Jornada INTA – La Agrícola Regional Coop. Ltda.

Valle Maria, 1 de Junio de 2017

Cultivo de Trigo
Guía para una correcta fertilización

Fernando O. García

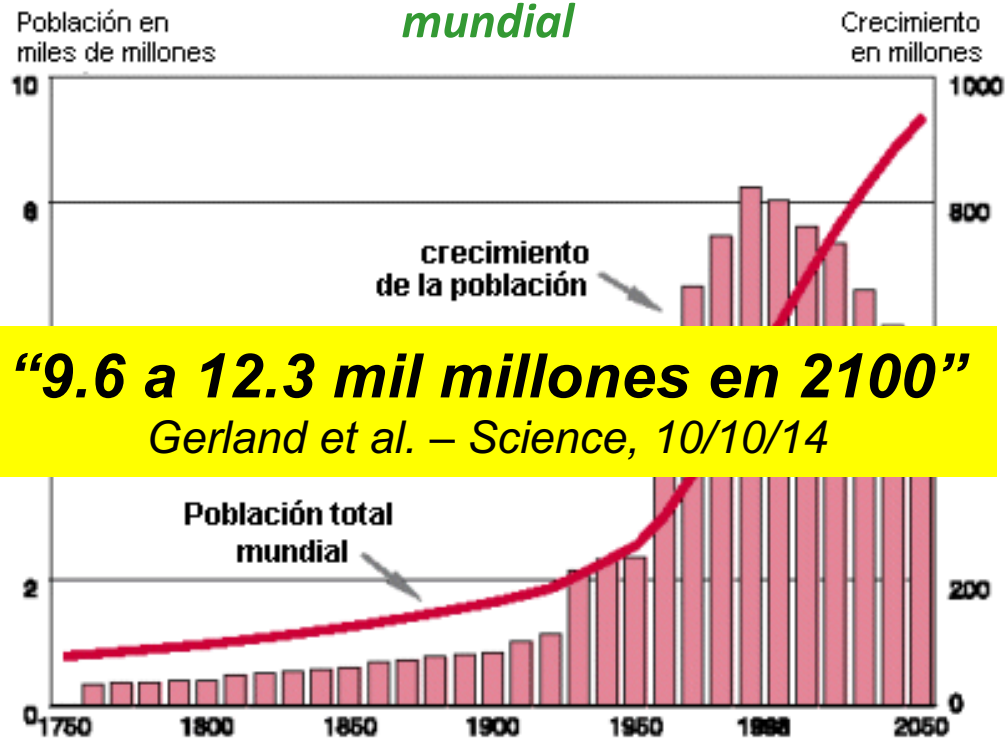
Instituto Internacional de Nutrición de Plantas

http://lacs.ipni.net - fgarcia@ipni.net - @IPNIcs

Demandas, desafíos y oportunidades para la agricultura

- Demandas crecientes de alimentos, biomateriales, fibras y biocombustibles
- Los desafíos para la agricultura
  - Desarrollo humano y económico
  - Seguridad alimentaria
  - Seguridad energética
  - Uso de tierras
  - Efectos sobre el ambiente (externalidades)

Evolución de la población mundial



"9.6 a 12.3 mil millones en 2100"
Gerland et al. – Science, 10/10/14

Fuente: http://www.eumed.net/

China (Jun 2016)

New Delhi, India (Dic 2010)

Estas demandas generan

- Presión sobre los recursos suelo, aire y agua
- Presión sobre el capital humano

Los desafíos y las oportunidades

- Producir mas con mejor calidad
- Impacto ambiental y social
  - Producir sin degradar/contaminar suelos, aguas y/o aire
  - Proveer fuentes de trabajo y bienestar social

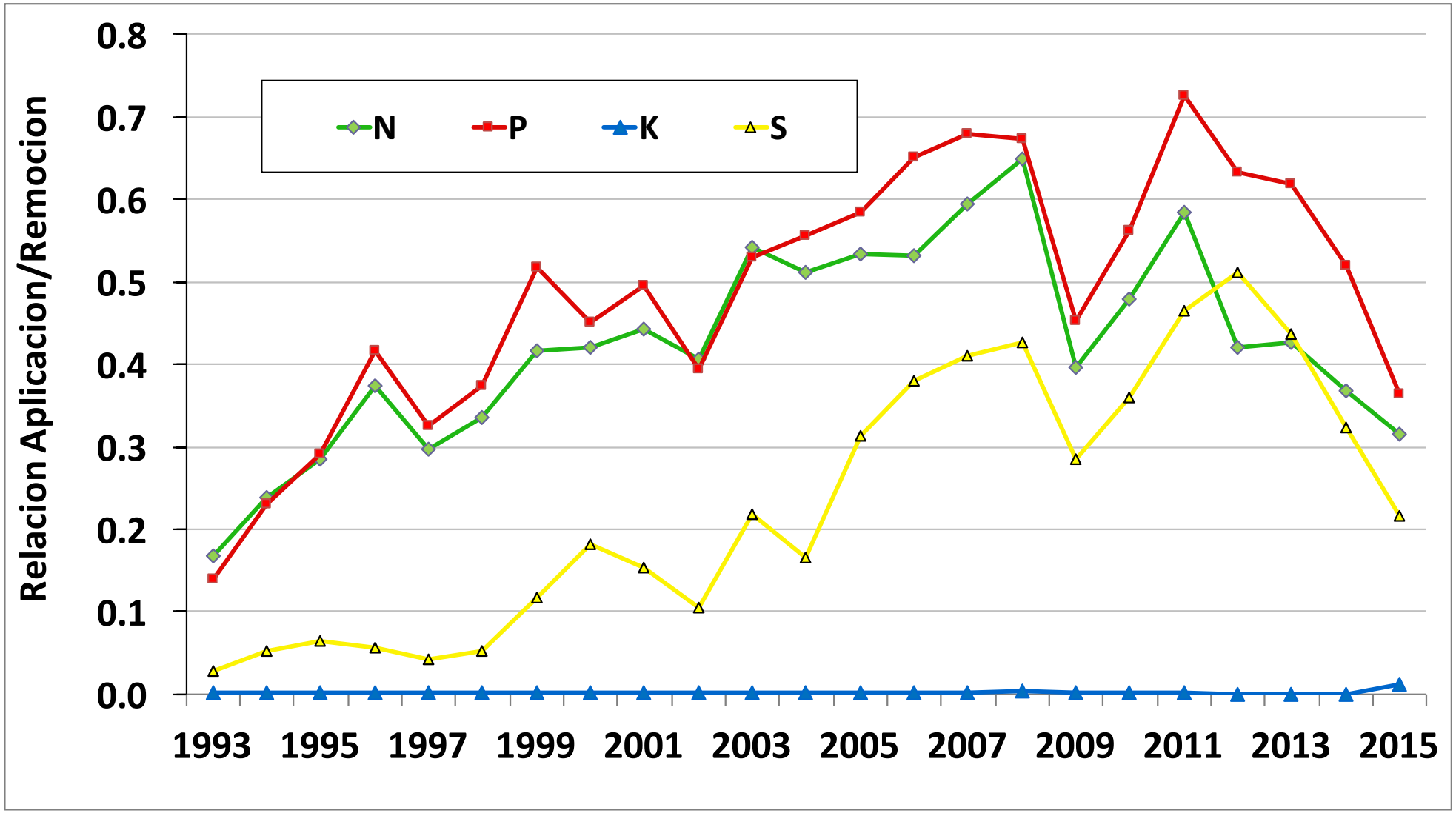
Producir cantidad y calidad en ambientes y sociedades "sanas"

IPNI

Balance de N, P, K y S - Argentina 1993 a 2015

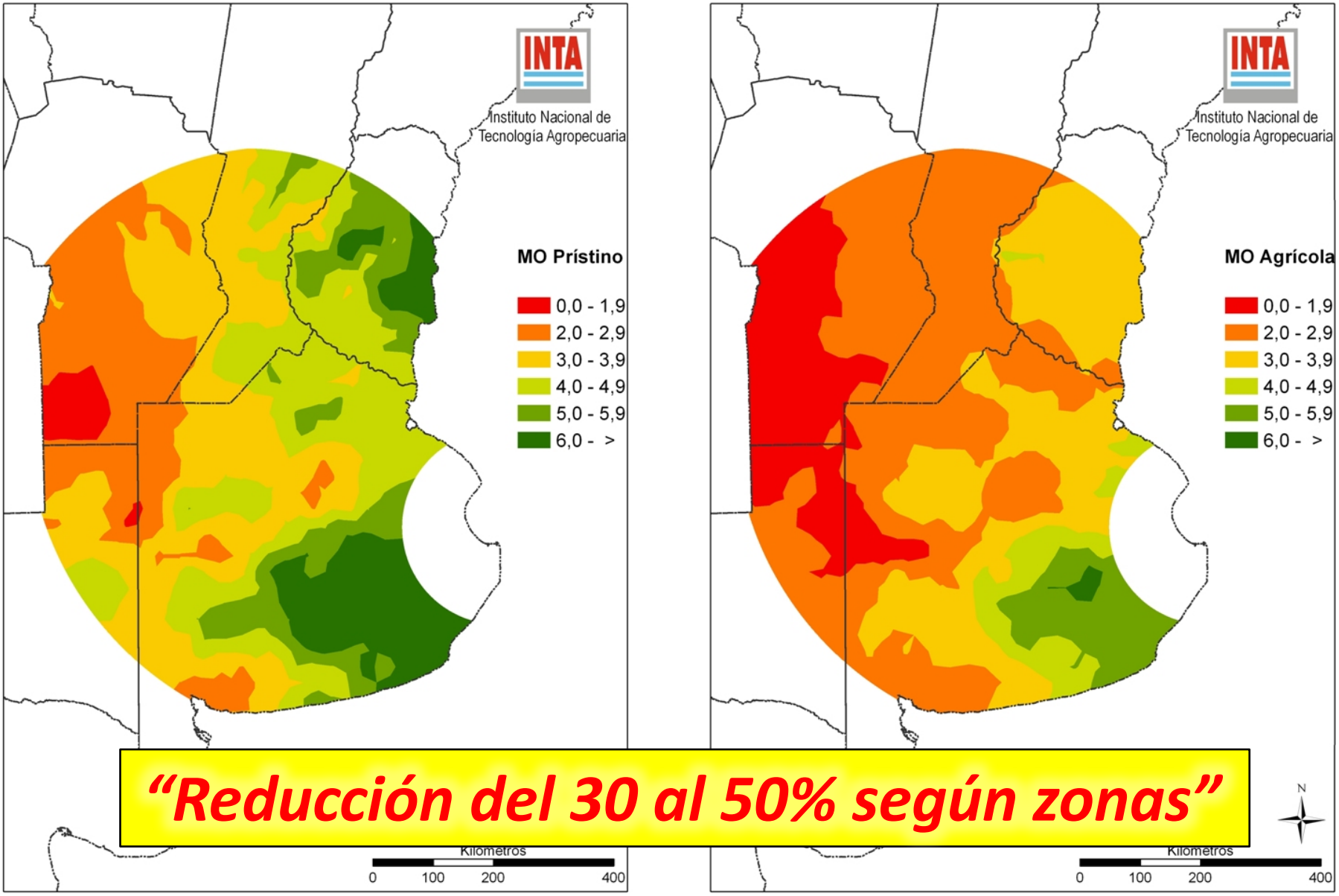
Principales cultivos de grano (maíz, soja, trigo, y girasol)

Elaborado a partir de información del MAGPyA y Fertilizar Asociación Civil



IPNI

Niveles de MO en suelos de la región pampeana: Muestreo 2010-11



"Reducción del 30 al 50% según zonas"

Sainz Rozas et al., 2011

IPNI

La búsqueda de la agricultura sustentable

- Mas cultivos por año: Rotaciones, diversidad, inclusión de pasturas, cultivos de servicio, otros
- Mayor rendimiento con mayor eficiencia y efectividad de uso de recursos e insumos: manejo de cultivos, suelos y aguas, otros
- Minimizar/eliminar impacto ambiental: Agroquímicos, N, P, GEI, metales pesados, otros
    - *Condiciones*
        - *Sistemas complejos*
        - *Escenario "móvil"*
        - *Ciencia y sociedad integradas*
        - *Largo plazo*
        - *Monitoreo*

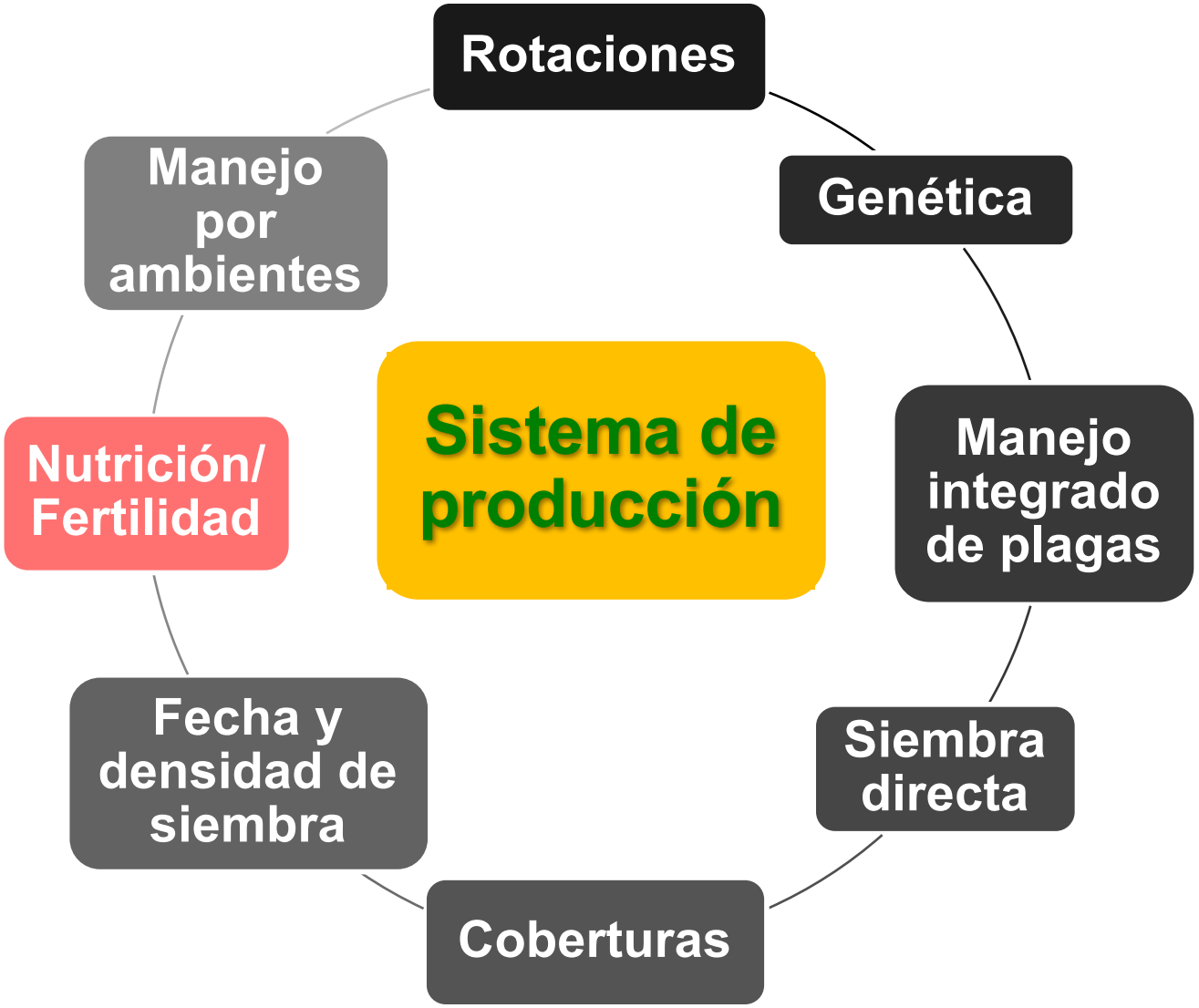
IPNI

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*
- *Involucra paisajes (cuencas) y no solamente lotes o chacras*

