



IPNI

INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

XXII Jornadas de Actualización Técnica

Villa del Dique, 29 Sept.-1 Oct. 2010

BUNGE
FERTILIZANTES

PASA
Fertilizantes

Dinámica de Nutrientes y Mejores Prácticas de Manejo de la Fertilización

Fernando O. García

IPNI Cono Sur

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



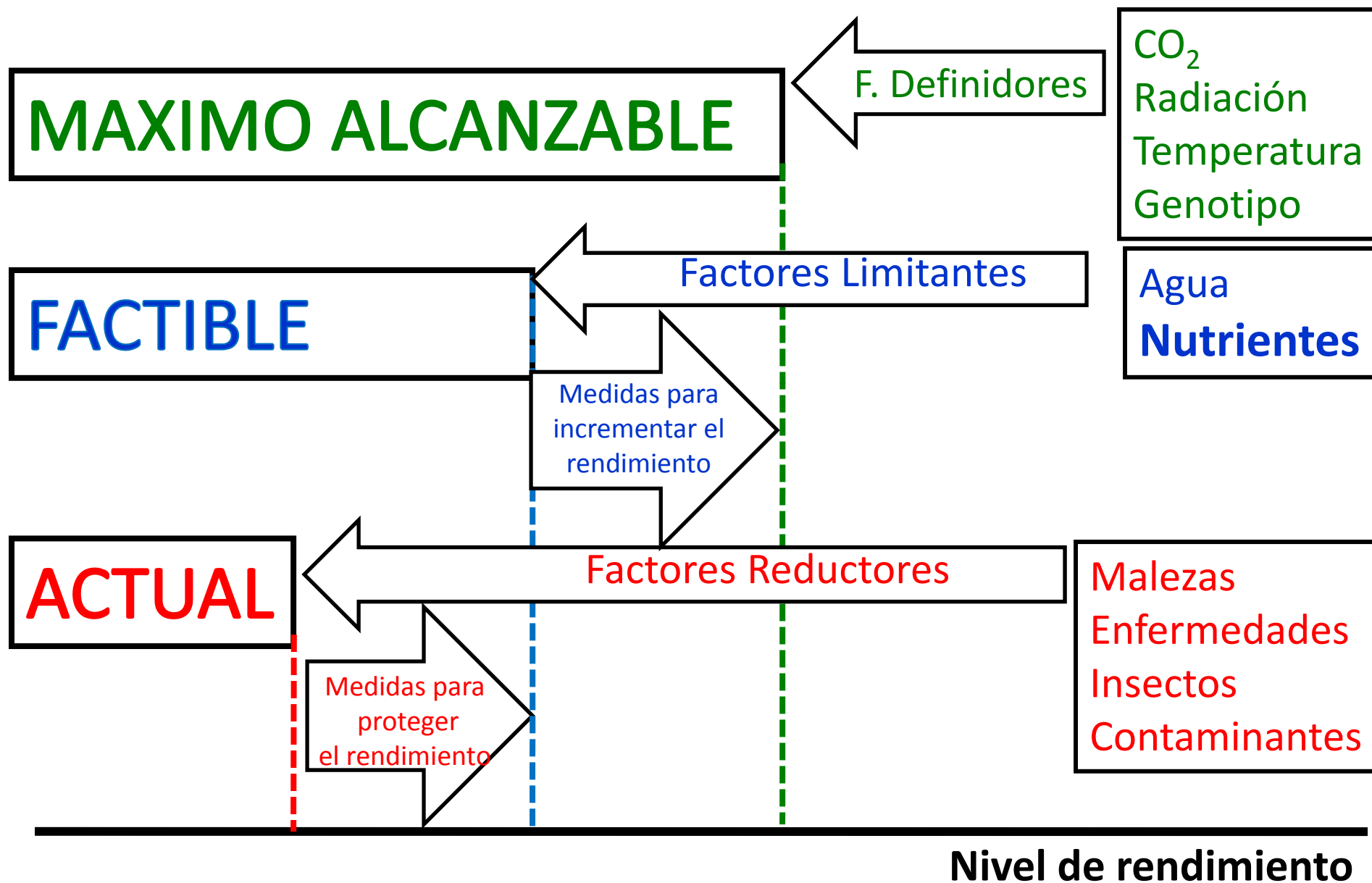
Temario

- ✓ *Mejores prácticas de manejo de nutrientes y fertilizantes*
- ✓ *Dinámica de los nutrientes y aspectos a considerar para su mejor manejo:*
 - *Nitrógeno*
 - *Fósforo*
 - *Azufre*
 - *Otros nutrientes*
- ✓ *Fertilización de la rotación*

Intensificación productiva sustentable

- *Mayor producción por unidad de recurso y/o insumo involucrado en el espacio y el tiempo (kg/ha/año)*
- *Mejorar eficiencias en términos agronómicos, económicos y ambientales*
- *Involucra sistemas y no solamente cultivos*

- ***Balance de nutrientes, Nutrición adecuada de cultivos y suelos***
- *Rotaciones*
- *Siembra directa*
- *Genética*
- *Manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas*
- *Prácticas de manejo como cultivos de cobertura*



Adaptado de Van Ittersum y Rabbinge, 2001



Las mejores practicas de manejo de los fertilizantes

- *Son herramientas utilizadas a nivel de agricultor para el manejo efectivo y eficiente de los nutrientes*
- *Son el medio principal de los agricultores para lograr simultáneamente los objetivos agronómicos, económicos y ambientales*



¿Por qué el foco en MPM de los fertilizantes?

- *Asegurar que las MPM de fertilizantes oficiales sean “las mejores”*
 - *Reconocimiento de nuevas tecnologías y/o productos*
 - *Balance apropiado entre los indicadores de performance de los sistemas*
 - *Considerar el mas reciente conocimiento científico*
- *Para incrementar la probabilidad de un mejor futuro de la agricultura*
 - *Maximizando los beneficios del uso de fertilizantes para los agricultores y la sociedad*
 - *Minimizando los efectos negativos del uso de fertilizantes*
- *Para proveer un lenguaje efectivo de comunicación con el publico y quienes toman decisiones sobre el uso de fertilizantes*

Los cuatro fundamentos básicos de la nutrición (4Cs/4Rs)

OBJETIVOS DE LA SOCIEDAD

Biodiversidad

Eficiencia de uso
de recursos: Energía,

AMBIENTAL

Perdidas de
nutrientes

DECIDIR LA DOSIS, FUENTE,

FORMA Y MOMENTO DE

APLICACIÓN CORRECTOS

Retorno de la
inversión

Calidad
Estabilidad de
rendimientos

Condiciones de
trabajo



Índices agronómicos para la eficiencia de uso de nutrientes

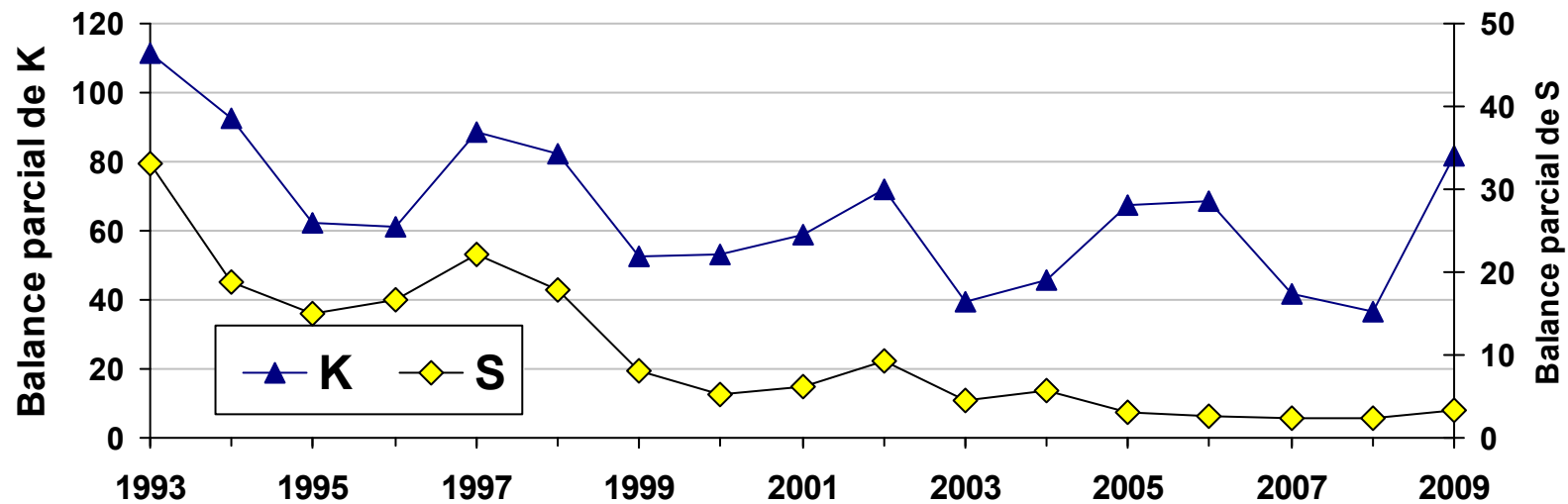
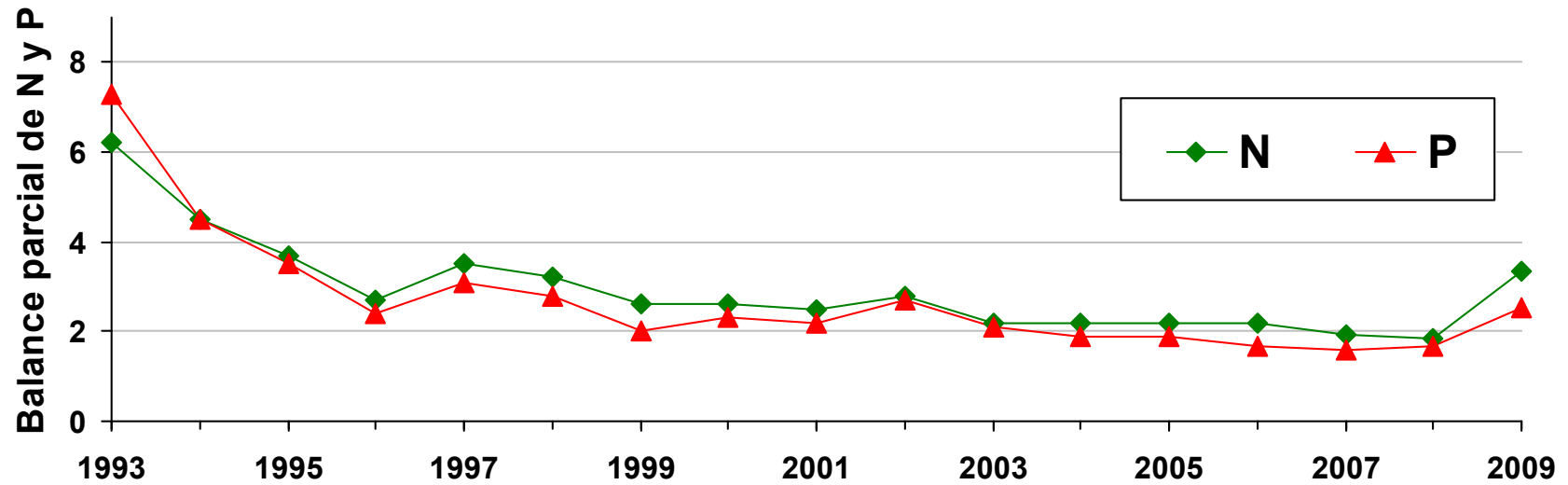


Índices	Cálculos
Eficiencia Agronómica	$EA = (\text{kg } \Delta \text{rendimiento del cultivo} / \text{kg de nutriente aplicado})$
Eficiencia aparente de Recuperación	$ER = (\text{kg de nutriente absorbido} / \text{kg de nutriente aplicado})$
Eficiencia Fisiológica	$EF = (\text{kg } \Delta \text{rendimiento} / \text{kg de nutriente absorbido})$
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)

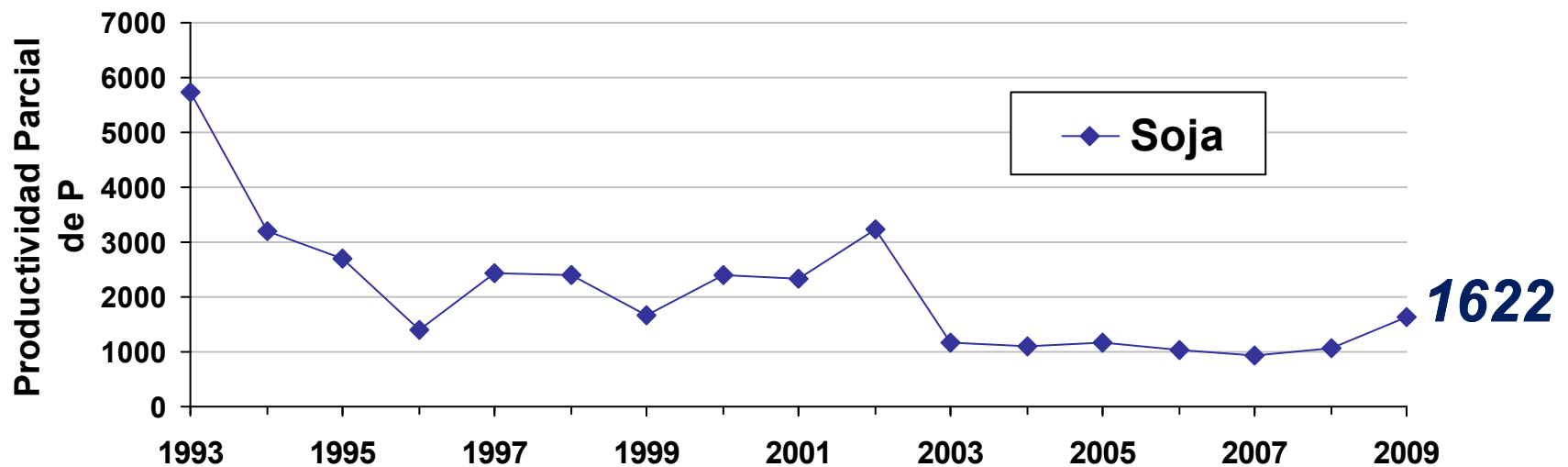
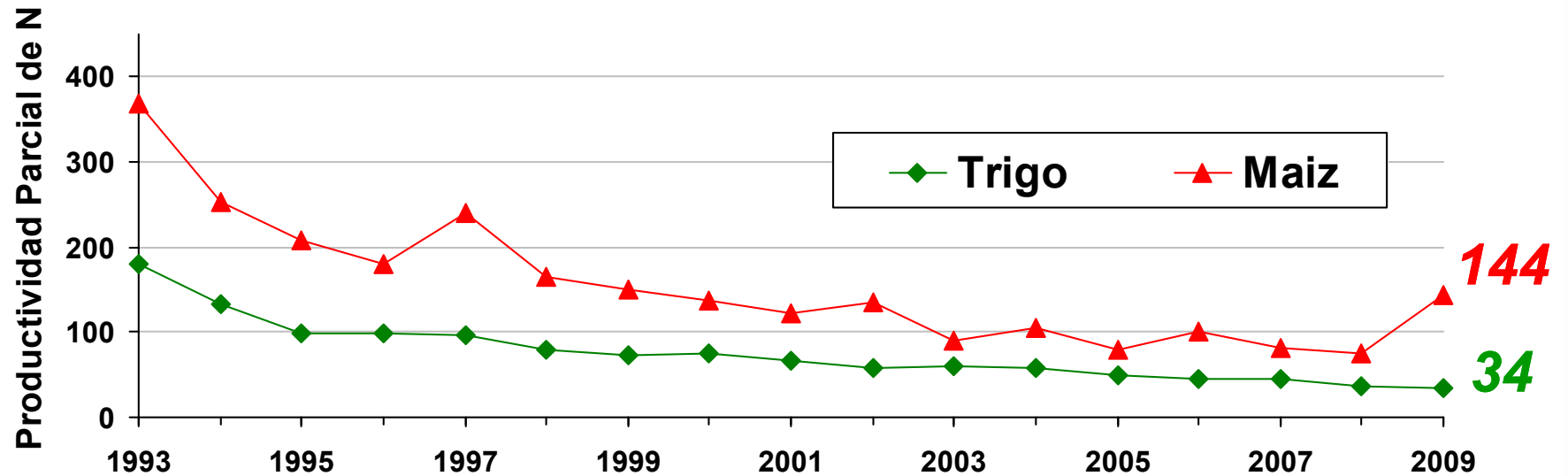


Argentina: Balances parciales de N, P, K y S en cultivos extensivos - 1993-2009

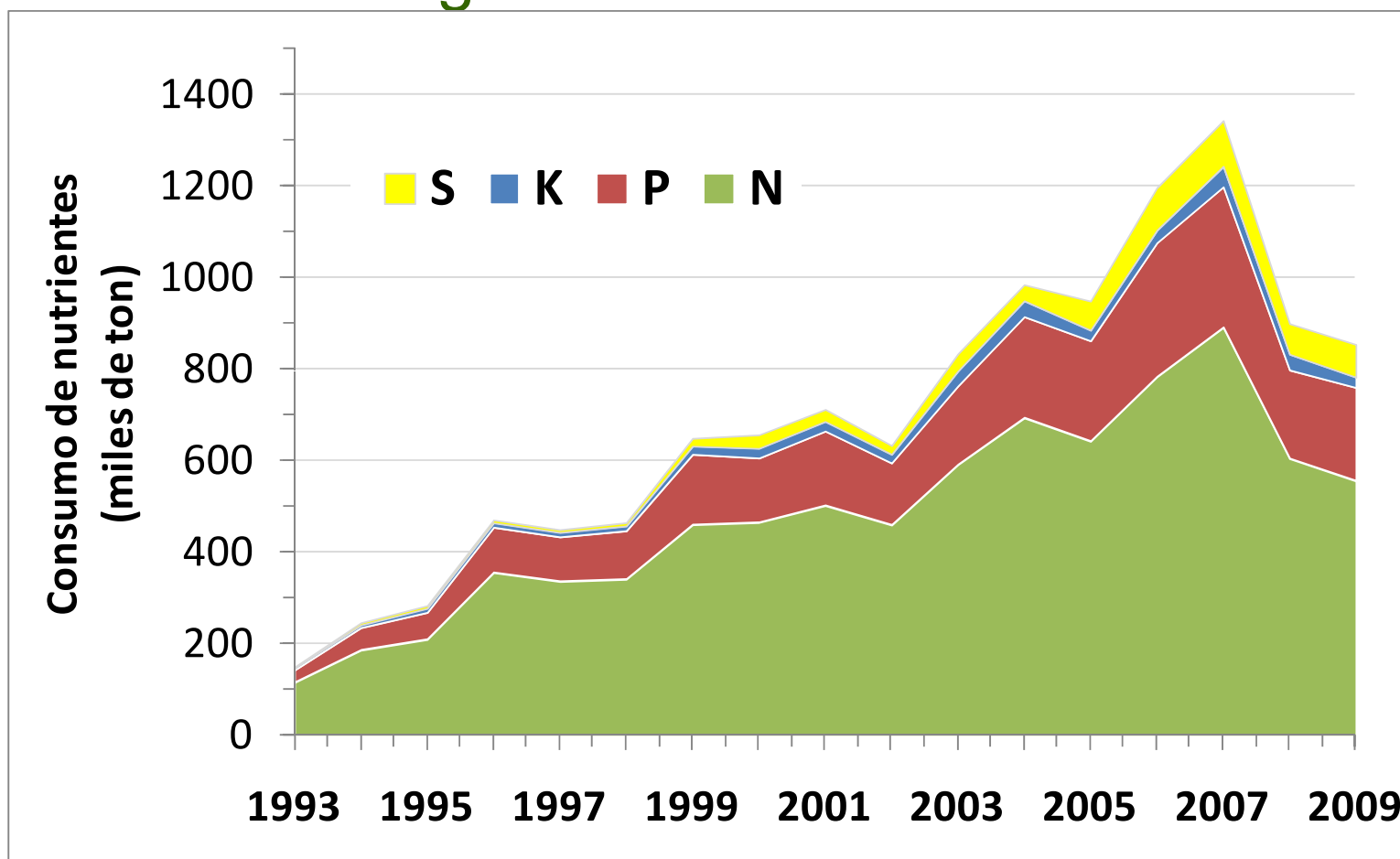




Argentina: Productividad Parcial de N y P en trigo, maíz y soja - 1993-2009



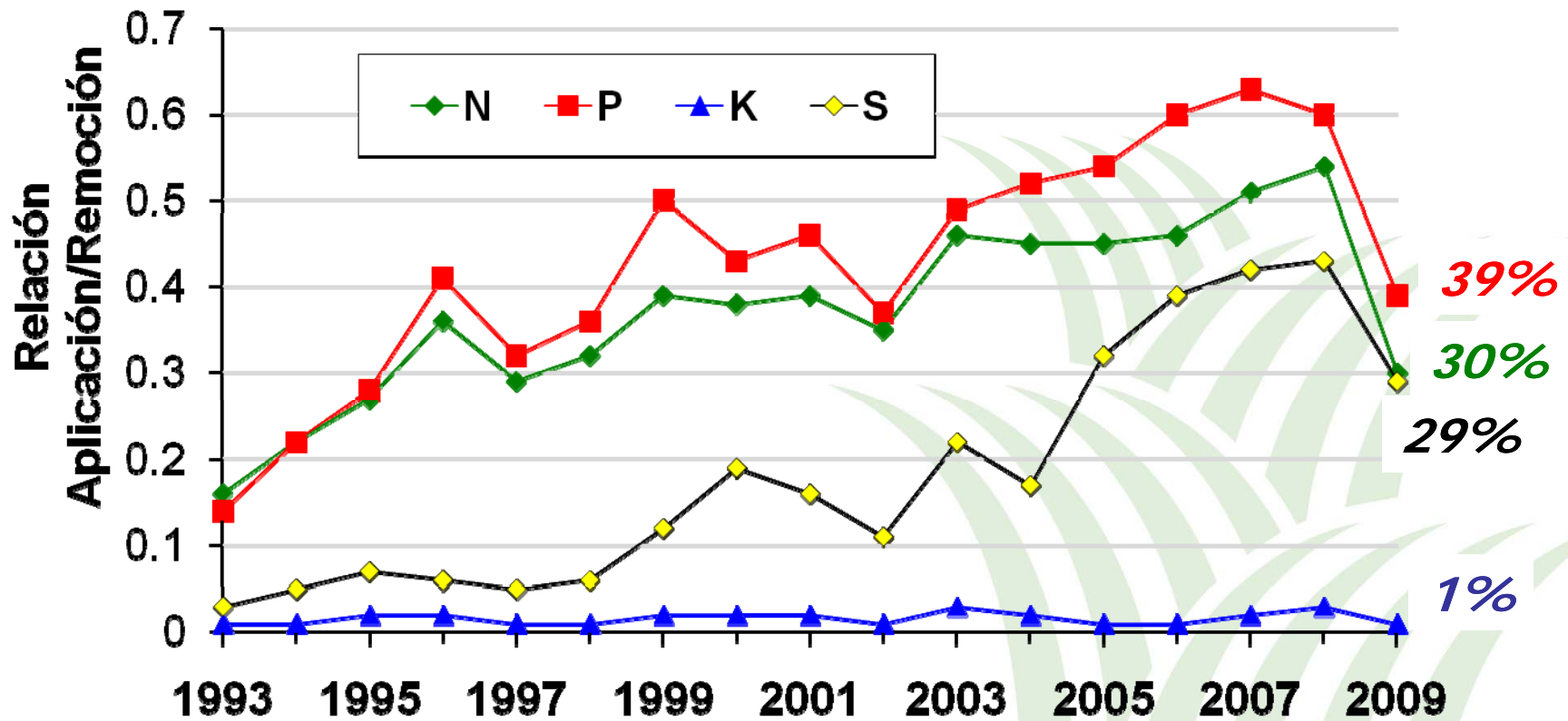
Evolución del consumo de fertilizantes Argentina - 1993-2009



En la campaña 2009/10 se consumieron 855600 toneladas de N, P, K y S (2.46 millones de toneladas de fertilizantes)



Argentina: Relaciones Aplicación/Extracción de N, P, K y S en cultivos extensivos 1993-2009



En la campaña 2009/10 se repuso el 22% de los nutrientes extraídos en soja, maíz, trigo y girasol



CREA La Calandria: Estimación de balances de N, P y S para maíz y soja en la campaña 2009/10



Maíz

Ambiente	Aplicado			Rendimiento	Extraído en granos			Balance		
	N	P	S		N	P	S	N	P	S
----- <i>kg/ha</i> -----										
1	90	13	10	12100	159	32	15	-69	-19	-5
2	90	13	10	10800	142	29	13	-52	-16	-3

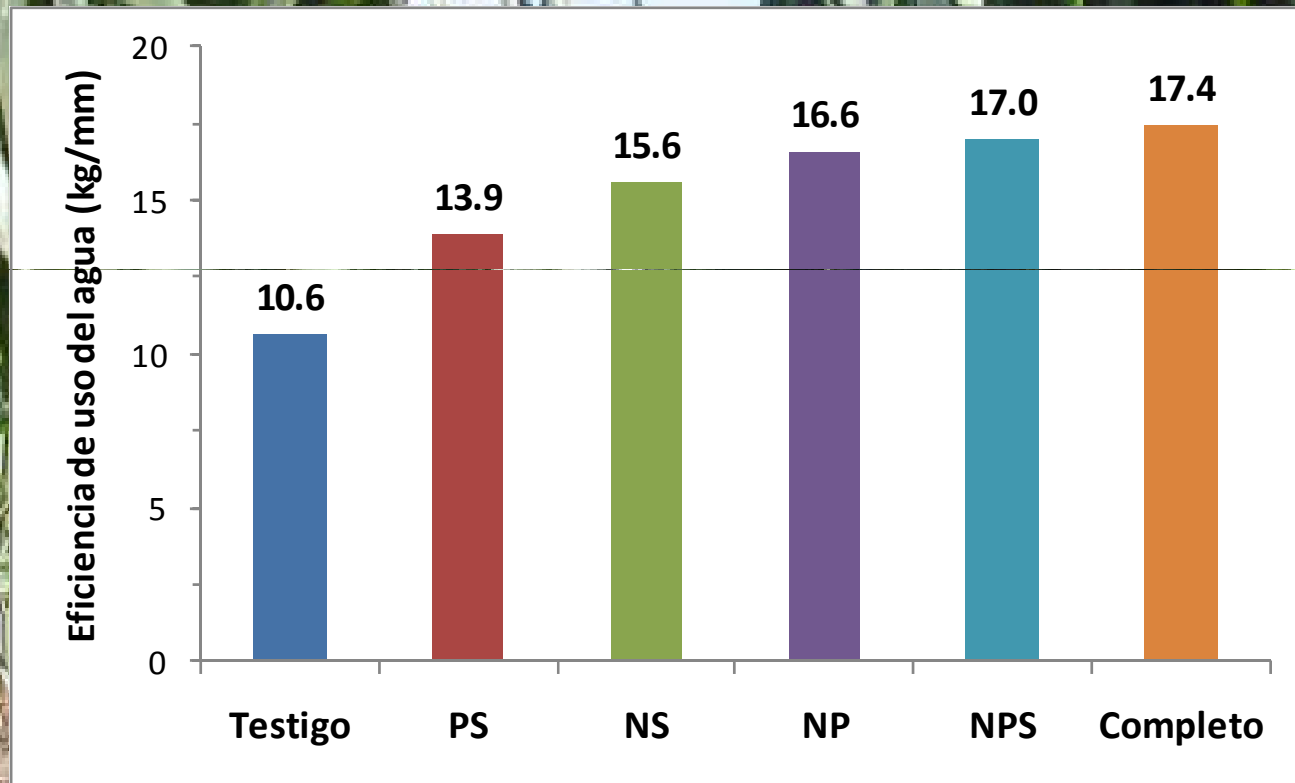
Soja de primera

Ambiente	Aplicado			Rendimiento	Extraído en granos			Balance		
	N	P	S		N	P	S	N	P	S
----- <i>kg/ha</i> -----										
1				3940	96	21	11	-96	-21	-11
2				2273	55	12	6	-55	-12	-6

Se considero que el 50% del N del grano proviene de la fijación simbiótica de N.

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

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe – Campaña 2009/10

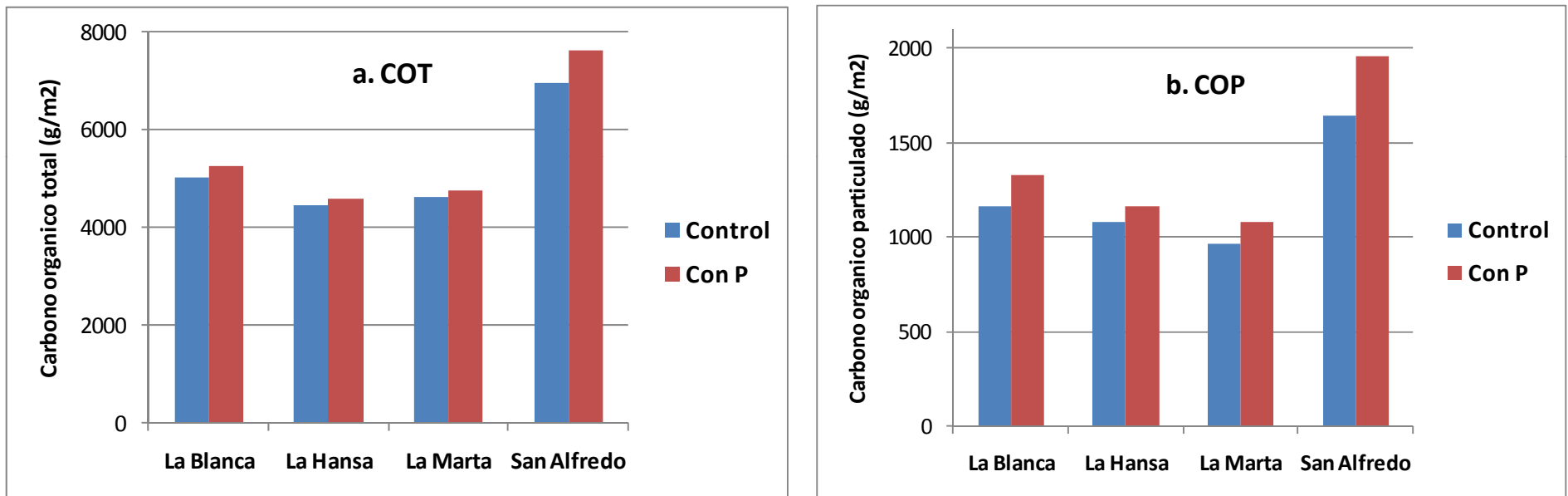


*Precipitaciones siembra a madurez
730 mm*

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

Efecto de la fertilización fosfatada sobre la acumulación de C orgánico

Fuente: Ciampitti et al. (2010) – Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe (CREA-IPNI-ASP)



La fertilización fosfatada durante seis años incremento el C orgánico total en 3055 kg/ha y el C particulado en 1678 kg/ha a 0-20 cm, en promedio para los cuatro sitios evaluados



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*

La fuente correcta aplicada a la dosis correcta en el momento y formas correctos



Principios científicos del sistema 4Cs/4Rs: Ejemplos

1. Abastecer formas disponibles
2. Ajustar a las condiciones del suelo
3. Reconocer sinergismos
4. Compatibilidad de mezclas

1. Evaluar abastecimiento de nutrientes del suelo
2. Evaluar todas las fuentes de nutrientes del suelo y del aire
3. Evaluar la demanda de los cultivos
4. Predecir la eficiencia de uso del fertilizante



1. Evaluar los momentos de demanda nutricional del cultivo
2. Evaluar la dinámica de abastecimiento de nutrientes del suelo
3. Reconocer los efectos de factores climáticos
4. Evaluar la logística de operaciones

1. Reconocer la dinámica suelo-raíz
2. Manejar la variabilidad espacial
3. Ajustar las necesidades del sistema de labranzas
4. Limitar el transporte potencial fuera del campo

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 edafoclimáticas 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



Posibles factores de sitio

- Cultivo
- Suelo
- Productor
- Aplic. Nutrientes
- Calidad de agua
- Clima
- Tecnología

Apoyos para la toma de decisión

Demanda cultivo
Abastecimiento suelo
Eficiencia aplicación
Aspectos económicos
Ambiente
Productor/Propietario

Dosis recomendadas
Probabilidad de ocurrencia
Retorno económico
Impacto ambiental
Momento de aplicación
Etc.

Output

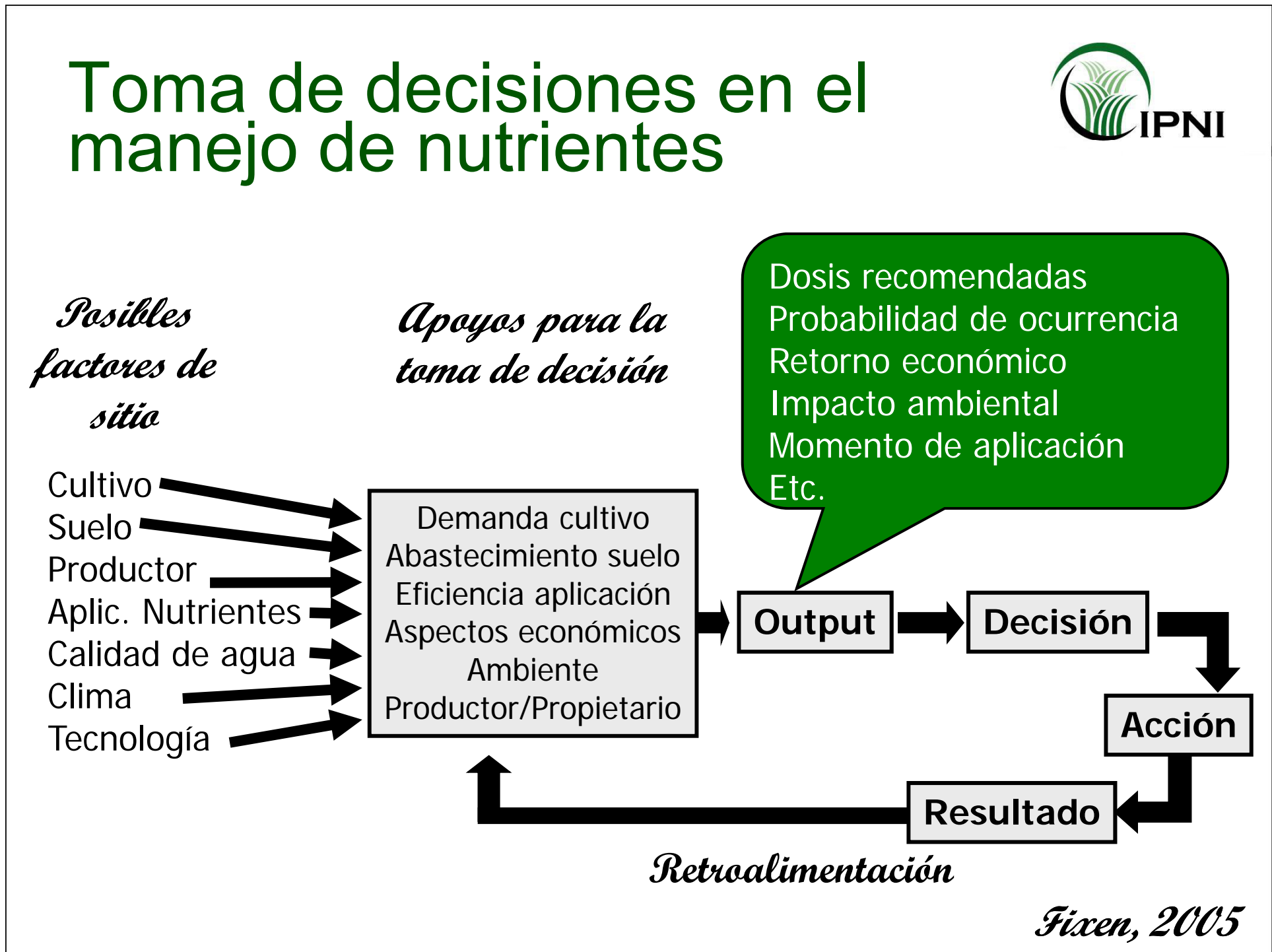
Decisión

Acción

Resultado

Retroalimentación

Fixen, 2005



El análisis de suelos como herramienta de apoyo para la toma de decisión

- Una herramienta poderosa pero con limitaciones
- Es esencial la calibración (requiere actualización periódica)
- El muestreo



Repetitividad de resultados de análisis de suelos: Una prueba de campo

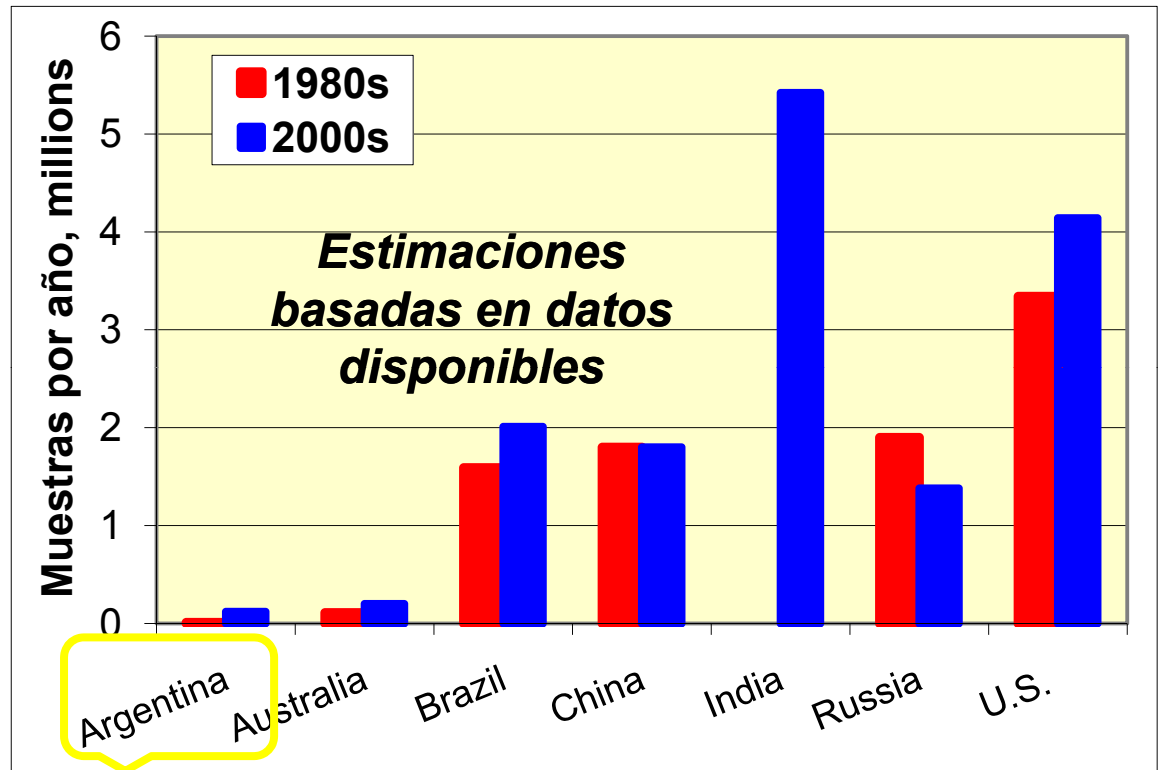
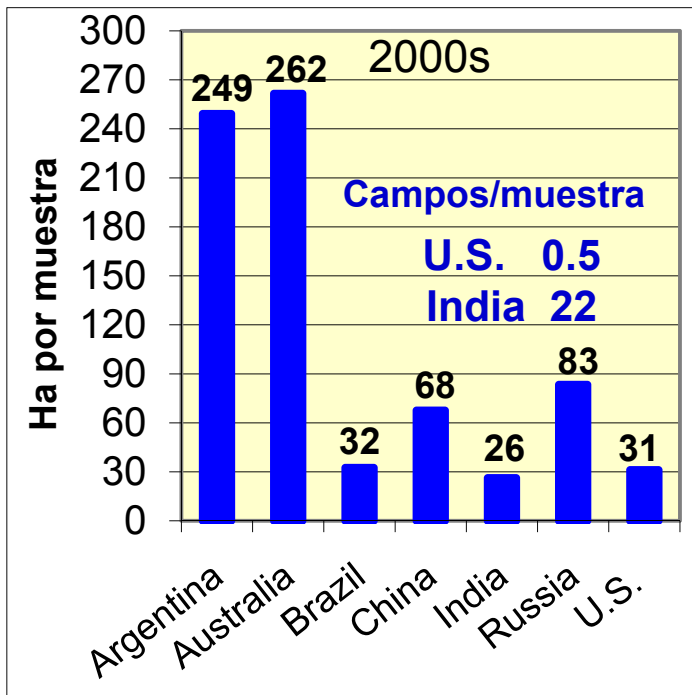
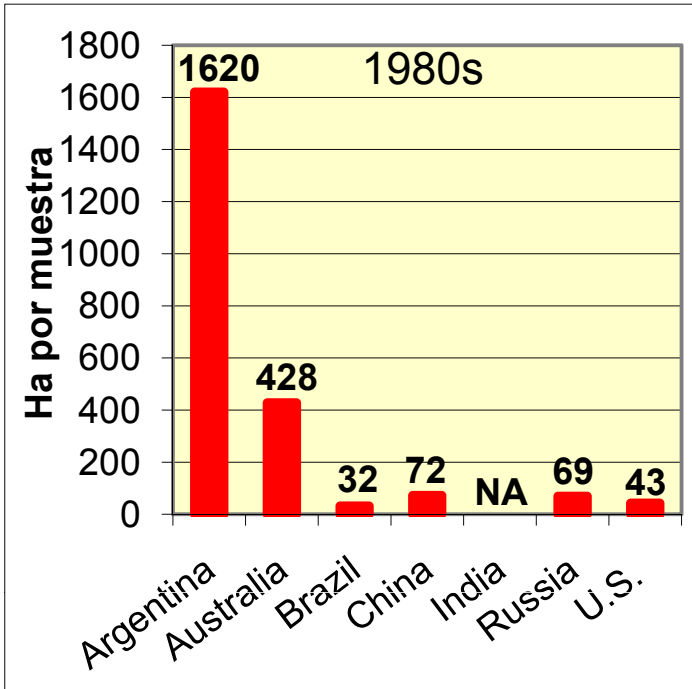
Laboratorio	Muestra	N-nitratos	P Bray	S-sulfatos
		----- ppm -----		
A	1	14	60	12
	2	12	56	12
B	3	16	56	9
	4	14	58	9
<i>Variabilidad media</i>		2-3	2-3	3-4

Las cuatro “muestras” corresponden a cuarteos de una misma muestra (compuesta por 60 submuestras) de un lote del sur de Santa Fe, 0-20 cm de profundidad

Recursos: PROINSA, SAMLA



Muestreo de suelos e intensidad de muestreo en algunos países



Argentina: Se analizan aproximadamente 140 a 160 mil muestras de suelo por año (2009)

Años reportados						
Argentina	Australia	Brasil	China	India	Rusia	EE.UU.
1986	1989	1985	1980-1983	NA	1981-1985	1985
2008	2009	2008	2005-2009	2008	2001-2005	2005



Extracción de nutrientes de distintos cultivos

<i>Nutriente</i>	kg de nutriente / tonelada de cultivo*					
	Trigo	Maíz	Soja	Girasol	Sorgo	Cebada
Nitrógeno	18	13	49	22	17	13
Fósforo	3.3	2.6	5.3	5.8	3	3
Potasio	3.3	3.5	17	5.6	3	4
Calcio	0.4	0.2	2.7	1.3	1	-
Magnesio	2.3	1.3	3.2	2.7	1	1
Azufre	1.3	1.2	2.5	1.7	2	2

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

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



Maíz y Soja Requerimientos Nutricionales



Nutriente	Maíz 12000 kg/ha		Soja 5000 kg/ha	
	Necesidad	Extracción	Necesidad	Extracción
	----- kg/ha -----			
N	232	158	332	243
P	42	32	31	27
S	42	15	20	14

Requerimientos expresados a humedad de recibo de granos (Maíz 14% y Soja 13%)

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

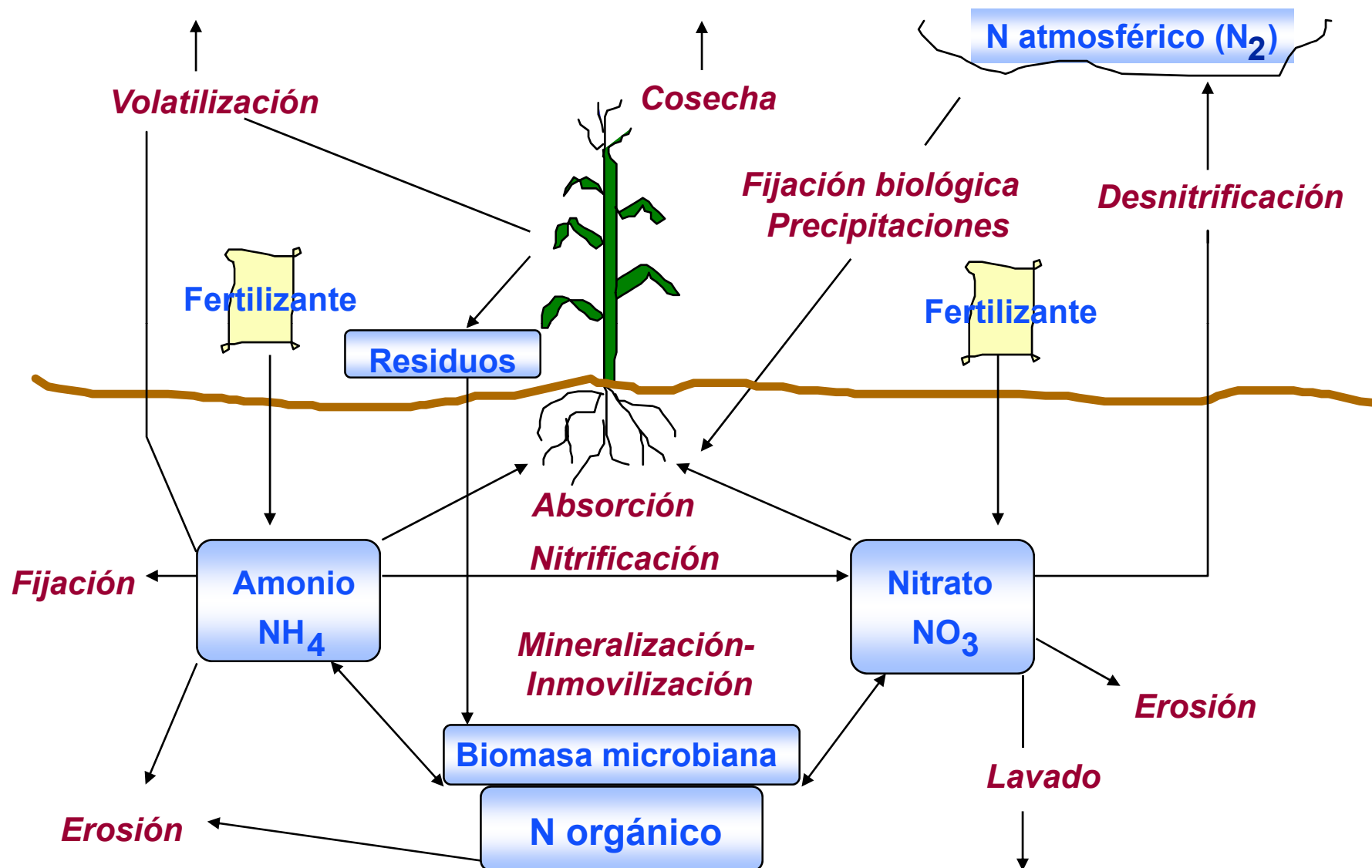
Fuente: Ciampitti y García (2007), IA No. 33, AA No. 11

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Planilla de Cálculo de Requerimientos y Extracción de Nutrientes											
2	Cereales											
3												
4	Cultivo	Rendimiento	Nutriente	Requerimiento	Ind. Cosecha	Necesidad	Extracción					
5	Maíz	kg/ha		kg/ton		kg	kg					
6		10000	N	22	0.68	193	131.58					
7	Humedad de grano	14	P	4	0.76	35	26.52					
8			K	19	0.21	167	34.86					
9			Ca	3	0.07	26	1.84					
10			Mg	3	0.53	26	14.04					
11			S	4	0.35	35	12.28					
12			B	0.020	0.25	0.18	0.0439					
13			Cl	0.444	0.06	3.89	0.2337					
14			Cu	0.013	0.29	0.11	0.0331					
15			Fe	0.125	0.36	1.10	0.3947					
16			Mn	0.189	0.17	1.66	0.2818					
17			Mo	0.001	0.63	0.01	0.0049					
18			Zn	0.053	0.50	0.46	0.2325					
19			Ni									
20												
21	Cultivo	Rendimiento	Nutriente	Requerimiento	Ind. Cosecha	Necesidad	Extracción					
22	Trigo	kg/ha		kg/ton		kg	kg					
23		3500	N	30	0.69	93	63.37					
24	Humedad de grano	13.5	P	5	0.80	15	12.30					
25			K	19	0.21	59	12.33					
26			Ca	3	0.14	9	1.30					
27			Mg	4	0.63	12	7.71					
28			S	5	0.34	15	5.27					
29			B	0.025	-	0.08	-					
30			Cl									
31			Cu	0.010	0.75	0.03	0.023					
32			Fe	0.137	-	0.42	-					
33			Mn	0.070	0.36	0.22	0.078					
34			Mo		-	0.00	-					
35			Zn	0.052	0.44	0.16	0.071					
36			Ni									
37												
38	Cultivo	Rend										
39	Arroz	kg										
40		10										
41	Humedad de grano											
42												
43			Ca	2.8	0.04	3	0					
44			Mg	2.4	0.42	2.4	1					



En Sitio Internet www.ipni.net/lasc
Planilla Excel CalcReq2009.xls

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

Fijación biológica de nitrógeno

Cultivo	Promedio	Rango
	kg N/ha	kg/ha
Alfalfa	200	50-450
Trébol rojo	115	75-170
Trébol blanco	100	
Vicia	80	80-130
Arveja	70	30-180
Soja	100	60-170
Maní	40	

Soja



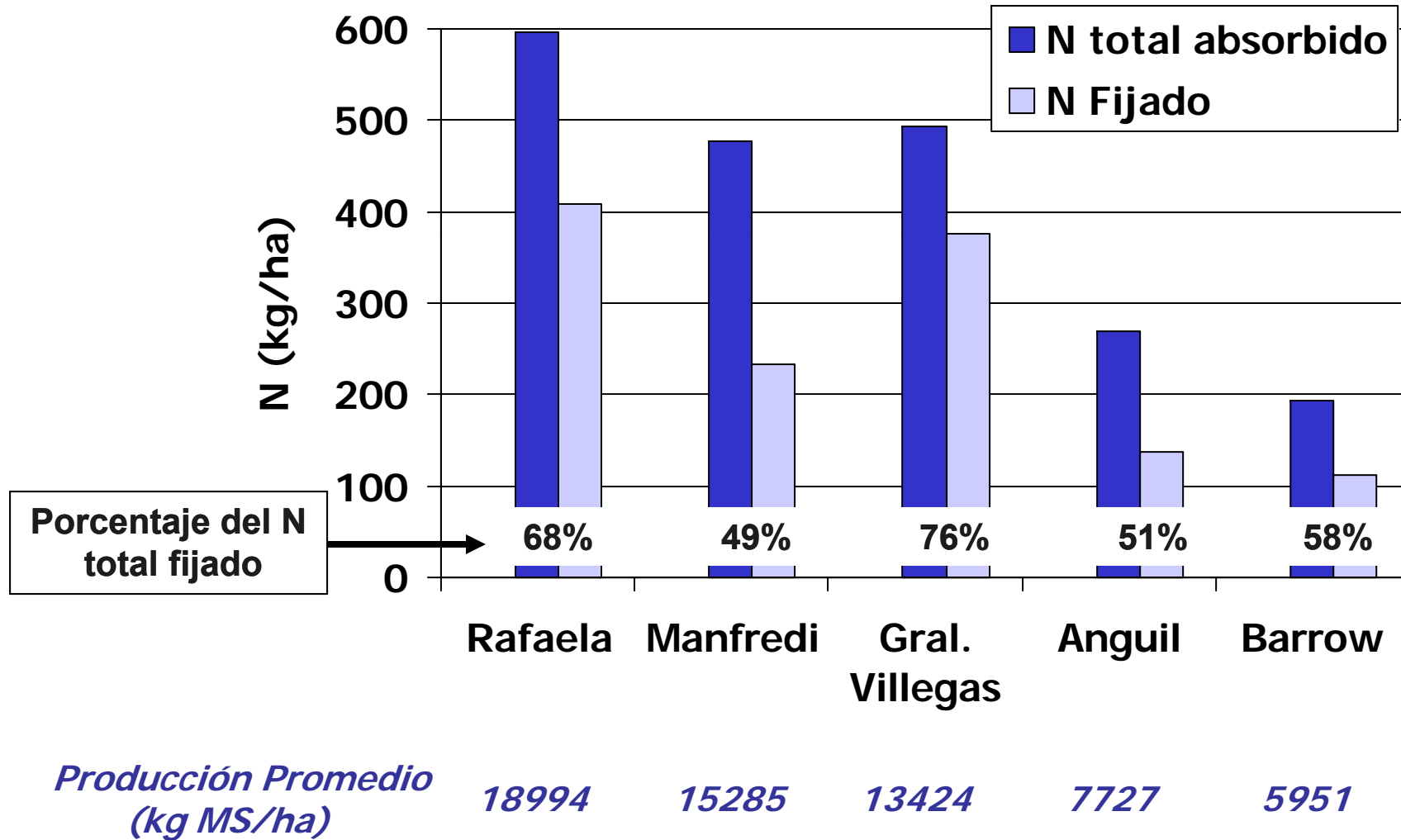
Alfalfa



Fijación Biológica de Nitrógeno en Alfalfa

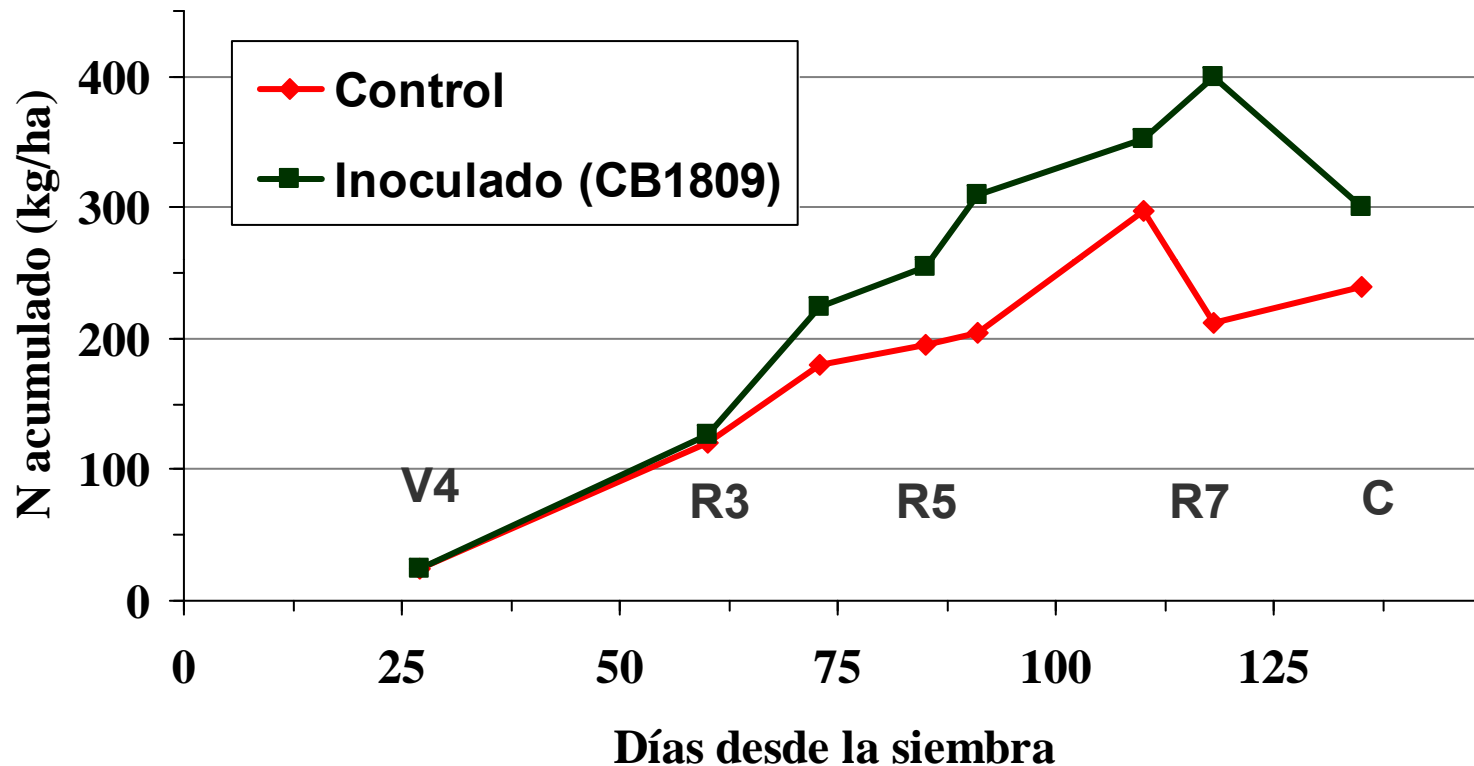
Proyecto Pronalfa INTA - Brenzoni y Rivero (1999)

