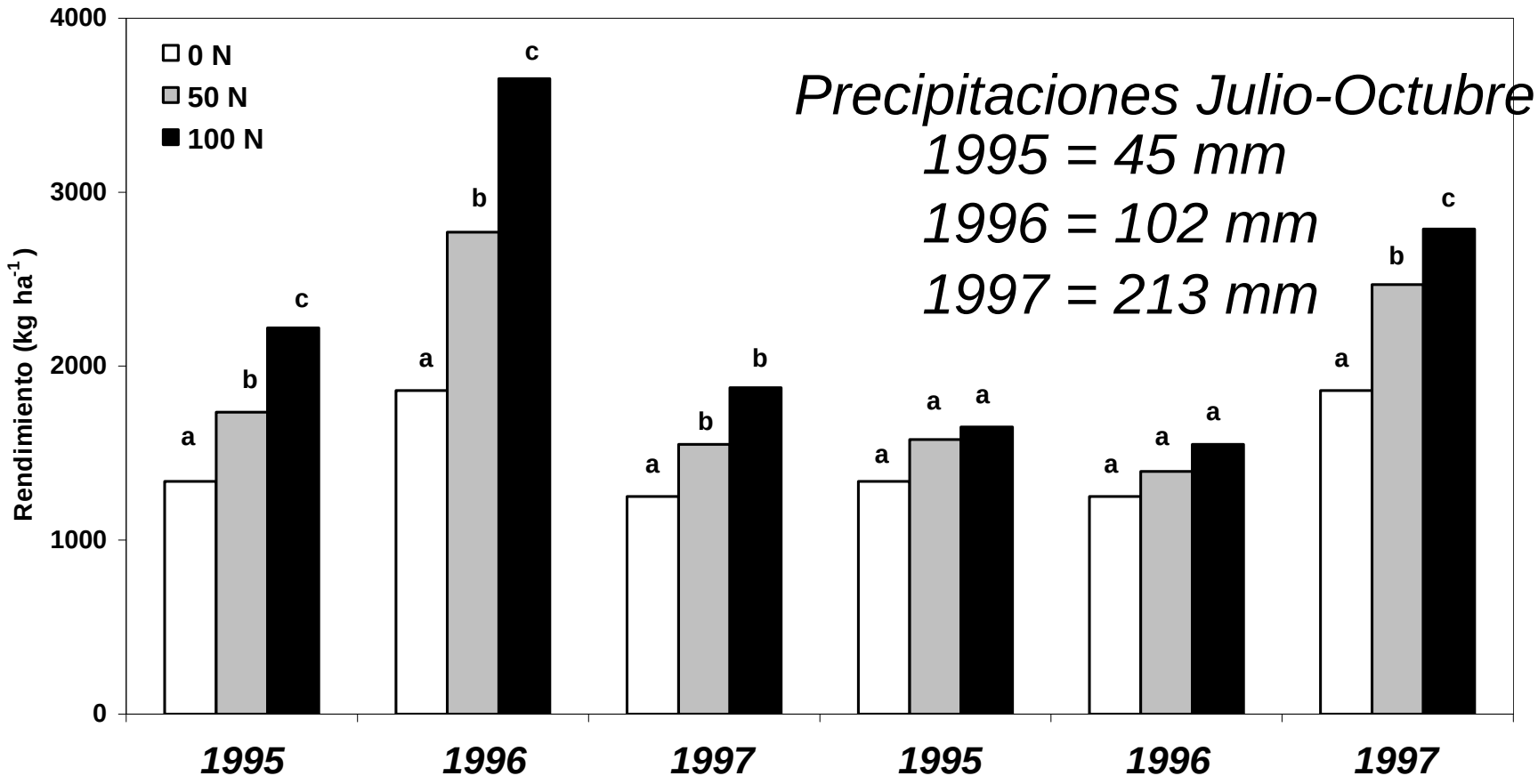
Ensayo SD - EEA INTA-FCA Balcarce, 1994/95



Fuente: Ricardo Bergh, 1997

Momento de fertilización nitrogenada en trigo en el oeste de Buenos Aires

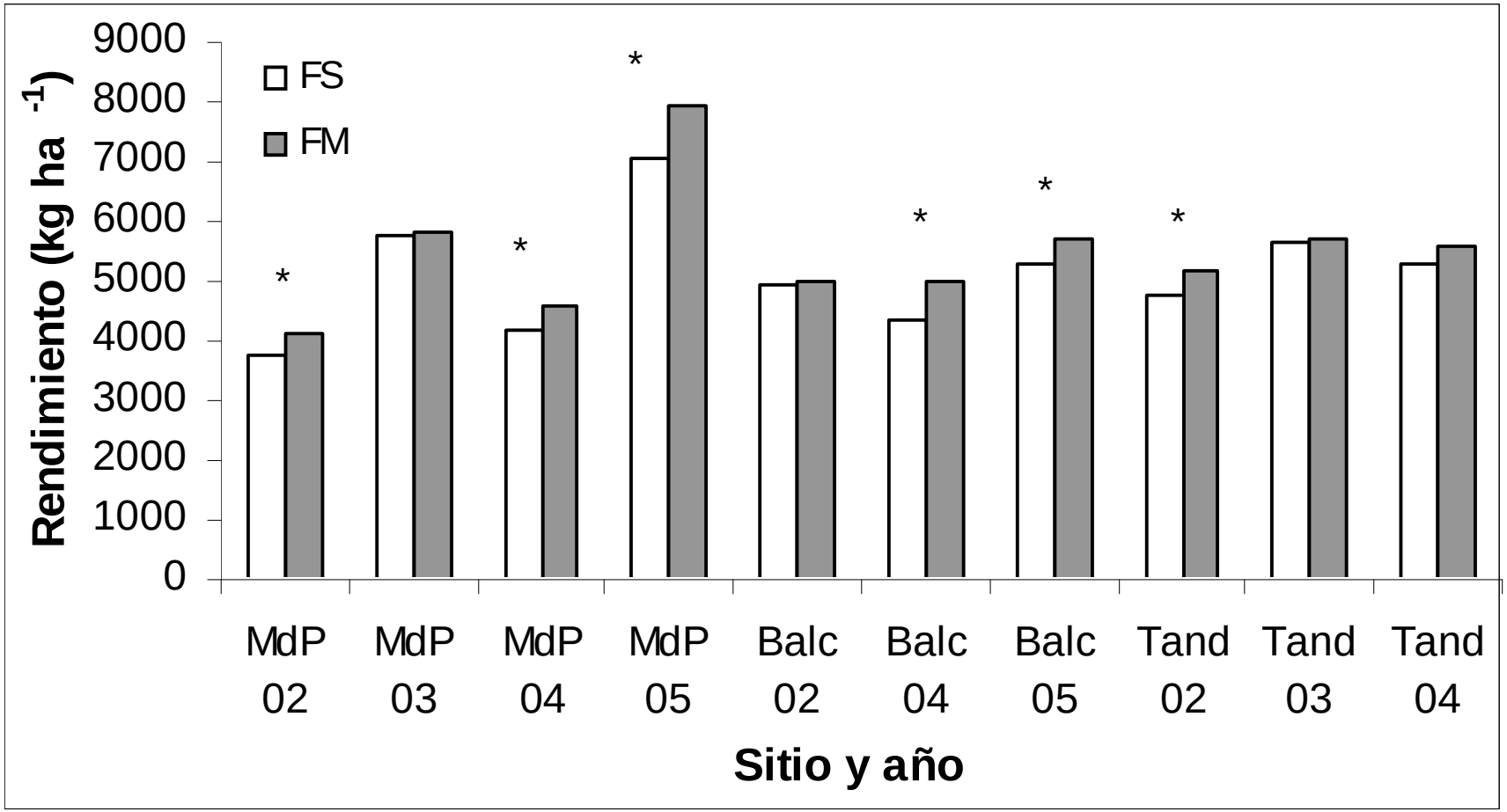
Díaz Zorita (2000) - EEA INTA Gral. Villegas



Momento de aplicación de N en trigo

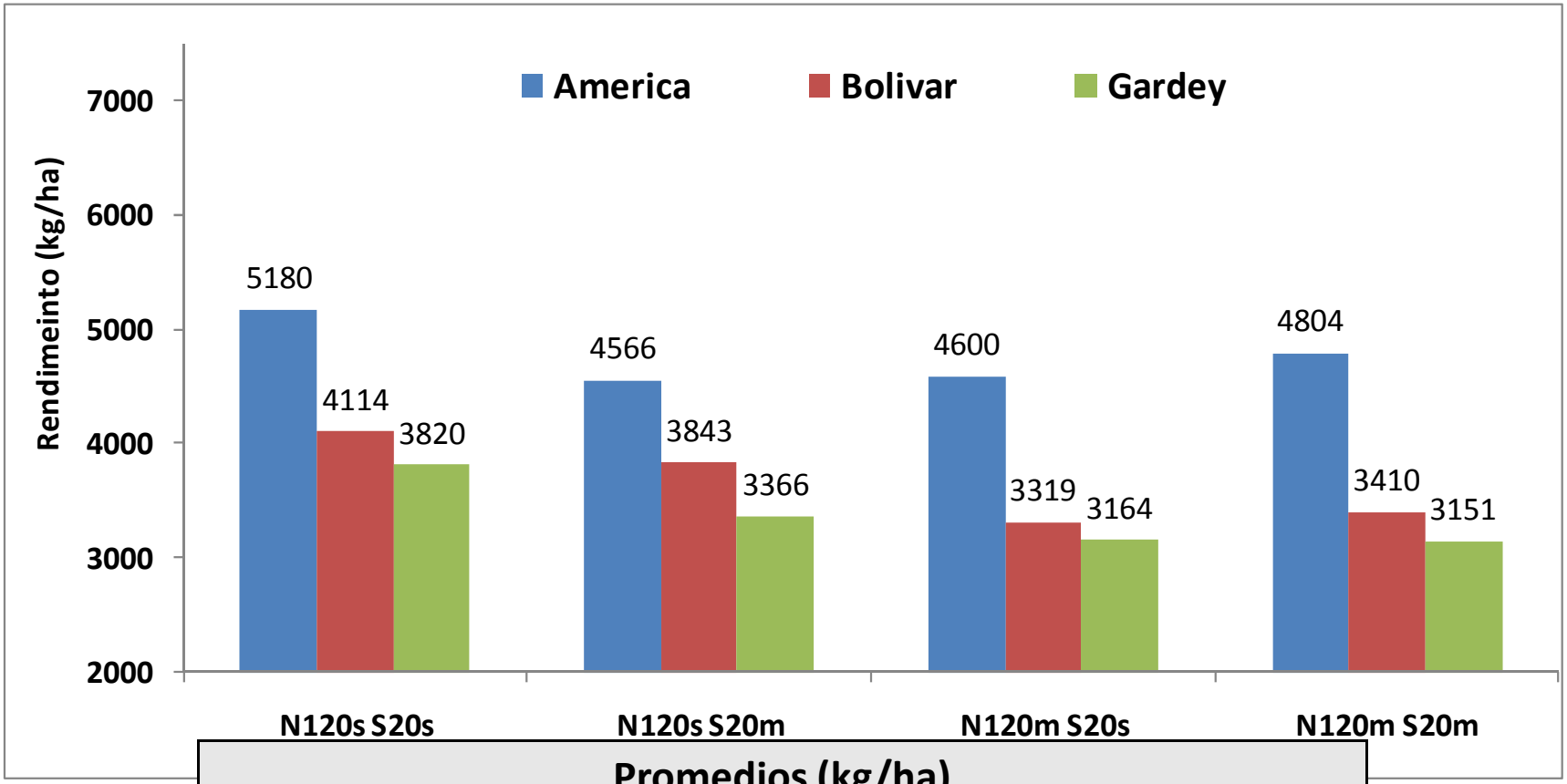
EEA INTA-FCA Balcarce – Barbieri et al. (2008)

Campañas 2002/03 a 2005/06
Diferencias en 6 de 10 sitios a favor del macollaje



Momento de aplicación de N y S en Trigo

Caracoche y col. (ASP) - 3 ensayos Campaña 2008/09



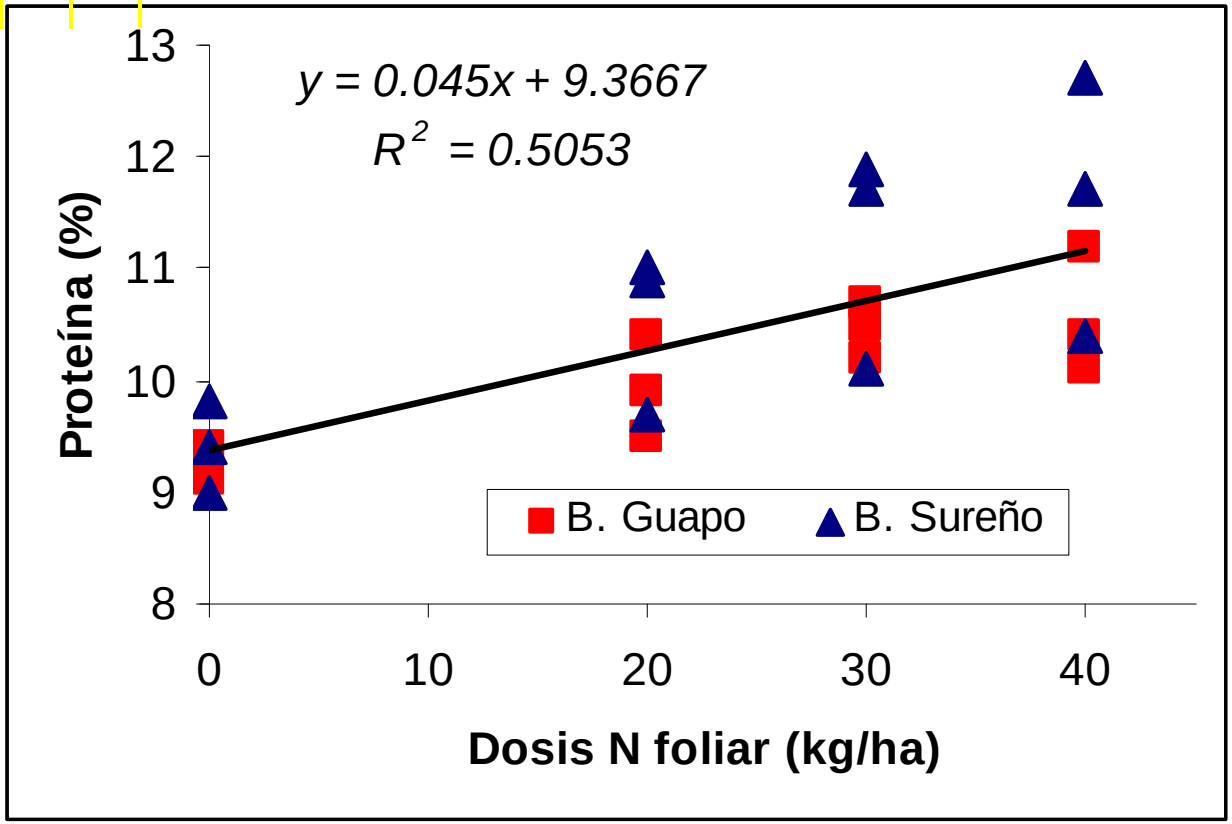
Promedios (kg/ha)			
Ns-Ss	Ns-Sm	Nm-Ss	NmSm
4371	3925	3694	3788

➲ *Dosis de 120 kg/ha de N y 20 kg/ha de S aplicadas como urea y sulfato de calcio, respectivamente*

➲ *Sin diferencias significativas.*

Proteína: N foliar en antesis

Tomás Loewy, Hernán Echeverría y Ricardo Bergh
EEA INTA Bordenave, INTA-FCA Balcarce e INTA-MAA Barrow

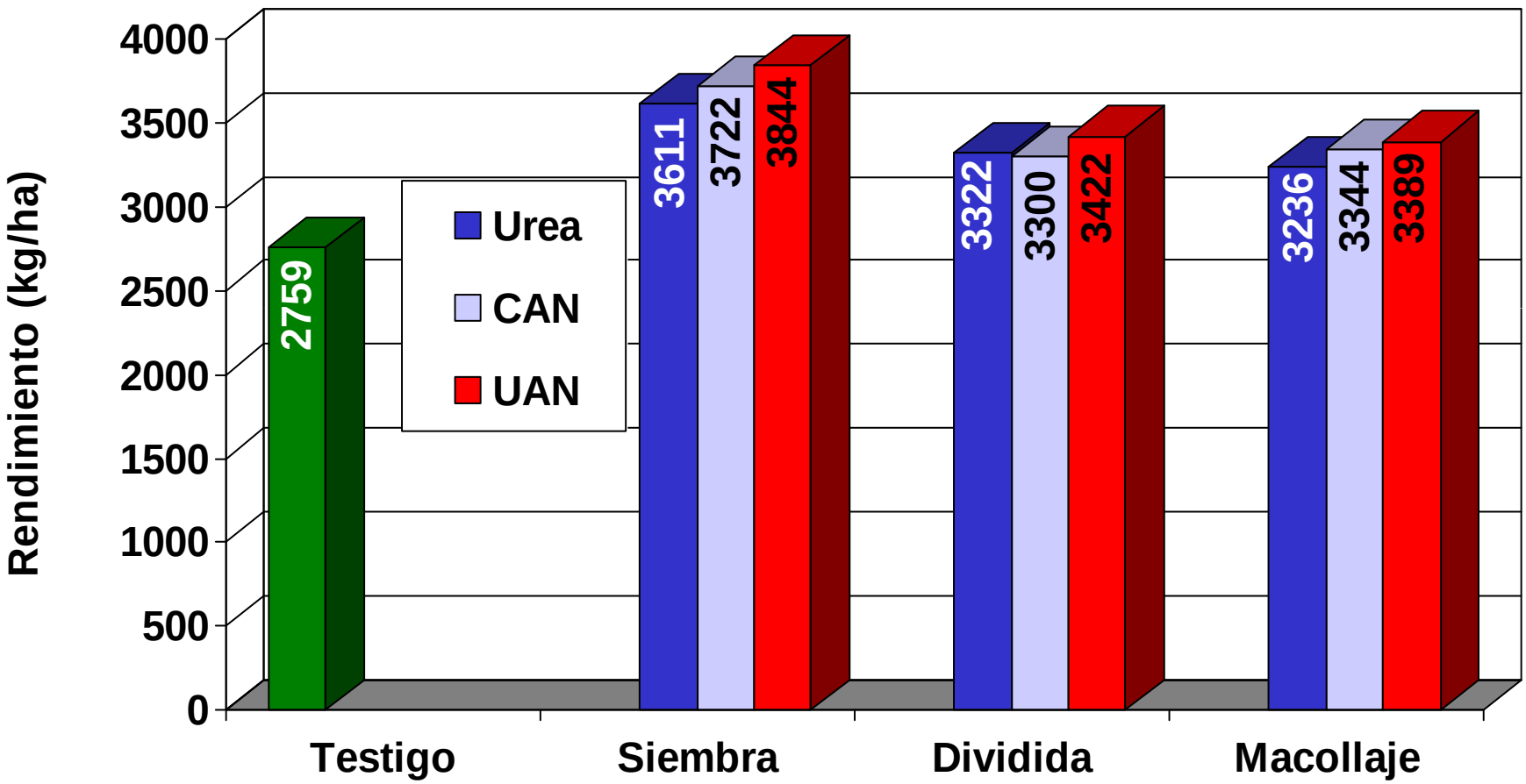


Incremento de 0.045% de Proteína por cada kg de N foliar aplicado

Incremento de 1% de Proteína con 22 kg de N foliar

- *Seis ensayos durante el año 2003, en Balcarce, Tandil, Otamendi, Tres Arroyos, Cascallares y Coronel Suárez*
- *En parcelas con 120 N, se aplicaron dosis foliares en antesis, de 20, 30 y 40 kg de N/ha, como urea en solución*

Fertilización nitrogenada de trigo en siembra directa
Efecto de fuentes y momento de aplicación
Baumer, Devito y González - EEA INTA Pergamino - 1996



N en trigo: Respuesta, formas y fuentes con dos antecesores

EEA INTA Rafaela – Fontanetto et al., 2006-07

Antecesor Maíz

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)
Dosis N	
0	2095
40	2786
80	3580
Fuente	
Urea	3037
UAN	3329
Forma	
Voleo	3052
Incorporada	3442

Antecesor Soja

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	
Dosis N		
0	2592	
40	3531	
80	3957	
Fuente * Forma		
	Voleo	Incorporada
Urea	3364	3806
UAN	3817	3989

Efectos de distintos fertilizantes junto a la semilla

Los efectos fitotóxicos dependen de:

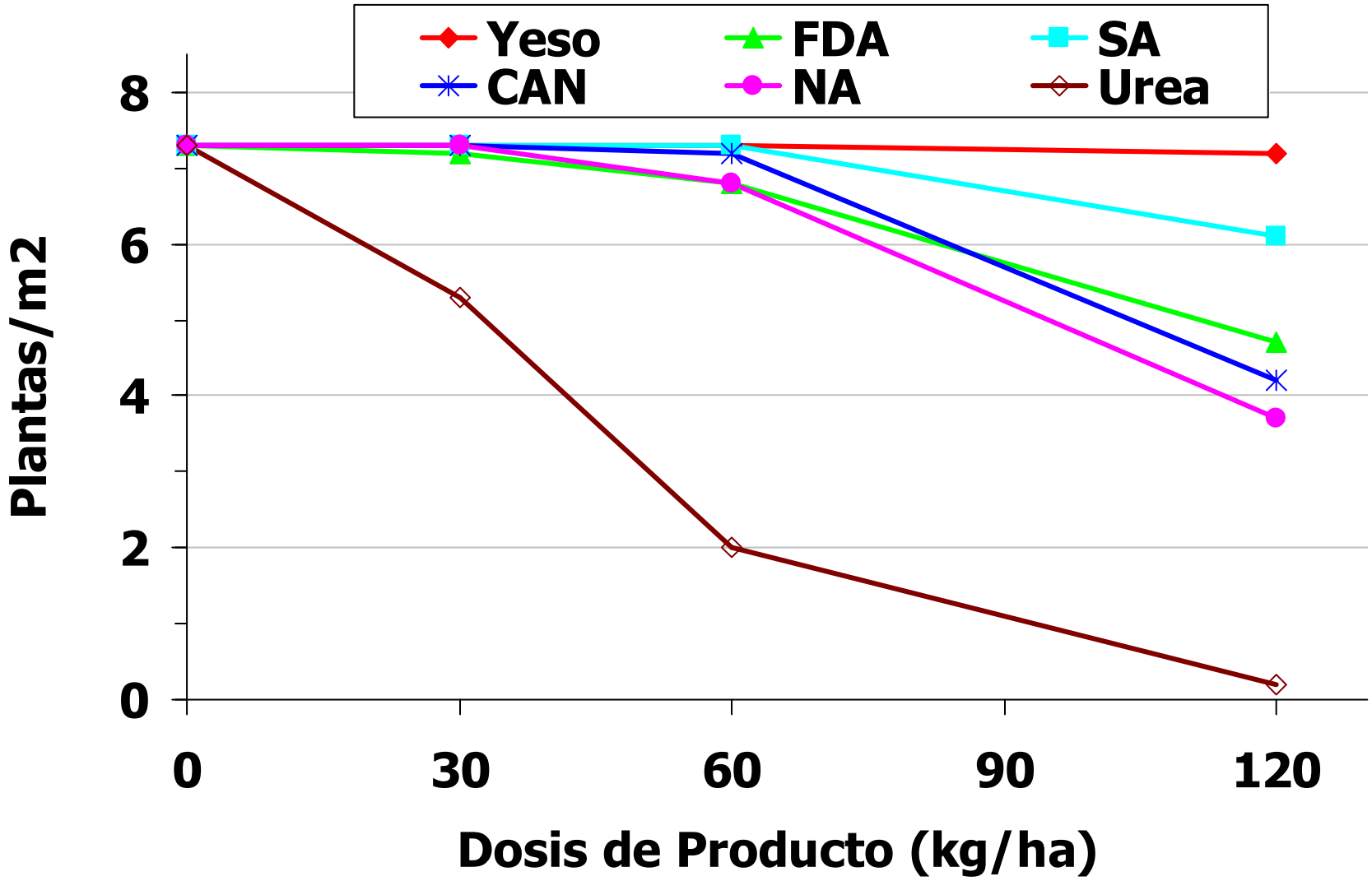
- Fertilizante
- Dosis
- Distancia entre hileras
- Tipo de suelo
- Contenido de humedad del suelo

IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

Maíz

Efectos de distintos fertilizantes junto a la semilla

Fontanetto y colaboradores - E. E. A. INTA Rafaela. Campaña 2002/03



Dosis críticas estimadas, de manera preliminar, para perdidas del 20% y 50% de plantas para diversos cultivos y fuentes de fertilizantes. Los rangos indicados responden a condiciones de tipo y humedad de suelo

Cultivo	Tipo de Fertilizante	Dosis Crítica (kg ha^{-1})	
		20% #	50% #
Trigo	Urea	30 - 50	75 - 120
Soja	FDA-FMA-SFT ##	20 - 40	55 – 75
	SFS	20 - 80	60 – 120
	SA	20 - 30	60 – 80
Maíz	Urea	15 - 30	60 - 80
	NA-CAN-SA	60 - 80	100 – 130
	FDA	60 - 80	130 – 170
Girasol	Urea-NA-CAN-SA	20 - 40	60 – 90
	FDA	40 - 50	80 – 120
Cebada	Urea	30 - 50	80 – 100
Alfalfa	Urea-SA	20 - 30	50 – 70
	FDA-SFT	90 - 110	160 - 200

Mejorando la eficiencia de uso de N (EUN) con manejo sitio-especifico

Adaptado de Shanahan et al. (2008)

Causas de la baja EUN

- Errores en la recomendación → mejorar los diagnósticos y las recomendaciones
- Poca sincronía entre la demanda de N del cultivo y la oferta de N del suelo → aplicaciones divididas, ¿adopción? ¿logística? ¿rentabilidad?
- Variabilidad espacial → Manejo sitio-especifico
- Interacción clima-manejo genera alta variabilidad anual (variabilidad temporal)→ uso de modelos de simulación y evaluación durante la estación de crecimiento

Alternativas en manejo sitio-especifico

- Manejo por ambientes
- Monitoreo durante la estación de crecimiento
  - Evaluación visual usando parcelas de referencia
  - Uso de medidor de clorofila
  - Sensores remotos aéreos y satelitales
  - Sensores remotos terrestres

Nuevos productos fertilizantes

Fertilizantes de liberación lenta o estabilizados

- Cubiertos con polímeros: N (ESN, NSN) o P (Avail)
- Inhibidores de la ureasa: NBPT (Agrotain)
- Inhibidores de la nitrificación: DMPP (Entec), nitrapirin o DCD

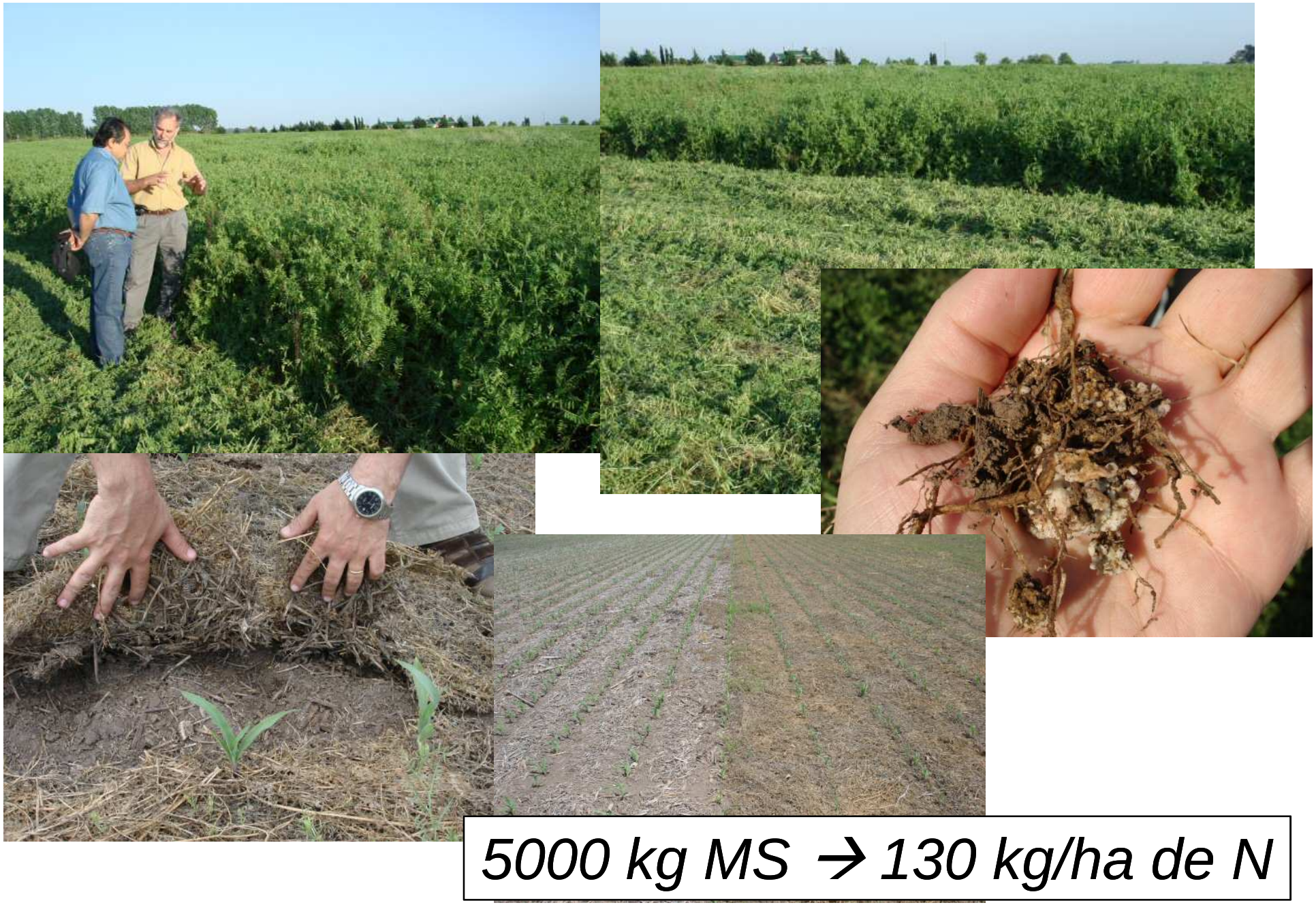
Inhibidores de la ureasa

Maíz de primera en Rafaela (Santa Fe)

Fontanetto, Bianchini y col., 2007/08

Tratamiento	Perdidas N-NH_3	Rendimiento	Eficiencia agronómica
	%	kg/ha	kg maíz/kg N
Testigo	-	7334	-
Urea 70N	10	8381	15
Urea 140N	25	9623	16
Urea 70N + NBPT	4	9166	26
Urea 140N + NBPT	6	10368	22

Vicia como cobertura invernal para maíz (J. Romagnoli. Monte Buey, 2007/08)



5000 kg MS → 130 kg/ha de N

Evaluación de distintas especies de cultivos de cobertura en la secuencia Soja-Soja

Julia Capurro y col. - INTA Cañada de Gómez

Cultivos de cobertura		2006/07	2007/08
Ciclo de crecimiento (días)		135	161
Ppciones Periodo Marzo a Mayo (mm)		290	463
Ppciones Periodo crecimiento Junio a Octubre (mm)		232	329
Temperaturas medias (°C)	Junio	12.31	9.79
	Julio	13.6	8.23
	Agosto	11.56	8.80
	Septiembre	14.86	16.45
	Octubre	19.83	18.40
Producción de materia seca (kg/ha)	Trigo	8009	8267
	Avena	7317	8771
	Avena+Vicia	6013	8517
	Vicia	3211	5740

Evaluación de distintas especies de cultivos de cobertura en la secuencia Soja-Soja