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

Trabajamos en sistemas de producción en los que las practicas interactúan y modifican la eficiencia y efectividad de uso de otras practicas



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

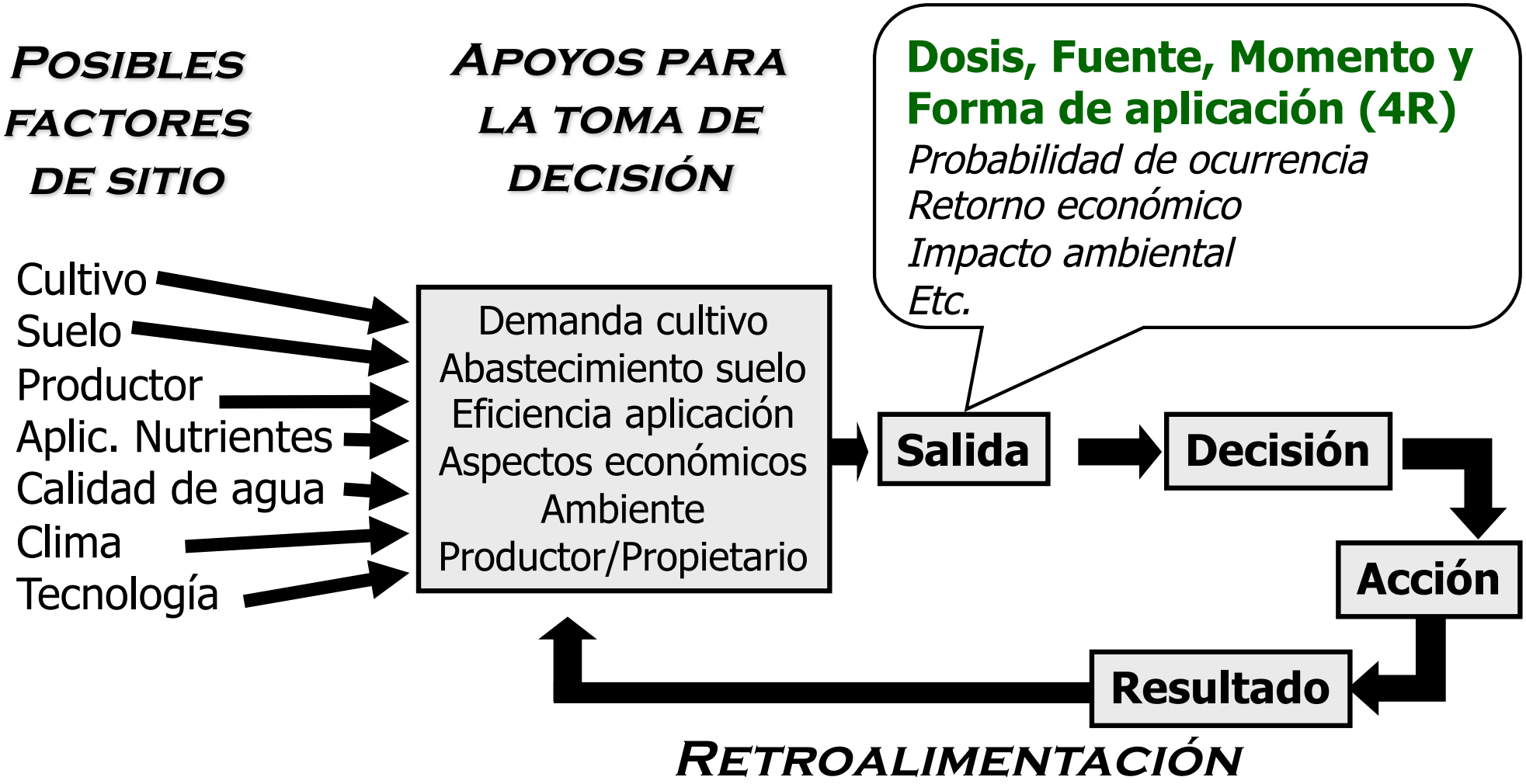
El **Manejo Responsable 4R** de los nutrientes implica "*aplicar la fuente de nutrientes* ***correcta****, a una dosis* ***correcta****, en el momento* ***correcto*** *y el lugar* ***correcto***", una herramienta esencial en el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles basada en principios científicos

Los 4 Requisitos del Manejo Responsable de Nutrientes (4Rs)

DECIDIR LA DOSIS, FUENTE, FORMA Y MOMENTO DE APLICACIÓN CORRECTOS

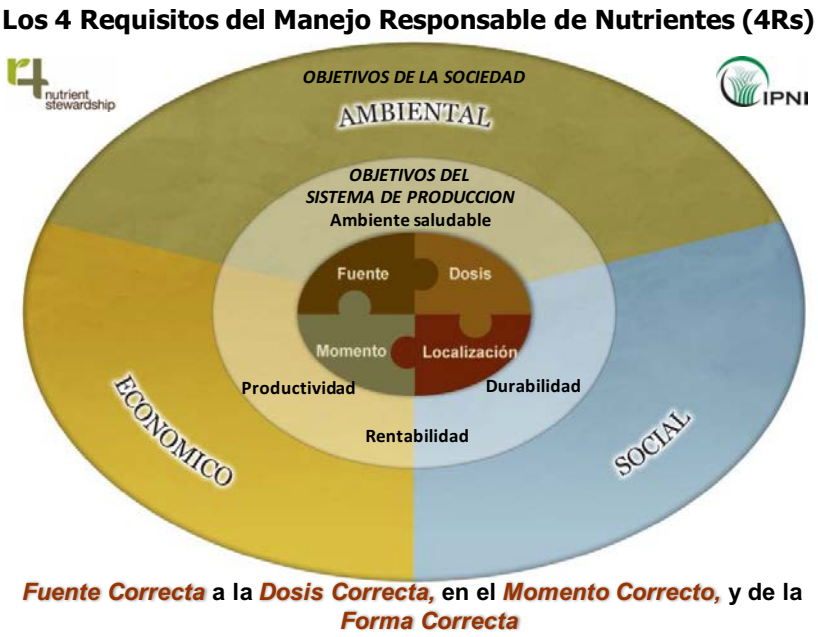
Fuente Correcta **a la** ***Dosis Correcta,*** **en el** ***Momento Correcto,*** **y de la** ***Forma Correcta***

Toma de decisiones en el manejo de nutrientes



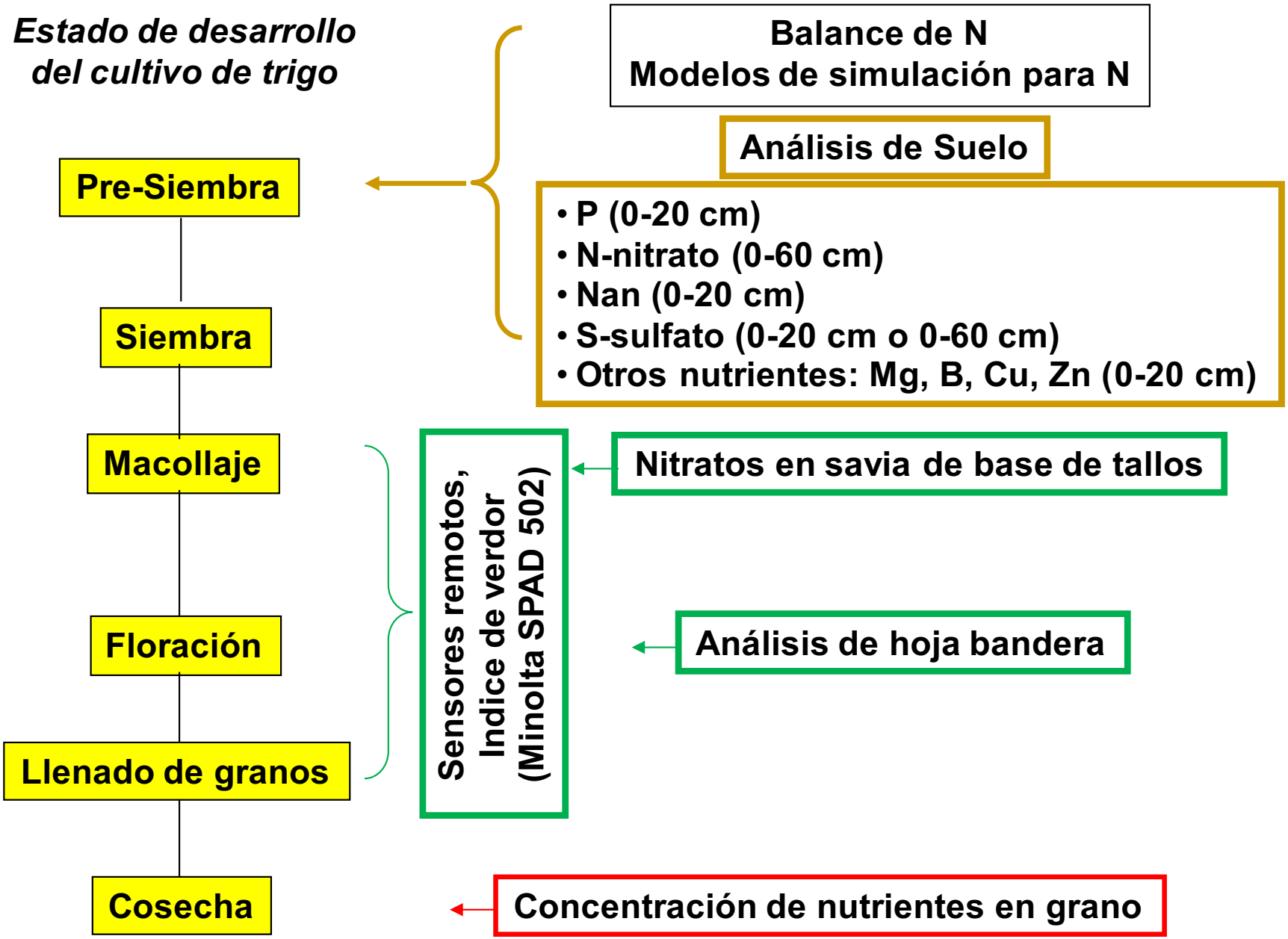
Adaptado de Fixen, 2005

Diagnóstico de Fertilidad



- *Central para el* ***Manejo Responsable de Nutrientes (4Rs)***
- ***Buena Practica Agrícola (BPA)*** *clave para el* ***uso eficiente y efectivo*** *de los nutrientes del suelo y los aplicados vía fertilización*

Diagnóstico de la fertilidad para trigo



García y Reussi Calvo, 2014

IPNI

El diagnóstico empieza conociendo los suelos

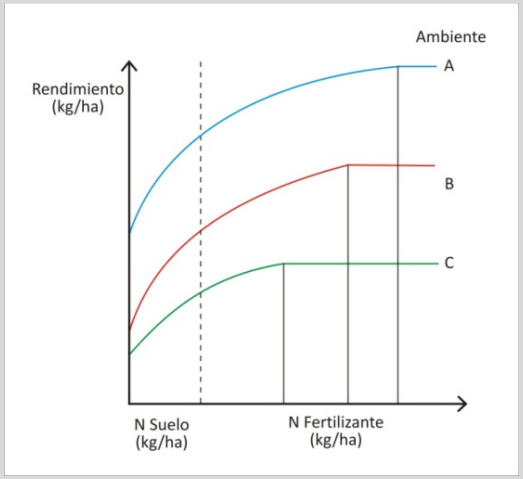
Las claves....

Muestreo de suelo

Análisis de suelo

Interpretación y Recomendación

Diagnóstico de la fertilización



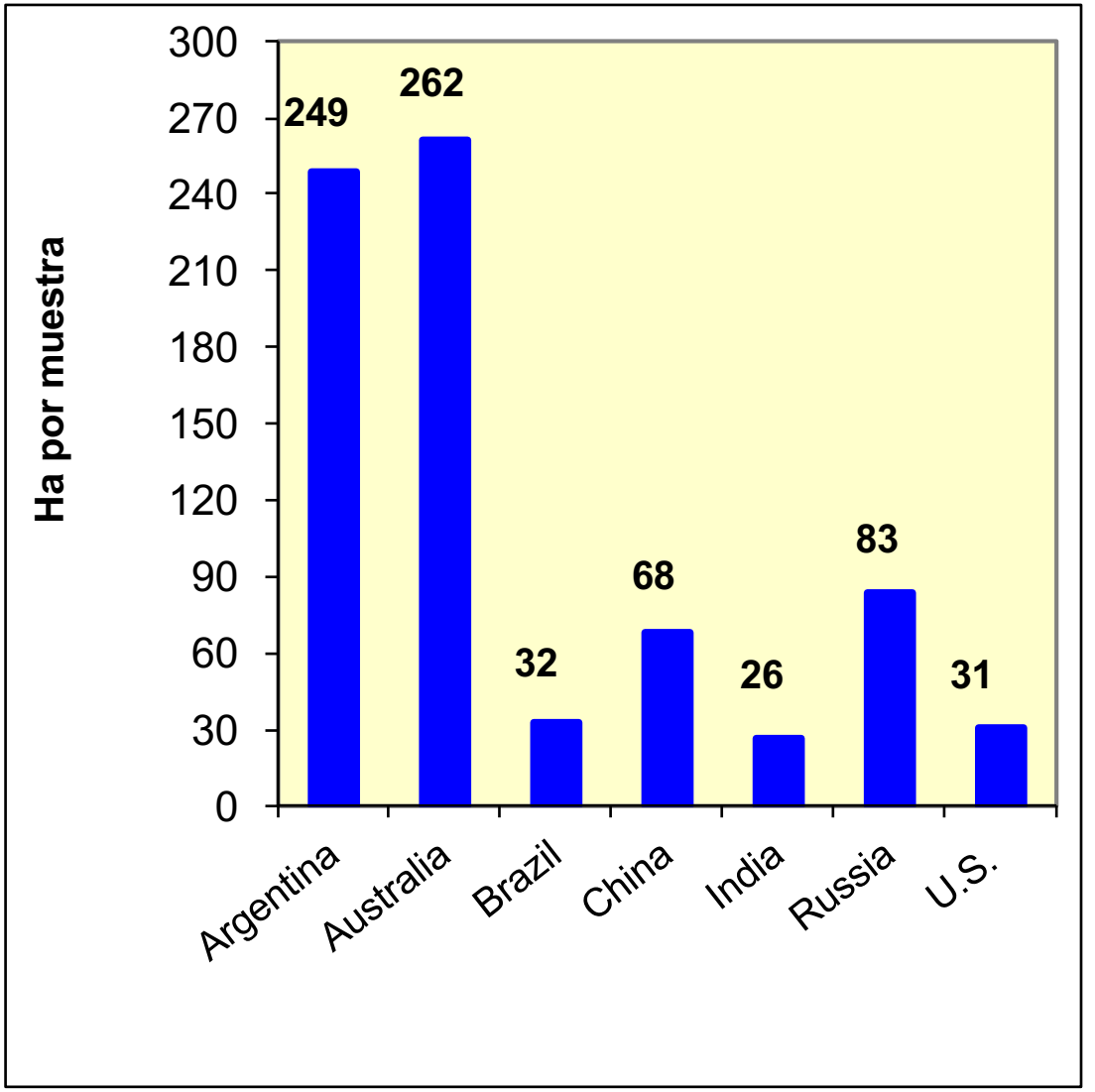
Fuente: N. Reussi Calvo (2012)