Promedios de 2 variedades (Monarca y Victoria) y 2 o 3 años por localidad



Acumulación de N en soja inoculada y sin inocular

Campaña 1988/89 - EEA INTA Balcarce (Buenos Aires, Argentina)



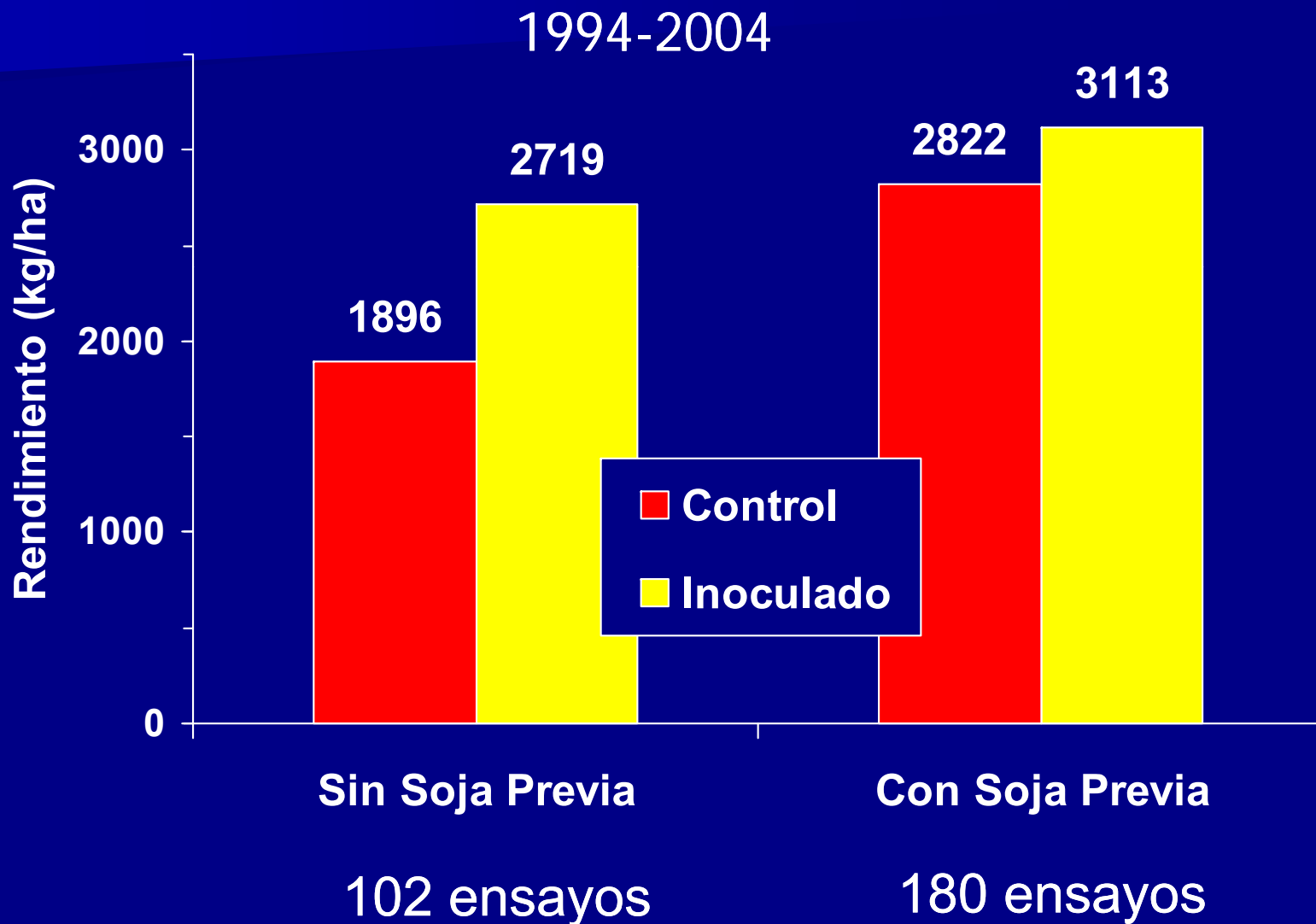
Rendimientos

Control **4222 kg/ha**
Inoculado **5060 kg/ha**

Fuente: González, 1994

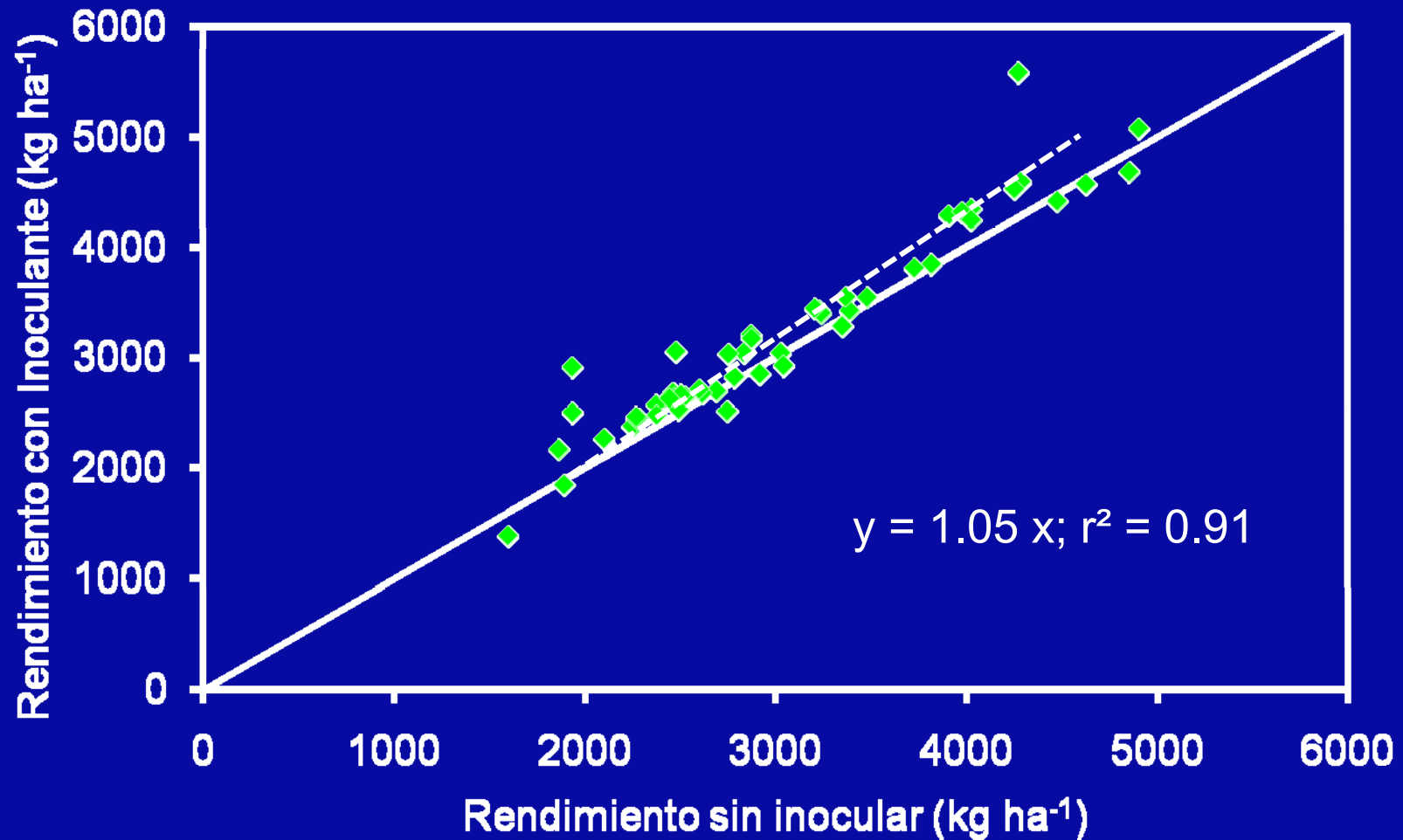
Inoculación de soja

A. Perticari – INTA Castelar-Inocular



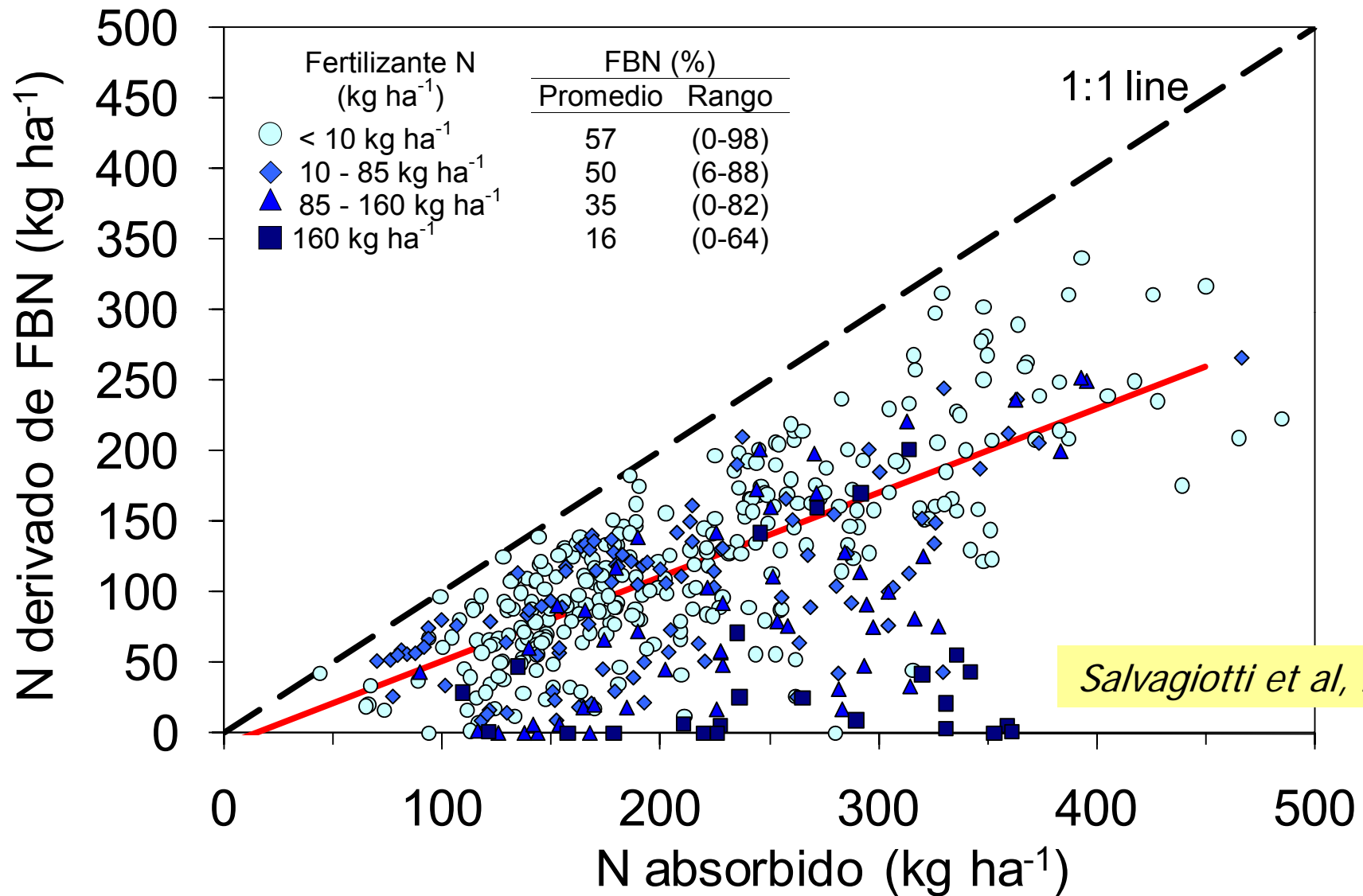
Inoculación

Respuesta a la inoculación en lotes con historia sojera

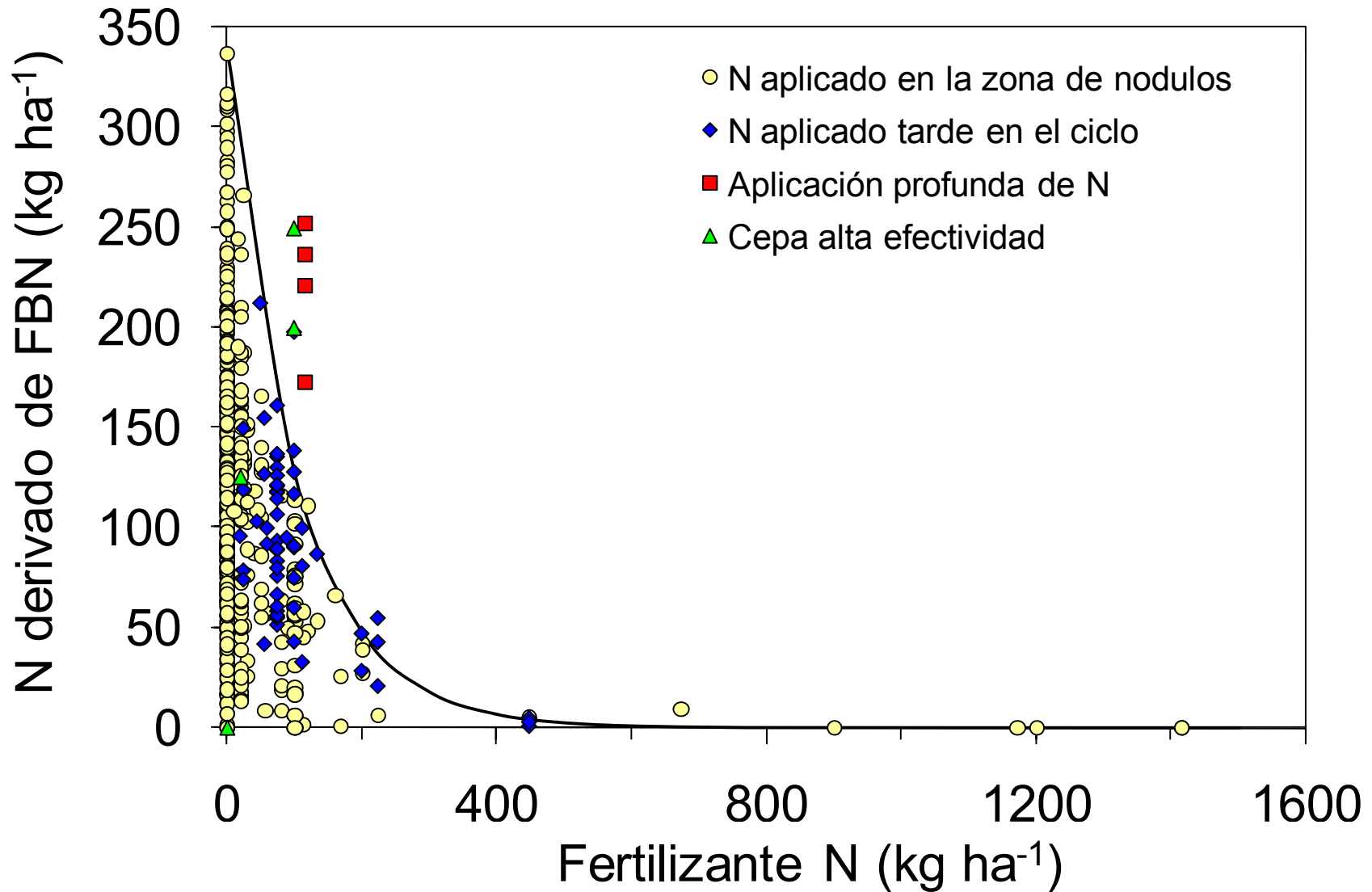


Enrico y Capurro, 2009. Sobre base de datos Proyecto INOCULAR

FBN y Absorción de N en soja



FBN y Fertilización nitrogenada en soja



SOJA con diferentes dosis de N (2 sitios)

Fertilizante aplicado en V6

Dosis de N	SITIOS			
	San Carlos		Rafaela	
	Promedio (kg/ha)	Incrementos	Promedio (kg/ha)	Incrementos
0	3.460	-	4.560	-
40	3.365	- 95 (NS)	4.604	44 (NS)
80	3.522	62 (NS)	4.490	- 70 (NS)
120	3.580	120 (NS)	4.585	25 (NS)

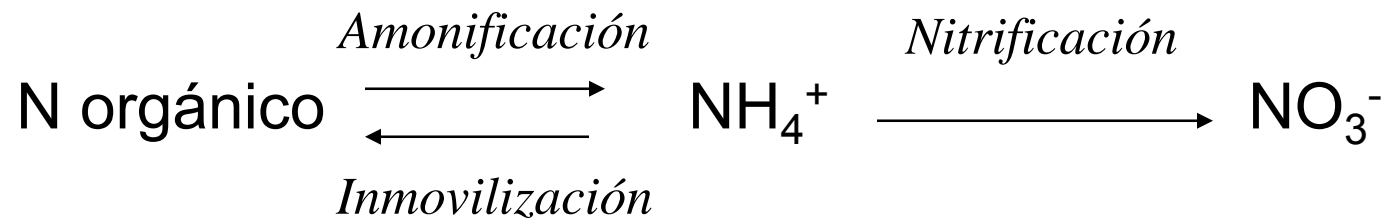
SOJA - Momentos de Aplicación del N

(2 sitios - Dosis de N: 80 kg/ha)

Momentos	SITIOS			
	Rafaela		San Carlos	
	Promedio (kg/ha)	Incrementos	Promedio (kg/ha)	Incrementos
Testigo (N0)	3.445 a	-	3.990 a	-
Siembra	3.502 ab	57	3.975 a	- 15
V6	3.546 ab	101	4.055 ab	65
R3	3.655 ab	210	4.286 b	296
R5	3.756 b	311	4.465 b	475

Fontanetto y col. (2009)

Mineralización-Inmovilización de Nitrógeno



Evaluación de la mineralización

1. *Métodos químicos y biológicos*
2. *Estimaciones a partir del contenido de N orgánico*
3. *Estimaciones a partir del rendimiento de cultivos sin fertilizar*

Estimaciones de mineralización anual de N orgánico según textura de suelo

<i>Suelos arcillosos a franco-arcillosos</i>	<i>1.2 - 2.5%</i>
<i>Suelos francos a limosos</i>	<i>1.5 - 3.0%</i>
<i>Suelos francos a franco-arenosos</i>	<i>3.0 - 4.0%</i>
<i>Suelos arenoso-francos a arenosos</i>	<i>4-0 - 6.0%</i>

Estimación de la mineralización de N durante el ciclo del cultivo

1. Métodos químicos y/o biológicos

N potencialmente mineralizable

Temperatura

Humedad

2. Según contenido de materia orgánica y textura de suelo

Concentración promedio de N en la MO del 5%

3. A partir del rendimiento de cultivos previos no fertilizados

Rendimiento como estimador del N absorbido por el cultivo

N disponible a la siembra

82 - 153 kg/ha CREA Zona Norte Buenos Aires (Satorre y col., 2001)

95 - 202 kg/ha CREA Sur de Santa Fe (Thomas y col., 2001)

Recomendación de fertilización nitrogenada a partir del balance de nitrógeno

$$(N \text{ fert} * E_f) = (N_{\text{cult}}) - (N \text{ siembra} * E_s) + (N_{\text{min}} * E_m)$$

- *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.*

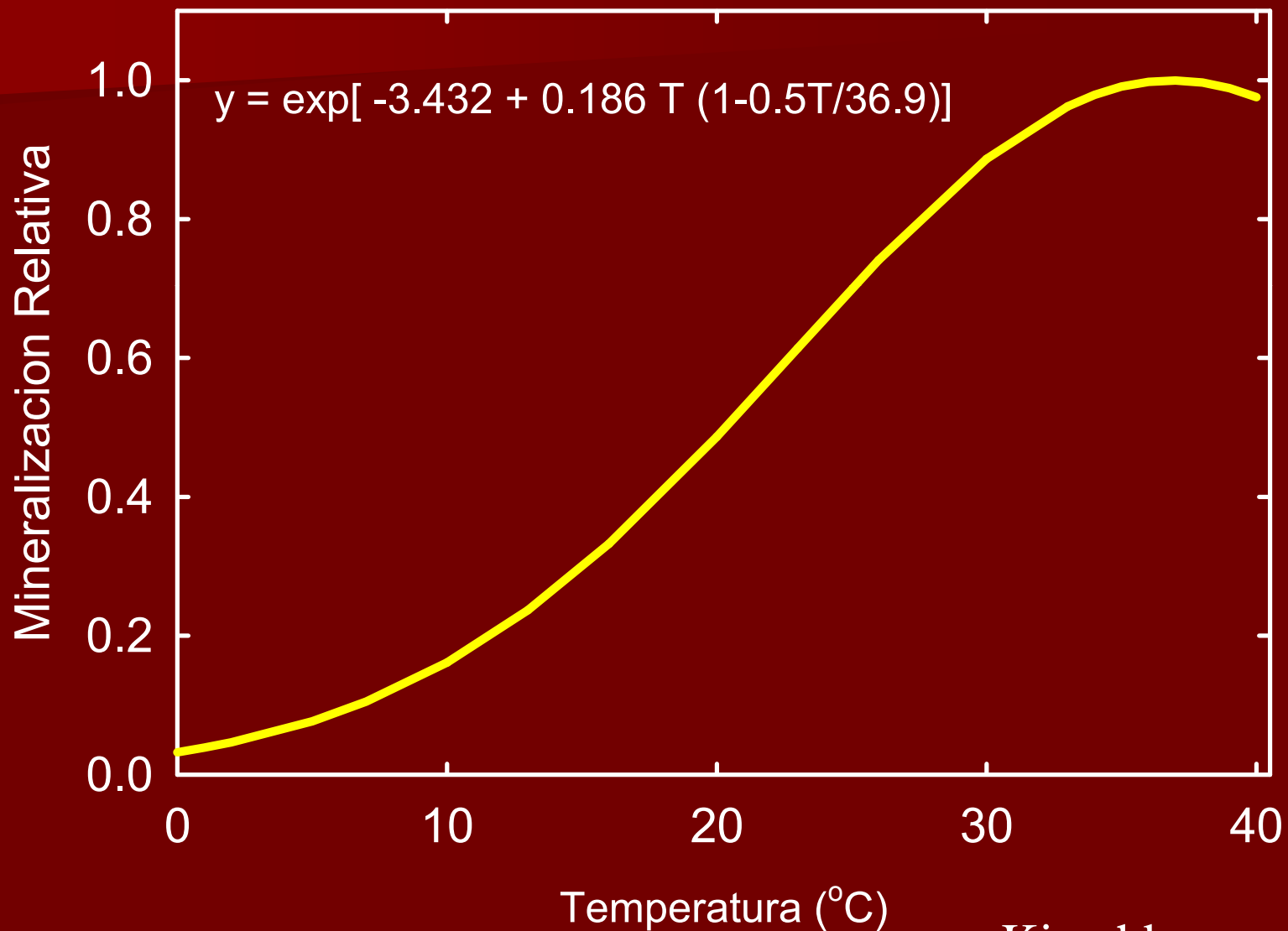
Rangos de eficiencias

Es 0.4-0.7

Em 0.7-0.9

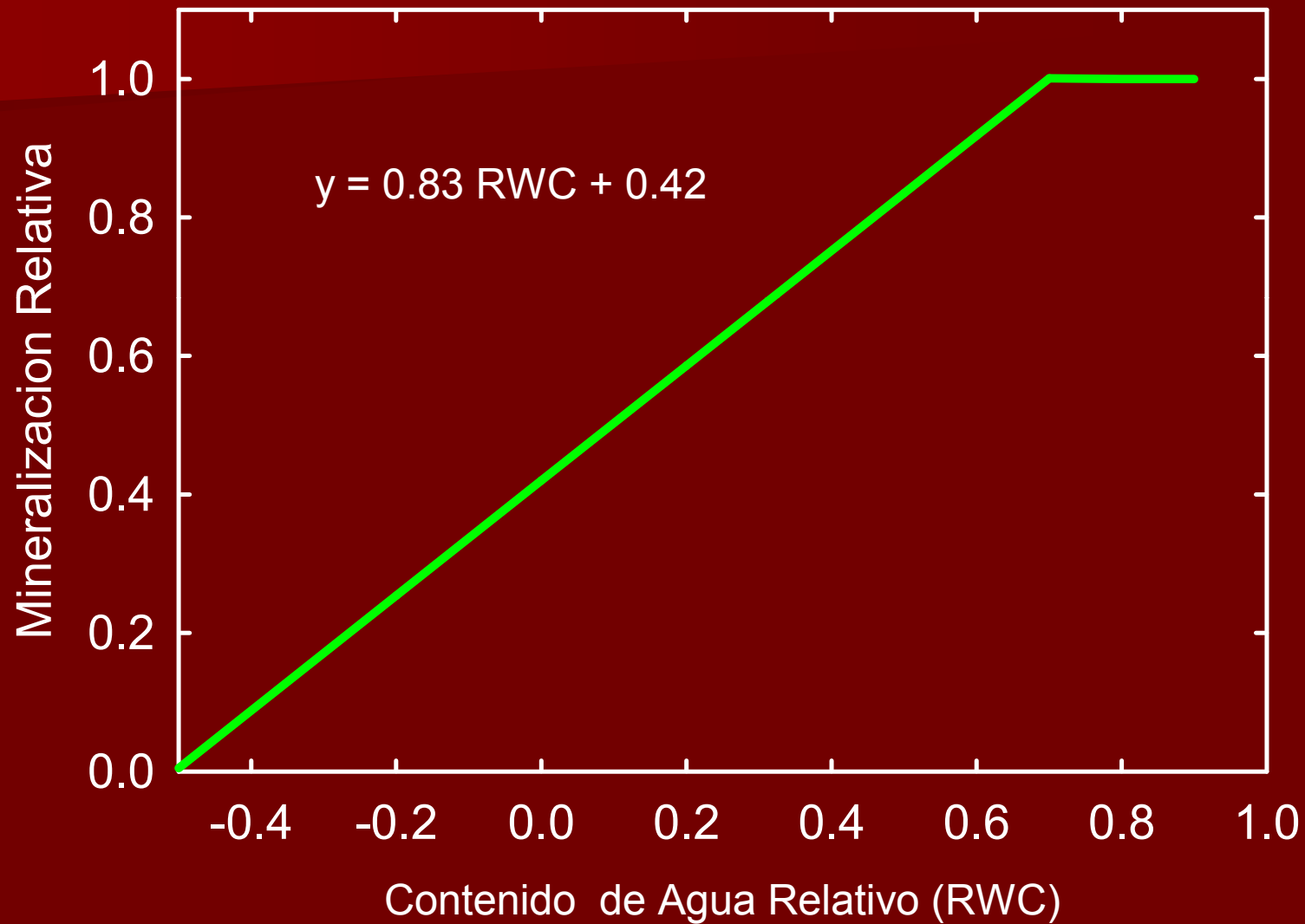
Ef 0.4-0.8

Efecto de la Temperatura



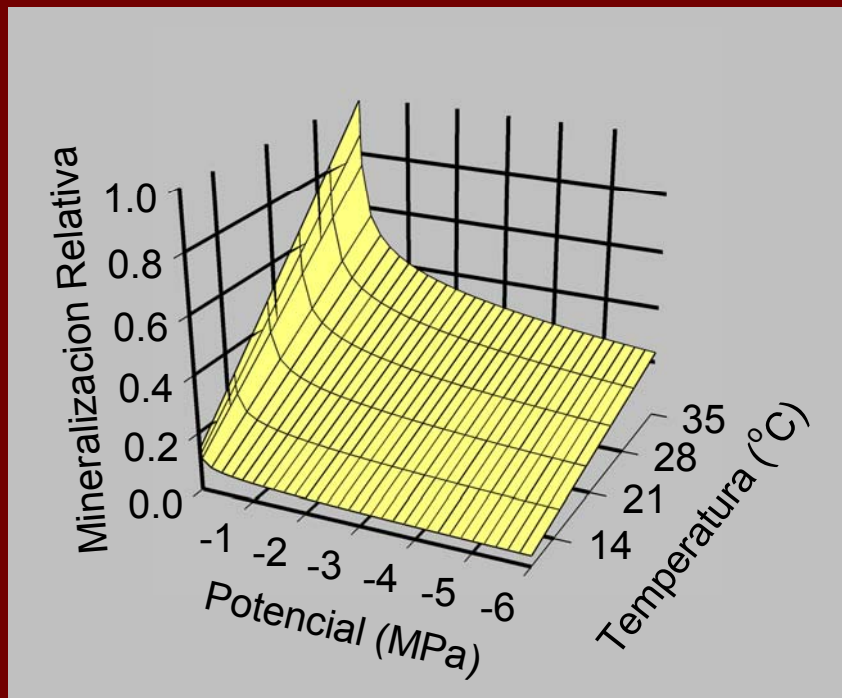
Kirschbaum, 1994

Efecto de la Humedad

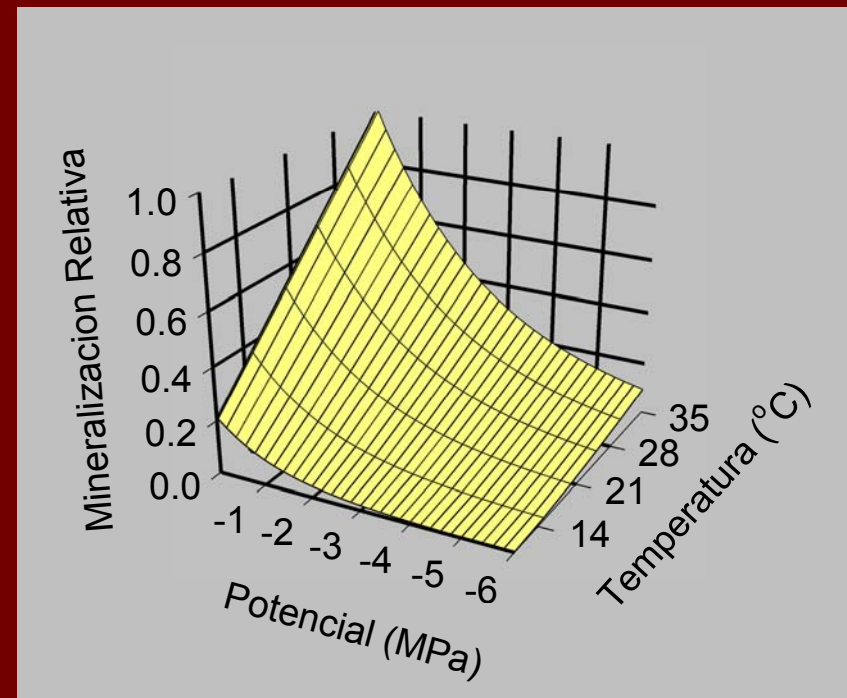


Paul et al., 2003

Interacción Temperatura/Humedad



Materia Orgánica



Residuos en Superficie

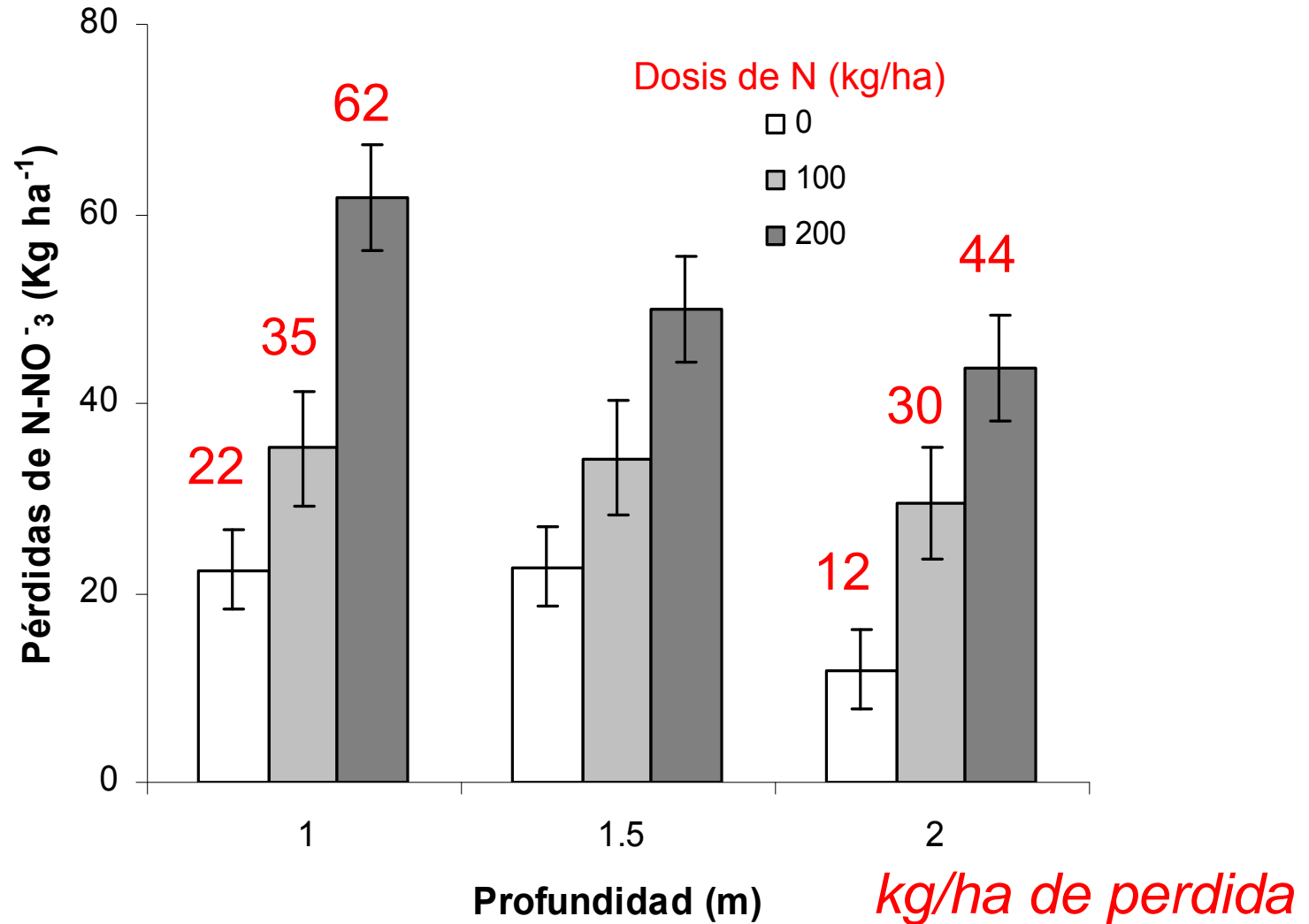
Pérdidas de N por lavado

- El nitrato (NO_3^-) es soluble en agua
- Excesos de agua en el perfil drenan en profundidad, arrastrando los nitratos a zonas fuera del alcance de las raíces
- El nitrato lavado puede alcanzar las napas freáticas contribuyendo a la contaminación de las mismas
- Las condiciones predisponentes para la ocurrencia de lavado de nitratos son:
 - *Presencia de nitratos en el perfil*
 - *Epocas de baja absorción de N por los cultivos*
 - *Suelos arenosos, de baja capacidad de retención de agua*
 - *Suelos saturados*
 - *Precipitaciones excesivas*
 - *Riegos excesivos*



Pérdidas de N-NO_3^- nitratos en maíz

Balcarce - Aparicio et al. (2008)
Promedios de 8 campañas

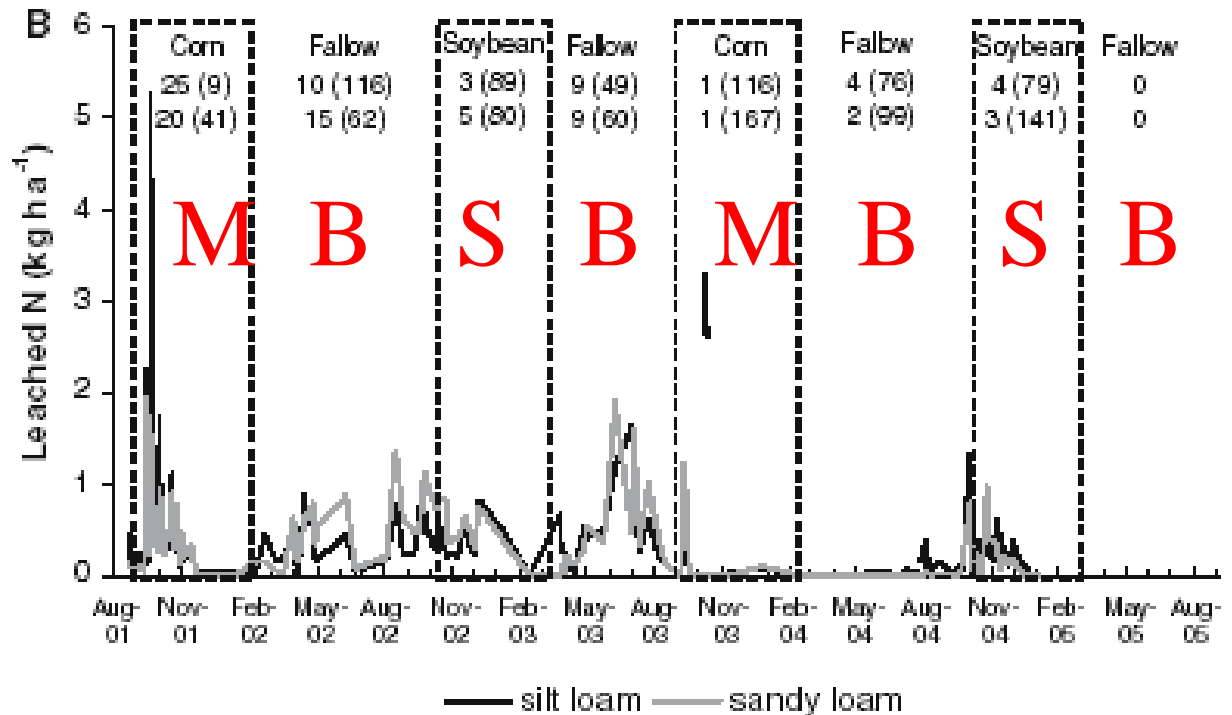
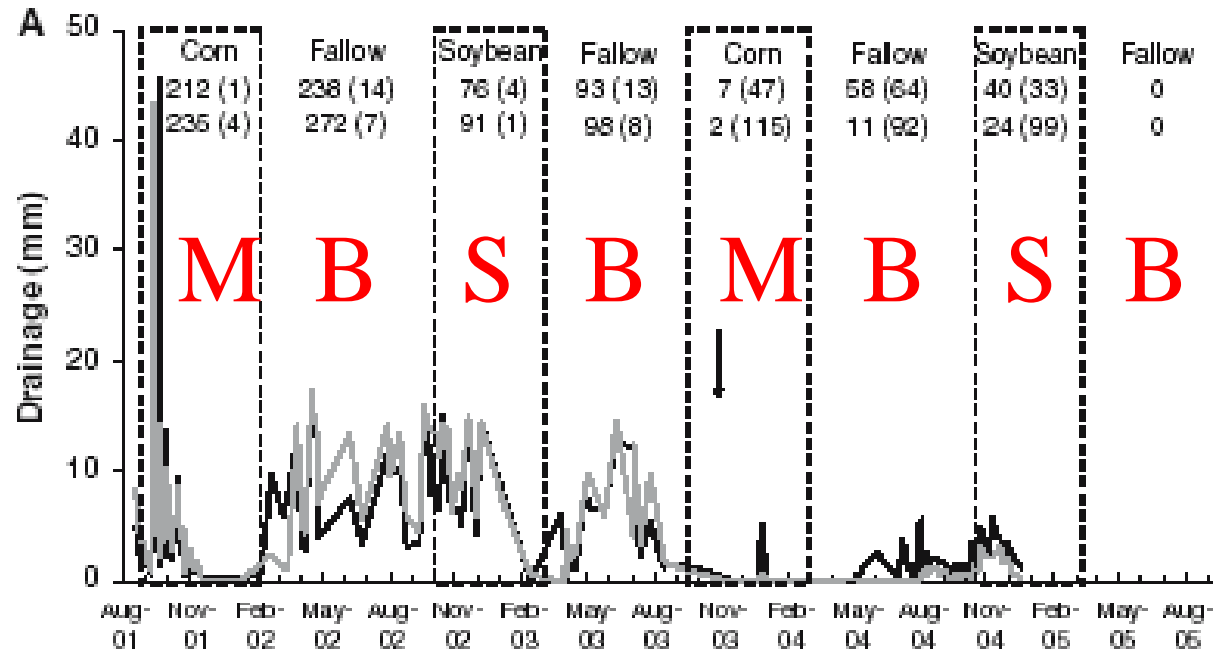


Drenaje y
perdidas de N-
nitratos a lo largo
de dos ciclos
maíz-soja en
Pergamino y
Junín (2001-2005)

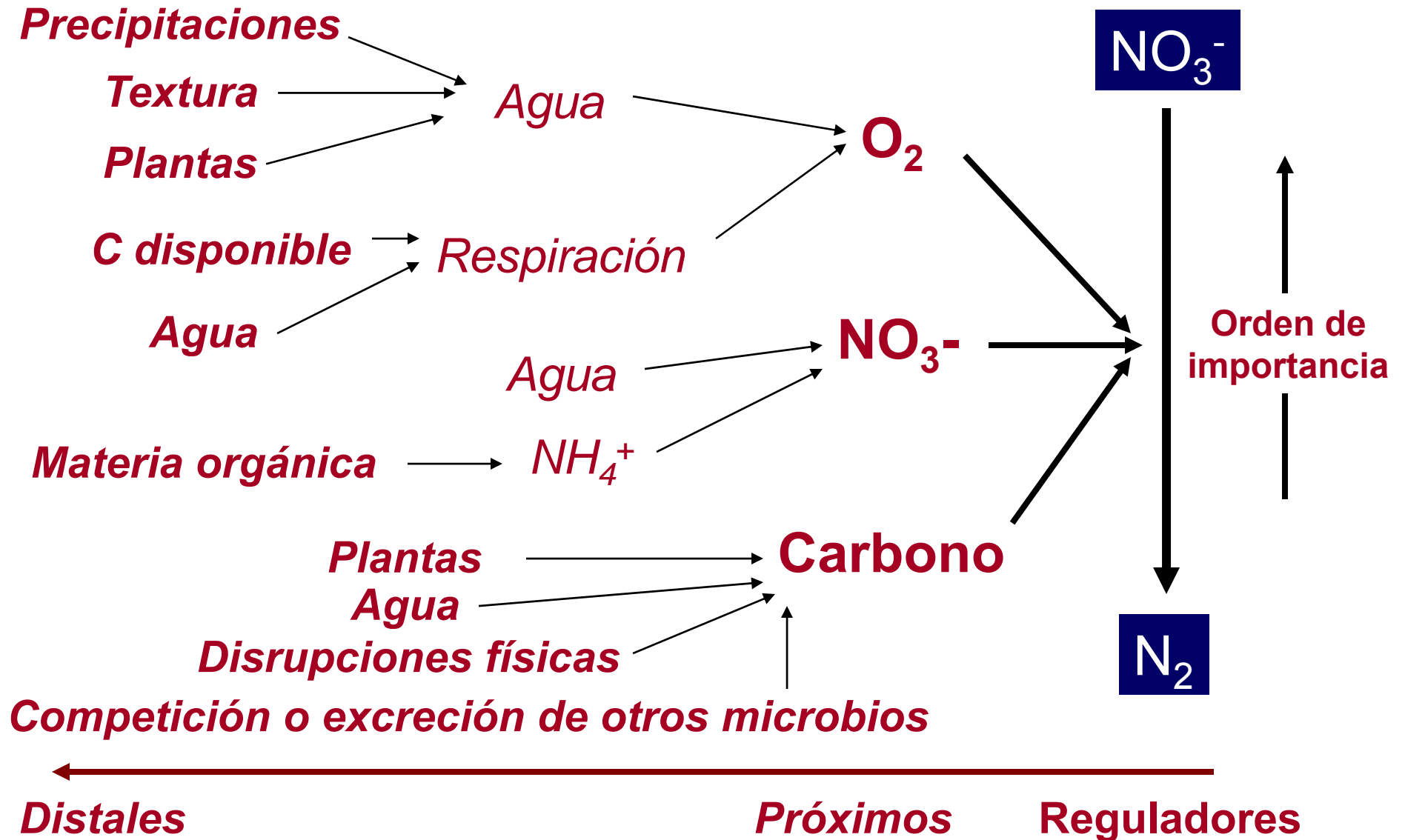
Portela et al. (2006)

Dosis de N de 52 y 78
kg/ha en maíz

Perdidas totales
menores del 0.01%
del N aplicado

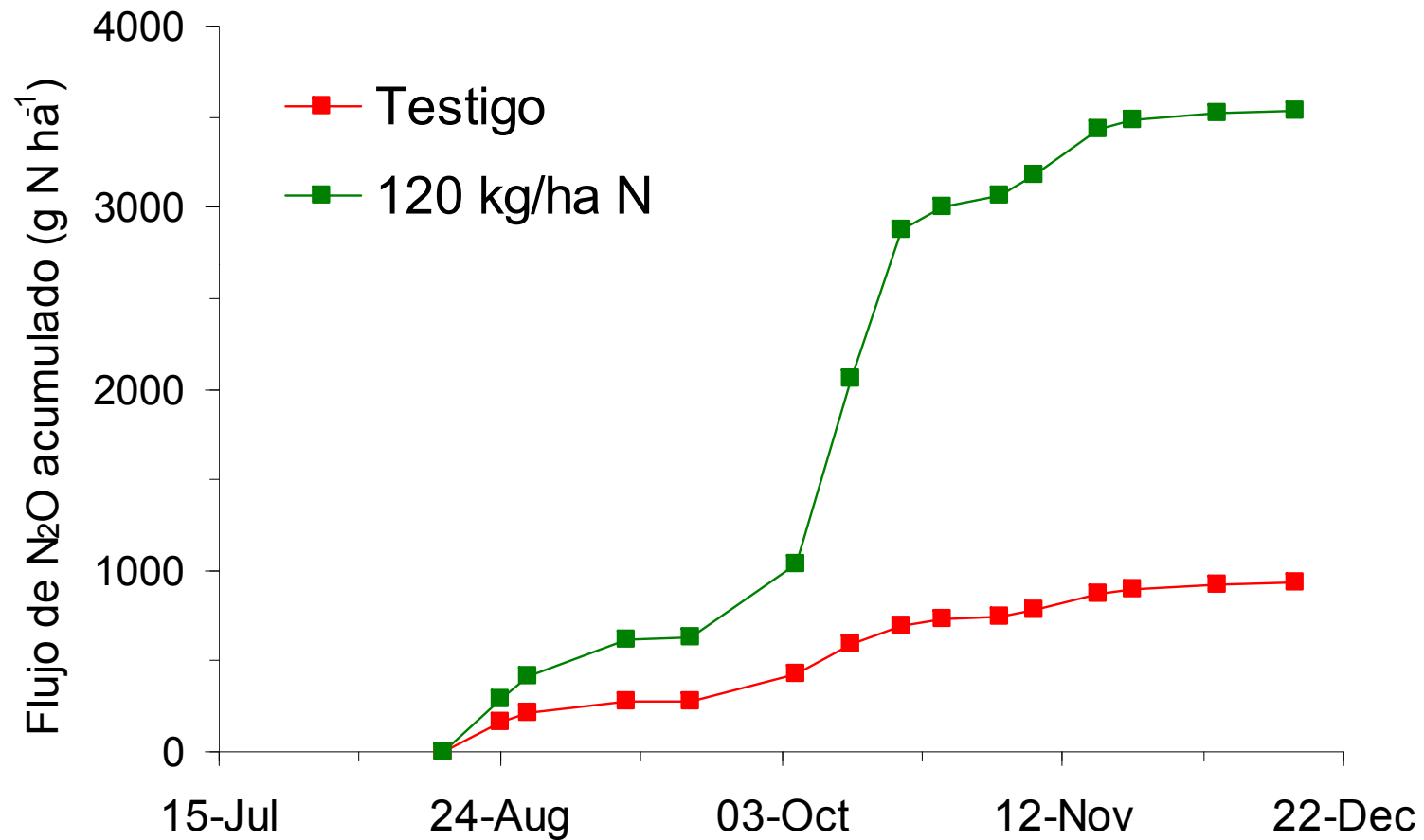


Regulación de la desnitrificación (Tiedje, 1988)



Desnitrificación en Trigo

EEA INTA-FCA Balcarce - Campaña 1995



Fuente: Picone et al., 2006

Estimaciones de pérdidas por desnitrificación para varios suelos según Meisinger y Randall (1991)

Materia orgánica	Clasificación por drenaje				
	Excesivamente bien drenado	Bien drenado	Moderadamente bien drenado	Algo pobremente drenado	Pobremente drenado
-- % --	----- % de N disponible desnitrificado -----				
< 2	2 – 4	3 – 9	4 – 14	6 – 20	10 – 30
2 - 5	3 – 9	4 – 16	6 – 20	10 – 25	15 – 45
> 5	4 – 12	6 - 20	10 – 25	15 - 35	25 – 55

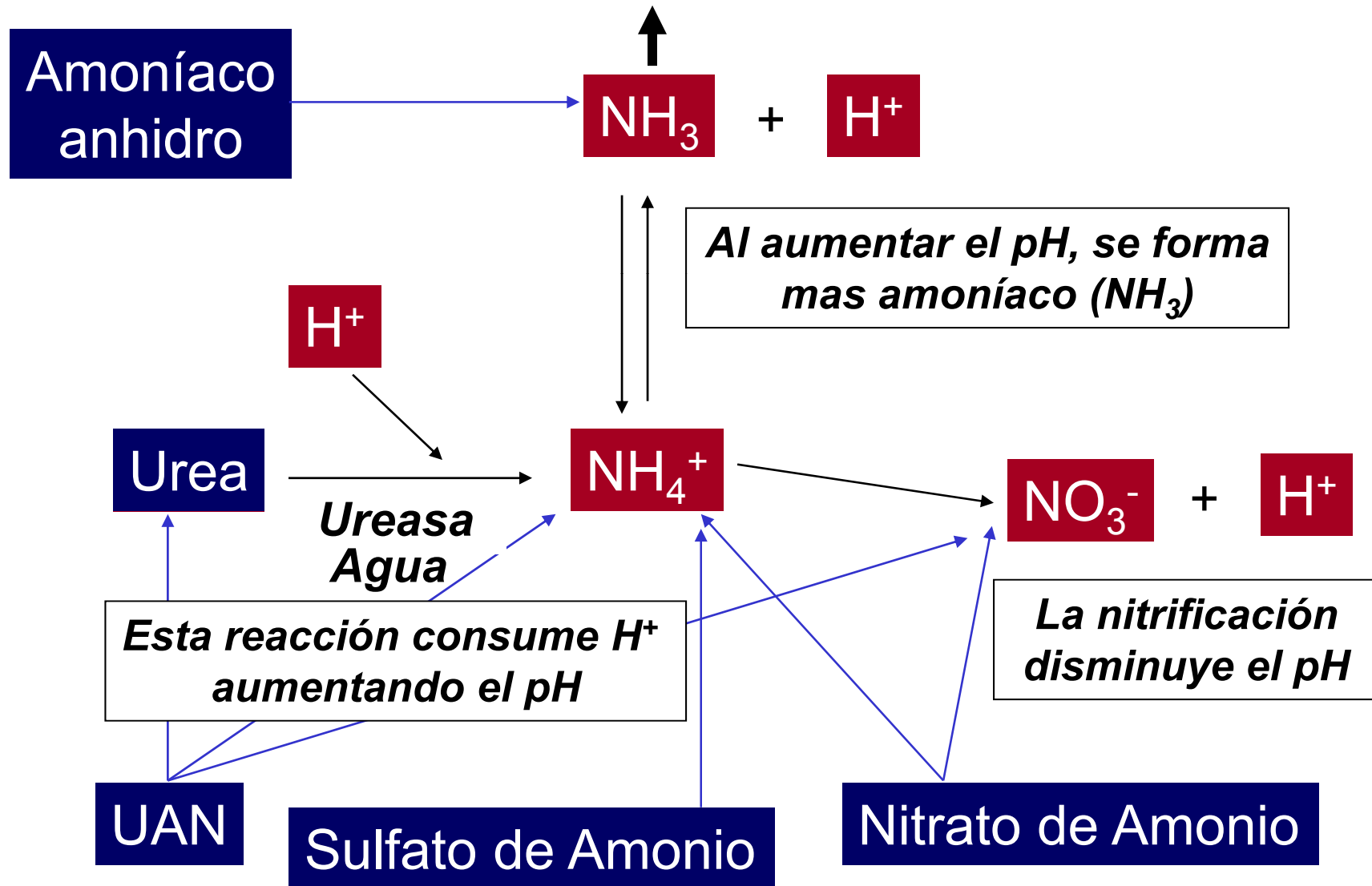
Para siembra directa, los autores recomiendan utilizar el rango inmediato de menor clasificación de drenaje

Fertilizantes nitrogenados

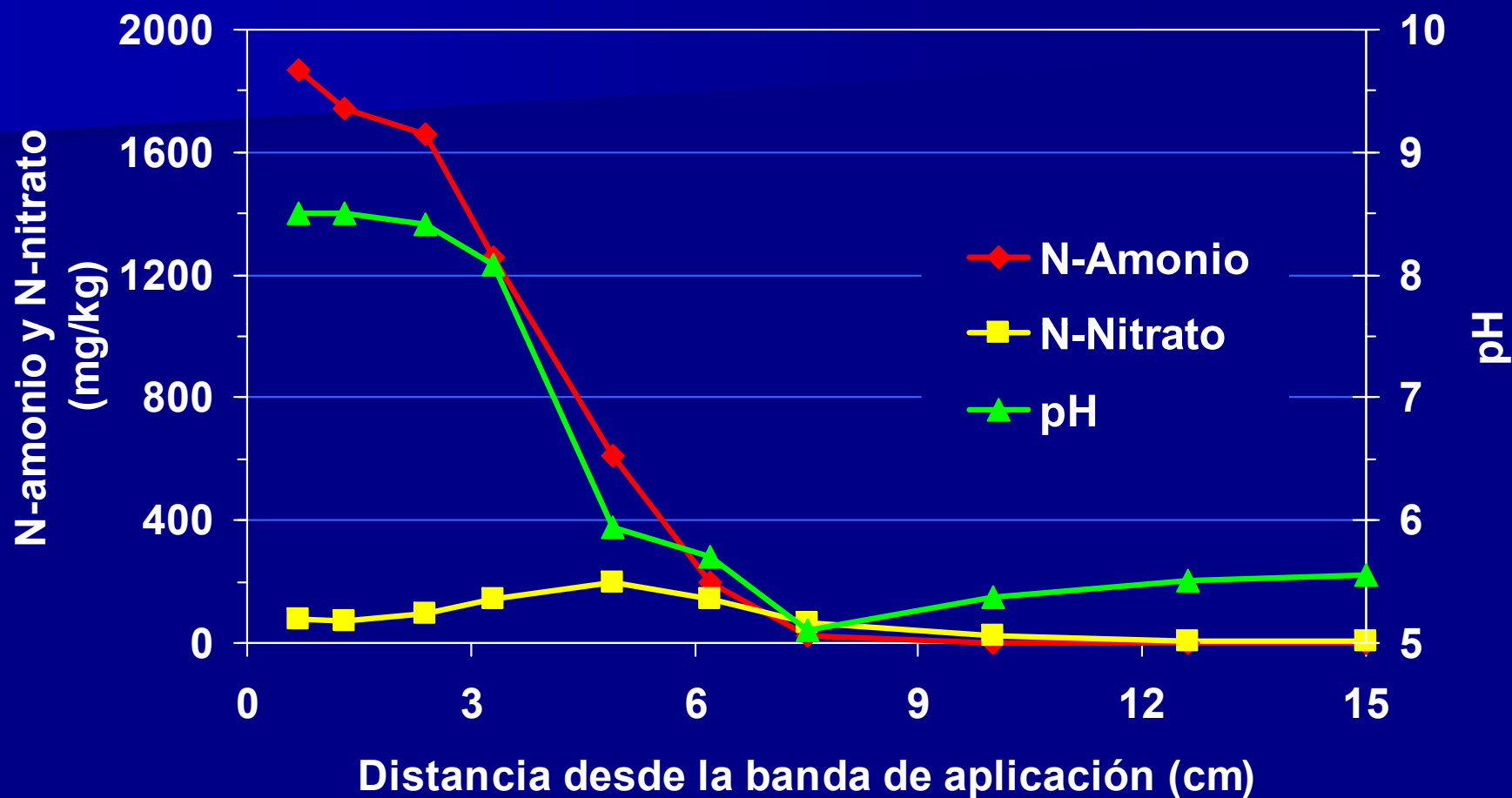
Fertilizante	Presentación	Contenido de N	Forma/s de N	Otros nutrientes
		%		
Urea	Sólida	46	Urea	
Nitrato de amonio	Sólida	33	NO_3^- y NH_4^+	
Nitrato de amonio calcáreo (CAN)	Sólida	27	NO_3^- y NH_4^+	12% CaO
Sulfonitrato de amonio	Sólida	26	NO_3^- y NH_4^+	14% S
Sulfato de amonio	Sólida	21	NH_4^+	24% S
Amoníaco anhidro	Gaseosa	82	NH_3	
UAN (Urea + Nitrato de amonio)	Líquida	30	Urea, NO_3^- y NH_4^+	
Fosfato diamónico	Sólida	18	NH_4^+	20% P
Fosfato monoamónico	Sólida	11	NH_4^+	23% P
Mezclas varias	Sólida	Variable	Variable	P, S, K y otros