Julia Capurro y col. - INTA Cañada de Gómez

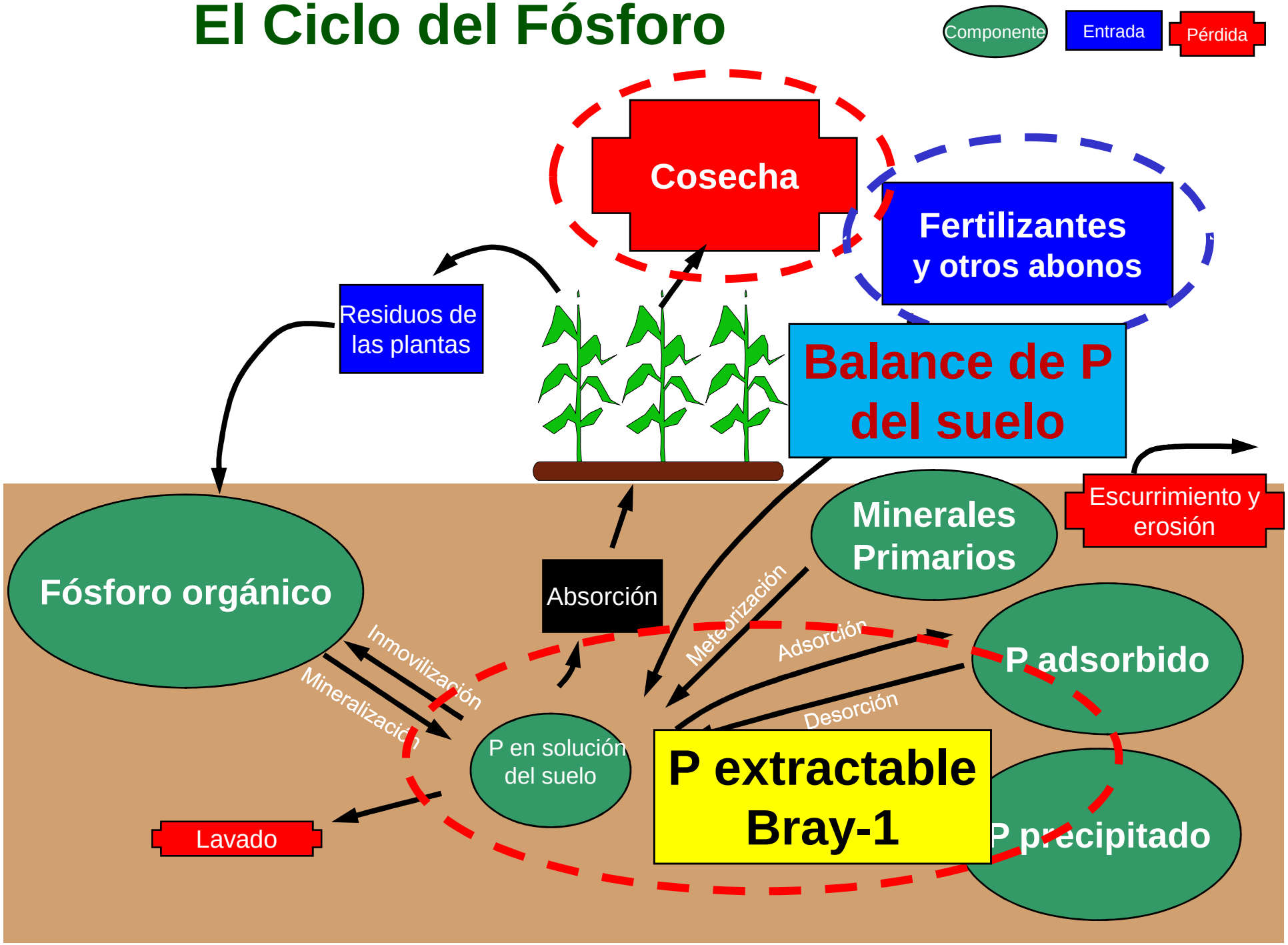
Soja		2006/07	2007/08
Cultivar		A 4613	DM 4200
Periodo E-R8 (días)		156	137
Ppciones durante etapa de crecimiento (mm)		732	528
Rendimiento (Kg./ha)	Trigo	4805 a	4022
	Avena	4669 a	4037
	Avena+Vicia	4672 a	3931
	Vicia	4872 a	4529
	Testigo	4696 a	4214

Testigo

Vicia

Fósforo en maíz

El Ciclo del Fósforo



Destino del P del fertilizante

Destino	Rango	Referencias
Planta	**15 al 35%**	Mattingly, 1975; Johnston y Syers, 2001; Ciampitti, 2009, Rubio et al. 1998
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; Boschetti et al., 2004; Verma et al., 2005; Picone et al., 2008; Wang et al., 2007; Ciampitti, 2009;
Fracciones moderadamente lábiles†	**26 al 59%**	Johnston y Syers, 2001; Zheng et al., 2002; Blake et al., 2003; Boschetti et al., 2004; Verma et al., 2005; Picone et al., 2008; Wang et al., 2007; Ciampitti, 2009
Fracción recalcitrante o más estable£	**17 al 36%**	Johnston y Syers, 2001; Zheng et al., 2002; Blake et al., 2003; Vázquez et al., 2008; Ciampitti, 2009

 # Fracciones P resina o MIA, Pi- y Po-$NaHCO_3$

† Fracciones Pi- y Po- NaOH, y P-HCl

£ Fracción de P extraído con H_2SO_4 o digestión con H_2SO_4/H_2O_2

Ciampitti et al., 2009

IPNI

Métodos de análisis para P
(Extractantes)

Análisis	Composición del extractante	Comentarios	Fuente
Bray 1	0.03 M NH_4F + 0.025 M HCl	Extractante para P en suelos ácidos	Bray y Kurtz, 1945
Olsen	0.5 M $NaHCO_3$ – pH 8.5	Extractante para suelos alcalinos, también en suelos neutros a ácidos.	Olsen et al., 1954
Mehlich 1	0.05 M HCl + 0.0125 M H_2SO_4	Extractante multinutriente para suelos ácidos	Mehlich, 1953
Mehlich 3	0.2 M CH_3COOH + 0.25 M NH_4NO_3 + 0.015 NH_4F + 0.013 M HNO_3 + 0.001 M EDTA – pH 2.5	Extractante multinutriente para un rango amplio de suelos. Correlaciona con Bray 1, Mehlich 1 y Olsen.	Mehlich, 1984
AB-DTPA	NH_4HCO_3 + DTPA – pH 7.5	Extractante multinutriente para suelos alcalinos.	Soltanpour y Schwab, 1977
Morgan y Morgan modificado	Morgan: 0.7 M $NaC_2H_3O_2$ + 0.54 M CH_3COOH – pH 4.8 Modificado: 0.62 M NH_4OH + 1.25 M CH_3COOH – pH 4.8	Extractante multinutriente utilizado en el noreste de EEUU para suelos ácidos. No adaptado a suelos calcáreos.	Morgan, 1941
Egner	0.01 M lactato de Ca + 0.02 M HCl O 0.10 M lactato de Ca + HOAc – pH 3.75	Extractante multinutriente utilizado en Europa	Egner et al., 1960

Adaptado de Sims, 2000

Categorías de P extractable según el método de determinación y el contenido de P en suelo

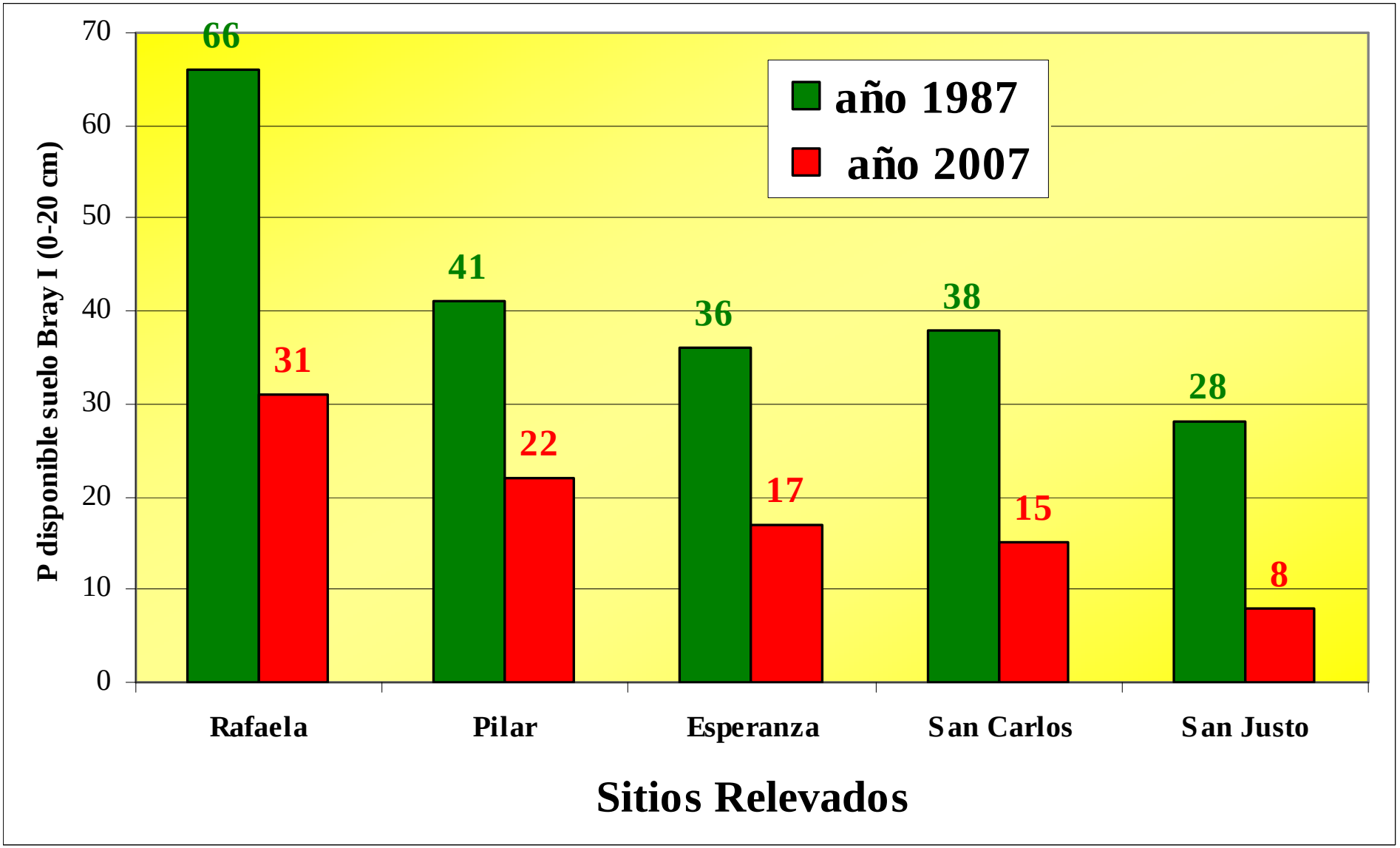
Método	Niveles de Análisis				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
	---------- mg/kg ----------				
Bray-1 [1]	<6	6-14	14-20	20-30	30+
Olsen [2]	<5	6-10	11-14	15-20	21+
Mehlich-1 [3]	<3-4	4-10	10-15	15-30	30+
Mehlich-3 [4]	<8	9-15	16-20	21-30	31+
Resina [5]	<6	7-15	16-40	41-80	80+

[1] Adaptado de información de Argentina; [2] Adaptado de Iowa State University;
[3] Adaptado de M. Cubilla (Paraguay); [4] Adaptado de Iowa State University;
[5] Adaptado de información para el estado de San Pablo (Brasil).

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

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



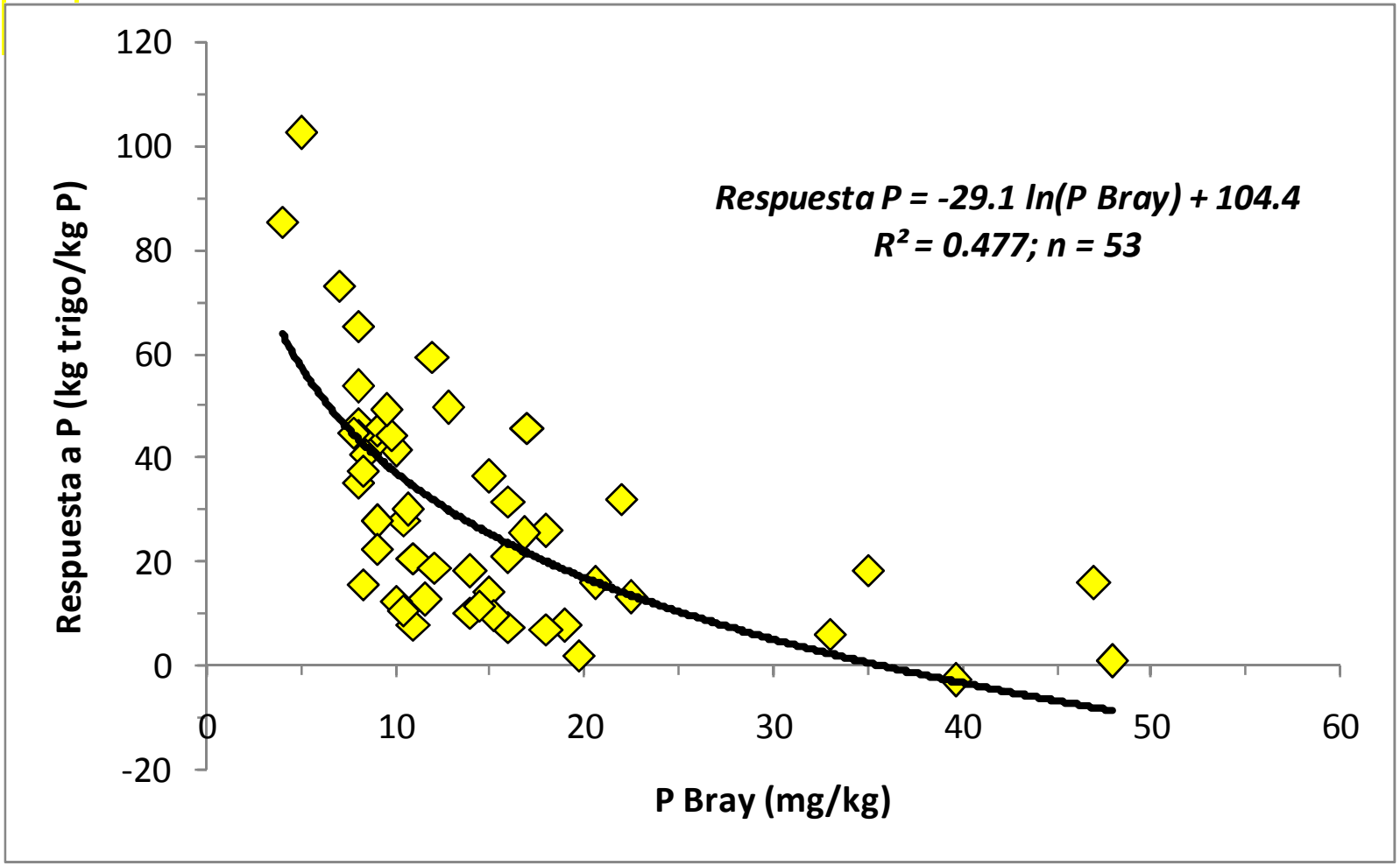
Fuente: Hugo Fontanetto - Laboratorio Suelos INTA Rafaela

¿Cómo deberíamos manejar fósforo?

- Conocer el nivel de P Bray según análisis de suelo

Diagnostico de P en trigo

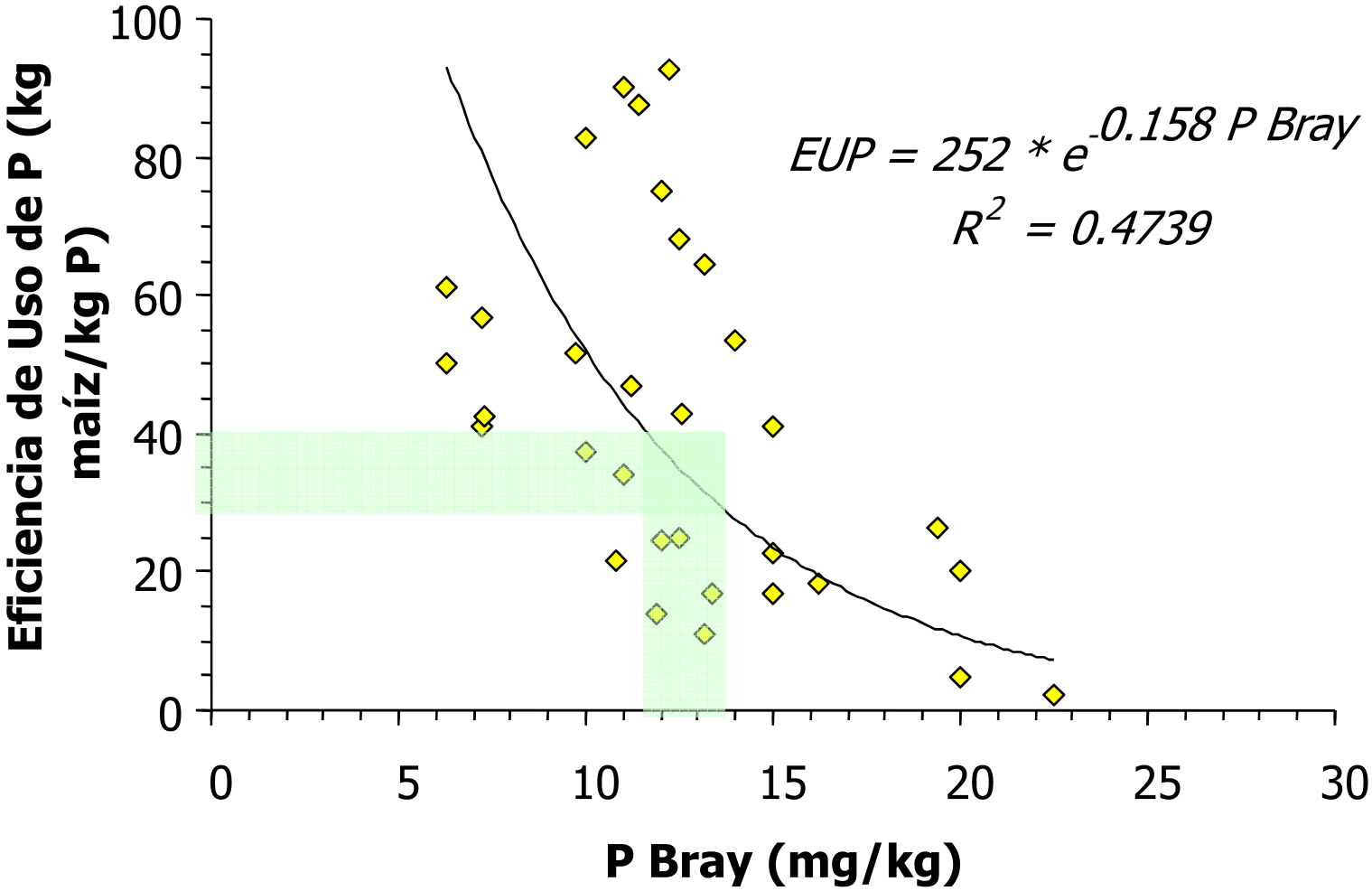
53 ensayos en Argentina - 1998 a 2007



- *Para relaciones trigo/nutriente de 17 a 26 kg de trigo por kg de P, los niveles críticos de P Bray se ubican entre 15 y 20 ppm.*

Eficiencia de uso del P aplicado en maíz

Recopilado de información de 35 ensayos de Región Pampeana INTA, FA-UBA y CREA Sur de Santa Fe (1997-2004)



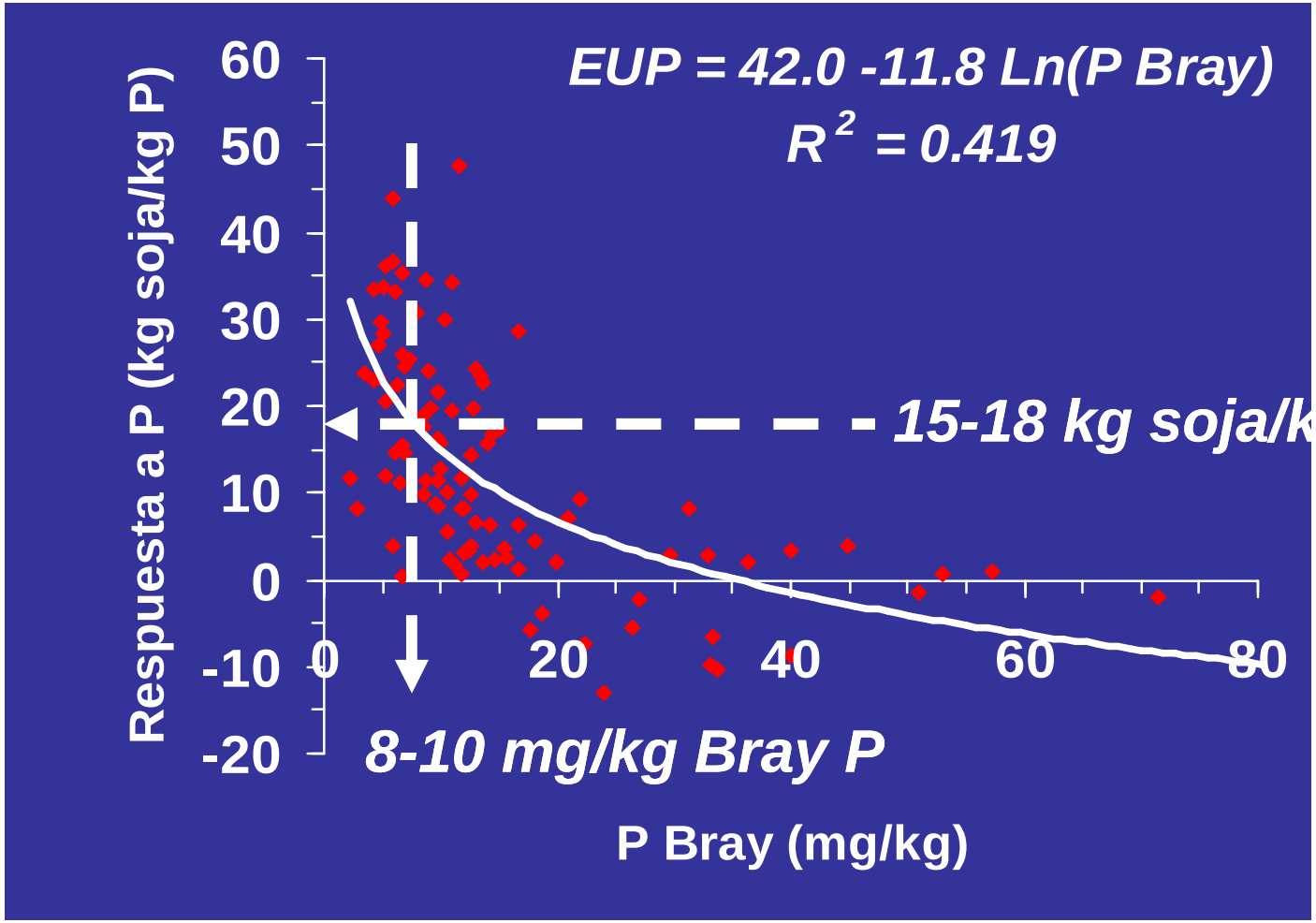
Para una eficiencia de indiferencia de 30-40 kg maíz/kg P, el nivel crítico de P Bray sería de 11-14 mg/kg

IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

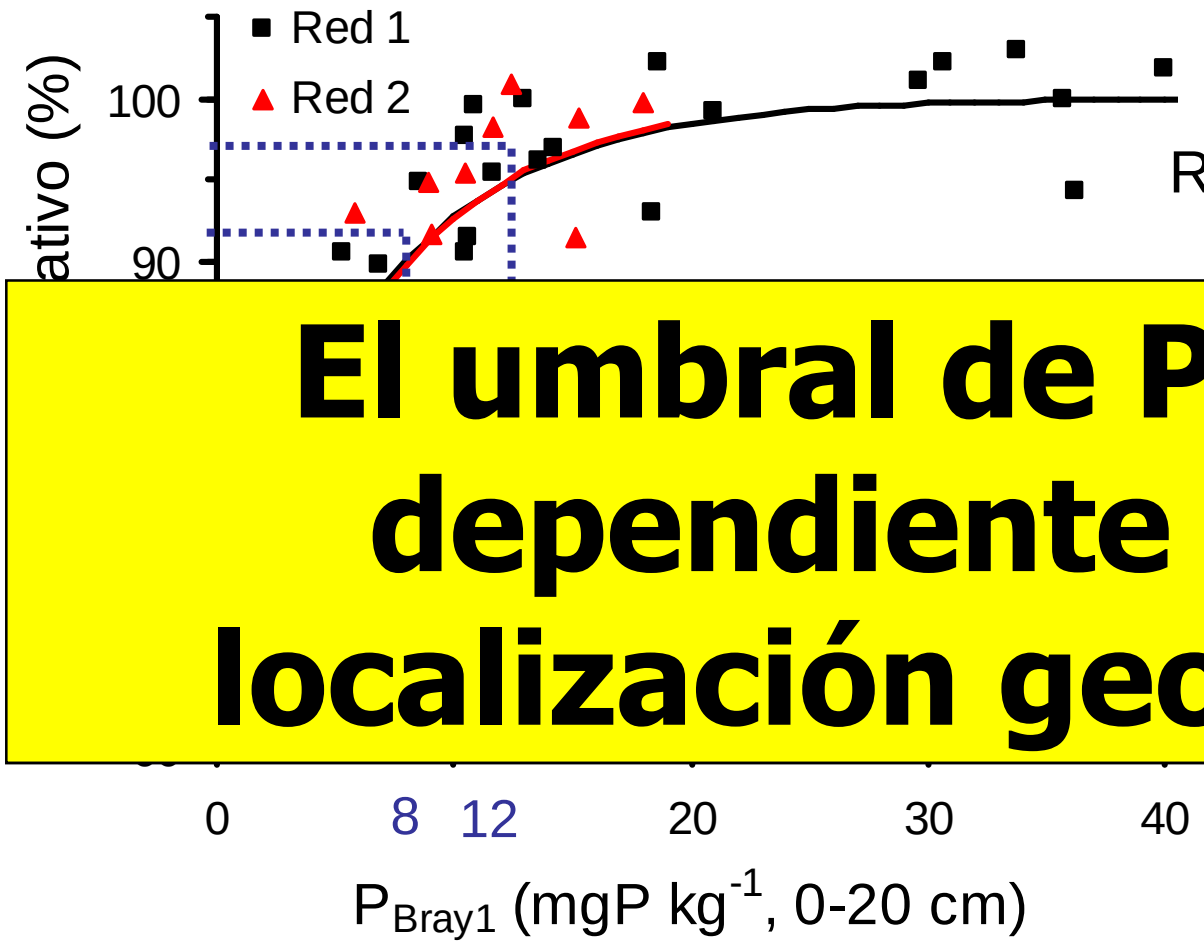
Respuesta a P en Soja

101 ensayos Región Pampeana Argentina (1996-2004)

Fuente: INTA, Proyecto INTA Fertilizar, FA-UBA, FCA-UNER y CREA Sur de Santa Fe



¿Los umbrales de P de que dependen?

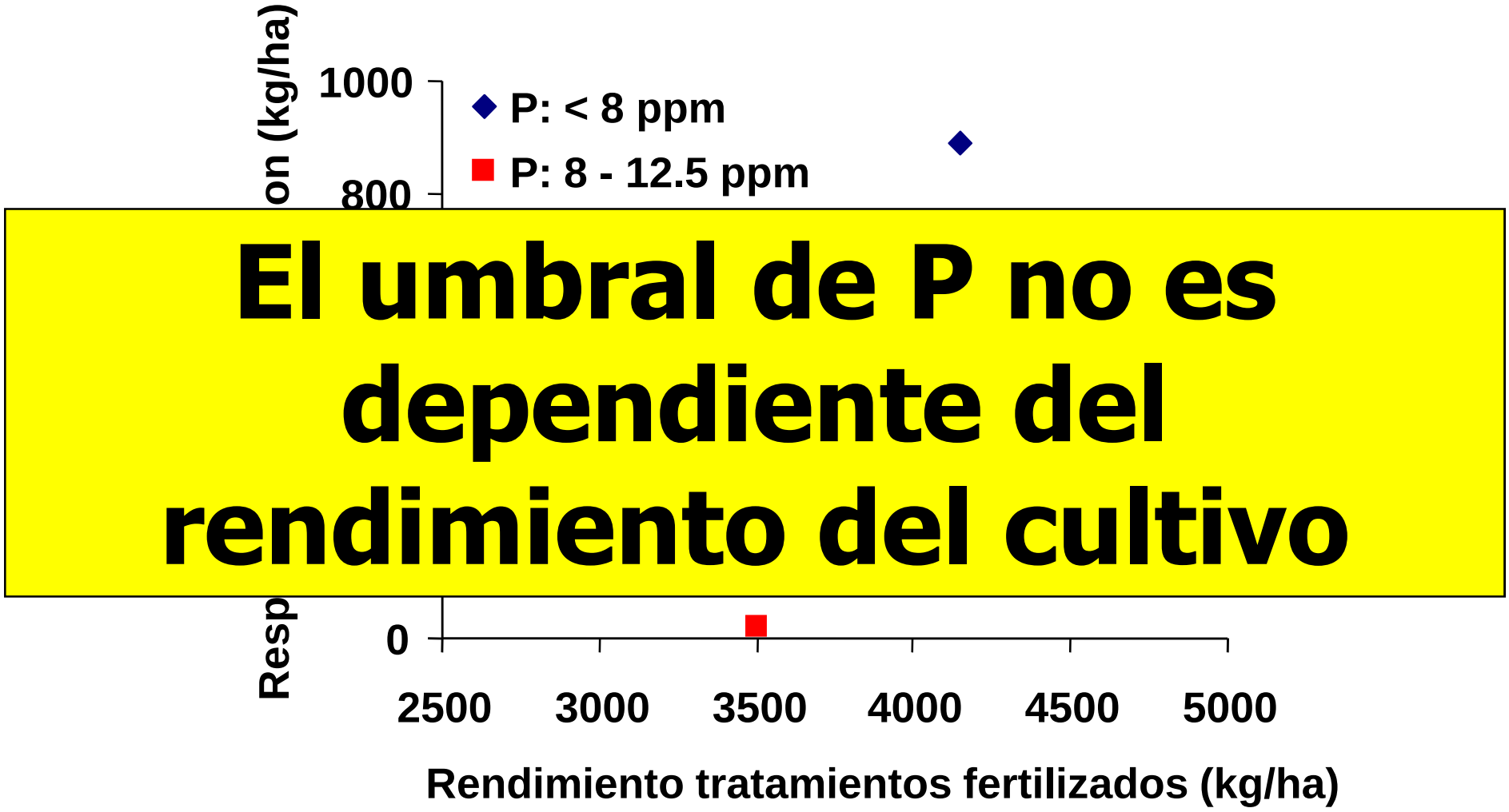


$$RR\ (\%) = \frac{\text{Testigo}}{\text{Fertilizado}} \times 100$$

El umbral de P no es dependiente de la localización geográfica

Gutierrez Boem et al., 2006

Soja: Respuesta a P y rendimiento esperado



El umbral de P no es dependiente del rendimiento del cultivo

Gutierrez Boem, inédito

IPNI

¿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)

IPNI

Filosofías de Manejo de la Fertilización de nutrientes de baja movilidad

1. Suficiencia o Respuesta Estricta

- Se fertiliza solamente por debajo del nivel critico.
- 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)