¿Sabemos lo que tienen nuestros suelos? Muestreo y análisis de suelos

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

El número de muestras de suelos evaluadas anualmente en Argentina es bajo

Intensidad de muestreo en algunos países



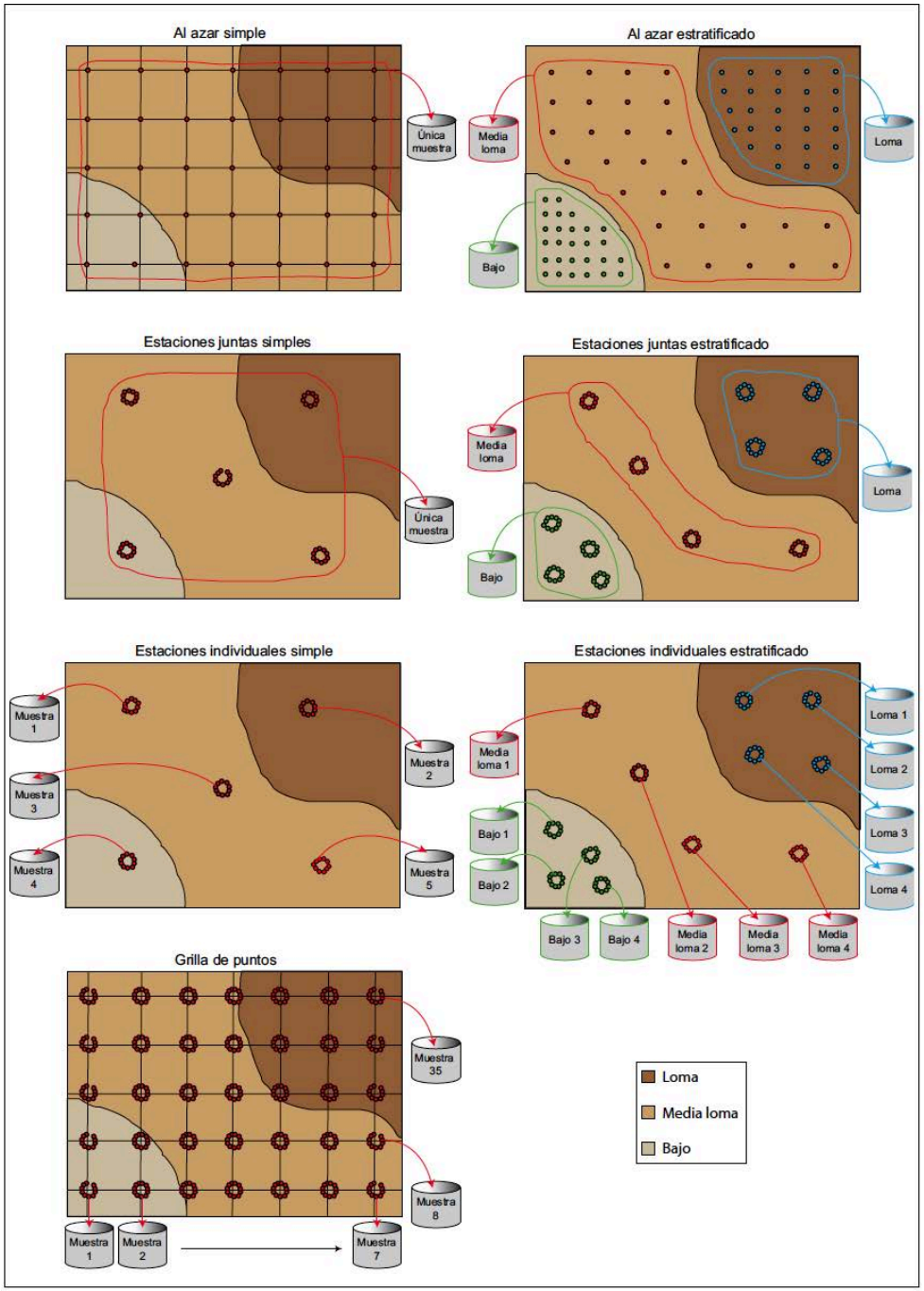
Ser muy cuidadosos en el muestreo

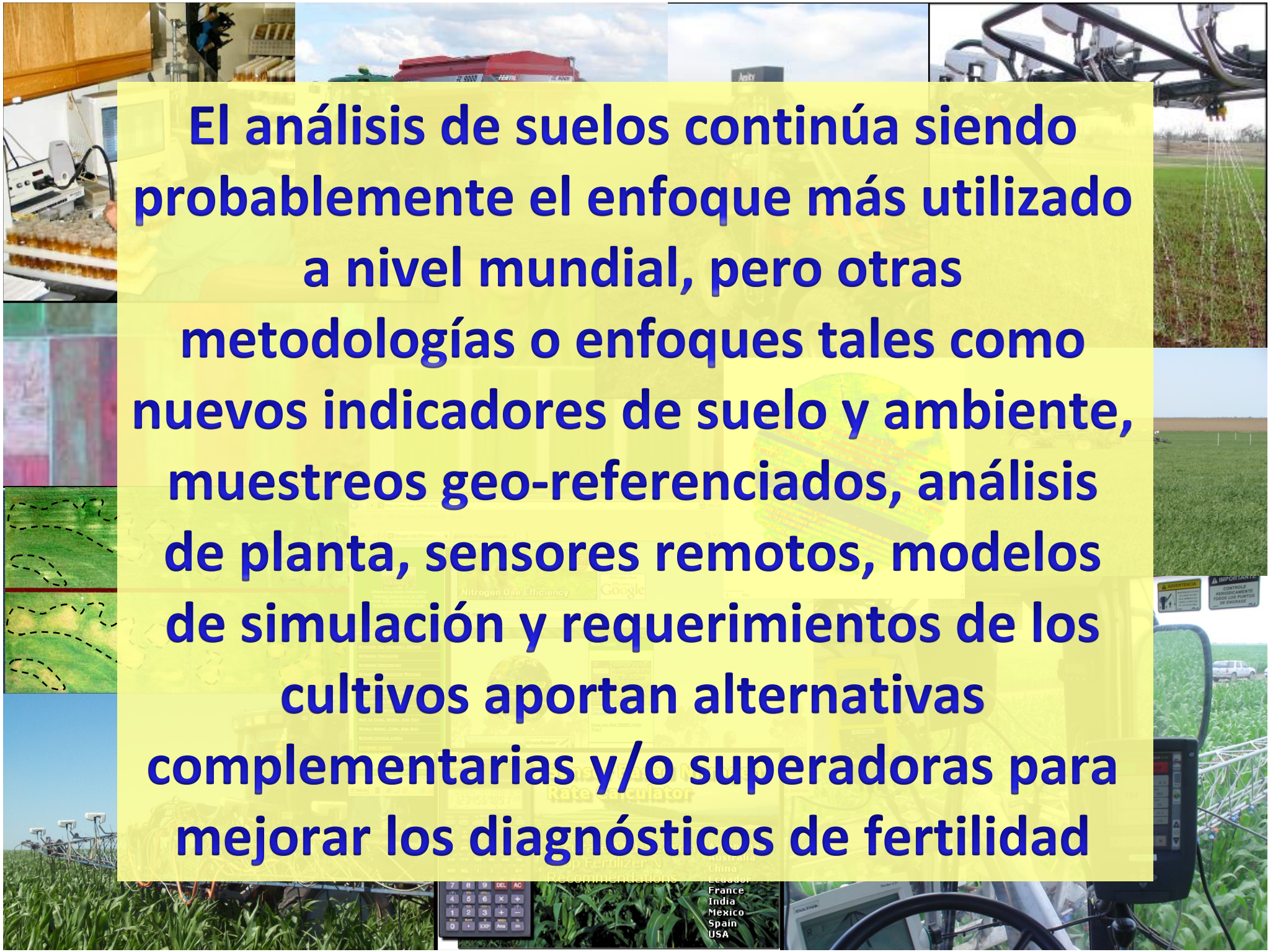
Etapa clave del análisis

Esquemas de distintas metodologías de muestreo de suelo

Carretero et al., 2016

AA No. 15, IAH 21, Marzo 2016





El análisis de suelos continúa siendo probablemente el enfoque más utilizado a nivel mundial, pero otras metodologías o enfoques tales como nuevos indicadores de suelo y ambiente, muestreos geo-referenciados, análisis de planta, sensores remotos, modelos de simulación y requerimientos de los cultivos aportan alternativas complementarias y/o superadoras para mejorar los diagnósticos de fertilidad

Requerimientos Nutricionales de los Cultivos

Absorción y extracción por tonelada de órgano cosechado a humedad comercial

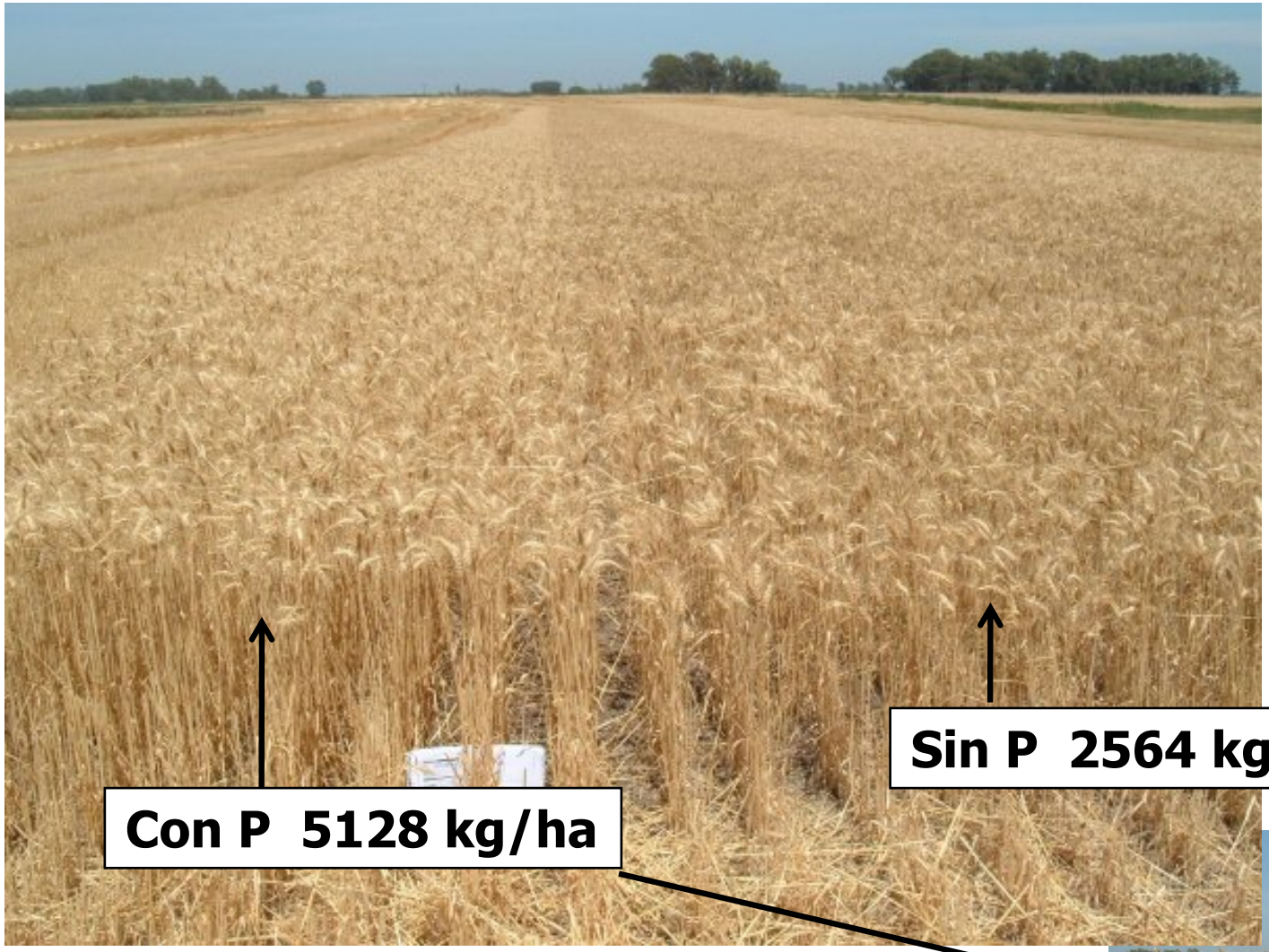
Cultivos	Absorción Total (kg/ton)						Extracción (kg/ton)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Soja	65	5.7	34	14	7.8	3.9	52	4.6	17	2.6	3.0	2.8
Maíz	19	3.4	16	2.6	2.6	3.4	13	2.6	3.4	0.2	1.4	1.2
Trigo	26	4.3	16	2.6	3.5	4.3	18	3.5	3.5	0.4	2.1	1.5
Cebada	23	3.5	16	17	-	3.6	15	2.6	3.4	1.2	-	1.7
Girasol	35	10	25	16	10	4.3	21	5.9	4.8	1.2	2.7	2
Sorgo	26	3.8	18	3.4	3.8	3.2	17	3.1	3.4	0.3	1.1	1.8

Fuente: Recopilación de Ciampitti y García (2007 y 2008)
Disponible en www.lacs.ipni.net