N en el suelo y fertilizantes nitrogenados

Reacciones involucradas



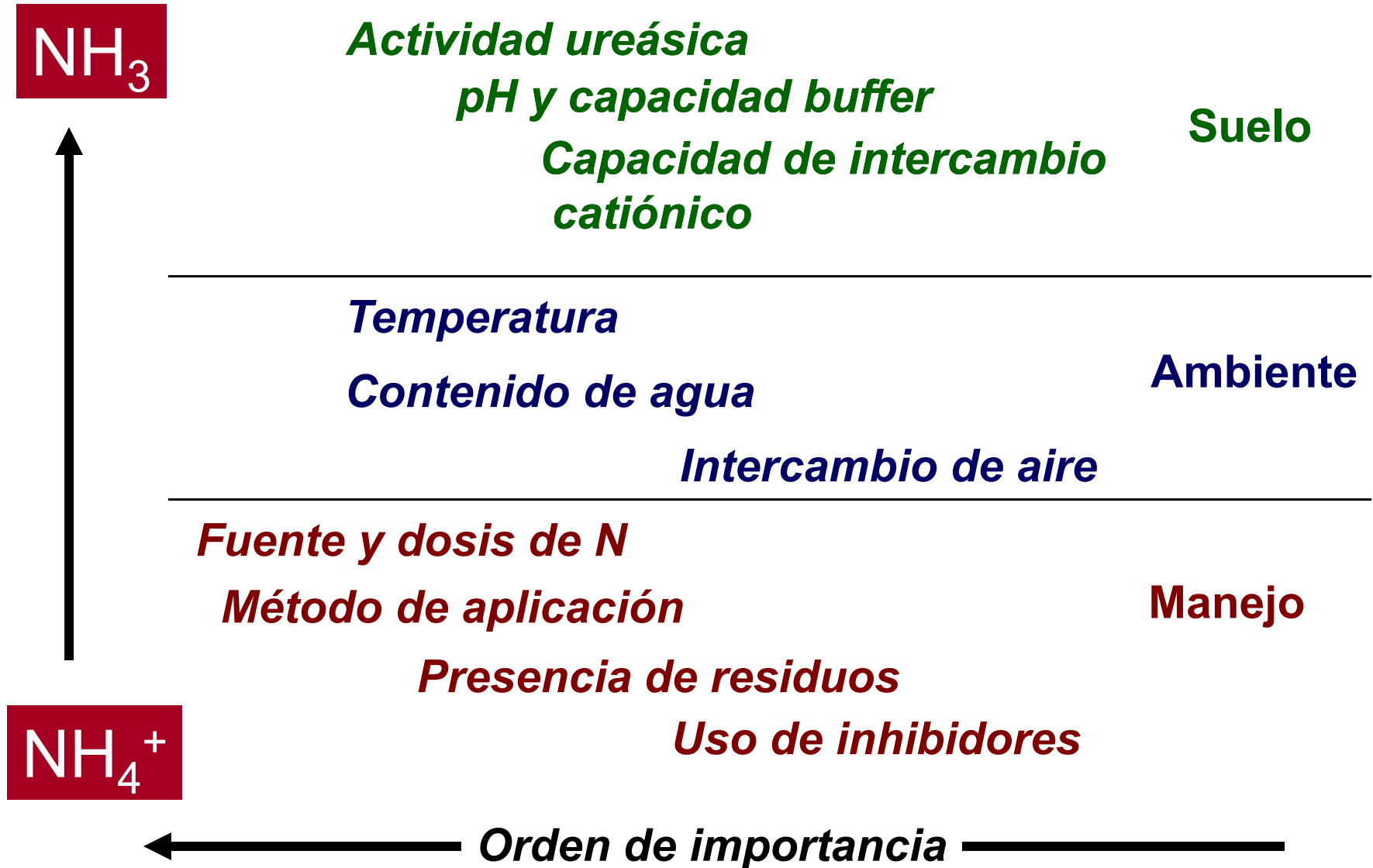
Urea: Productos de reacción a los 20 días desde la aplicación

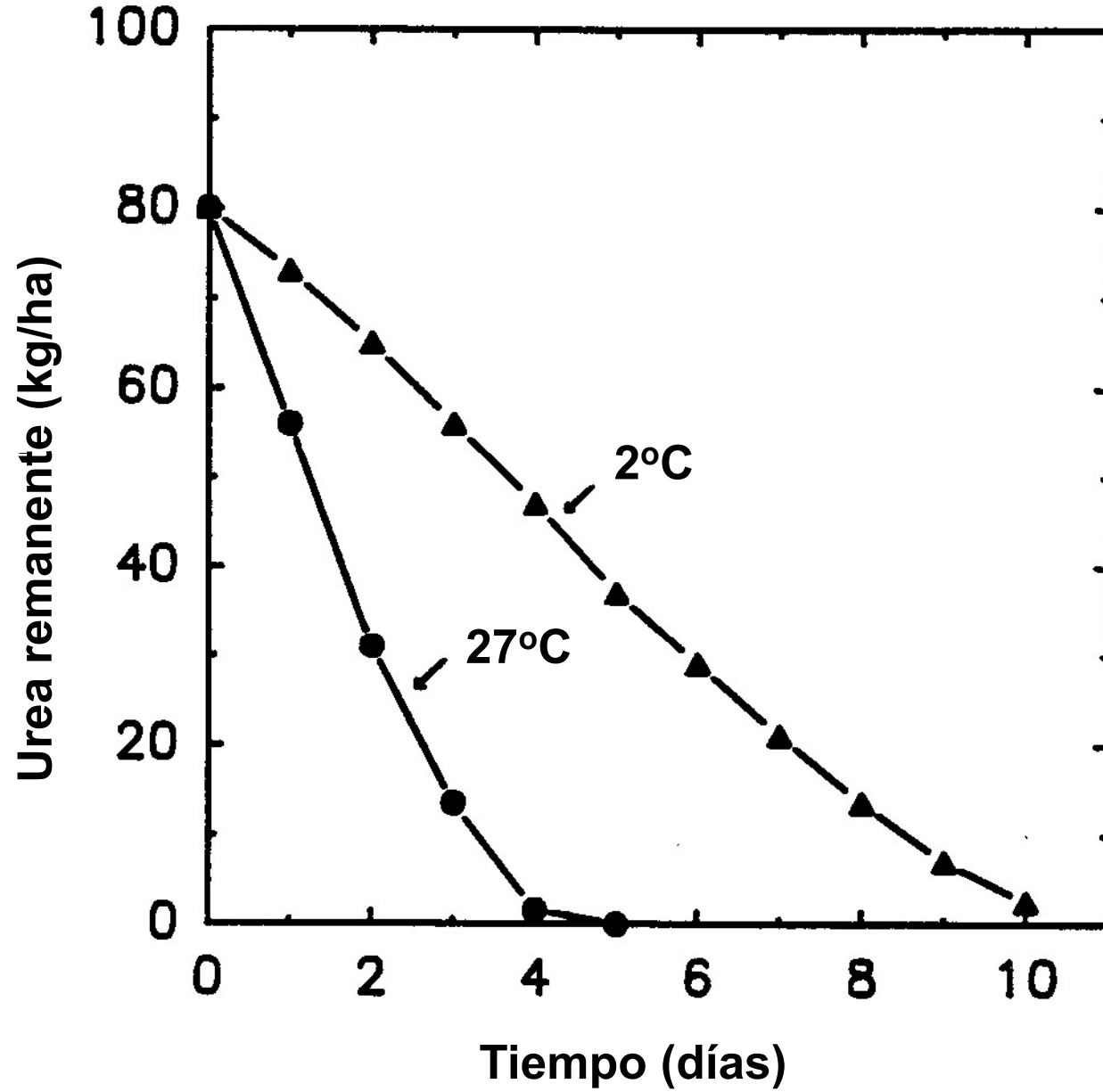


Suelo Reading franco limoso – pH original 5.6
Dosis equivalente a 200 kg/ha de N en bandas a 75 cm

Factores que afectan la volatilización de amoníaco

(Hargrove, 1988)

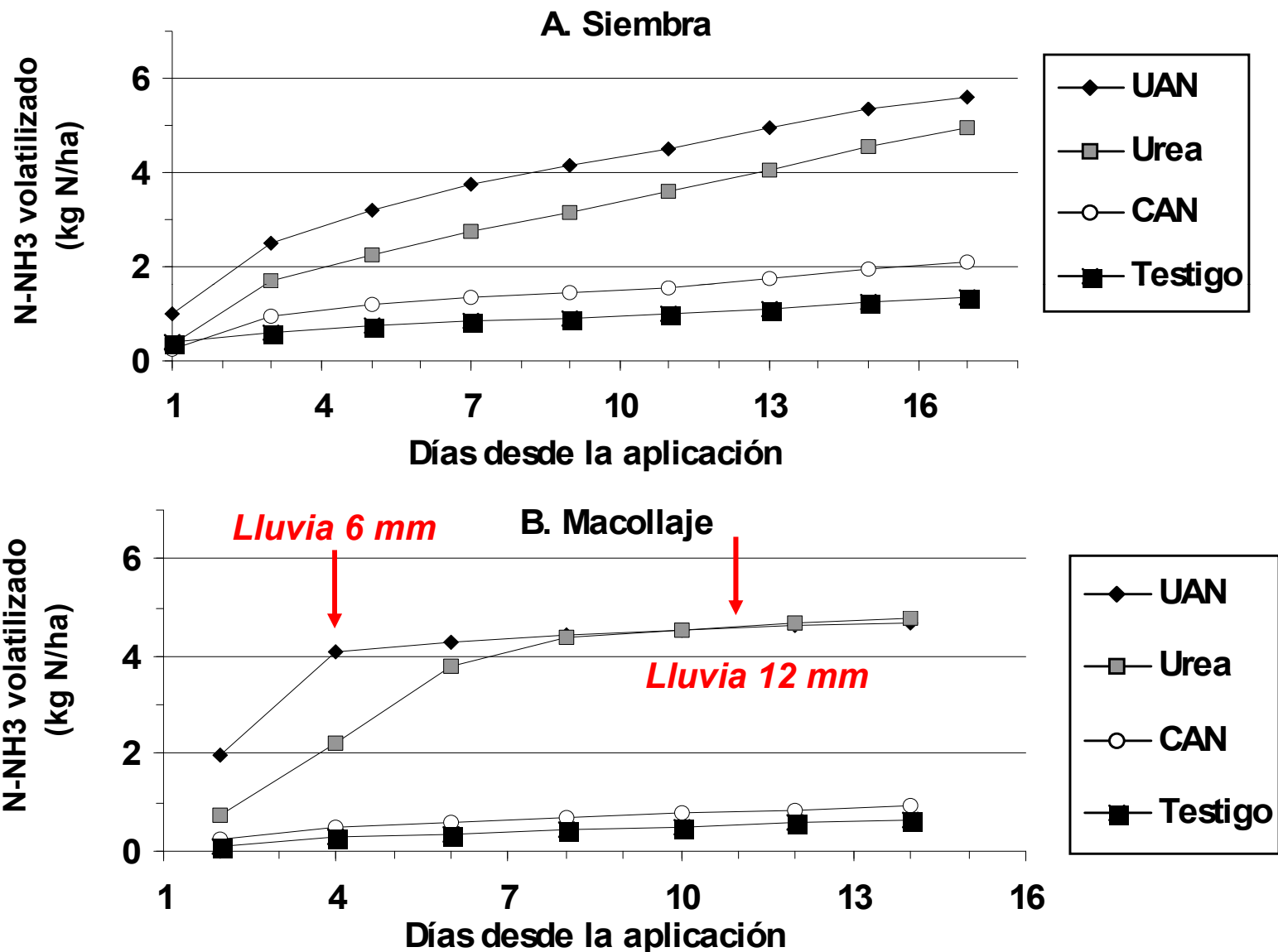




Fuente: Kissel y Cabrera (KSU)

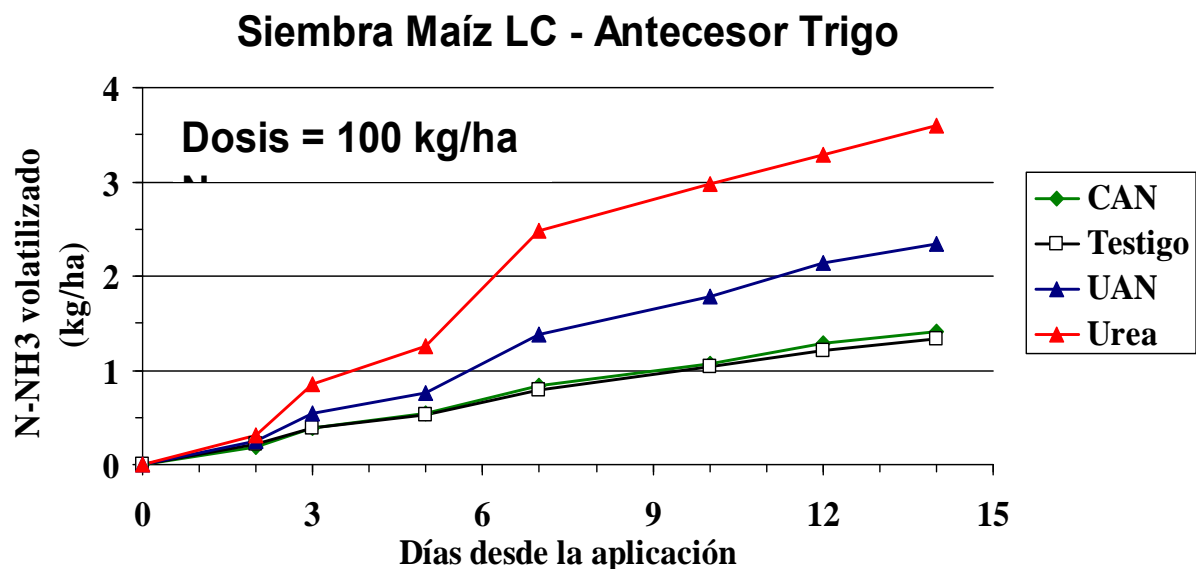
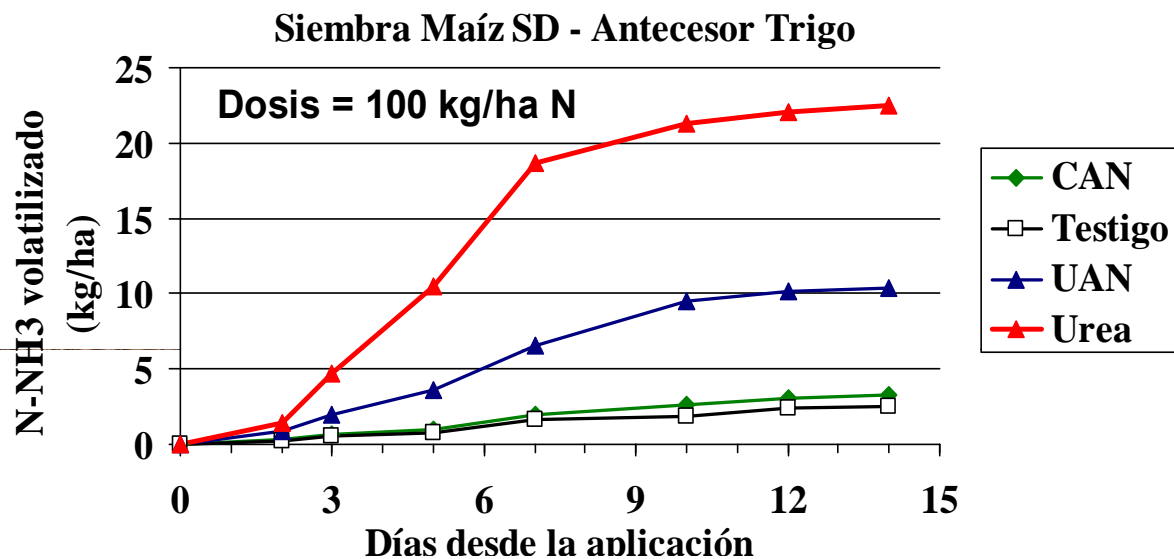
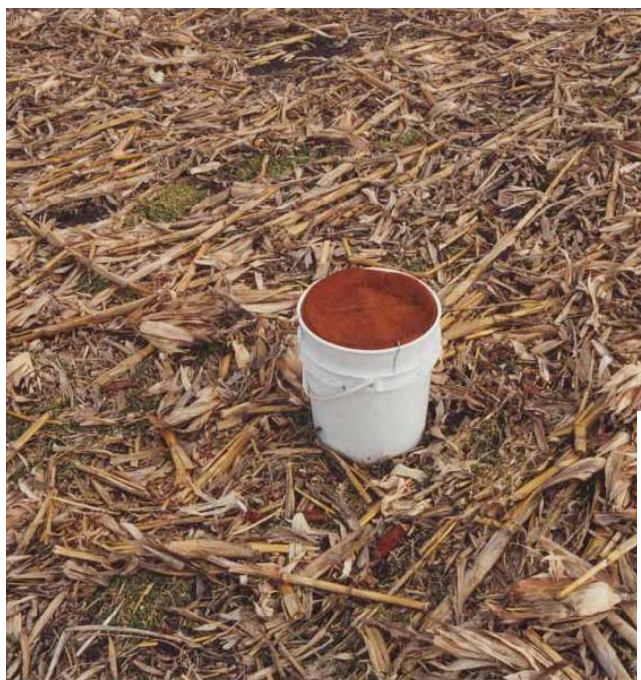
Volatilización de amoníaco en aplicaciones superficiales de fertilizantes nitrogenados en siembra directa de trigo

Est. Grigadale, Pieres, Lobería, Buenos Aires
Dosis equivalente de 60 kg/ha de N



Volatilización de amoníaco con aplicaciones superficiales de N

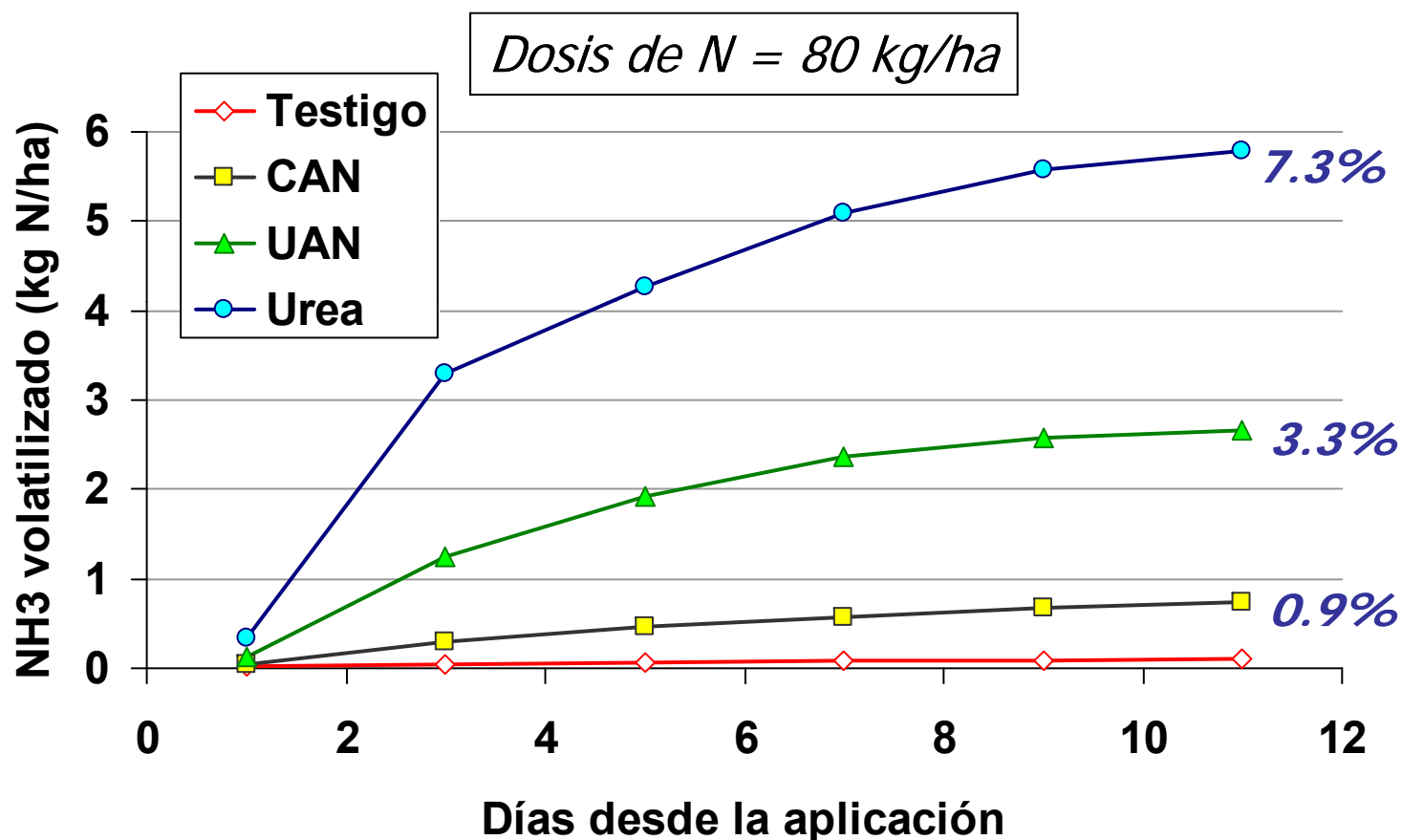
García y col. (1997) - Balcarce (Buenos Aires)



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

Diagnóstico de fertilidad nitrogenada para maíz y trigo



- *Balance de N*
- ***Análisis de suelo en pre-siembra (0-60 cm)***
- *Indices de mineralización: N0 o MOP*
- *Uso de modelos de simulación: Sur, Triguero/Maicero*
- *Análisis de suelo en V5-6 (0-20 o 0-30 cm) o en macollaje*
- *Sensores remotos: Green Seeker y otros*

Recomendación de fertilización nitrogenada a partir del balance de nitrógeno

$$(N \text{ fert} * E_f) = (N_{\text{cult}}) - (N \text{ siembra} * E_s) + (N_{\text{min}} * E_m)$$

- *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

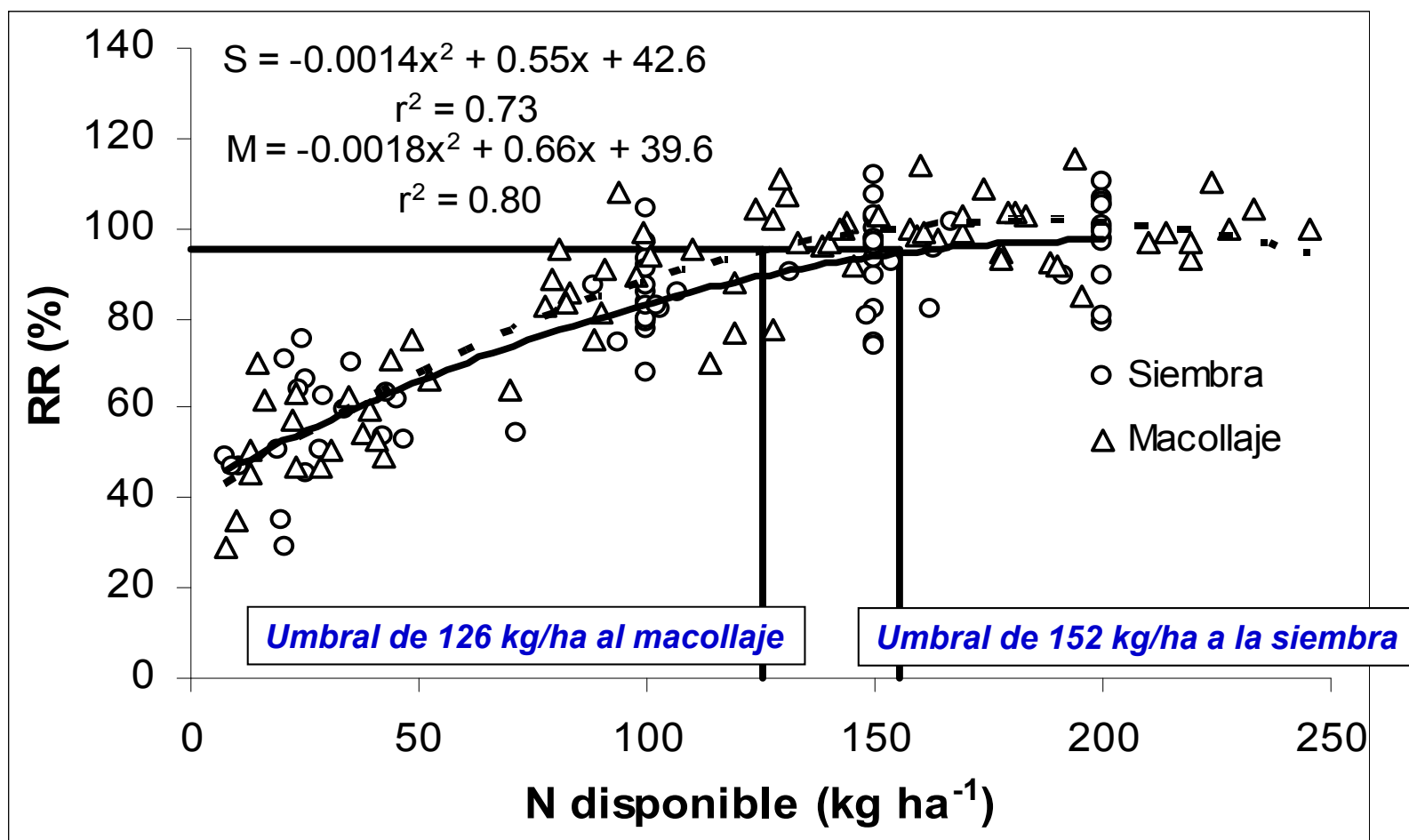
- *Se muestrea el suelo, en general hasta 60 cm, y se analiza el contenido de N-nitratos*
- *La dosis a aplicar se estima descontándole el valor del contenido de N-nitratos a un valor crítico de disponibilidad de N en suelo a la siembra*

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)

Diagnostico de fertilización nitrogenada de trigo en el sudeste bonaerense

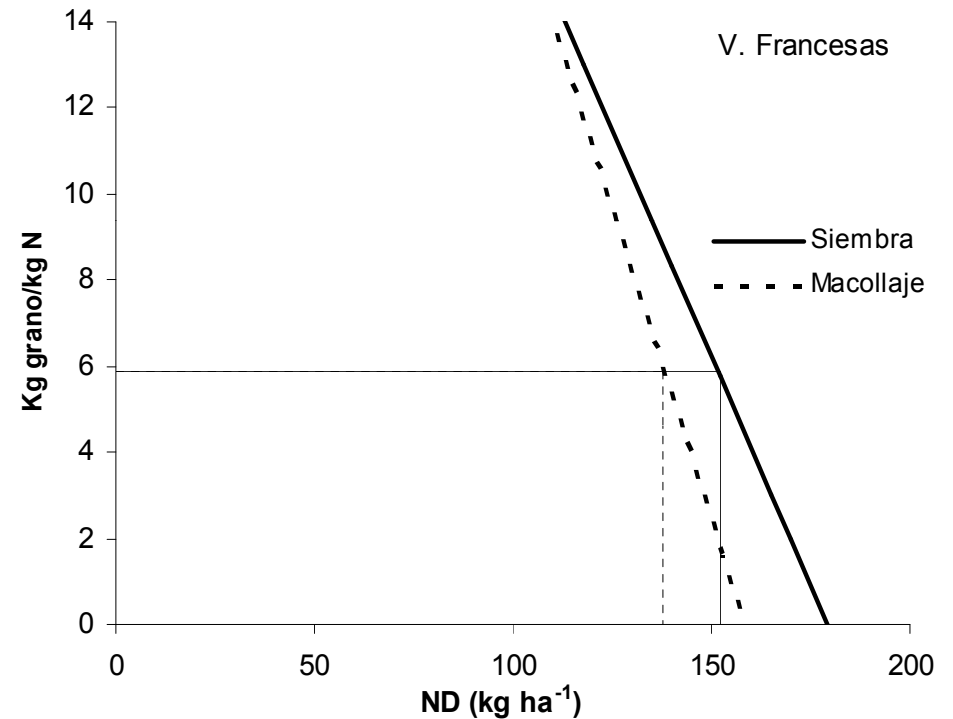
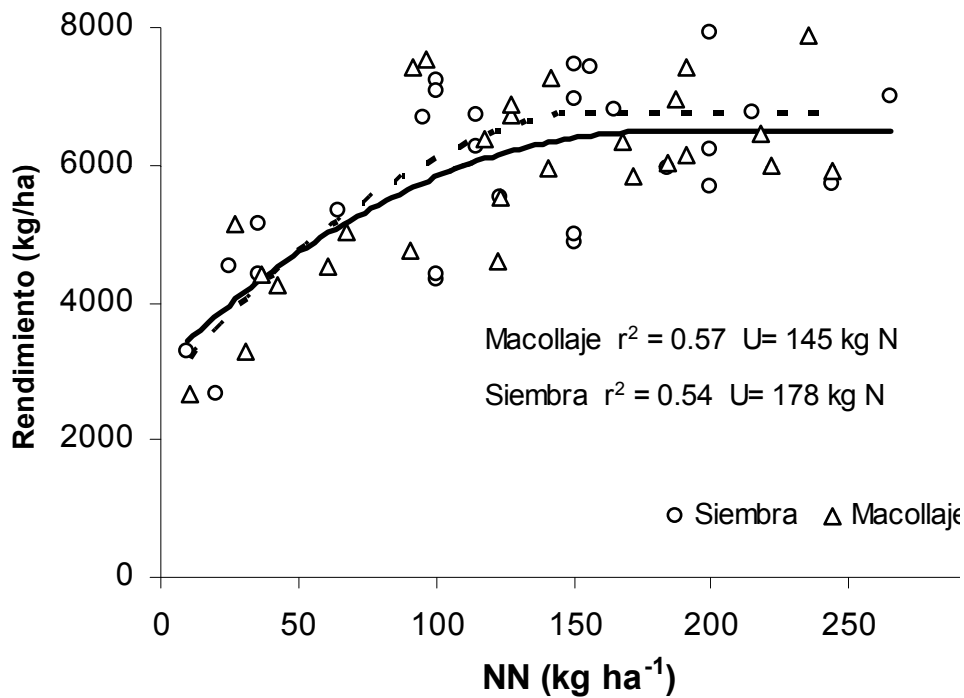
Diez ensayos 2002/03 a 2005/06

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



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

Diagnostico de fertilización nitrogenada de trigo en el sudeste bonaerense



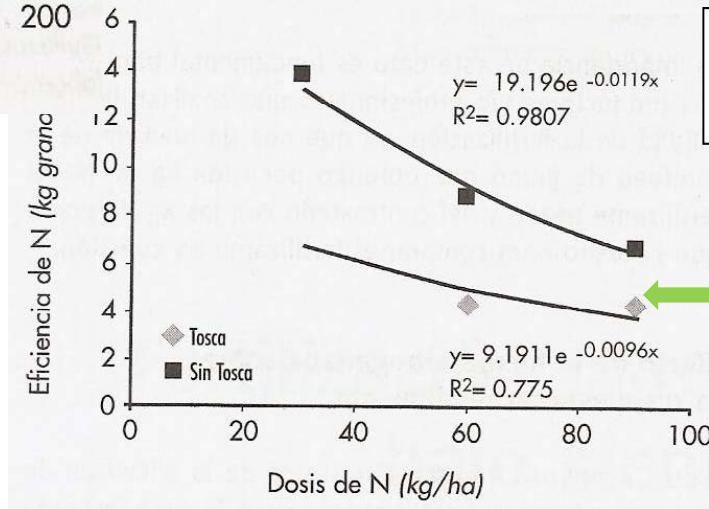
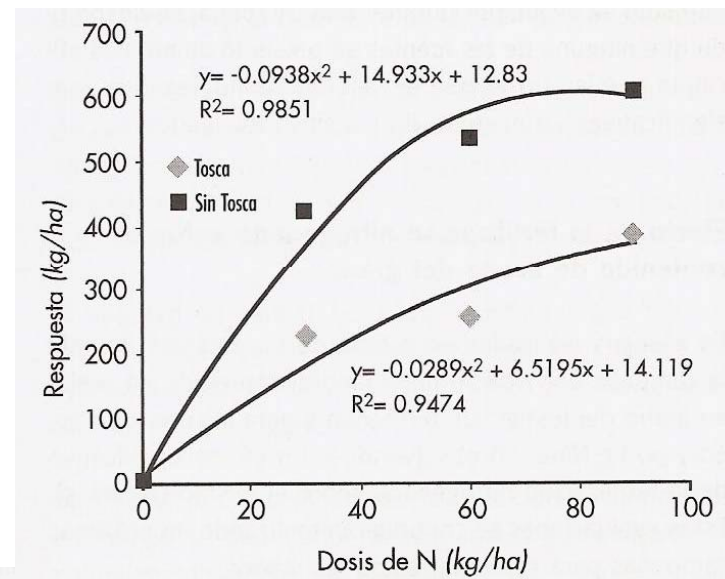
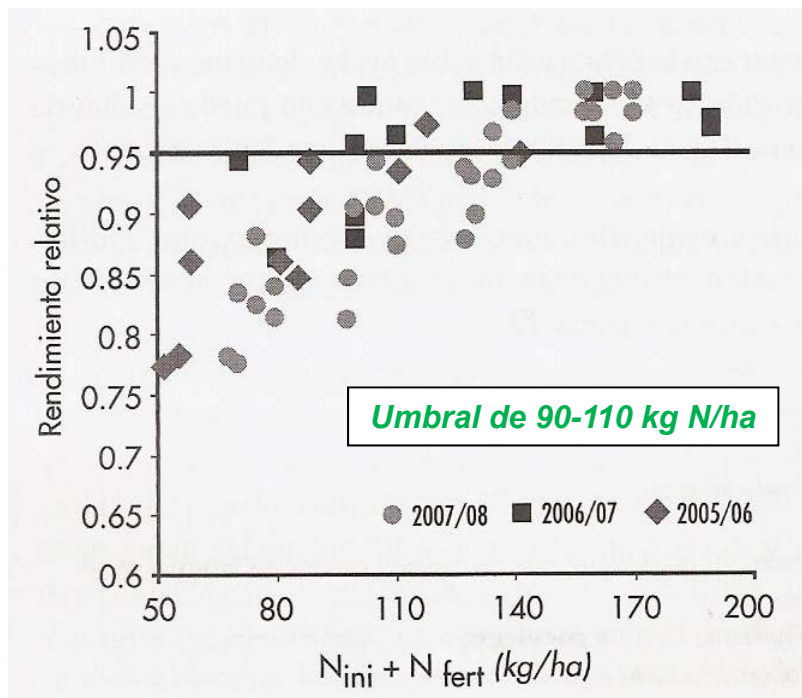
Variedad francesa
Alto rendimiento

Barbieri et al., 2009
EEA INTA-FCA Balcarce

Girasol: Diagnostico para fertilización nitrogenada en el sur de Buenos Aires

Ensayos 2005/06 a 2007/08

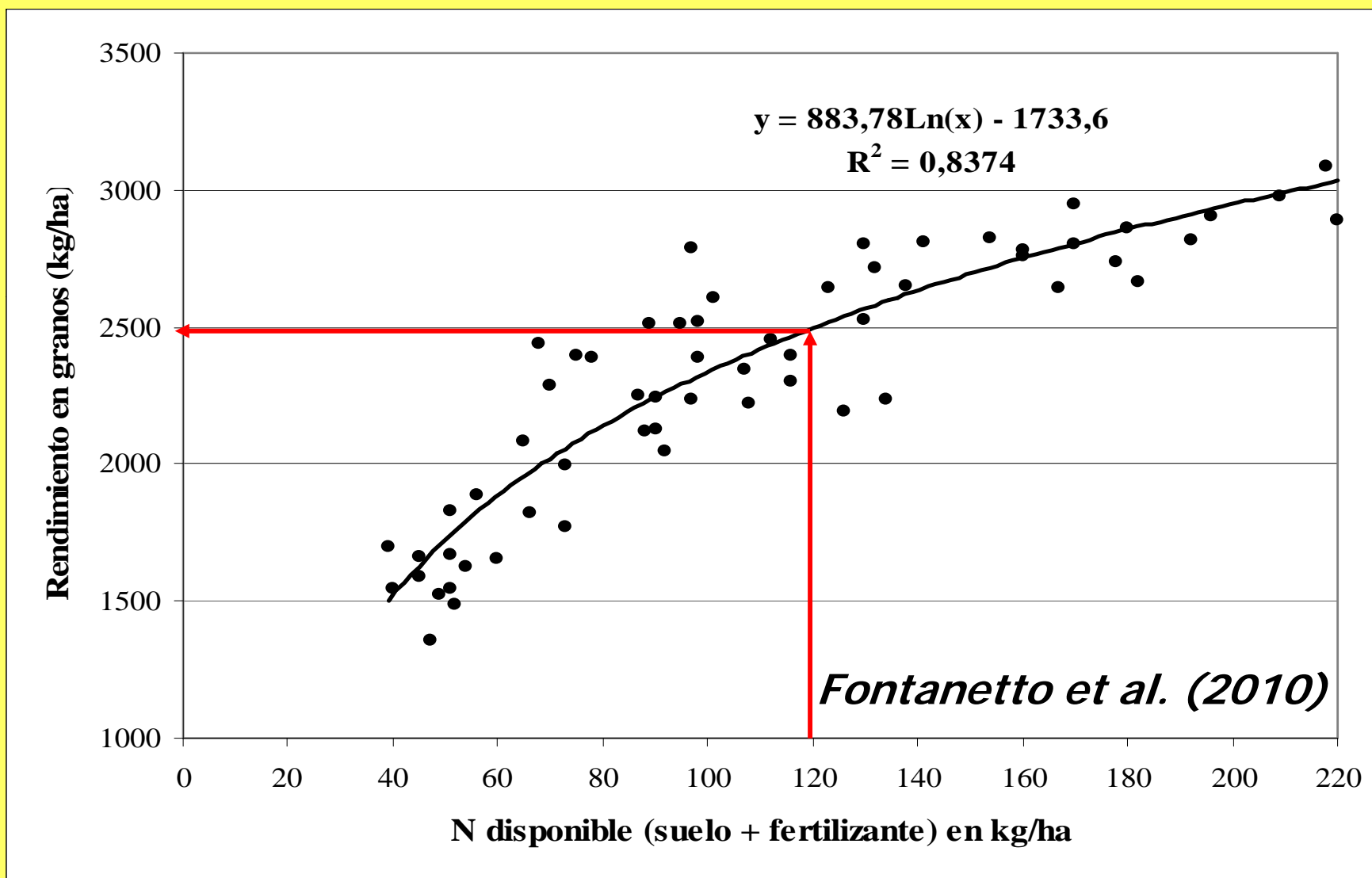
CEI INTA-MAA Barrow – M. Zamora y col. (2010)



Respuestas y eficiencias variables según profundidad de suelo

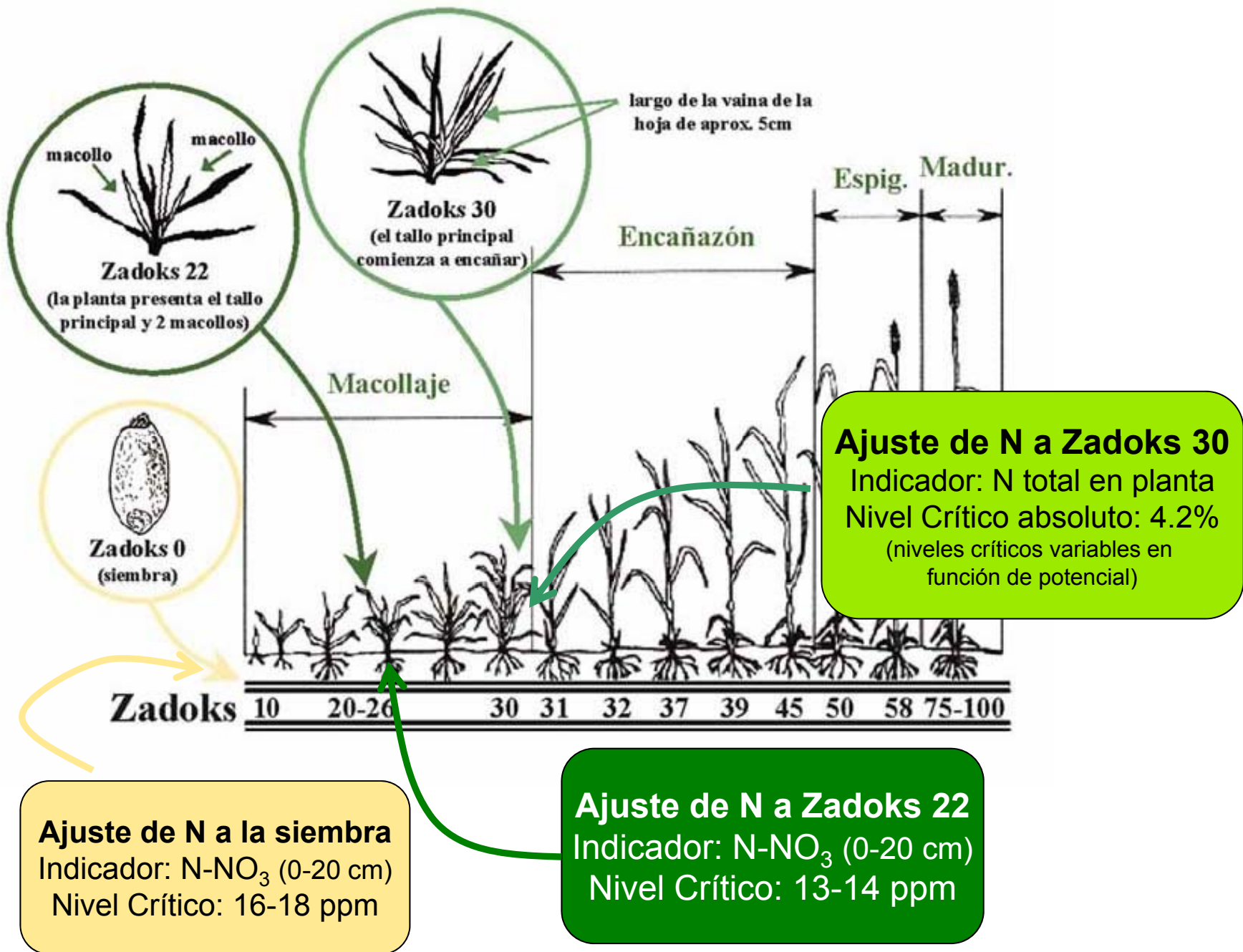
Relación de precios 5:1

COLZA: Necesidad de N para diferentes rendimientos de granos (2007/08) (promedio de los 3 sitios evaluados)



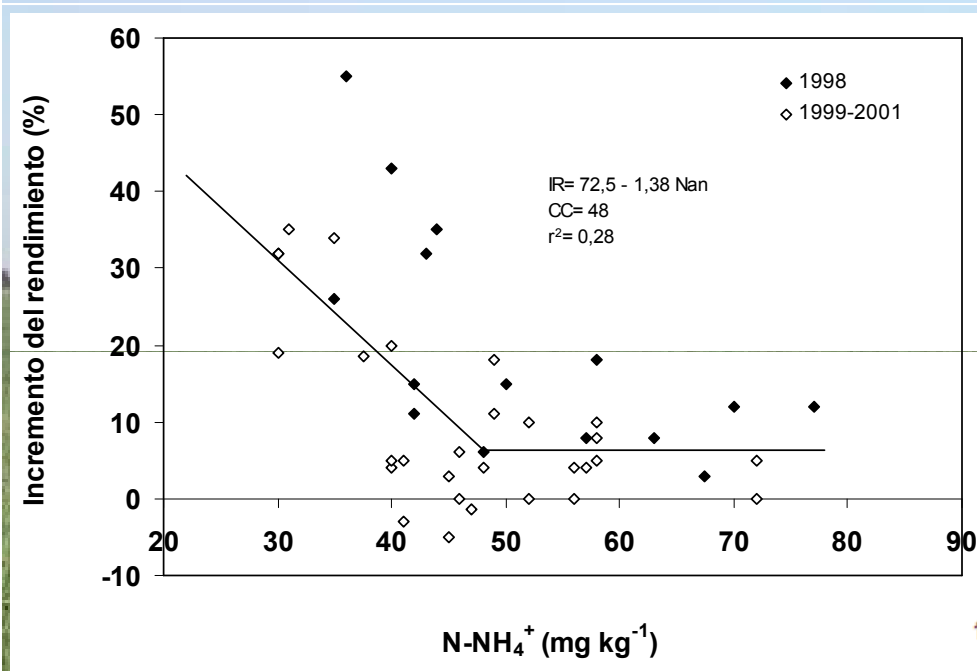
¿Qué posibilidades hay para mejorar esto?

- N en planta: nitratos en base de tallos, N total
- Indices de mineralización: MO particulada, N mineralizable, ISNT
- Modelos de simulación: incluyen dinámica de N y agua, condiciones climáticas y edáficas, cultivar, fechas de siembra y otros factores
- Sensores remotos o locales

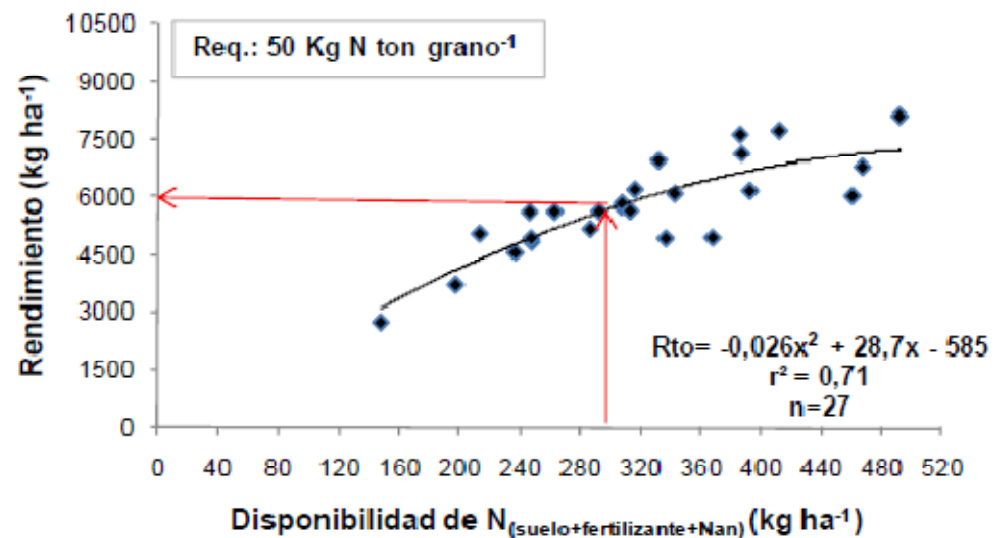


Fuente: Hoffman, Perdomo y col., 2010

N-amonio acumulado por incubación anaeróbica como método de diagnóstico

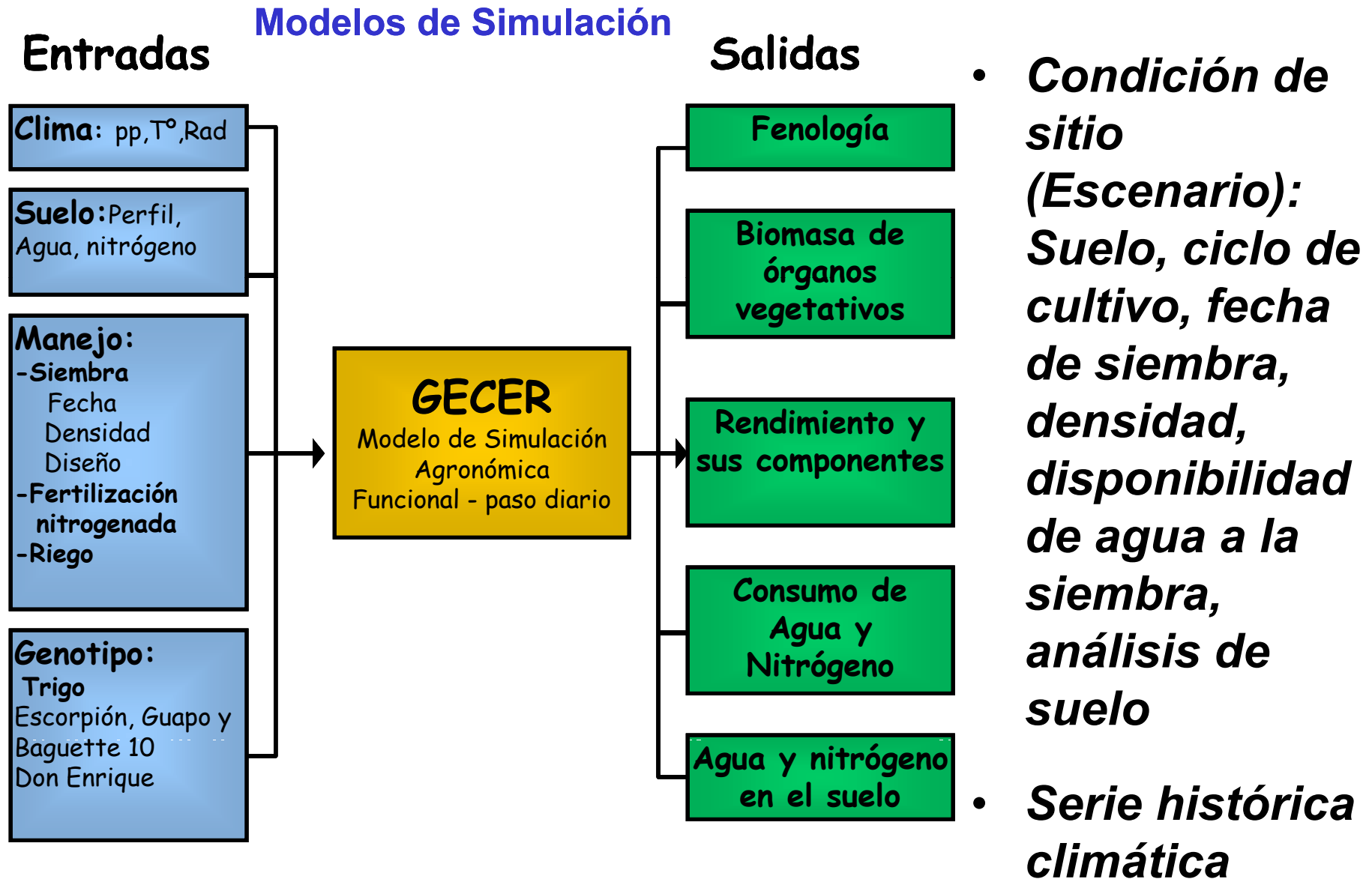


Maíz
(Calviño y Echeverría, 2003)



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

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





UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE AGRONOMÍA

Triguero



Escenario 1



Escenario 2



Escenario 3



AYUDA



Calculadora



Notas



Graficar



Créditos

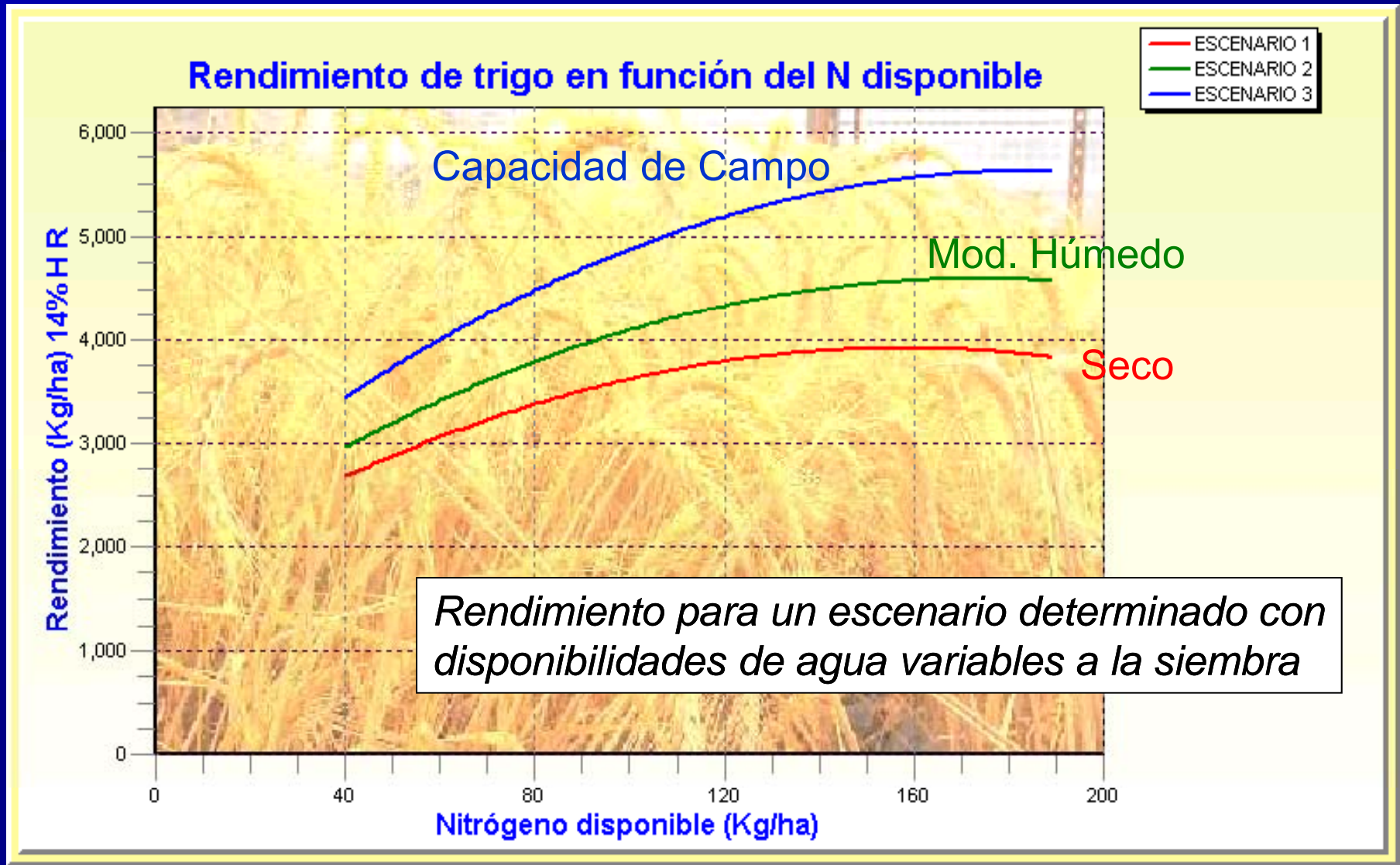


Mapas



Modelo Triguero

FAUBA- CREA (Satorre y col., 2003)