IPNI

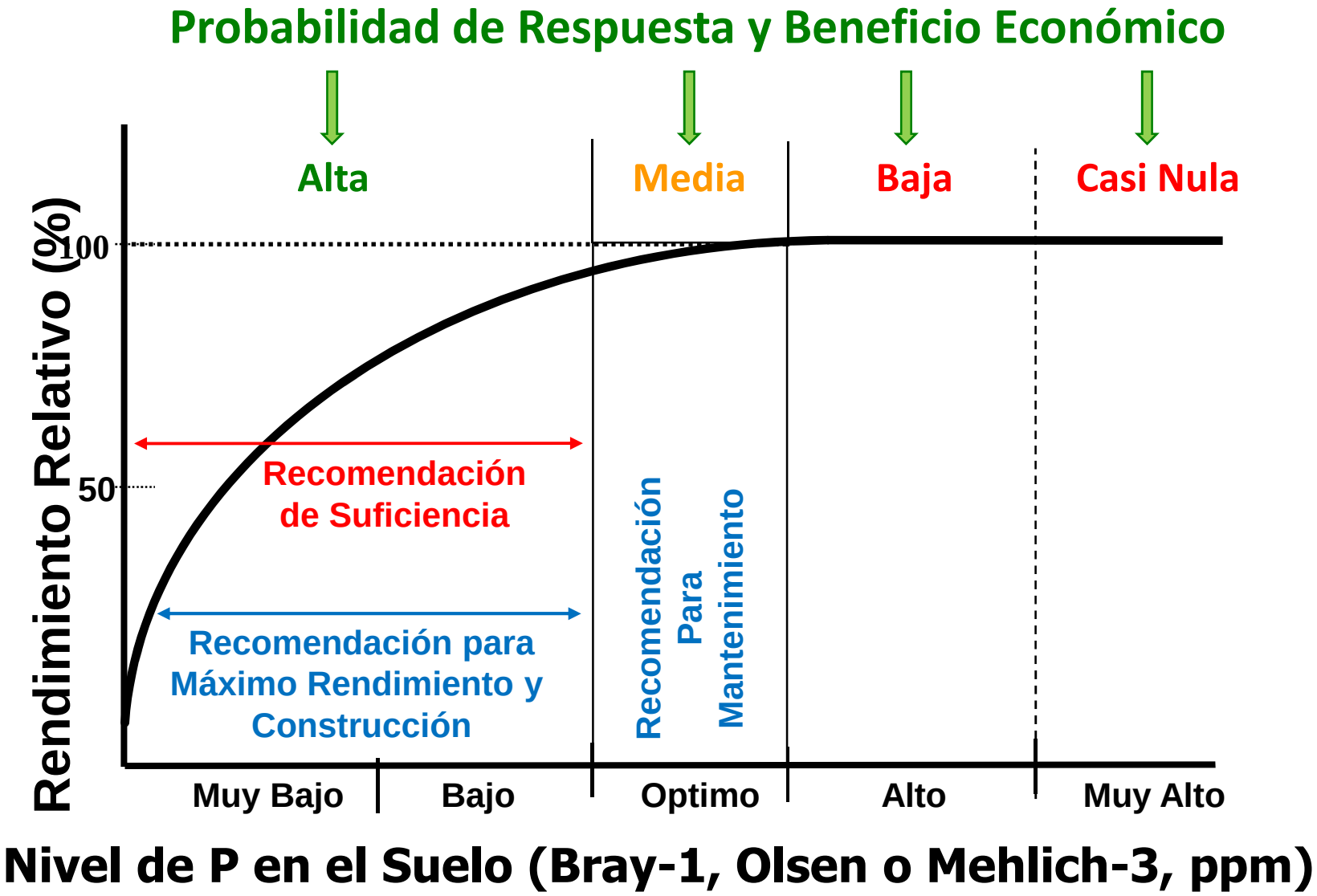
Filosofías de Manejo de la Fertilización de nutrientes de baja movilidad

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)

IPNI



Adaptado de Mallarino, 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

Maíz
Recomendaciones de fertilización fosfatada

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

Rendimiento	Concentración de P disponible en el suelo (mg/kg)						
	Menos 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
ton/ha	*kg P/ha*						
5	26	21	19	17	15	13	0
6	28	24	22	20	18	16	11
7	31	26	24	22	21	19	14
8	34	29	27	25	23	21	17
9	36	31	30	28	26	24	19
10	39	34	32	31	28	27	22
11	41	37	35	33	31	29	24
12	44	39	38	36	34	32	27
13	47	42	40	38	36	34	30
14	50	45	43	41	39	37	32

Soja

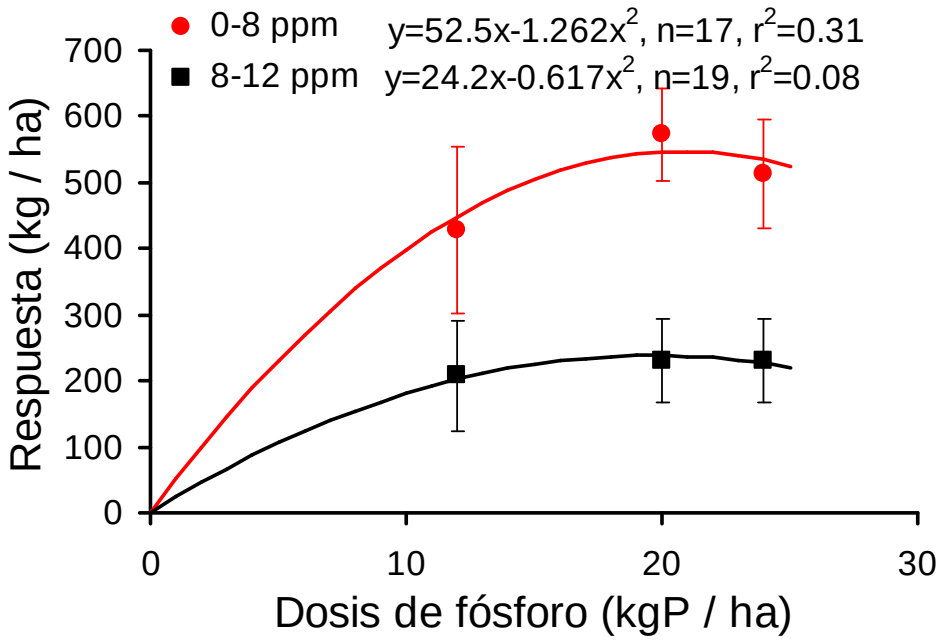
Recomendación de fertilización fosfatada según criterio de suficiencia

Categoría de P extractable	*Rendimiento (kg/ha)*		
	< 3000	*3000-5000*	*>5000*
	Dosis de P (kg P/ha)		
Muy Bajo	20	30	30+
Bajo	10	15	20
Medio	0	0	10
Alto	0	0	0
Muy Alto	0	0	0

Garcia et al., 2008

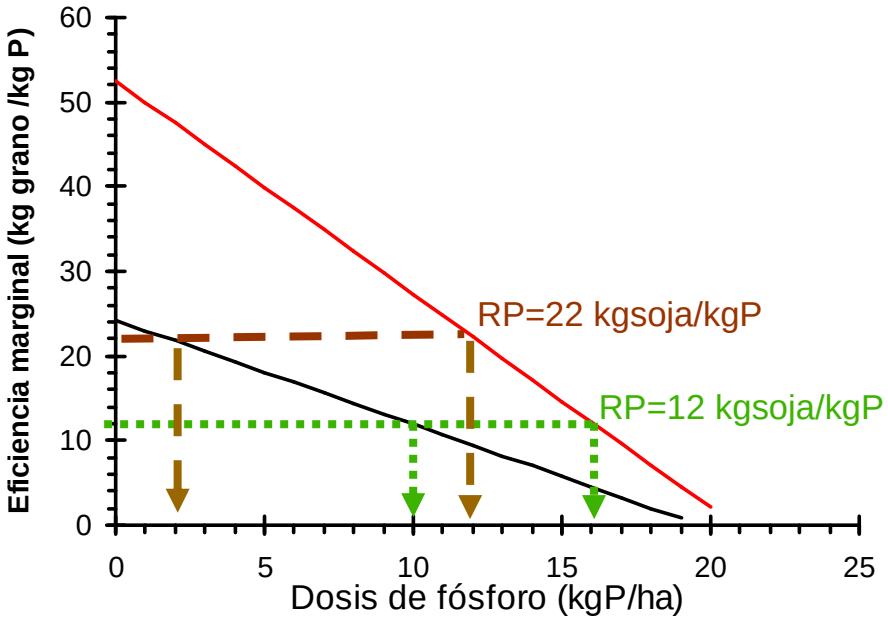
Dosis óptima económica (suficiencia)

Elaborado por Gutiérrez Boem (2008)



Cada punto es el promedio de 5 a 7 ensayos

Dosis óptima económica:
eficiencia marginal = relación de precios



Eficiencia marginal: es el aumento de rendimiento por kg de P adicional (la pendiente de la curva de respuesta)

La eficiencia marginal cae a mayor dosis:

Ef (0-8ppm) = 52.5 – 2.524 P

Ef (8-12ppm) = 24.2 – 1.234 P

Fuente: Echeverría et al., 2002; Calviño & Redolatti, 2004

¿Cuánto kg de P debo aplicar para subir 1 ppm de P Bray en Región Pampeana?

Rubio et al. (2007) - FAUBA

$$\text{Dosis P (kg P/ha)} = \frac{0.1*(\text{Densidad aparente (t/m3)} * \text{Prof (cm)})}{\text{Coeficiente b}}$$

Coeficiente b = 0.45369 + 0.00356 P Bray + 0.16245 Z – 0.00344 Arcilla

donde

- *Z es zona, Z es 1 al norte de la región pampeana y 2 al sur de la misma*
- *Arcilla es el porcentaje de arcilla del suelo*

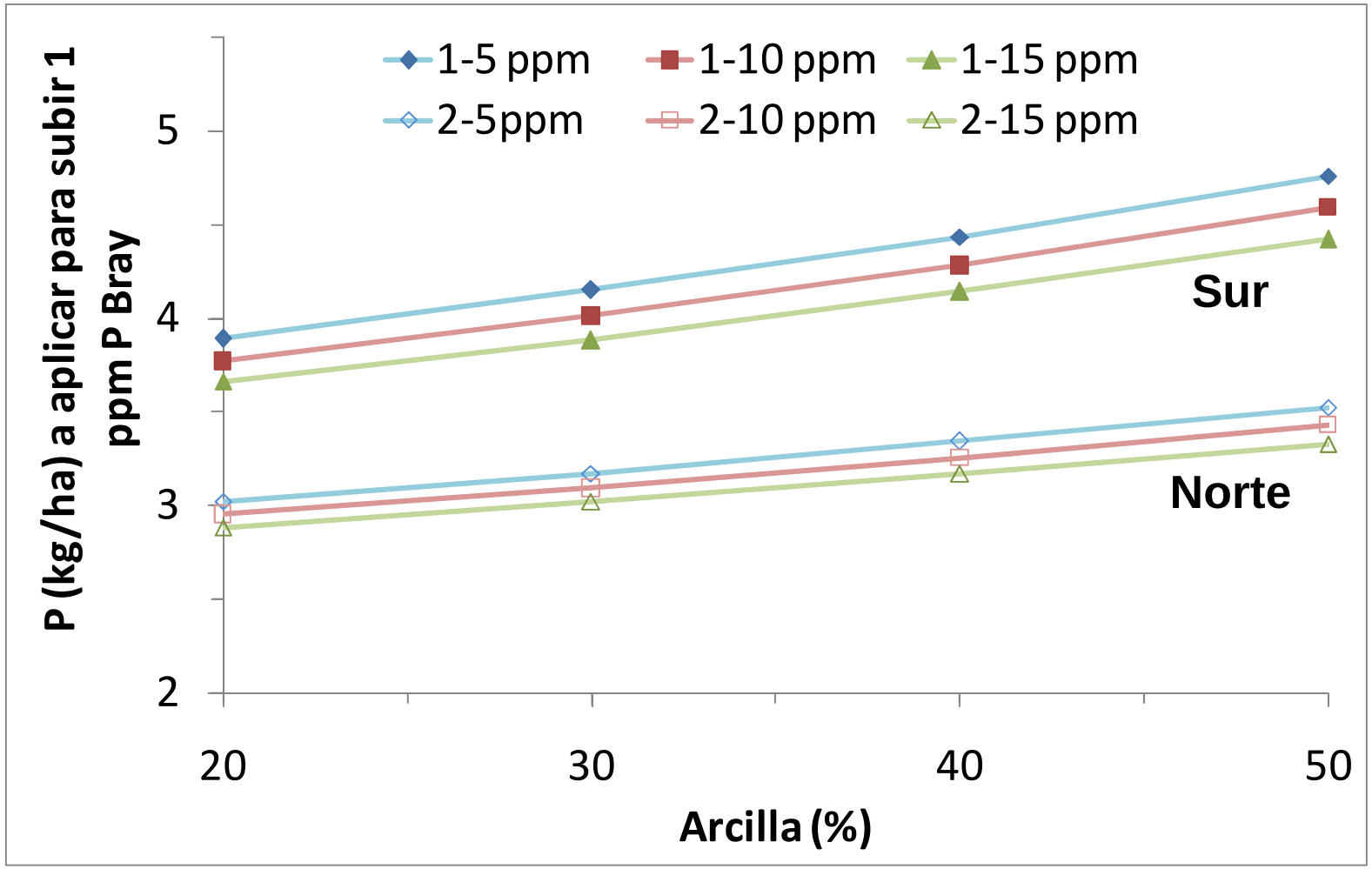
Se considera un aumento a los 45 días de aplicación del P del fertilizante, es decir para el ciclo del cultivo a fertilizar

En general, la dosis necesaria es mayor a menor P Bray inicial, en el Norte y con mayor concentración de arcilla

¿Cuánto kg de P debo aplicar para subir 1 ppm de P Bray en Región Pampeana?

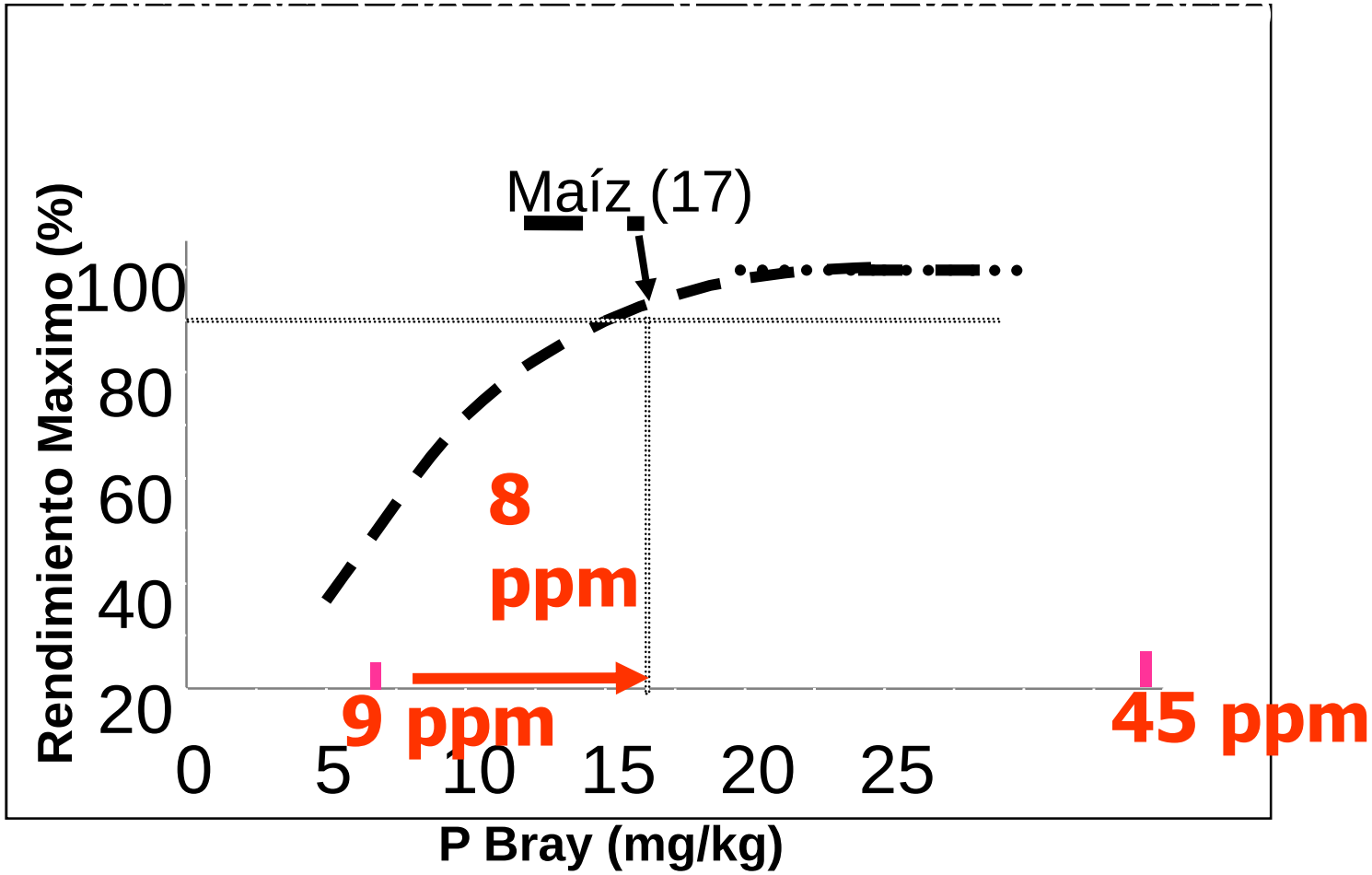
Dosis según P Bray inicial, % de Arcilla y Zona

Rubio et al. (2007) - FAUBA



Asume densidad aparente de 1.1 t/m3 y profundidad de 0-20 cm

¿Qué herramientas poseemos para determinar la dosis de P?



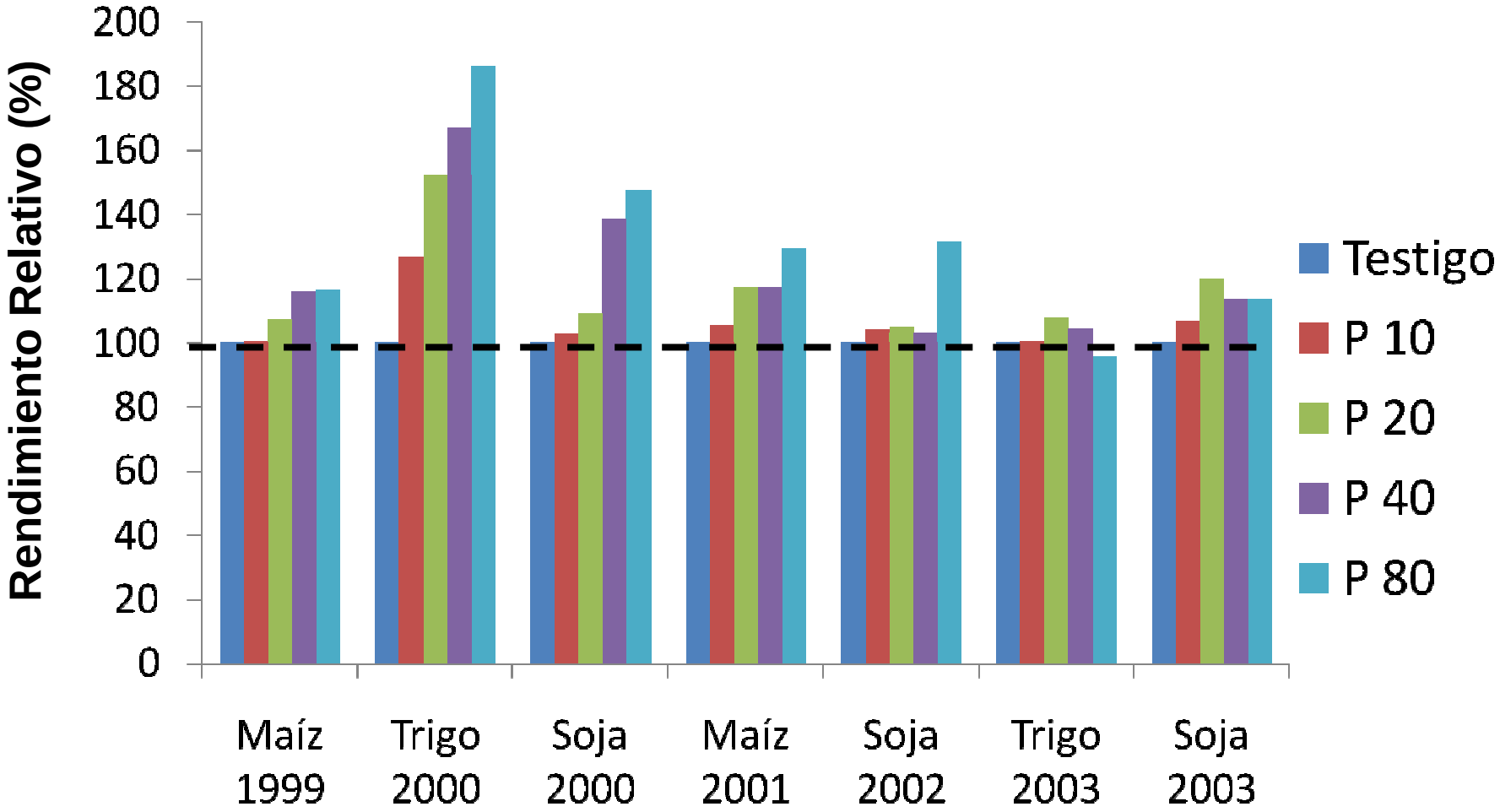
3 kg P ha^{-1} para aumentar 1 ppm de P Bray

8 ppm (*3)= 24 kg P ha^{-1}

En términos de fertilizante fosfatado seria aprox. de 120 kg ha^{-1} de FDA o SPT (46% P_2O_5).

Residualidad de Fósforo

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

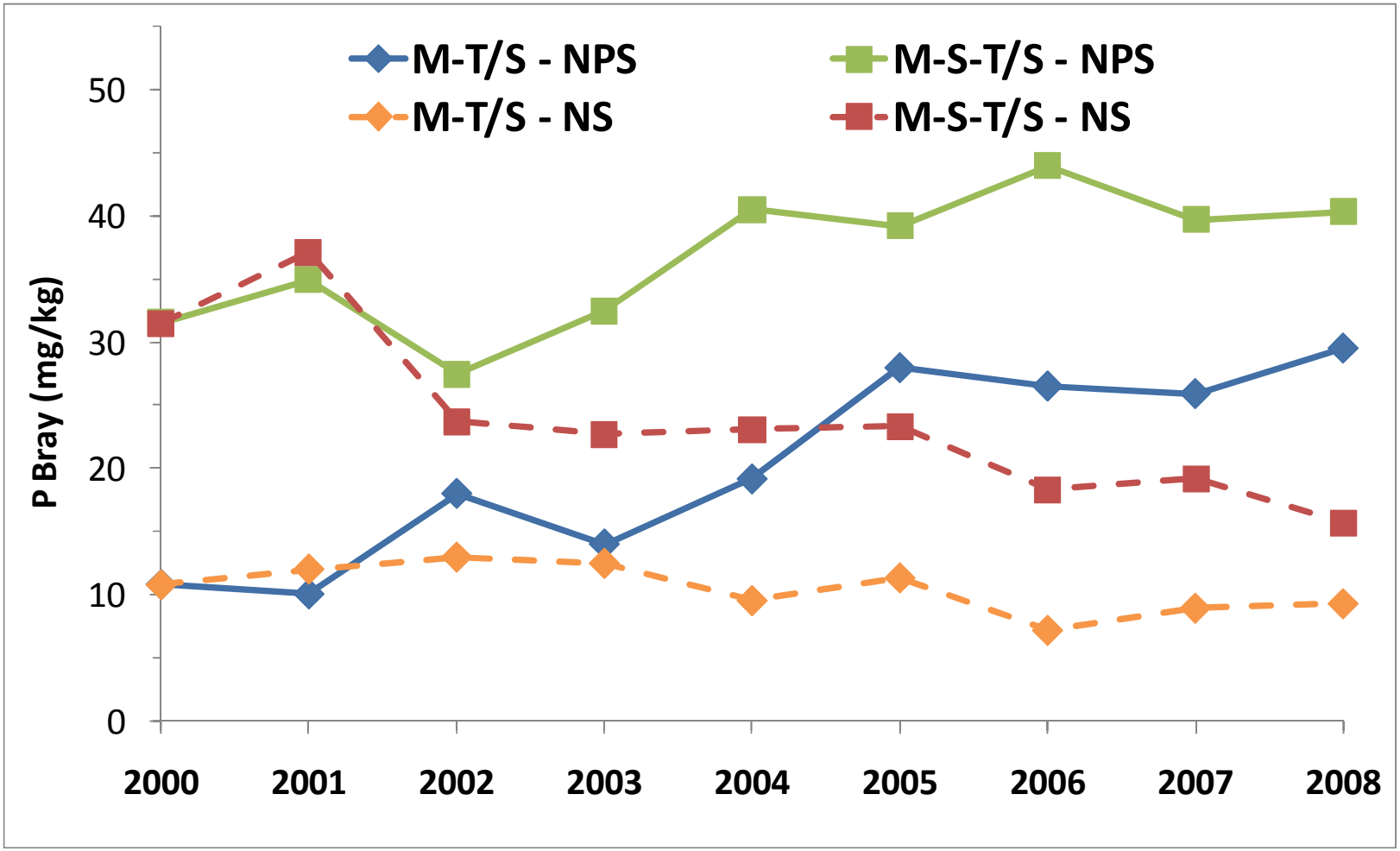


P aplicado a la siembra del Maíz en Septiembre 1999
o en todos los cultivos (R)
P Bray inicial 9 ppm

IPNI

Evolución P Bray con y sin aplicación de P en dos rotaciones

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe – 2000 a 2008



Dosis P: Remoción en granos + 5-10%

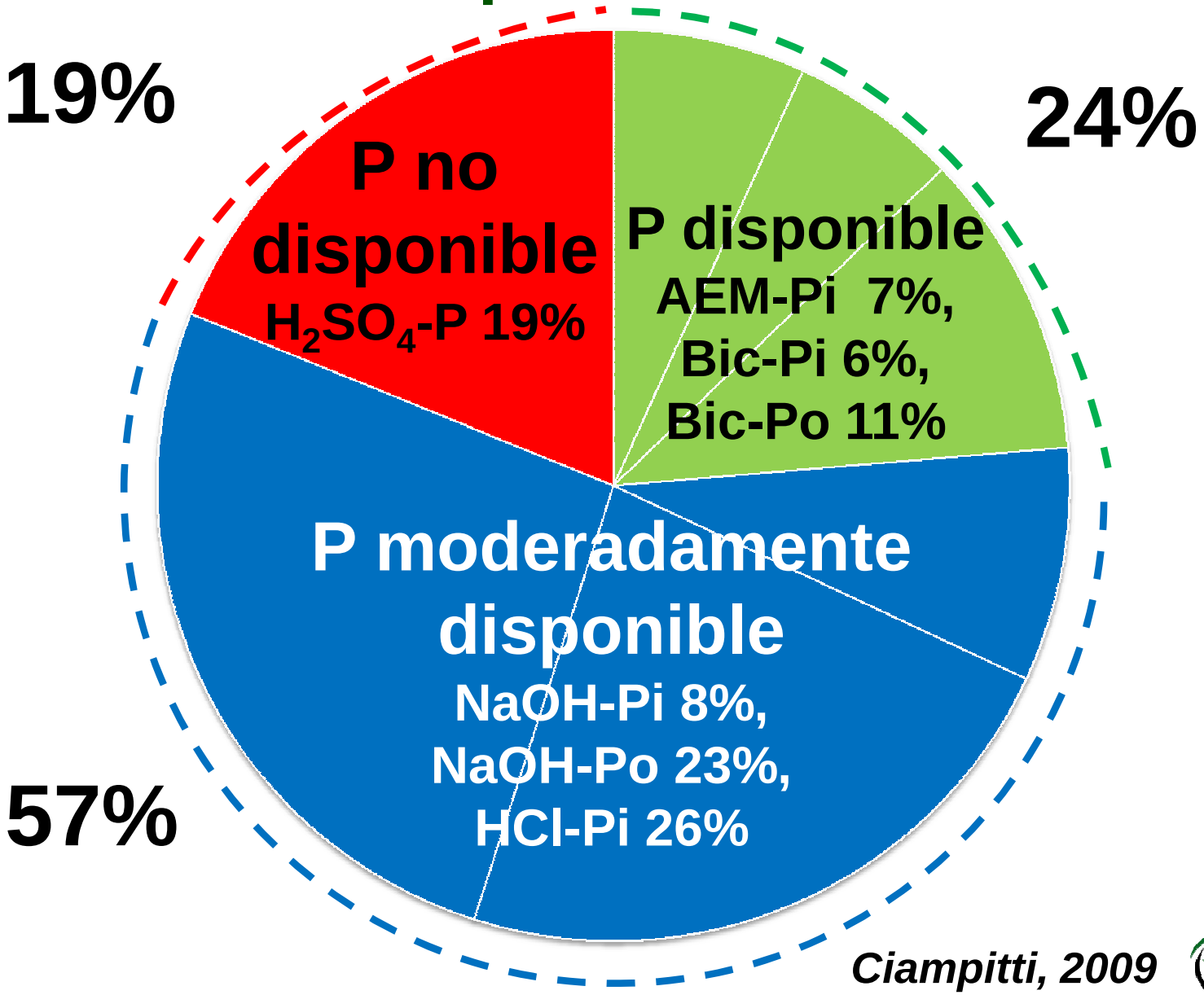
Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

¿Cuánto kg de P debo aplicar para subir 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 extraccion, P Bray inicial 22.5 ppm
Rubio et al. (2007)	2.9-6.0	45 días, sin extracción, según P Bray inicial, Arcilla, y Zona
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

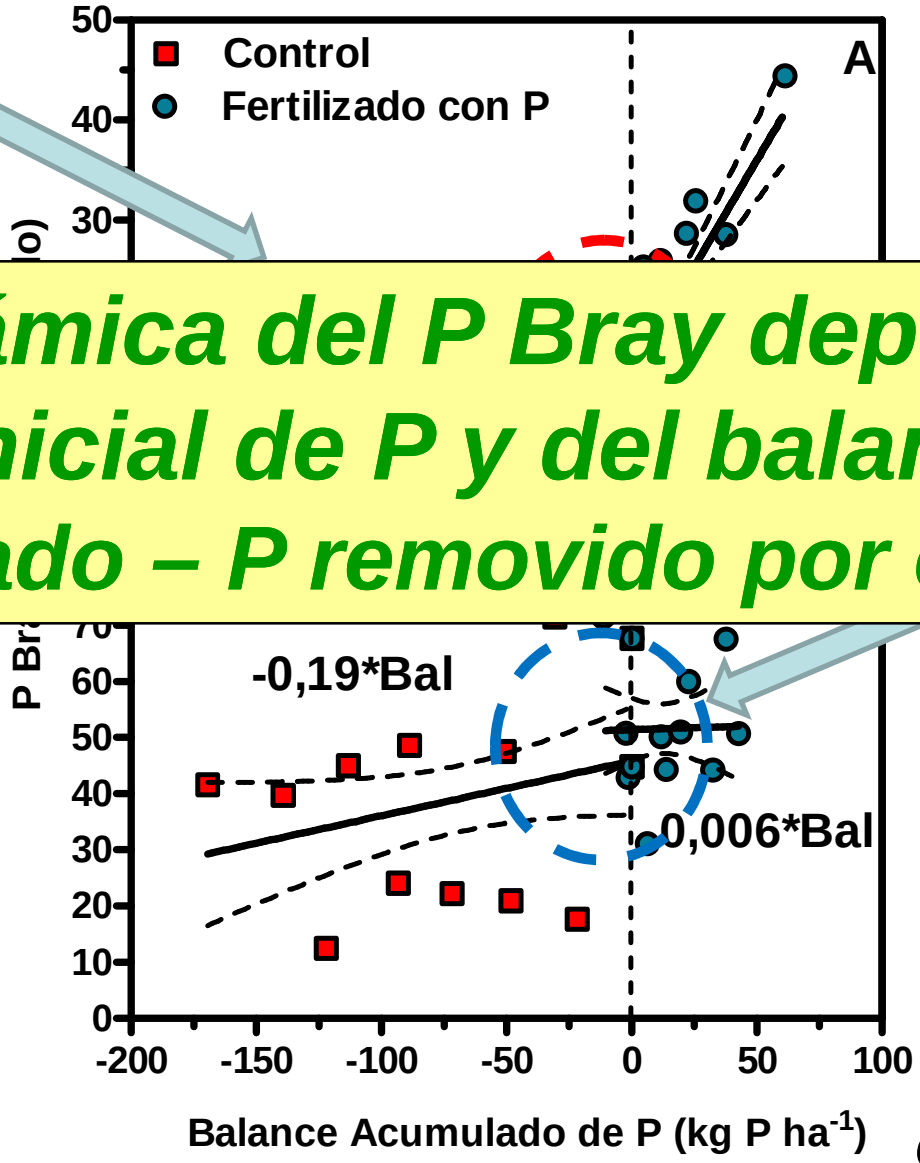
Destino del P del fertilizante no absorbido por la planta