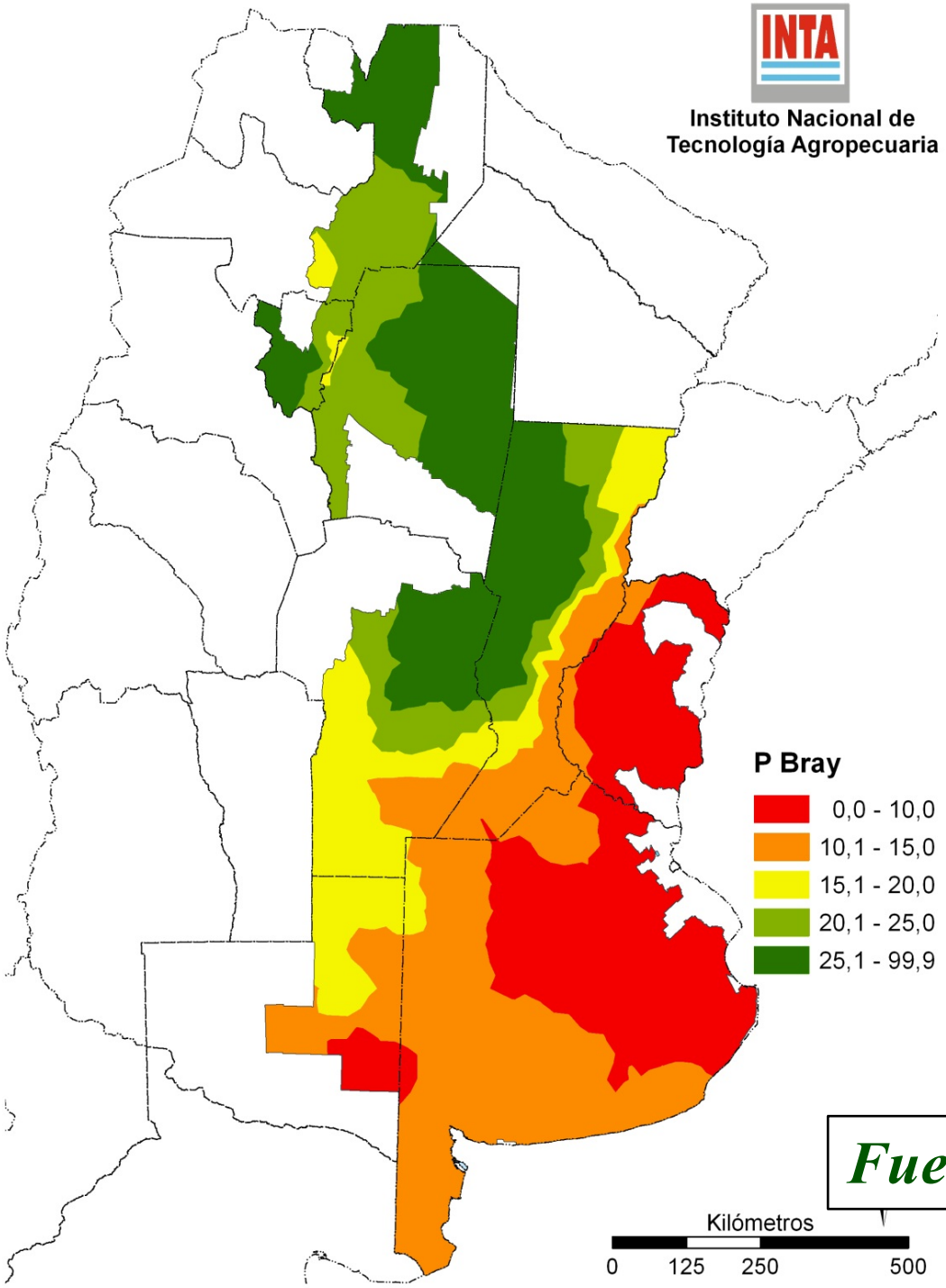
IPNI

Respuesta a P en Trigo

P Bray 5 ppm



25 de Mayo (Buenos Aires)
Campaña 2007-08
Foto: M. Díaz Zorita



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

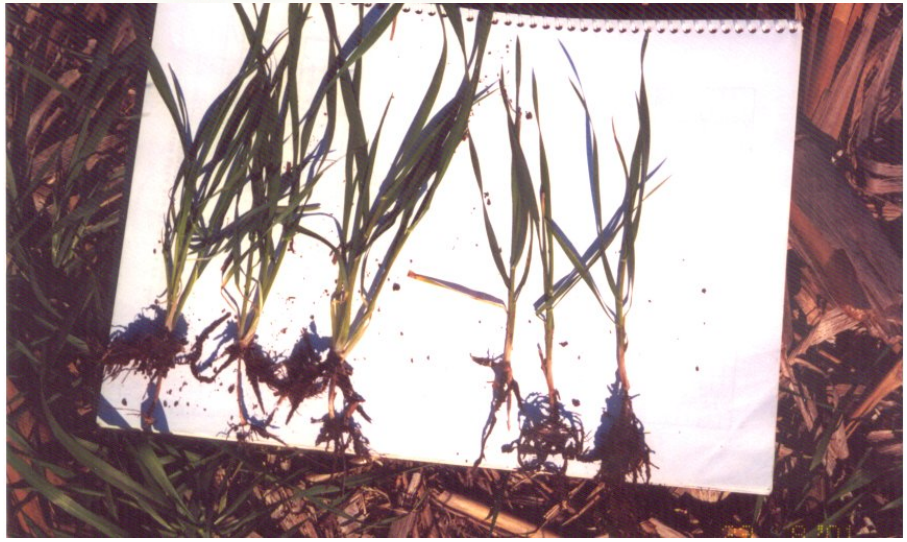
Muestras 0-20 cm, 2005 y 2006 (n=34447)

Aproximadamente 15 millones de ha debajo de 15 ppm P Bray

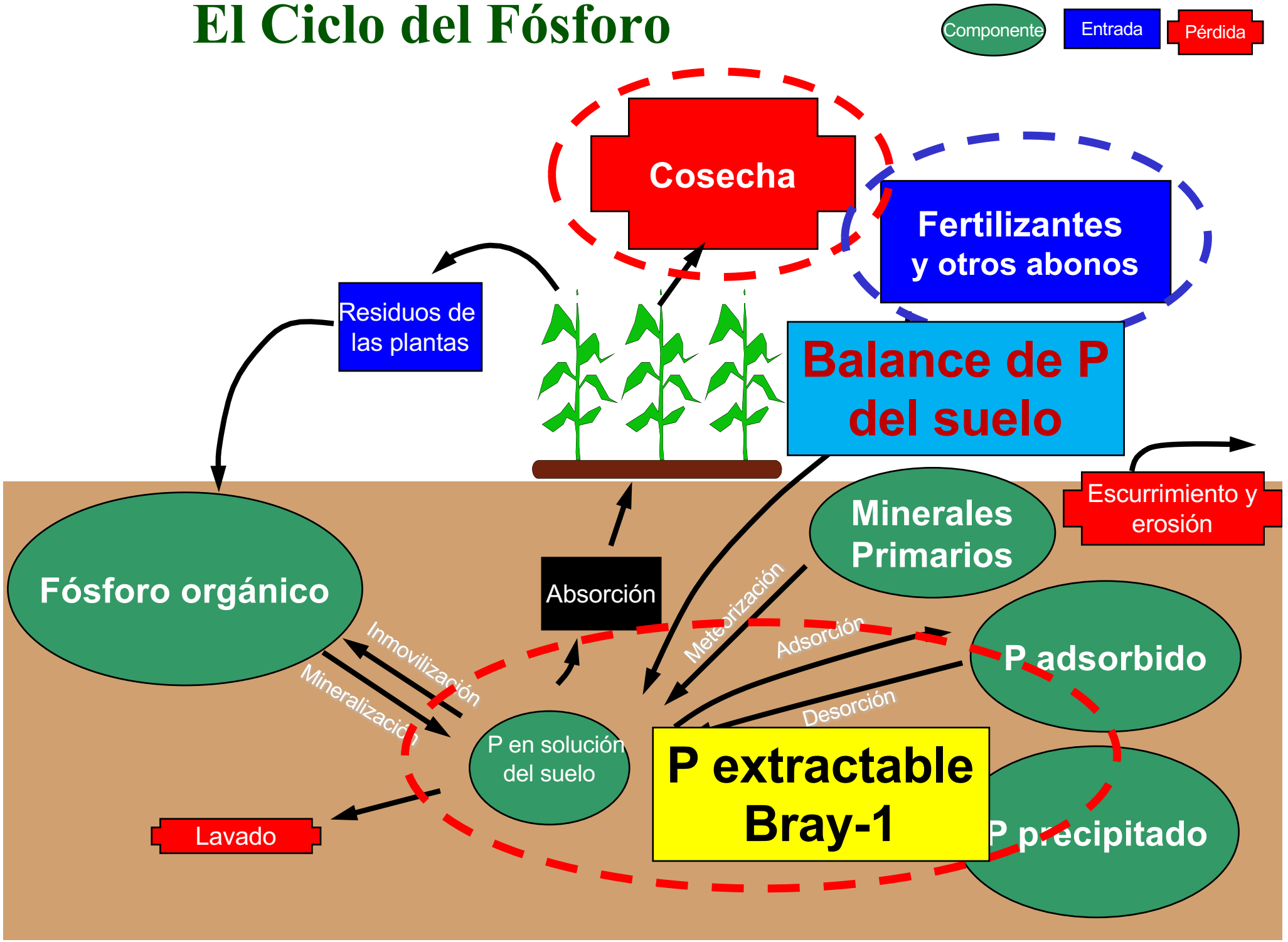
Fuente: Sainz Rozas et al. (2011)

Deficiencias de P en trigo

- Menor expansión foliar y tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar (Rodríguez et al., 1998a)
- Menor tasa de emergencia de hojas por reducción de la tasa de iniciación de primordios de hojas y tasa de elongación foliar (Rodríguez et al., 1998b)
- Demora y hasta suprime la emergencia de macollos, por demora de la emergencia de hojas en el tallo principal y la tasa máxima de emergencia de macollos (Rodríguez et al., 1999).
- Menor número de granos por m^2 por menor producción de fotoasimilados durante el período de crecimiento de la espiga debido a la reducción en la radiación interceptada (Abbate y Lazaro, 2001).



El Ciclo del Fósforo

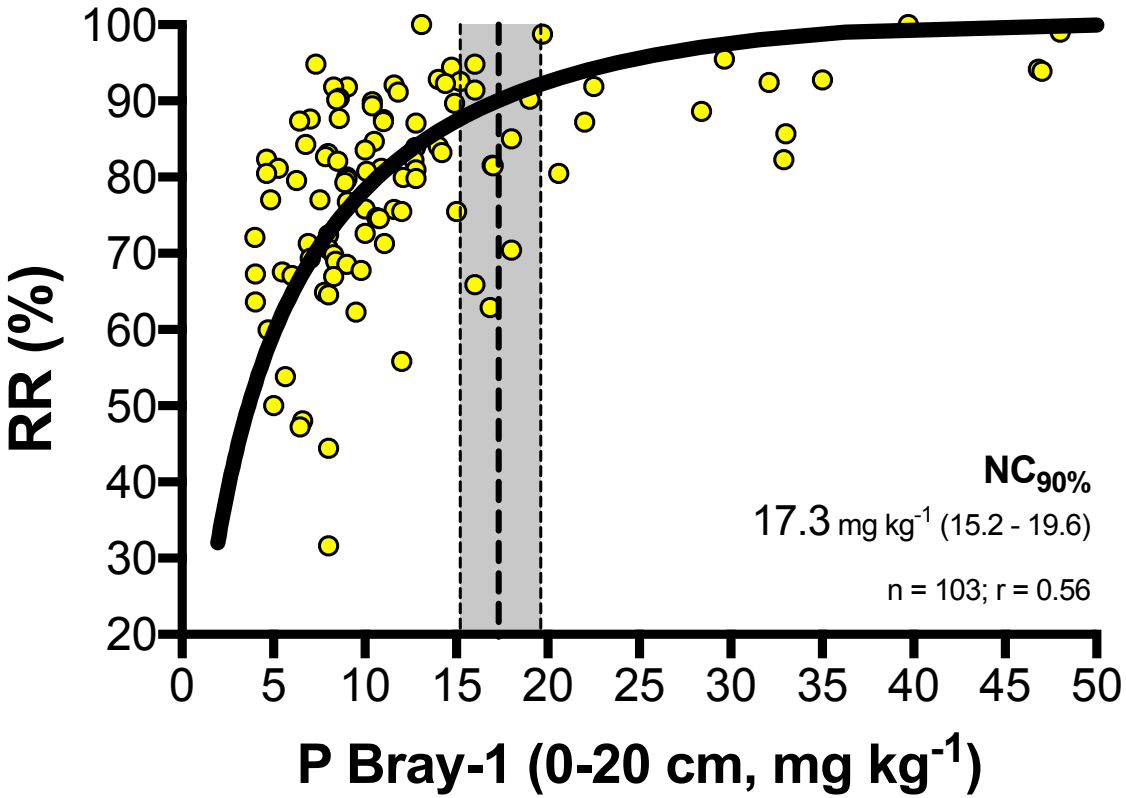


¿Cómo deberíamos manejar fósforo?

- Conocer el nivel de P Bray según análisis de suelo

NIVEL CRÍTICO DE FÓSFORO - Productivo

Datos de 103 ensayos en región pampeana (1998-2014)



PARA **90% RR**

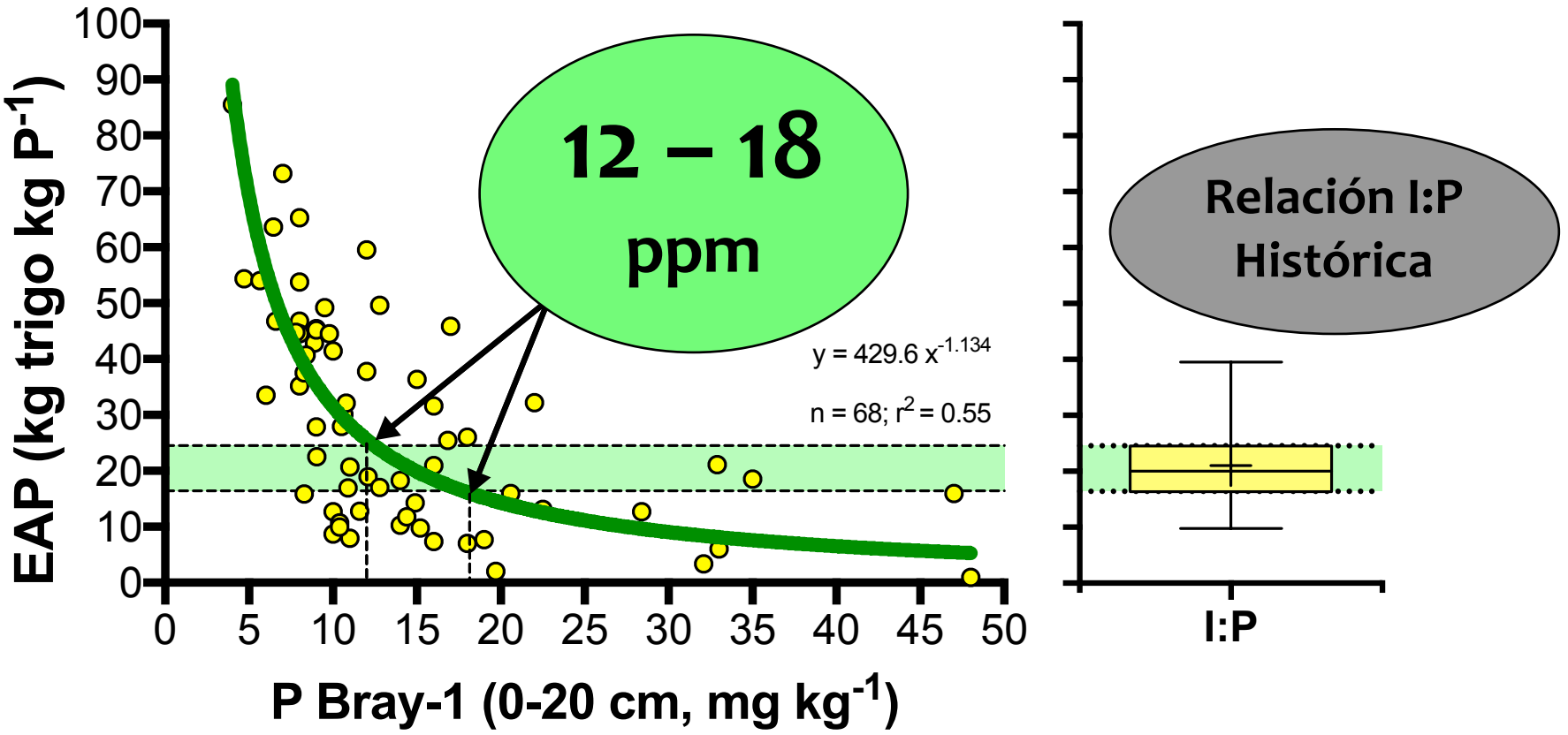
17.3 ppm

(15.2 – 19.6)

Correndo y García (2016)