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

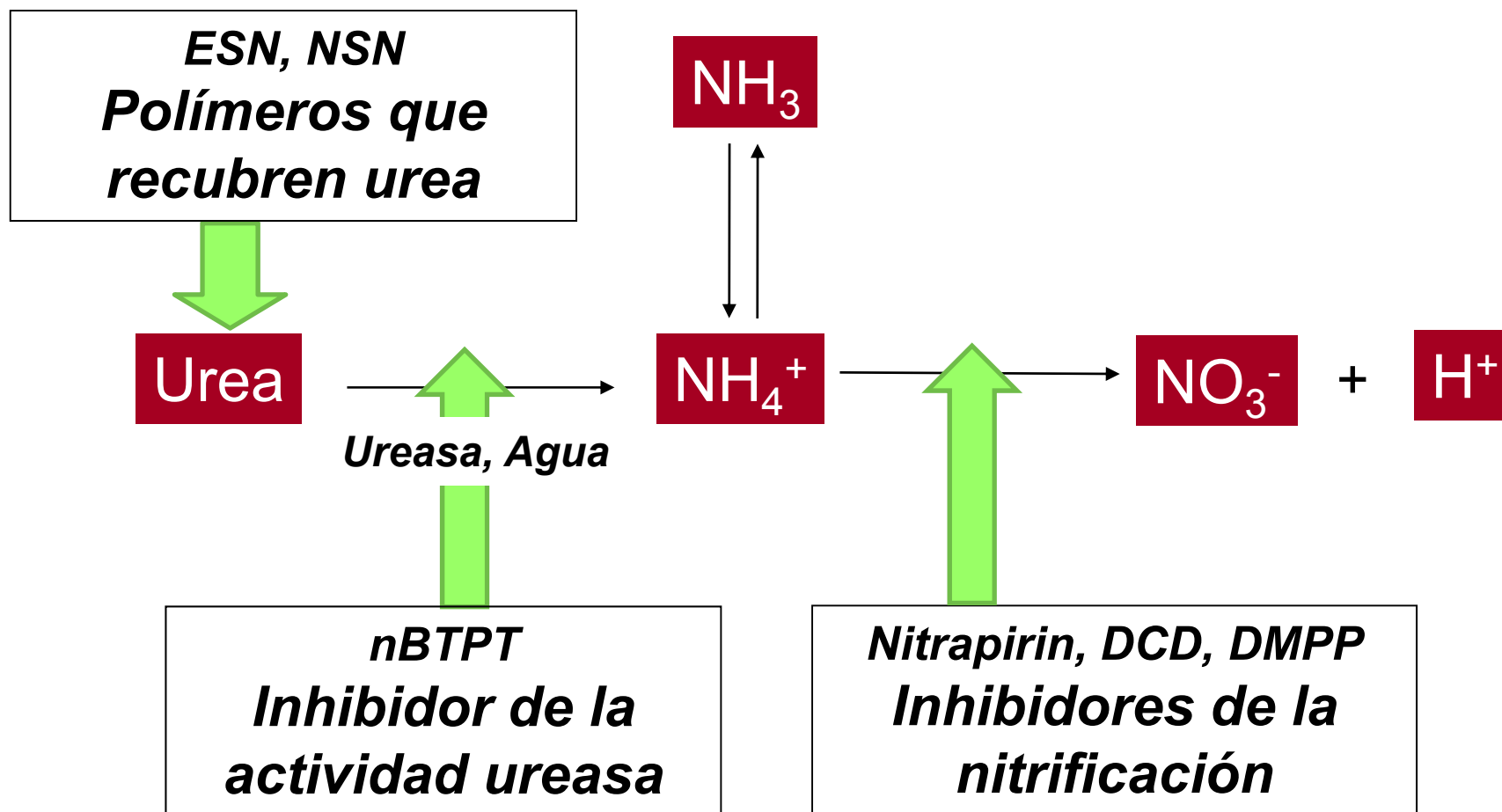


Nuevos productos fertilizantes

Fertilizantes de liberación lenta o estabilizados

- **Cubiertos con polímeros:** N (*ESN*[®], *NSN*[®]) o P (*Avail*[®])
- **Inhibidores de la ureasa:** NBPT (*Agrotain*, *Urea GreenVC Plus*[®], *eNe Total*[®])
- **Inhibidores de la nitrificación:** DMPP (*Entec*[®]), nitrapirin, o DCD (*Super U*[®])

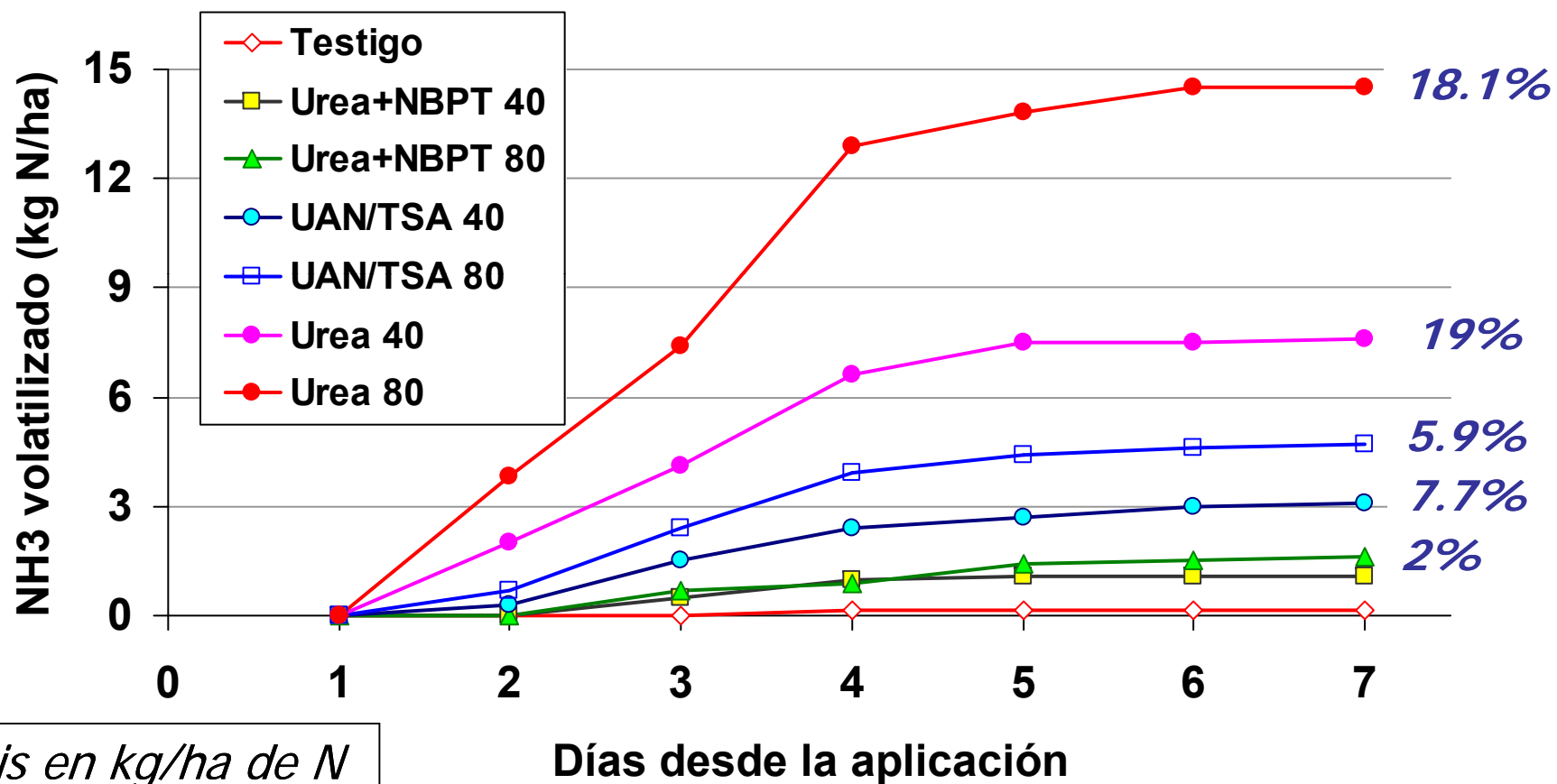
Efectos de inhibidores en fertilizantes nitrogenados modificados



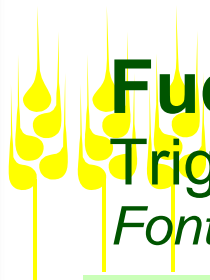
Trigo

Volatilización de NH_3 en aplicaciones superficiales bajo siembra directa

Fontanetto et al. (2010) - EEA INTA Rafaela



- ⇒ Campaña 2008/09 - Rafaela (Santa Fe) - Antecesor Maiz 2^a (11800 kg rastrojo)
- ⇒ Argiudol típico - MO 3.07 - pH 5.9
- ⇒ Siembra 11/7/08, Aplicaciones al voleo 21/7/08



Fuentes de N e inhibidores de la ureasa

Trigo en Rafaela (Santa Fe) - Campaña 2008/09

Fontanetto y col., 2010



Tratamiento	Perdidas N-NH ₃	Rendimiento	Eficiencia agronómica
	kg/ha	kg/ha	kg trigo/kg N
Testigo	0.16	1717 d	-
Urea 40N	7.6	2098 c	9.5
Urea 80N	14.5	2565 ab	10.6
UAN/TSA 40N	3.1	2433 b	17.9
UAN/TSA 80N	4.7	2787 a	13.4
Urea 40N + NBPT	1.1	2422 b	17.6
Urea 80N + NBPT	1.6	2811 a	13.7

- *Argiudol típico - MO 3.07 - pH 5.9 - Antecesor Maíz 2ª (11800 kg rastrojo)*
- *Baja disponibilidad de N-nitratos a la siembra*
- *Siembra 11/7/08, Aplicaciones al voleo 21/7/08*
- *Adecuadas precipitaciones en el barbecho, bajas entre siembra y llenado de granos*
- *Todos los tratamientos con 36 kg/ha de S*

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

Indice salino de fertilizantes

Fertilizante	Nutrientes ¹ kg/100 kg	Indice Salino ²	
		Por kg de fertilizante	Por kg de nutriente
Nitrato de sodio	16	100	6.25
Amoníaco	82	47.1	0.57
Urea	46	75.4	1.64
Nitrato de amonio	34	104	3.06
UAN	30	70	2.33
Superfosfato Triple	20	10.1	0.51
Superfosfato Simple	8.7	7.8	0.90
Fosfato diamónico	20	29.2	1.46
Fosfato monoamónico	22.7	26.7	1.18
Cloruro de potasio	50	116.2	2.32
Sulfato de K y Mg	51	43.4	0.85
Nitrato de potasio	49.7	69.5	1.40
Sulfato de amonio	45	68.3	1.52
Sulfato de potasio	60	42.6	0.71
Tiosulfato de amonio	38	90.4	2.38
Sulfato de magnesio	24	44	1.83
Yeso	40	8.1	0.20

1 kg nutrientes cada 100 kg de producto expresados como N, P, K, Ca y Mg.

2 Base Nitrato de sodio 100.

Dosis críticas estimadas, de manera preliminar, para pérdidas 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

P en Soja



Testigo

Fertilizado con P

Fósforo

Funciones en las plantas

- **Fotosíntesis y respiración: Componente de enzimas y NADP**
- **Síntesis de almidón**
- **Transferencia y almacenamiento de energía: Componente de ATP**
- **Transferencia de características genéticas: Componente de ARN**
- **Crecimiento y división celular**
- **Desarrollo y crecimiento temprano de la raíz**
- **Mejora la calidad**
- **Vital para la formación de la semilla**

Absorción y translocación de P

- El P es abastecido a la raíz principalmente por difusión
- Absorbido principalmente como H_2PO_4^- , también como HPO_4^{2-}
- Todas las regiones de la raíz absorben P (fundamentalmente la región de pelos radiculares)
- La absorción de P implica un gasto importante de energía metabólica (diferencias concentración suelo-planta)
- Una vez absorbido, el ortofosfato es rápidamente translocado al resto de la planta
- La absorción neta de P es regulada por el crecimiento de la planta cuando el abastecimiento de P no es limitante

Las deficiencias de fósforo

- Disminuyen el crecimiento de los cultivos al afectar el desarrollo y la expansión foliar, y la fotosíntesis (Andrade et al., 2000)
- La expansión foliar es más sensible a las deficiencias de P que la tasa de fotosíntesis por unidad de área de hoja (Colomb et al., 2000).
- Demoran la formación de órganos reproductivos y restringen la formación de grano (Marschner, 1995)

REQUERIMIENTOS DE P, EXTRACCION POR EL GRANO E INDICE DE COSECHA DE P PARA TRIGO, MAIZ, GIRASOL Y SOJA

Berardo y col. - Unidad Integrada EEA INTA - FCA Balcarce

Cultivo	Requerimientos	Indice de cosecha	Extracción en grano
	<i>kg P / ton</i>	<i>%</i>	<i>kg P / ton</i>
Trigo	3-4	75-80	2.5-3
Maíz	3-4	75-80	2.5-3
Soja	6-7	75-80	4.5-6
Girasol	7-9	50-55	3.5-4.5

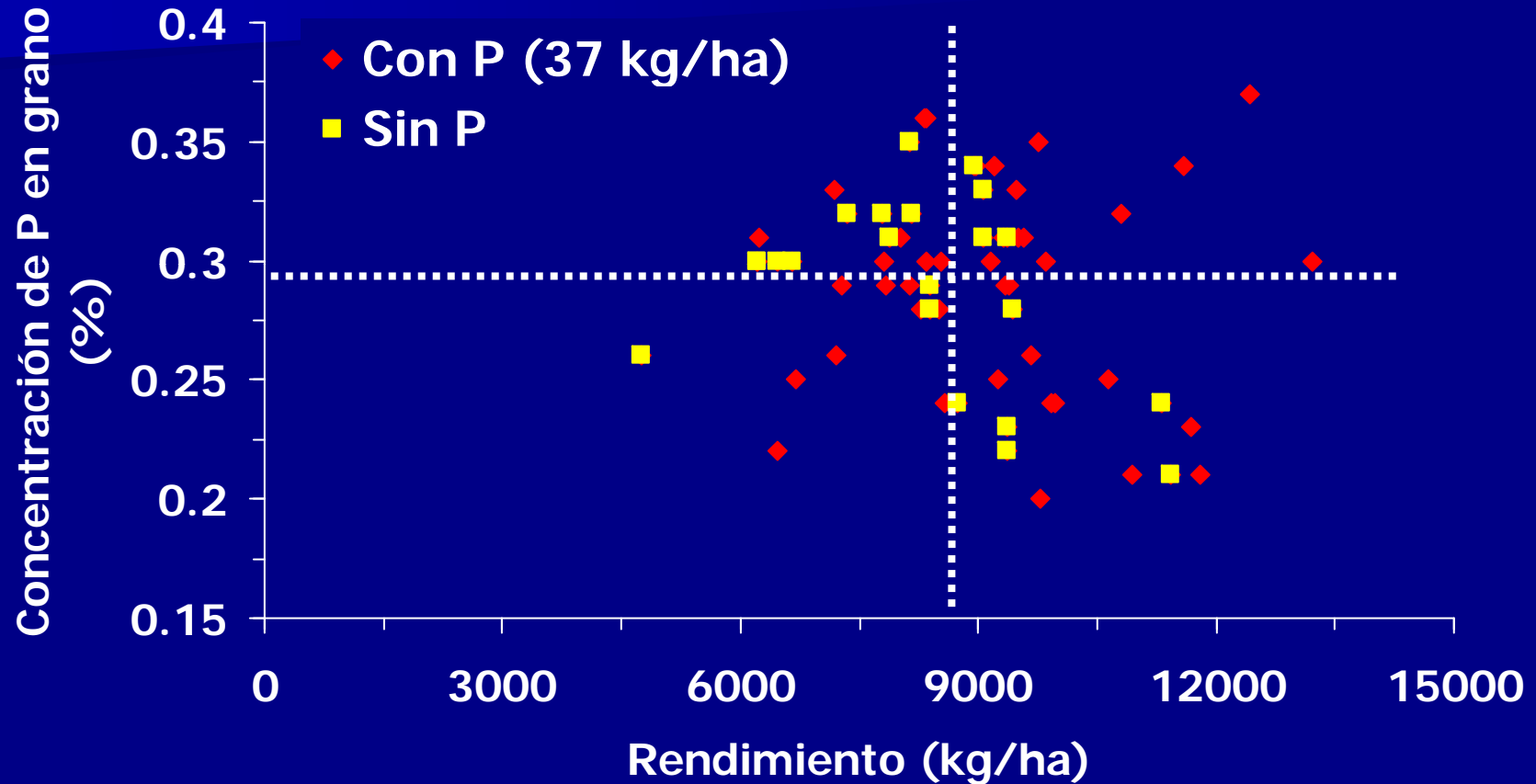
Requerimientos nutritivos de especies forrajeras

Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Calcio y Magnesio

Espece	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Calcio	Magnesio
			kg / ton materia seca			
Alfalfa	25-30	2.2-3.3	18-25	2.5-5	11-12.5	2-3.7
Trébol Rojo	22	2.7-3.2	27	5-6		
Trébol Blanco	35	3.4	19			
Pasto Ovillo	25	3.6	25	2.2		2.2
Festuca	19	3.5-4	22-25	2	4.6	2
Raigras	20-35	2.4-3.7	22-24	2-3		2

Maíz: Concentración de P en grano

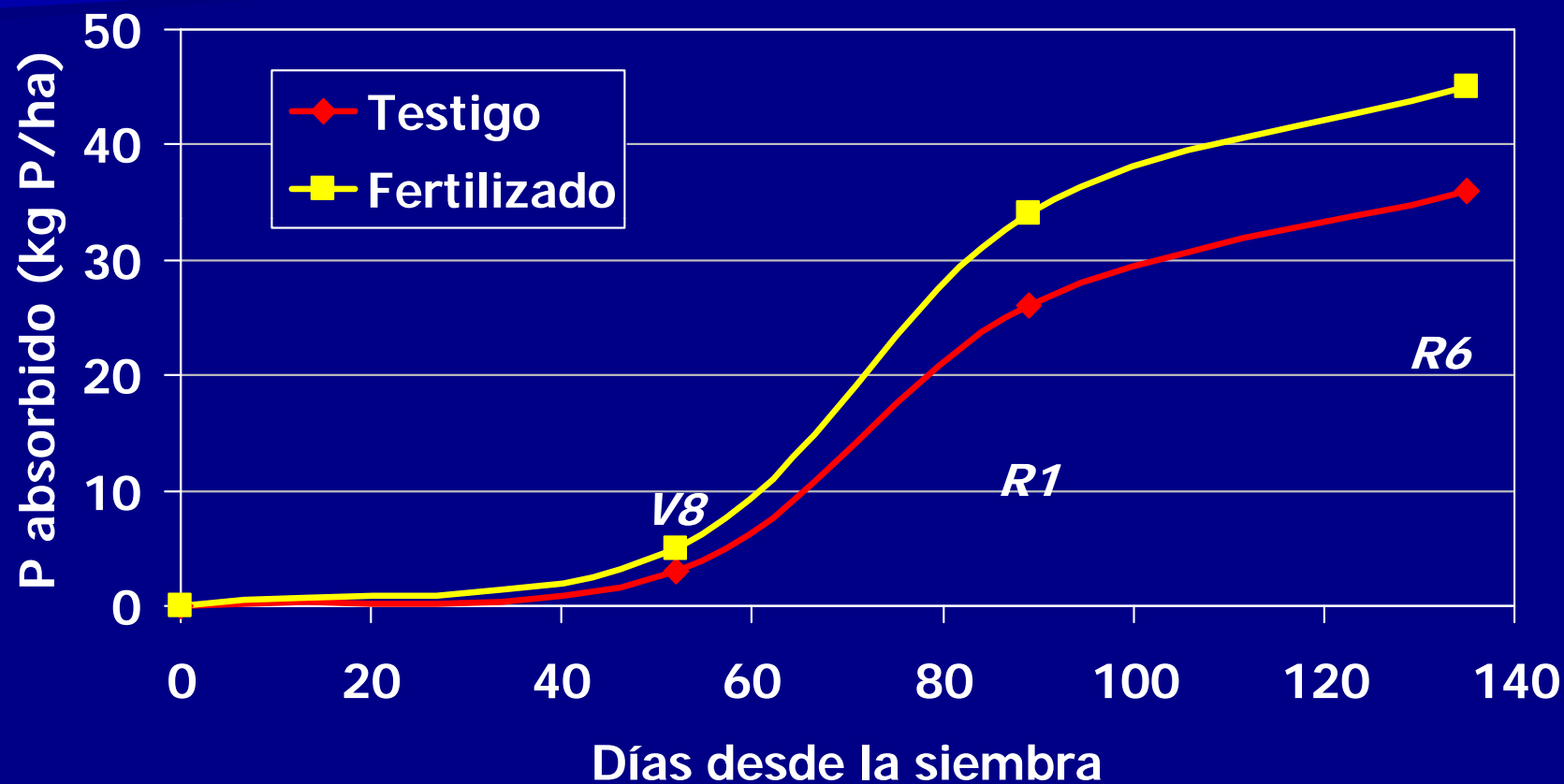
Ensayos Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe 2000/01



*Rendimiento promedio 8888 kg/ha; Concentración de P promedio 0.29%
n = 64*

Maíz: Absorción de P

Fontanetto y Darwich (1995) – EEA INTA/FCA Balcarce



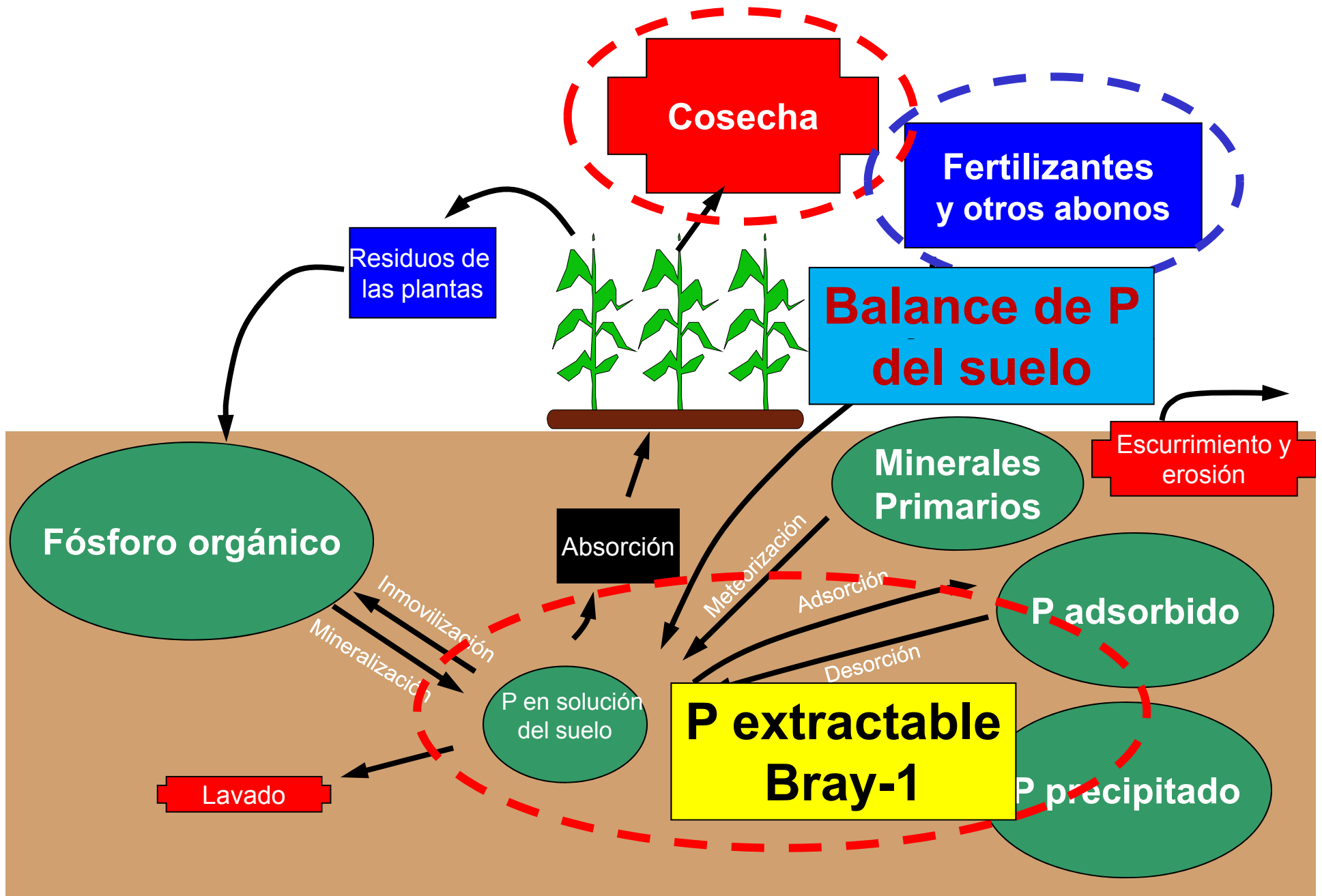
Fertilización con 21 kg/ha de P como superfosfato triple

El Ciclo del Fósforo

Componente

Entrada

Pérdida



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 *Ciampitti et al., 2009*

† Fracciones Pi- y Po- NaOH, y P-HCl

£ Fracción de P extraído con H_2SO_4 o digestión con $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$

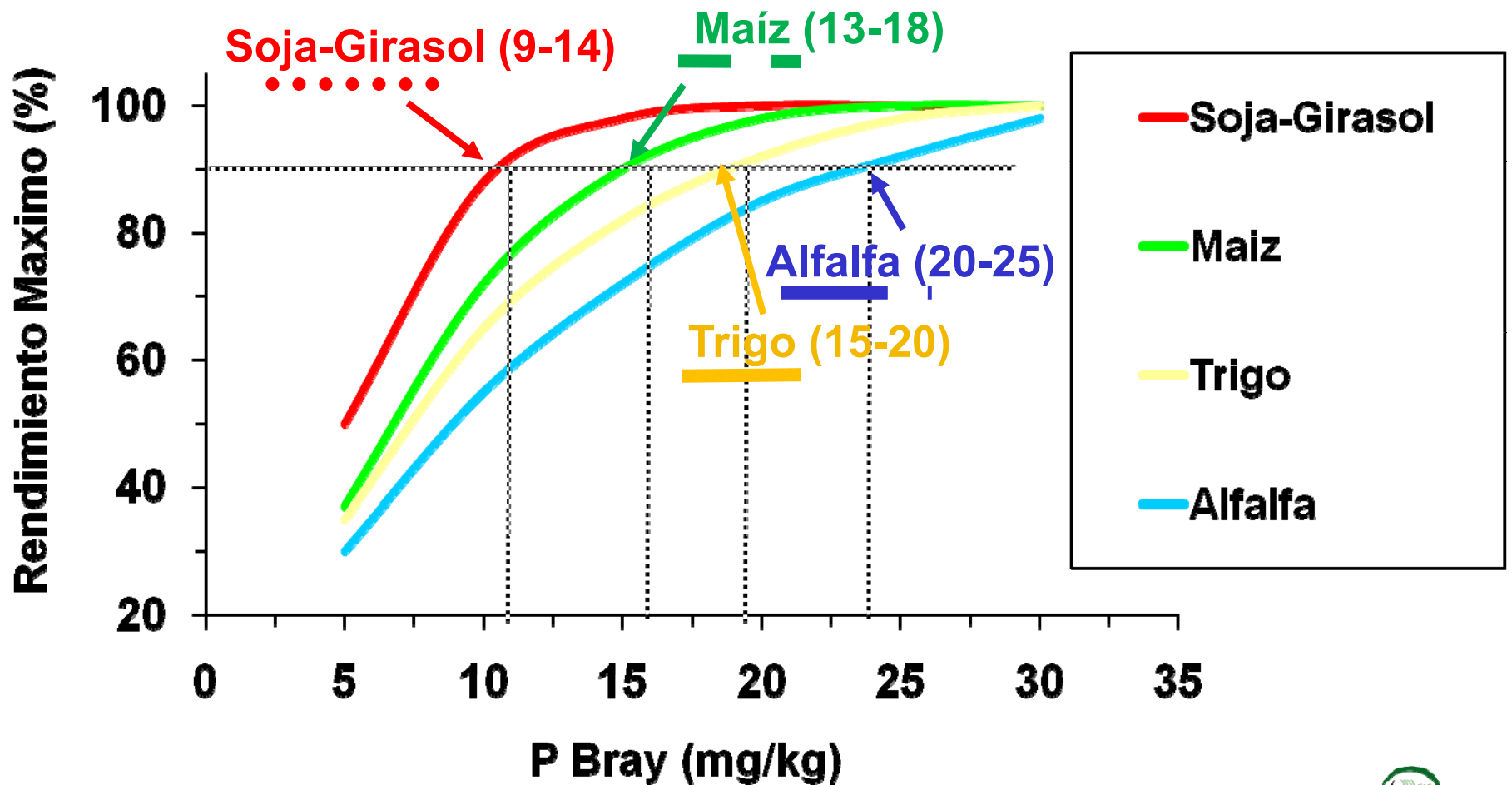


¿Cómo deberíamos manejar fósforo?

- 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





Rangos críticos de P Bray 1 para los cultivos de grano en Argentina

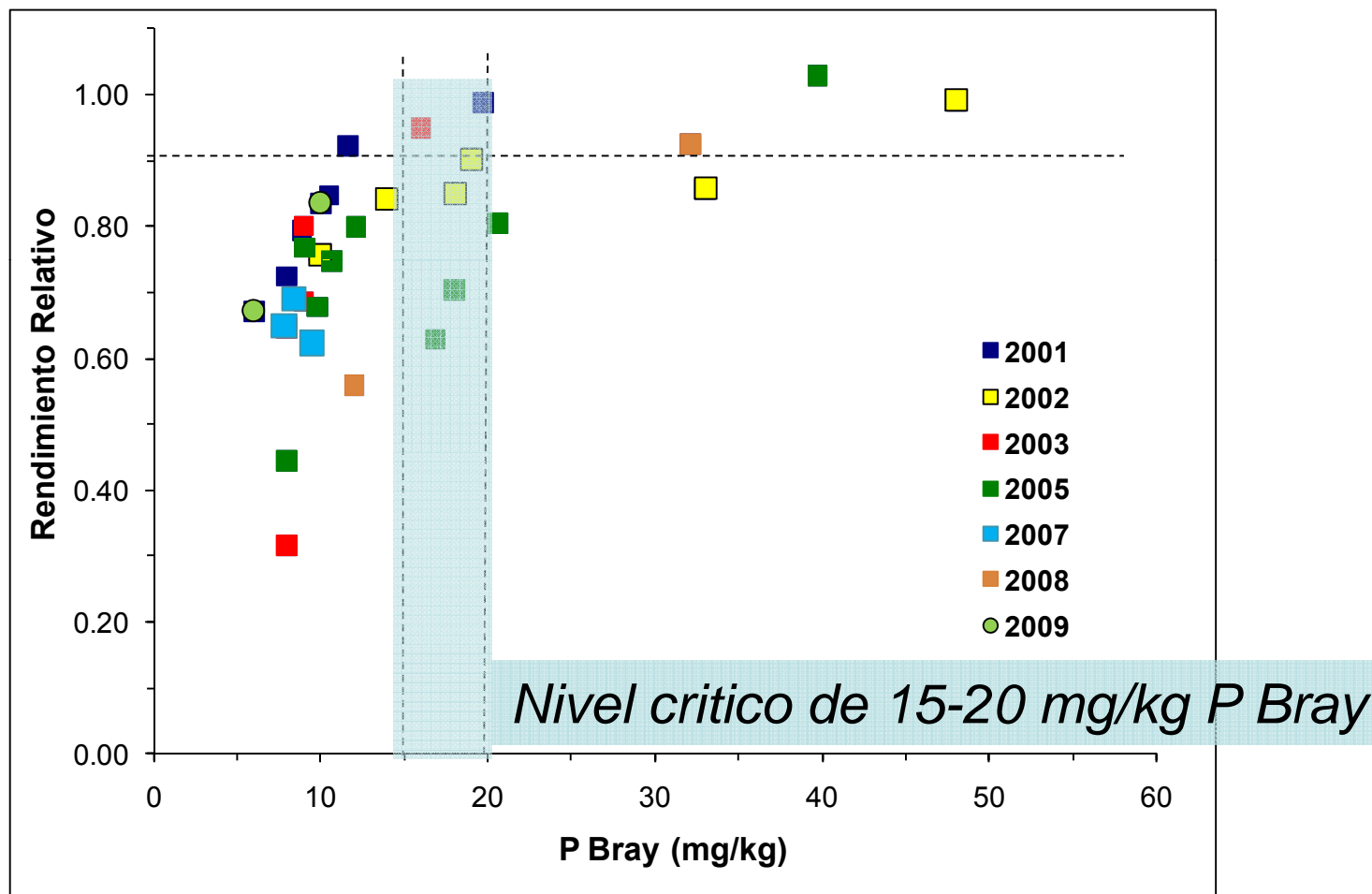
Cultivo	Nivel crítico (mg/kg)	Eficiencia Agronómica por debajo del Rango Crítico (kg grano/kg P)
Trigo	15-20	25-60
Maíz	13-18	30-70
Soja	9-14	20-40
Girasol	10-15	18-30

Fuente: Berardo et al., 2001; Díaz Zorita et al., 2002; Díaz Zorita, 2004; Echeverría y García, 1998; Esposito et al., 2009; Ferrari et al., 2000; Fontanetto, 2004; García et al., 1997; Garcia et al., 2006; García, 2007; Gutiérrez Boem et al., 2002

P en Trigo

Red CREA Sur de Santa Fe

Campañas 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2005/06, 2007/08, 2008/09 y 2009/10



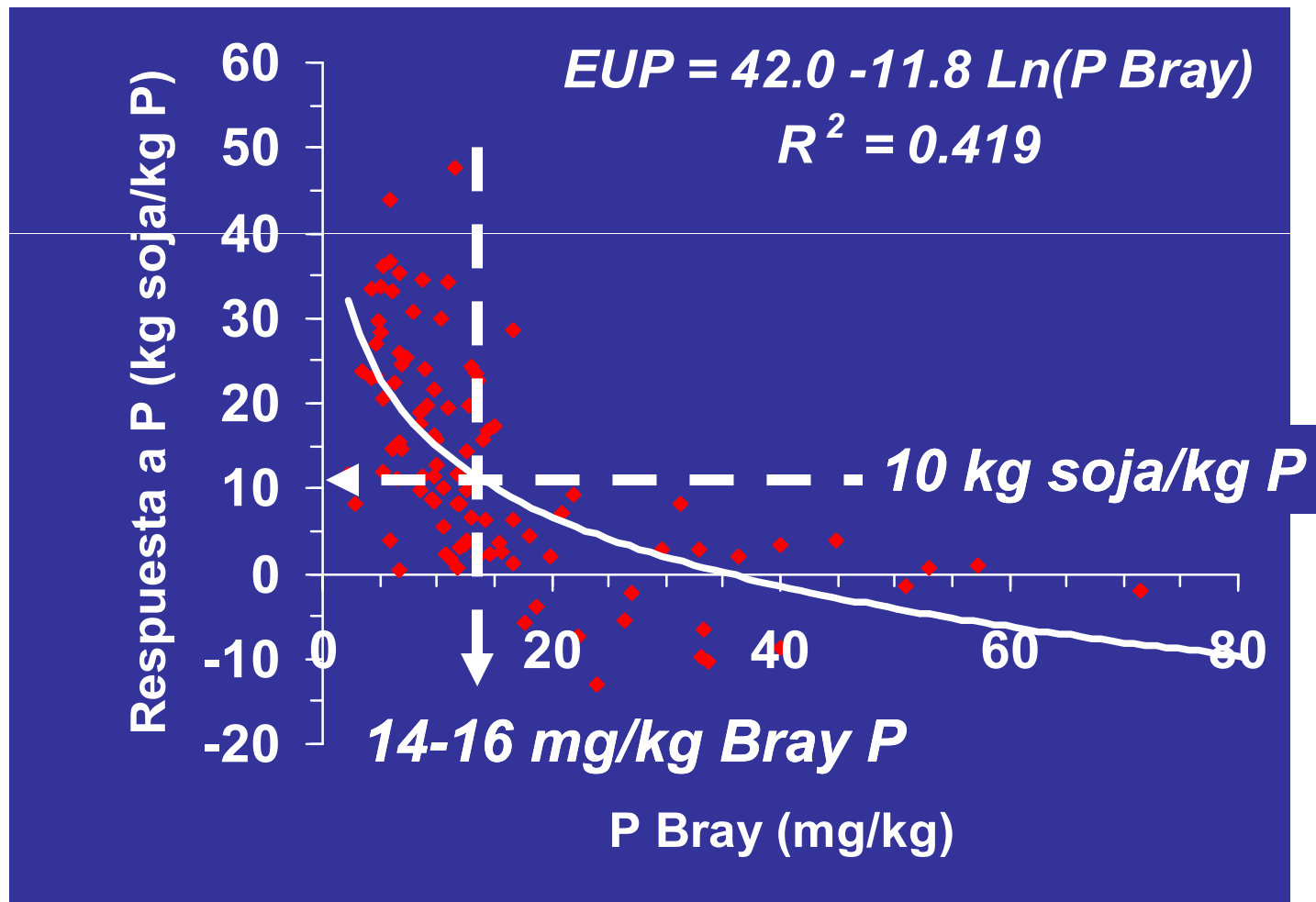
Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP



Respuesta a P en Soja

101 ensayos Región Pampeana Argentina (1996-2004)

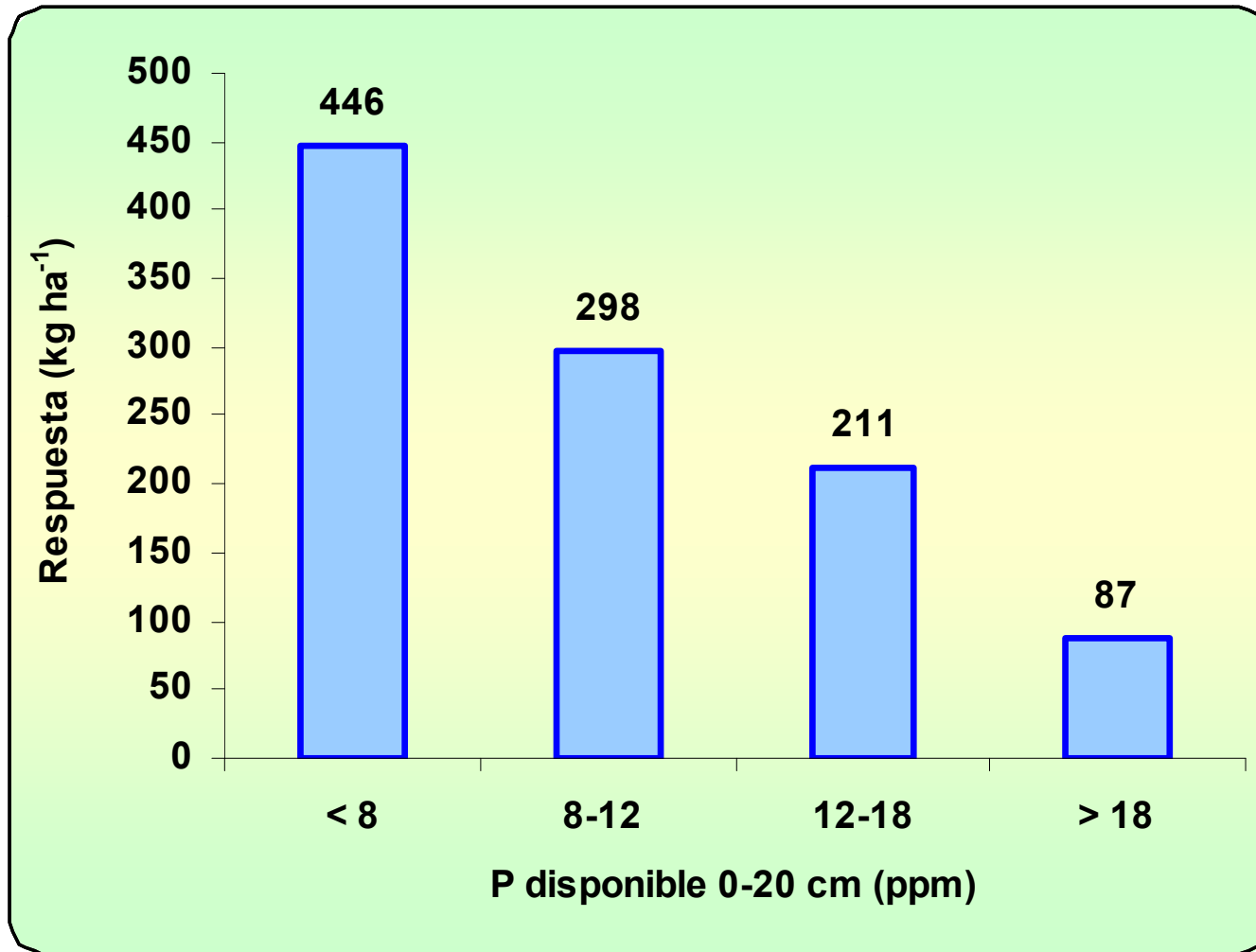
Fuente: INTA, Proyecto INTA Fertilizar, FA-UBA, FCA-UNER y CREA Sur de Santa Fe



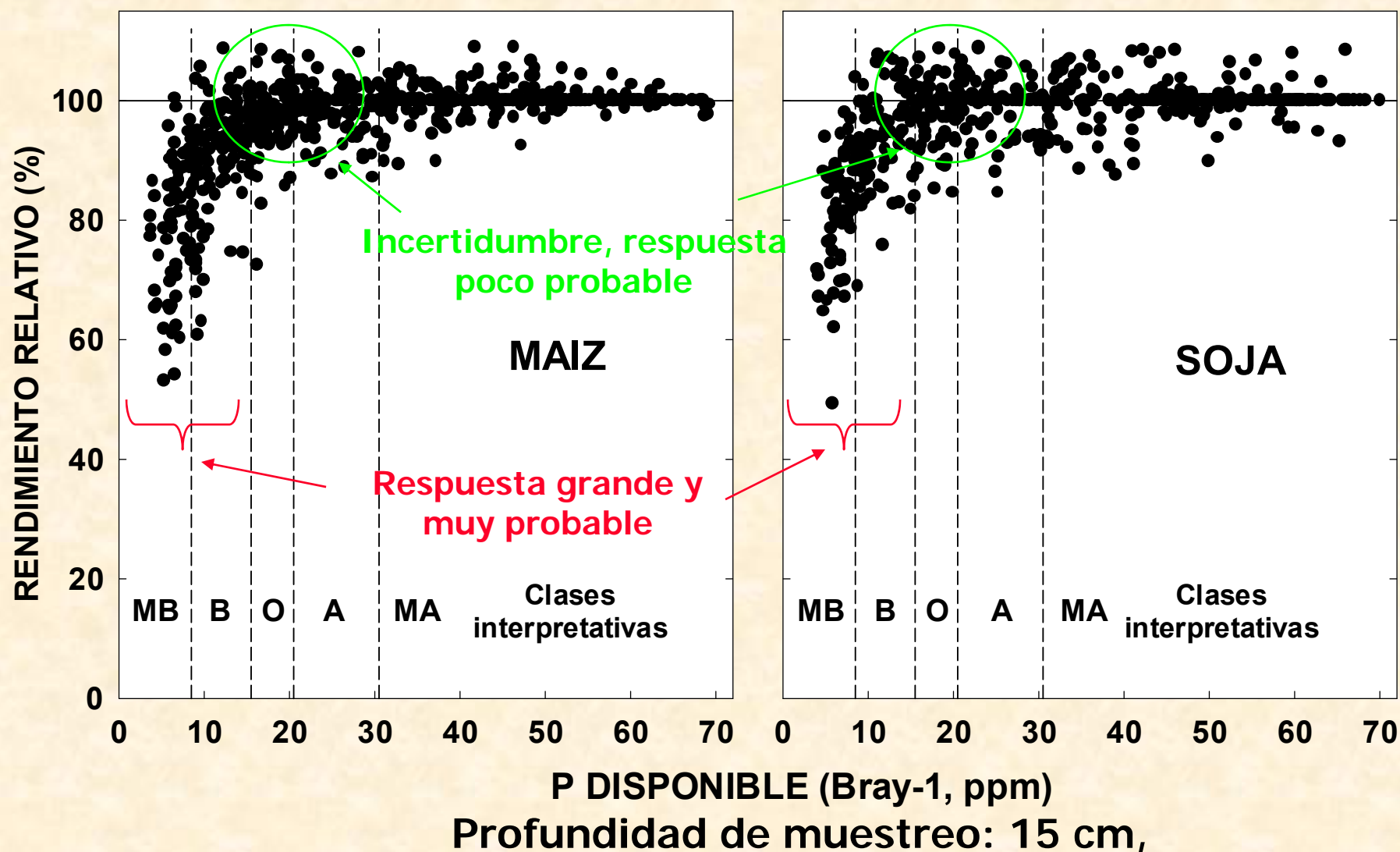
Soja 1ra

Respuesta a la fertilización fosforada

Región C-N Bs As y Sur de Santa Fe - Ferraris et al. (2009=
6 campañas, n=29

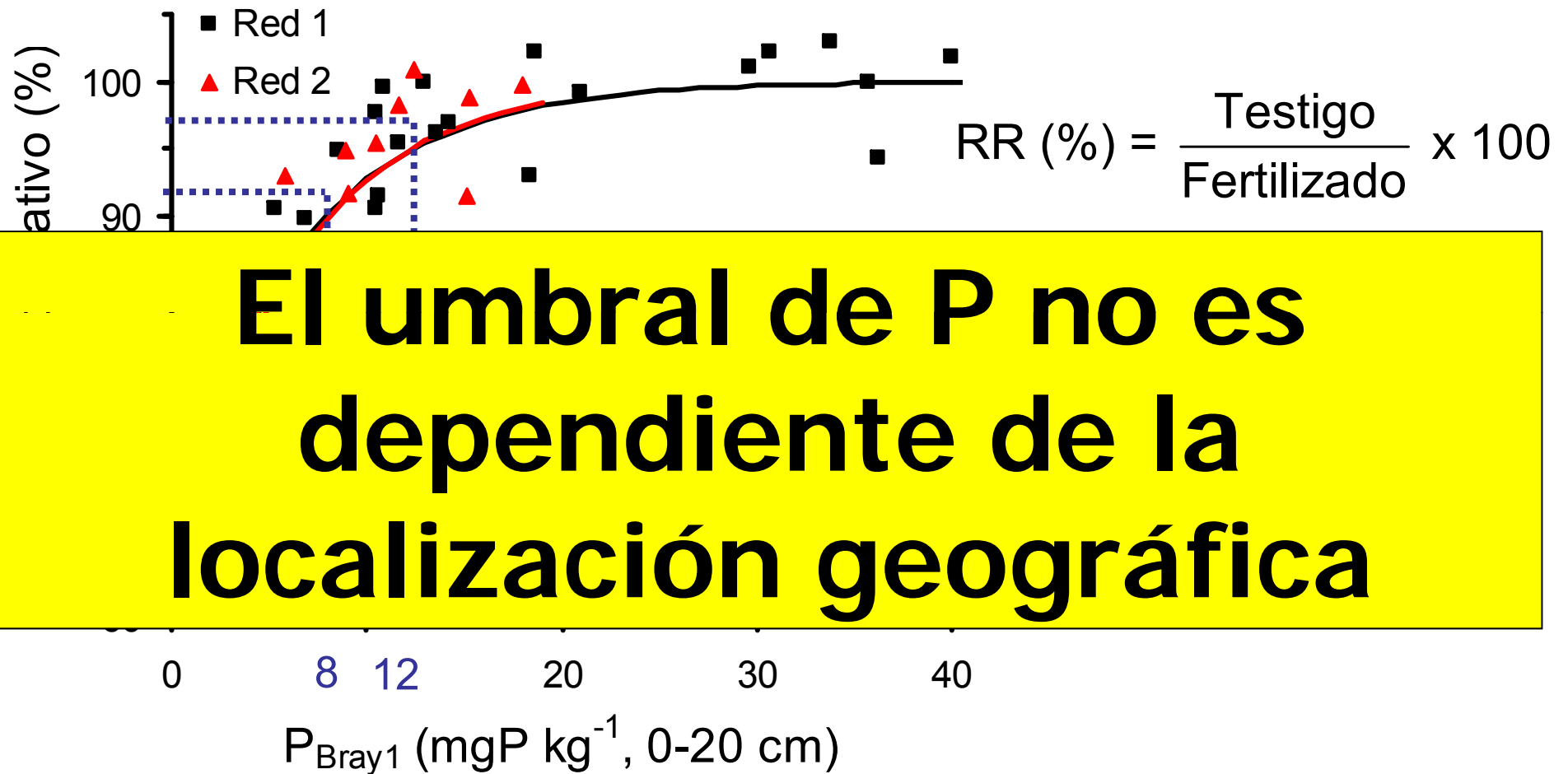


Calibraciones para Fósforo

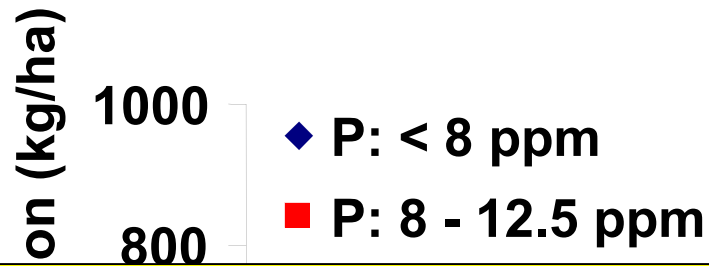


Mallarino, 2007

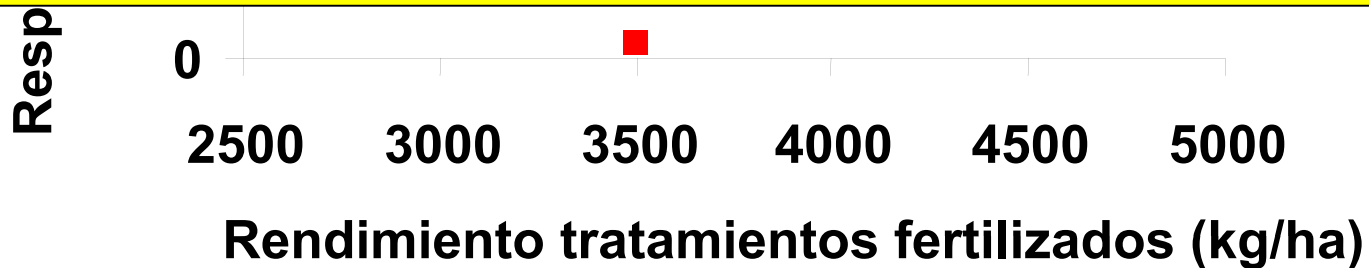
Soja: ¿Los umbrales de P de que dependen?



Soja: Respuesta a P y rendimiento esperado



El umbral de P no es dependiente del rendimiento del cultivo

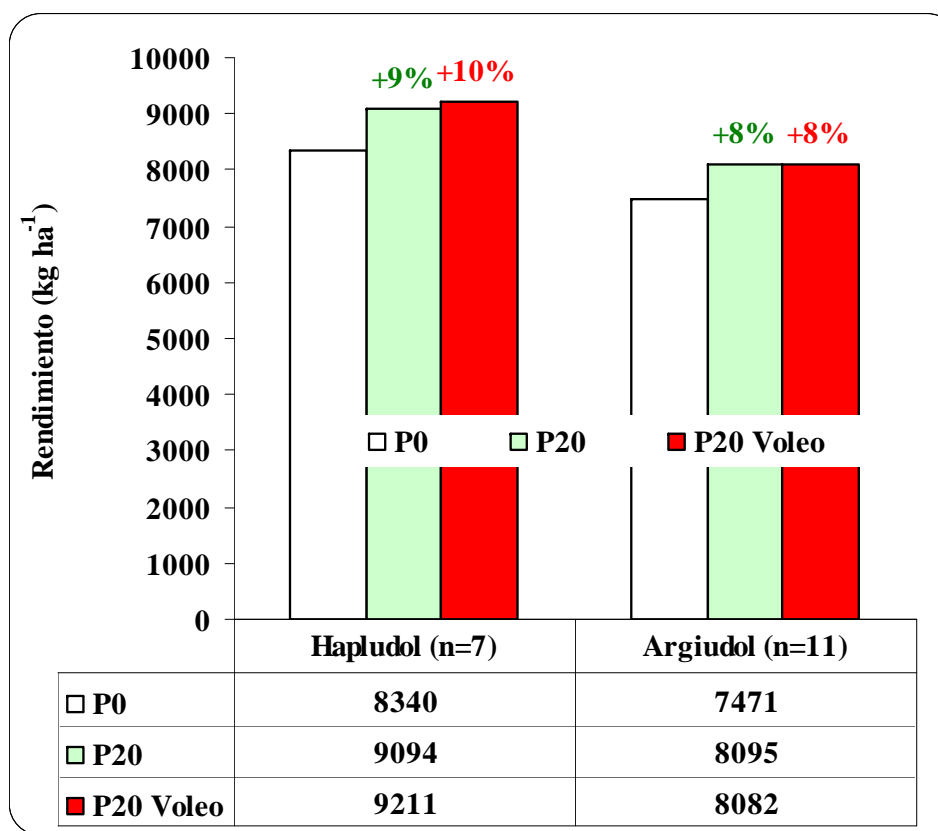
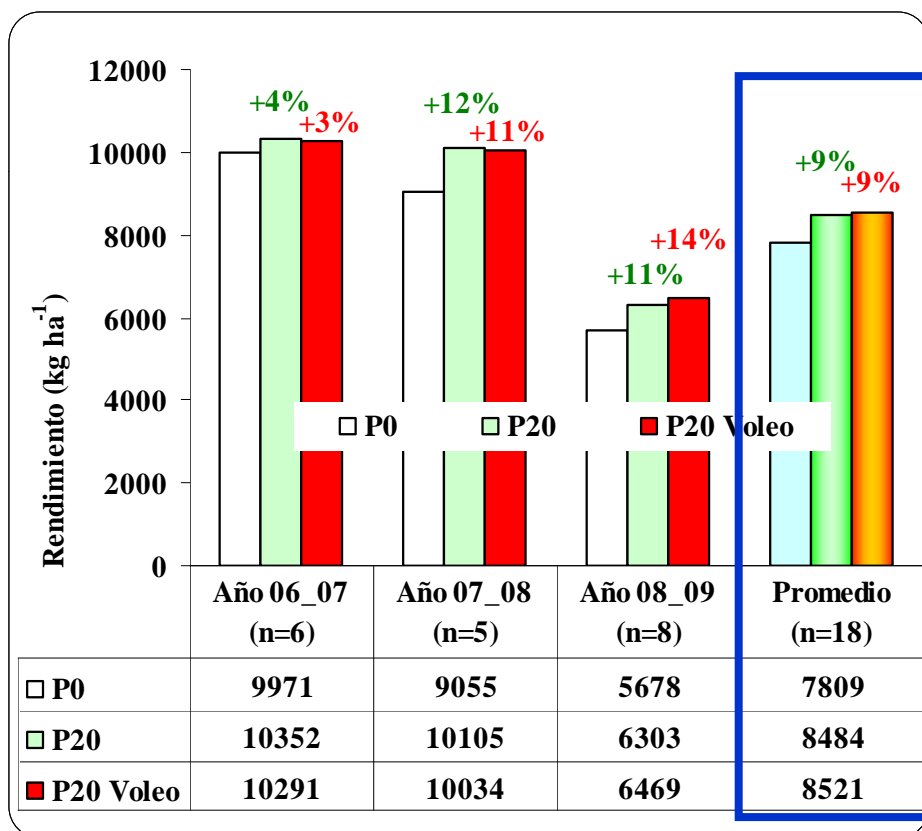


Red de fertilización en Maíz. Desarrollo Rural INTA Pergamino

Que variables explican la respuesta a P?...