Ciampitti, 2009

Relación entre el balance de P en suelo y el P extractable Bray P-1

Suelos < 20 ppm



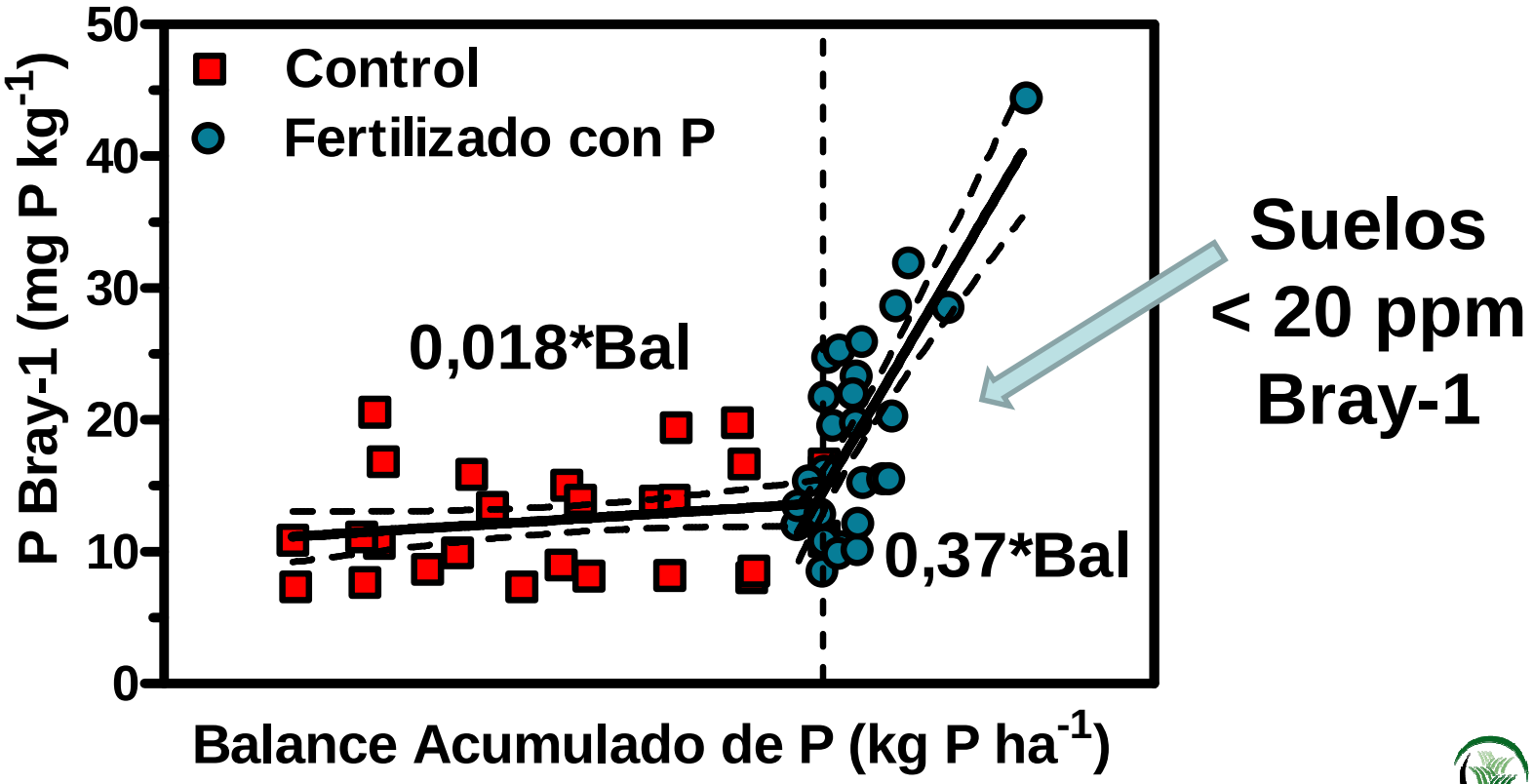
La dinámica del P Bray depende del nivel inicial de P y del balance de P (P aplicado – P removido por el cultivo)

Ciampitti, 2009

IPNI

Con balance negativo, en suelos < 20 ppm de P Bray

Rendimiento de maíz de 8 ton ha^{-1}
Extracción de P de 21 kg P ha^{-1},
Balance negativo en 21 kg P ha^{-1} (105 kg STP ha^{-1})
Caída estimada de P Bray = 0.018*21= *0.38 ppm*

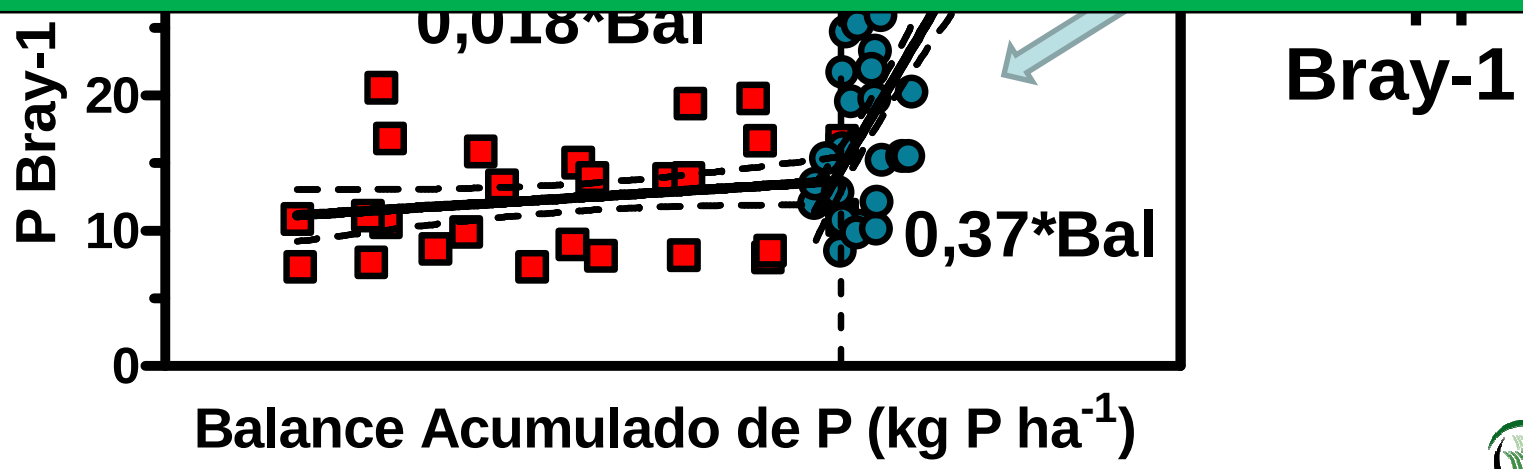


IPNI

Con balance positivo, en suelos < 20 ppm de P Bray

Rendimiento de Maíz de 8 ton ha^{-1}
Extracción 21 kg P ha^{-1} - Aplicacion 24 kg P ha^{-1}
Balance positivo de 3 kg P ha^{-1} (15 kg STP ha^{-1})

El P Bray aumento en 1 ppm, llegando a 10 ppm de P Bray, al final del cultivo

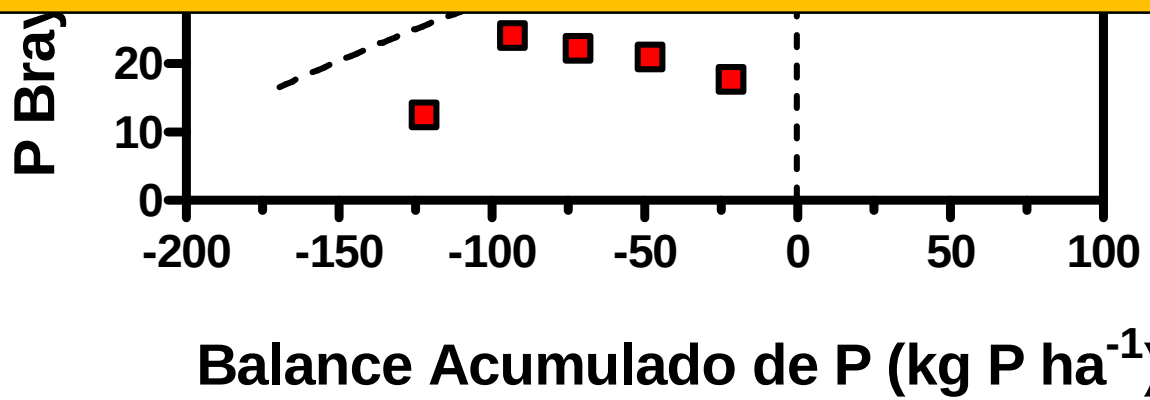


IPNI

Con balance negativo, en suelos > 40 ppm de P Bray

Rendimiento de maíz de 14 ton ha^{-1}
Extracción 36 kg P ha^{-1}

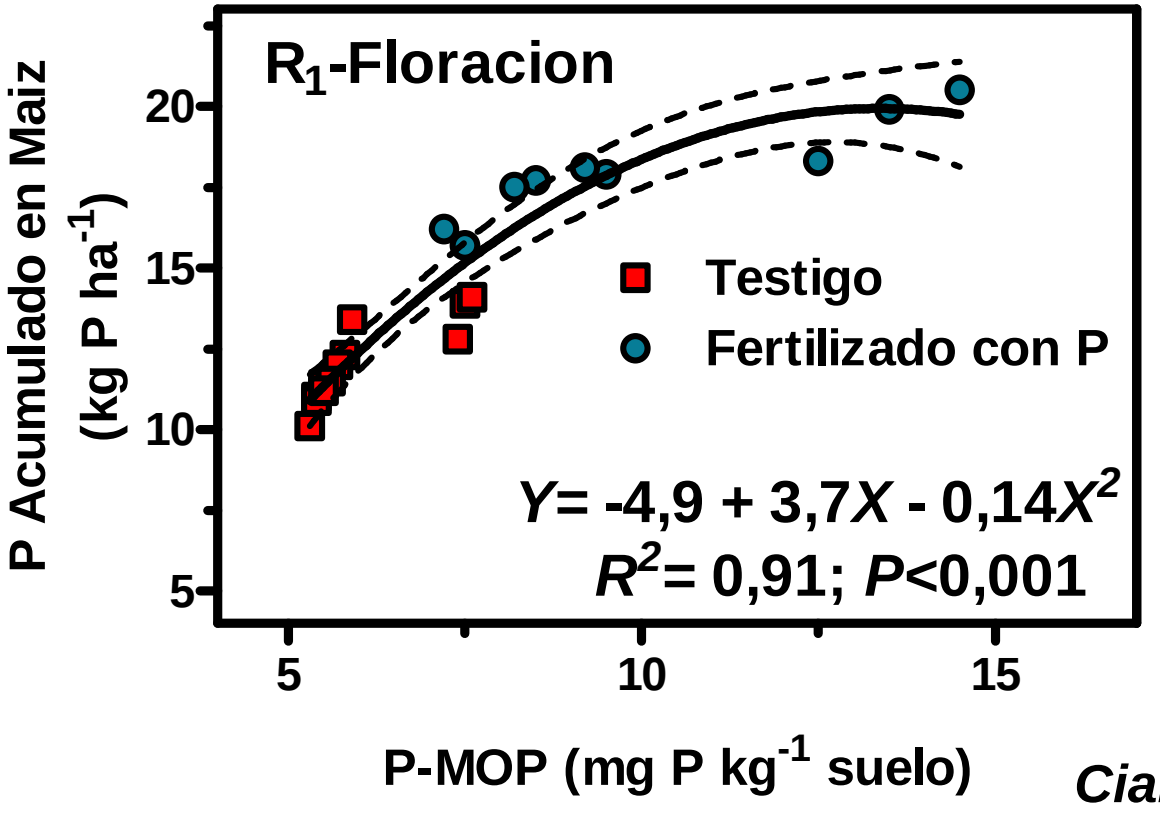
El P extractable disminuiría en 7 ppm, el valor de P extractable final seria de 38 ppm de P Bray



IPNI

P en materia orgánica particulada o joven

Futura línea de investigación



Ciampitti, 2009

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 organico potencialmente disponible para la nutrición del cultivo.

Trigo: Fertilización fosfatada
Respuesta y resultados económicos

Elaborado a partir de datos de Berardo y col., 1998

Bray P	Respuesta		Margen Bruto fertilización
ppm	kg/ha	kg trigo/kg P	U$/ha
<5	1882	86	154
5-10	1611	73	121
10-15	1310	60	86
15-20	1009	46	50
20-25	708	32	14
>25	407	18	-23

- *Aplicación de 22 kg/ha de P*
- *Precio neto de trigo 120 U$/ton*
- *Precio fertilizante 3.2 U$/kg (FMA 650 U$/t)*
- *Actualización Mayo 2009*

Relaciones de precio Trigo/P

Precio neto trigo	Precio fosfato monoamonico (U$/t)				
	500	600	700	800	900
U$/t	kg trigo para pagar 1 kg de P				
100	22	27	31	36	40
120	19	22	26	30	33
140	16	19	22	25	29
160	14	17	19	22	25

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

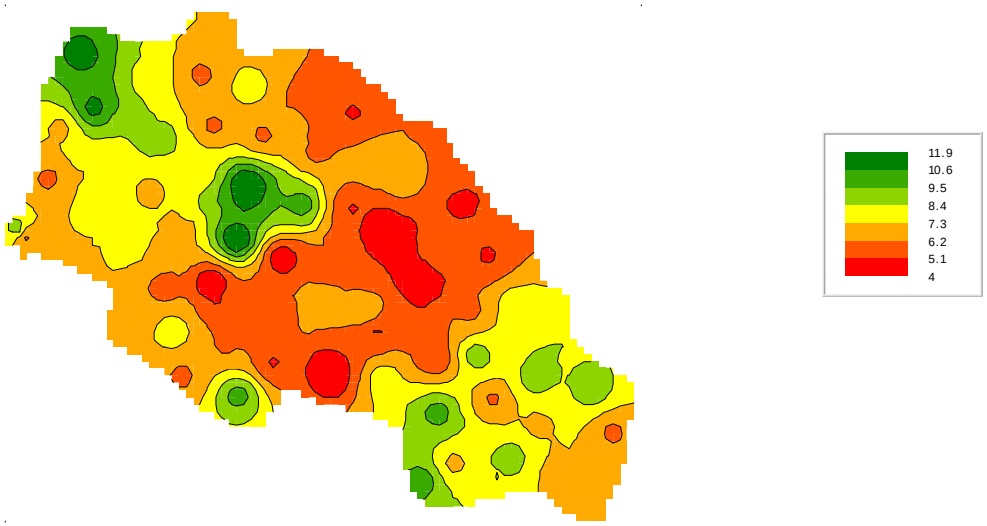
3 kg soja por kg de FMA o 13 kg soja por kg P

Variabilidad: un gran problema

- **Existe variabilidad de diferentes orígenes que ocurre a varias escalas.**
  - **Variabilidad natural: tipo de suelo, pendiente - ocurre a gran escala.**
  - **Manejo: erosión, cultivos previos, laboreo, aplicación de fertilizantes y estiércol - ocurre a escalas grandes y pequeñas.**

Análisis de suelo

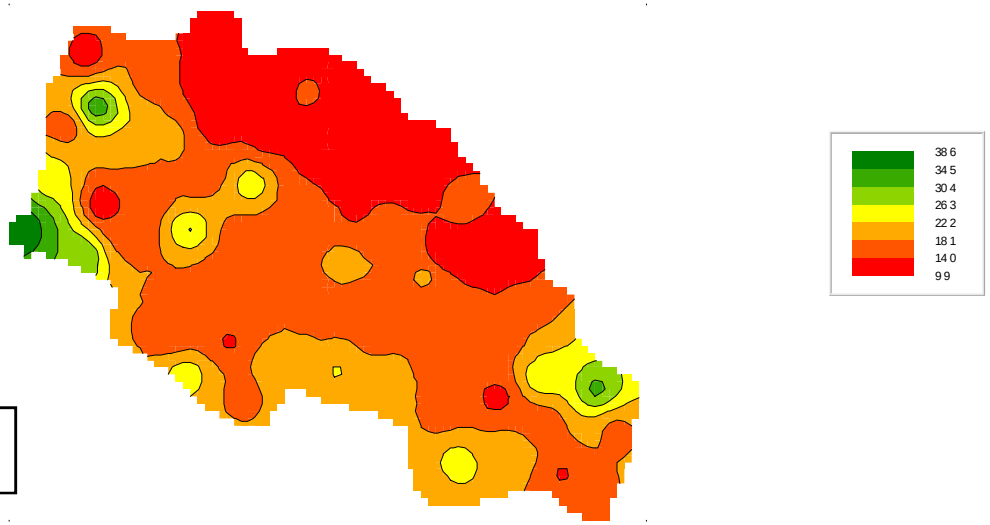
P Olsen



Suelo Andisol

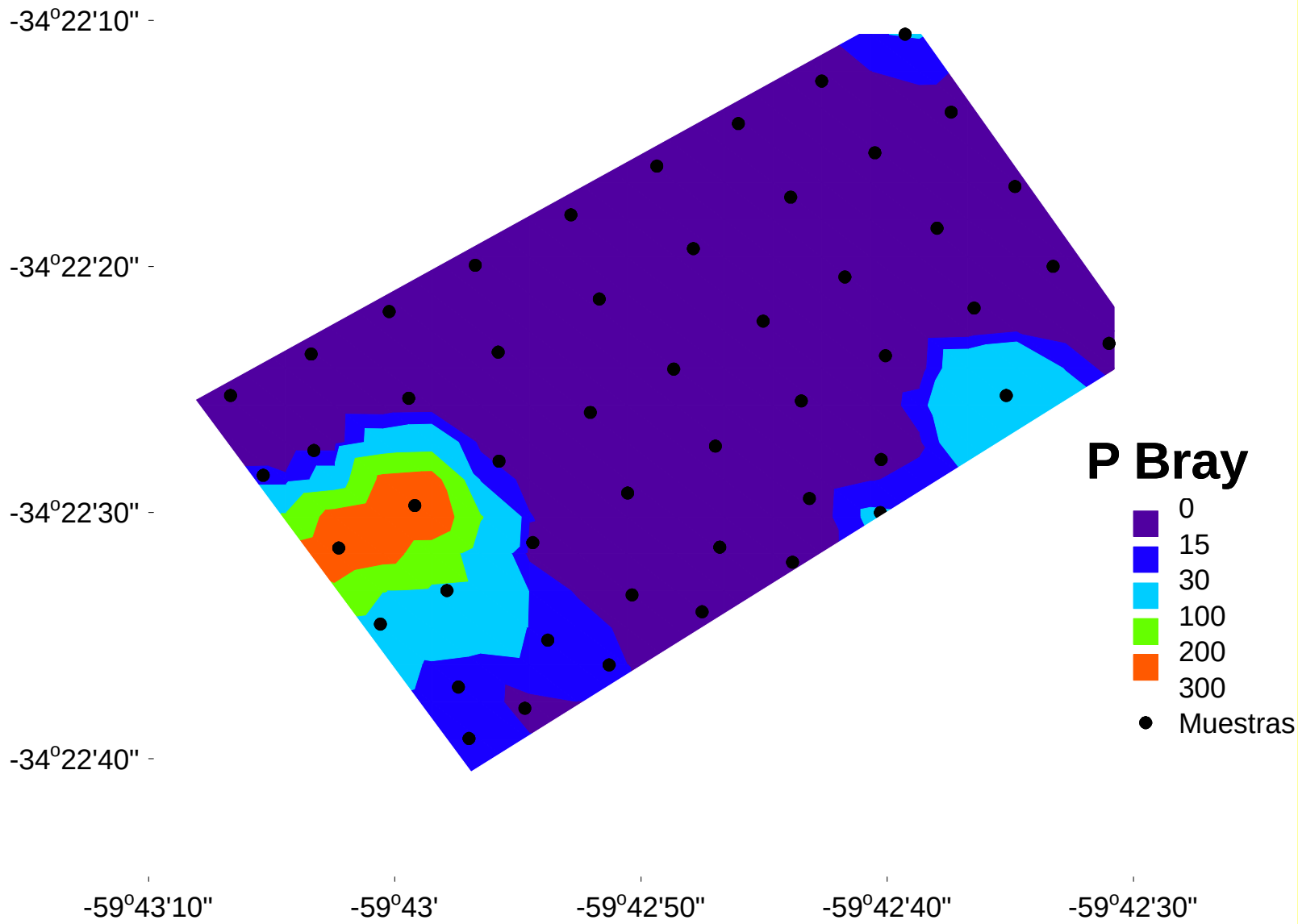
del centro-sur de Chile

K intercambiable



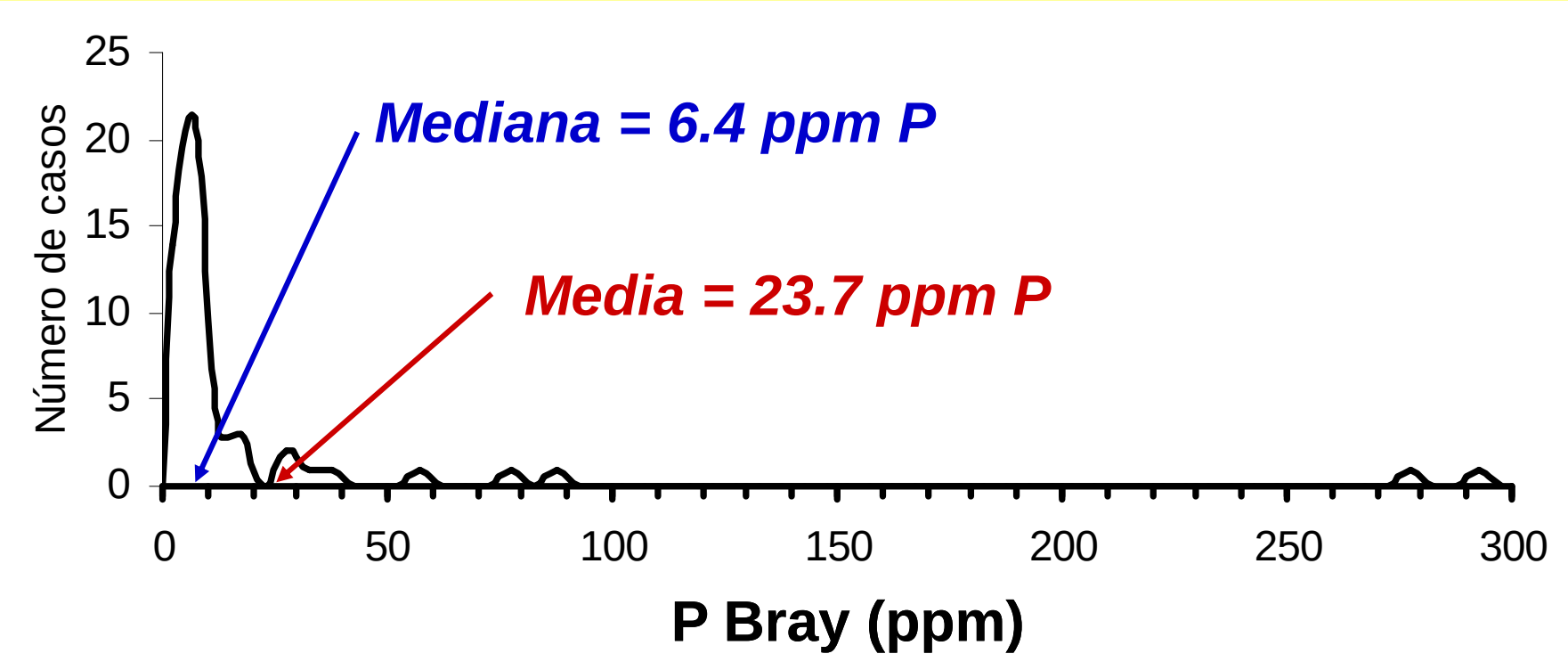
Ortega Blu y colaboradores, 2000

Variabilidad



Tomado de Gutiérrez Boem y Marasas (2004)

Variabilidad

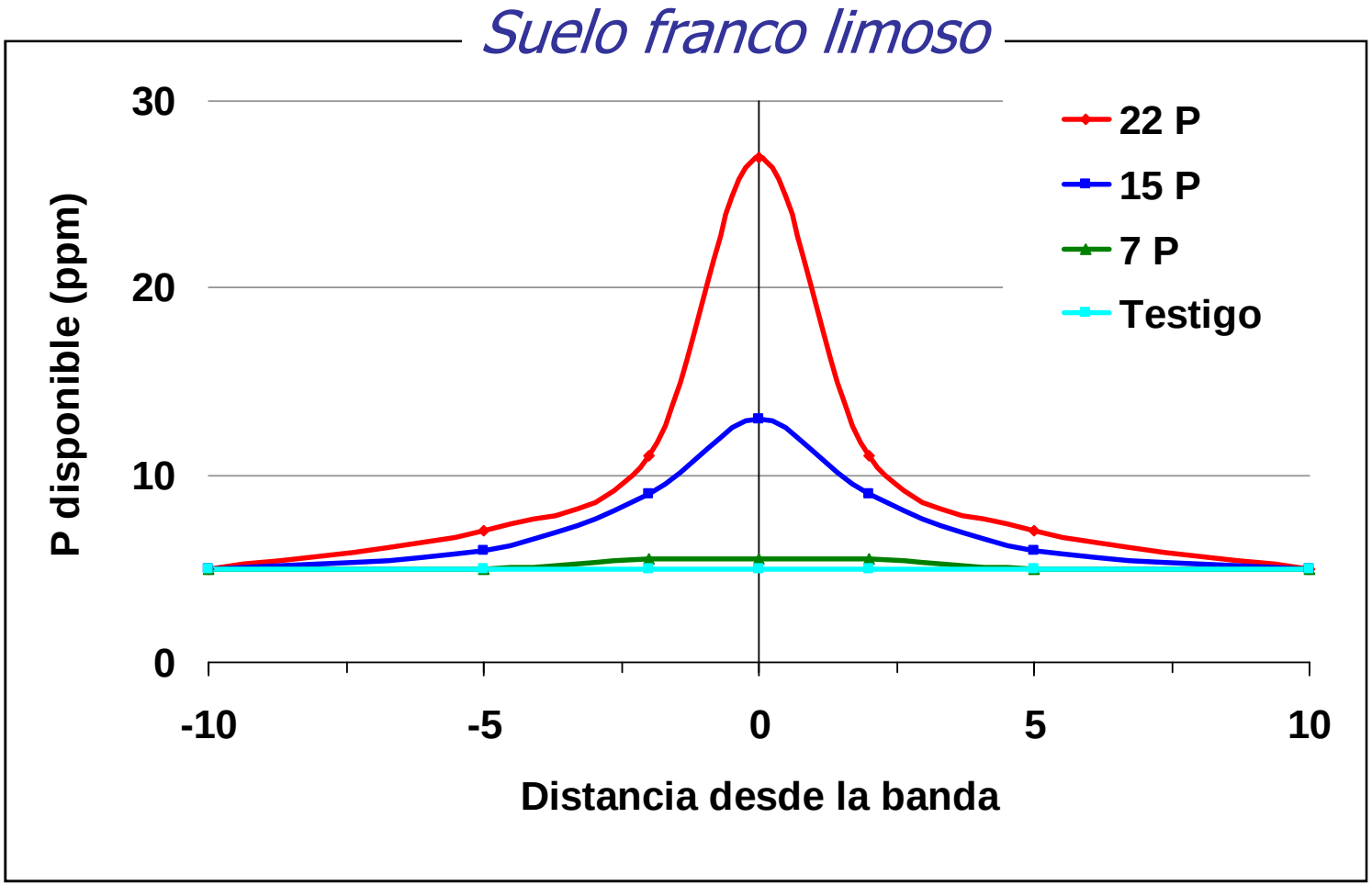


Tomado de Gutiérrez Boem y Marasas (2004)

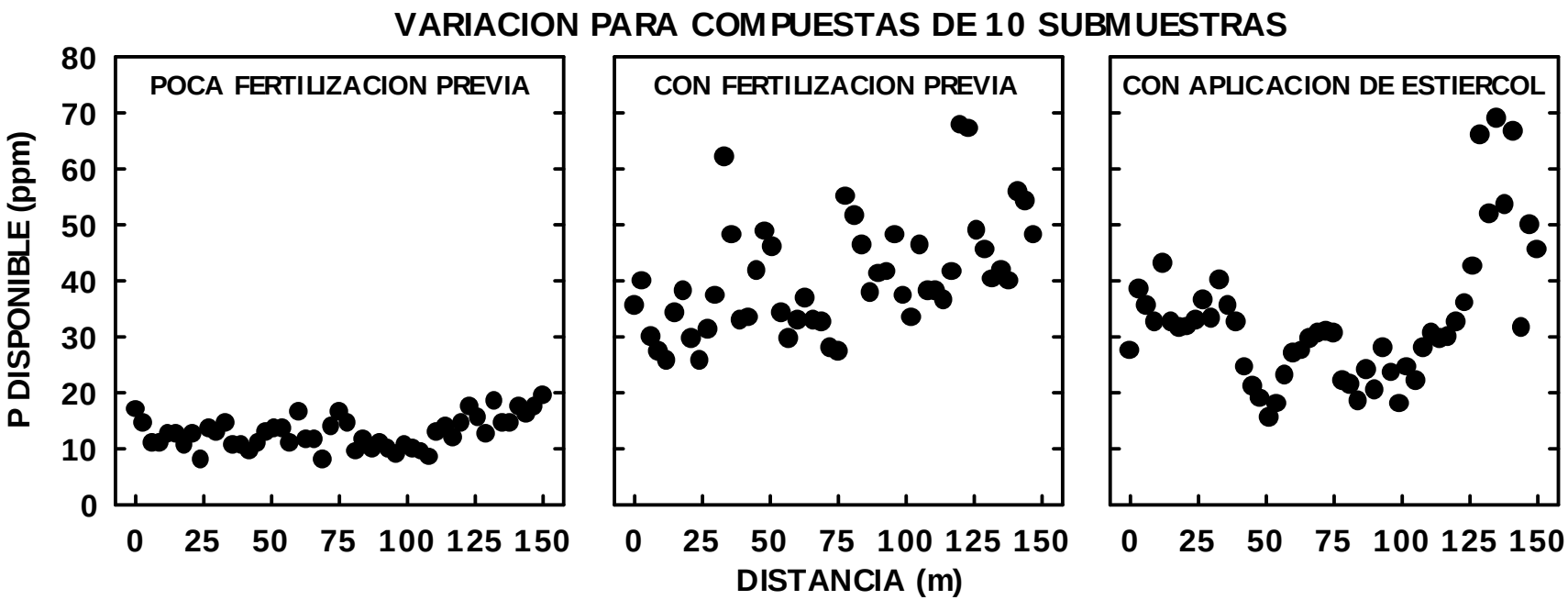
Variabilidad: un gran problema

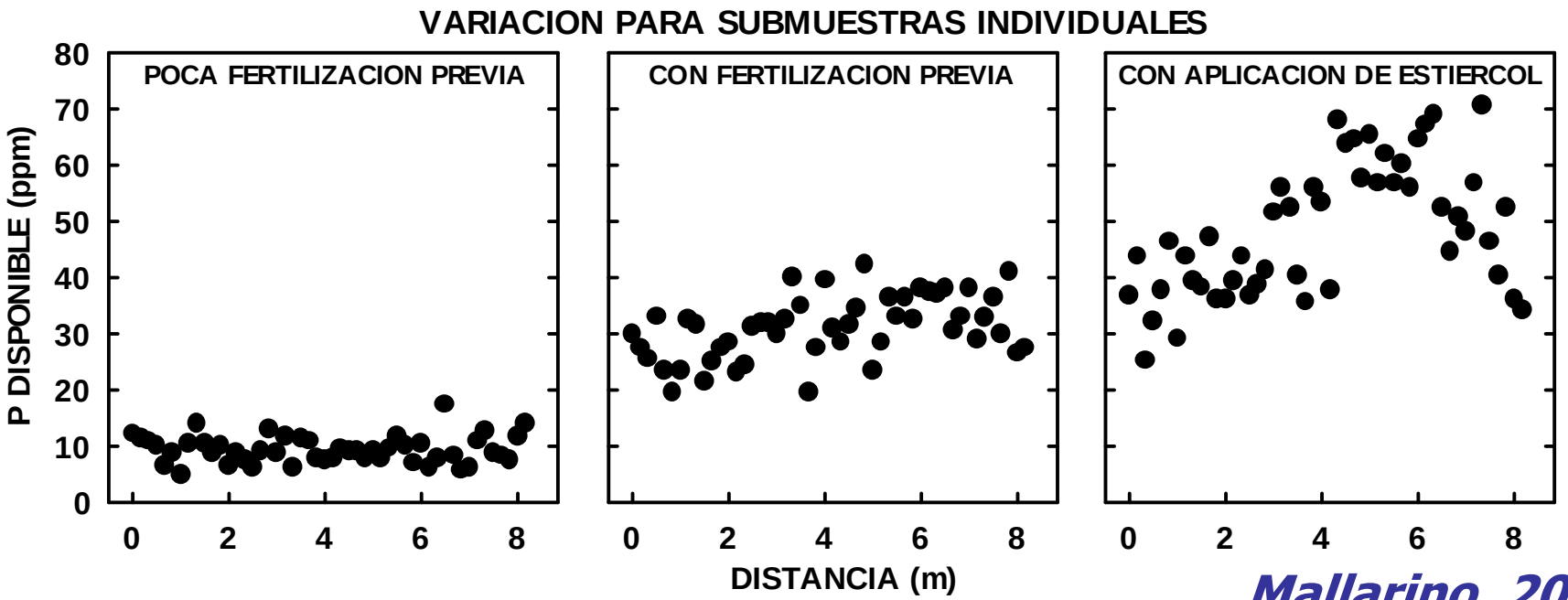
- La variabilidad en pequeña escala es especialmente alta con:
  - siembra directa debido a la mínima mezcla de fertilizantes con el suelo,
  - fertilización bandeada,
  - para nutrientes inmóviles y con mucha residualidad tal como P.