NIVEL CRÍTICO DE FÓSFORO – Económico

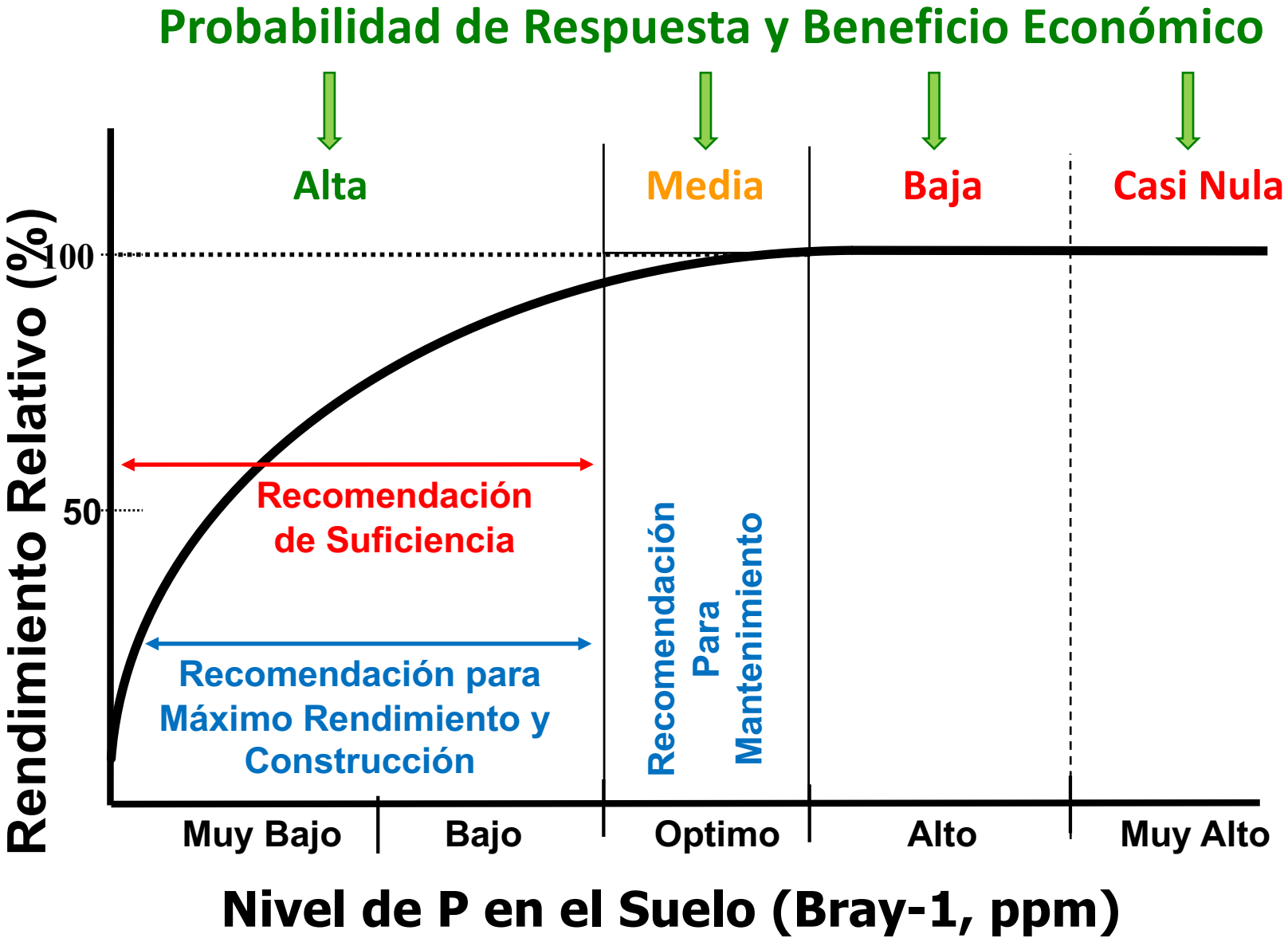
Datos de 68 ensayos en región pampeana (1998-2014)



Correndo y García (2016)

¿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)



Adaptado de Mallarino, 2007

Extracción de nutrientes de distintos cultivos

Nutriente	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**	**3.0**	**3.0**
Potasio	3.3	3.5	17	5.6	3.0	4.0
Calcio	0.4	0.2	2.7	1.3	1.0	-
Magnesio	2.3	1.3	3.2	2.7	1.0	1.0
Azufre	1.3	1.2	2.5	1.7	2.0	2.0

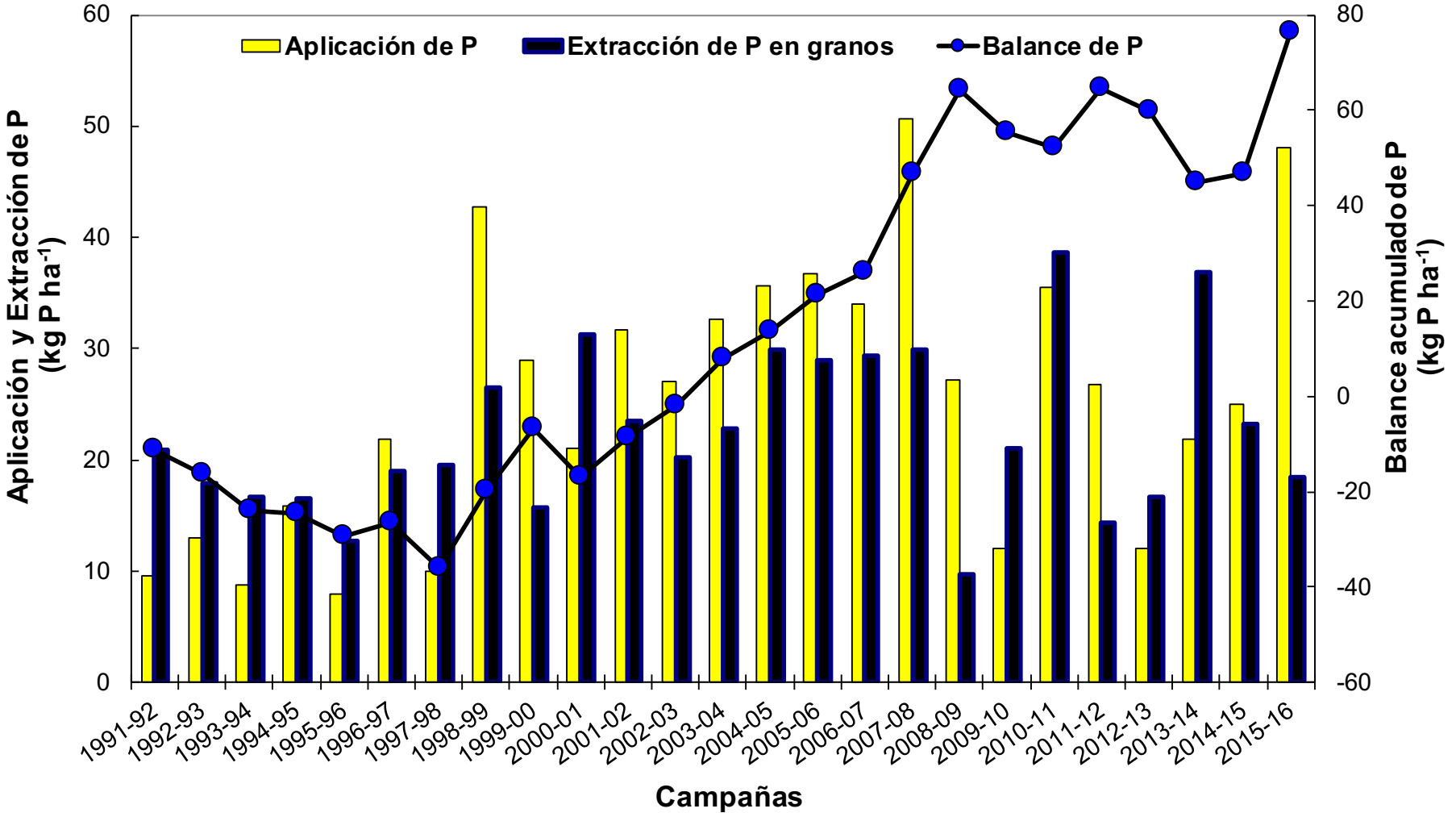
** La extracción está expresada en base a la Humedad Comercial (Hc) de cada cultivo*

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

IPNI

Dosis de P aplicadas, extracción de P estimada y balance acumulado de P en las 25 campañas agrícolas evaluadas en el lote 11 del establecimiento "Los Cordobeses", Paraná, Provincia de Entre Ríos

Muestreo inicial (1992): P Bray 9 mg P kg^{-1} - pH 6 - MO 4.26%

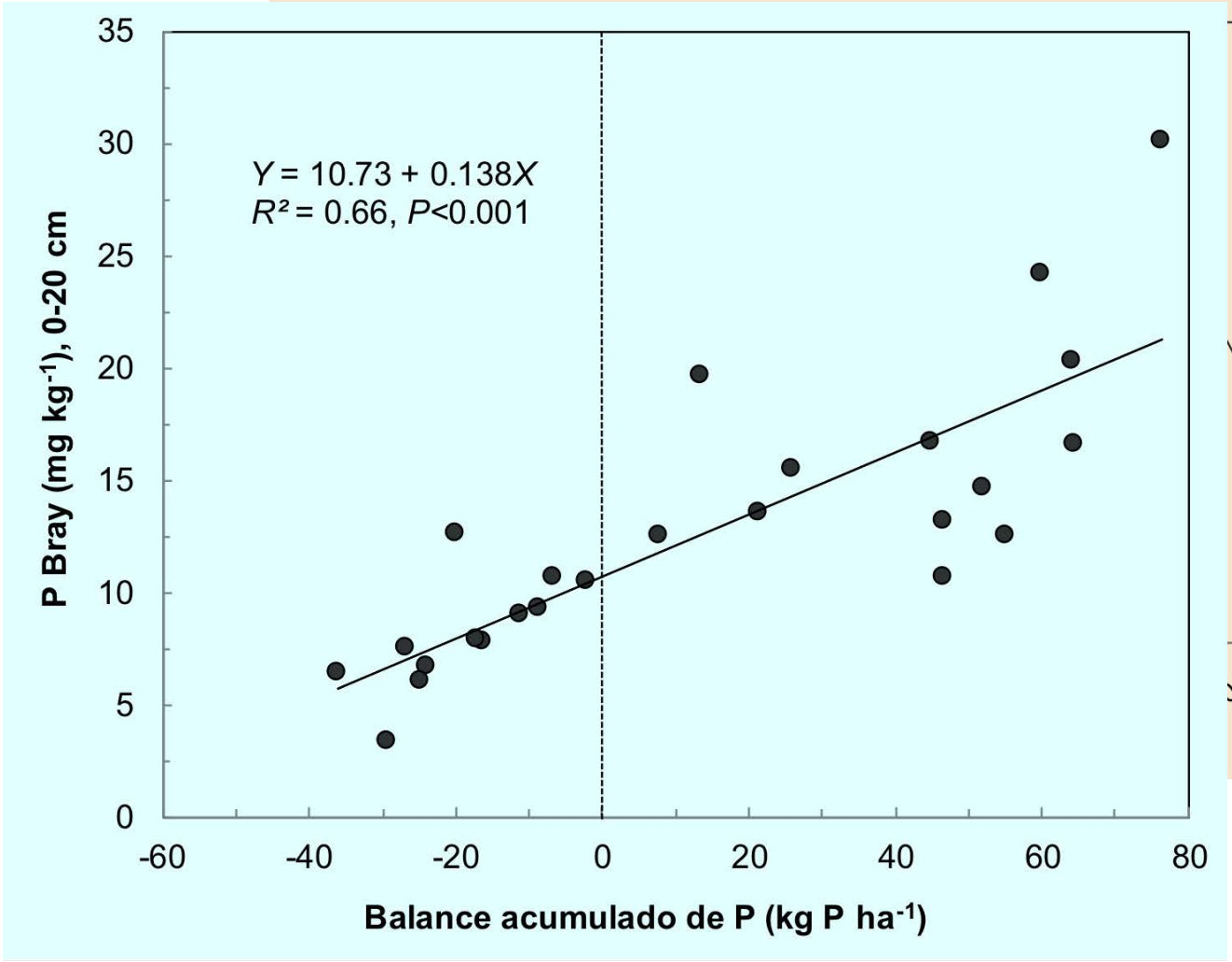


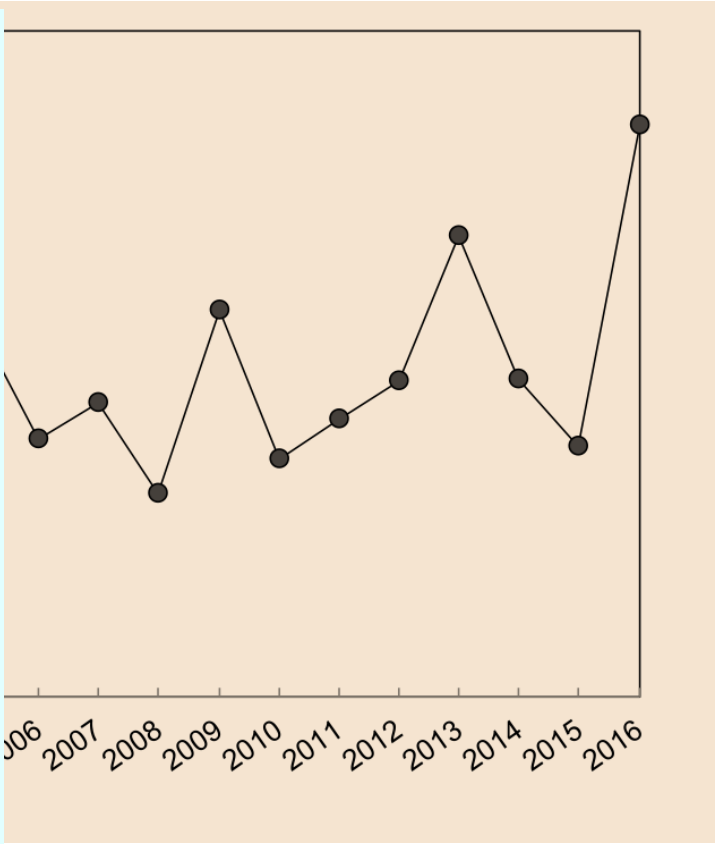
Fuente: Barbagelata y Chesta (2016)

IPNI

Evolución del P Bray (0-20 cm) y relación entre el balance acumulado de P y el P Bray (0-20 cm) en los 25 años evaluados en el lote 11 del establecimiento “Los Cordobeses”, Paraná, Provincia de Entre Ríos

Muestreo inicial (1992): P Bray 9 mg P kg^{-1} - pH 6 - MO 4.26%





Fuente: Barbagelata y Chesta (2016)

¿Fertilizo el cultivo o mejoro los niveles de P Bray del suelo?

Fertilizar cada cultivo	Subir y mantener el nivel de P Bray
Puedo maximizar el rendimiento	Rendimientos máximos y menos variables
Dependo del precio anual del fertilizante	Mayor independencia del precio anual del fertilizante
Requiere muestreos mas frecuentes	El muestreo se hace cada 2-4 años
Requiere aplicaciones mas especificas	Aplicaciones de P de reposición mas sencillas
Maximiza retorno al peso invertido de fertilizante	Maximiza el retorno del sistema
Estrategia de corto plazo	Estrategia de largo plazo

No hay una solución única para todos los productores, lotes o ambientes

Manejo de la fertilization fosfatada

- **Fuente Correcta**
  - La eficiencia de uso de los fertilizantes fosfatados por unidad de P es equivalente para las fuentes SFT, FDA, FMA y SPS
- **Momento Correcto**
  - Se aplican en pre-siembra o al momento de la siembra
- **Forma Correcta**
  - La aplicación en bandas es la mas eficiente
    - » ***Fitotoxicidad:*** evitar contacto con semilla y aplicar el fertilizante por lo menos a 5 cm de las semillas

¿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)*

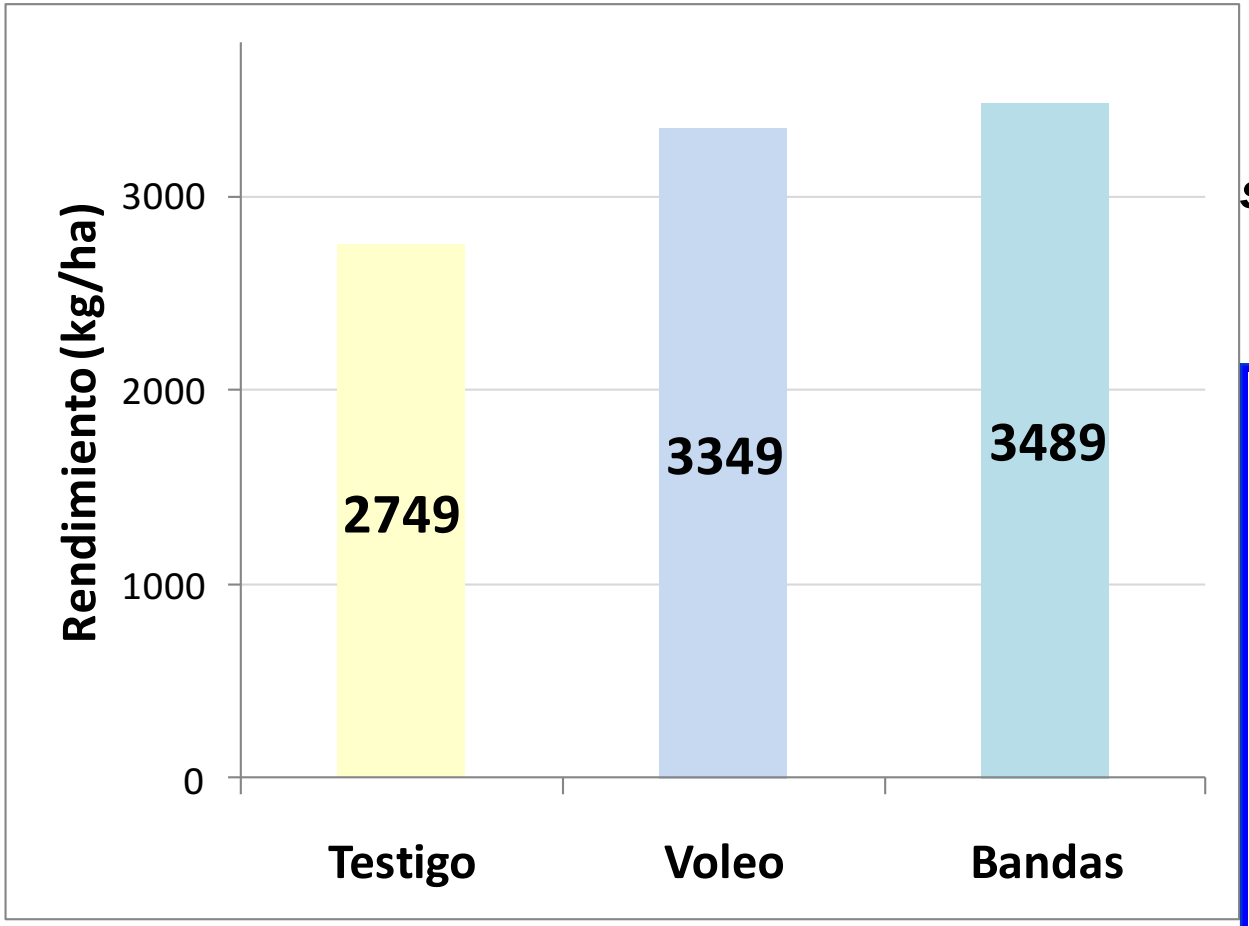
Precaución en aplicaciones en zonas de pendiente en épocas de lluvias intensas!!!!!!!!