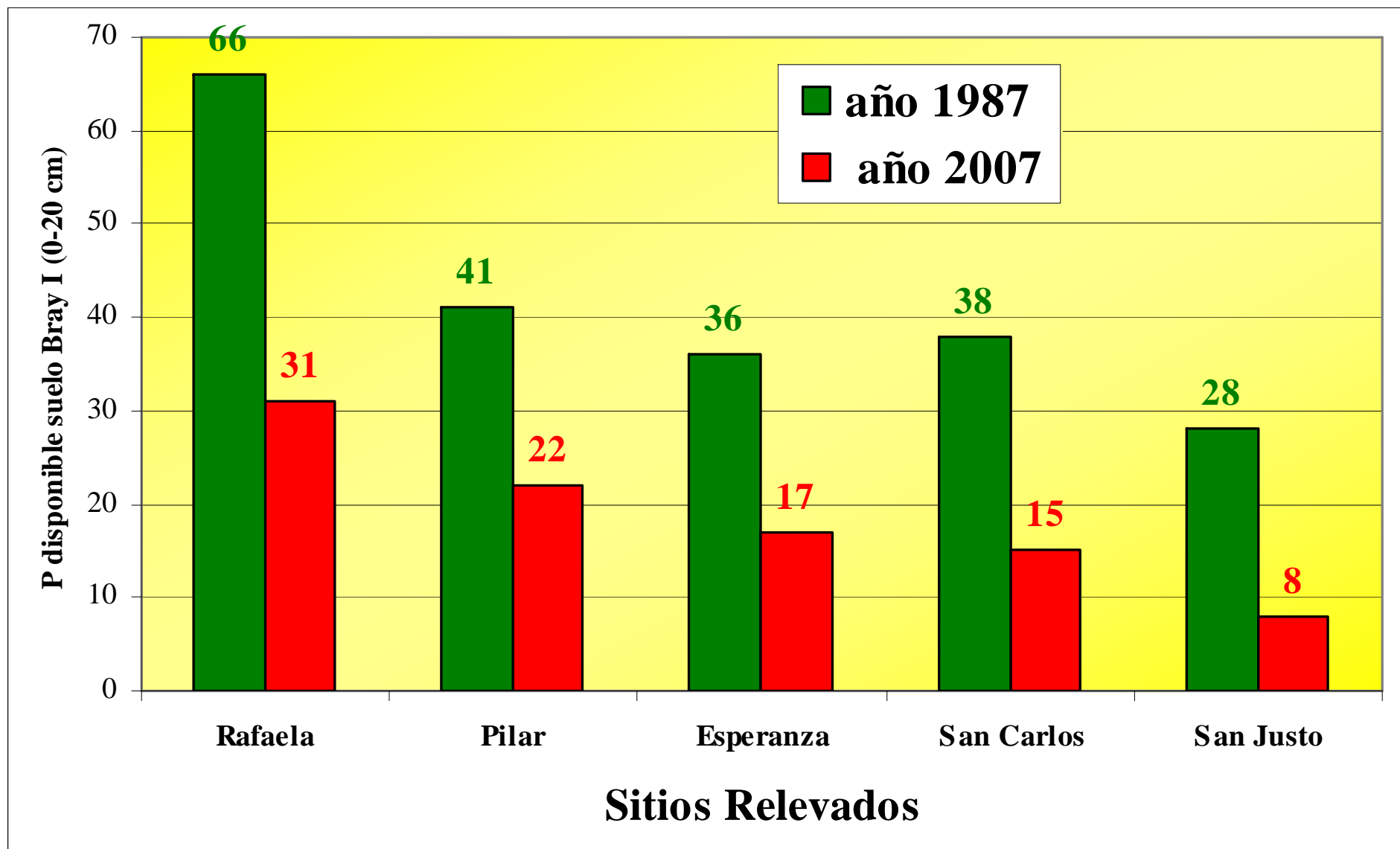
Ferraris et al., 2009

1. La respuesta es poco influenciada por el efecto año-rendimiento.
2. No depende de la localización geográfica ni el tipo de suelo.

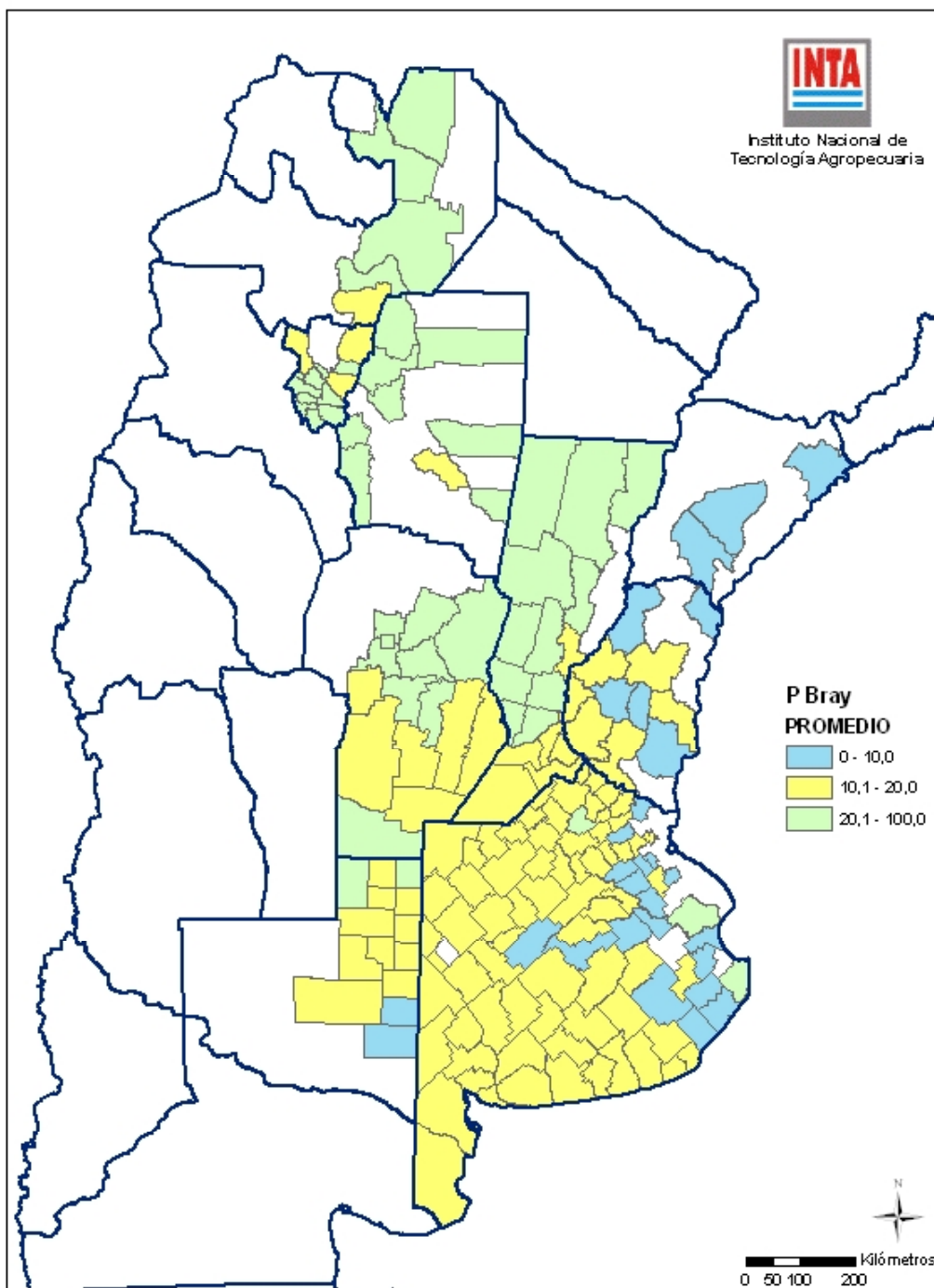


Campañas 2006/07 a 2008/09. **Media=11,8 ppm.** **Mediana 8,8 ppm.** **Rango=2,7-63 ppm**

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



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)

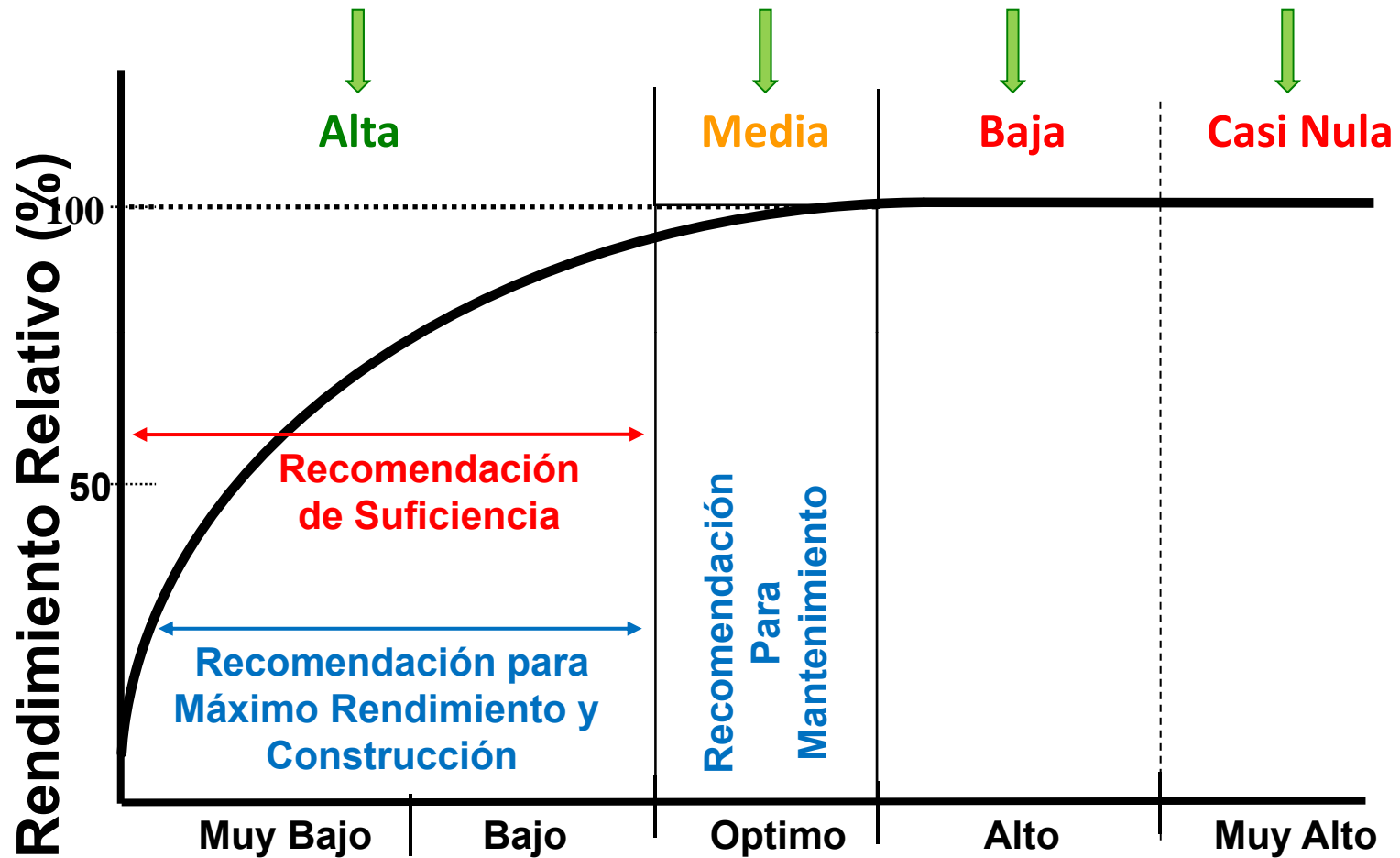
(Sainz Rozas y Echeverría, 2008)

¿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



Nivel de P en el Suelo (Bray-1, Olsen o Mehlich-3, ppm)

Adaptado de Mallarino, 2007

Filosofías de Manejo de la Fertilización de nutrientes de baja movilidad

1. Suficiencia o Respuesta Estricta

- Hay un nivel crítico de análisis de suelo, deficiencia o suficiencia.
- Se fertiliza por debajo del nivel crítico, si la respuesta es probable.
- 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.

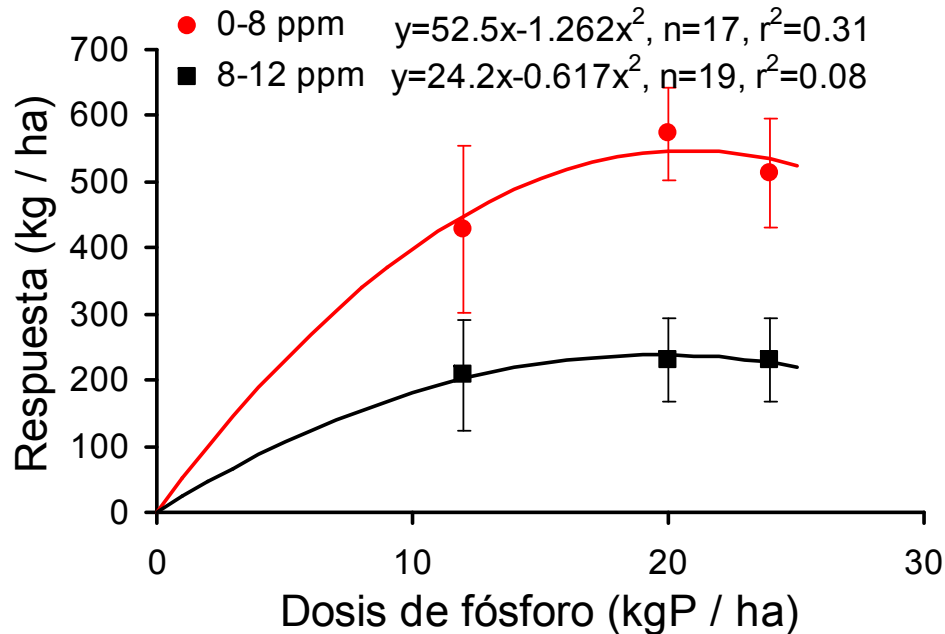
Mallarino, 2006





Soja: Dosis óptima económica (suficiencia)

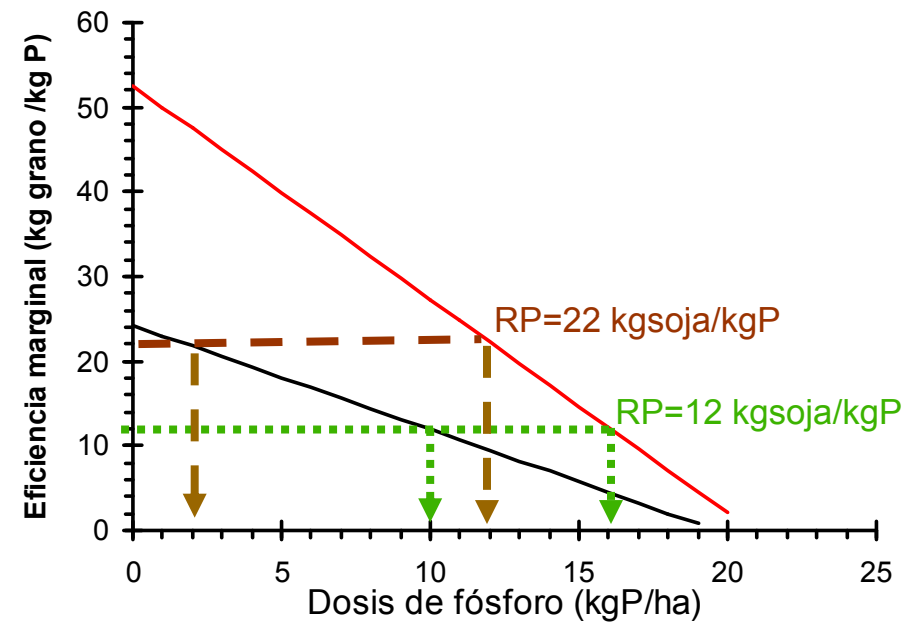
Elaborado por Gutiérrez Boem (2008)



Cada punto es el promedio de 5 a 7 ensayos

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

Dosis óptima económica:
eficiencia marginal = relación de precios



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

$$\text{Dosis P (kg P/ha)} = \frac{0.1 * (\text{Densidad aparente (t/m}^3\text{)} * \text{Prof (cm)})}{\text{Coeficiente b}}$$

$$\text{Coeficiente b} = 0.45369 + 0.00356 \text{ P Bray} + 0.16245 \text{ Z} - 0.00344 \text{ Arcilla}$$

donde

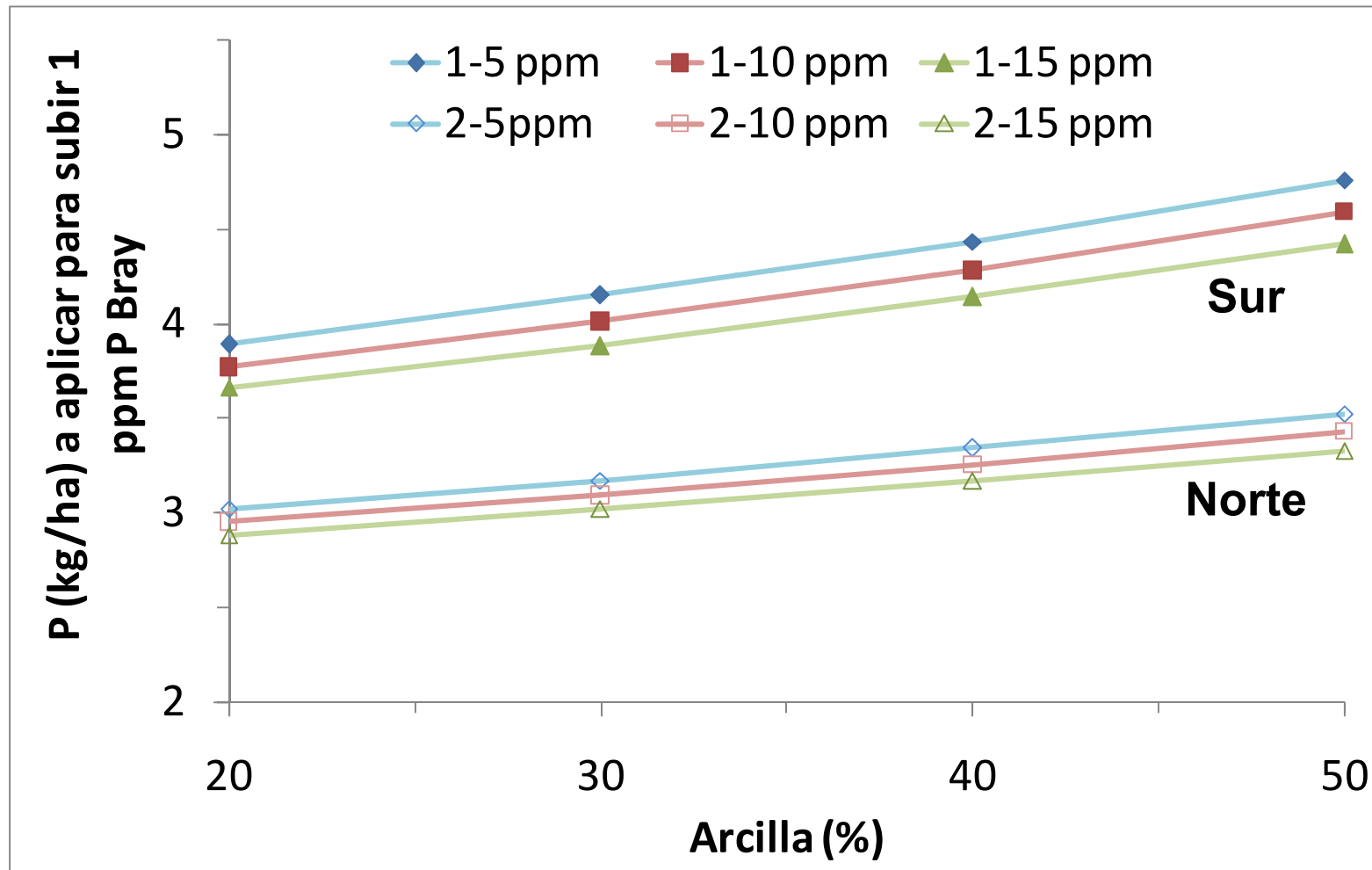
- *Z es zona, Z es 1 al norte de la región pampeana y 2 al sur de la misma*
- *Arcilla es el porcentaje de arcilla del suelo*

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

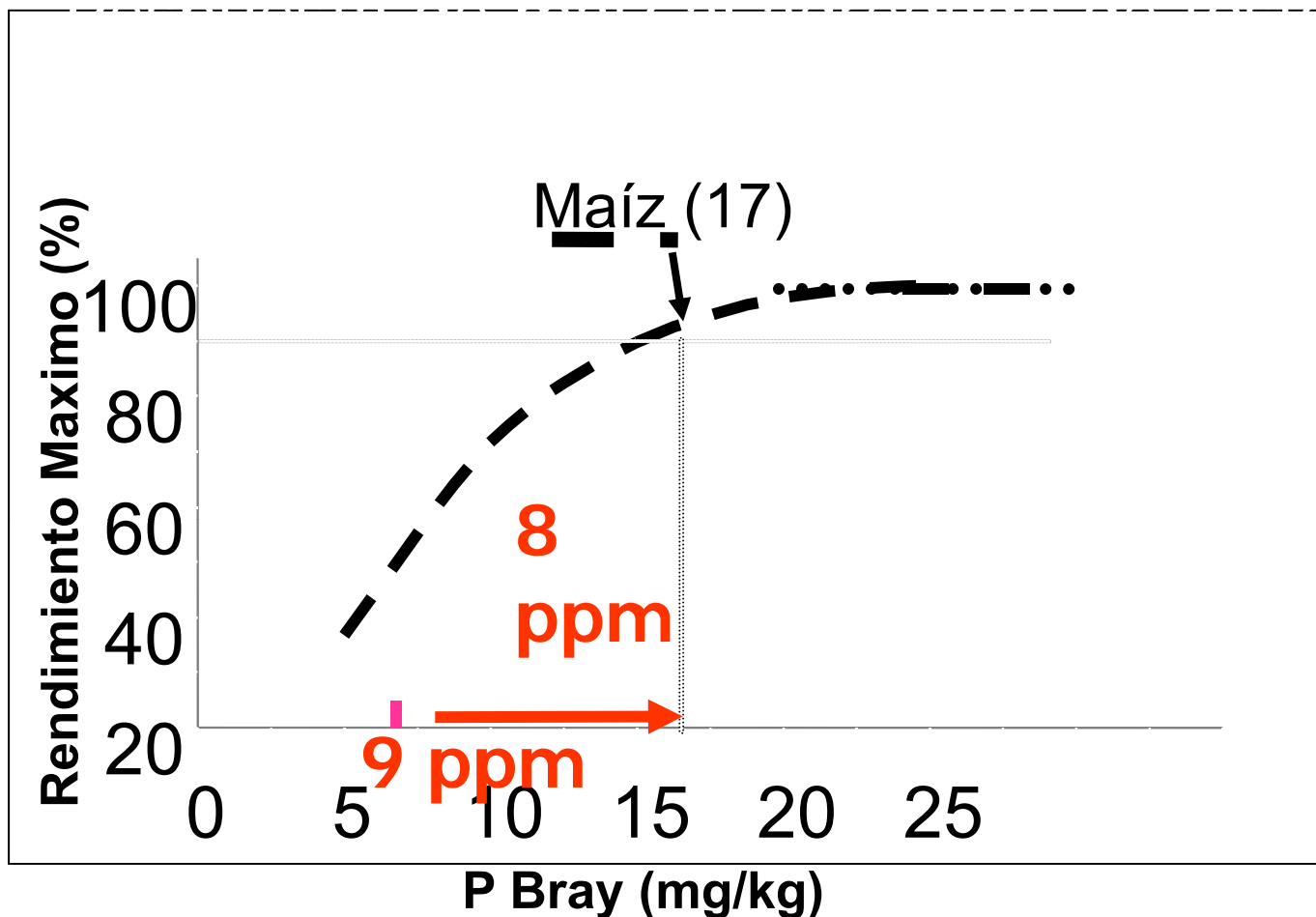
¿Cuánto kg de P debo aplicar para subir 1 ppm de P Bray en Región Pampeana?
Dosis según P Bray inicial, % de Arcilla y Zona

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 sería aprox. de
120 kg ha⁻¹ de FDA o SPT (46% P₂O₅).**

Filosofías de Manejo de la Fertilización de nutrientes de baja movilidad

2. Subir al Nivel Deseado y Mantenerlo

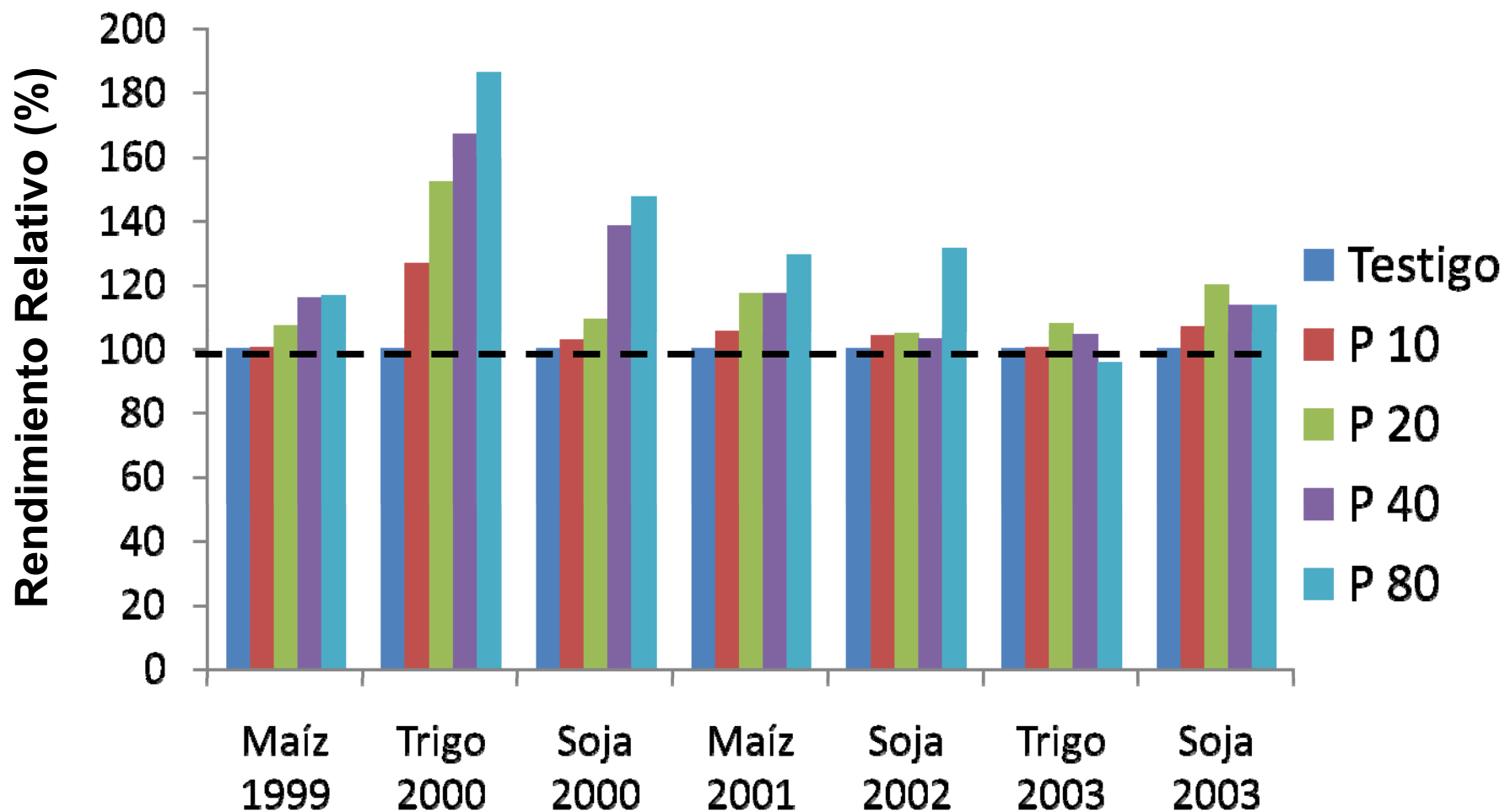
- No se debe trabajar en la zona de deficiencia grave y probable.
- Si el nivel de P o K es bajo, se fertiliza no solo para alcanzar el máximo rendimiento, sino para asegurar que se sube el nivel inicial.
- Llegar al óptimo nivel en 4 a 6 años y mantenerlo, generalmente basado en la remoción de nutriente con las cosechas.

Mallarino, 2006



Residualidad de Fósforo

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



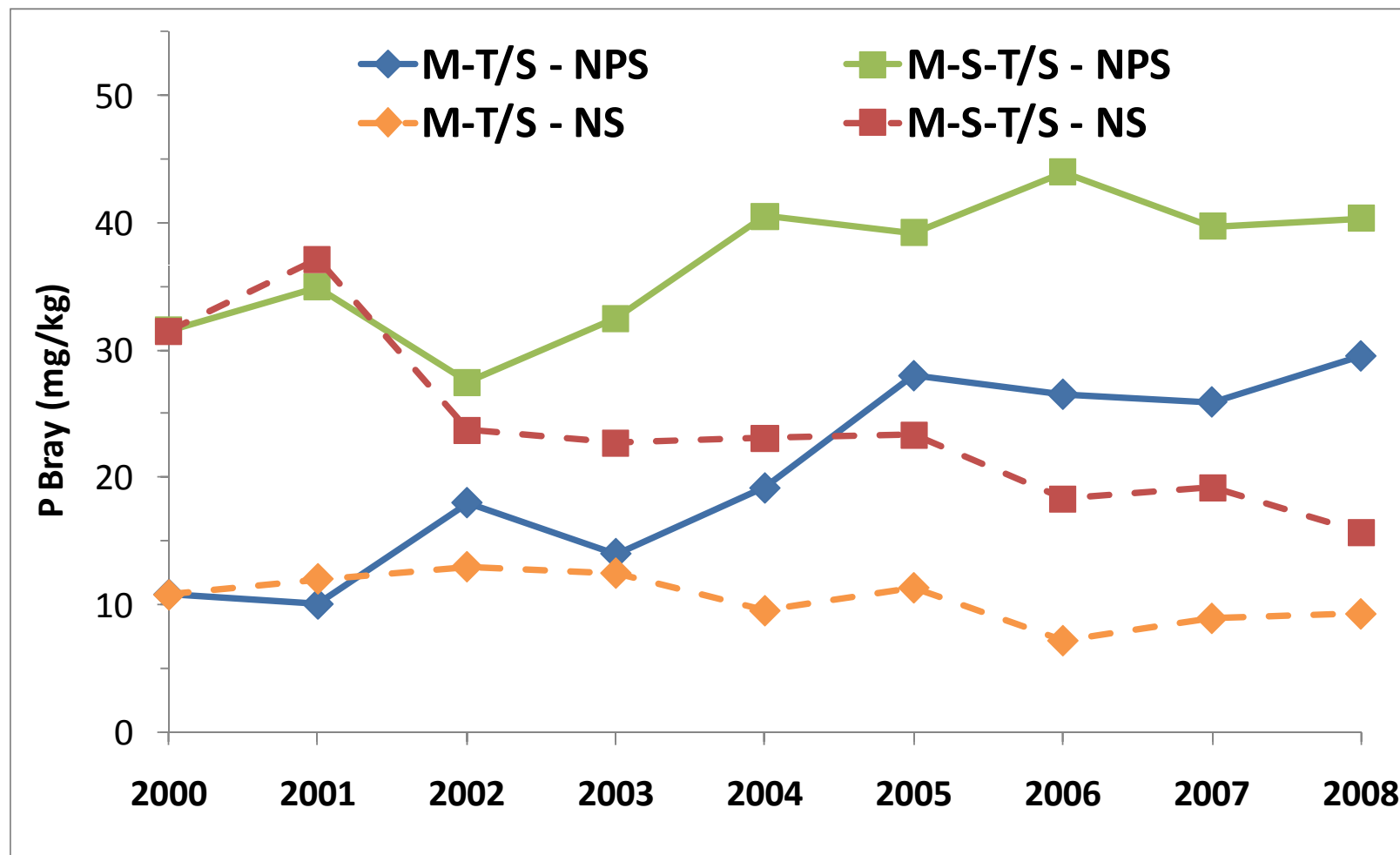
***P aplicado a la siembra del Maíz en Septiembre 1999
o en todos los cultivos (R)***

P Bray inicial 9 ppm

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



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



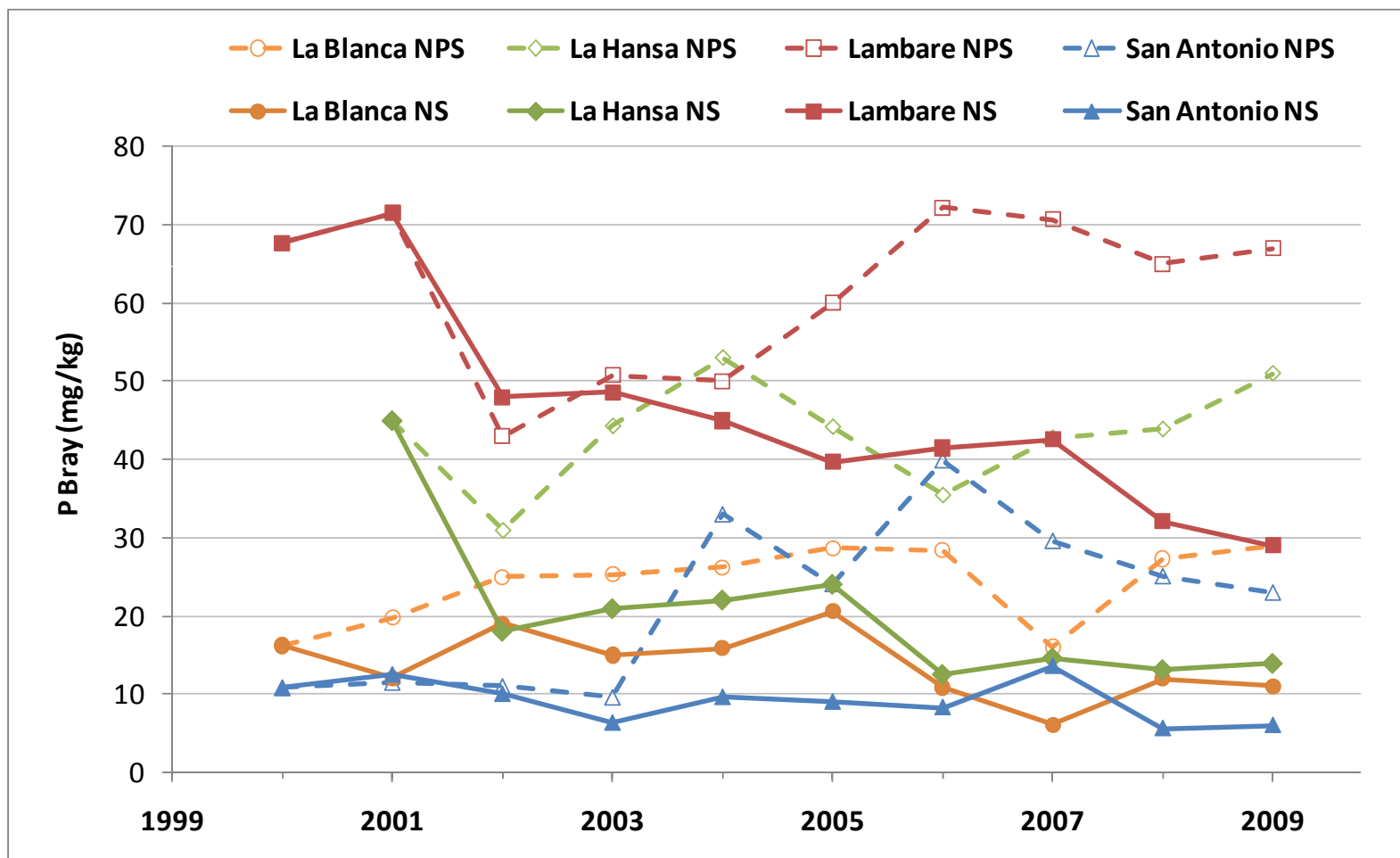
Dosis P: Remoción en granos + 5-10%

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

Evolución P Bray con y sin aplicación de P en cuatro ensayos en rotación M-S-T/S



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

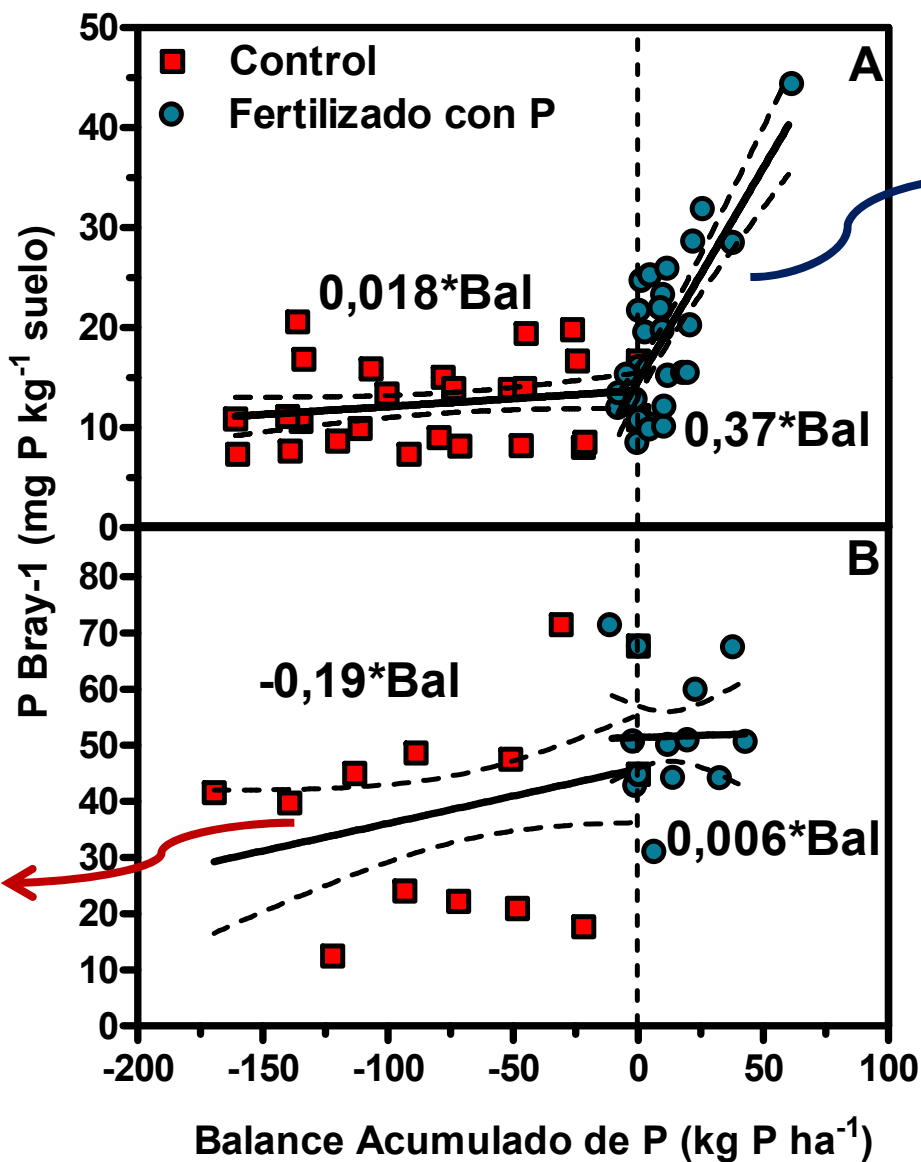


Dosis P: Remoción en granos + 5-10%

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

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

Suelos < 20 ppm



El P Bray aumenta aproximadamente 4 ppm por cada 10 kg P de balance positivo

Suelos > 40 ppm

El P Bray disminuye aproximadamente 2 ppm por cada 10 kg P de balance negativo

Fuente:
Ciampitti (2009)
Red CREA Sur de
Santa Fe
(CREA-IPNI-ASP)

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE APLICACIÓN DE P

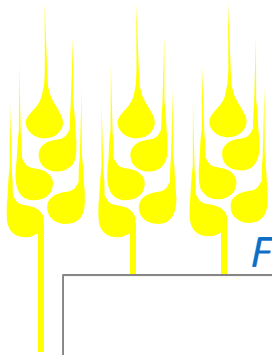
- ✓ P en bandas a la siembra o alternativa al voleo pre-siembra bajo siembra directa
- ✓ Las fuentes fosfatadas solubles presentan similares eficiencias de uso (FDA, FMA, SFT o SFS)



¿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)**

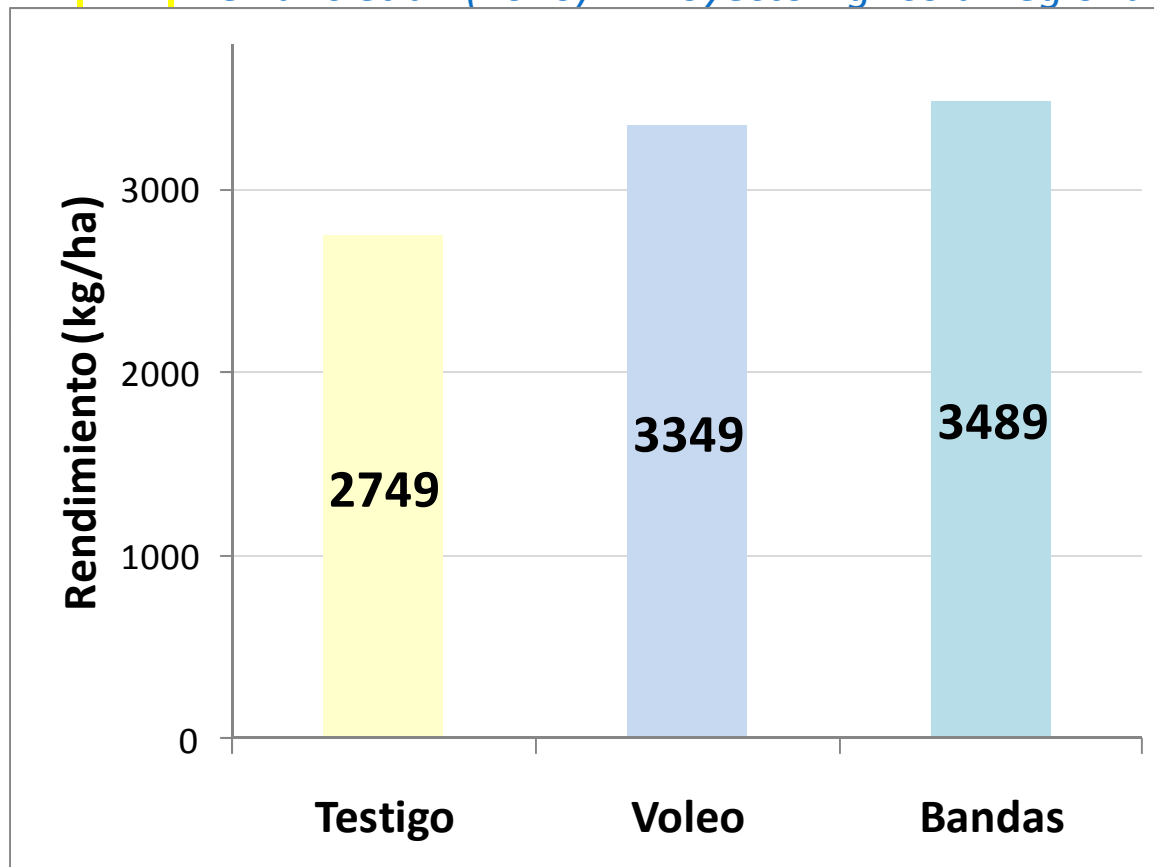




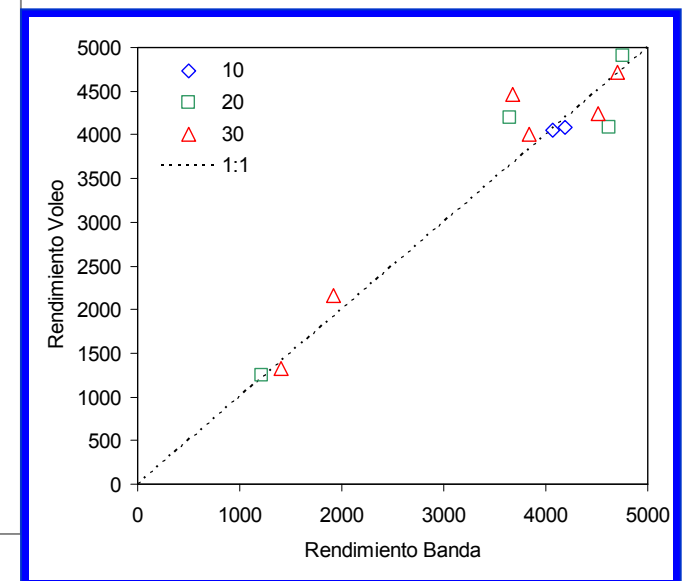
Localización de fósforo en trigo

Promedio de nueve experimentos - Años 2008 y 2009

Ferraris et al. (2010) – Proyecto Agrícola Regional – EEA INTA Pergamino



En 13 comparaciones, la aplicación en bandas supero significativamente a la aplicación al voleo solamente en 2



- *P* Bray menor de 15 ppm en 8 de los 9 sitios
- Dosis de *P* de 10 a 30 kg/ha de *P* (fuente superfosfato triple)
- Aplicaciones al voleo y en bandas a la siembra

La relación banda:voleo no es diferente de 1:1

Evaluación de fuentes fertilizantes fosfatados

Ferraris, Mausegne y Ventimiglia, 2010

Nº	Tratamientos (Maíz)	Dosis P	Pergamino	SA de Areco	Nueve de Julio	Índice Promedio
T1	Testigo	P 0	100,0	100,0	100,0	100,0
T2	P líquido 100 l	P 4,95	126,5	119,5	99,7	115,2
T3	P líquido 150 l	P 7,43	125,1	113,7	101,0	113,3
T4	P líquido 200 l	P 9,90	124,4	118,9	101,7	115,0
T5	P líquido NS 100 l	P 3,85	123,3	124,9	101,8	116,7
T6	MAP - SPT 30 + P líquido 150 l	P 14,3	121,9	113,5	101,7	112,4
T7	MAP – SPT 100 voleo	P 23	115,0	128,7	106,3	116,7
T8	MAP –SPT 100 localizado	P 23	131,3	118,6		
T9	Roca Fosforica 200 kg + P líquido 100 l	P 27	100,7	135,6	104,7	113,7

1. Soluciones de Grado variable (4-10 %). Algunas suspensiones.
2. Necesariamente más costosas por unidad de nutriente.
3. Necesidad de agregar valor a la solución, en mezclas con herbicidas, UAN, microelementos.
4. Buen comportamiento agronómico, aunque con balance negativo de P a las dosis habitualmente recomendadas.

Respuesta a Azufre en Soja

INTA Casilda - Santa Fe - 1998/99



Deficiencia de S en Trigo





Funciones del Azufre en las Plantas

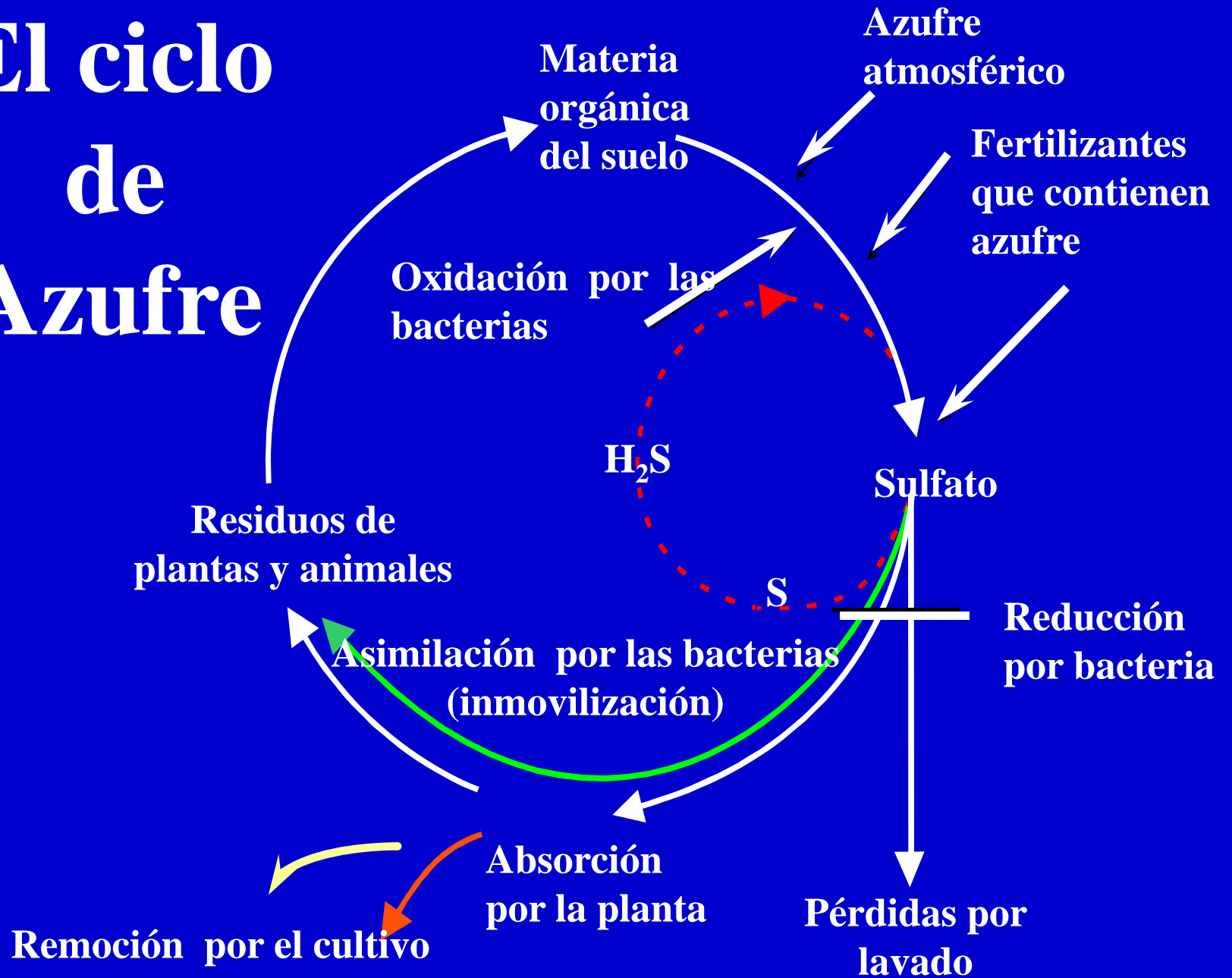
- ◆ Esencial para la formación de proteínas
 - Constituyente de aminoácidos esenciales
 - Componente de enzimas, coenzima A, tiamina, biotina
- ◆ Requerido para la formación de clorofila
- ◆ Participa en la formación de componentes de aceites (glucósidos y glucosinolatos) y en la síntesis de vitaminas
- ◆ Importante en la fijación de N por leguminosas

Requerimientos de azufre

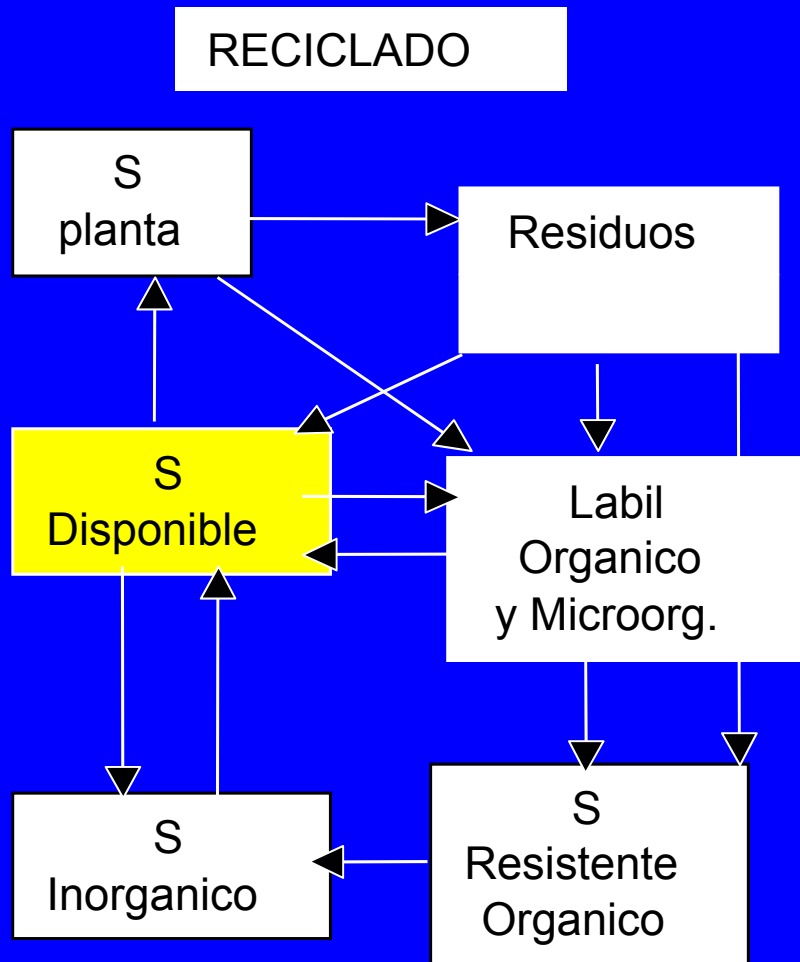
Cultivo	Requerimiento	Rendimiento	Absorción de S
	kg/ton	ton	kg
Alfalfa	2.7	10	27
Trigo	4.5	6	30
Maíz	4.1	10	41
Soja	6.7	4	27
Girasol	5.0	4	20
Colza	10.3	4	41
Sorgo	3.7	7	26
Arroz	1.7	6	10
Papa	0.5	40	20



El ciclo de Azufre



Azufre disponible



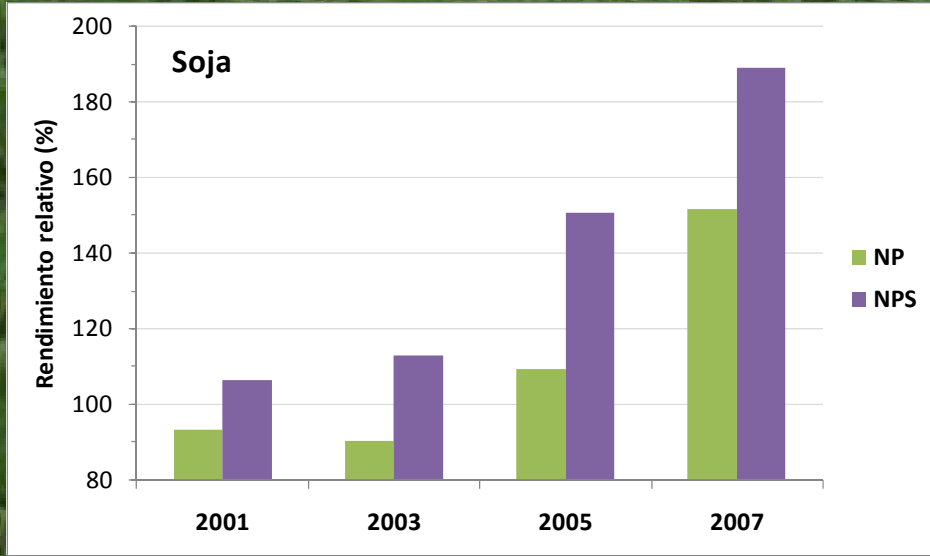
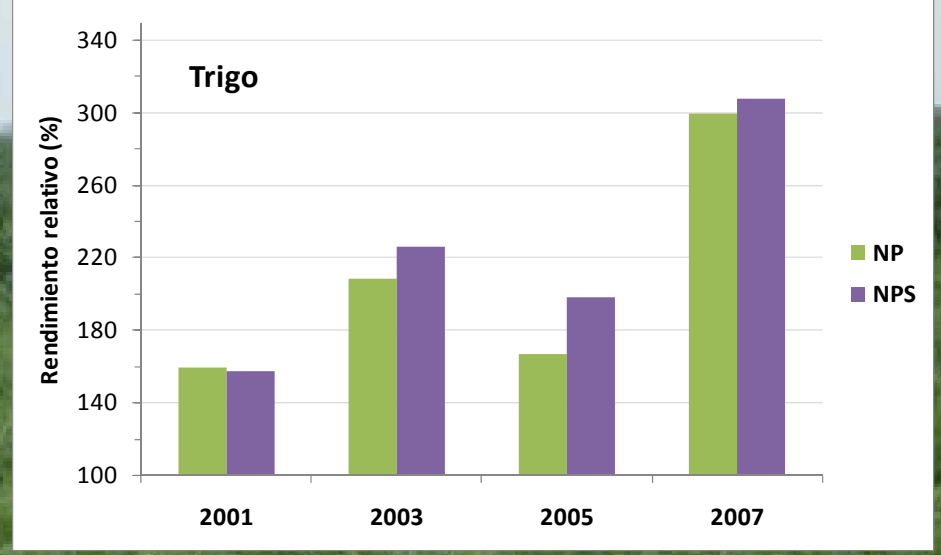
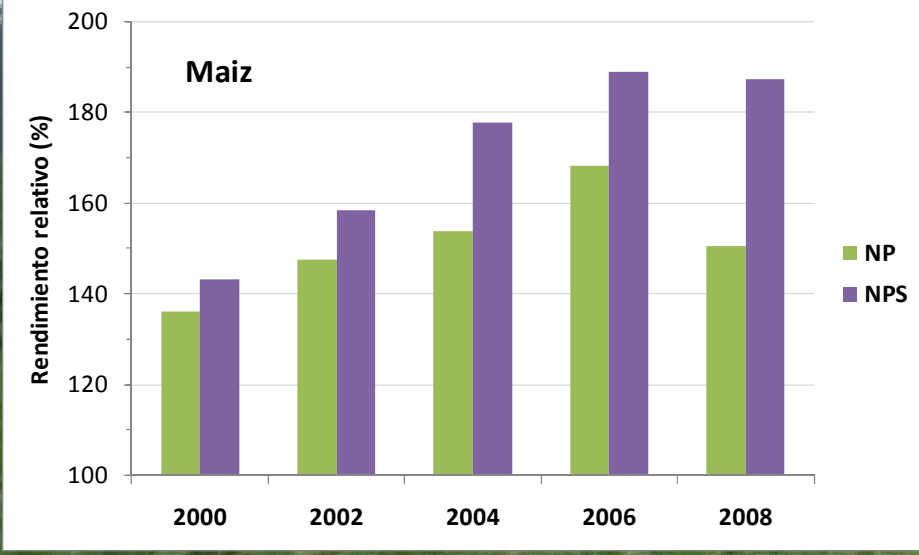
Un pool de **sulfatos** que la planta puede utilizar.