Distribución de P residual alrededor de una banda de fertilización



Kitchen et al., 1990





Mallarino, 2001

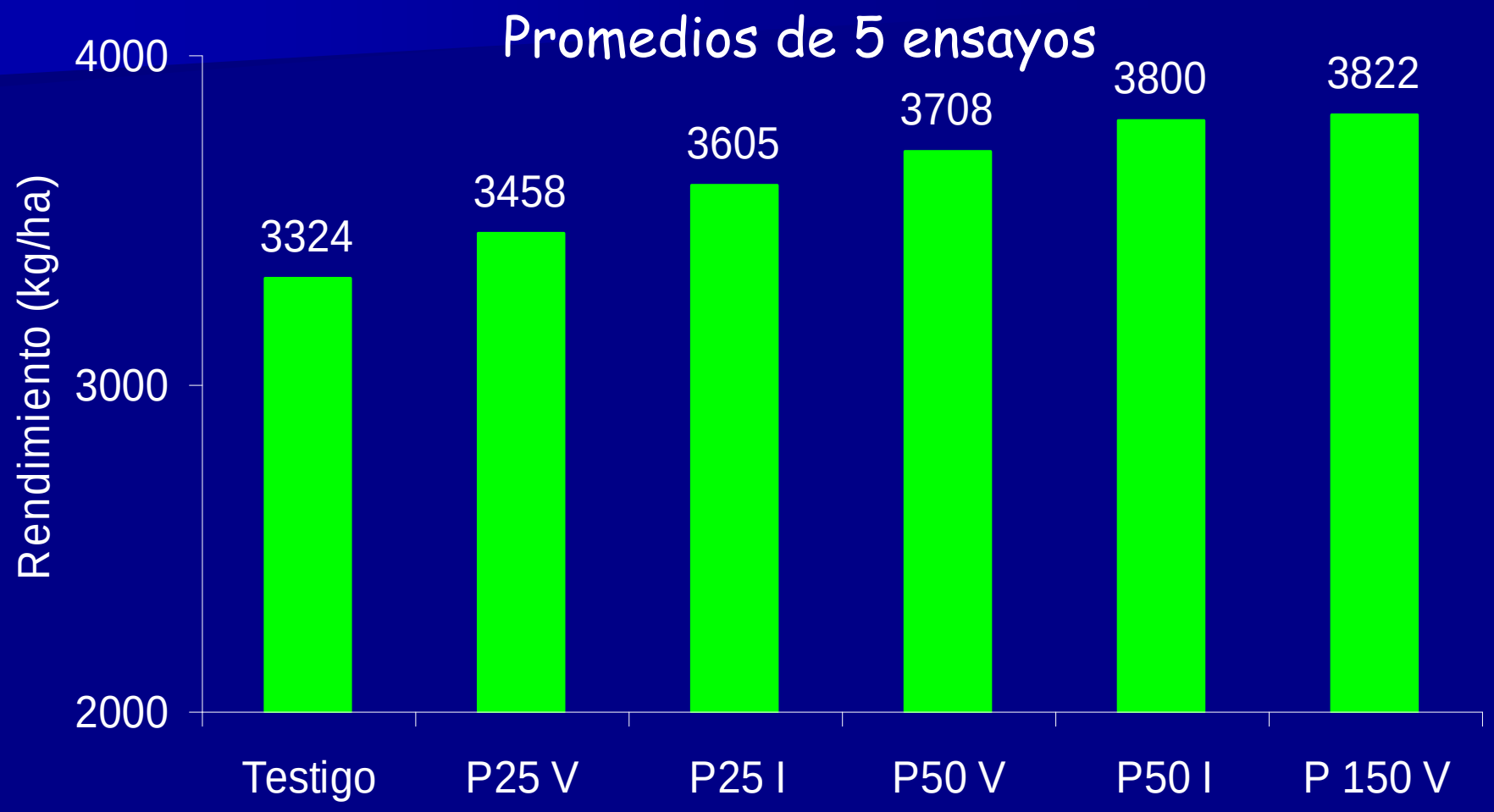
¿Cuándo el P al voleo puede funcionar como el bandeado?

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)*

IPNI

Métodos de aplicación de P en trigo bajo siembra directa

Bianchini (2003), Ensayos Red AAPRESID-Mosaic



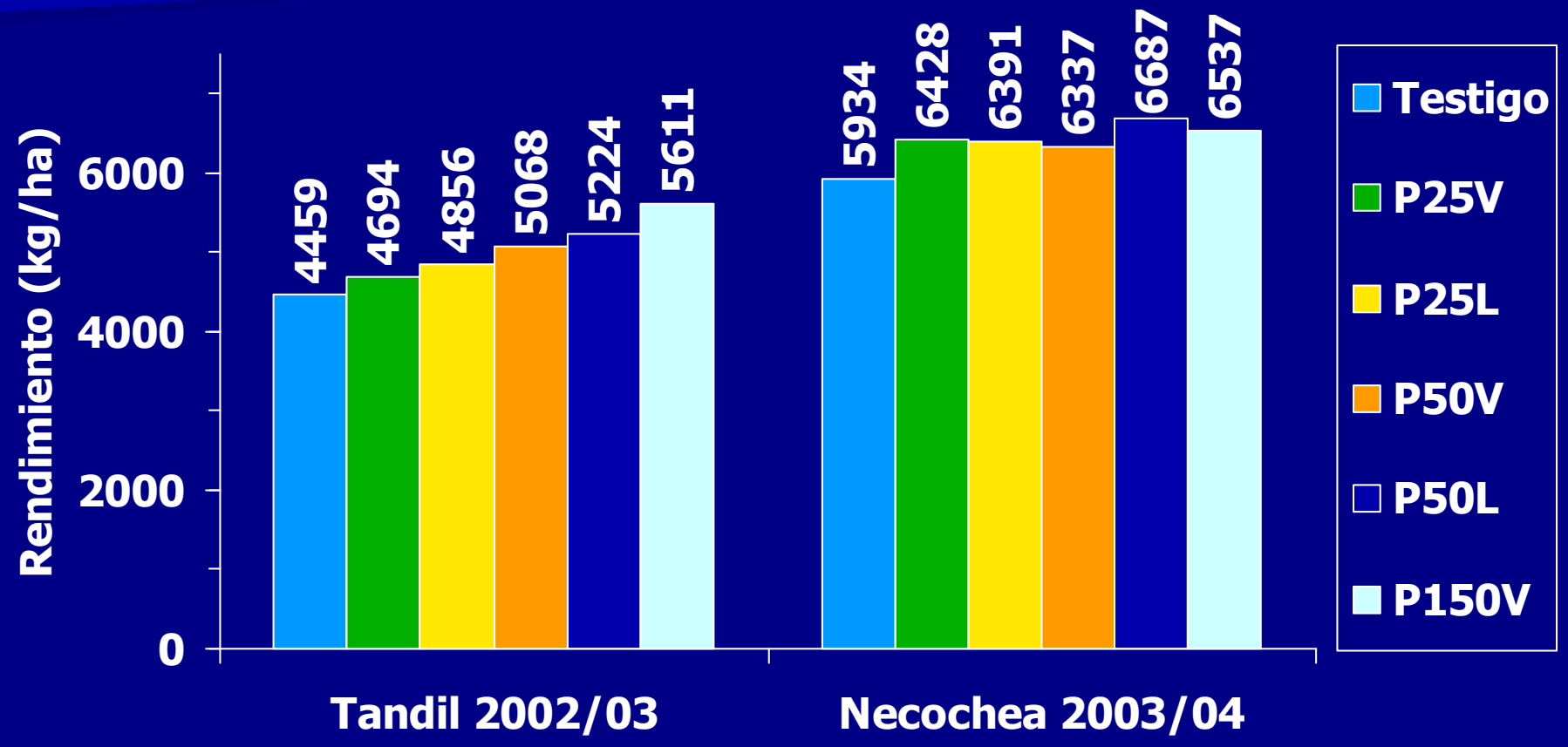
I = Incorporado en líneas V = al voleo anticipado

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

I = Incorporado en líneas V = al voleo anticipado

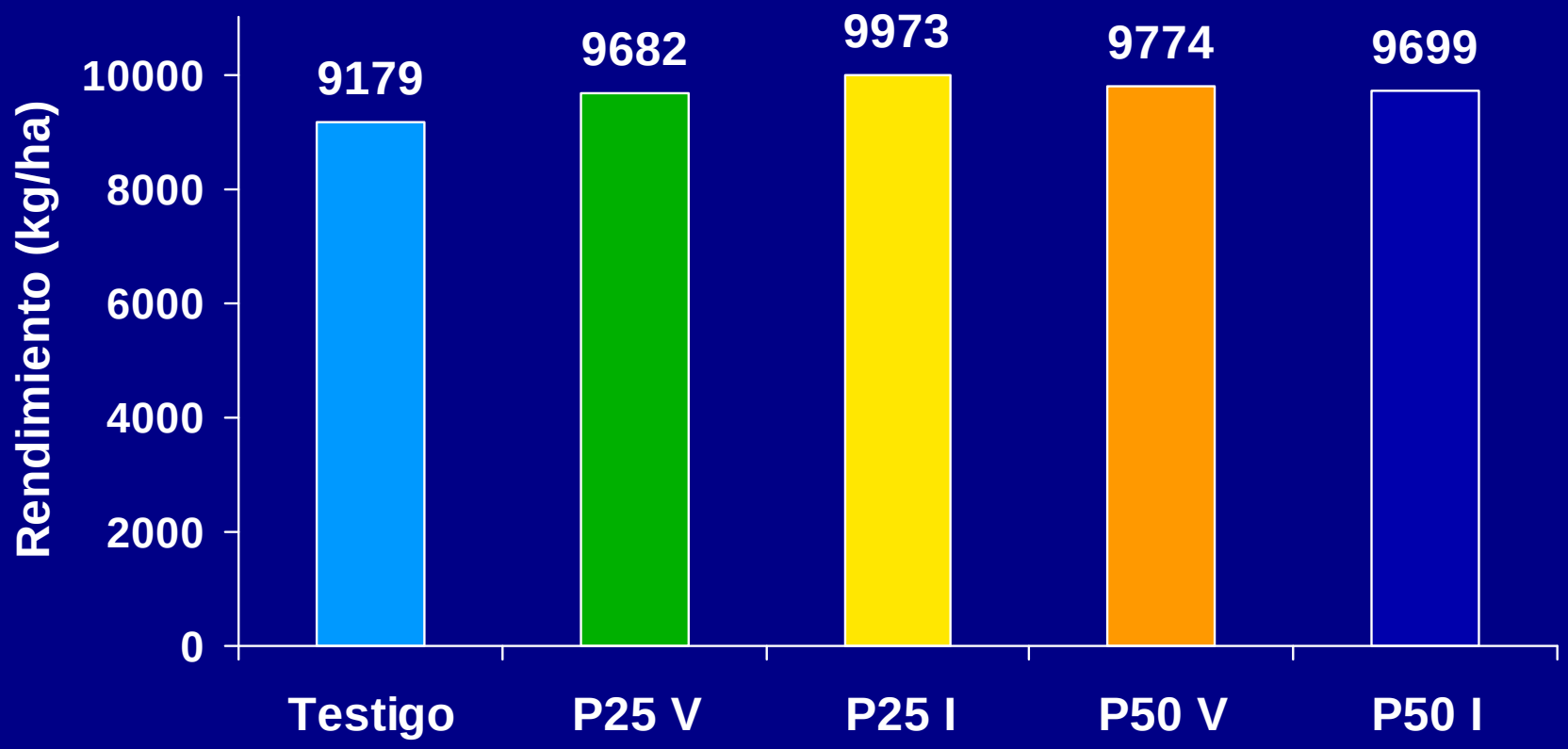


P Bray 8.3 ppm – MO 5.5% - pH *P Bray 14 ppm – MO 5.7% - pH*

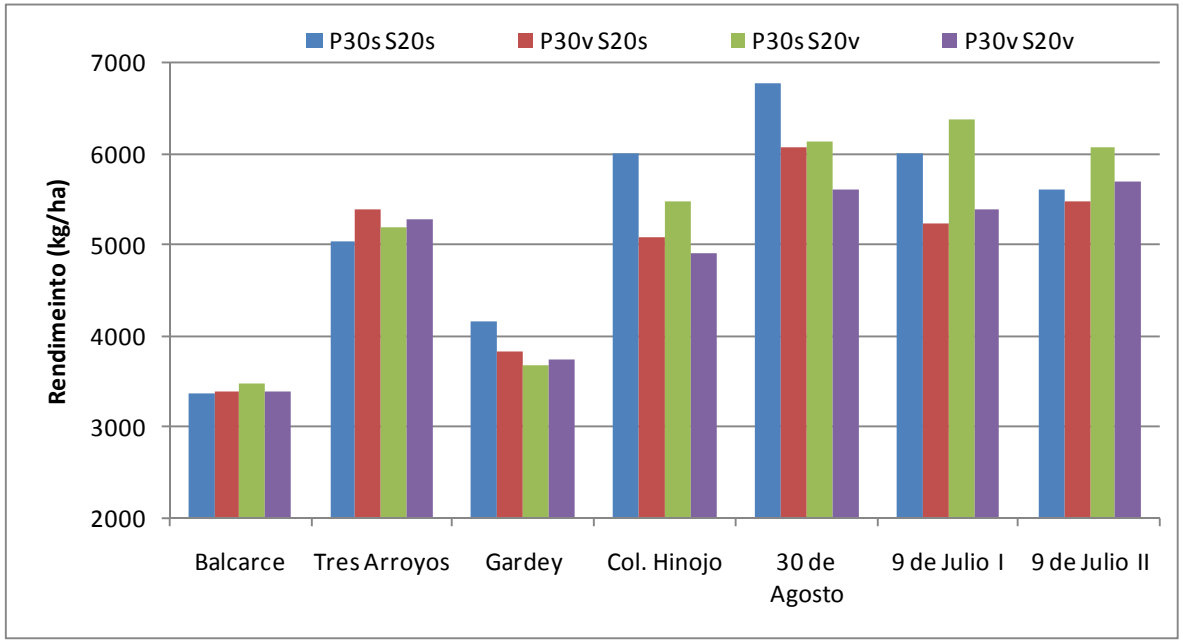
N no limitante

Métodos de aplicación de P en maíz bajo siembra directa
Red AAPRESID-Cargill – Bianchini et al. (2004)

Promedios de seis sitios en Región Pampeana Argentina
P Bray al inicio de 8.3 a 22.4 mg/kg



I = Incorporado en líneas V = al voleo anticipado

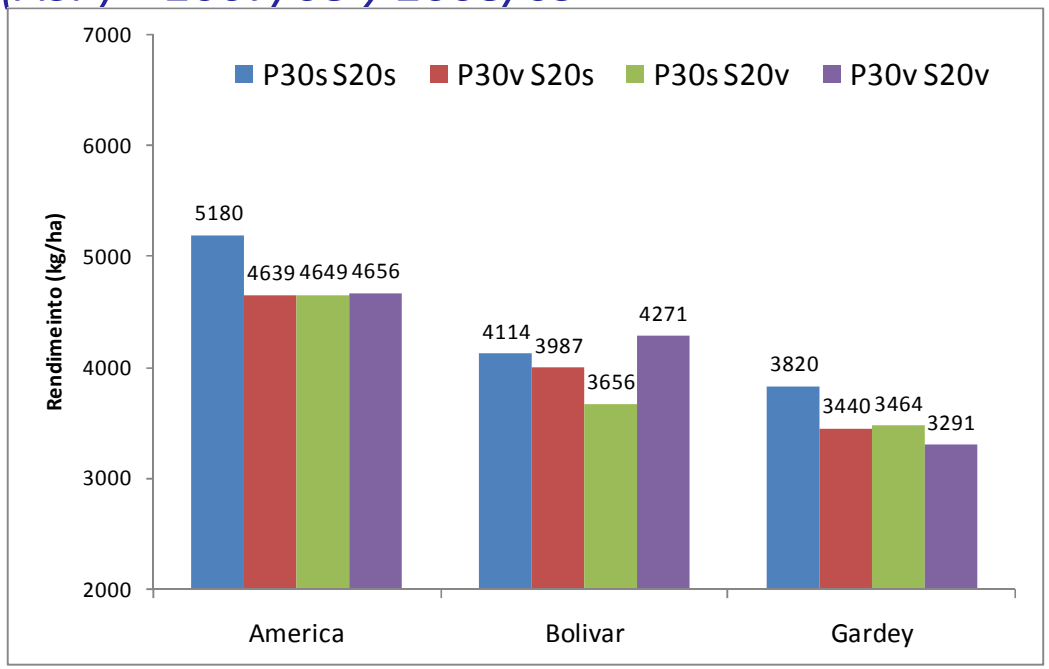


2007/08
Diferencias en Hinojo, 9 de Julio y 30 de Agosto

Trigo: Aplicación PS en el sur de Buenos Aires

E. Caracoche y col. (ASP) – 2007/08 y 2008/09

2008/09
Sin diferencias entre tratamientos



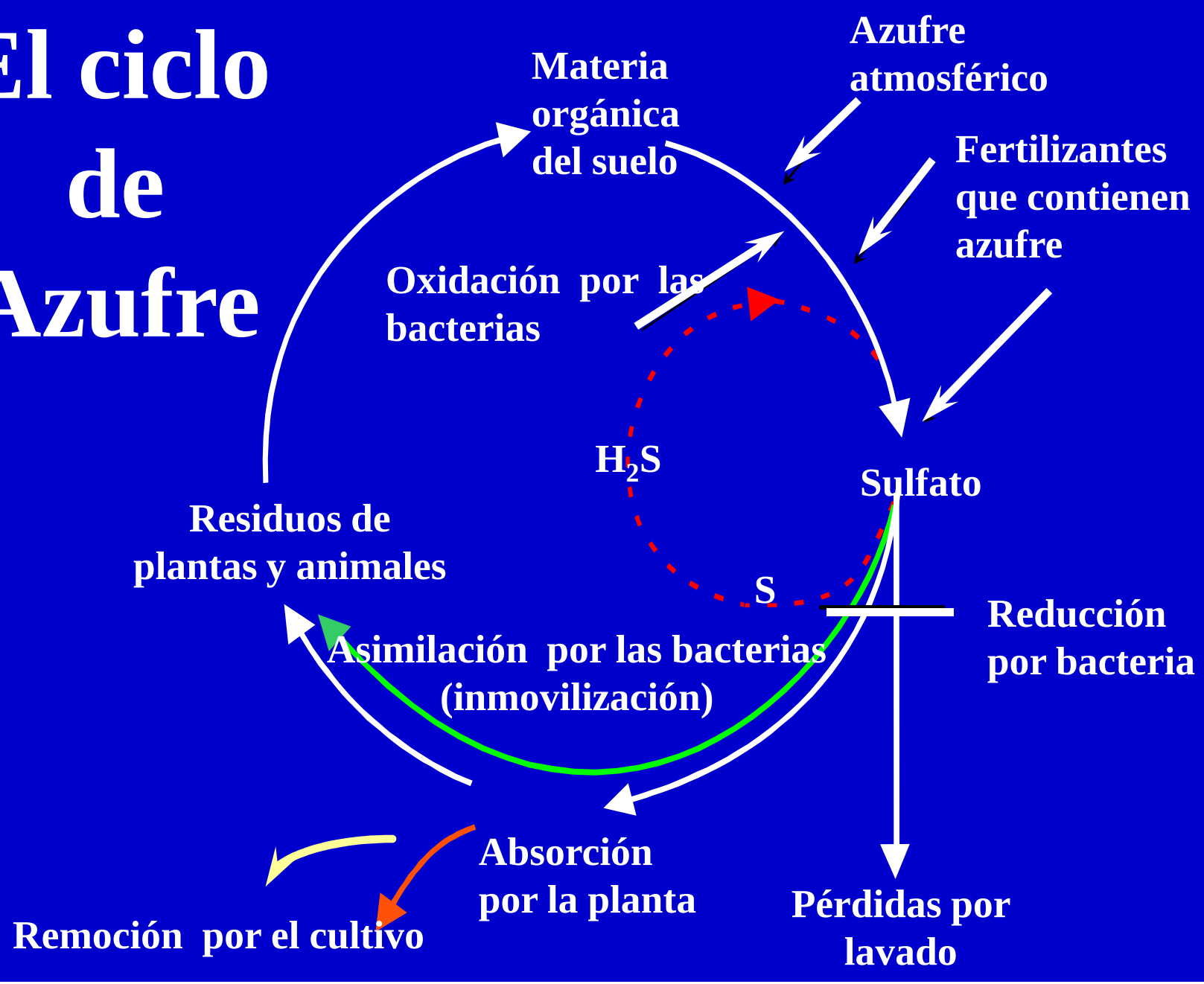
Respuesta a Azufre en Soja

INTA Casilda - Santa Fe - 1998/99

Deficiencia y Respuesta a Azufre en Soja

Don Osvaldo – Camilo Aldao, Córdoba – 2006/07

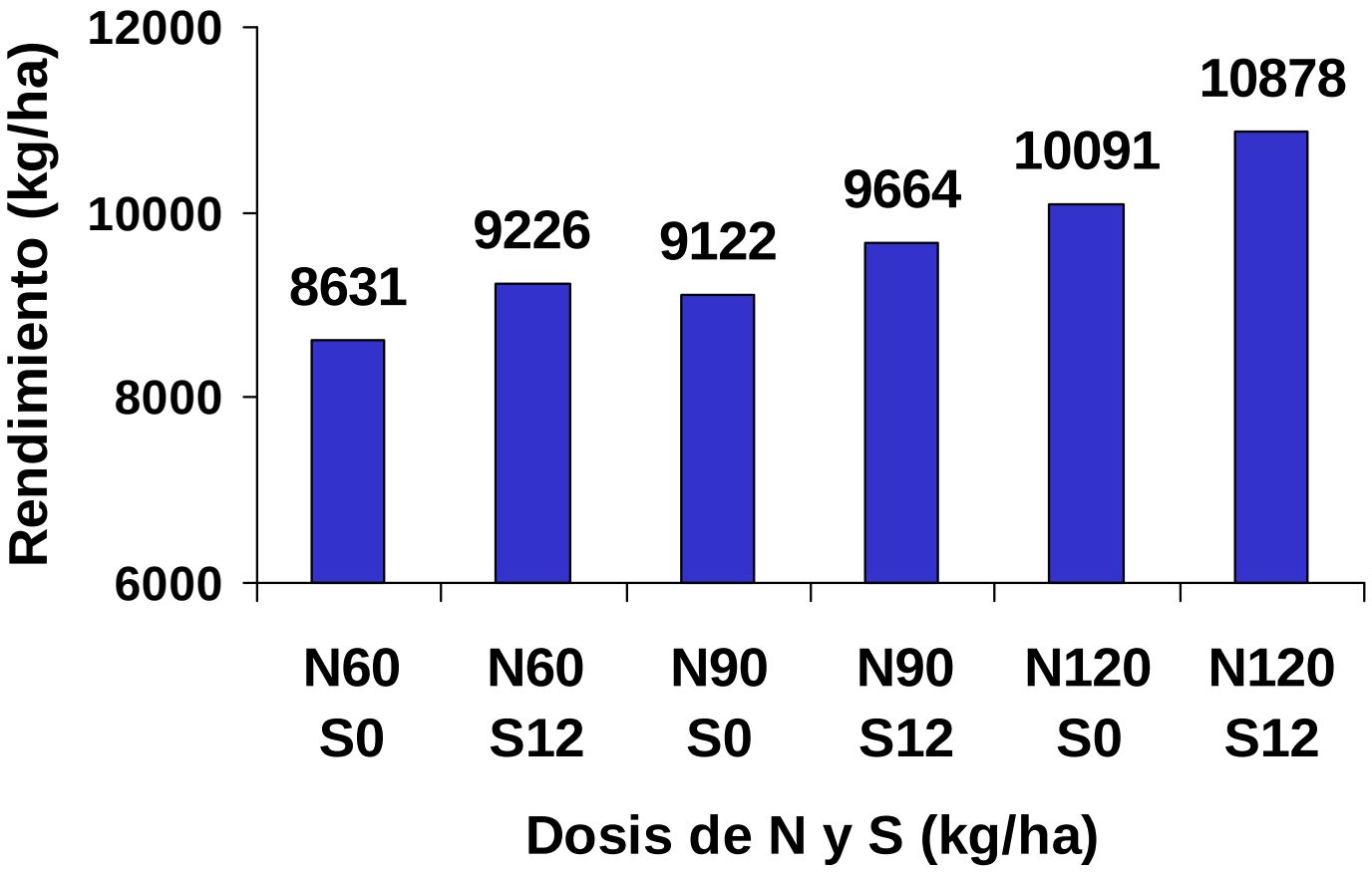
El ciclo de Azufre



Azufre en Maíz

Centro-Sur de Santa Fe - Cordone et al. (2001)

5 localidades, Campaña 2000/01, Base de 20 kg/ha de P



Costo de S de 12 U$/ha

Respuestas de 542-787 kg/ha, Ingreso de 92-134 U$/ha

Situaciones de deficiencia de azufre

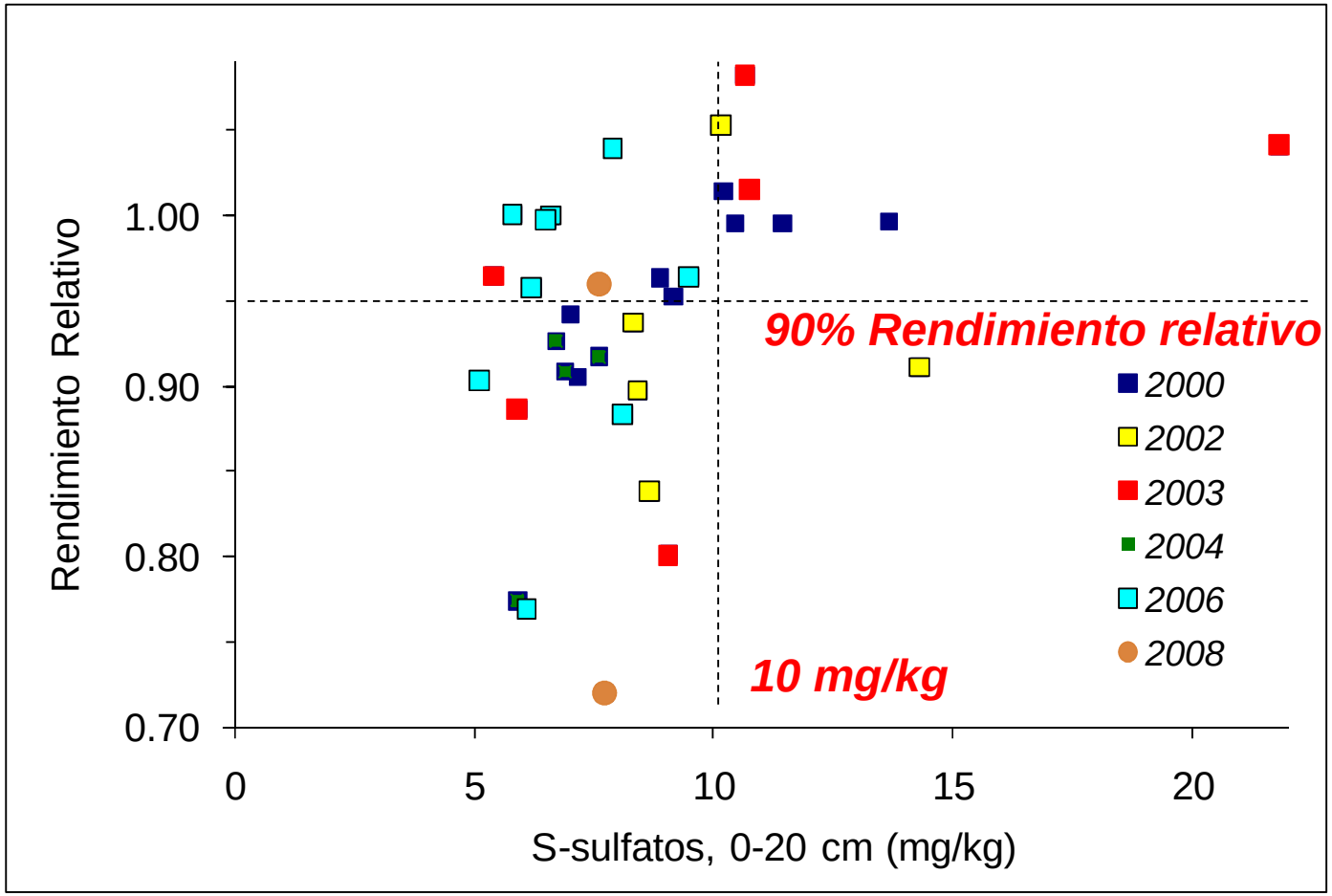
- Suelos con bajo contenido de materia orgánica, suelos arenosos
- Sistemas de cultivo mas intensivos, disminución del contenido de materia orgánica

Diagnóstico de deficiencia de azufre

- Caracterización del ambiente
- Nivel crítico de 10 ppm de S-sulfatos (en algunas situaciones)
- Balances de S en el sistema

Maíz

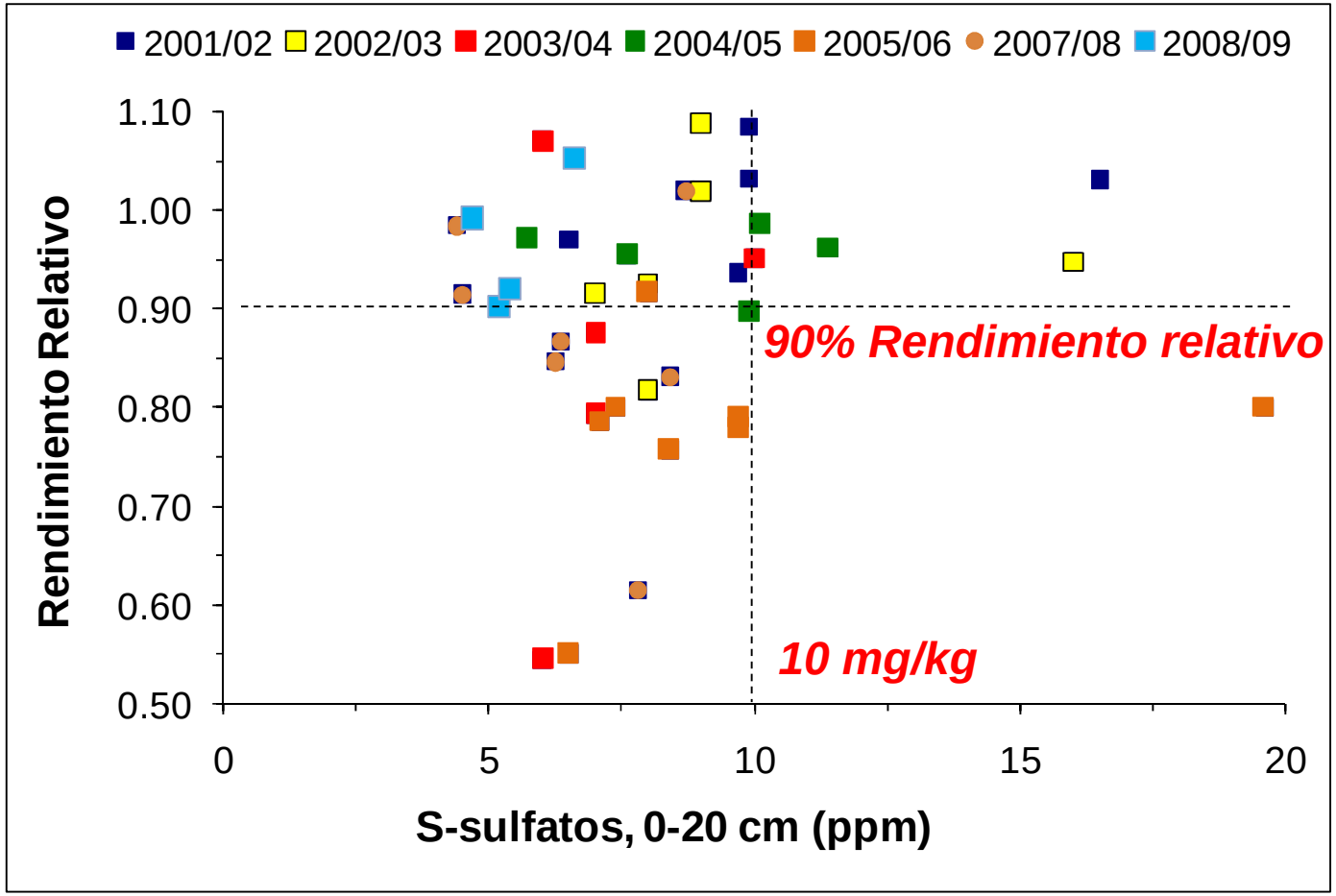
Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe



- *El 64% de los sitios con S-sulfatos a 0-20 cm a la siembra de maíz inferior a 10 mg/kg mostro respuestas en rendimiento mayores al 5%*
- *El 89% de los sitios con S-sulfatos mayor a 10 mg/kg, no presento respuestas significativas*

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

Soja I y II
Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

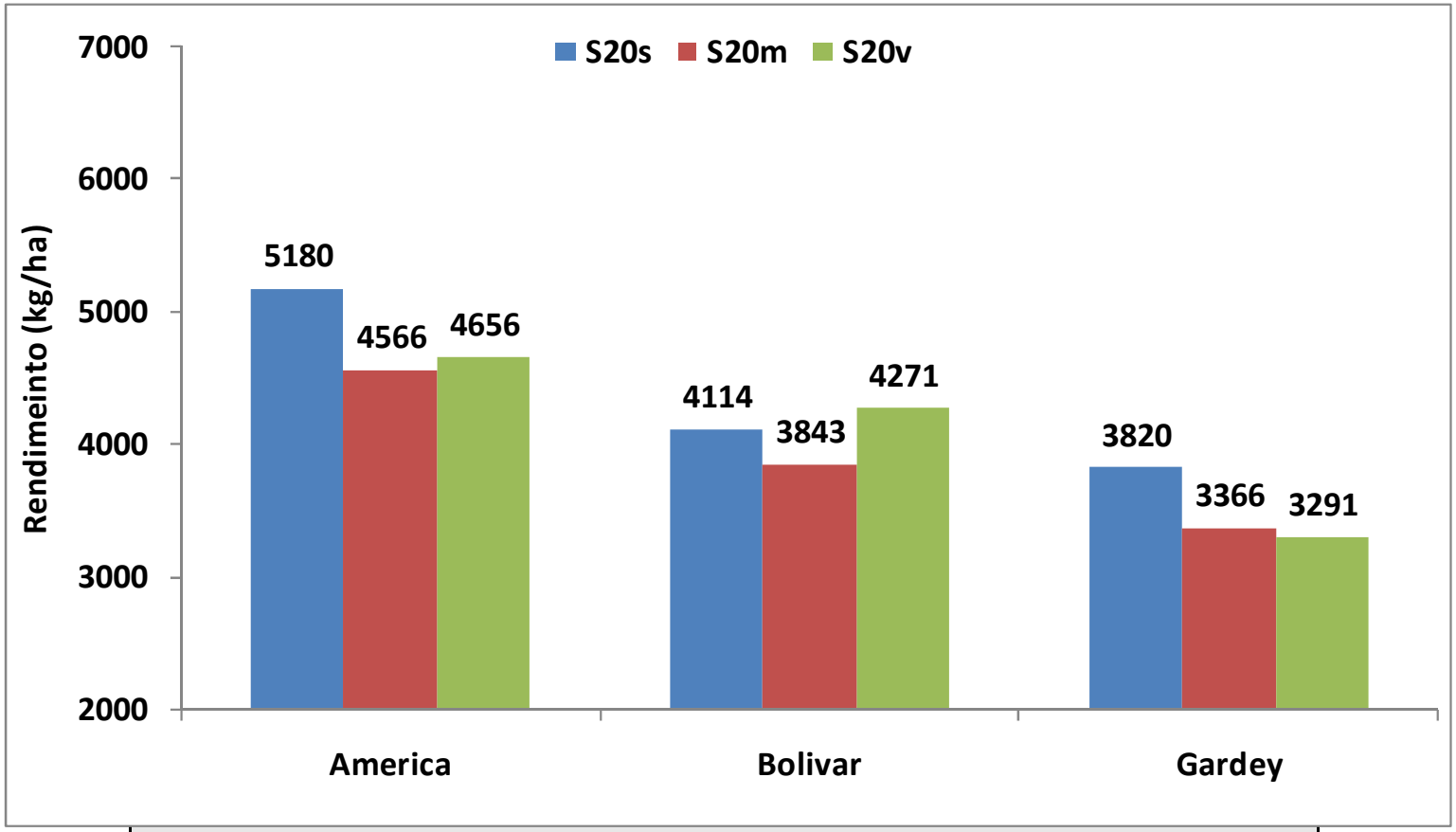


- *El 48% de los sitios con S-sulfatos a 0-20 cm a la siembra de la soja de primera o del trigo inferior a 10 mg/kg mostro respuestas en rendimiento mayores al 10%*
- *El 80% de los sitios con S-sulfatos mayor a 10 mg/kg, no presento respuestas significativas*

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

Momento de aplicación de S en Trigo

Caracoche y col. (ASP) - 3 ensayos Campaña 2008/09

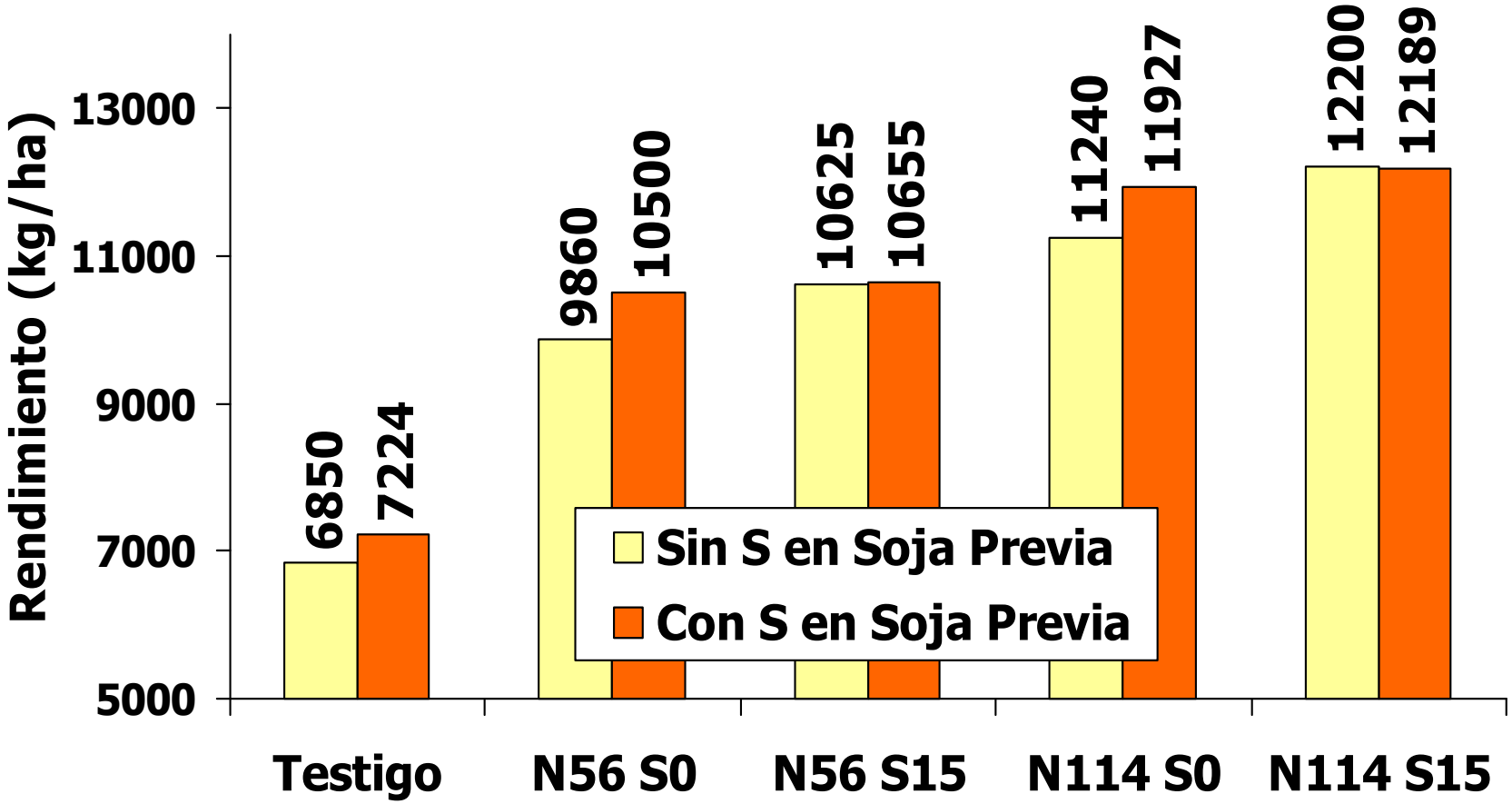


S siembra	S macollaje	S voleo ant.
4371	3925	4073

- *Dosis de 20 kg/ha de S aplicado como sulfato de calcio*
- *Sin diferencias significativas en el análisis individual de cada ensayo*

Residualidad de S aplicado en Soja sobre Maíz

Fontanetto y col. – EEA INTA Rafaela (2001/02)



Respuesta residual a S	*374*	*640*	*30*	*687*	*-11*

Todas las parcelas con P20

Fertilizantes azufrados

Fertilizante	Azufre	Otros elementos
	%	%
S elemental	85-100	
Sulfato de calcio (Yeso)	15-19	
Sulfato de amonio	24	21 N
Sulfato de magnesio y potasio	22	11 Mg 22 K_2O
Sulfonitrato de amonio	14	26 N
Sulfato de magnesio	23	10 Mg
Sulfato de potasio	17-18	50 K_2O
Superfosfato simple	12-14	20 P_2O_5
Superfosfato triple	1.5	46 P_2O_5
Tiosulfato de amonio	26	12 N

Algunas consideraciones sobre aplicación de P y S

- P en bandas a la siembra o alternativa al voleo bajo siembra directa en aplicaciones anticipadas al menos 60 días a la siembra del cultivo
- Las aplicaciones de S pueden realizarse al voleo o en línea.
- Las fuentes fosfatadas solubles presentan similares eficiencias de uso (FDA, FMA, SFT o SFS)
- Las fuentes azufradas que contienen sulfatos presentan similares eficiencias de uso. El yeso, de menor solubilidad, debe aplicarse en partículas de tamaño pequeño para permitir un buen contacto con el suelo y facilitar su disolución
- Considerar la calidad del yeso a utilizar

¿Otros nutrientes?

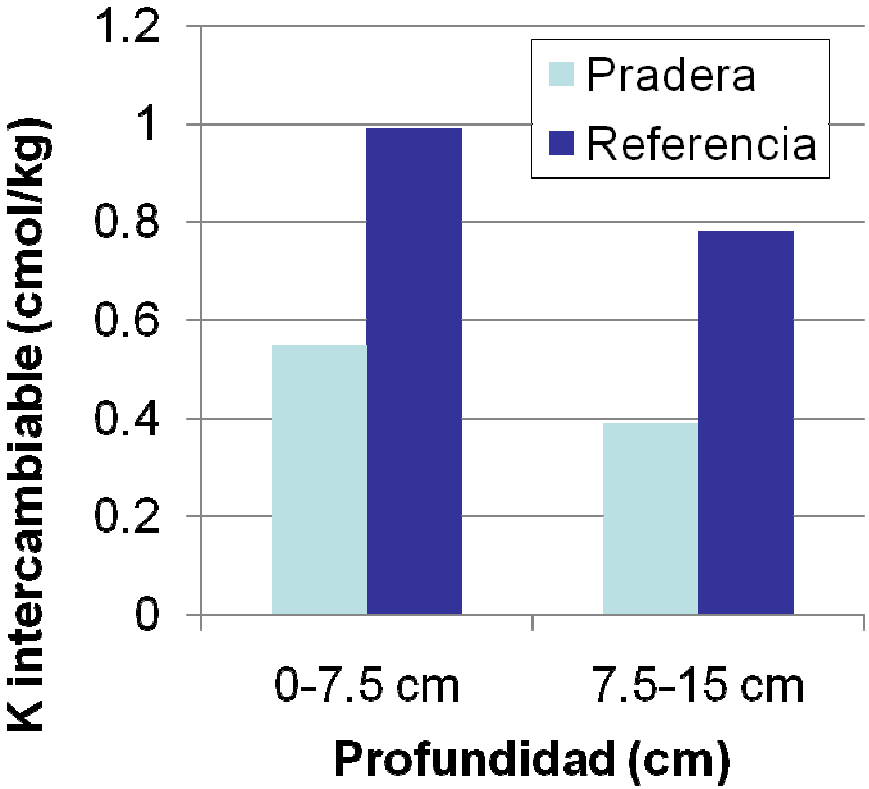
- Potasio en Uruguay
- Cobalto y molibdeno en soja
- Zinc en maíz: Respuestas de 600-800 kg/ha en ensayos del oeste de Buenos Aires, Sur de Córdoba y Centro de Santa Fe
- Boro: Respuestas de 300-800 kg/ha en el centro-oeste de Buenos Aires en Maíz
- ¿Calcio, Magnesio?
- ¿Otros?

Relevamiento de calidad de suelos en las principales áreas de producción lechera de Uruguay

Comparación con Referencia (Promedios)

- Incremento promedio del 13% de la densidad aparente
- Caídas del 21% de la macroporosidad y del 10% de la porosidad total
- Caídas del 20% de la MO, 16% de N total, 26% del NPM, 3-4% del pH, 45% del K intercambiable, y muy variables en P Bray

K intercambiable en 30 predios lecheros de Florida



Fuente: A. Morón y colaboradores – INIA La Estanzuela (2008)

Ensayo Potasio en Maíz - Salto (Uruguay)
Cano et al. (2006/07)

Análisis suelo previo a siembra

Mat Org (%)	K int (meq/100g)	$N\text{-}NO_3^-$ (ppm)	P Bray Nº1 (ppm)
1,8	0,16	26	18

Porcentaje plantas atípicas, y peso seco promedio por planta de cada tratamiento en V8

Testigo
125 kg/ha Cloruro K
125 kg/ha Cloruro K (al voleo)
225 kg/ha Cloruro K
125 kg/ha (50% KCl + 50% K2SO4)

Ensayo Potasio en Maíz - Young (Uruguay)
Cano et al. (2007/08)

Concentración de S y K en hoja opuesta a la mazorca.

(La Macarena)

	K (%)	S (%)
150 kg/ha Cloruro de Potasio	1,45 a	0,14 b
150 kg/ha Cloruro de Potasio + 150 kg/ha Sulfato de Amonio	1,16 a	0,20 a
150 kg/ha Sulfato de Amonio	0,37 b	0,19 a
Testigo sin fertilizar	0,40 b	0,17 a
70 kg/ha Urea	0,41 b	0,17 a

Valores críticos de referenc

K: 1,7 – 2,5 %

S: 0,15 – 0,20 %

Ensayo Potasio en Maíz - Young (Uruguay)
Cano et al. (2007/08)

Rendimiento en grano

(La Macarena)

	Rendimiento (kg/ha)
150 kg/ha Cloruro de Potasio + 150 kg/ha Sulfato de Amonio	4458 a
150 kg/ha Cloruro de Potasio	3976 a
70 kg/ha Urea	349 b
150 kg/ha Sulfato de Amonio	346 b
Testigo sin fertilizar	313 b

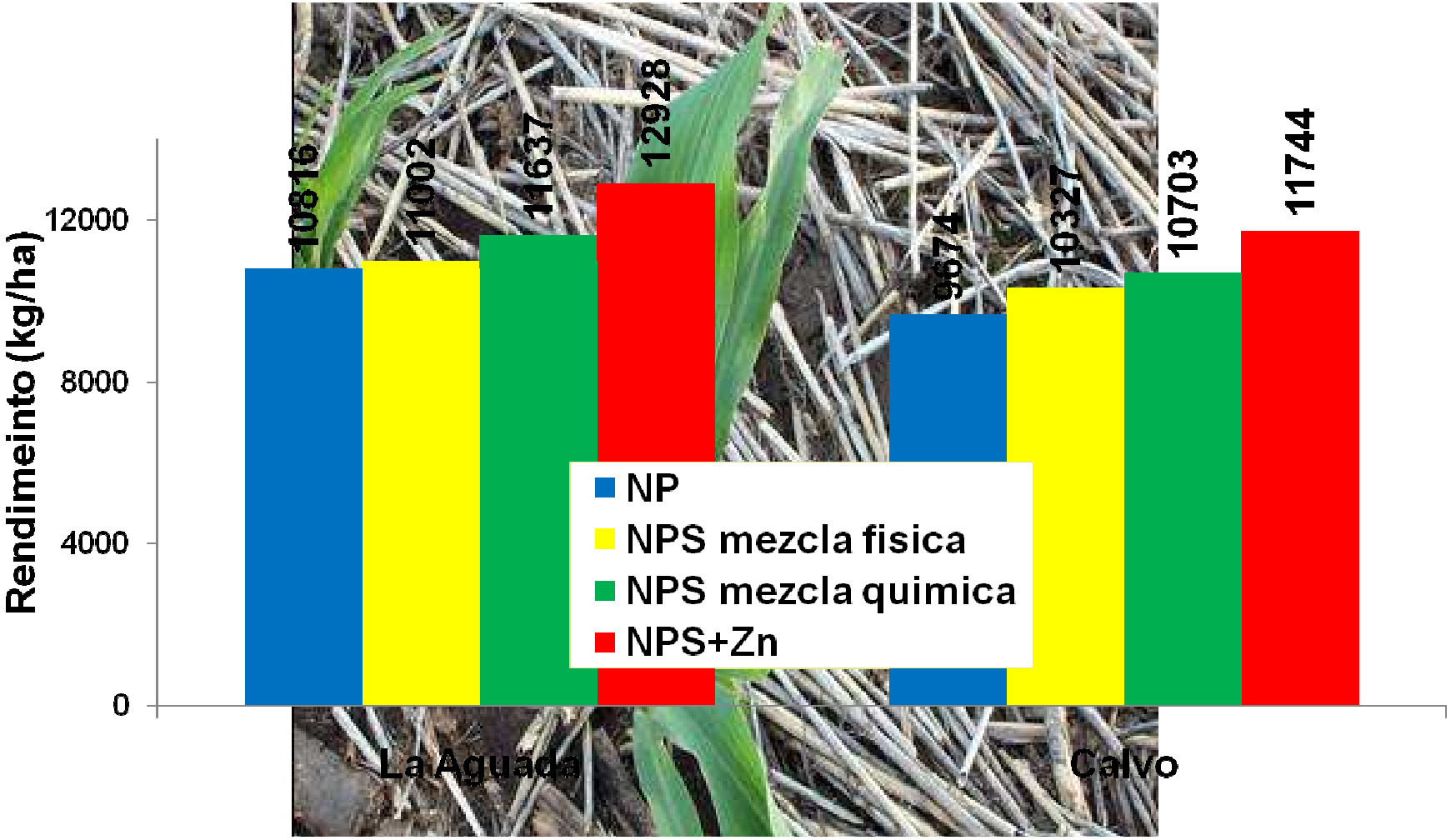
Ensayo Potasio en Maíz - Young (Uruguay)
Cano et al. (2007/08)

Deficiencias K en Young (Uruguay)
Federico Frick y Daniel Peré (AdecoAgro)

		CAMPO NUEVO	CHACRA VIEJA
Materia Orgánica	%	5,18	3,63
K intercambiable	meq/100g	1,26	0,33

Zinc en Maíz

Universidad Nac. Rio Cuarto/Mosaic – Campaña 2007/08

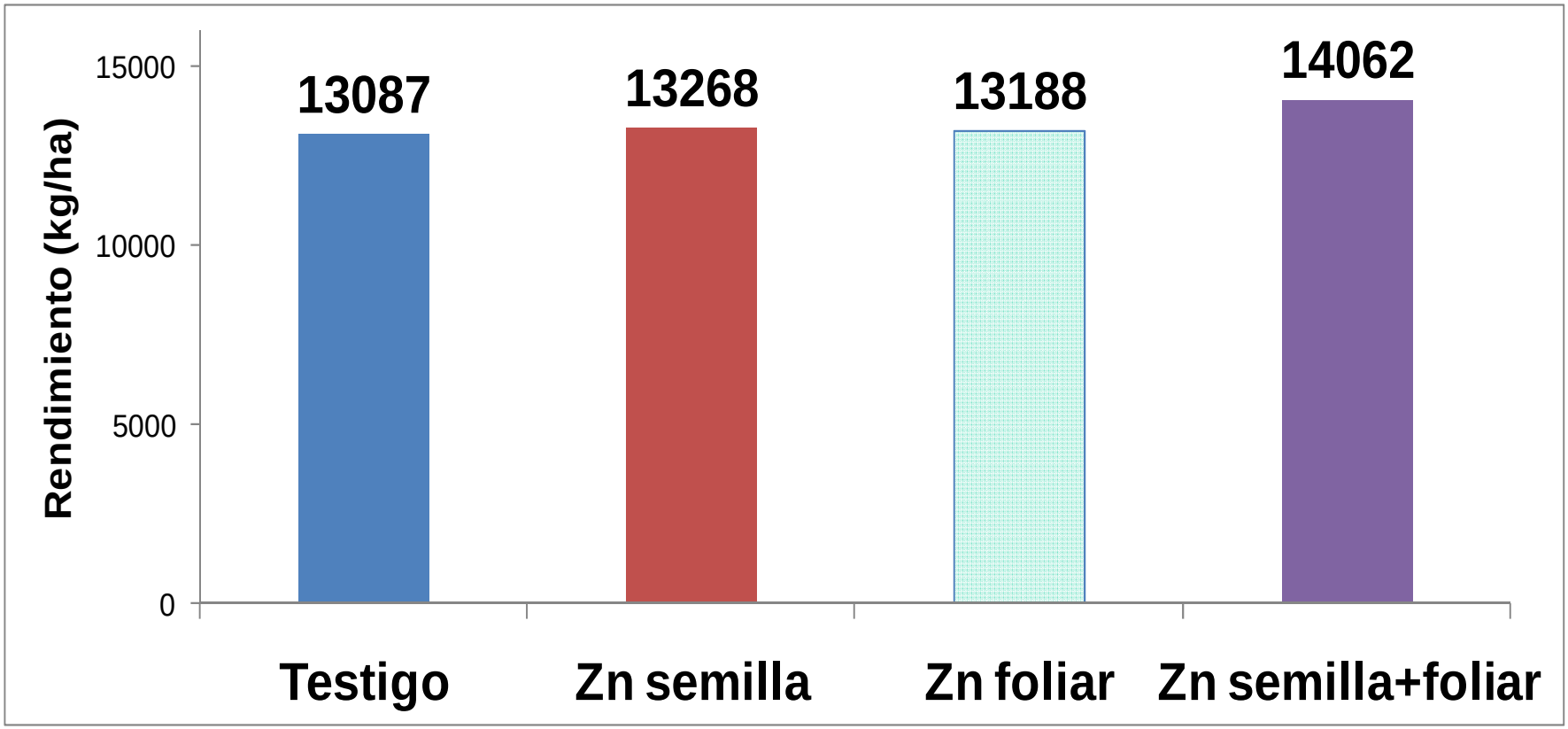


Dosis de 11-21 kg de S y 1 kg de Zn

Zinc en Maíz

Fontanetto et al. (2006) – EEA INTA Rafaela

Promedios de cuatro ensayos: Rafaela, San Vicente, Maria Juana y San Carlos Norte



Zn semilla: 4 L/t - Zn foliar: 700 cc/ha en V6

Deficiencia de Magnesio

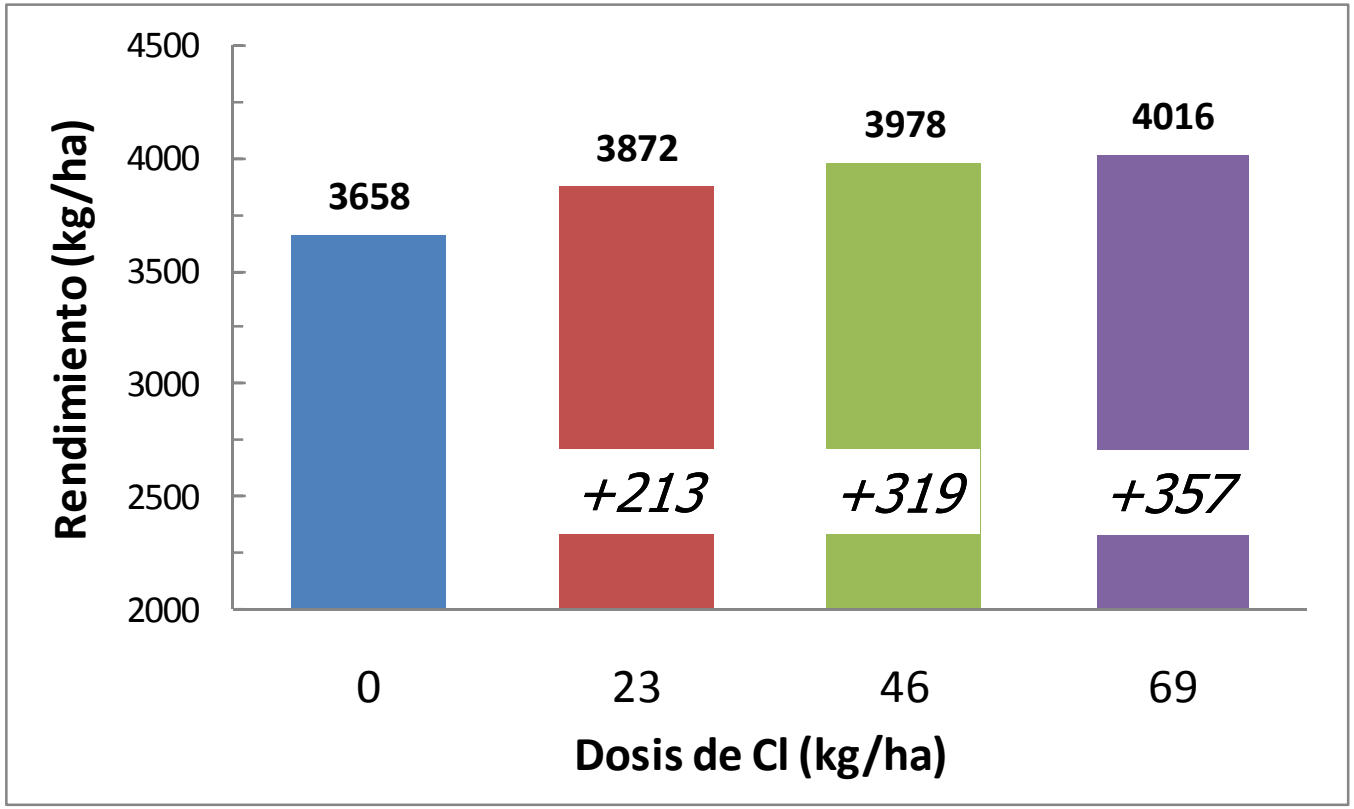
Hojas viejas con bandas amarillentas o cloróticas entre nervaduras verdes

IPNI
International
Plant Nutrition
Institute

Cloro en Trigo

Rendimientos promedio para cuatro dosis de Cl, en ensayos con respuesta realizados en la región pampeana argentina entre los años 2001 y 2006

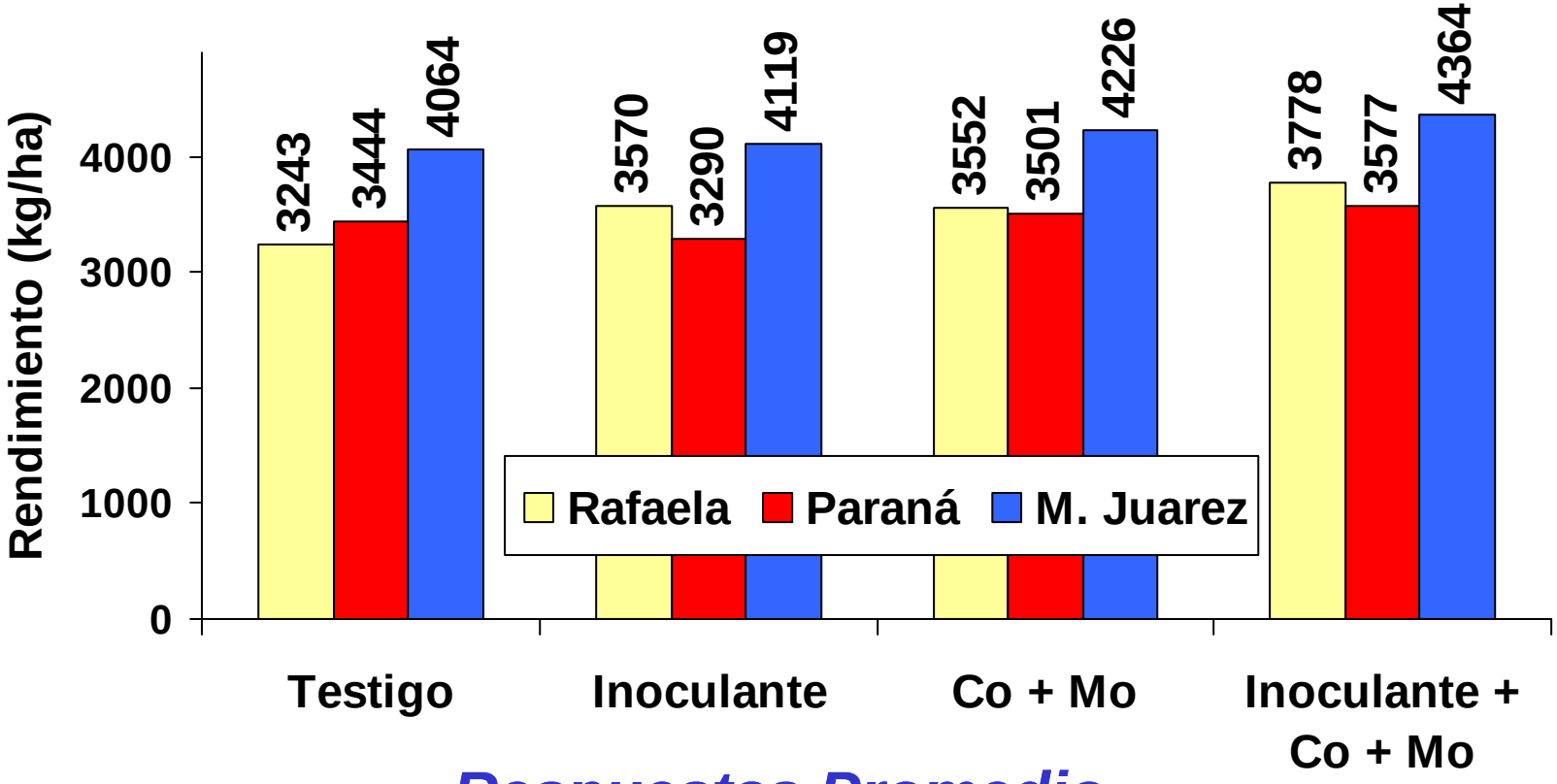
Los rendimientos se promediaron para distintas fuentes de Cl y variedades



- *10 de 26 sitios (38%) con respuesta a Cl*
- *Cl (0-20 cm) superior a 35 mg Cl/kg o Cl disponible (0-60 cm) superior a 65-70 kg Cl /ha con rendimientos relativos mayores al 90% del rendimiento máximo y respuestas a la aplicación de Cl menores de 250 kg/ha.*
- *Diferencias en respuesta entre variedades para un mismo ambiente*