IPNI

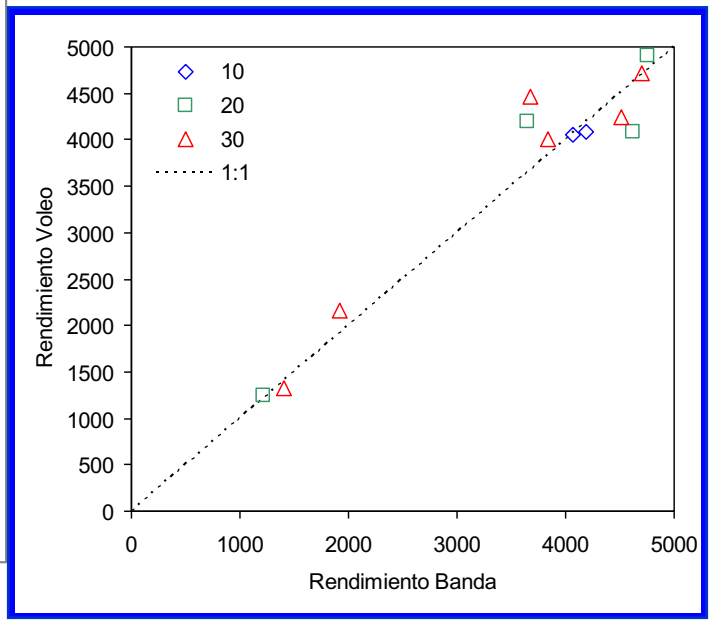
Localización de fósforo en trigo

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

IPNI

Azufre en trigo

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-INPOFOS-ASP

Deficiencia de Azufre en Soja

Don Osvaldo – Camilo Aldao, Córdoba – 2006/07

IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

El ciclo de Azufre

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

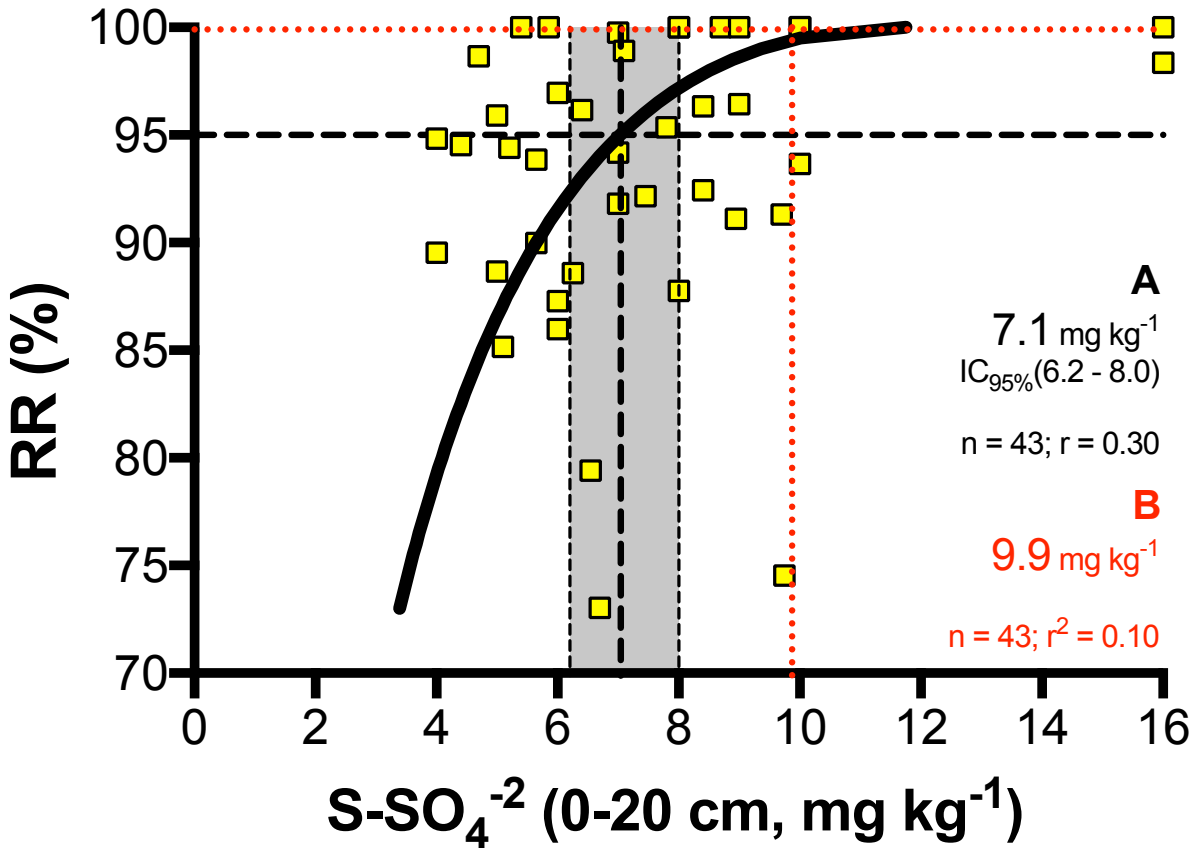
Diagnóstico de deficiencia de azufre

- Caracterización del ambiente
- Nivel crítico de 5-10 ppm de S-sulfatos (en algunas situaciones)
- Presencia de napas con sulfatos
- Balances de S en el sistema

IPNI

NIVEL CRÍTICO DE AZUFRE

Datos de 43 ensayos en región pampeana centro-norte (2000-2014)

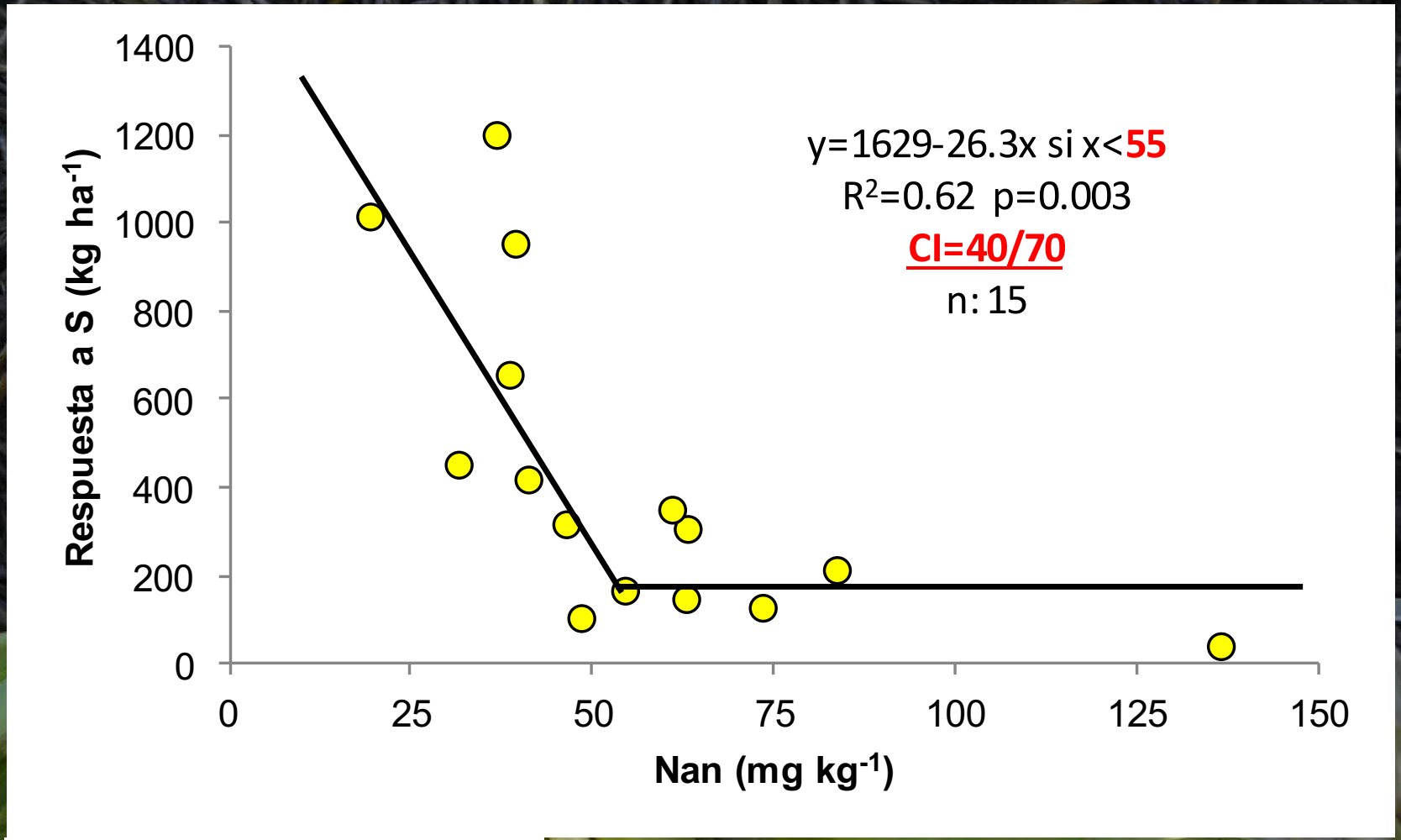


7.1 ppm
(6.2 – 8.0)
PARA **95% RR**

9.9 ppm
PARA **99% RR**

Correndo y García (2016)

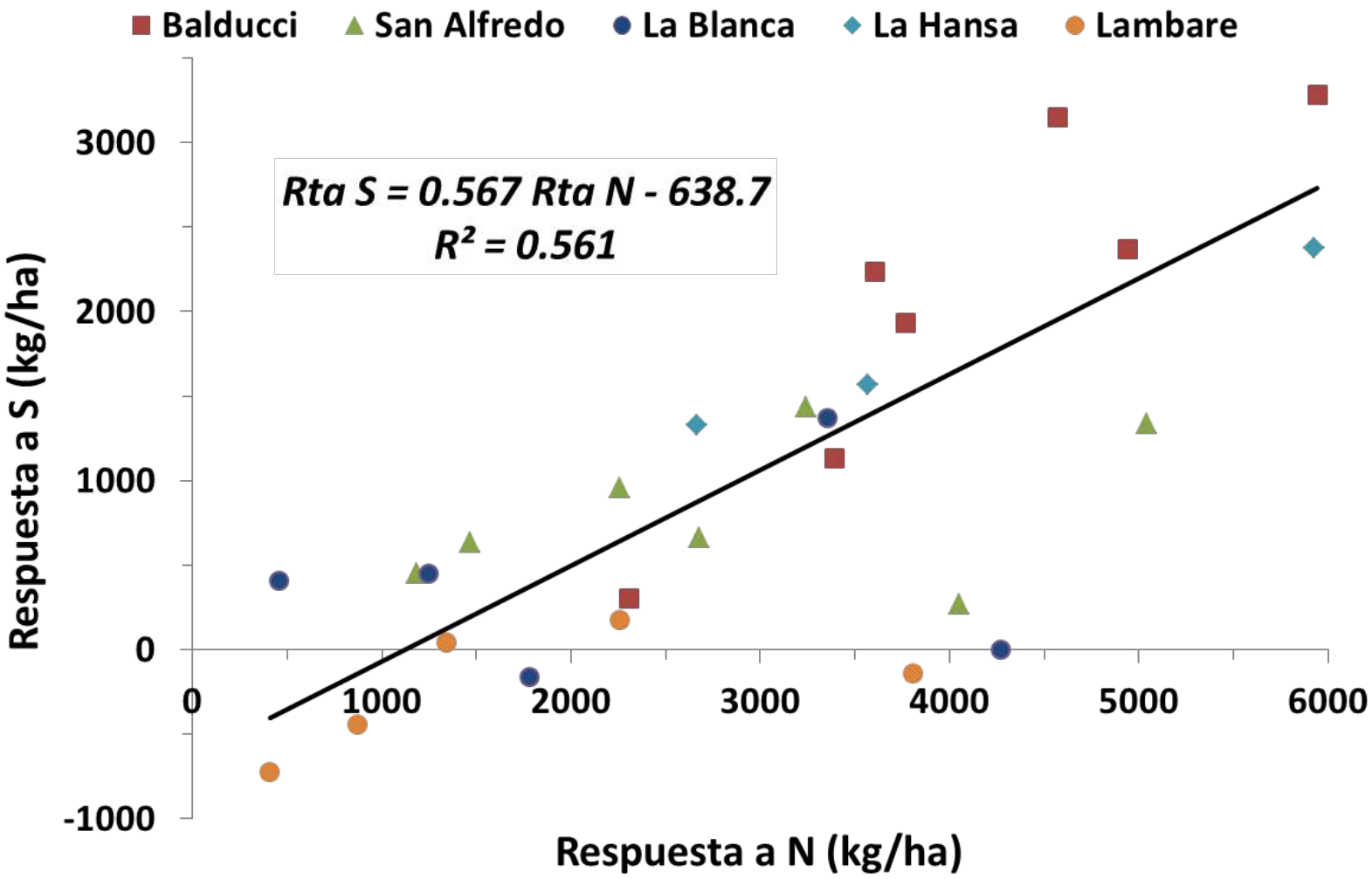
Relación entre la respuesta en rendimiento al agregado de S en maíz y el Nan



Fuente: Carciochi (2016, en revisión)