El fertilizante S debe liberarse como **sulfato** y entrar a este pool para estar disponible para las plantas.

El **Sulfato** también es provisto por la mineralización de los otros pools.

La **planta tiene que competir** con otros procesos biológicos, químicos y pérdidas por el **sulfato** disponible.

Till, 2002



Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

Rotación Maíz-Trigo/Soja

Respuestas promedio ultima campaña

Maíz 1803 kg/ha

Trigo 102 kg/ha

Soja 595 kg/ha

Resposta a Azufre en Soja

Don Osvaldo – Camino Aldao, Córdoba – 2006/07

Respuesta a S en Soja I

Zona y Campaña	Sitios con respuesta/Total sitios
Centro-Sur de Santa Fe, 2000/01	8/11
Región Pampeana, 2000/01 y 2001/02	10/47

*De un total de 146 ensayos,
59 sitios mostraron respuestas
significativas (40%)*

Sur de Sta Fe y SE de Córdoba, 2003/04	17/44
Sur de Sta Fe y SE de Córdoba, 2004/05	2/5
Sur de Sta Fe y SE de Córdoba, 2003/04	2/4

Respuesta a Azufre en Soja

Sin S

Con S

Dosis de 10-15 kg S por ha

Respuesta de indiferencia de 50-75 kg/ha de soja

Respuestas de 300 a 800 kg/ha según sitio



Situaciones de deficiencia de azufre

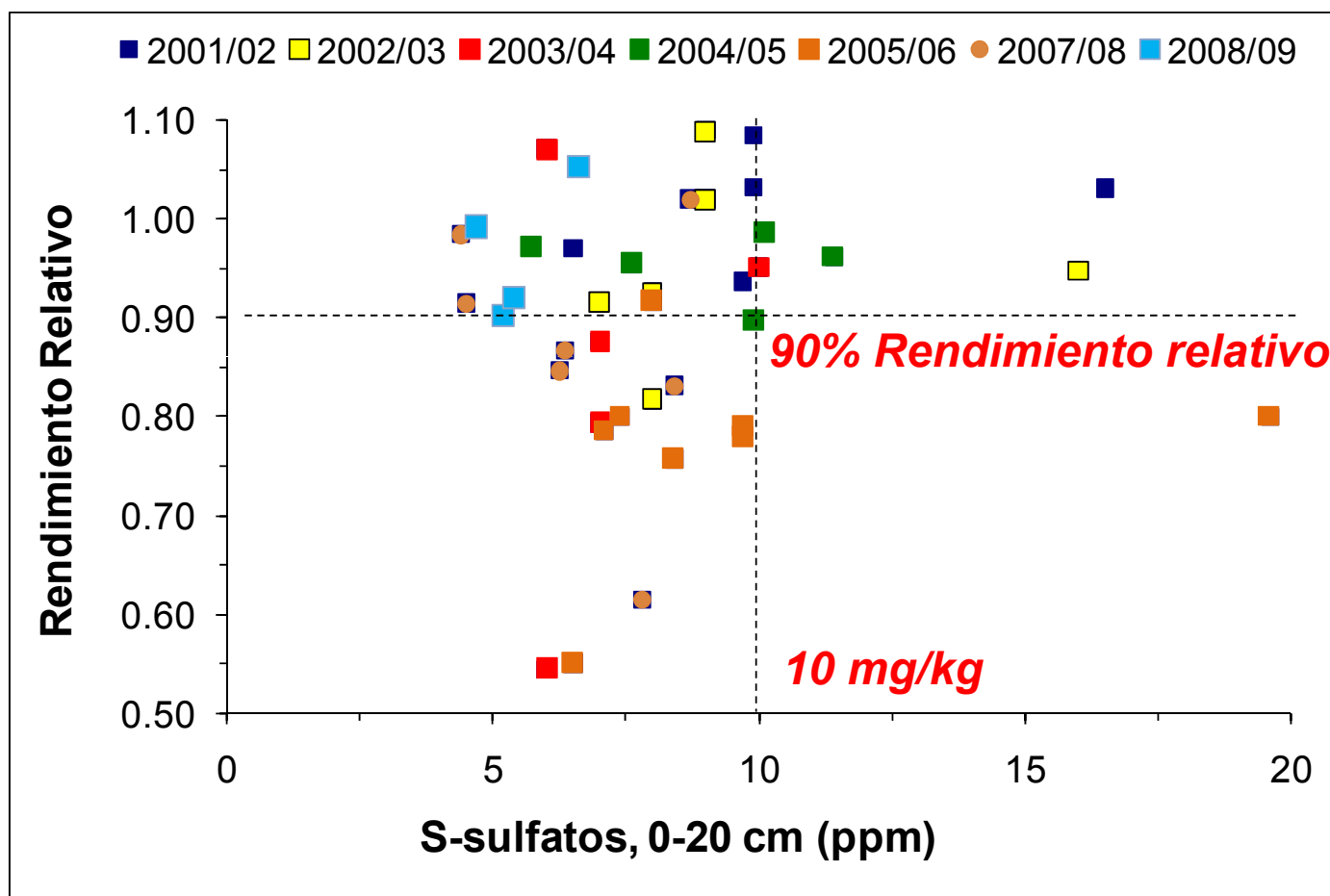
- Suelos con bajo contenido de materia orgánica, suelos arenosos
- Sistemas de cultivo mas intensivos, disminución del contenido de materia orgánica

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

Soja I y II

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

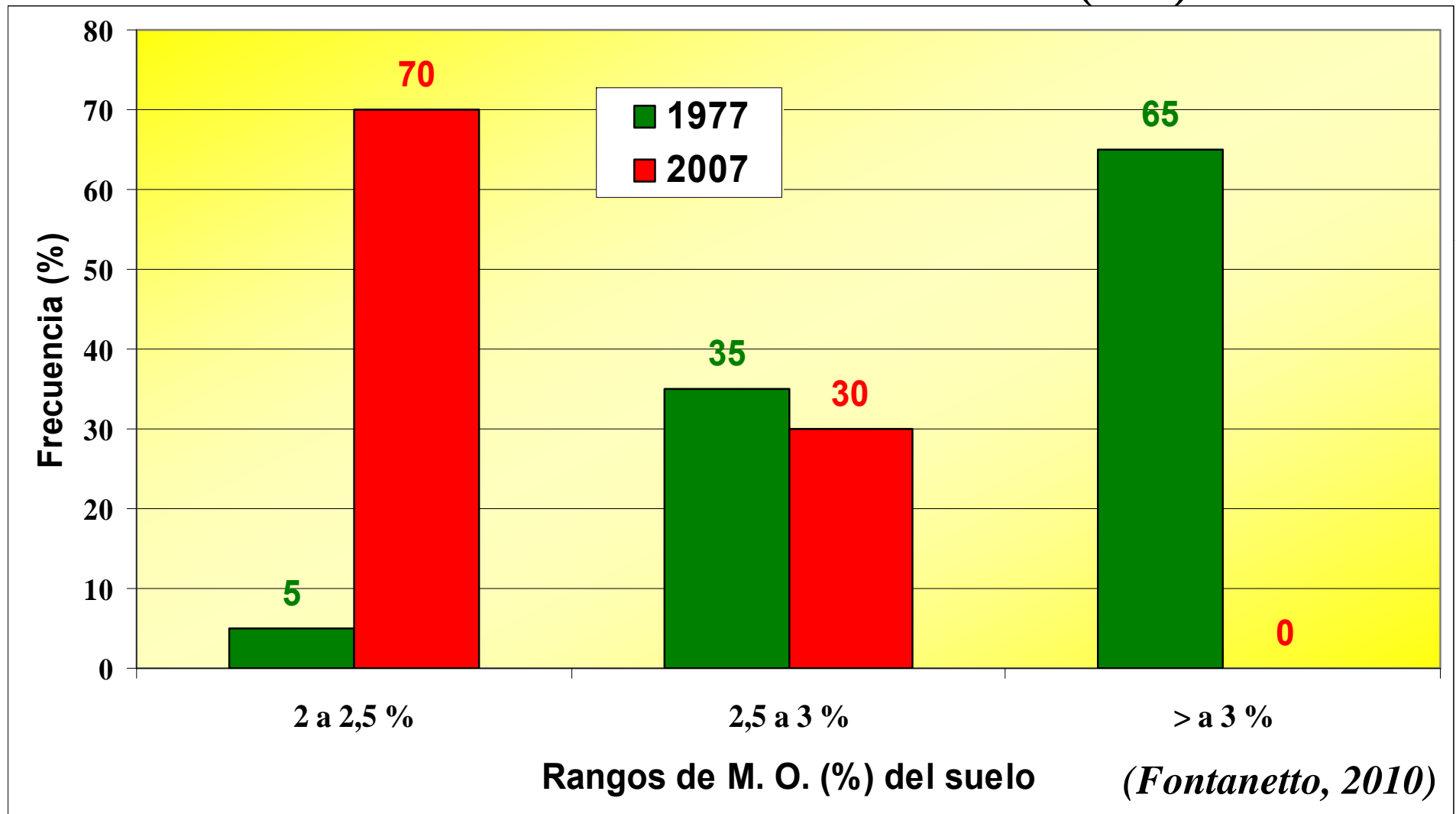


- El 48% de los sitios con S-sulfatos a 0-20 cm a la siembra de la soja de primera o del trigo inferior a 10 mg/kg mostraron respuestas en rendimiento mayores al 10%
- El 80% de los sitios con S-sulfatos mayor a 10 mg/kg, no presentaron respuestas significativas

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

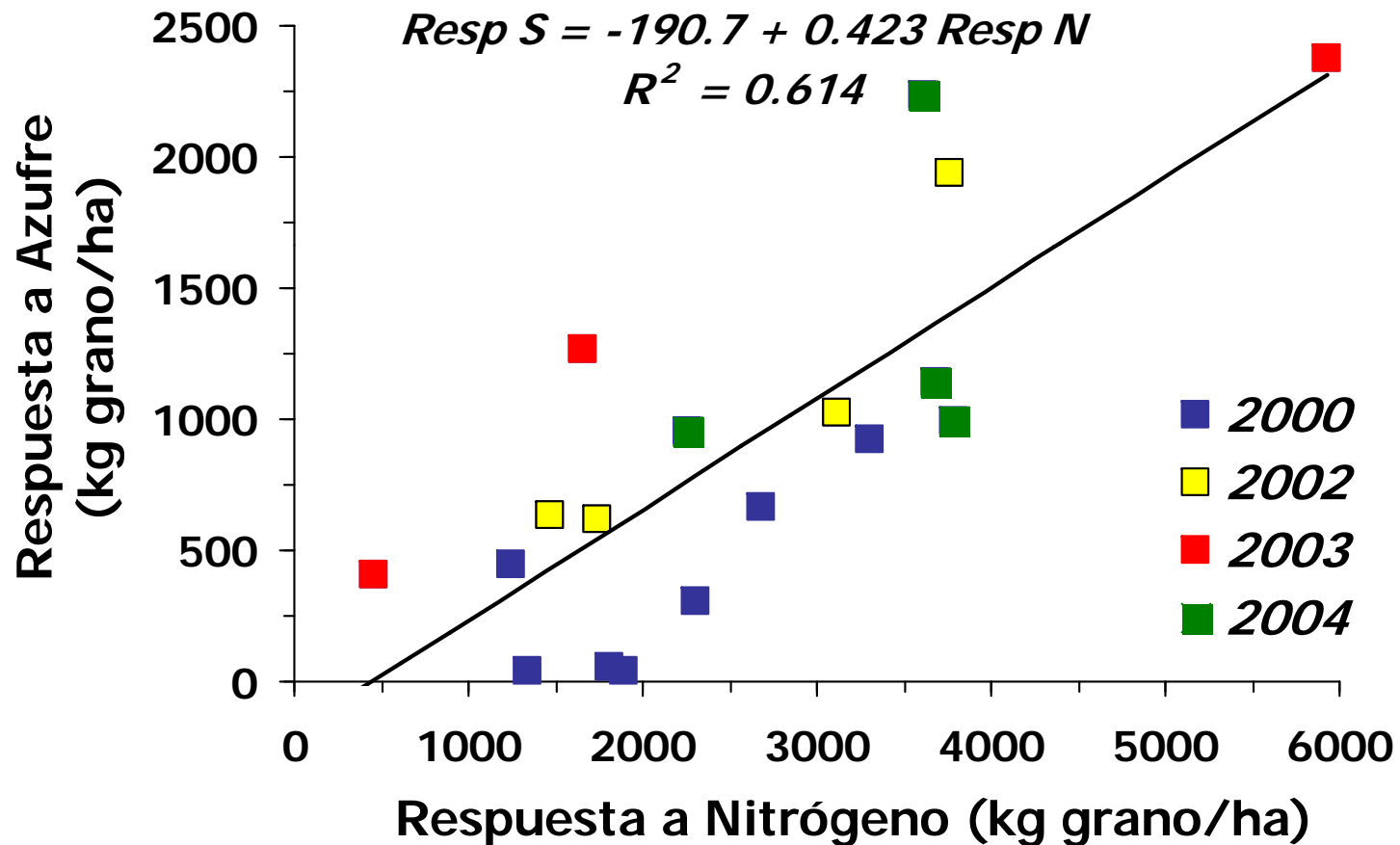
¿Cómo están los suelos en la región central de Santa Fe?

en MATERIA ORGANICA (%)



Maíz Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

Relación entre respuestas a N y S

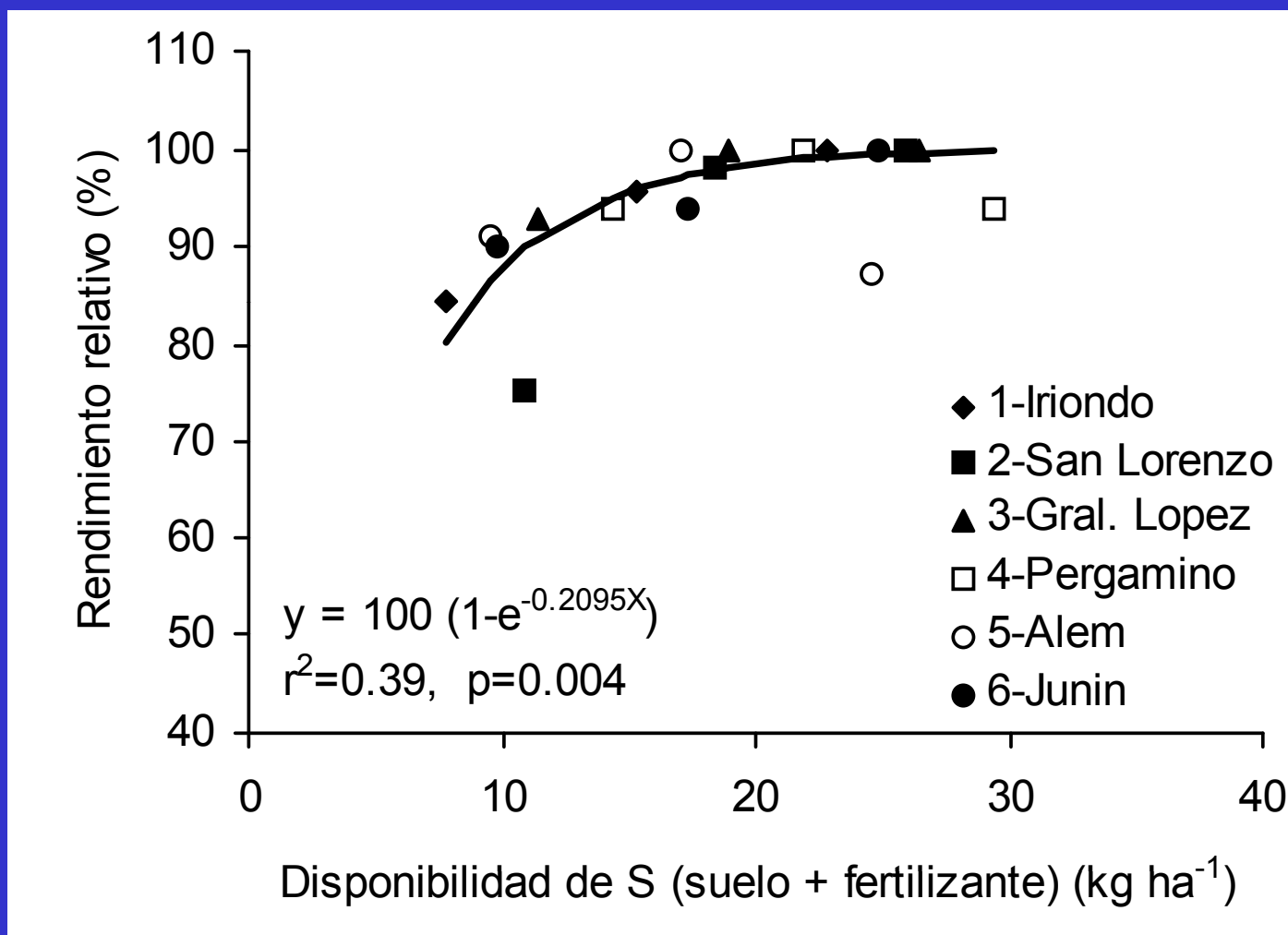


Respuesta a S de 300 kg/ha con respuesta a N de 1160 kg/ha

Soja : Relación Rendimiento Relativo y Disponibilidad de S

6 sitios de Buenos Aires y Santa Fe – 2002/03

Fuente: Ferraris et al. (2004)

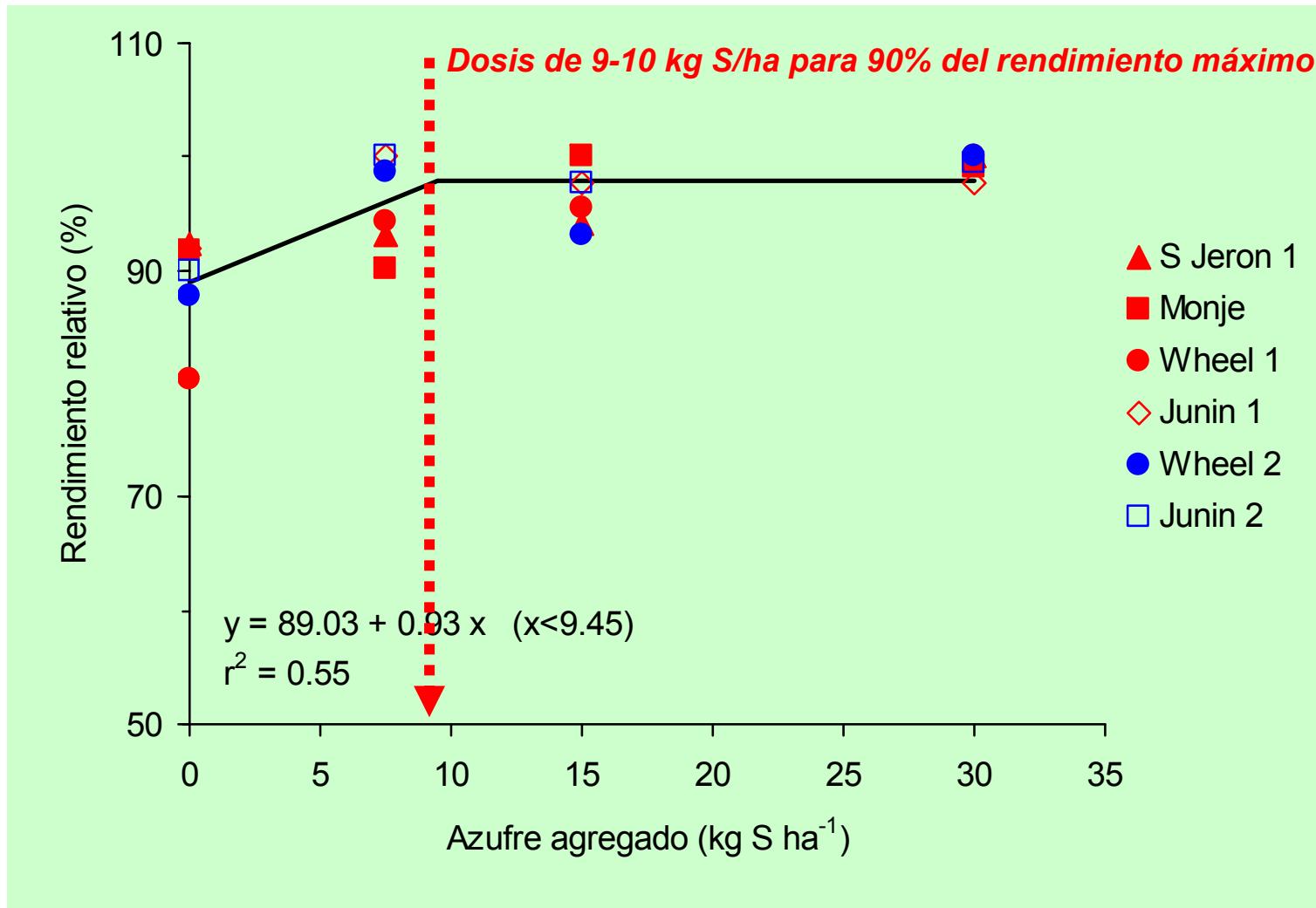


11 kg/ha de S para 90% del rendimiento máximo

FERTILIZACIÓN AZUFRADA EN MAIZ EN LA PAMPA ONDULADA

Ferraris G.; Gutiérrez Boem F.; Prystupa P.; Salvagiotti F.; Couretot L. y Dignani D.

EEA INTA Pergamino – FA (UBA)

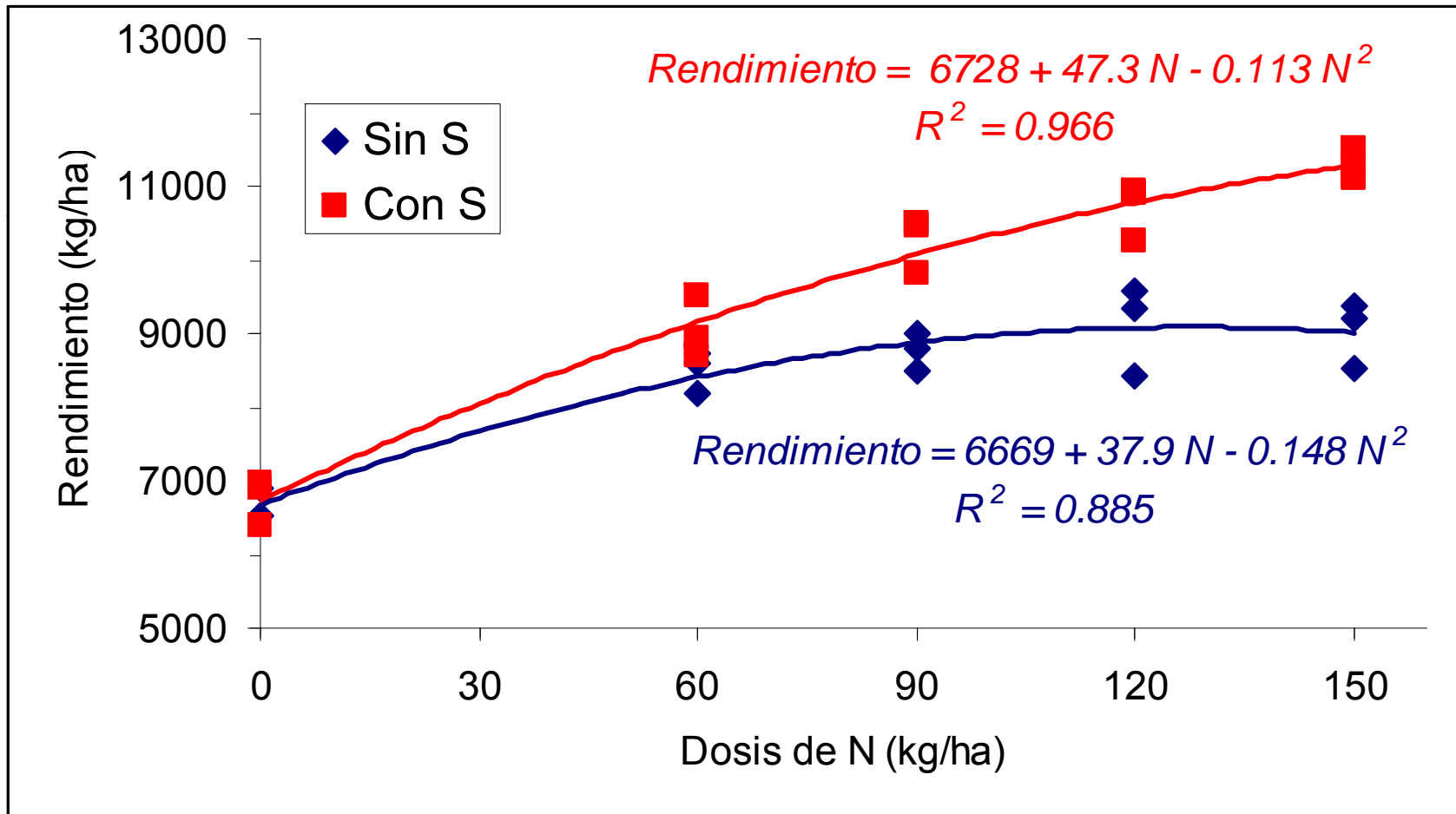


✓ La eficiencia agronómica mínima necesaria para que la fertilización sea económicamente conveniente es de 15 kg maíz por cada kg de S agregado.

✓ Las pendientes de la fase lineal de respuesta de las funciones ajustadas son todas superiores a 25 kg maíz kg S⁻¹, siendo los valores más comunes de alrededor de 120 kg maíz kg S⁻¹

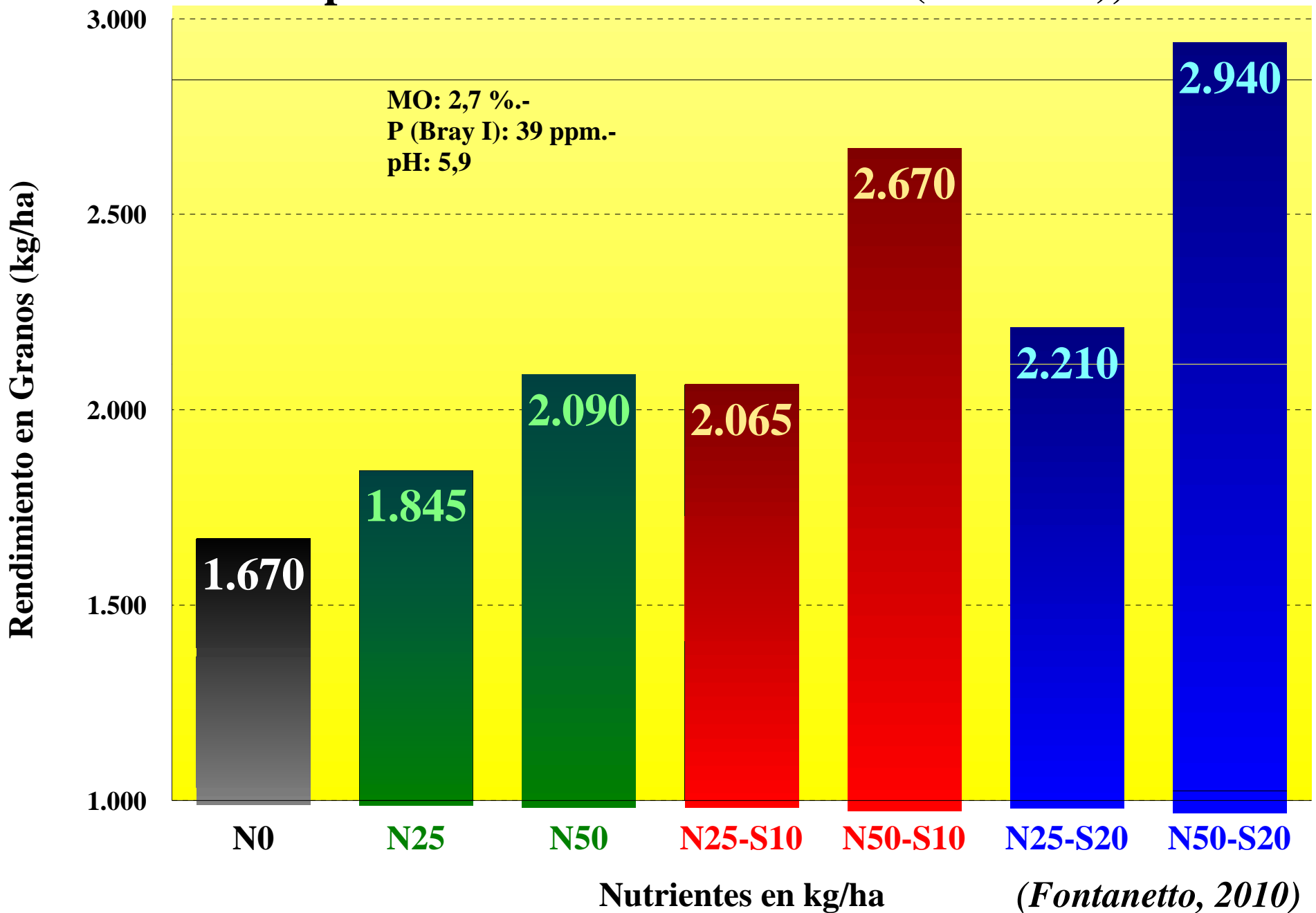
Maíz: Respuesta a N con y sin aplicación de S

Ensayo Correa - Campaña 2001/02
J. Capurro - AER INTA Cañada de Gómez (Santa Fe)



Dosis de 12 kg/ha de S - Base de 20 kg/ha de P

CANOLA: Respuesta a N-P-S. EEA RAfaela (Santa Fe), 2002/03.-





P 15 – N 120 – S 20

N	P	S
0	0	0

P 0 – N 0 – S 0

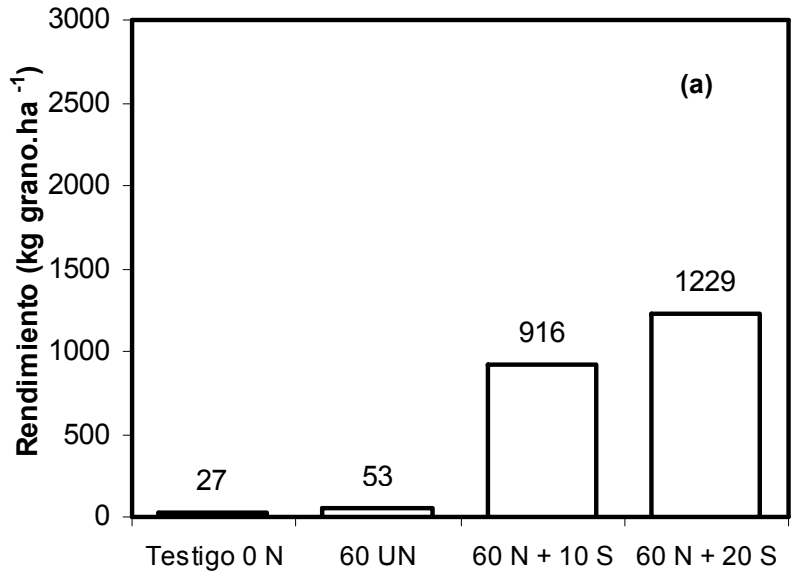
P 15 – N 80 – S 20

(Fontanetto, 2010)

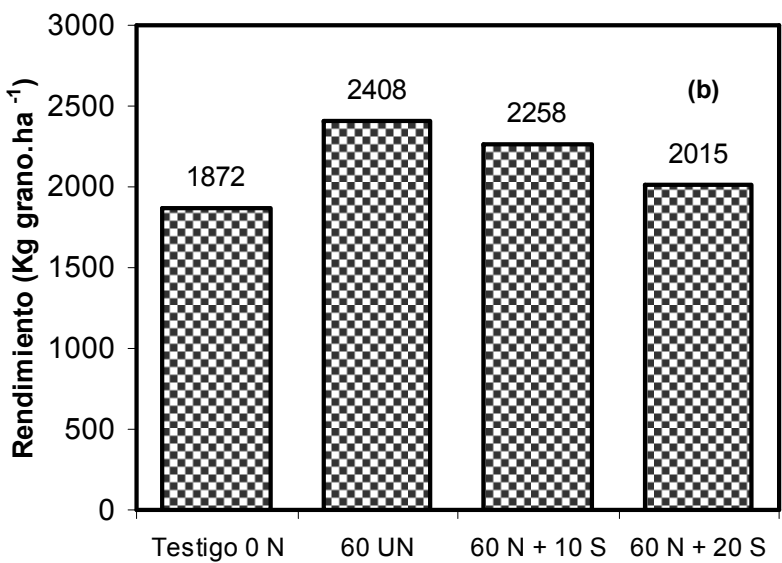
Respuesta a la fertilización con azufre en el cultivo de colza en suelos del litoral norte de Uruguay

Mazzilli y Hoffman (2010)

Colza sin S a la siembra

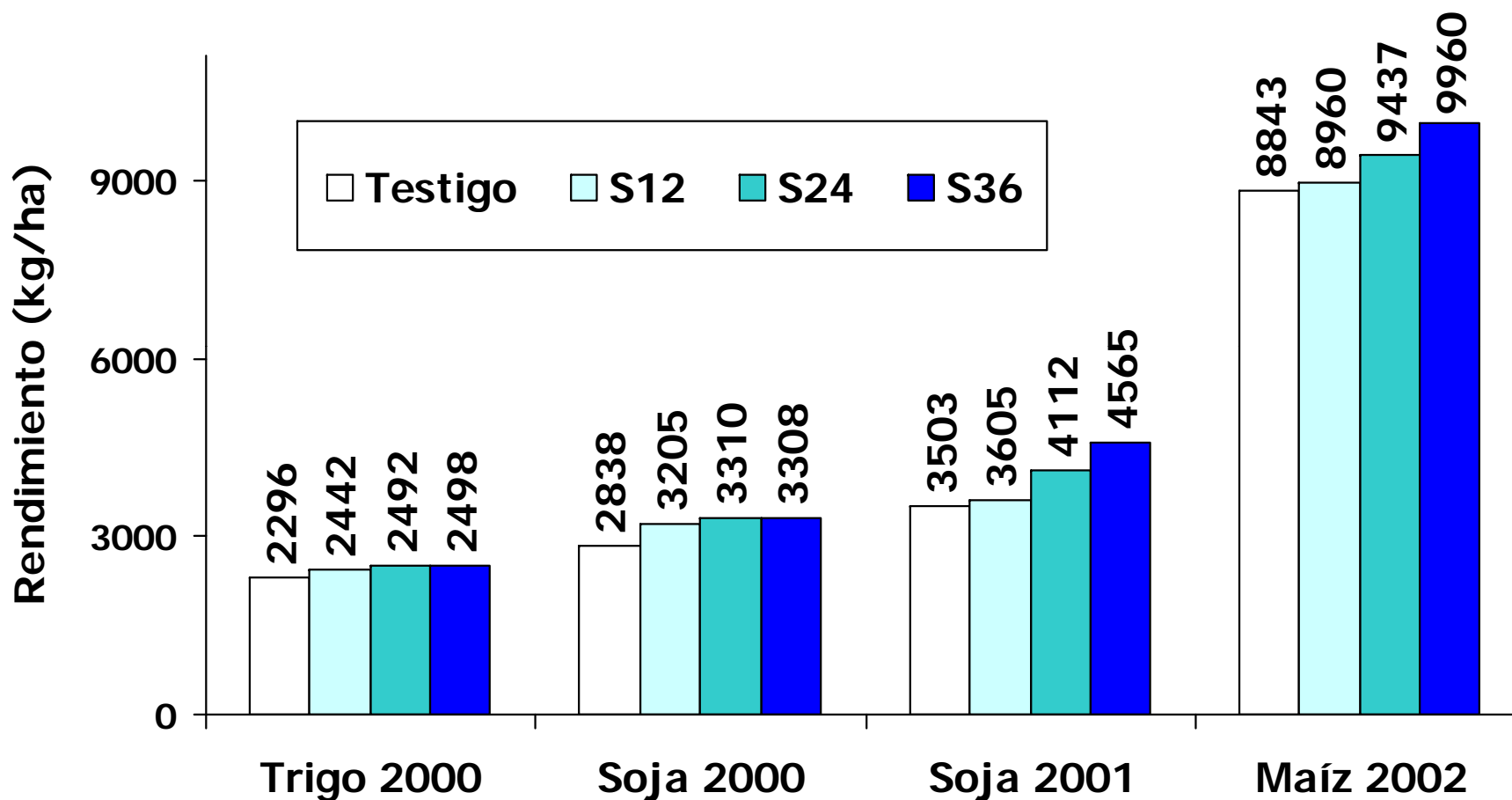


Colza con 20 kg S a la siembra



Residualidad de Azufre

Fontanetto et. (2003) -EEA INTA Rafaela (Santa Fe)



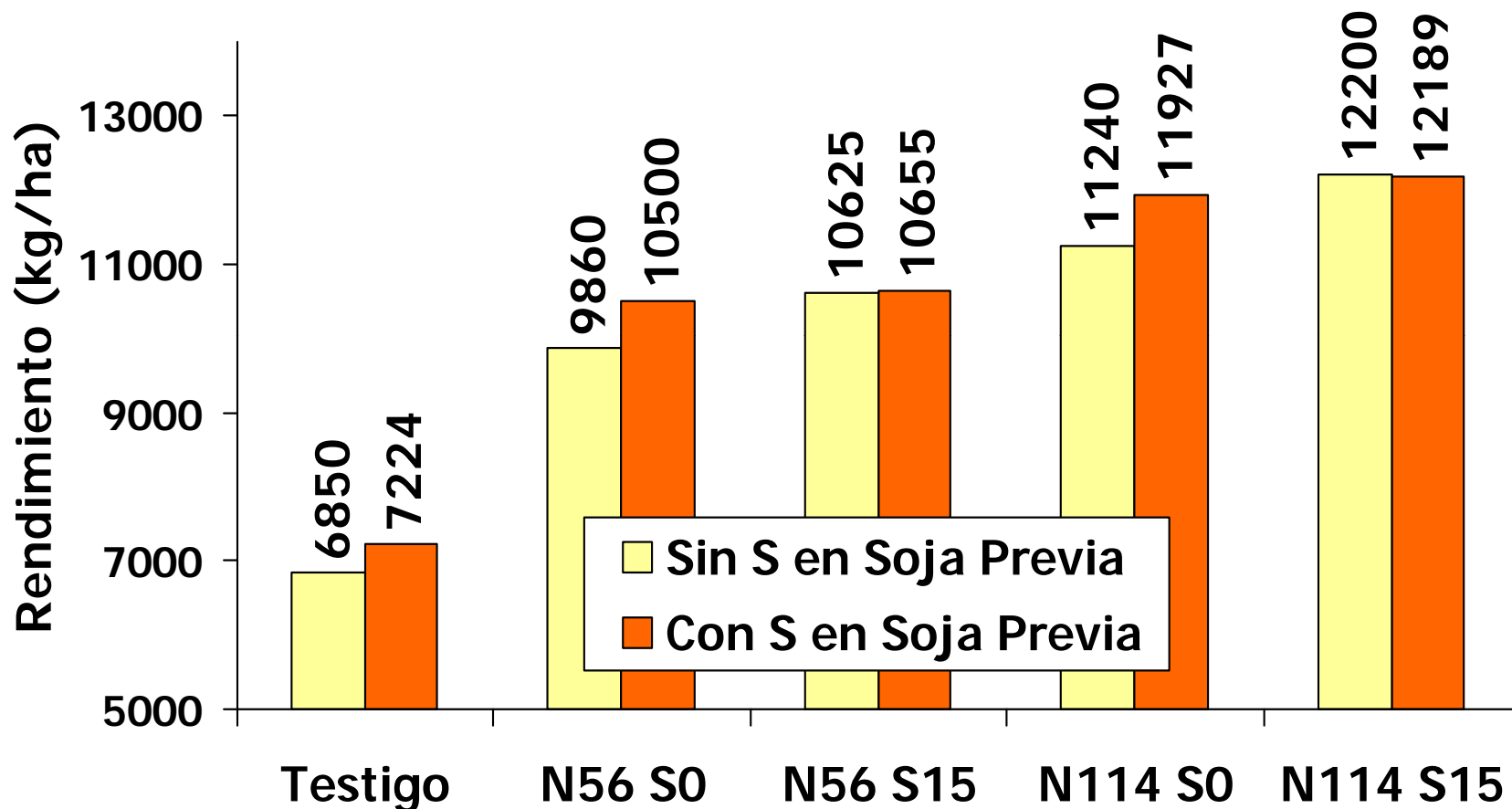
Rotación Trigo/Soja-Soja-Maíz

Suelo Argiudol típico – MO 2.9% - pH 6.2 - S-sulfatos 9.5 ppm

S aplicado a la siembra del Trigo en Junio 2000

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 ₂ O
Sulfonitrato de amonio	14	26 N
Sulfato de magnesio	23	10 Mg
Sulfato de potasio	17-18	50 K ₂ O
Superfosfato simple	12-14	20 P ₂ O ₅
Superfosfato triple	1.5	46 P ₂ O ₅
Tiosulfato de amonio	26	12 N

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE APLICACIÓN DE S

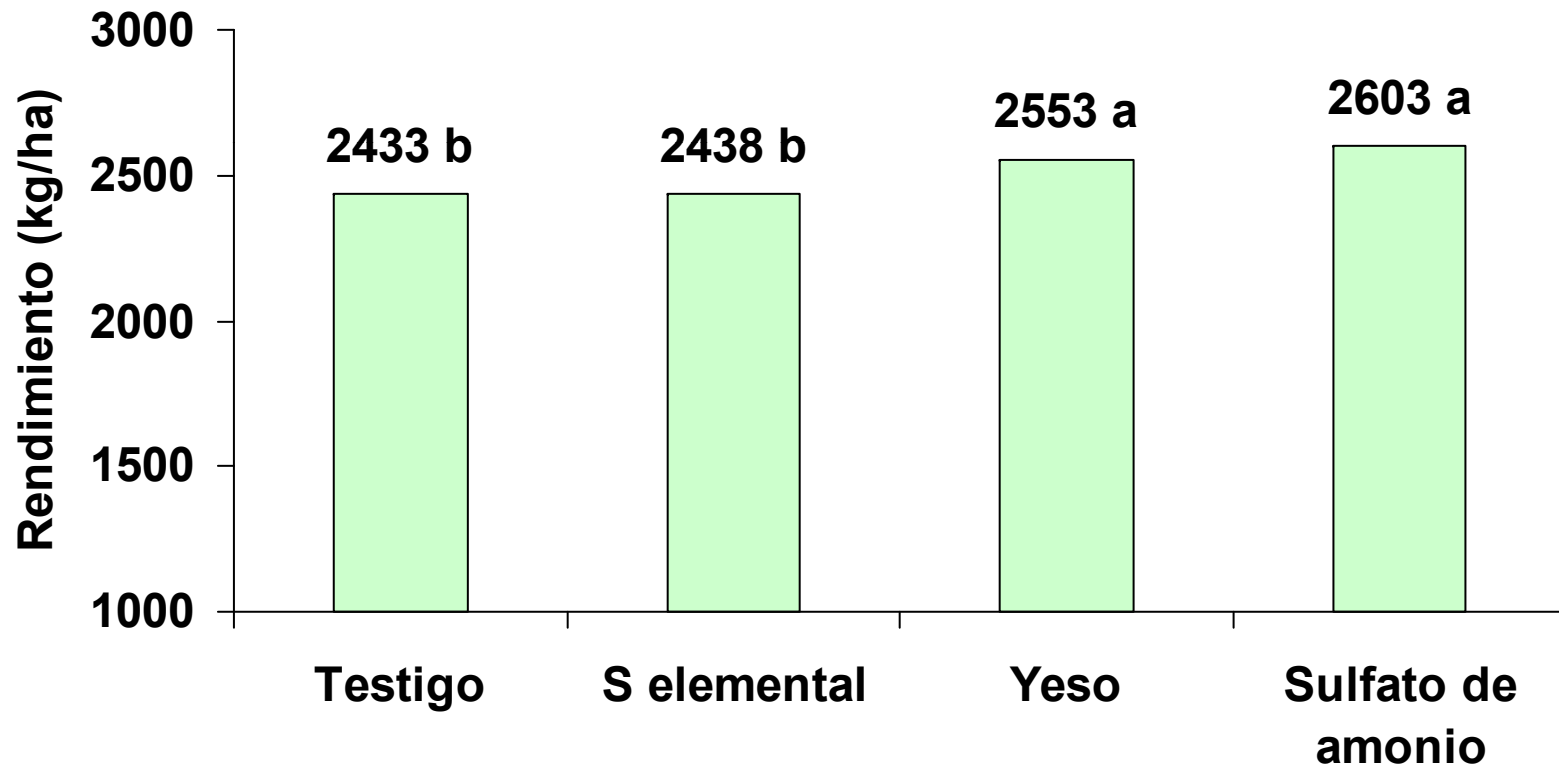


- ❖ Las aplicaciones de S pueden realizarse al voleo o en línea.
- ❖ Las fuentes azufradas que contienen sulfatos presentan similares eficiencias de uso: sulfatos de amonio, potasio, magnesio o magnesio-potasio; superfosfato simple, tiosulfato de amonio.
- ❖ El yeso, de menor solubilidad, debe aplicarse en partículas de tamaño pequeño para permitir un buen contacto con el suelo y facilitar su disolución. Considerar la calidad del yeso a utilizar

Fuentes de Azufre en Soja

Gudelj et al. - EEA INTA Marcos Juárez 1999/00

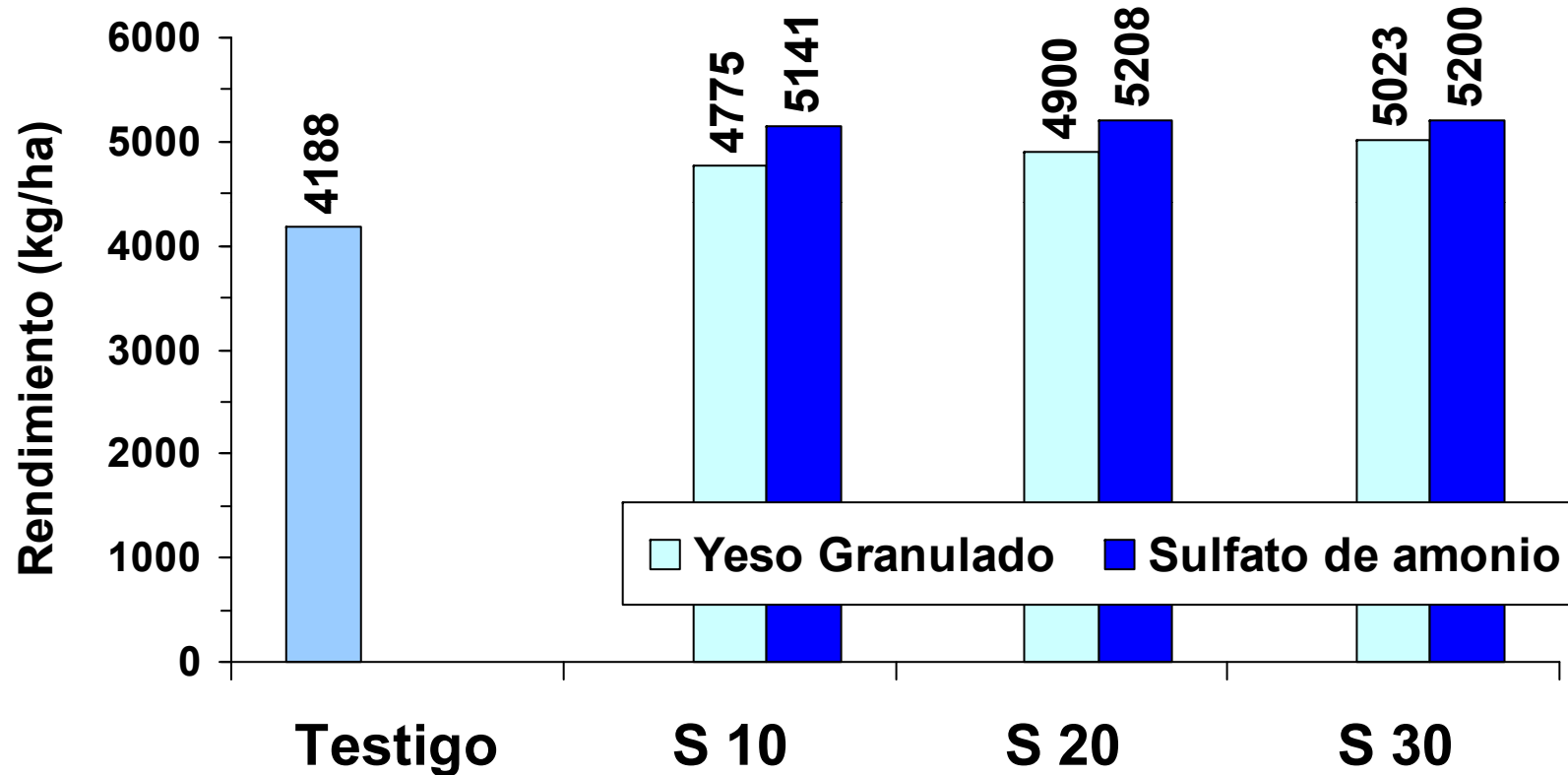
Promedios de LC y SD - Antecesor Trigo
MO 2.4% - pH 6.1 - S-sulfatos 11.6-14.2 ppm



Fuentes de Azufre en Soja

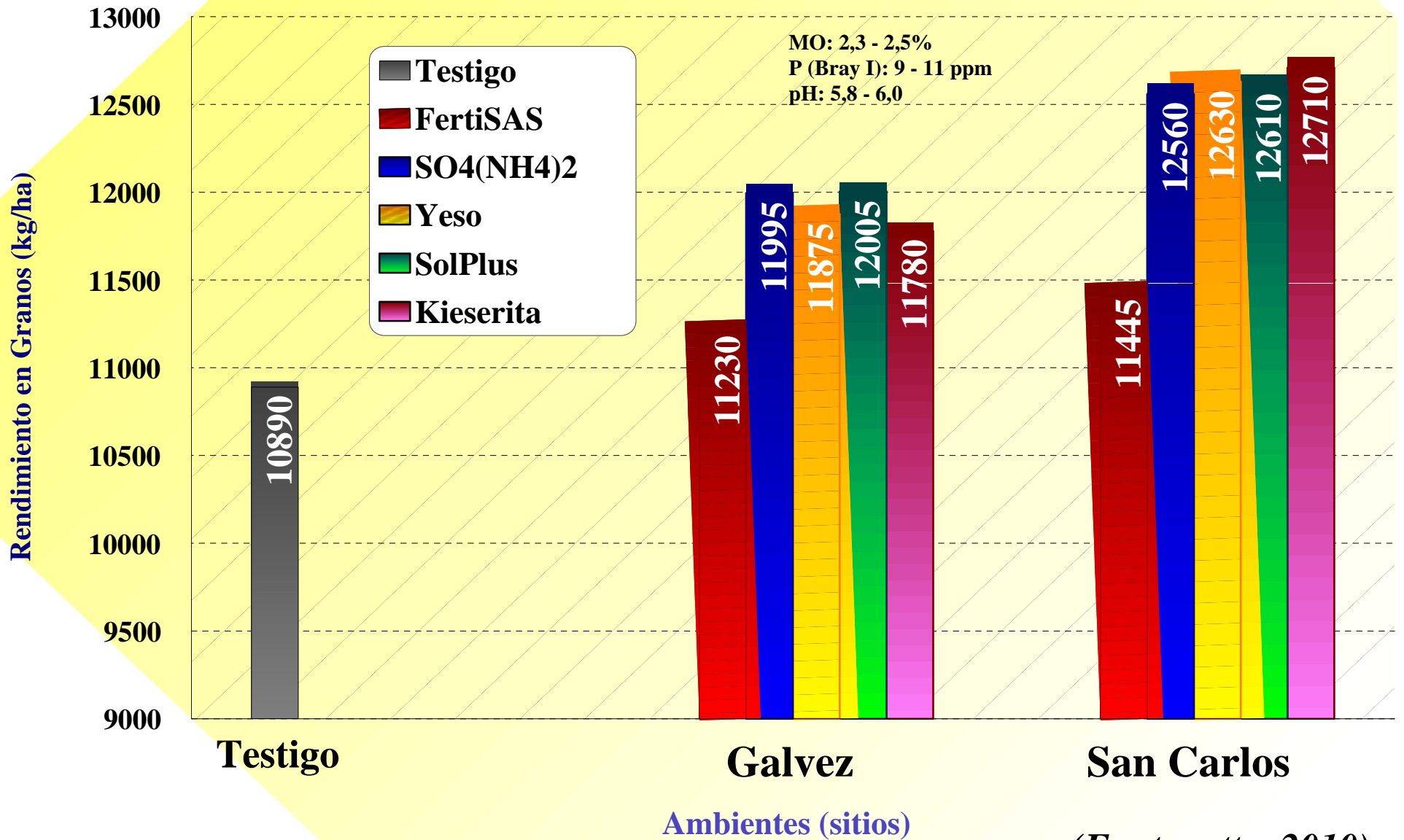
Gambaudo y López - EEA INTA Rafaela 2004/05

MO 2.54% - pH 6.2 - S-sulfatos 8.5 ppm



- **Yeso granulado, 18% S, Tipo I (IRAM, 2006), 90% granulometría entre 2 y 4 mm**
- **Sulfato de amonio, 24% S**

FUENTE



(Fontanetto, 2010)

Corrección de suelos alcalinos y salinos/alcalinos



- No es fácil ni rápido,
- Se debe identificar y corregir las causas del exceso o acumulación de sal y sodio
- Establecer el drenaje interno del suelo
- El exceso de sodio debe ser reemplazado

- **Agregar yeso (sulfato de calcio)**
 - Se disuelve lentamente y el calcio reemplaza al sodio en el complejo de intercambio, y el sodio es lixiviado de la zona radicular
 - La aplicación de yeso es efectiva sólo en suelos sódicos, no así en suelos salinos

- **Acido sulfúrico y Azufre elemental puede solamente utilizarse para corregir suelos alcalinos si contienen carbonato de calcio libre**
 - El azufre elemental se convierte en ácido sulfúrico por los microorganismos del suelo, el cual reacciona con el carbonato de calcio y forma sulfato de calcio

Corrección de suelos alcalinos

Aplicación de Yeso

- **Enmiendas para suelos alcalinos**
- Los suelos alcalinos son tratados con aplicaciones de yeso. La cantidad de producto a aplicar está directamente relacionada con la cantidad de Na que debe ser desplazado y se podría calcular de la siguiente manera:

$$\text{Ca de yeso a aplicar (cmol}_c \text{ / kg)} = \frac{\text{CIC (PSI inicial – PSI final)}}{100}$$

- El valor de PSI final, es el que uno desea alcanzar con posterioridad de la aplicación de la práctica de manejo de corrección, considerado comúnmente en el valor 10.