Efecto de la inoculación y Co + Mo sobre los rendimientos de soja

EEA INTA Rafaela, Paraná y Marcos Juárez - 2004/05

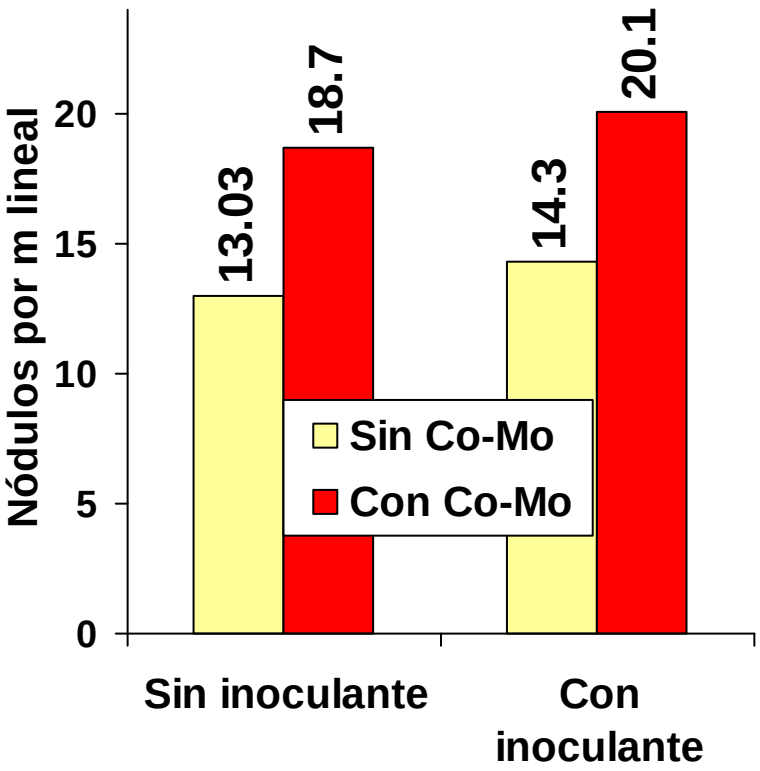


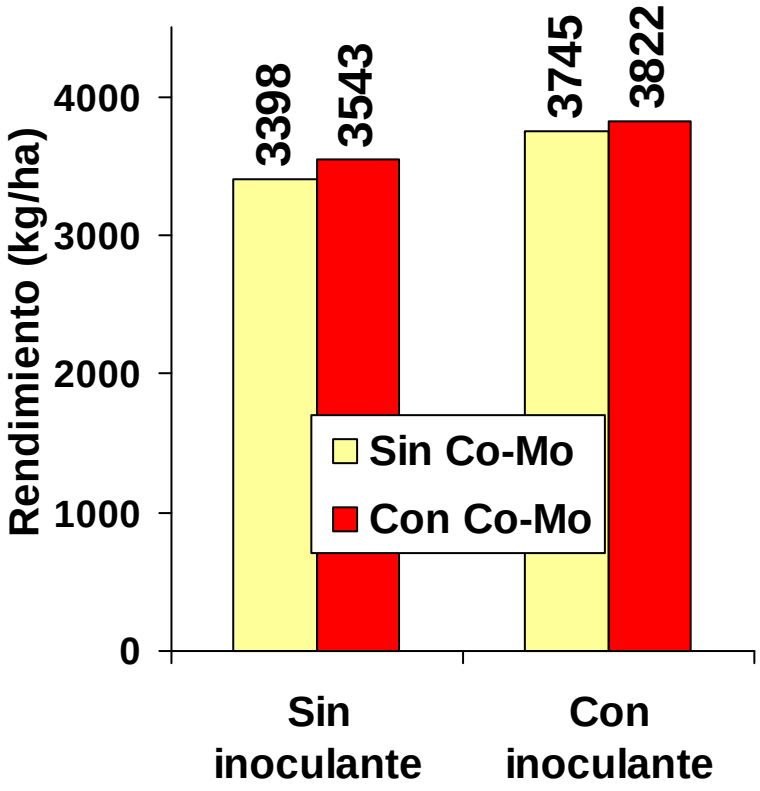
Respuestas Promedio

Inoculación	***76 kg/ha***
Co + Mo	***176 kg/ha***
Inoculación + Co + Mo	***323 kg/ha***

Efecto de la inoculación y Co + Mo sobre el número de nódulos y los rendimientos de soja

EEA INTA Rafaela 2004/05 – Fontanetto et al. (2006)

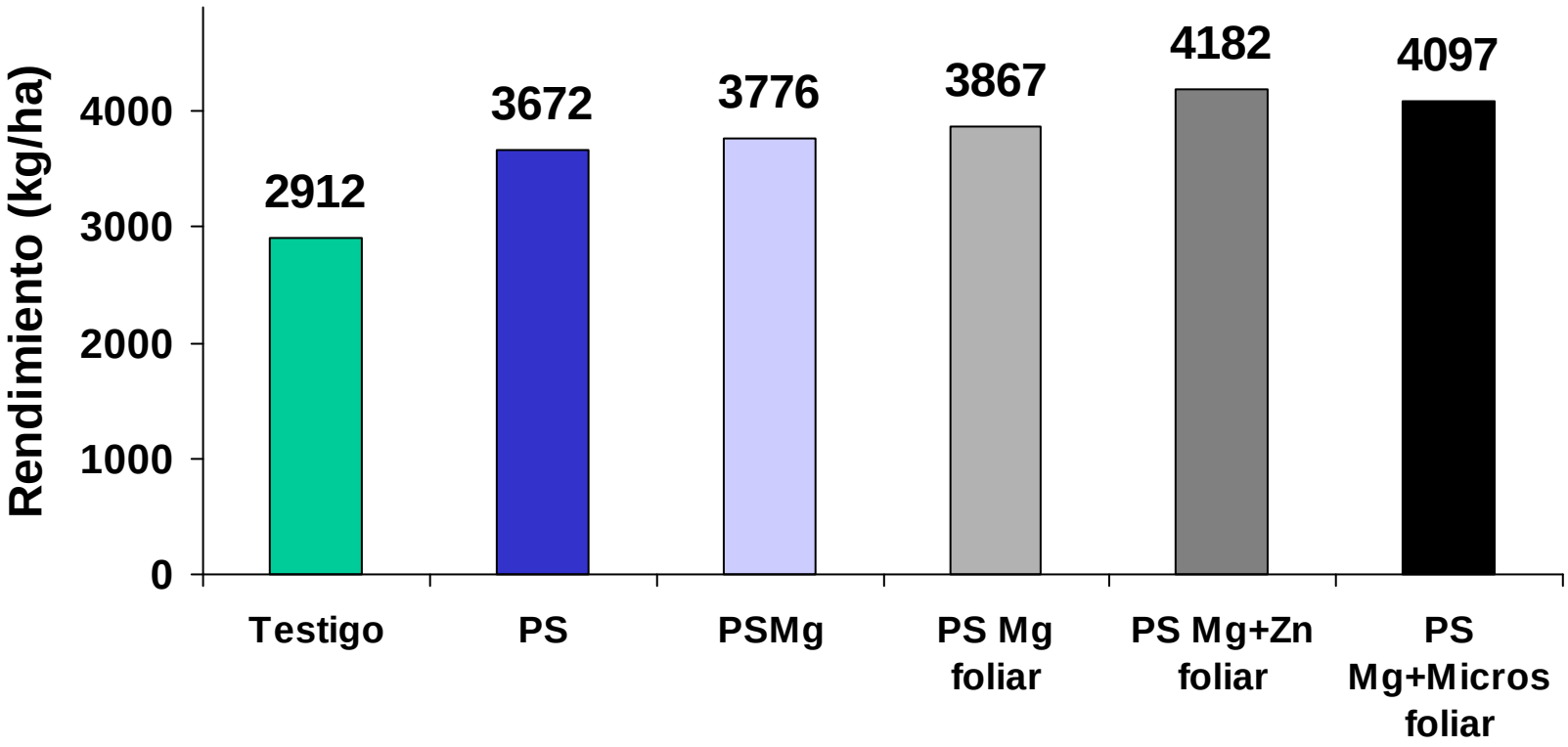




Promedio de tres localidades del centro de Santa Fe

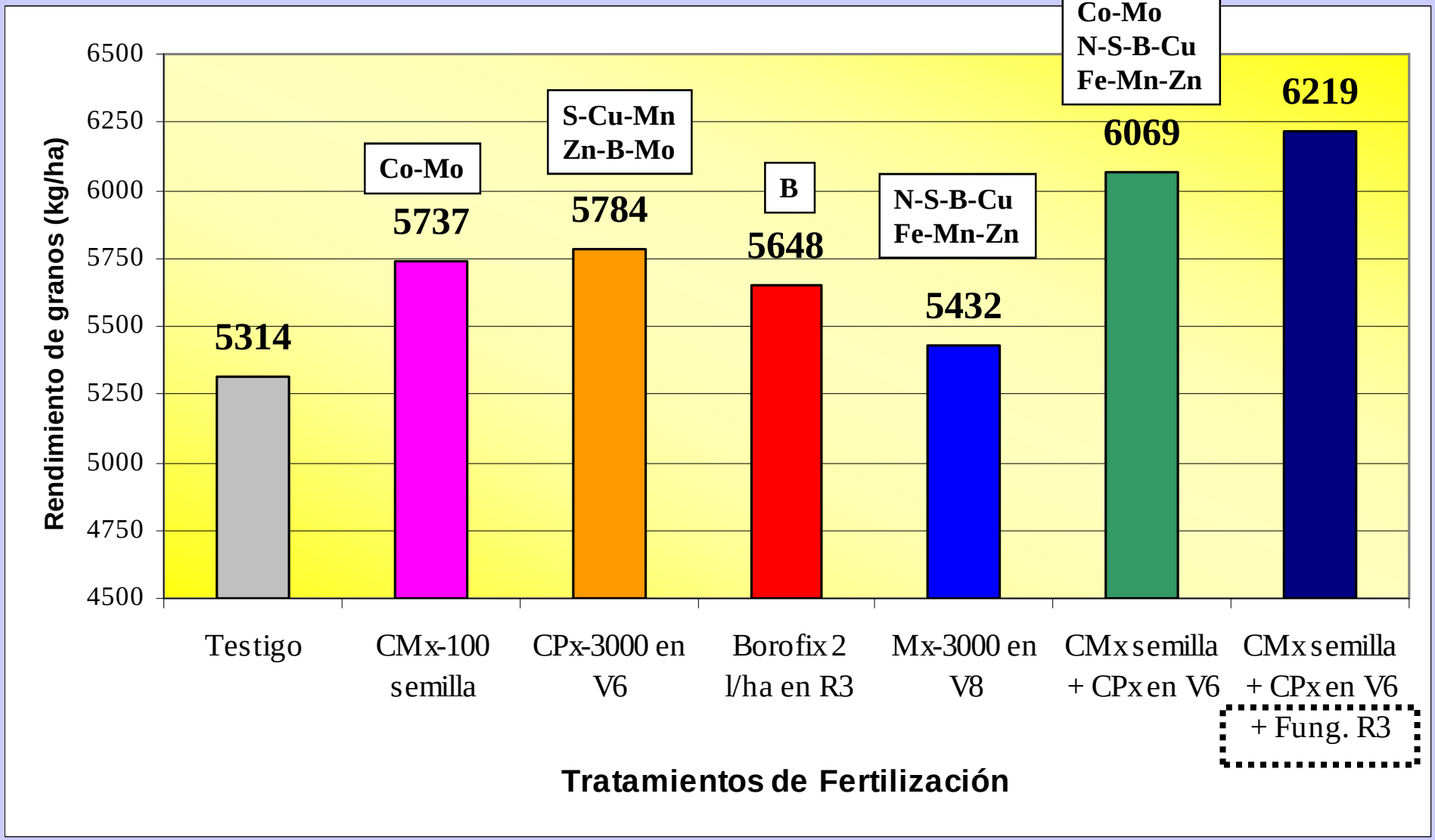
Soja: Efecto de macro y micronutrientes

H. Fontanetto y col. - EEA INTA Rafaela - 2007/08



Lote en Humboldt (Santa Fe)
MO 2.2% - P Bray 9 ppm – S-sulfatos 5.6 ppm – pH 5.9
Bases y micros en niveles suficientes, excepto B (0.4 ppm)

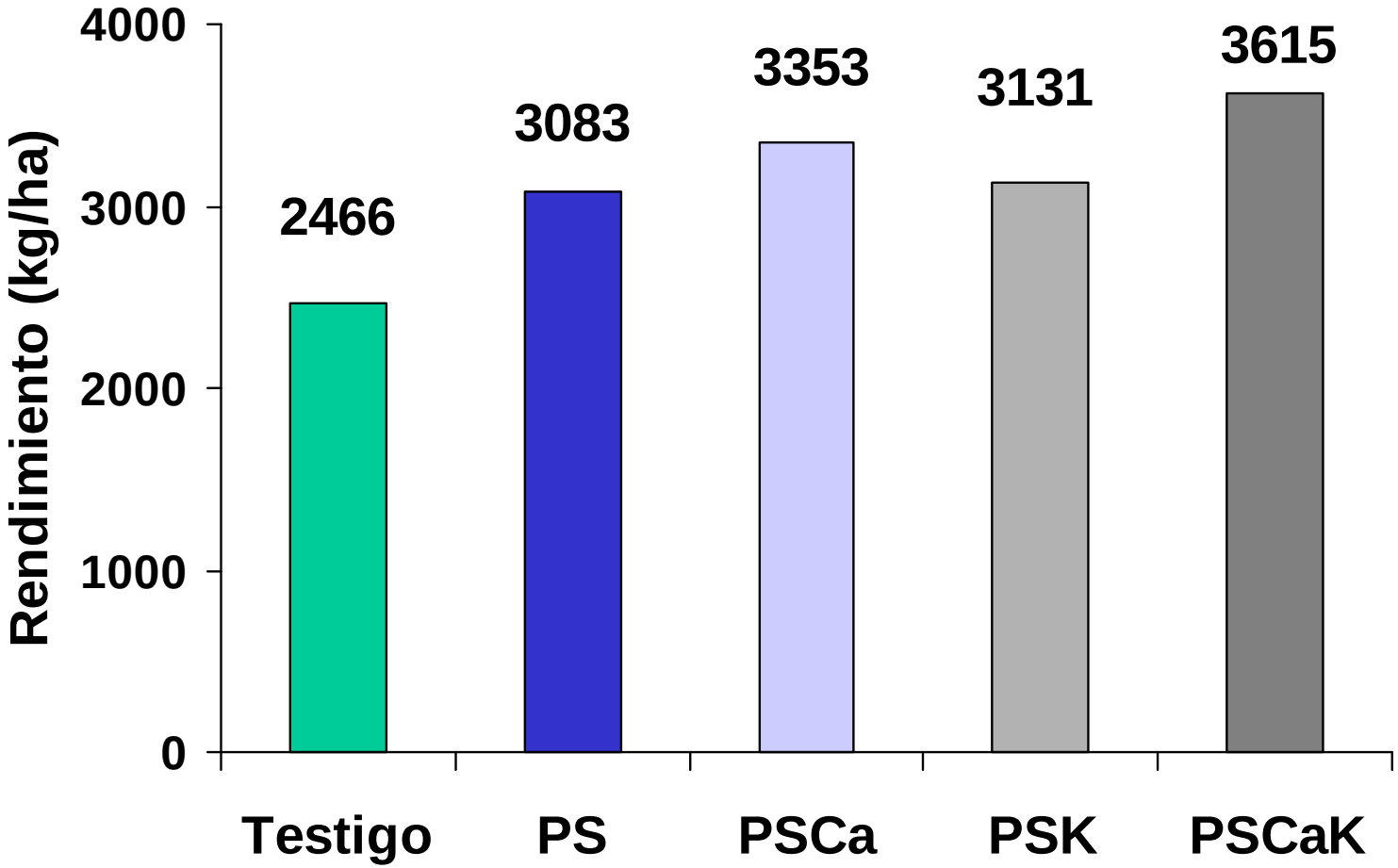
SOJA: Efecto de diferentes Foliares con Micronutrientes



Fontanetto et al. (2008)

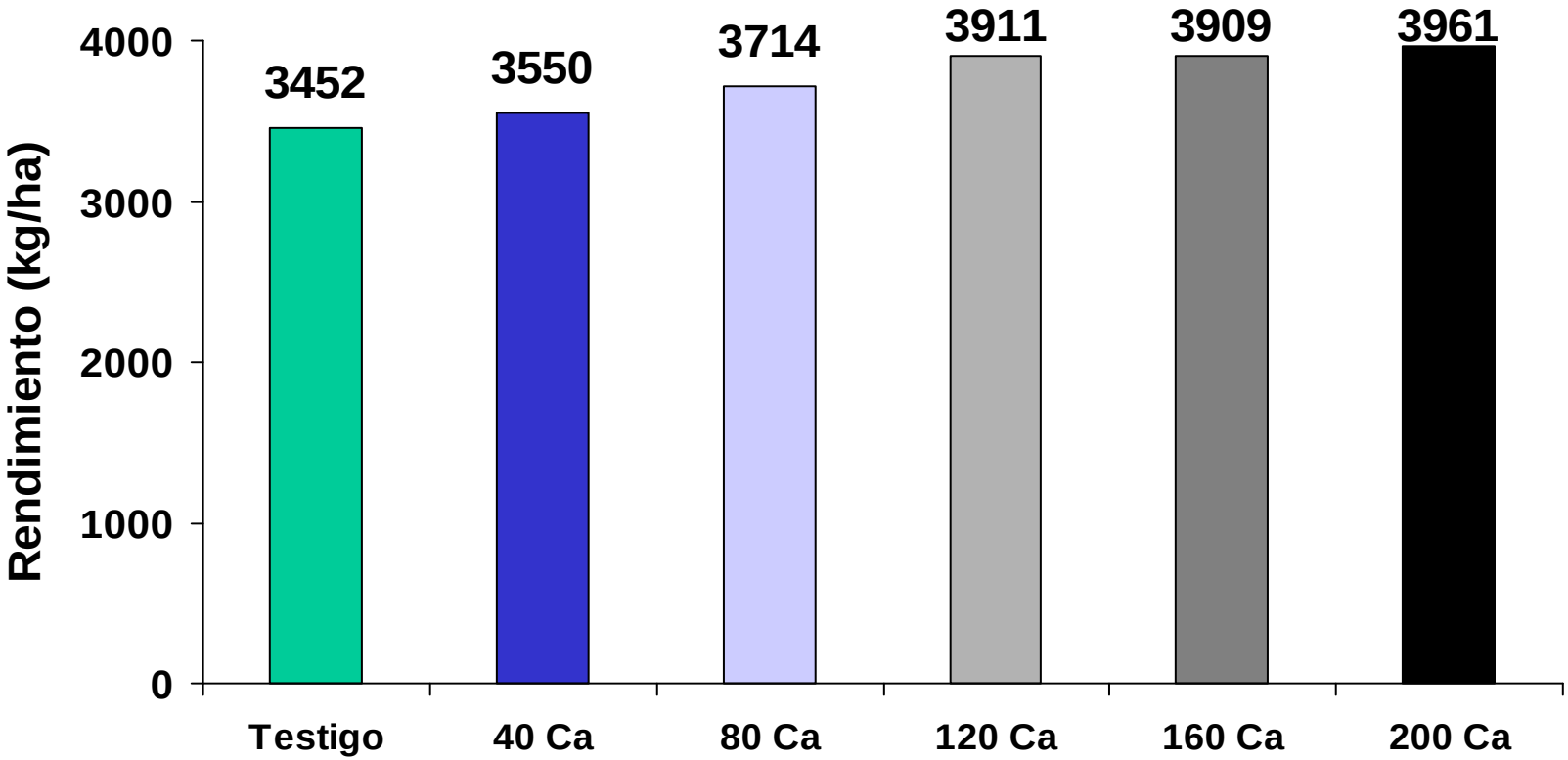
Soja : Respuesta a la fertilización PSCaK

H. Fontanetto y col. - San Justo (Santa Fe) – 2003/04



Soja: Efecto de calcio

H. Fontanetto y col. - EEA INTA Rafaela - 2007/08



Promedios de dos sitios en San Jerónimo Norte y San Carlos (Santa Fe)
Fuente: Calcita micronizada y aperdigonada (25% Ca)
Lotes bajos en MO, P Bray, S-sulfatos y Ca; y suficientes en pH, K y Mg
Saturación de Ca promedio de 55%

Soja: Avances en Micronutrientes, Fertilizantes foliares y promotores de crecimiento

- Respuestas a Zn, B y mezclas de micronutrientes foliares (varios autores)
- Respuestas a fertilizantes foliares de 11-12% en 6 ensayos de soja de primera y 2 de soja de segunda en el norte y noroeste de Buenos Aires (Ferraris et al., 2006); y de 200-550 kg/ha (10-15%) en soja de primera y de segunda en 9 de Julio (Buenos Aires) (Ventimiglia y Carta, 2006)
- Tendencias de mejor comportamiento a enfermedades de fin de ciclo y mayor rendimiento con fertilizaciones foliares (Carmona et al., 2006)
- Promoción de crecimiento con bacterias PGPR (Sartori et al., 2006); y respuesta en rendimiento a la co-inoculación de *Bradyrhizobium* y bacterias PGPR (Ferraris y González Anta, 2006)

IPNI

Boro

Deficiencias

•En plántula: Hojas pequeñas y deformadas, con manchas pardo-rojizas.
•Durante el desarrollo del cultivo: Rotura del tallo, caída del capítulo, deficiencias en el llenado, capítulos deformados.

Respuestas

En suelos con bajos contenidos de materia orgánica se obtuvieron respuestas de hasta 20% en aplicaciones combinadas al suelo y foliares de 200 a 600 g/ha como elemento (Díaz Zorita y Duarte, 1998).

La condición de deficiencia es dependiente de las condiciones climáticas. Deficiencias hídricas o alternancias seco/húmedo son conducentes a deficiencias de B.

El análisis de suelos puede dar información preliminar con umbrales de 0.2 ppm (extracción Melich 3) o 0.5-1 ppm (extracción con agua caliente).

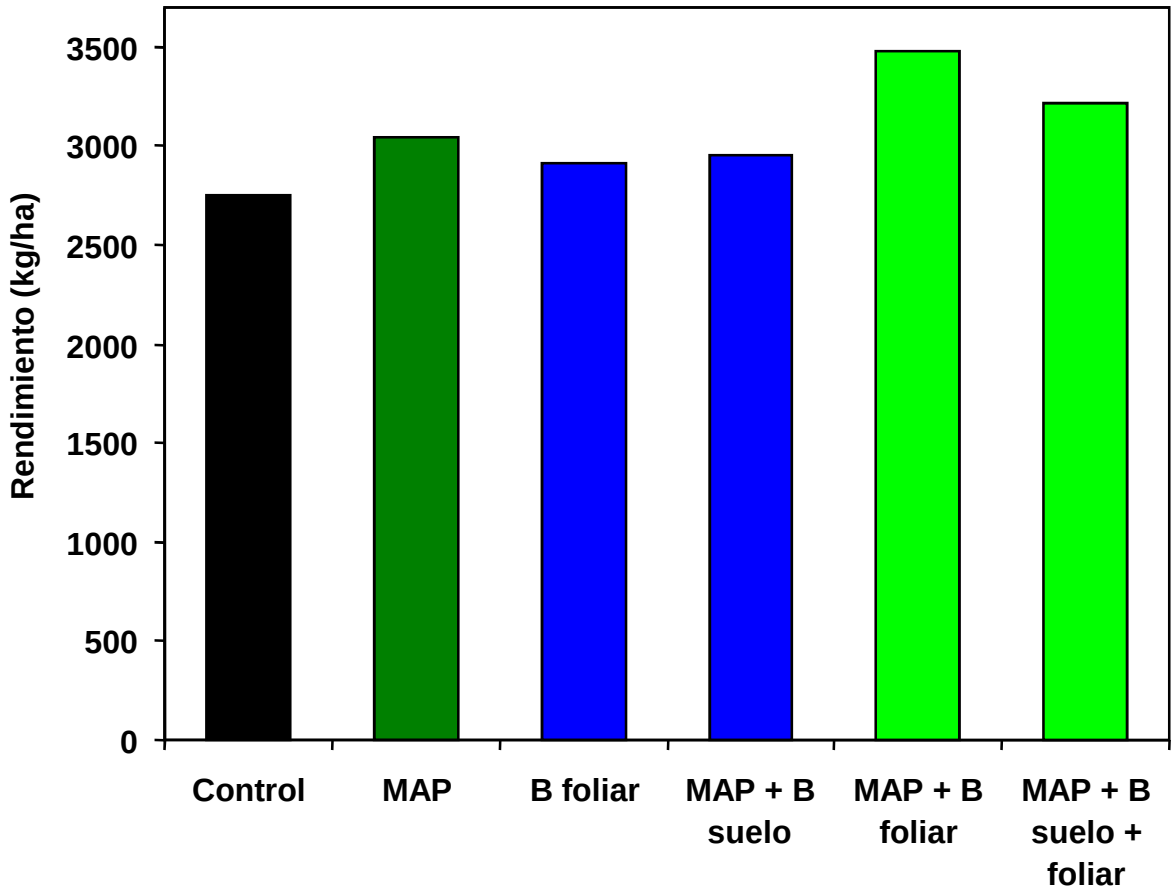
BORO en GIRASOL

Foto M. Díaz Zorita

BORO en GIRASOL

Foto M. Díaz Zorita

Girasol. Fertilización con Boro en la región oeste pampeana (Prom. de 3 sitios)



Mejoras en producción con aplicaciones foliares de B.

Díaz-Zorita y col. (2004)

Fertilización del Sistema de Producción

Sustentado en la residualidad de nutrientes en formas orgánicas (N, P, S) y/o inorgánicas (P, K) en el suelo

Objetivos y Ventajas

- ***Potenciar el reciclado de nutrientes bajo formas orgánicas (efectos sobre la MO del suelo)***
- ***Mejorar los balances de nutrientes en el suelo (Reposición)***
- ***Producir mayor cantidad de materia seca en cultivos de renta y cultivos de cobertura (mejorar balance de C del suelo)***
- ***Aumentar la eficiencia de las aplicaciones de fertilizantes (mejor distribución, menor fitotoxicidad)***
- ***Ahorro de tiempo en la siembra***
- ***Uso más eficiente de maquinarias y de personal***

Estrategias de fertilización

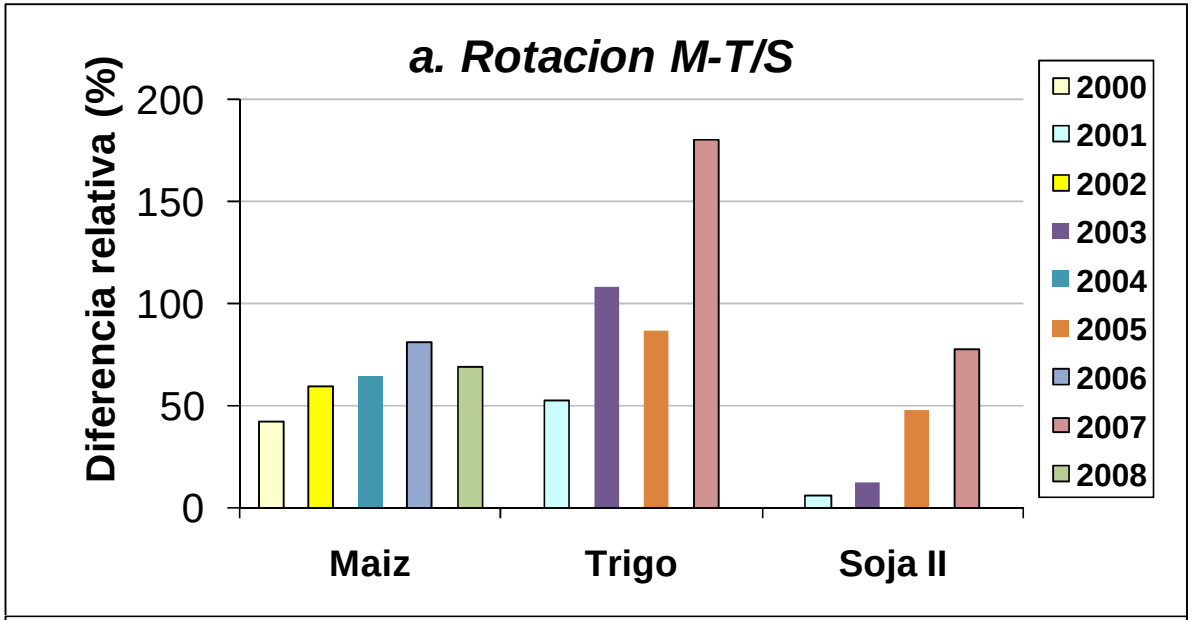
Ensayo de larga duración Arribeños (Gral. Arenales, Buenos Aires)

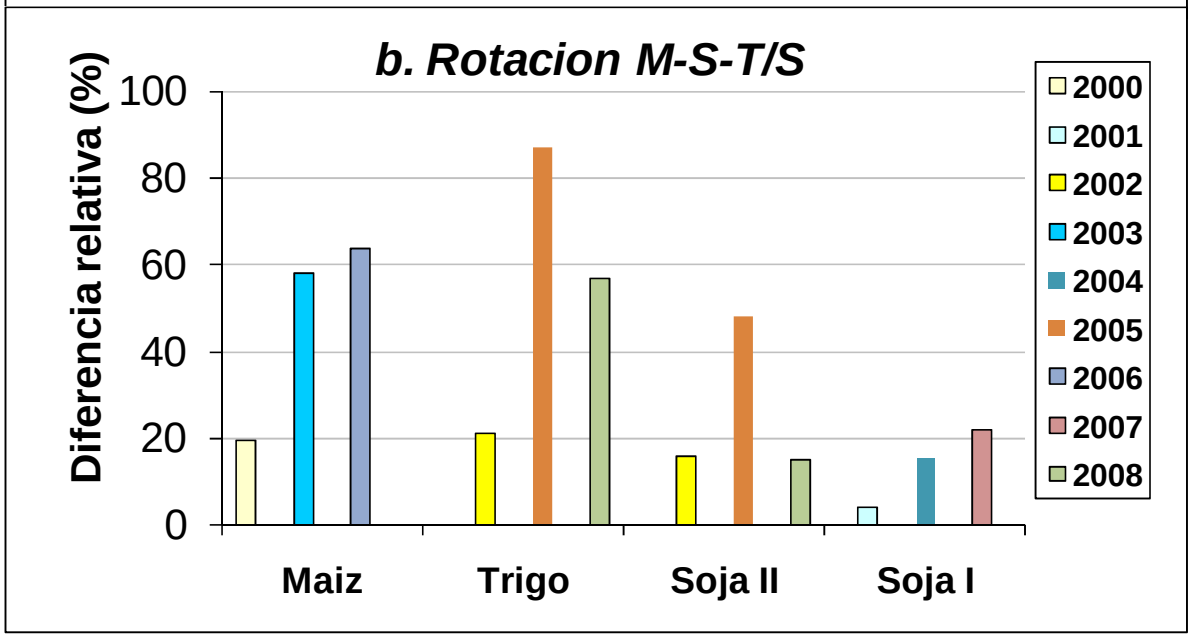
G. Ferraris et al., EEA INTA Pergamino

Tratamiento	Maíz 2006/07	Soja 2007/08
Testigo	9301 d	4109 c
TUA	10927 c	4719 b
Rep PS	12362 b	4735 b
Rep PS Alto Rend	13554 a	4742 b
Reconstruccion	13904 a	5294 a

Criterio de fertilización en soja 2007/08	Rendimiento objetivo	Fósforo (P) kg/ha	Azufre (S) kg/ha	SPT (0-20-0) kg/ha	SC (0-0-0-18S) kg/ha
Testigo sin fertilización		0	0	0	0
Tecnología Uso Actual		16	0	80	0
Reposición PS Rendimiento objetivo medio	3800	22	12	110	68
Reposición PS Rendimiento objetivo alto	4500	26	15	131	81
Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	4500	42	15	211	81