Maíz Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

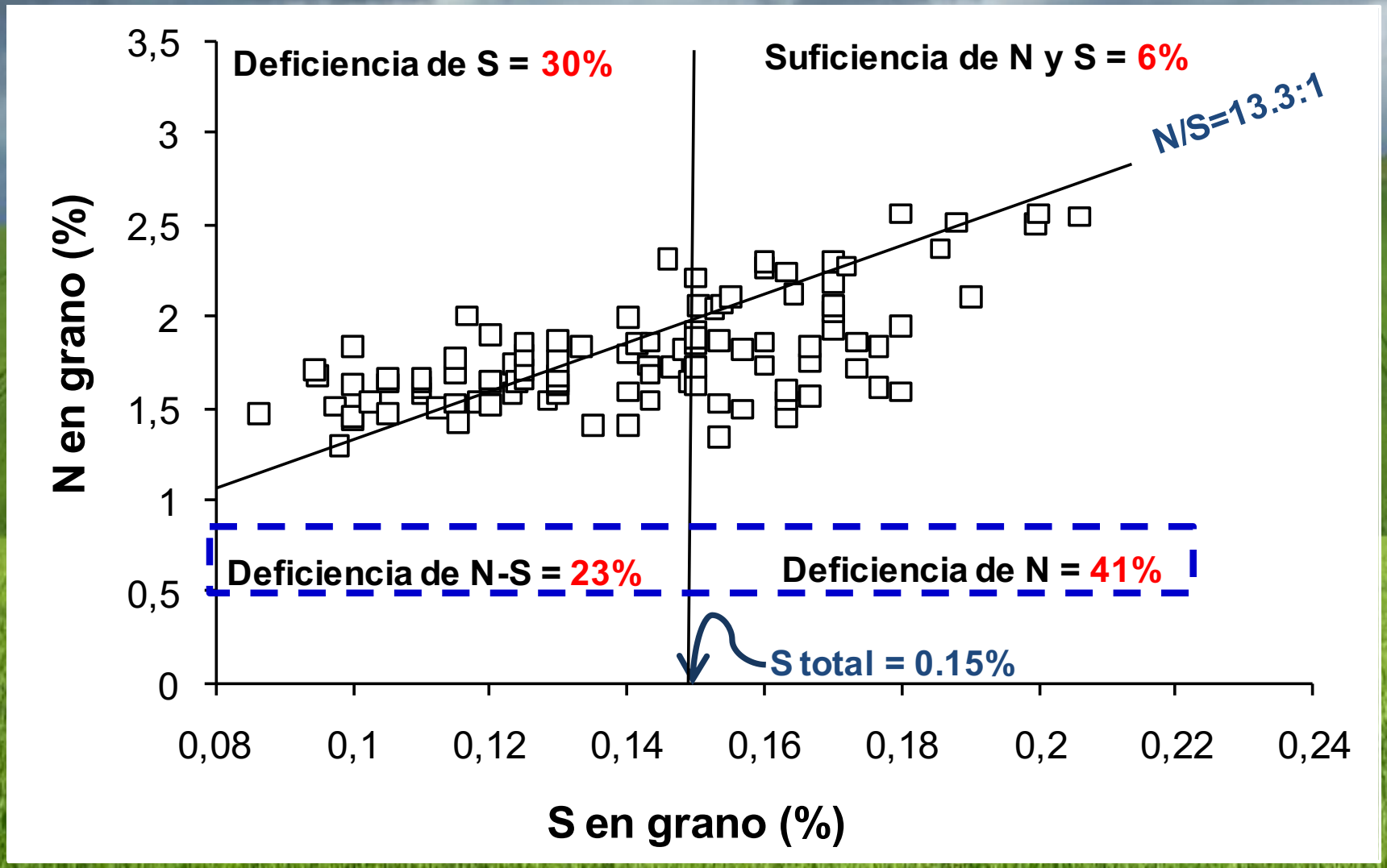
Relación entre respuestas a N y S



- *Respuesta a S de 500 kg/ha con respuesta a N de 2010 kg/ha*
- *Respuesta a S inversamente relacionada con rendimientos de Testigo*

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

Diagnóstico de deficiencia de S mediante análisis de grano (Muestras recibidas por Fertilab, 2011)



La fertilización azufrada mejora la eficiencia de uso de N en trigo

Variable	Unidades	N100	N100 +S20
Eficiencia Agronómica	kg grano / kg N aplicado	8.4	10.7
Eficiencia de Recuperación	kg N absorbido / kg N aplicado	0.35	0.47
Eficiencia Fisiológica	kg grano / kg N absorbido	22.7	22.5

Fuente: Salvagiotti et al. (2009)

IPNI

Red de Ensayos Trigo/Soja Proyecto INTA Fertilizar

Ensayo INTA Cañada de Gómez - G. Gerster y col. - 2001/02

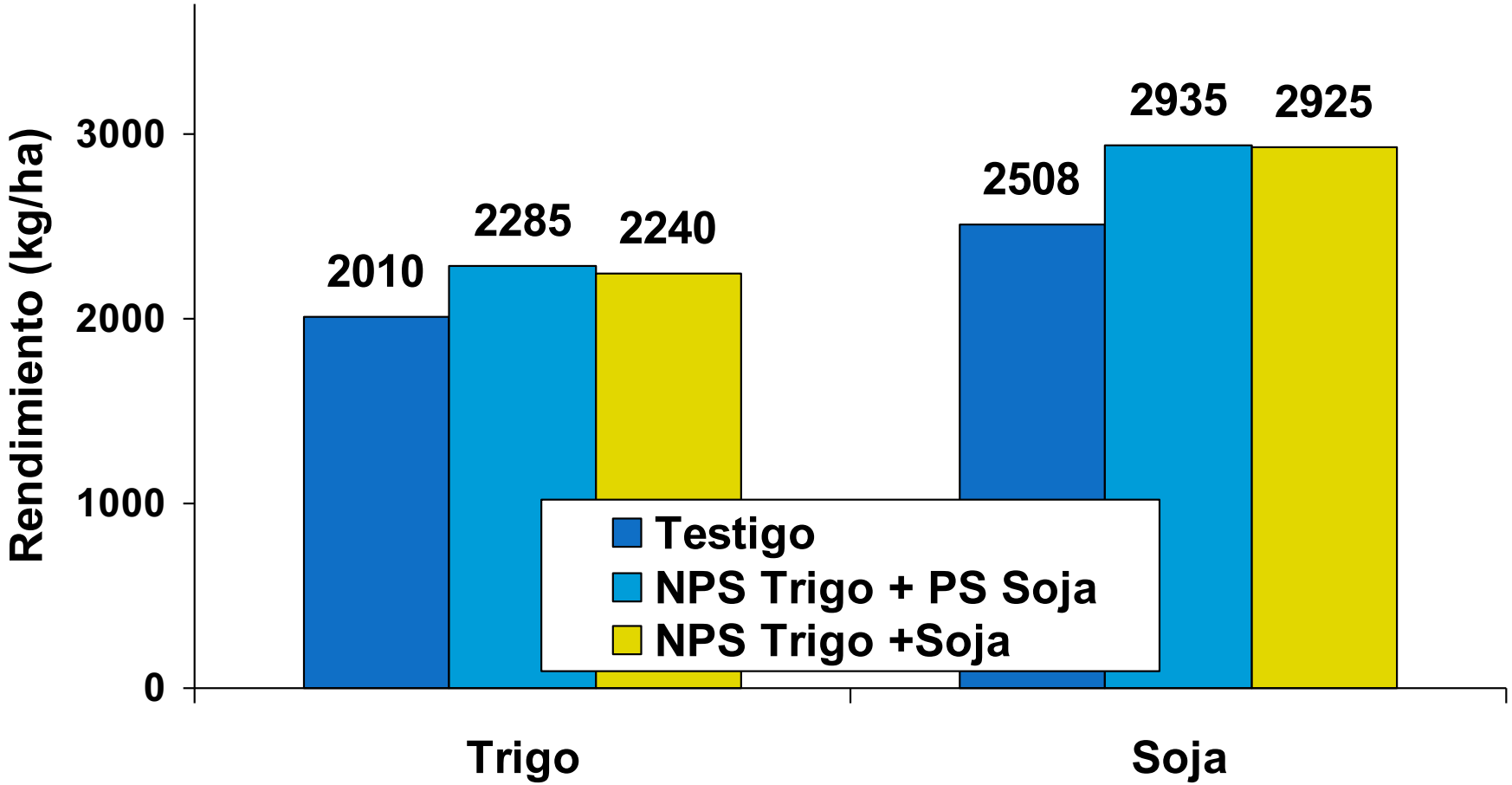
Residualidad en Soja II

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

La fuente correcta

Nutrientes esenciales para los cultivos

Carbono (C) - Oxígeno (O) - Hidrógeno (H)

Macronutrientes

Nitrógeno (N) - Fósforo (P) - Potasio (K)

Nutrientes Secundarios

Calcio (Ca) - Magnesio (Mg) - Azufre (S)

Micronutrientes

Boro (B) - Cloro (Cl) - Cobre (Cu)

Hierro (Fe) - Manganeso (Mn)

Molibdeno (Mo) - Níquel (Ni) - Zinc (Zn)

Elementos benéficos: Cobalto, Silicio, Sodio, Selenio, Vanadio y Aluminio

IPNI

¿Por qué son importantes los micronutrientes?

- En muchos sistemas de producción, los micronutrientes limitan el crecimiento y este problema no es detectado
- Los micronutrientes pueden jugar un rol importante en la resistencia a estrés de tipo biótico o abiótico como enfermedades, sequias o calor.
- También juegan un rol importante en el crecimiento reproductivo (por ej., B en floración)
- Los micronutrientes son de gran importancia para la salud de las plantas, los humanos y los animales.

Fuente: I. Cakmak (2011)

IPNI

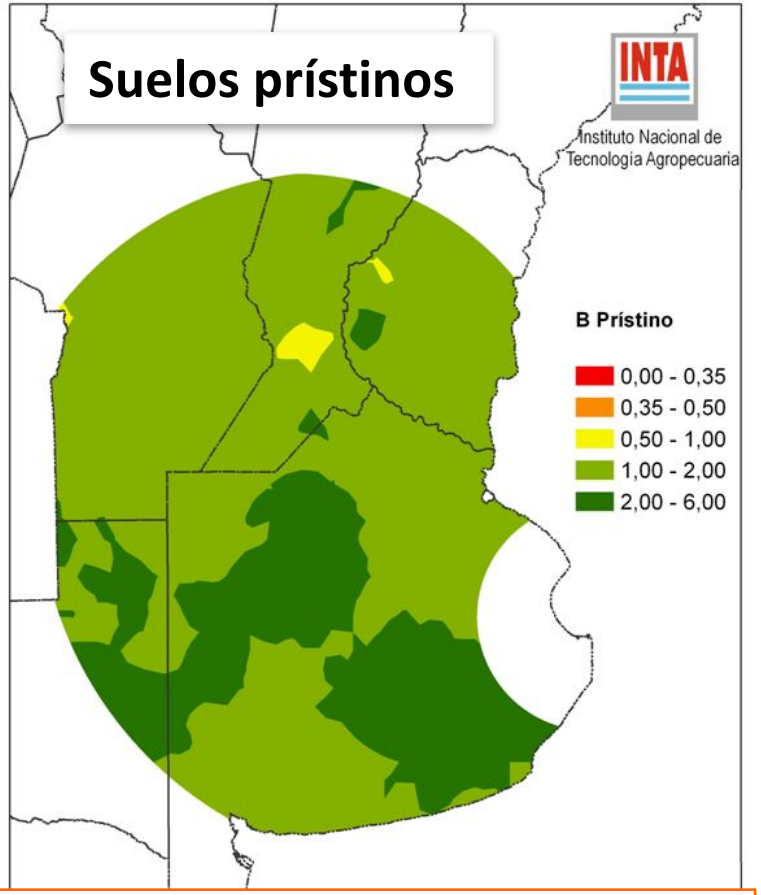
¿Cuál es el estado actual de micronutrientes en los suelos bajo cultivos de grano?

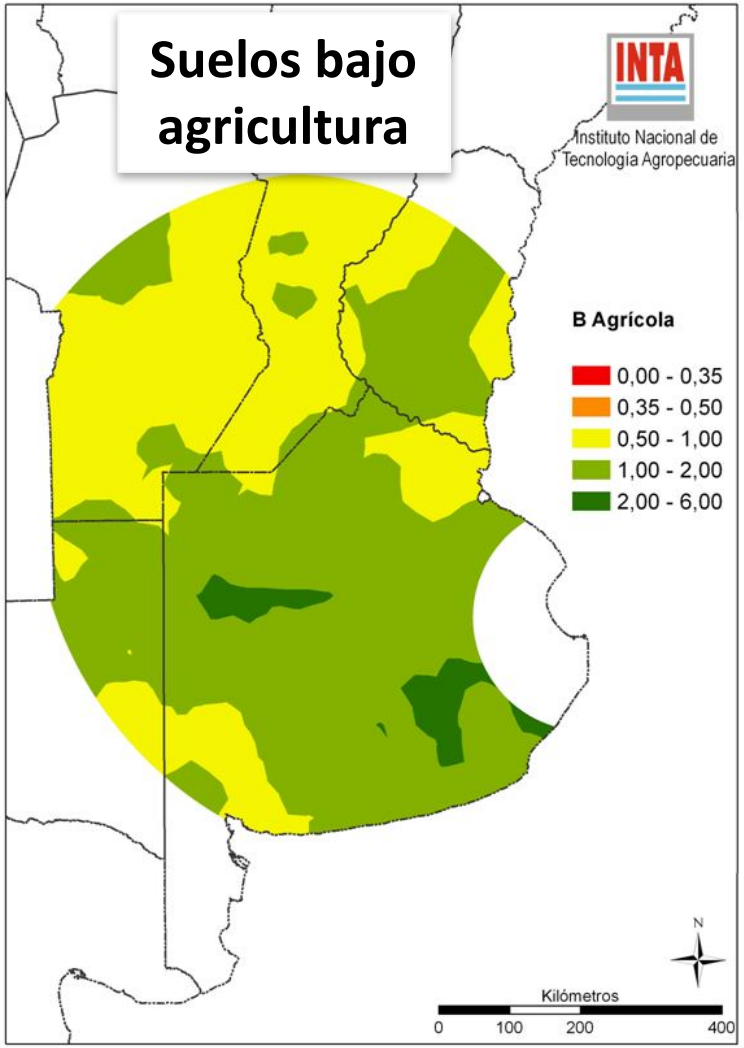
- *Relevamientos de nutrientes y propiedades químicas de suelos realizada por INTA (Sainz Rozas y colaboradores)*

- *Ensayos de respuesta a la aplicación de micronutrientes en diferentes cultivos y zonas por distintos grupos de investigación*

Rangos de valores de B disponible (extractable con DTPA) en suelos de la región pampeana en suelos prístinos y con prolongada historia agrícola

Muestreo 2010-2011 (n= 926)