Ejemplo, para un suelo de PSI inicial = 30 y CIC = 25 cmol_c/kg

$$\text{Ca de yeso (cmol}_c\text{/kg)} = \frac{25 * (30-10)}{100} = 5 \text{ cmol}_c\text{/kg}$$

1 cmol_c de Ca de yeso = 870 mg de yeso (22-23% Ca)

- Considerando una profundidad de corrección de 20 cm., en una ha de superficie, el Peso de la Capa Arable (PCA) sería:

$$\text{PCA} = \text{Profundidad (m)} * \text{Superficie (m}^2\text{)} * \text{Densidad (ton/m}^3\text{)} = 2600 \text{ ton/ha}$$

La cantidad de yeso teórica requerida para esta profundidad:

Requerimiento de yeso (ton/ha)=

$$\text{Ca de yeso requerido (cmol}_c\text{/kg)} * \text{PCA (ton/ha)} * 870 \text{ cmol/kg yeso} * 10^{-6} = 11.3 \text{ tn/ha}$$

- Se debe tener en cuenta que en términos generales, el yeso no es 100% puro, o sea presenta impurezas y la eficiencia de reemplazo de Na (sodio) por Ca no es del 100%. Se ha demostrado que en términos generales, la eficiencia del yeso es sólo de 60-75% en el reemplazo del Na intercambiable, por lo cual se debería tener en consideración estos aspectos para realizar el ajuste conveniente en cada situación.

Acumular materia seca en el lote reduce el impacto de salinidad y sodicidad

Uruguay

Exploración de deficiencias de K en maíz y sorgo en la región oeste



Problemas detectados en 2005/06

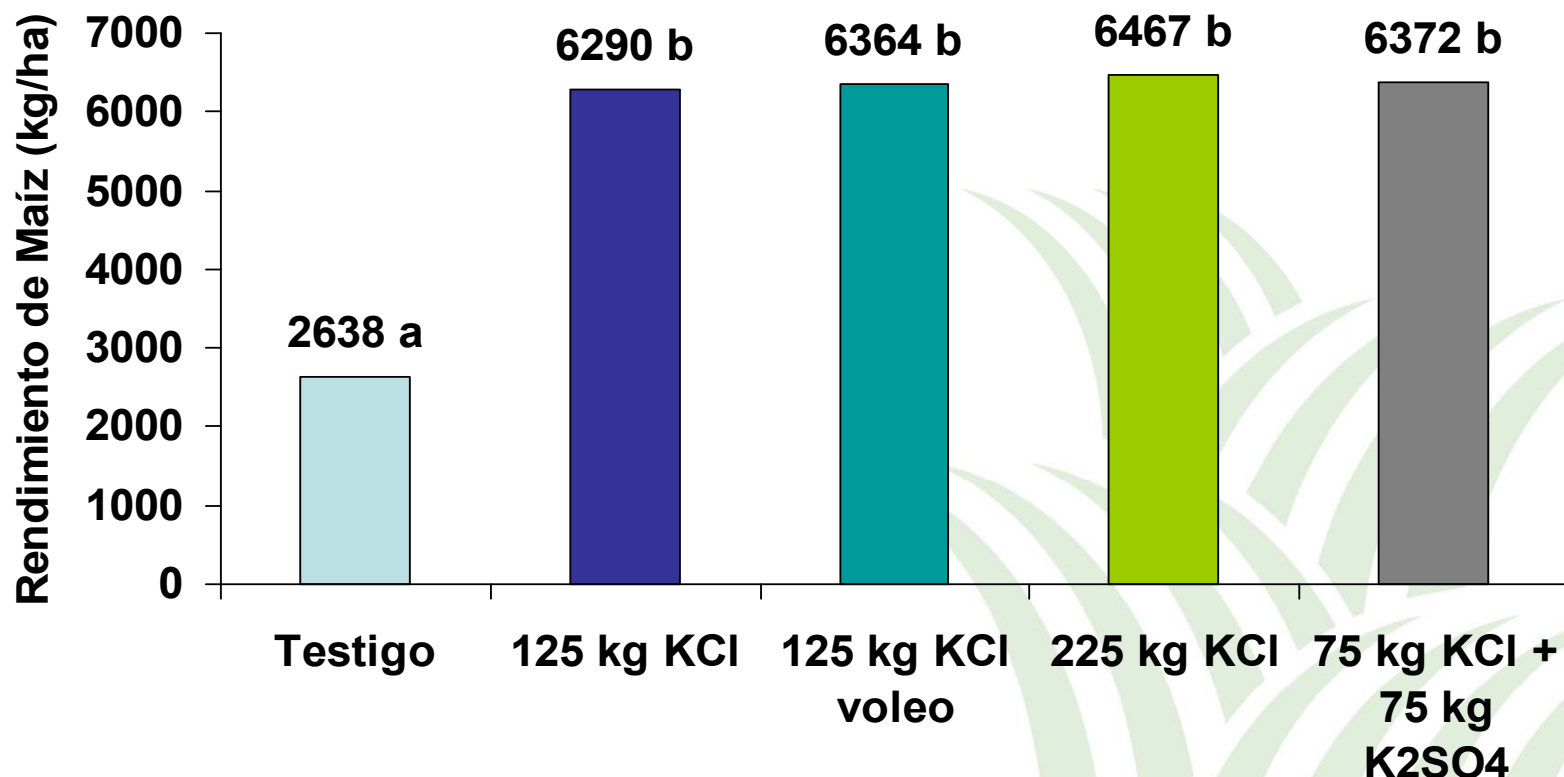


*Ensayo en 2006/07
en V. Constitución (Salto)*



Ensayo K en Maíz

Va. Constitución (Uruguay) - Campaña 2006/07
Cano y Ernst – Facultad de Agronomía (UdelaR)

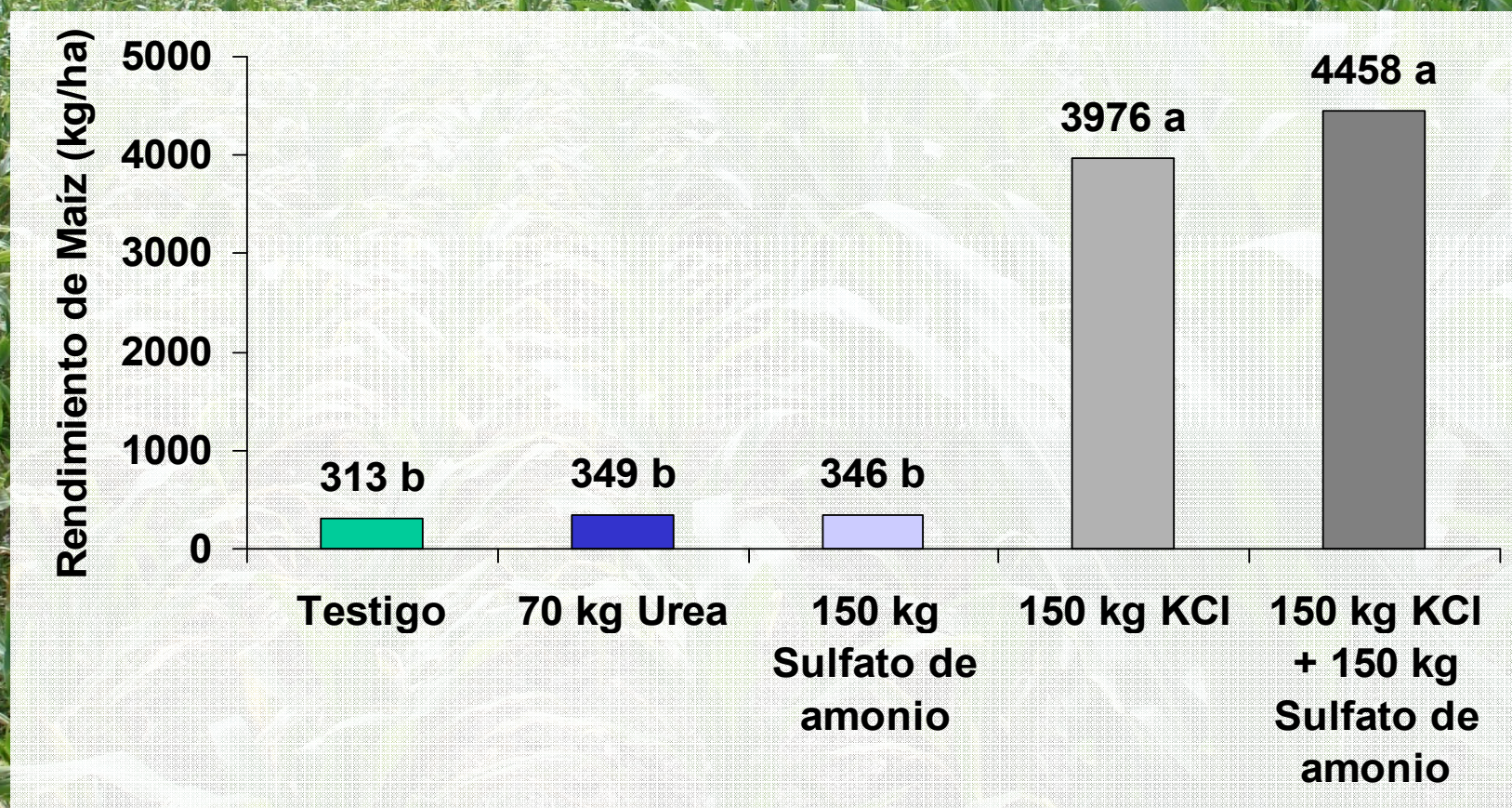


- *Análisis de suelo K int. 0.15 cmol/kg*
- *Fecha de siembra: 12/10/06.*
- *Híbrido: Mass 504 MGCL.*
- *Fertilización de base de 150 kg (12-52) al voleo.*



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

(La Macarena)



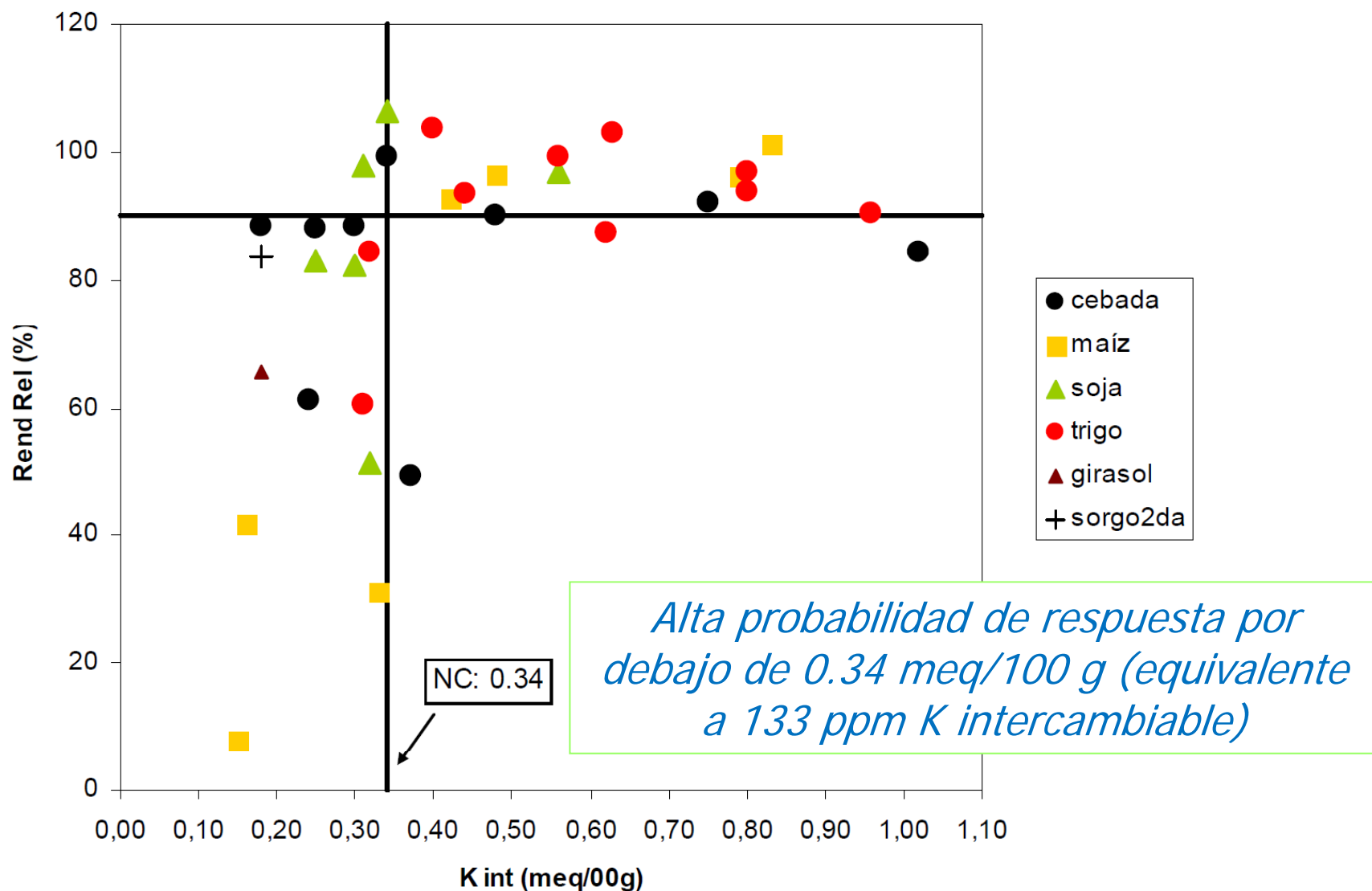
Deficiencias de Potasio en Soja
Est. La Macarena, Young (Uruguay)
(2007/08)



Calibración para Potasio en Uruguay

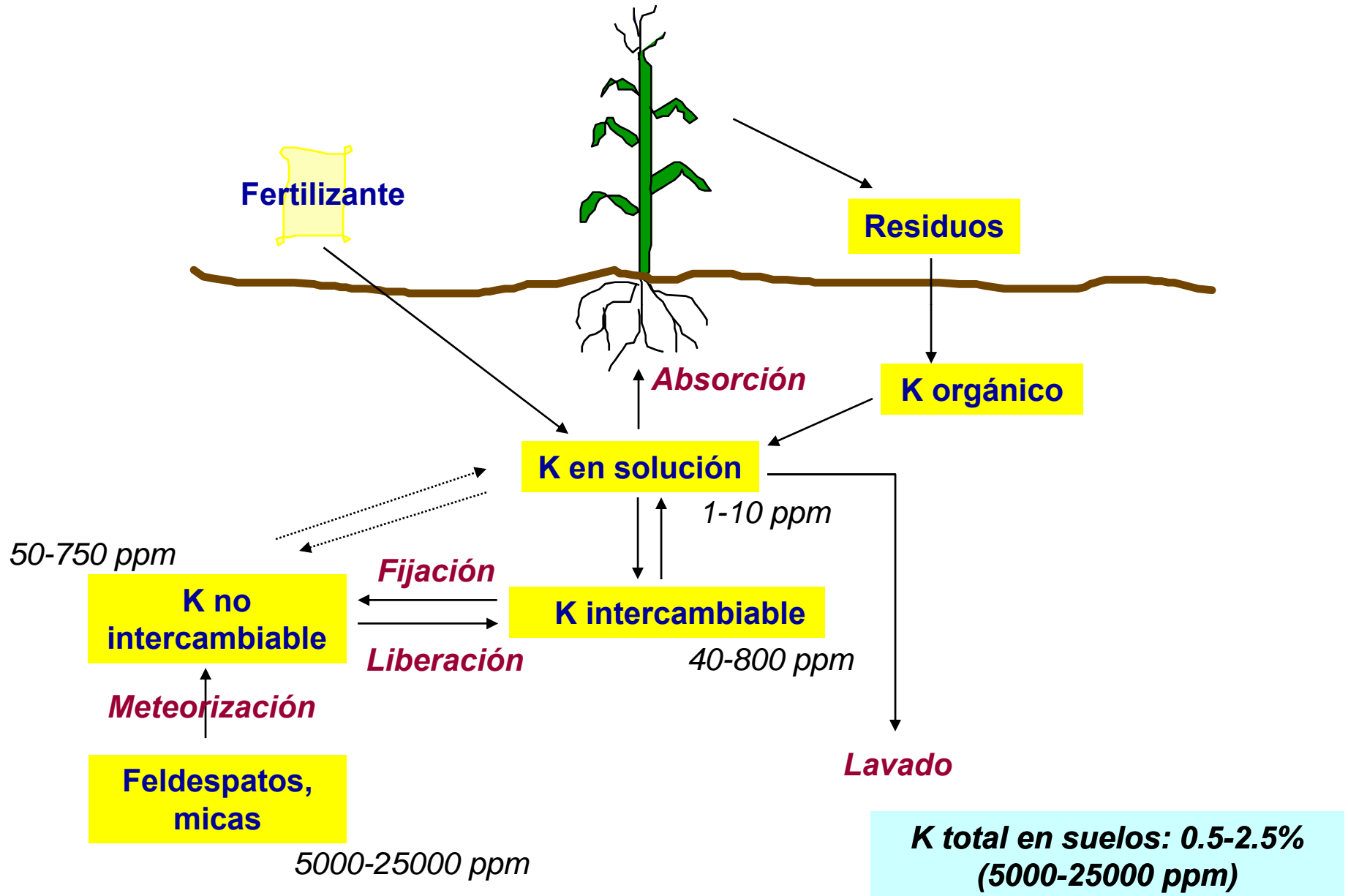
Barbazán (2009)

a partir de información de 34 ensayos de Bautes y Beux; Garcia y Quincke; y Cano y col.



Ciclo del potasio en ecosistemas agrícolas

(Adaptado de Havlin et al., 1999)



Potasio

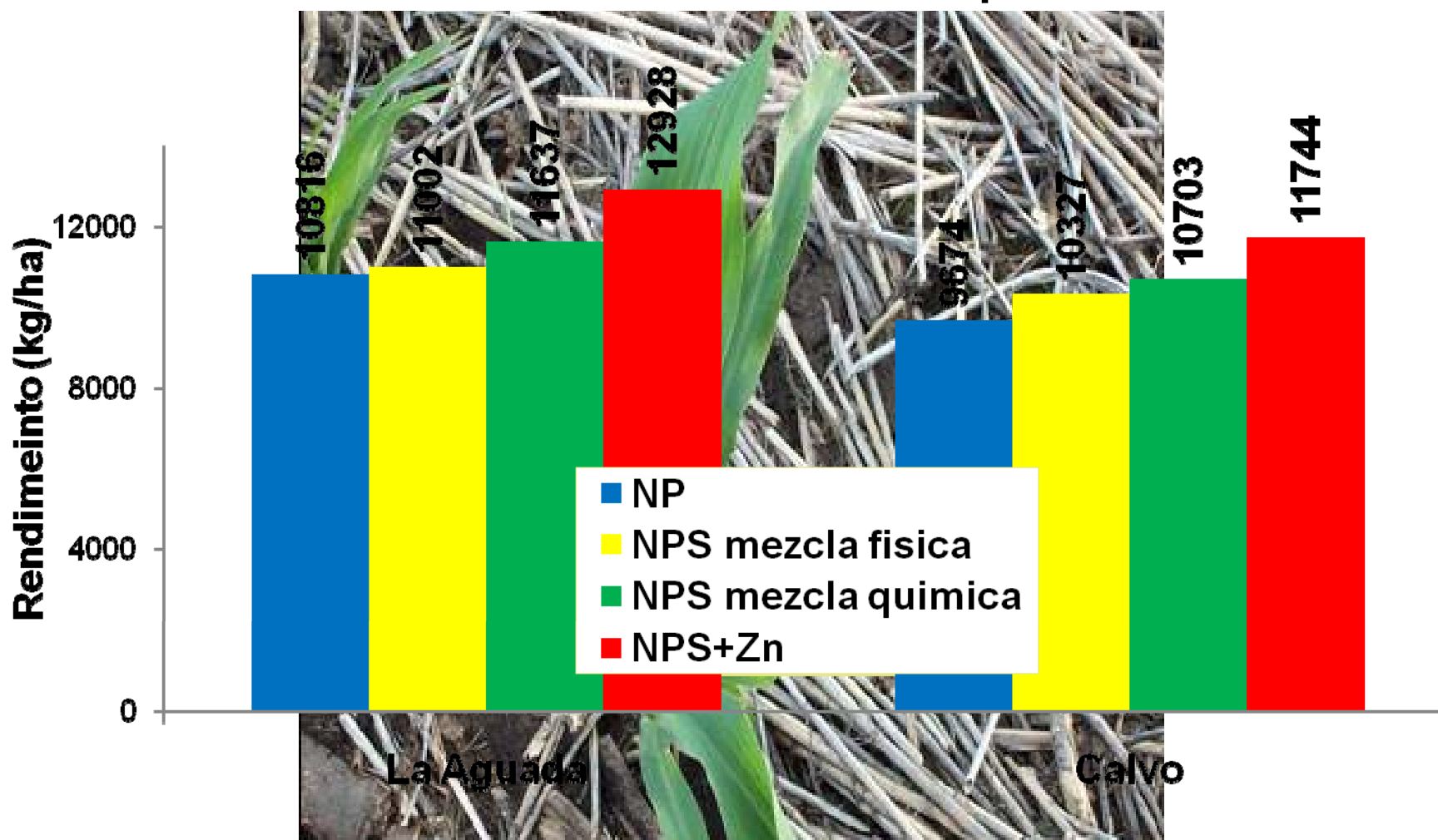
Requerimientos de los cultivos

Cultivo	Absorción	Indice de Cosecha	Extracción
	kg K/ton		kg K/ton
Soja	35	0.49	17
Trigo	17	0.21	3.5
Maíz	17	0.21	3.5
Girasol	26	0.19	5.1
Caña de Azúcar	5.5		
Alfalfa	21		

Zinc en Maíz



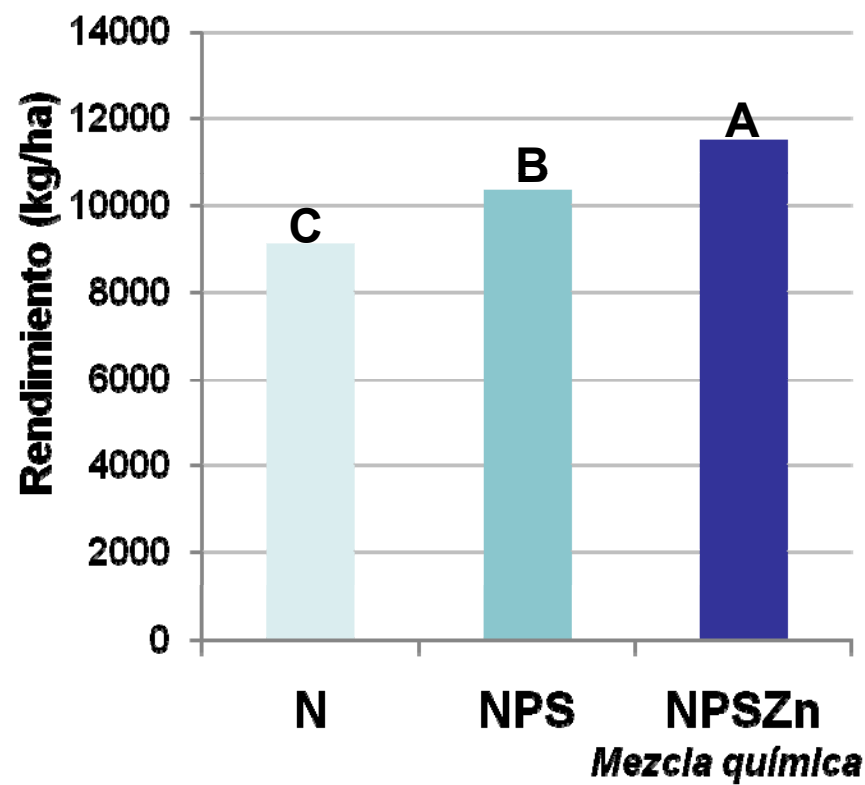
Universidad Nac. Rio Cuarto/Mosaic – Campaña 2007/08



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

Zinc en Maíz

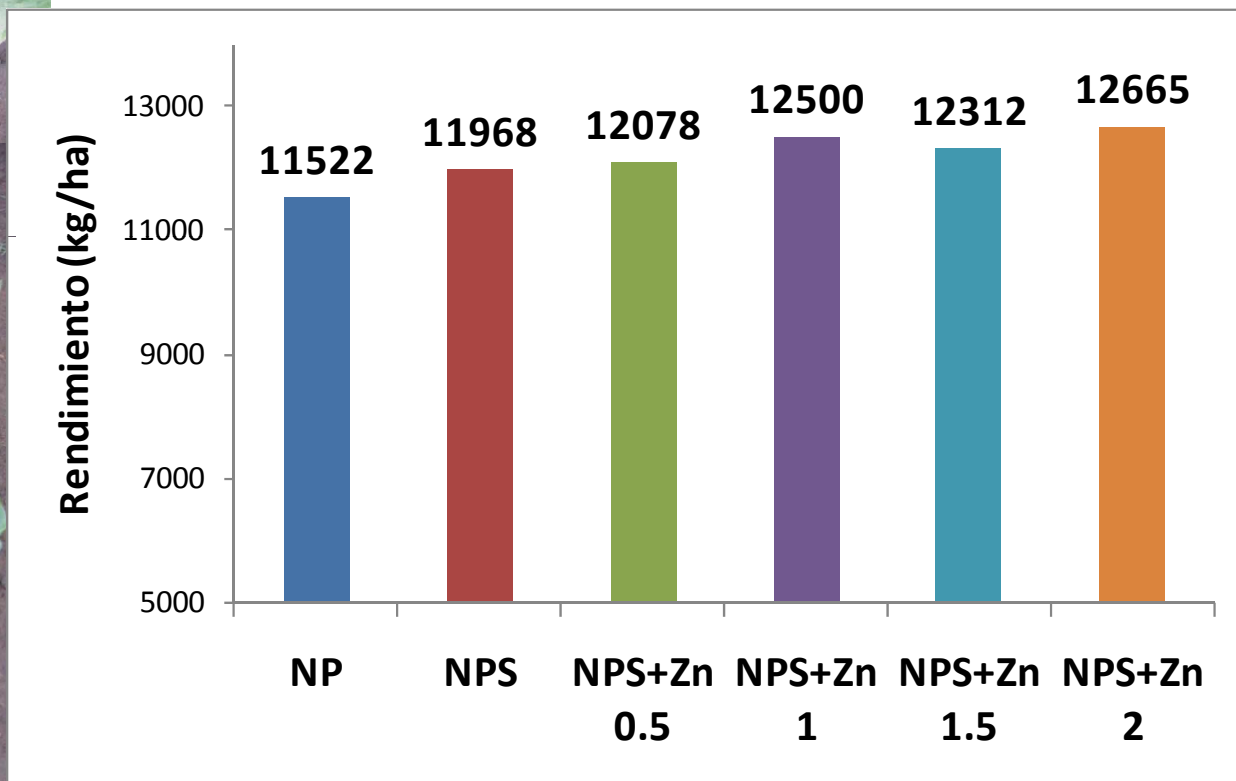
Promedios de seis ensayos en Rio Cuarto-Chaján (Córdoba) y Pellegrini-San Justo (Santa Fe) Campañas 2007/08 y 2008/09



Fuente: Mosaic-Universidad de Rio Cuarto-INTA Rafaela

Zinc en Maíz

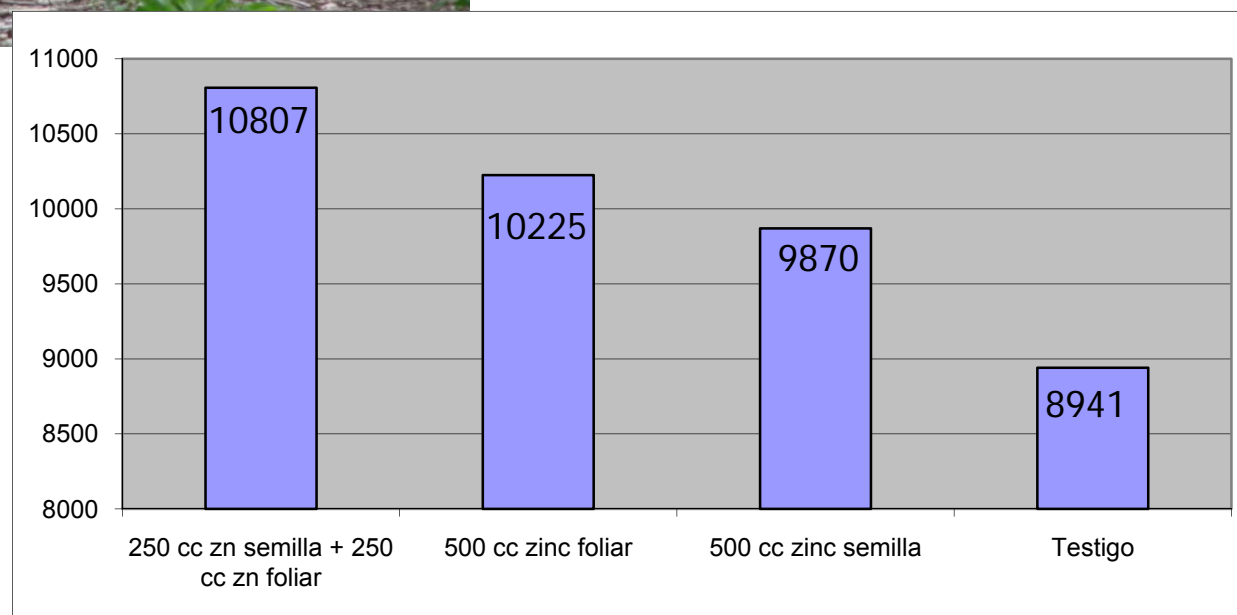
*Promedios de seis ensayos en Córdoba, Buenos Aires y Santa Fe
Campaña 2009/10*



Fuente: Mosaic-IPNI

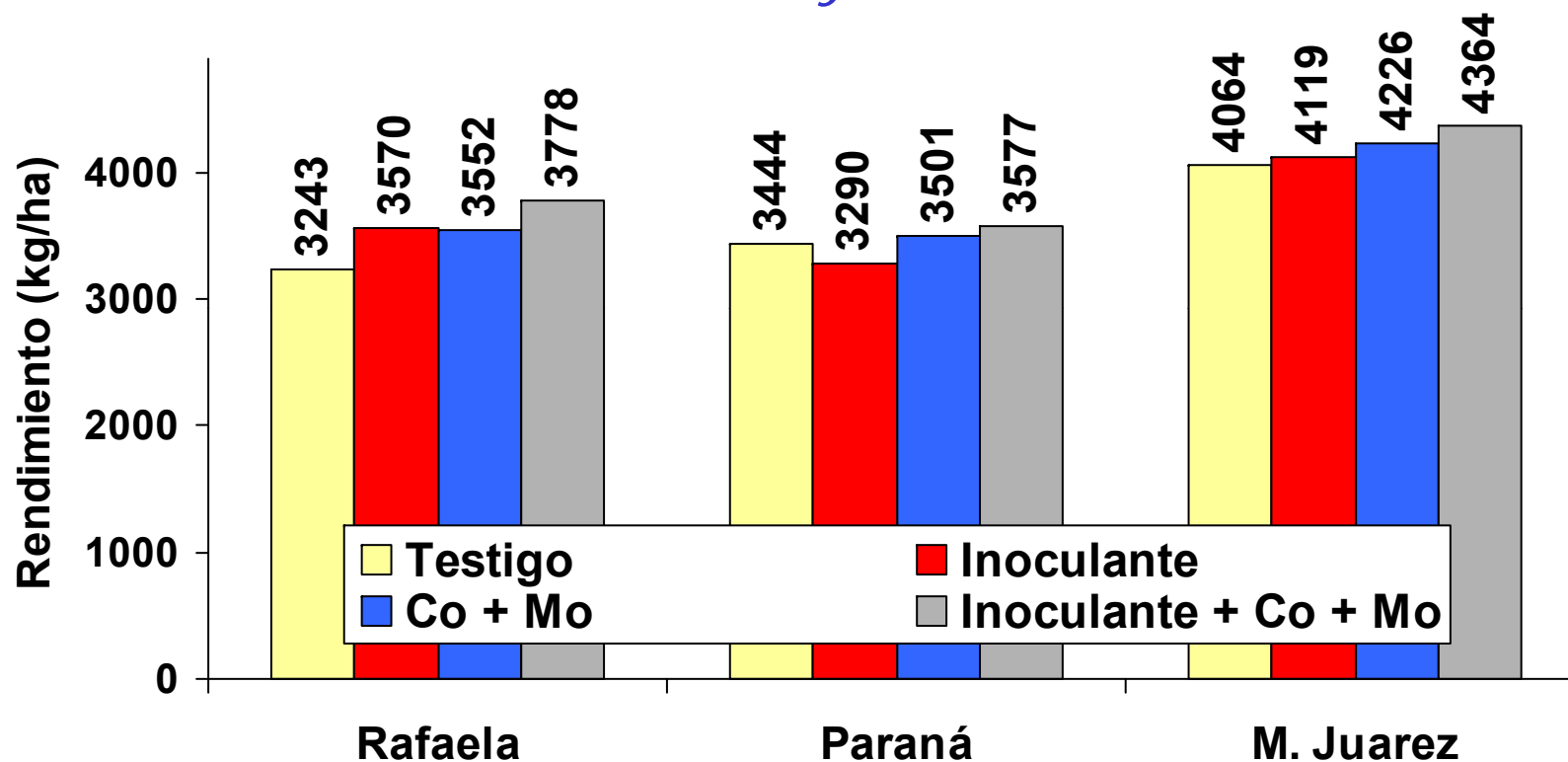
Zinc en Maíz en Bolívar

INTA-ASP Bolívar – Campaña 2009/10



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

Boro Foliar en Soja de Segunda

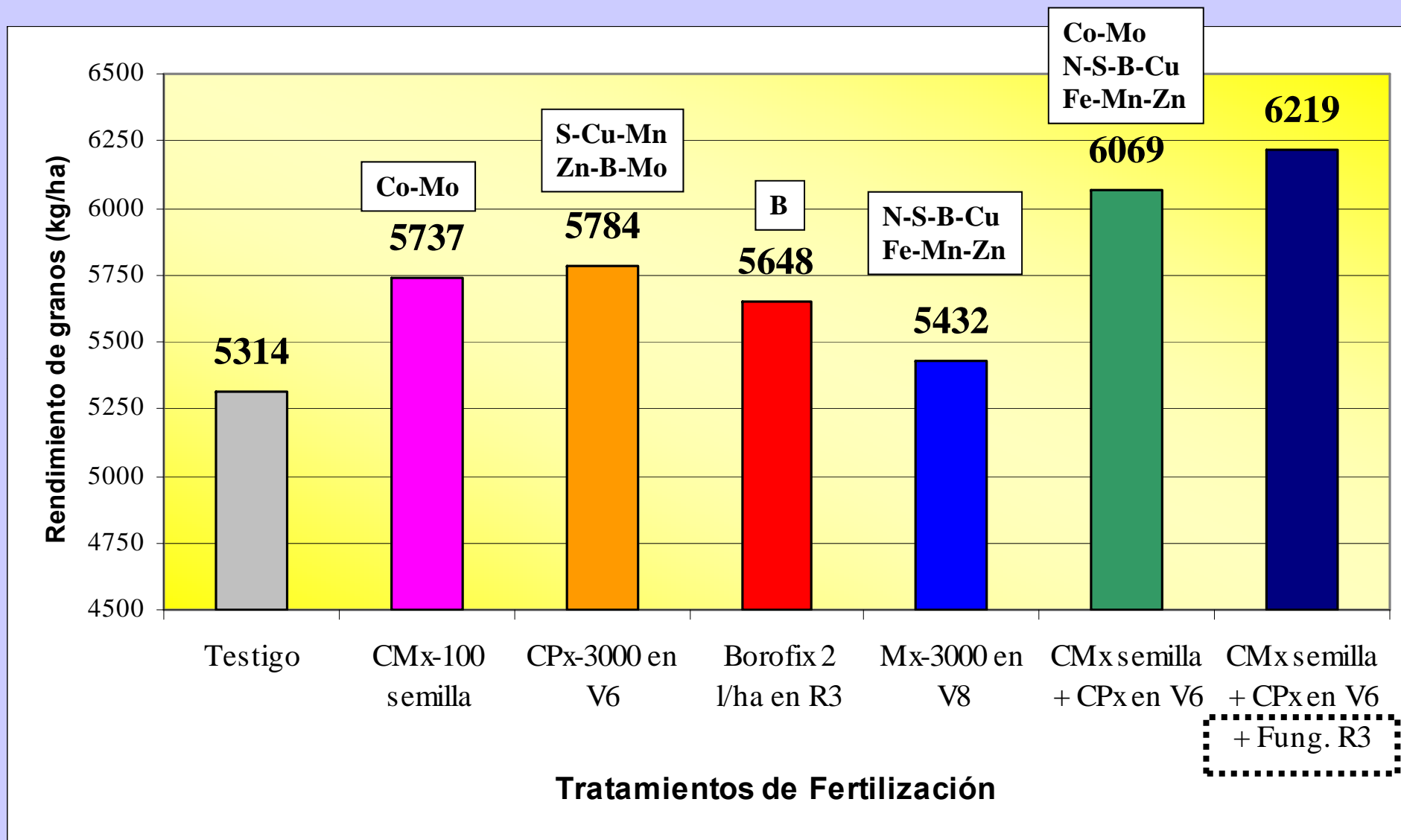
San Carlos (Santa Fe)

Fontanetto y col. - EEA INTA Rafaela, 2008/09

Variable	Testigo	B foliar en R2-3
Rendimiento (kg/ha)	3068 b	3303 a
Materia grasa (%)	19.0	19.6
Proteína (%)	37.2	37.7
Flores/planta 15 días luego R4	39	42
Vainas/planta 15 días luego R4	88 b	133 a

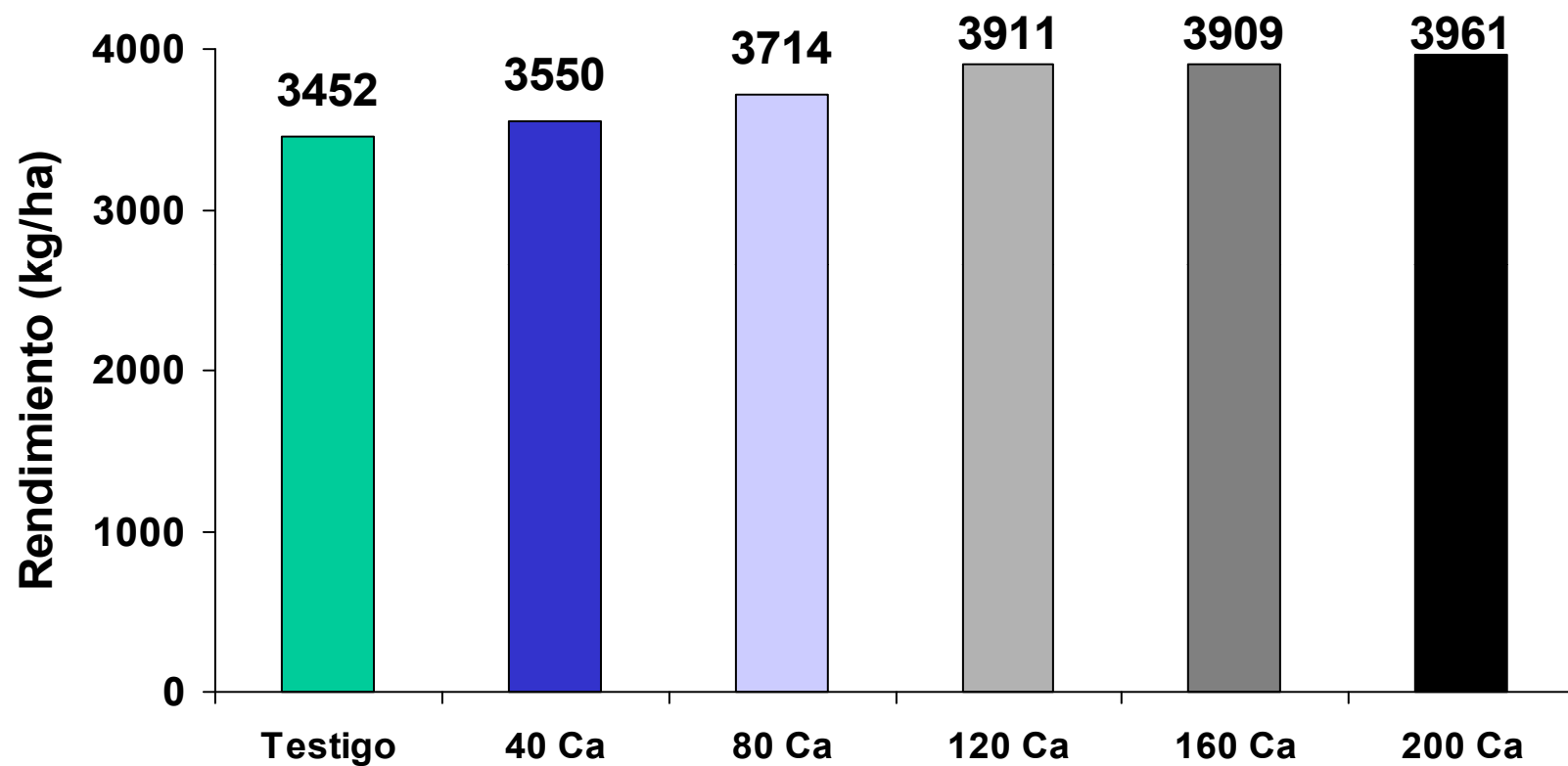
- *Análisis de suelo: MO 2.5% - pH 5.9 - B 0.47 ppm*
- *Boro aplicado como Solubor (15% B) en 150 L/ha de agua en R2-3*
- *Variedad A 6411 sembrada el 17/12/2008 a 0.42 m entre surcos*
- *Fertilización de base: 19 kg/ha de S, 30 kg/ha de P y 400 kg/ha de calcita*

SOJA: Efecto de diferentes Foliares con Micronutrientes



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)



BORO en GIRASOL

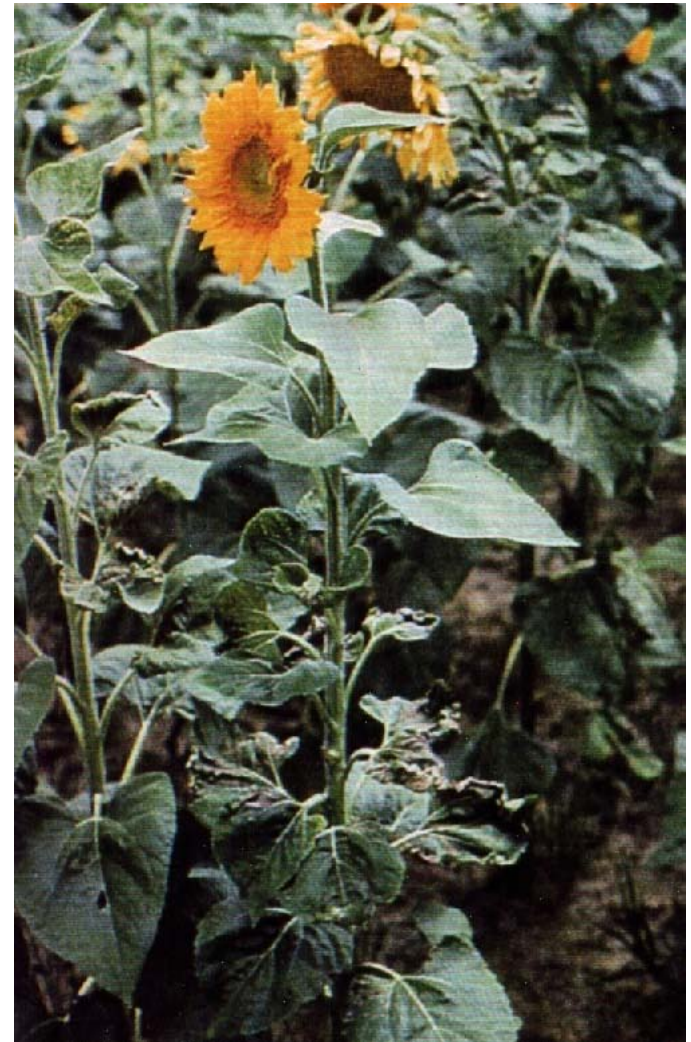
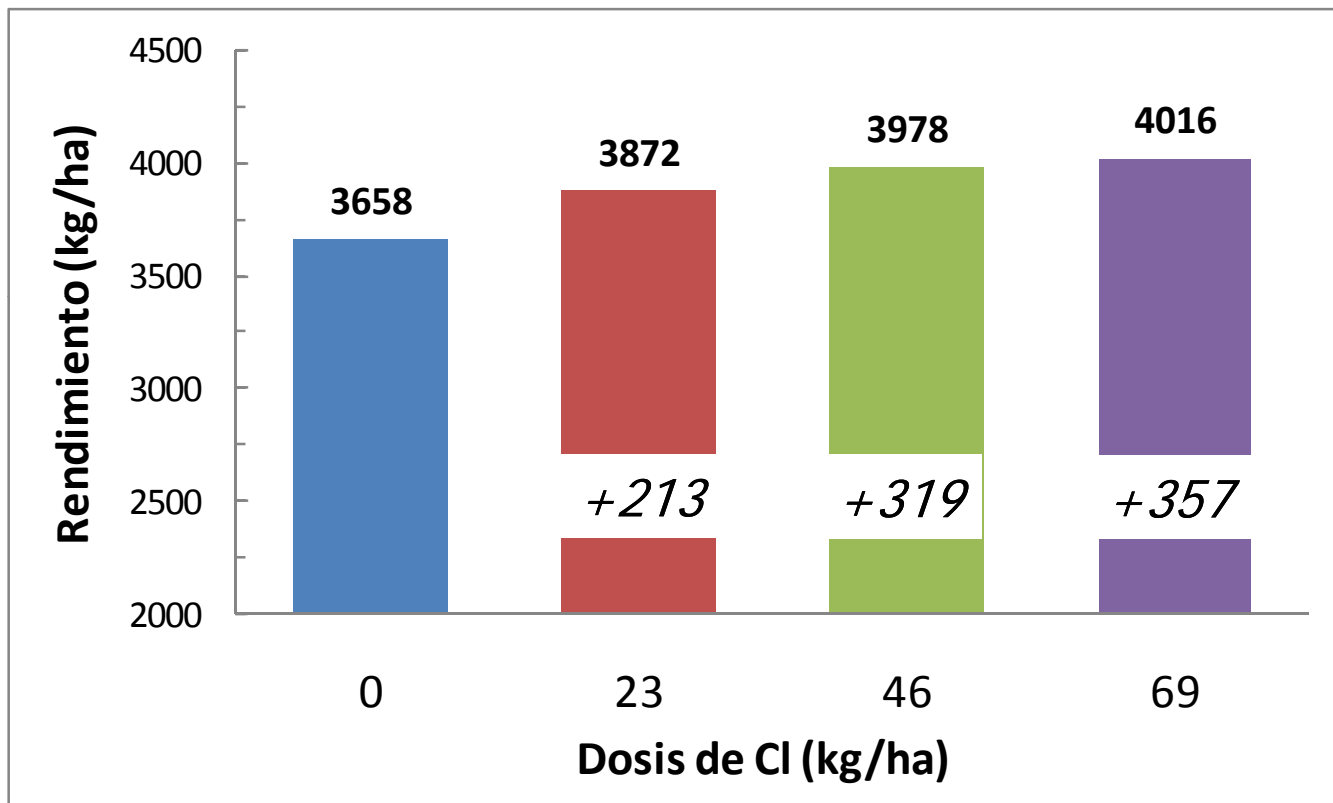


Foto M. Díaz Zorita

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



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

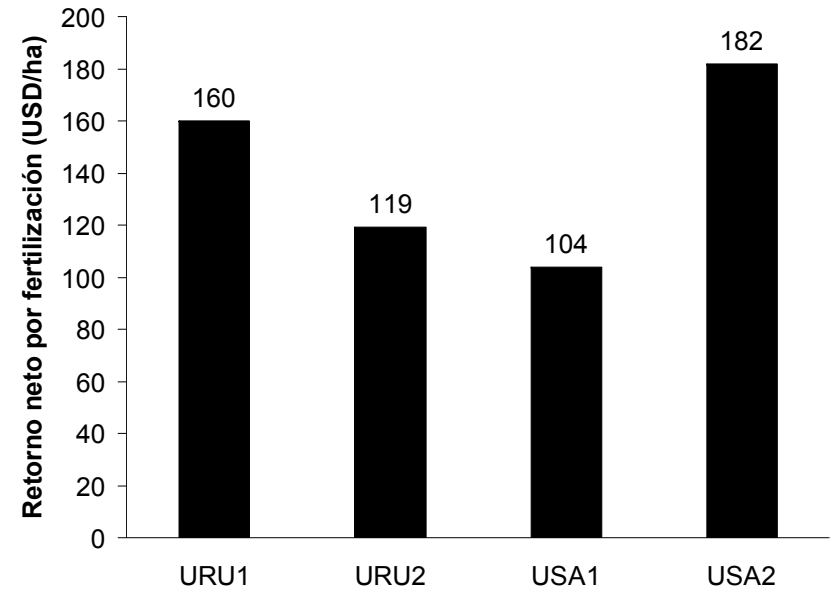
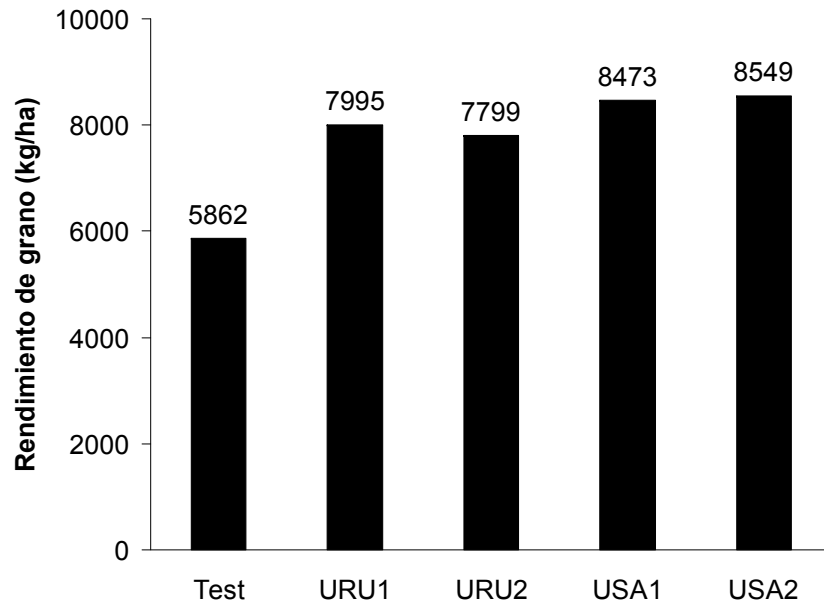
Objetivos y Ventajas

- *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*



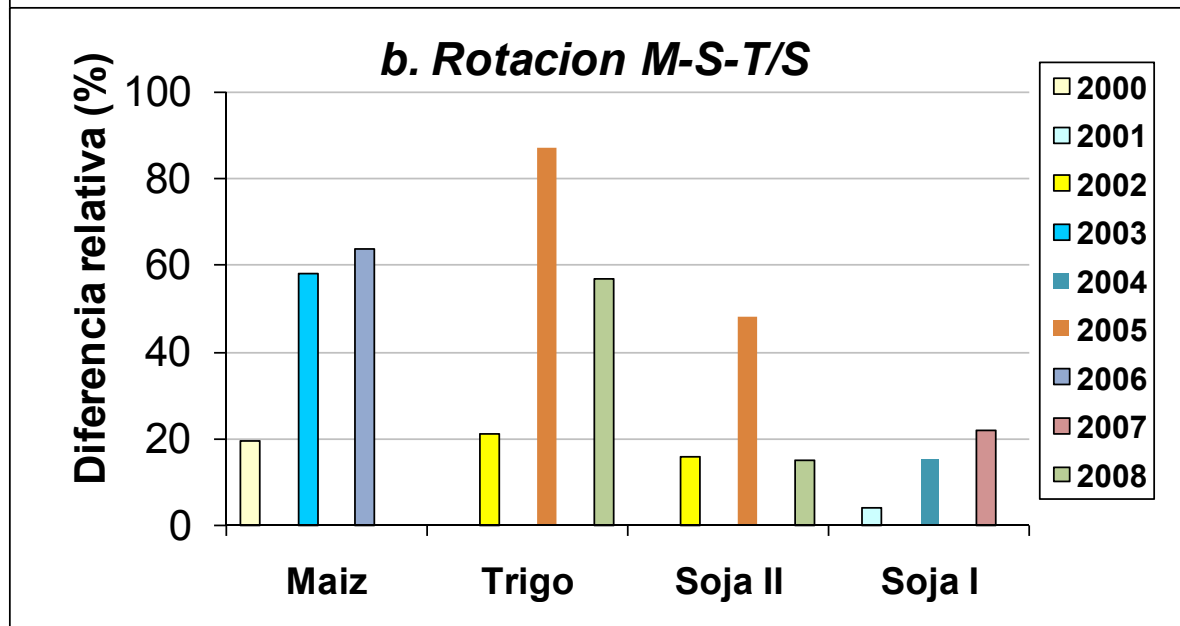
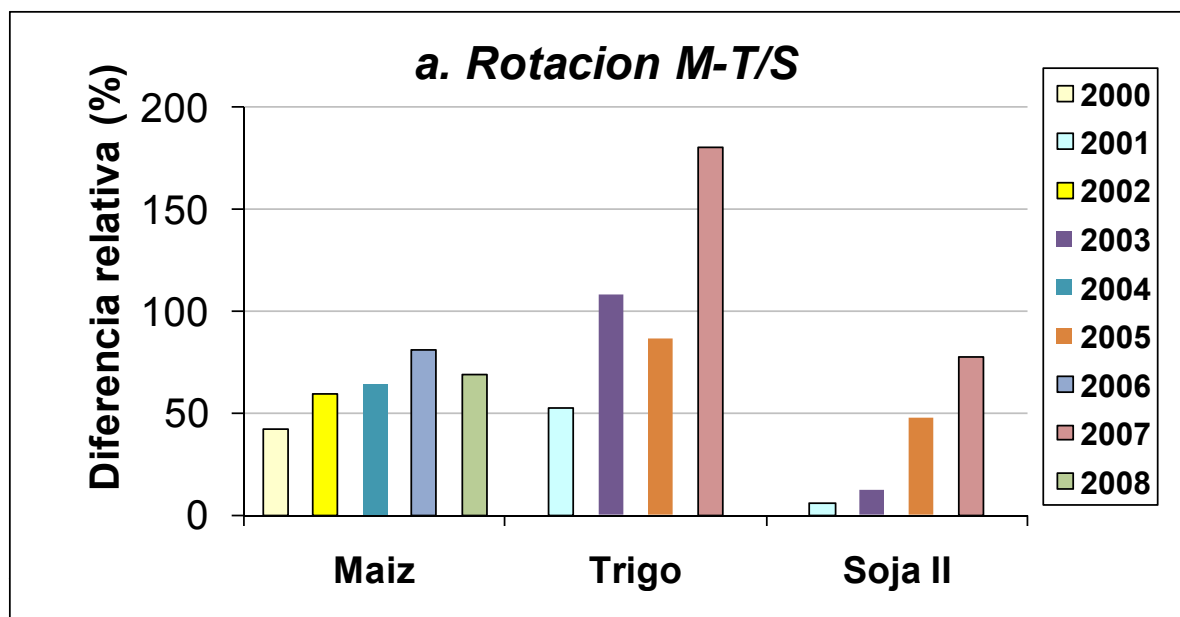
Respuesta de maíz a fertilizaciones definidas con diferentes criterios de recomendación

Perdomo y Cardellino (2007)



Tratamiento	N	P	K	S	Mg	B	Zn
	————— kg/ha —————						
URU1	84	27	8	0	0	0	0
URU2	81	30	24	15	0	0	1
USA1	151	48	58	17	2	1	1
USA2	147	22	14	1	1	0	0