Análisis suelo inicial 2006/07 → MO 2.4% - P Bray 8.5 ppm – pH 5.6

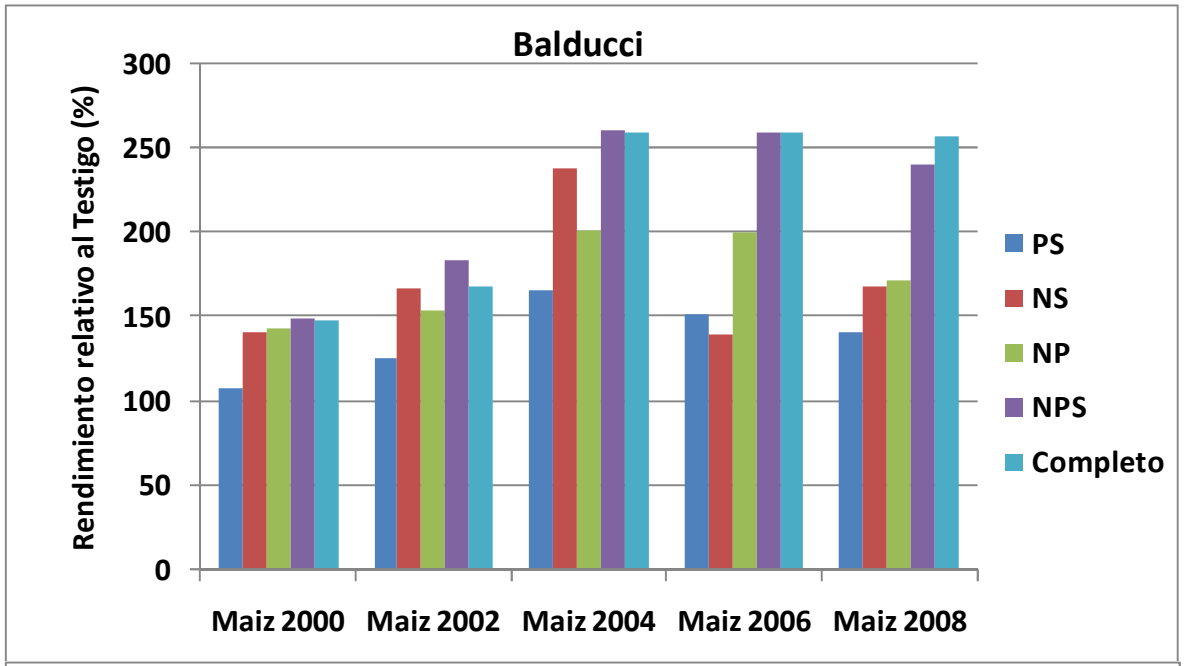


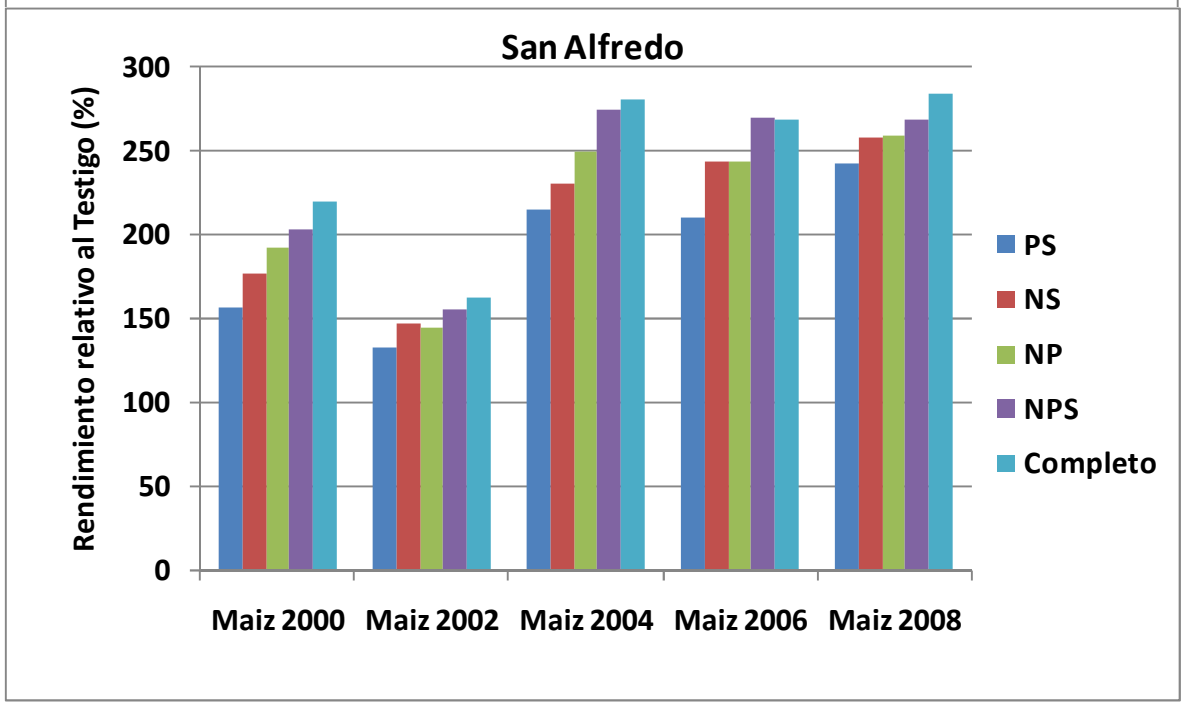


Diferencias relativas de los rendimientos en grano promedio entre los tratamientos Testigo y NPS para las rotaciones M-T/S (a) y M-S-T/S (b)

Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe, Campañas 2000/01 a 2008/09

Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP





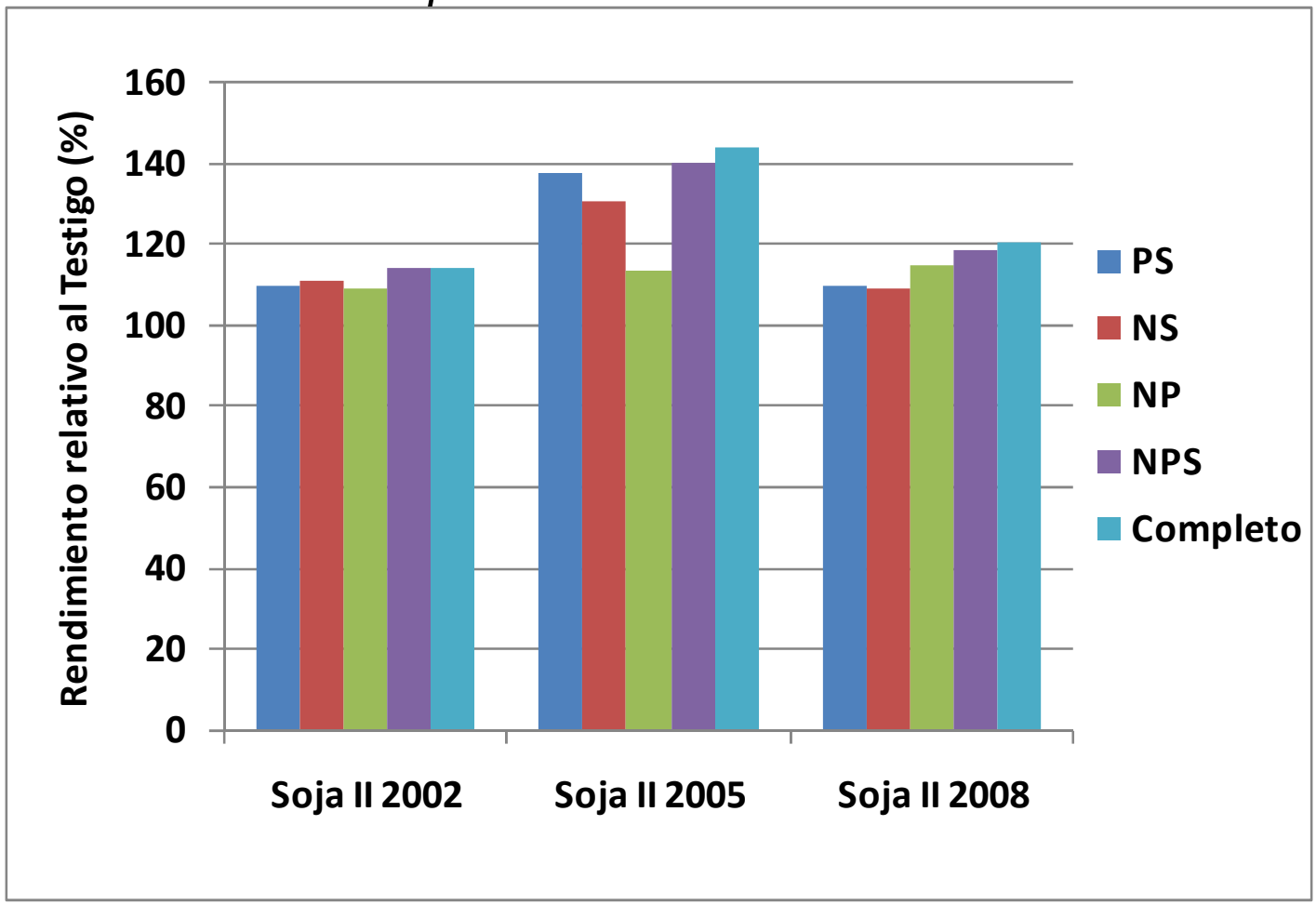
Maíz: Rendimientos relativos al Testigo para distintos tratamientos de fertilización en dos sitios de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe bajo rotación M-T/S

Campañas 2000/01 a 2008/09

Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP

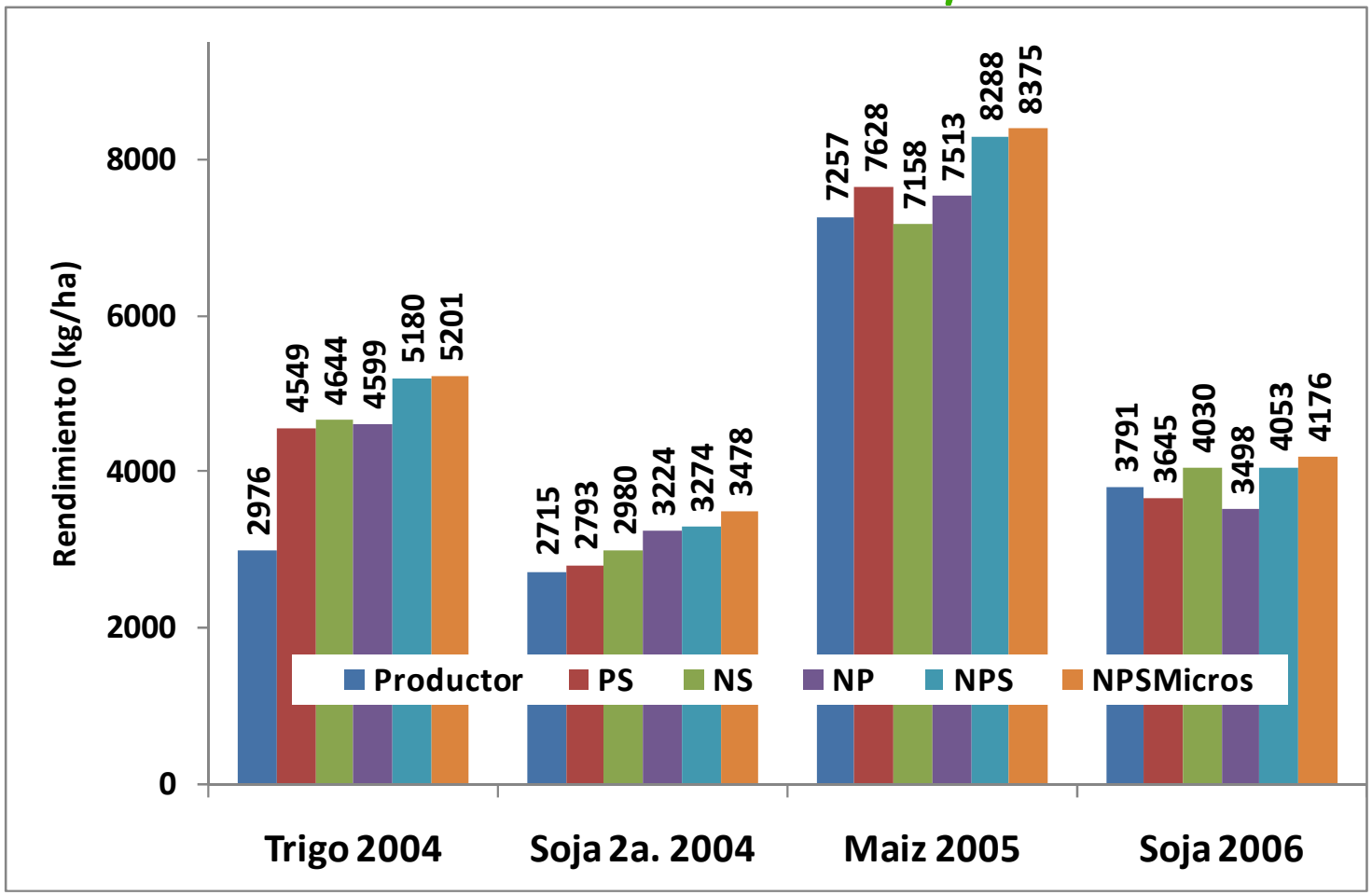
Soja de segunda: Rendimientos relativos al Testigo para distintos tratamientos de fertilización en rotación M-S-T/S

Promedios para 4 sitios - Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe
Campañas 2002/03 a 2008/09



Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP

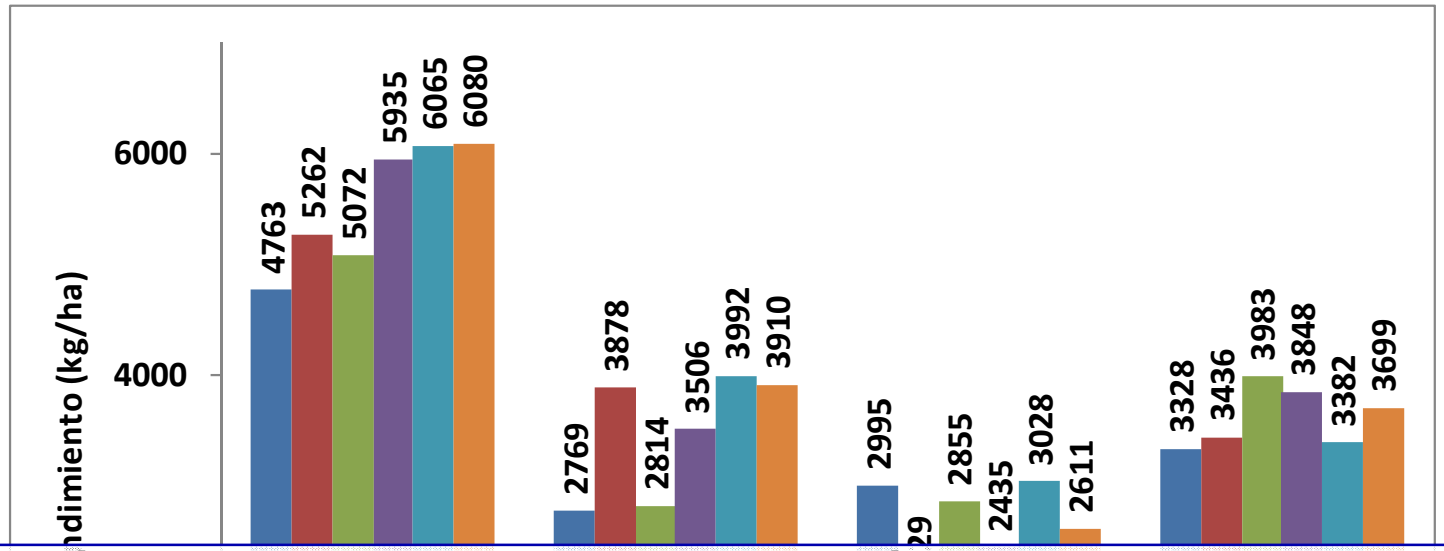
Residualidad de la fertilización
Ensayo El Fortín (Gral. Arenales, Buenos Aires)
Rendimientos de cultivos posteriores sobre los tratamientos fertilizados entre 2000 y 2003



Trigo 2004 y Maíz 2005 fertilizados con N, P y S

Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP

Residualidad de la fertilización
Ensayo El Pilarcito (La Chispa, Santa Fe)
Rendimientos de cultivos posteriores sobre los tratamientos fertilizados entre 2000 y 2006



La reposición anual de los nutrientes extraídos por los granos podría promover un ambiente edáfico de mejor calidad para el crecimiento de los cultivos que podría explicarse por:

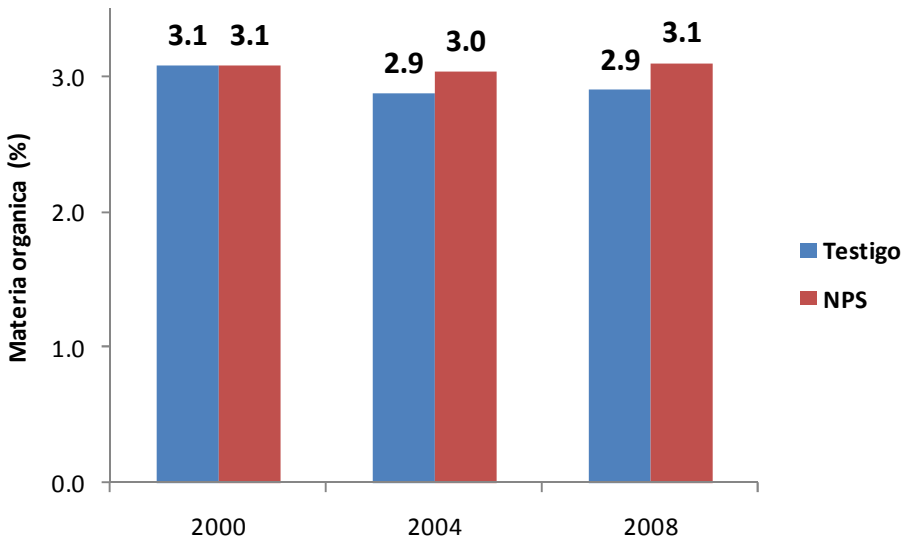
- mayores acumulaciones de rastrojo y, por lo tanto, a una mayor incorporación de carbono (C) al suelo;
- un mayor crecimiento y proliferación de raíces; y
- un mejor uso del agua (mayor infiltración, menor evaporación)

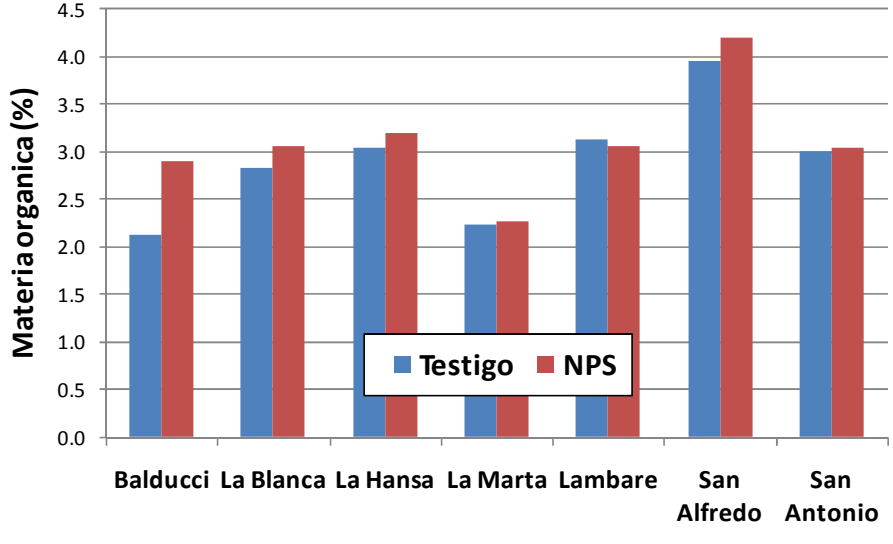
Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP

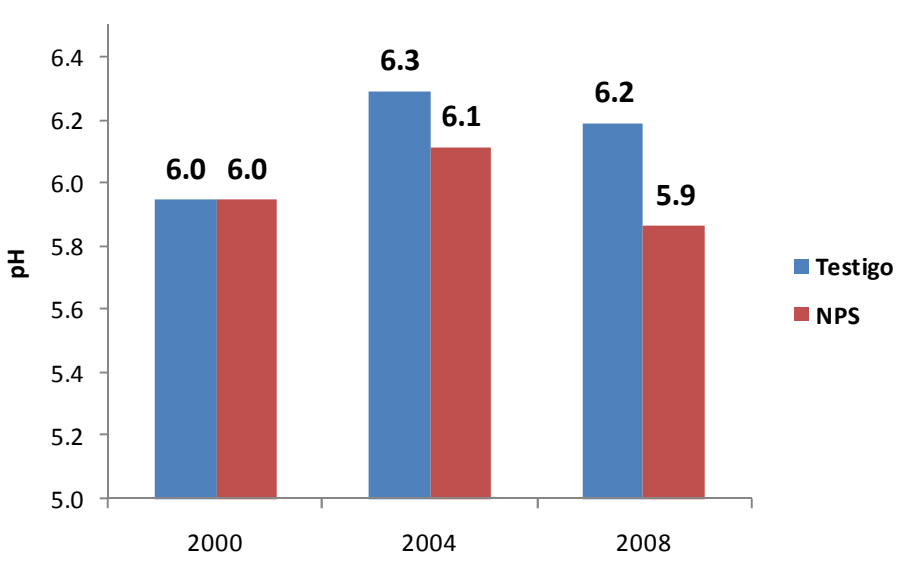
Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

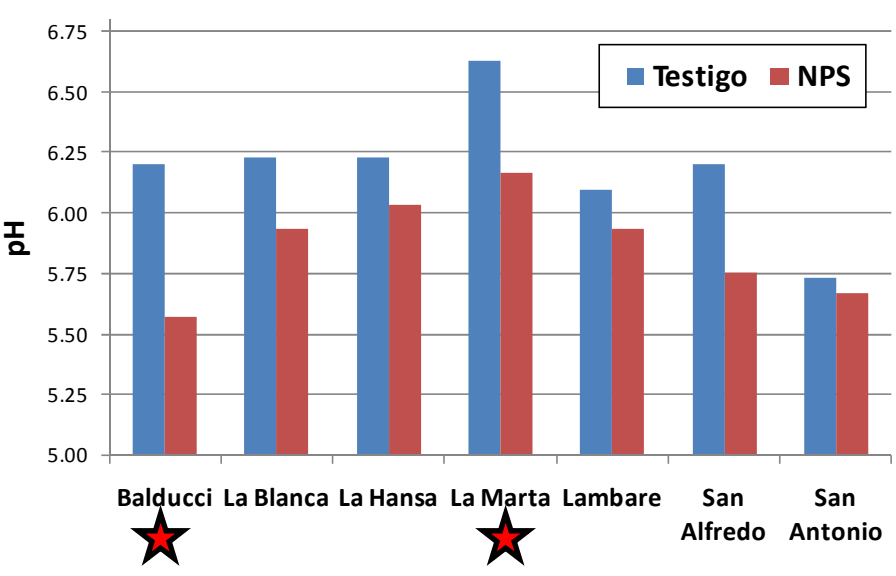
Efectos sobre propiedades del suelo: MO y pH

Dterminaciones 2000, 2004 y 2008

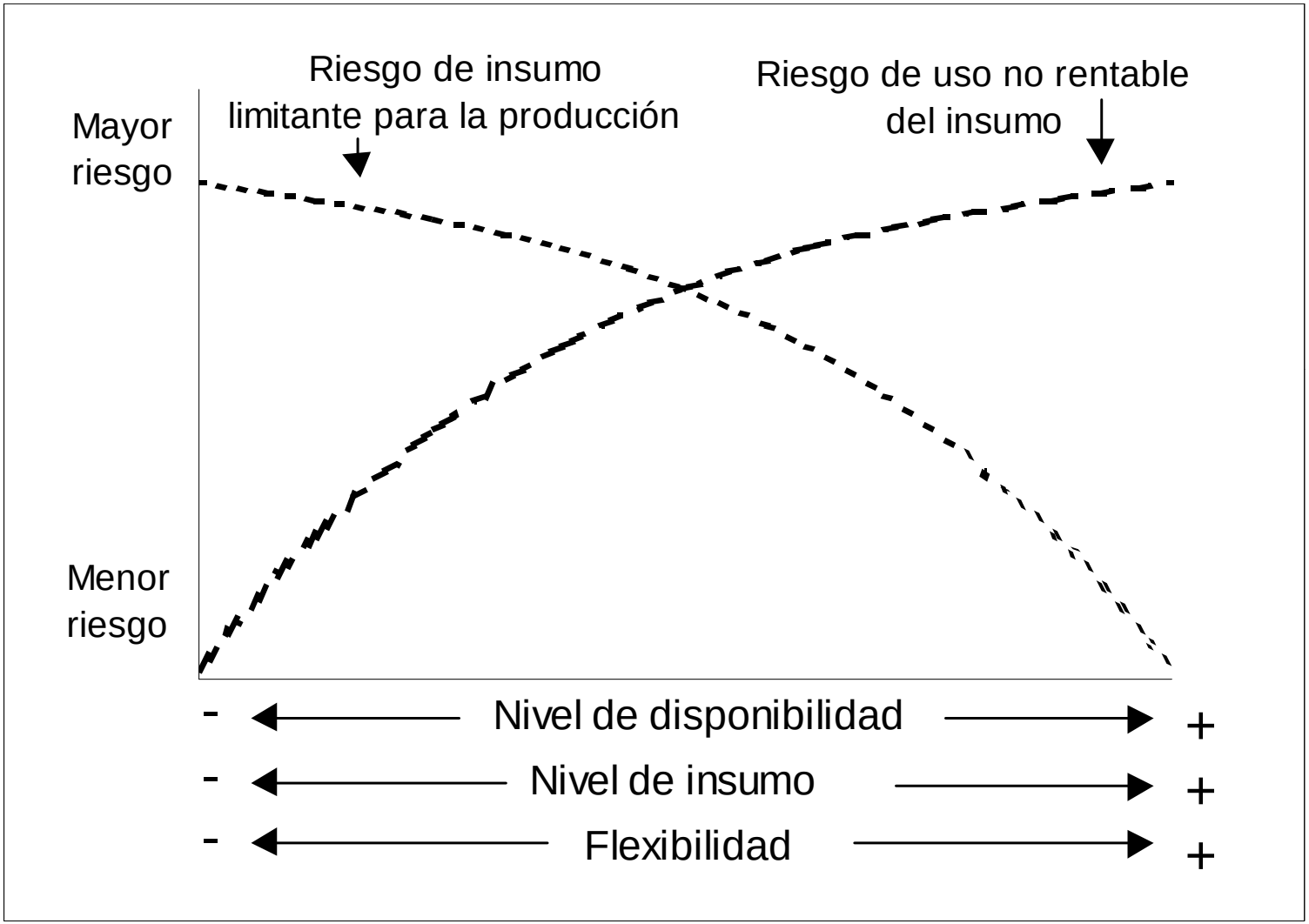








Riesgo de la fertilización



Relaciones de Precio Maíz/Fertilizantes para 2009

Urea a U$450 → N a U$1/kg
Con maíz a U$100 → 4.5 kg maíz por kg Urea o 10 kg maíz por kg N

En ensayos en Región Pampeana, con probabilidad de respuesta según el análisis de suelo, se obtuvieron 15 kg de maíz por kg Urea, equivalentes a 32 kg de maíz por kg de N

FMA a U$550 → P a U$2.4/kg
Con maíz a U$100 → 5.5 kg maíz por kg FMA o 24 kg maíz por kg P

En ensayos en Región Pampeana, con probabilidad de respuesta según el análisis de suelo, se obtuvieron 14 kg de maíz por kg FMA, equivalentes a 62 kg de maíz por kg de P

Maíz: Ensayo San Marcelo (Teodelina, Santa Fe)

J. y A. Avellaneda-INPOFOS-Cargill

Campaña 1998/99

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Δ Costo (U$/ha)	Δ Ingreso (U$/ha)	Margen neto (U$/ha)
P	6334	64	63	-1
NP	9782	212	409	197
NS	9395	151	370	219
NPS	10562	239	487	248

Análisis de suelo

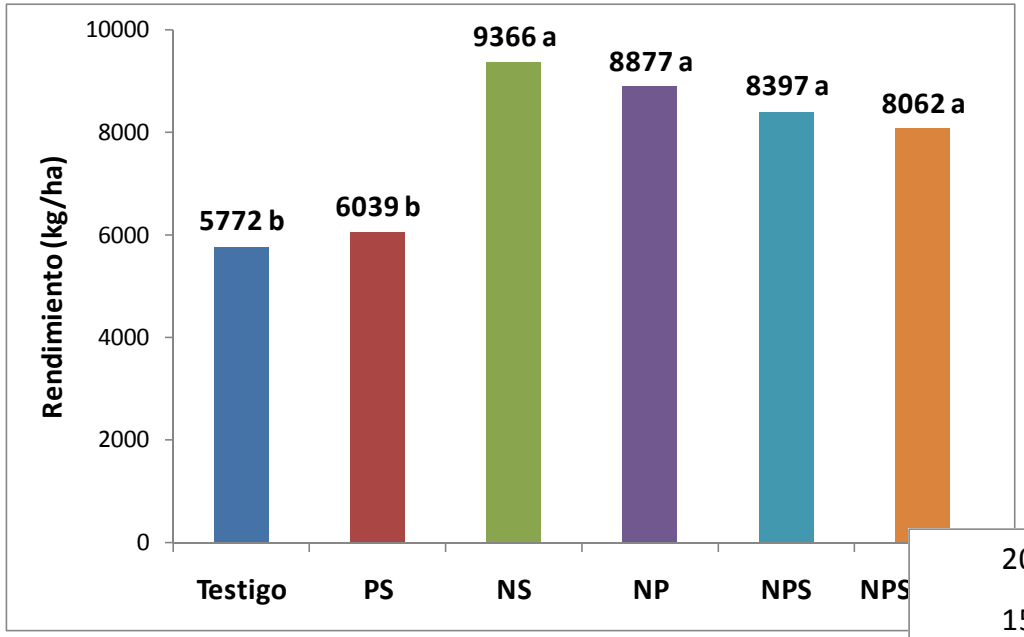
MO 3% - pH 6.2 – N-nitratos (0-60 cm) 42 kg/ha

P Bray 12 ppm – S-sulfatos (0-20 cm) 6 ppm

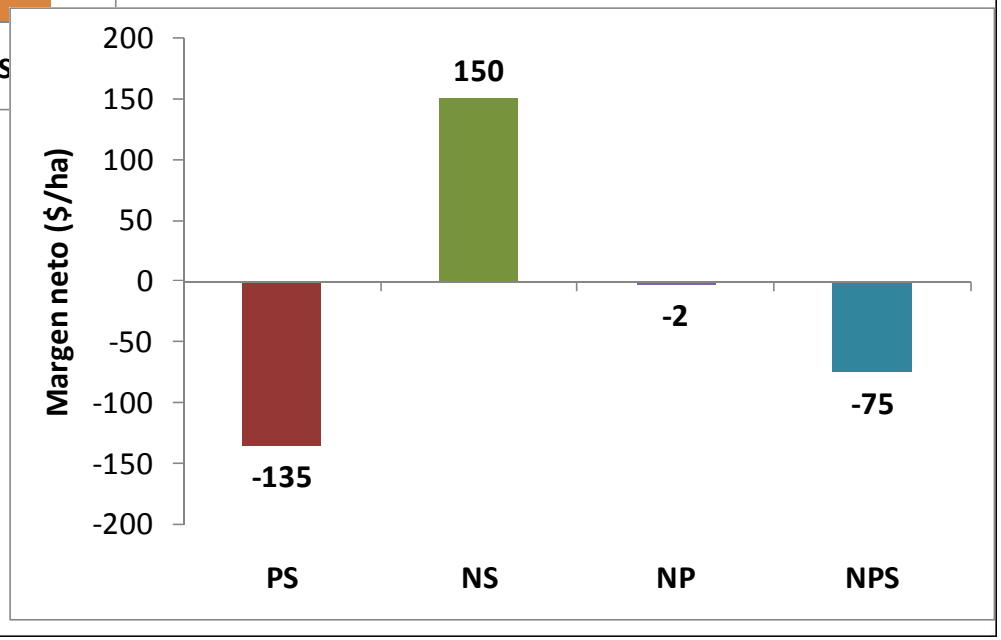
Dosis fertilización: 145 kg N – 27 kg P – 23 kg S

IPNI

Ensayo ASP – Grupo Pozo del Molle
Córdoba



La aplicación de 175 kg N y 24 kg de S incremento el rendimiento en 3594 kg/ha



La aplicación de 175 kg N y 24 kg de S resulto en un beneficio de U$150 por ha

Maíz a U$100/ton, Urea a U$450/ton, FMA a U$650/ton y SC a U$190/ton

!!Muchas gracias!!

IPNI
International
Plant Nutrition
Institute

www.ipni.net/lasc
fgarcia@ipni.net