8000 kg de maíz exportan en grano 105 kg N, 21 kg P, 28 kg K, 11 kg Mg y 10 kg S

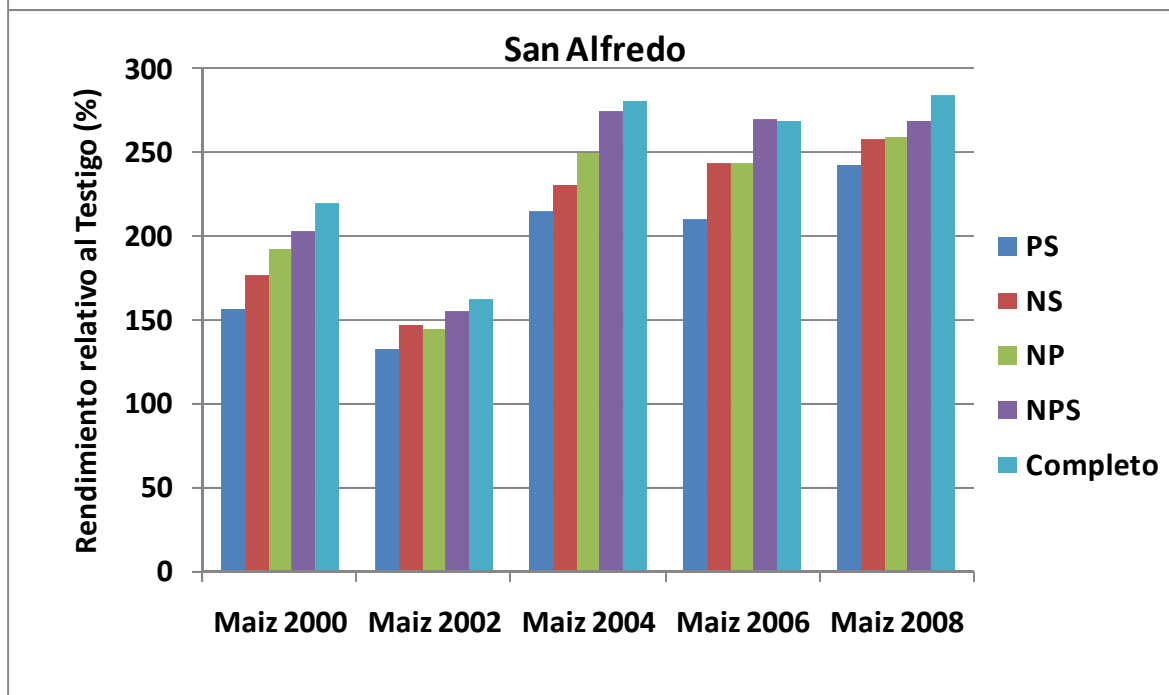
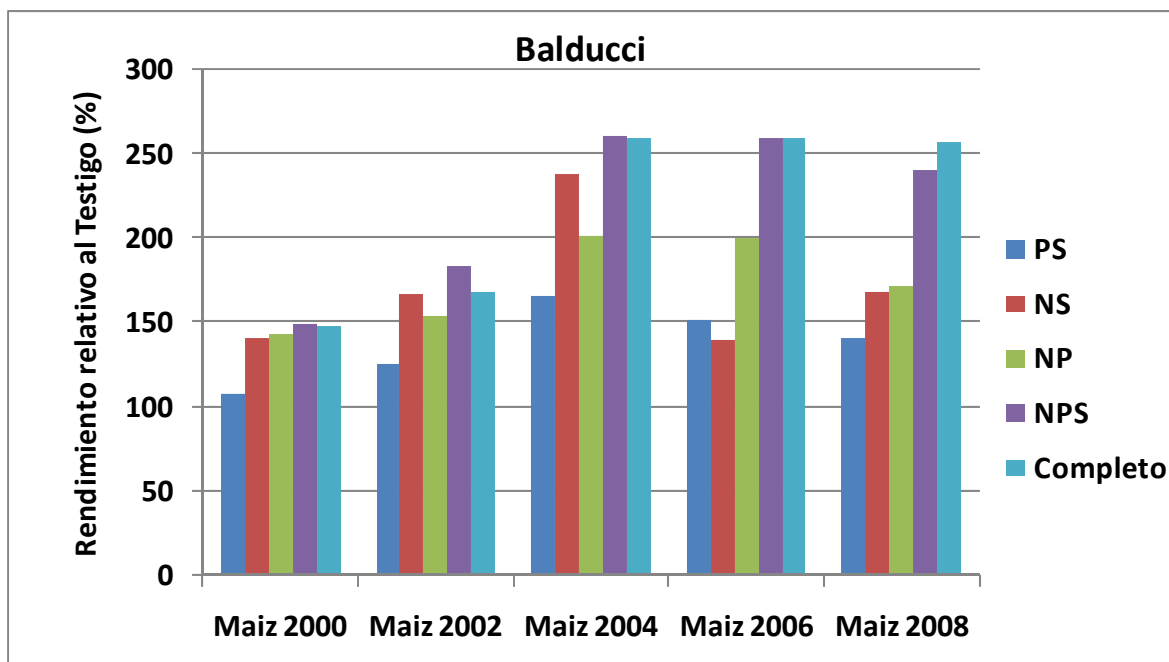


Diferencias relativas de los rendimientos en grano promedio entre los tratamientos Testigo y NPS para las rotaciones M-T/S (a) y M-S-T/S (b)

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

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

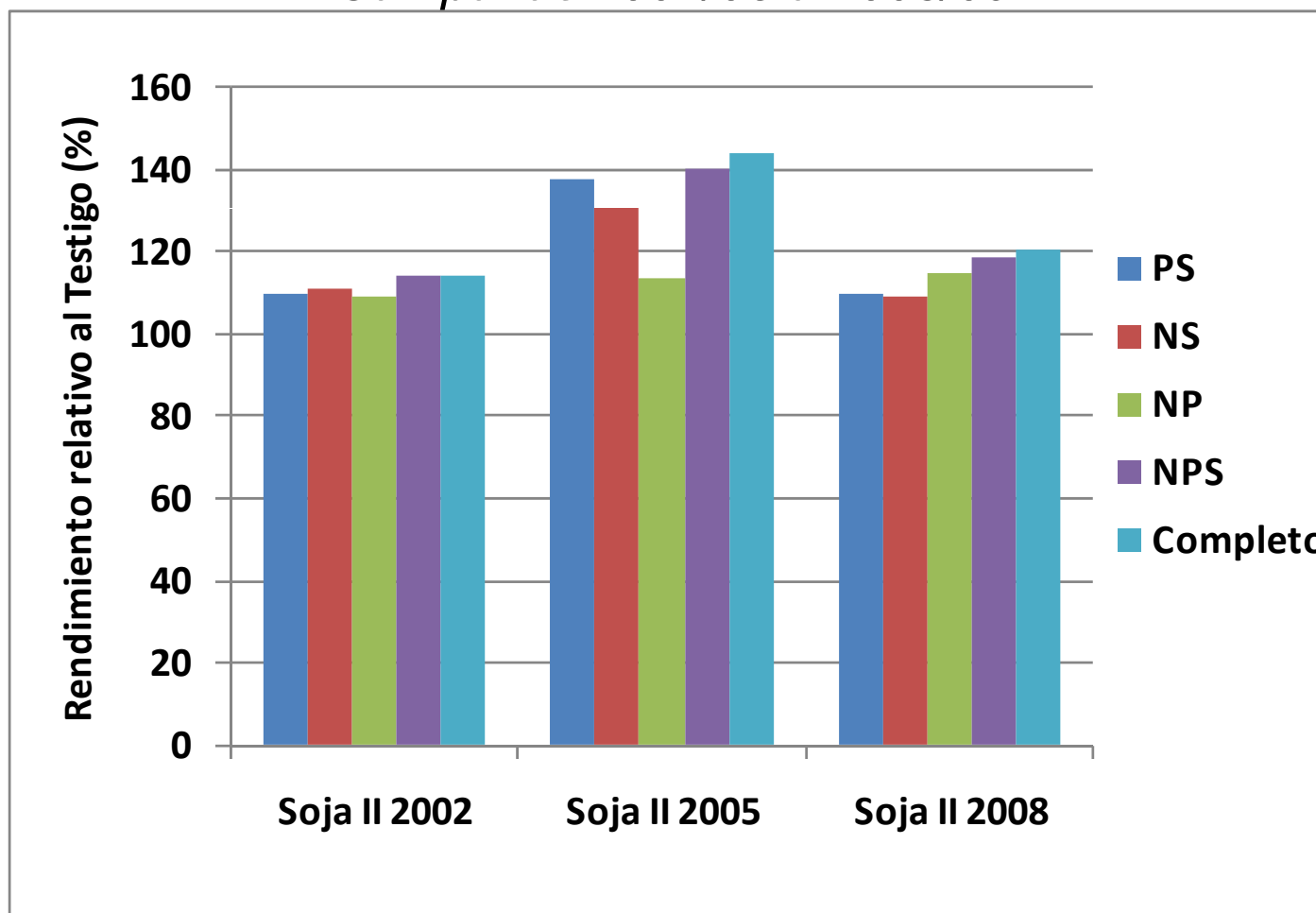
Campañas 2000/01 a 2008/09



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



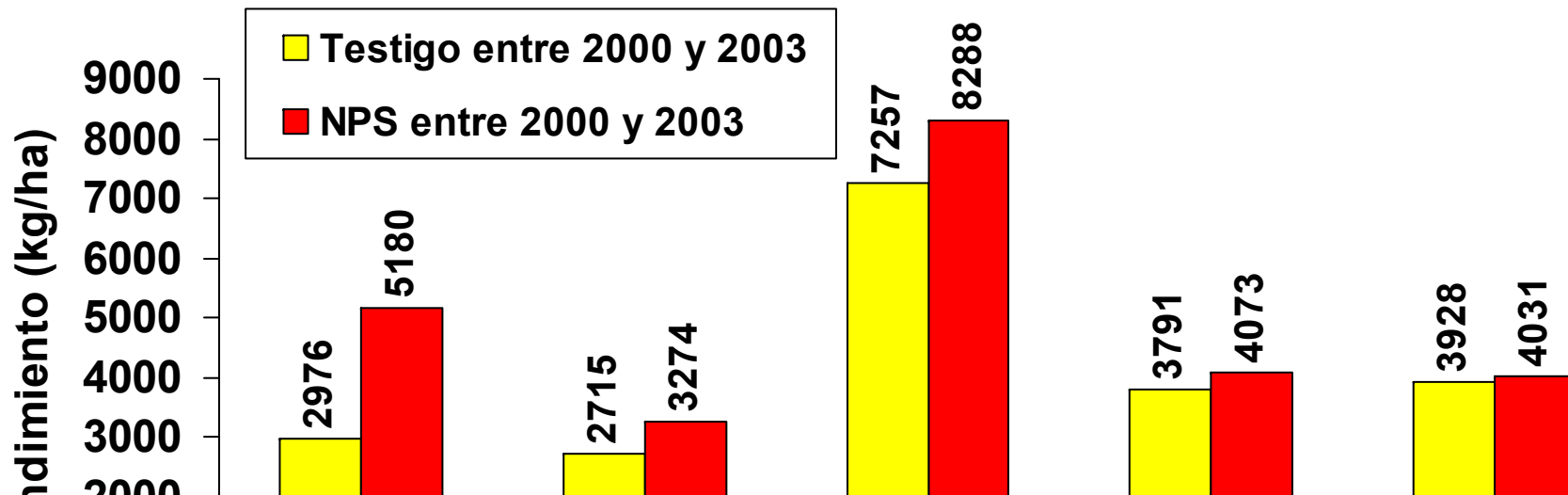
*Promedios para 4 sitios - Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe
Campañas 2002/03 a 2008/09*



Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP

Residualidad de la fertilización

*Ensayo El Fortín – Gral. Arenales (Buenos Aires) – Serie Santa Isabel
Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe*



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:

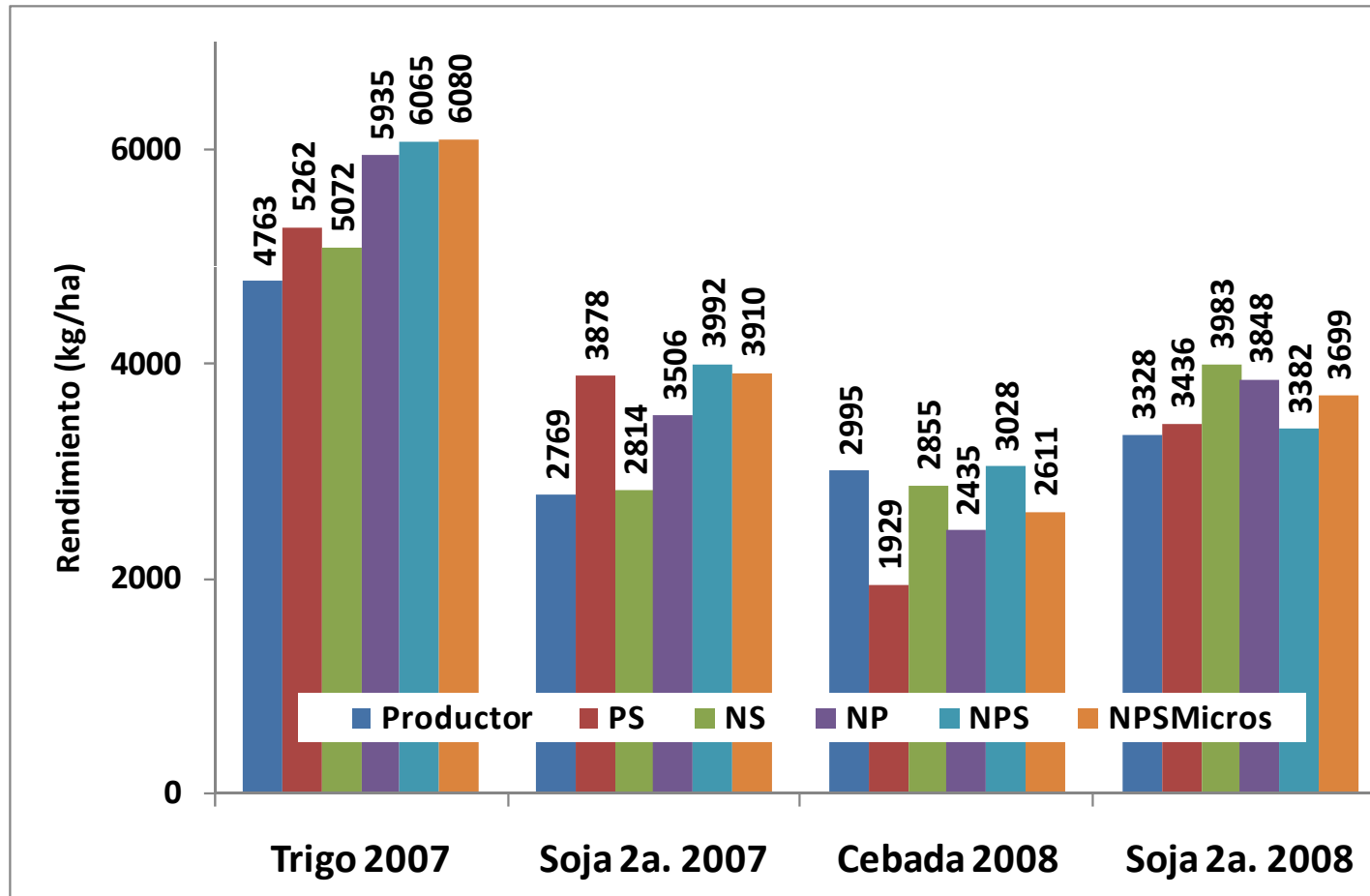
- mayores acumulaciones de rastrojo y, por lo tanto, a una mayor incorporación de carbono (C) al suelo;
- un mayor crecimiento y proliferación de raíces; y
- un mejor uso del agua (mayor infiltración, menor evaporación)

Fuente: CREA Sur de 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



Trigo 2007 y Cebada 2008 fertilizados con N, P y S

Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP

Sitios Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe en Rotación M-S-T/S



CREA	Gral. Baldissera	Armstrong-Montes de Oca	San Jorge-Las Rosas
Establecimiento	La Blanca	La Hansa	Lambaré
Serie Suelo	La Bélgica	Bustinza	Los Cardos
Años agricultura	6	22	4
<i>Análisis de suelo inicial (2000 o 2001)</i>			
MO (%)	2.6	2.2	3.4
P Bray (ppm)	16	15	71
pH	6.6	5.5	5.6
<i>Análisis de suelo a 2008 o 2009</i>			
MO (%)	2.8/3.1	3.0/3.2	3.1/3.1
P Bray (ppm)	11/29	14/21	29/67
pH	6.5/5.9	6.2/6.0	6.1/5.9

Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP

Sitios Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe en Rotación M-S-T/S: Maíz



La Blanca ◆ Testigo ■ PS ▲ NS ✕ NP ✧ NPS ● Completo

Rendimiento (kg/ha)

Maiz 200

La Hansa ◆ Testigo ■ PS ▲ NS ✕ NP ✧ NPS ● Completo

Rendimiento (kg/ha)

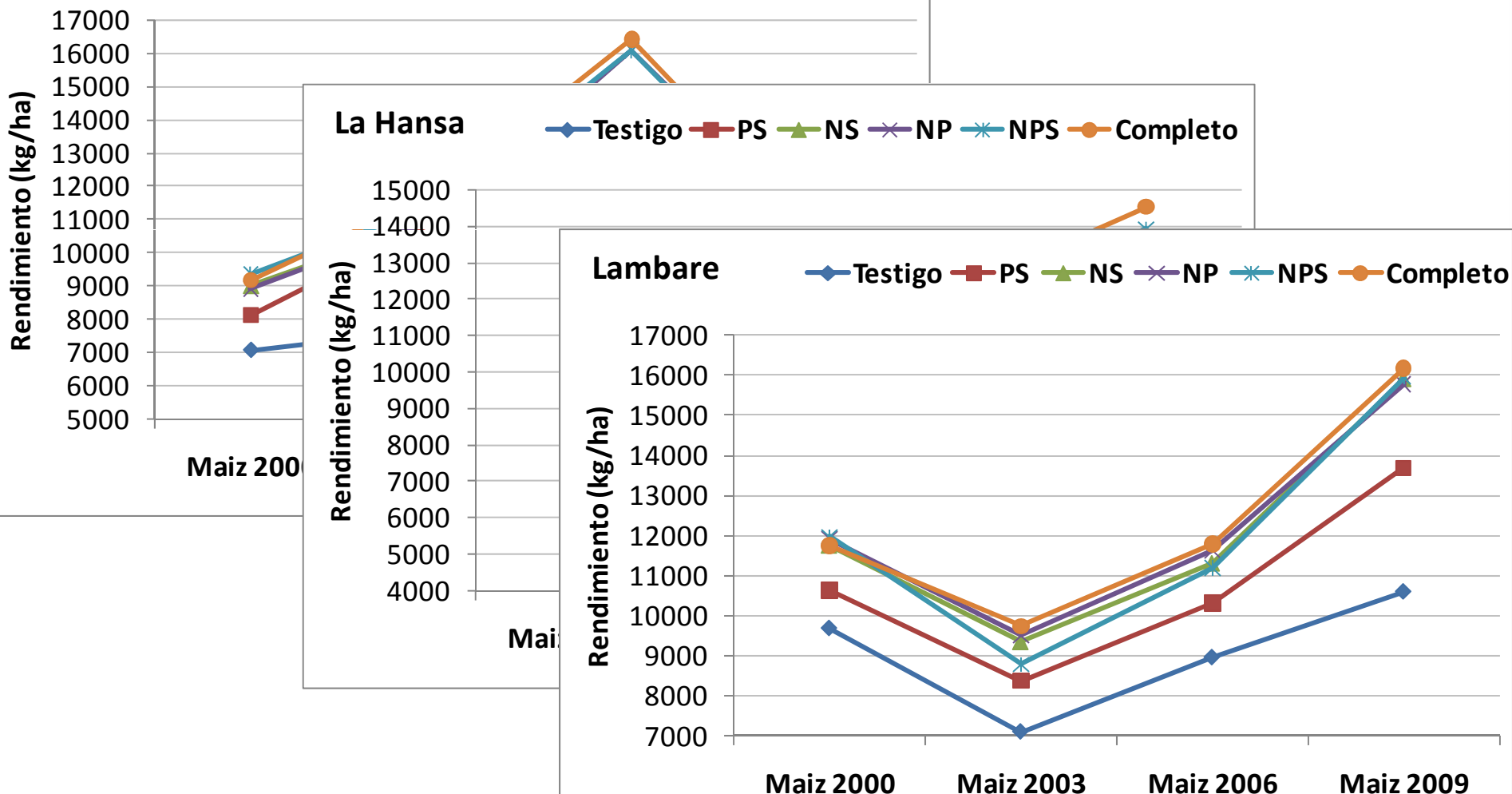
Mai

Lambare ◆ Testigo ■ PS ▲ NS ✕ NP ✧ NPS ● Completo

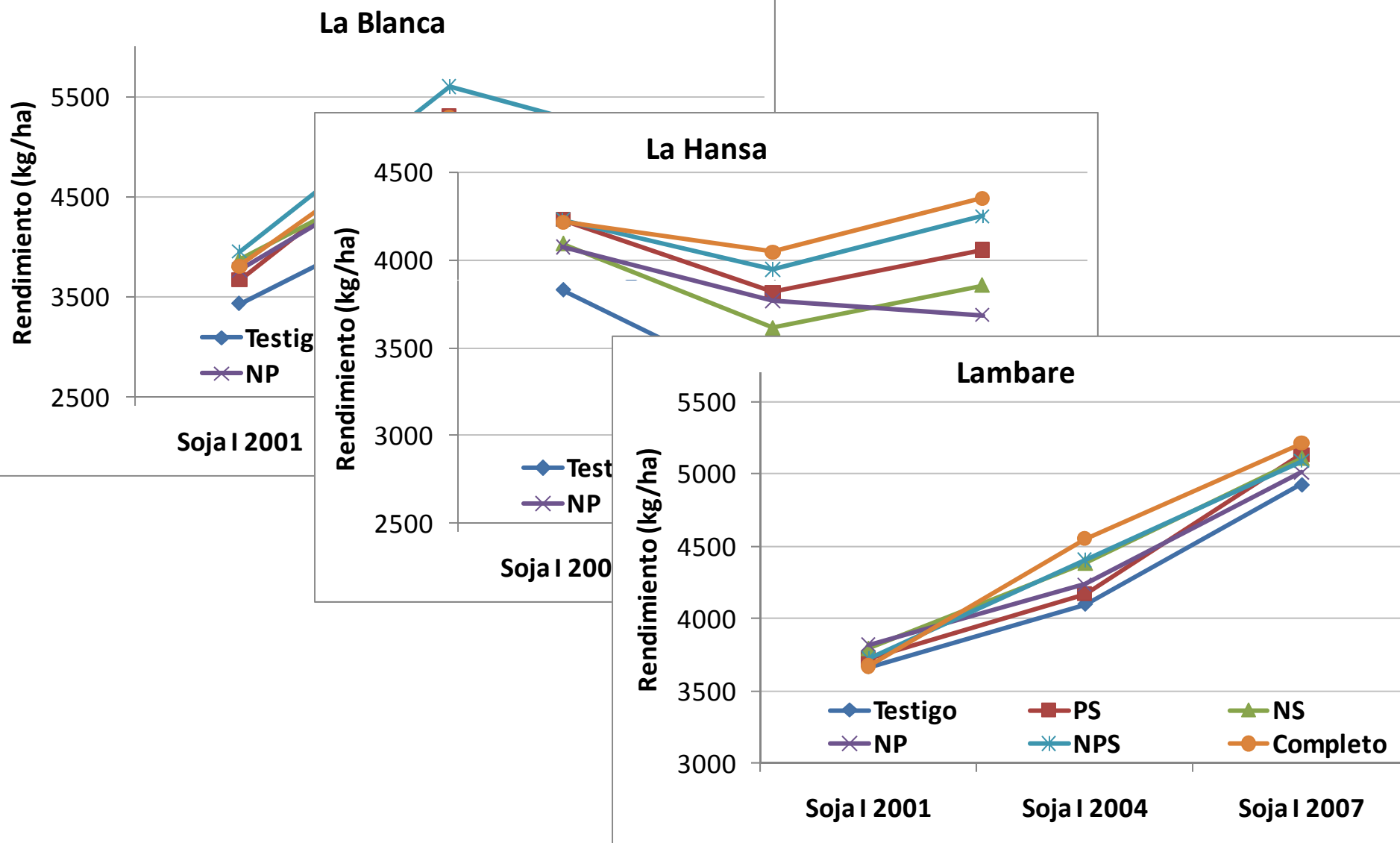
Rendimiento (kg/ha)

Maiz 2000 Maiz 2003 Maiz 2006 Maiz 2009

Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP



Sitios Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe en Rotación M-S-T/S: Soja I



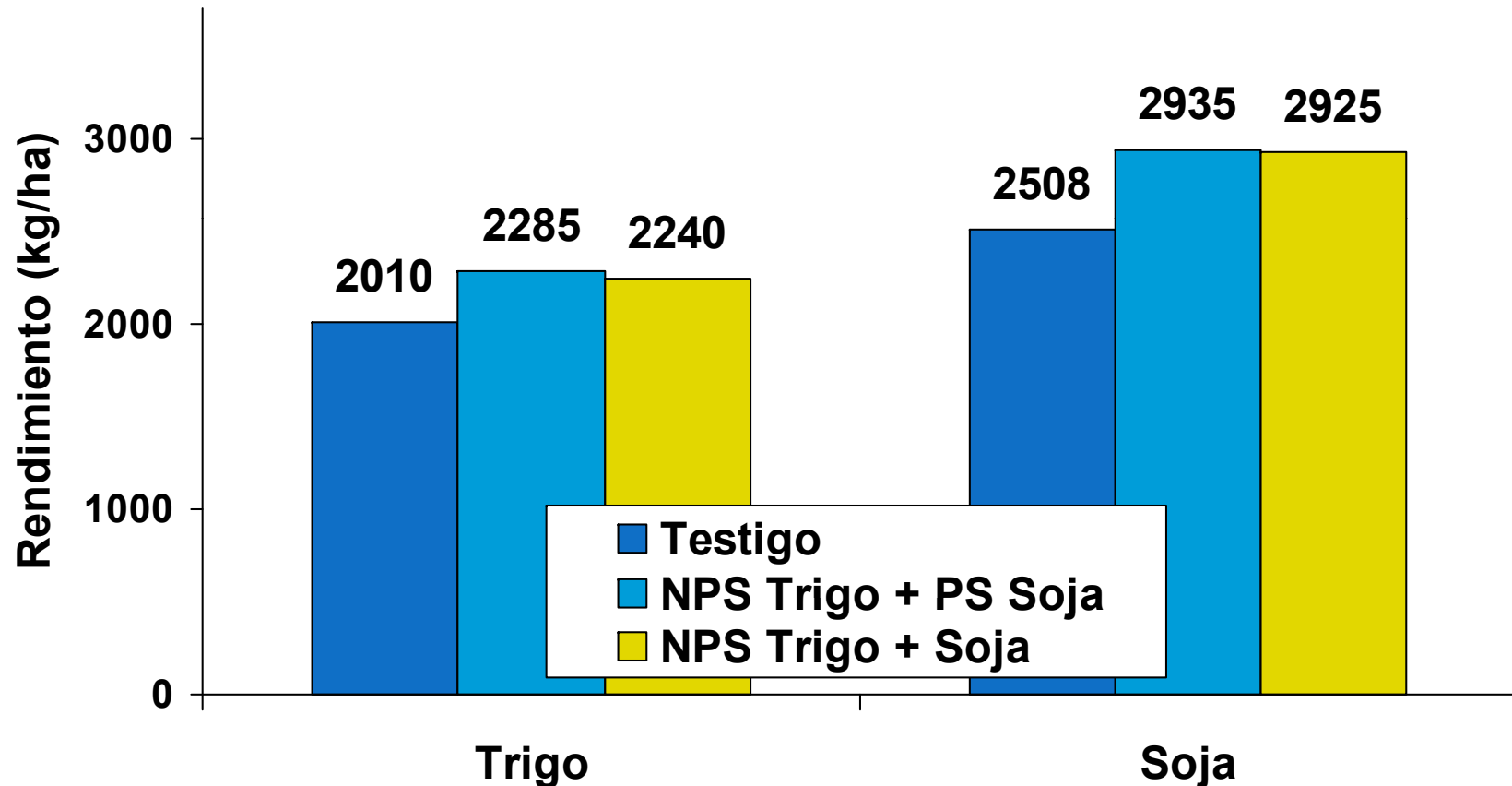
Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP

Fertilización NPS en Trigo/Soja

Promedios de 7 ensayos 2001/02 y 2002/03 – Norte Región Pampeana

Análisis de suelo MO 1.9-2.41% pH 5.5-6.1 P Bray 4-30 ppm S-SO4 5-18 ppm

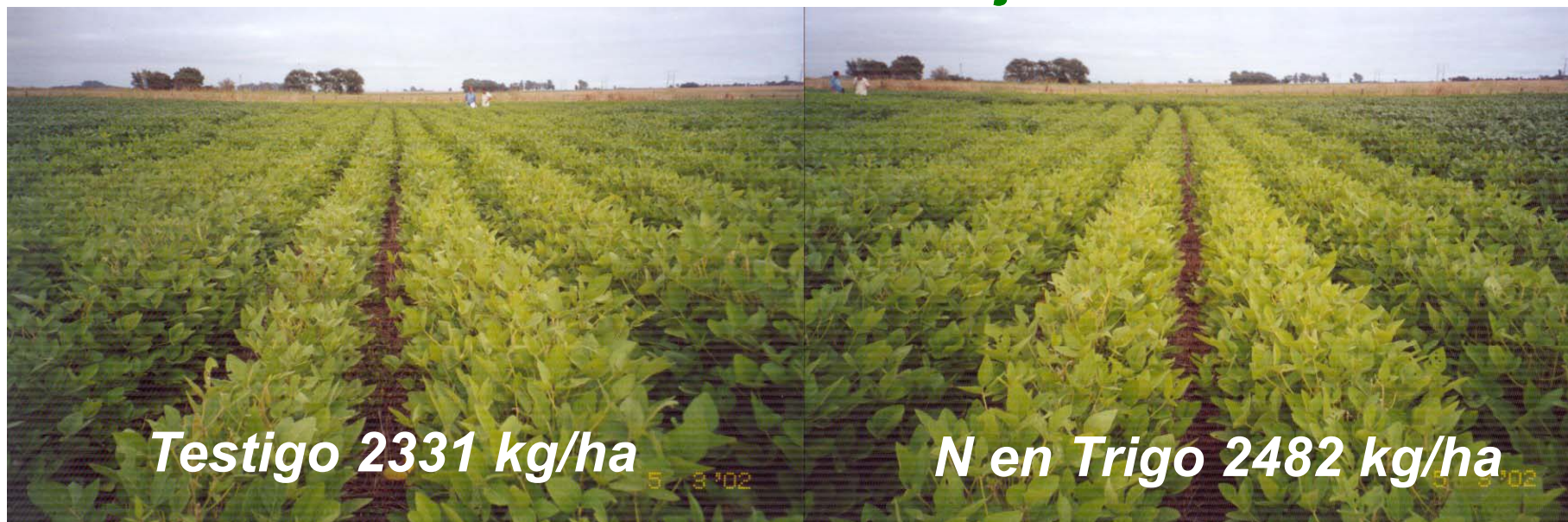
Dosis N = 55 kg/ha; P = 30 kg/ha; S = 20 kg/ha



Salvagiotti y col. (2005)

INTA Oliveros, Cañada de Gómez, Marcos Juárez y Pergamino

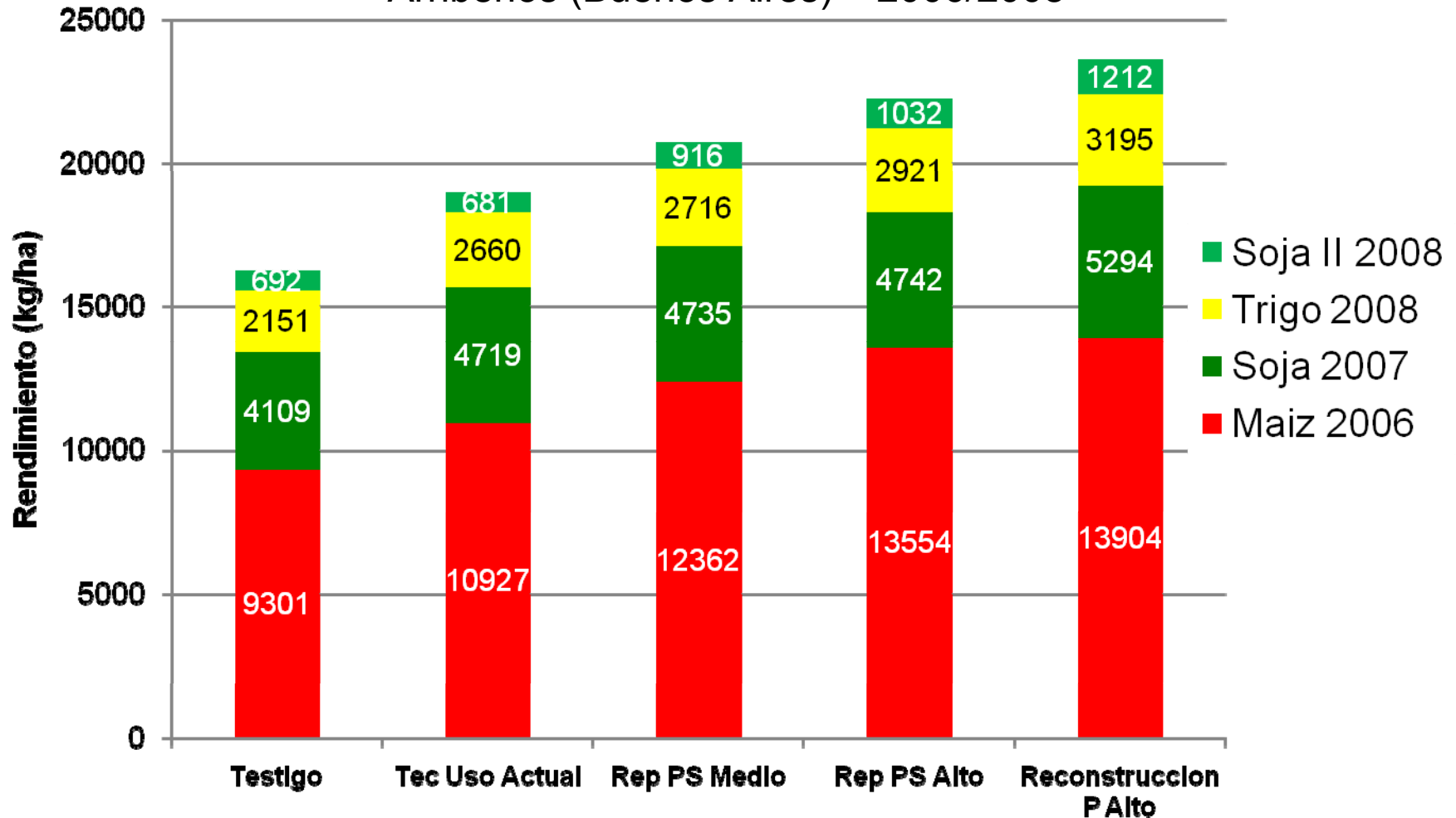
Red de Ensayos Trigo/Soja Proyecto INTA Fertilizar
Ensayo INTA Cañada de Gómez - G. Gerster y col. - 2001/02
Residualidad en Soja II



Ensayo de Estrategias de Fertilización de la Rotación

G. Ferraris y col. – INTA Pergamino

Arribeños (Buenos Aires) – 2006/2008



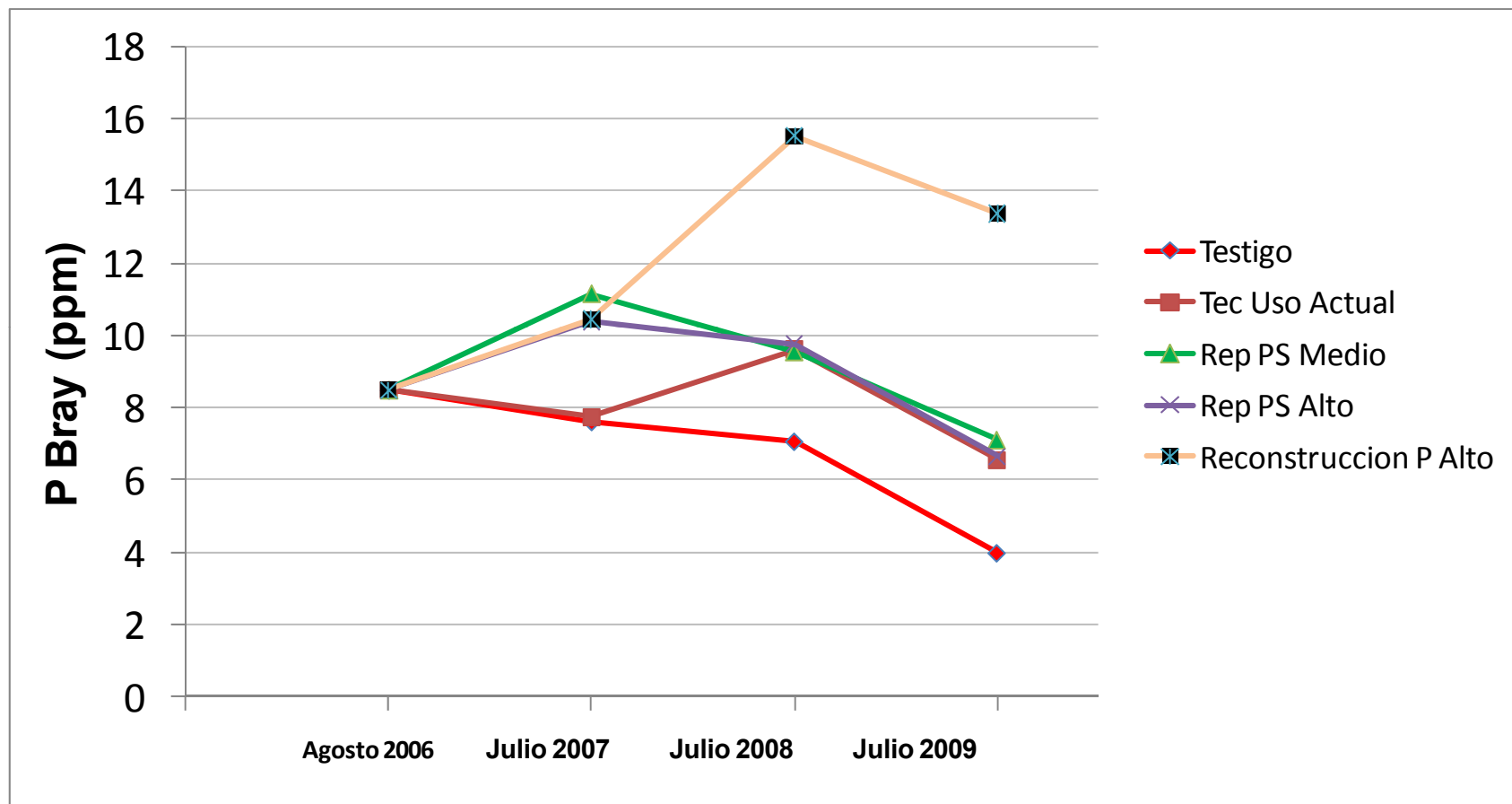
- *Dosis de N y S variables para rendimientos objetivo Medio o Alto*
- *Dosis de P variable para Reposición o Reconstrucción*

Análisis de suelo inicial MO 2.4% - pH 5.6 – P Bray 8.5 ppm

Ensayo de Estrategias de Fertilización de la Rotación

G. Ferraris y col. – INTA Pergamino

Arribeños (Buenos Aires) – 2006/2008



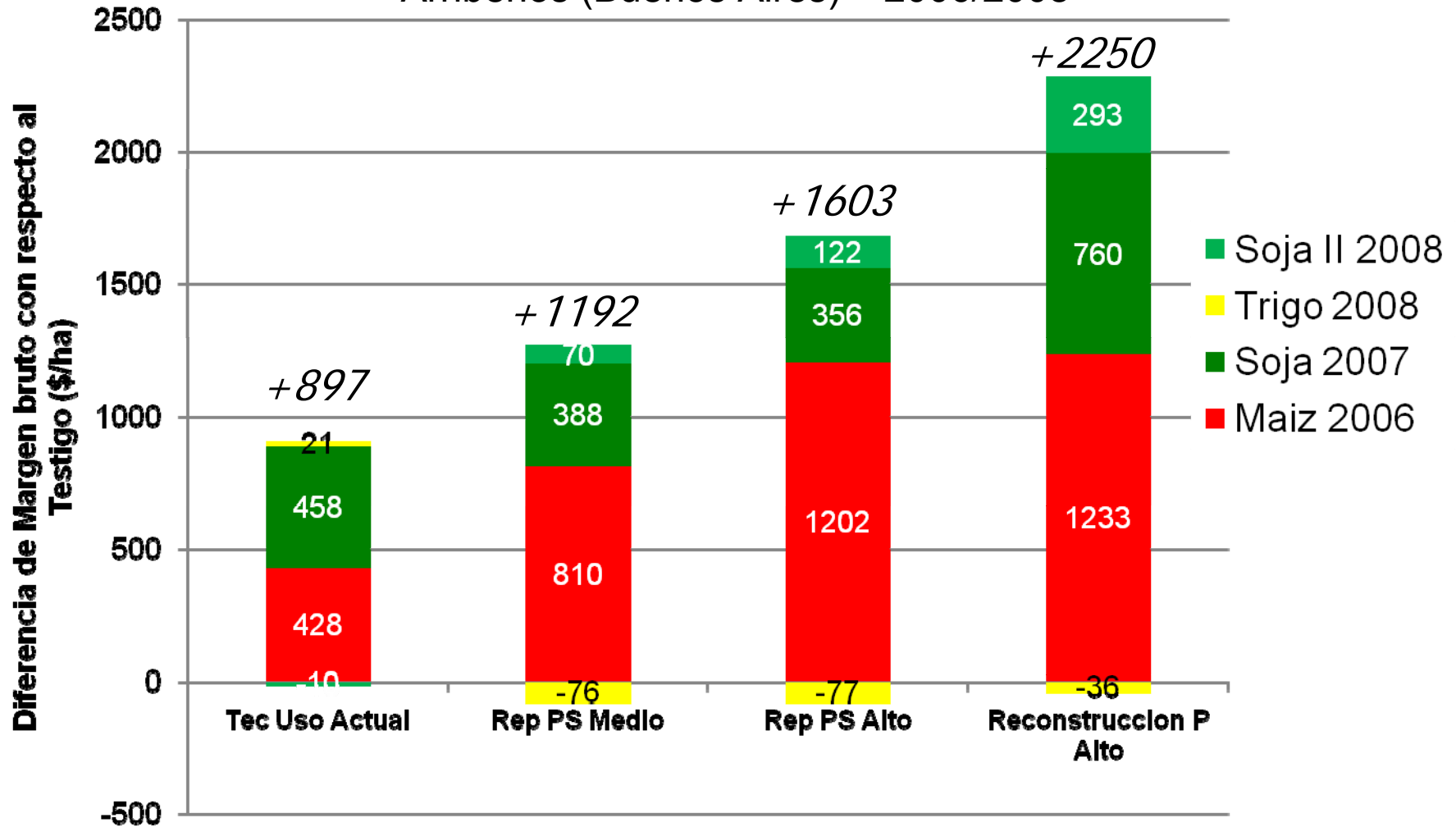
- *Dosis de N y S variables para rendimientos objetivo Medio o Alto*
- *Dosis de P variable para Reposición o Reconstrucción*

Análisis de suelo inicial MO 2.4% - pH 5.6 – P Bray 8.5 ppm

Ensayo de Estrategias de Fertilización de la Rotación

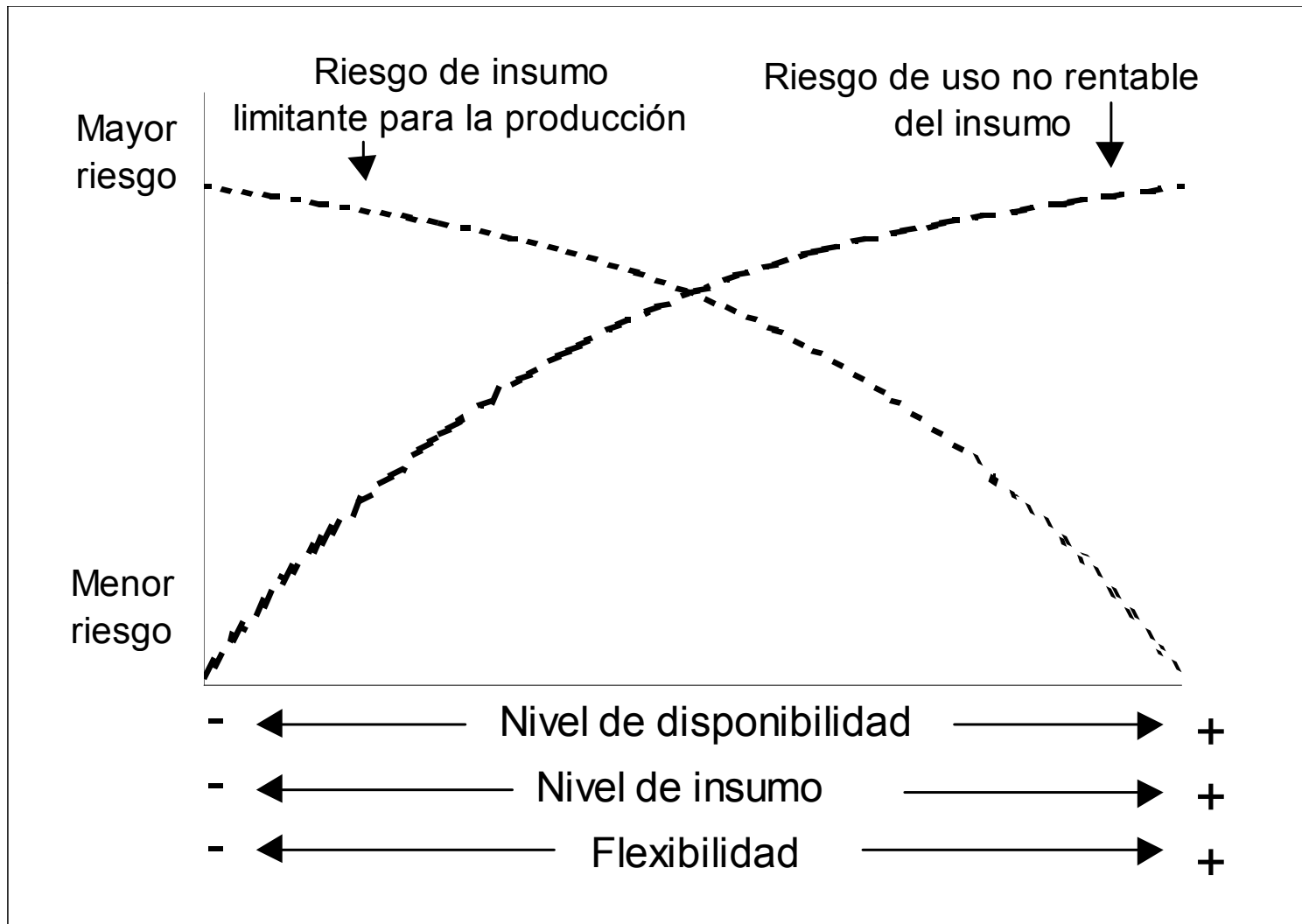
G. Ferraris y col. – INTA Pergamino

Arribeños (Buenos Aires) – 2006/2008



Precios utilizados para este análisis: Superfosfato triple 393 U\$/ton; Urea 410 U\$/ton; Sulfato de Calcio 150 U\$/ton; Maíz \$45/q; Soja \$95/q; Trigo \$60/q; Gastos comercialización granos 15%.

Riesgo de la fertilización



Relaciones de Precio Trigo/Fertilizantes para 2010



Urea a U\$500 → N a U\$1.1/kg

Con trigo a U\$130 → 4 kg trigo por kg Urea o 8 kg trigo por kg N

En 24 ensayos en Región Pampeana (1998-2007), con probabilidad de respuesta según el análisis de suelo, se obtuvieron 9 kg de trigo por kg Urea, equivalentes a 19 kg de trigo por kg de N

FMA a U\$620 → P a U\$2.8/kg

Con trigo a U\$130 → 5 kg trigo por kg FMA o 21 kg trigo por kg P

En 20 ensayos en Región Pampeana (1998-2007), con probabilidad de respuesta según el análisis de suelo, se obtuvieron 8 kg de trigo por kg FMA, equivalentes a 36 kg de trigo por kg de P

Relaciones de Precio Maíz/Fertilizantes para 2010



Urea a U\$500 → N a U\$1.1/kg

Con maíz a U\$130 → 4 kg maíz por kg Urea o 8.5 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\$650 → P a U\$2.9/kg

Con maíz a U\$130 → 5 kg maíz por kg FMA o 22 kg maíz por kg P

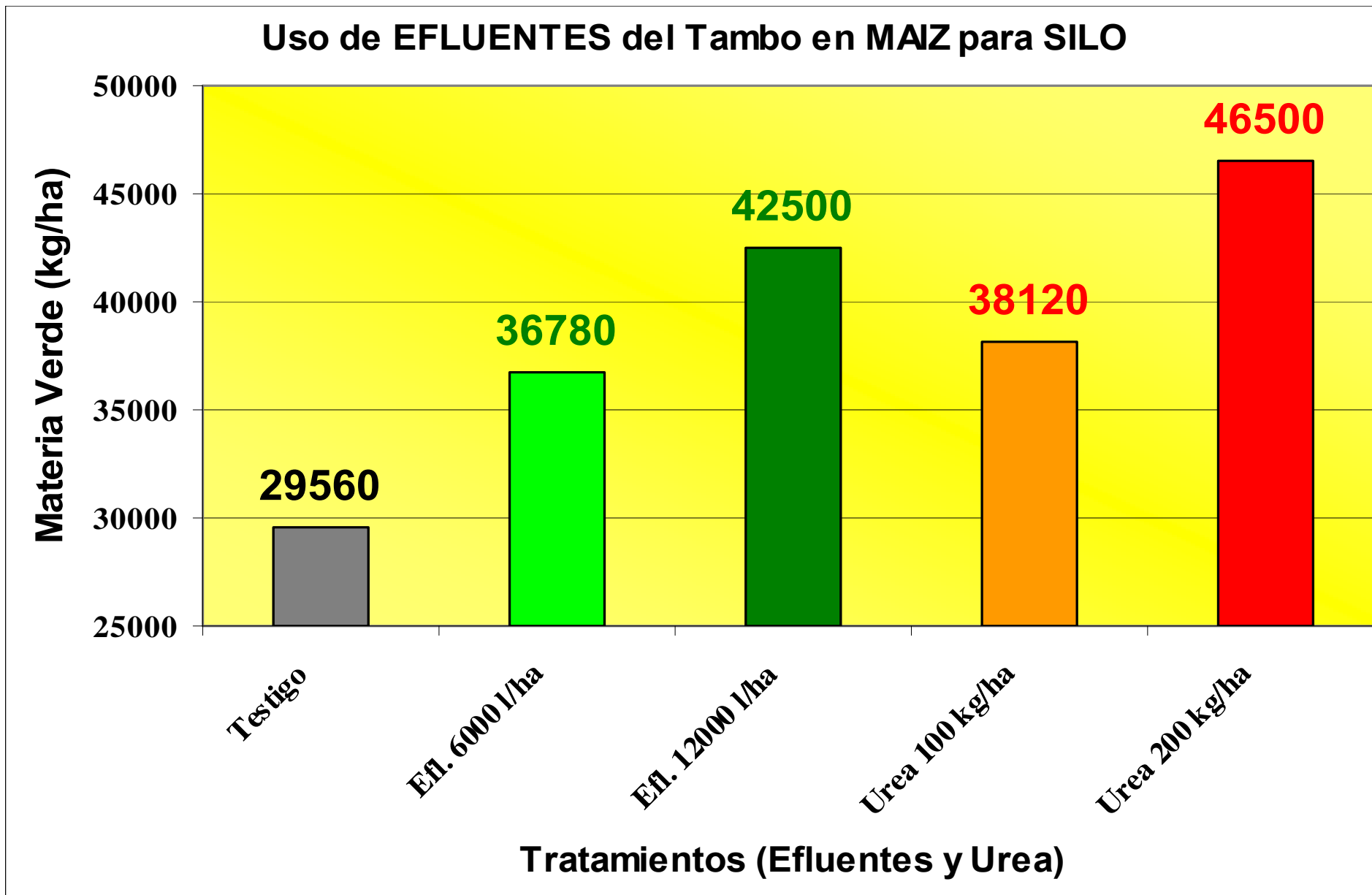
En ensayos en Región Pampeana, con probabilidad de respuesta según el análisis de suelo, se obtuvieron 14 kg de maíz por kg FMA, equivalentes a 62 kg de maíz por kg de P

ESTIERCOL: Cálculo del aporte de Nutrientes

Ton. Estiércol seco	Kg de Nutrientes con diferentes cantidades de Estiércol					
	kg de N	kg de P	kg de S	kg de K	Kg de Ca	Kg de Mg
1	22	8	6	11	8	4
2	43	16	12	22	16	8
4	87	33	24	44	33	16
6	130	49	36	65	49	24
8	174	65	48	87	65	33
10	217	82	60	109	82	41
15	325	122	90	163	122	61
20	434	163	120	218	163	82

Fuente: H. Fontanetto (2010)

Aplicación de Efluentes en Maíz para Silo 2008/09



Fuente: INTA Rafaela - AFA Humboldt

Efluentes en ALFALFA: Materia Seca Total 9 cortes (Pujato Norte, 2009)

Fuente: Fontanetto et al. (2009)

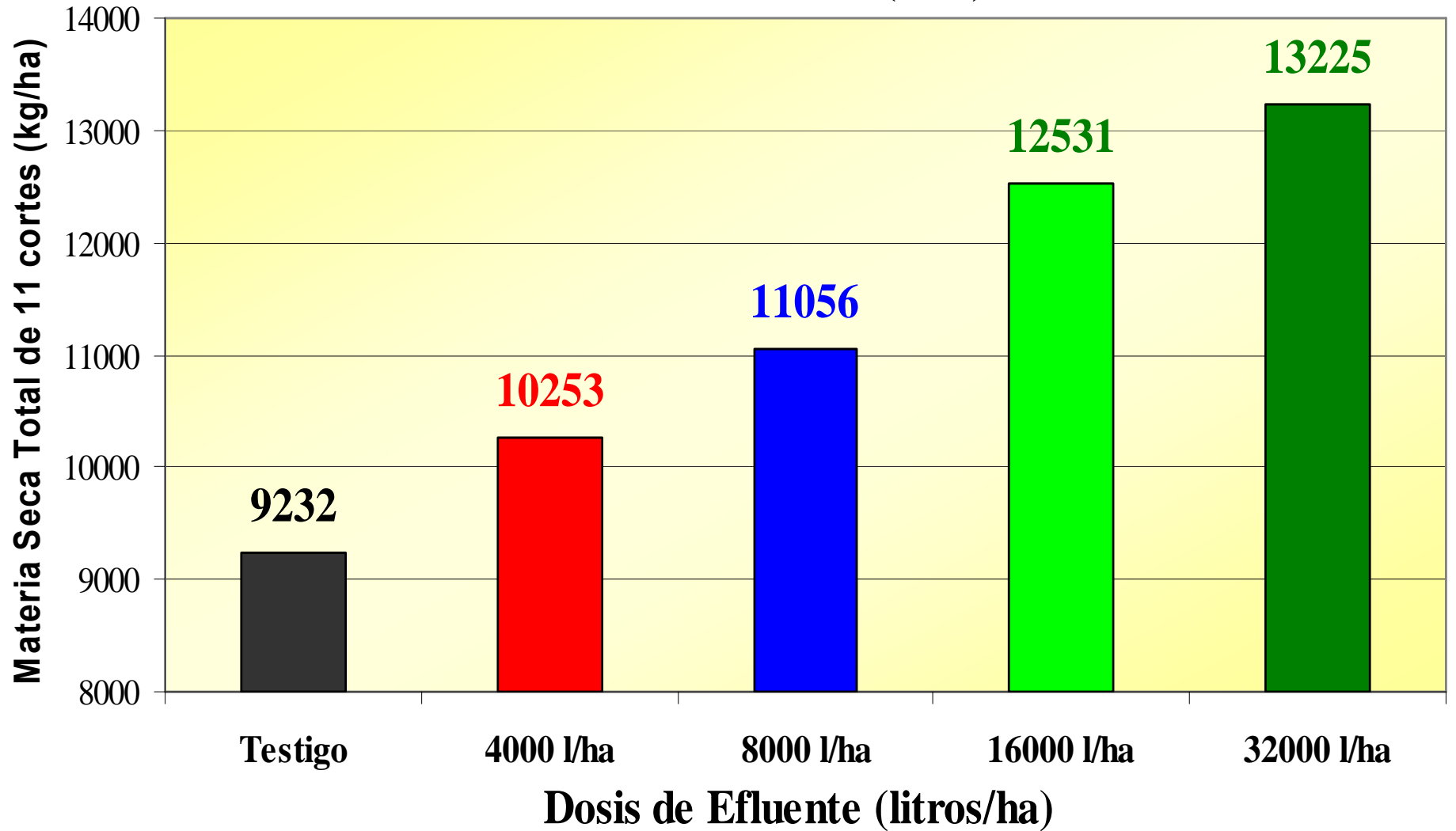




Foto: Ing. Edith Weder

iMuchas Gracias!



IPNI

INTERNATIONAL

PLANT NUTRITION

INSTITUTE

WWW.IPNI.NET/LASC

fgarcia@ipni.net