Suelos agrícolas: 1.2 ± 0.5

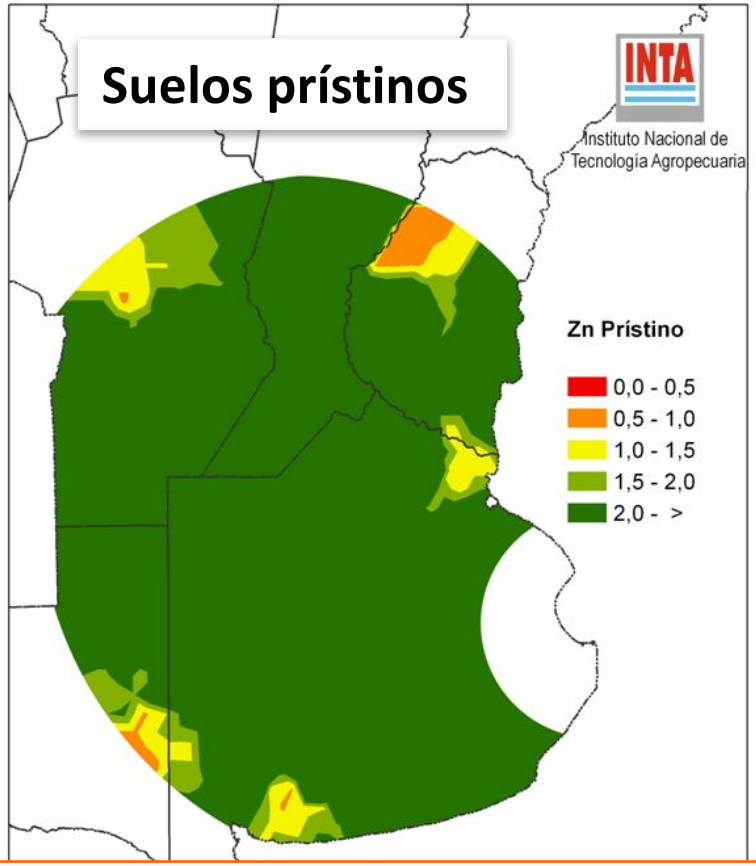
Suelos prístinos: 1.8 ± 0.8

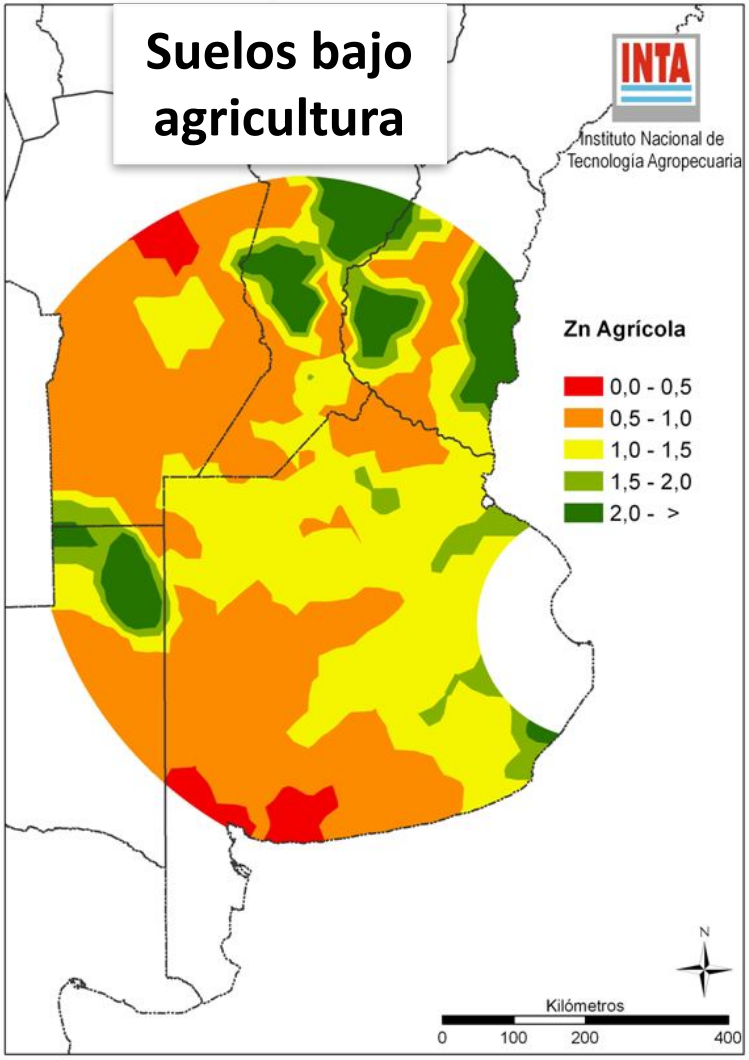
Fuente: Sainz Rozas et al. (2011)

IPNI

Rangos de valores de Zn disponible (extractable con DTPA) en suelos de la región pampeana en suelos prístinos y con prolongada historia agrícola

Muestreo 2010-2011 (n= 926)





Suelos agrícolas: 1.3 ± 1.4

Suelos prístinos: 4.6 ± 3.6

Fuente: Sainz Rozas et al. (2011)

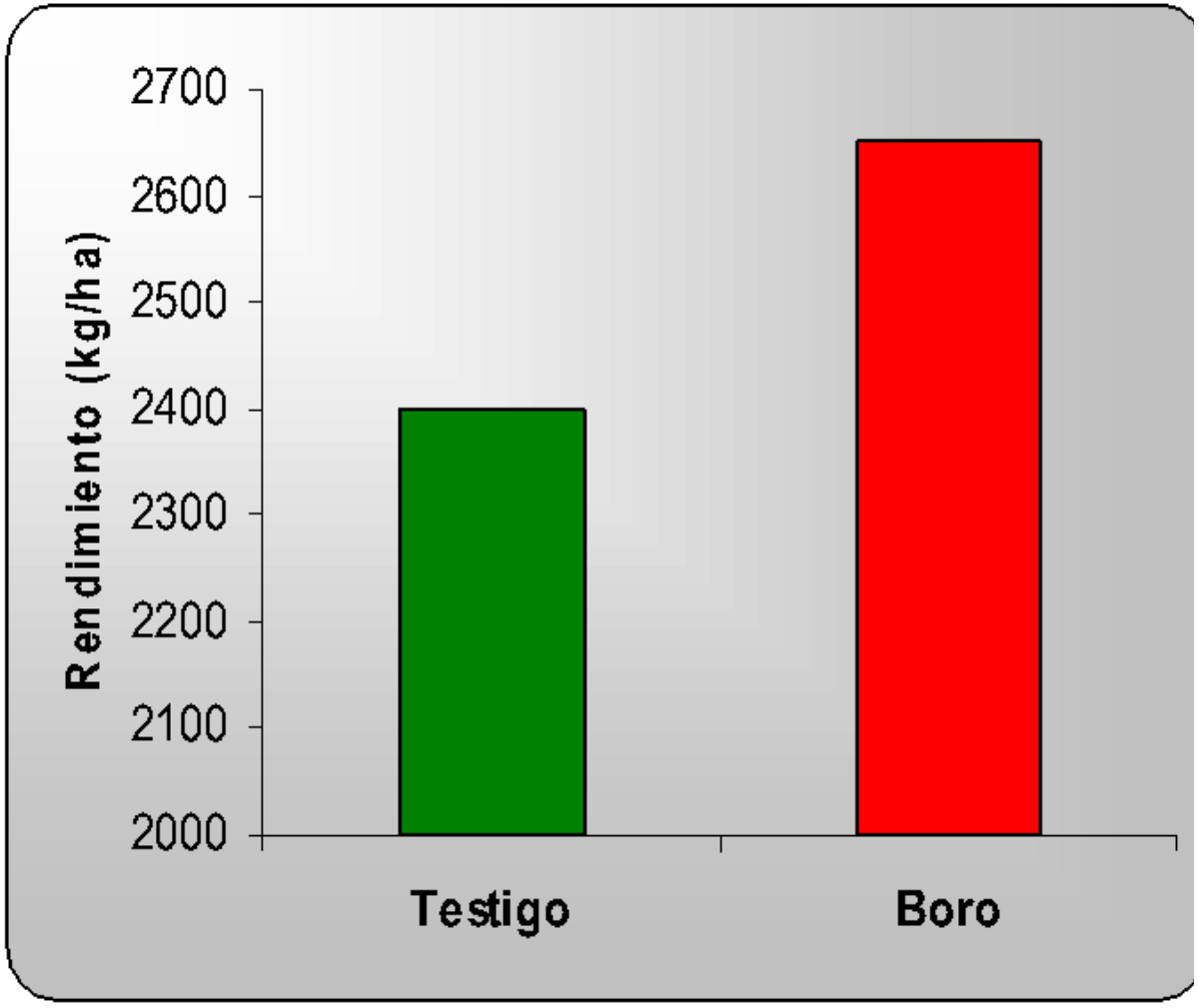
IPNI

BORO en Girasol

Fotos M. Díaz Zorita

Girasol: Respuesta al Boro

Campaña 1995/96. 13 sitios (Díaz Zorita y Duarte, 1996)



Deficiencias probables con:

- *Baja materia orgánica*
- *Suelos arenosos*
- *Años secos*
- *Diagnóstico en suelo y visual (hojas retorcidas, corte de capítulo, mal llenado).*
- *Aplicación al suelo o foliar. Estas tienen mejor absorción, y evitan fitotoxicidad posterior.*

Deficiencia de boro en soja

Fotos: Nicolás Capelle
Este de La Pampa – Enero 2012

Boro Foliar en Soja de Segunda

San Carlos (Santa Fe)

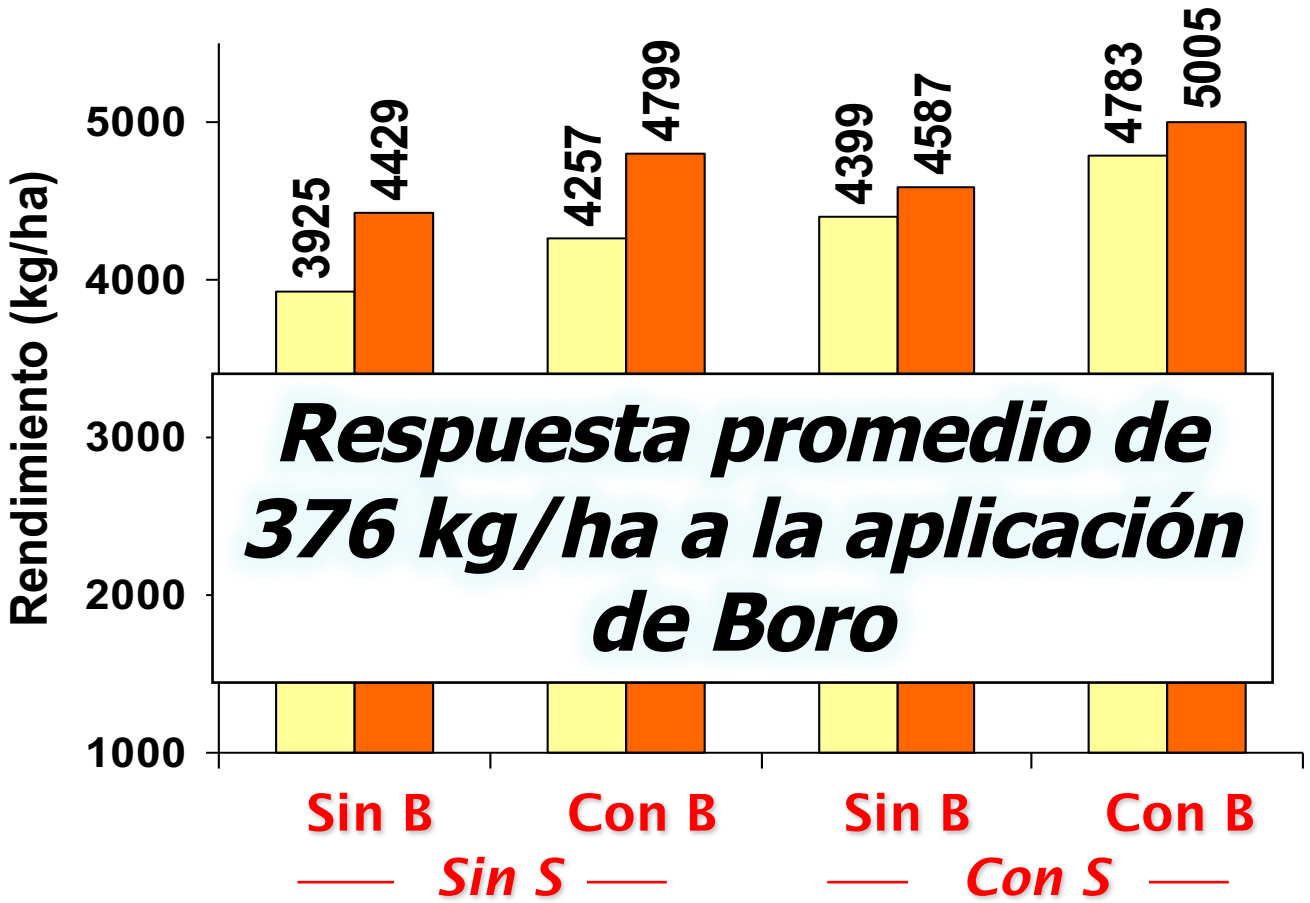
Fontanetto y col. - EEA INTA Rafaela, 2008/09

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*

Azufre y Boro en Trigo

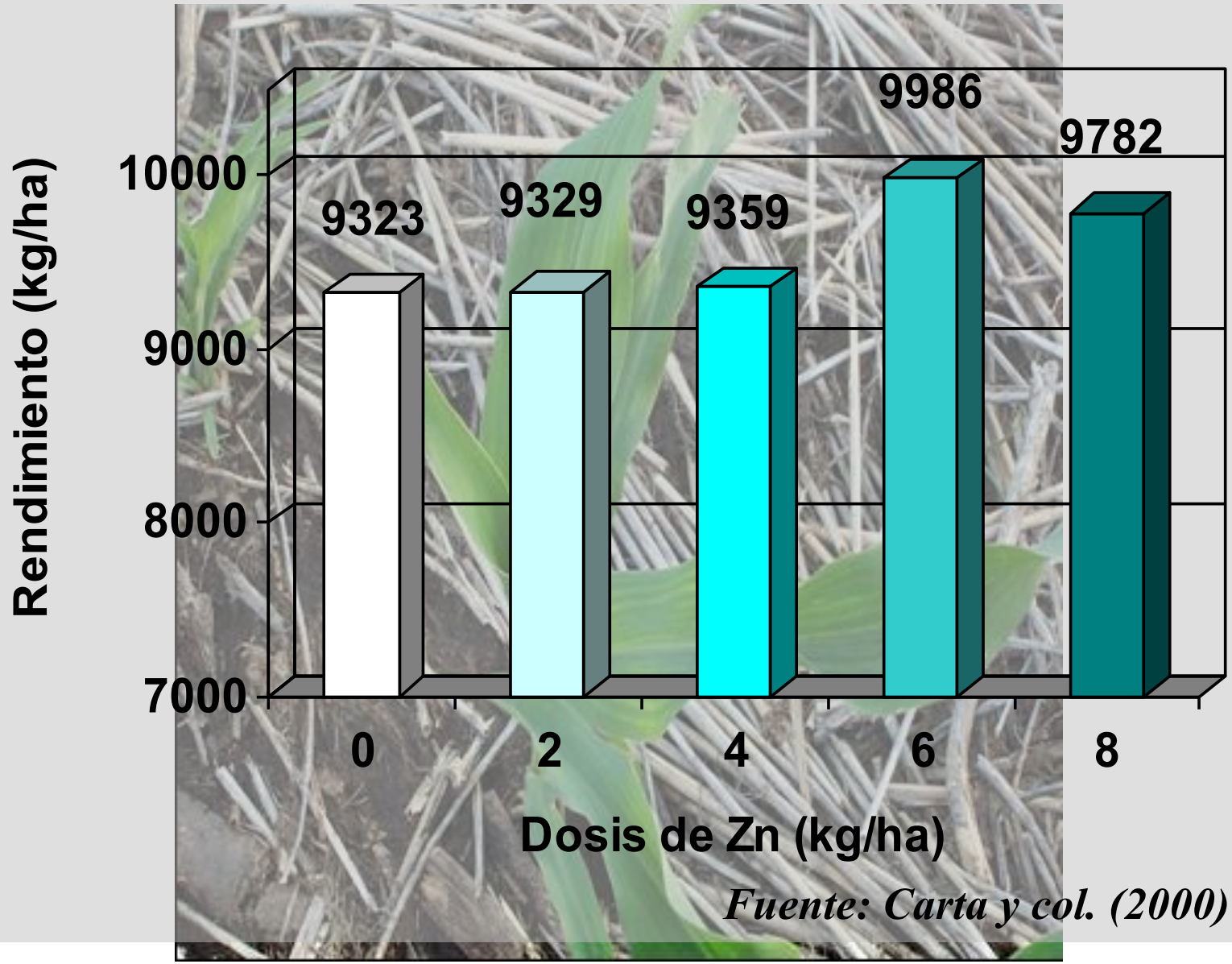
Criadero Klein – Alberti (Buenos Aires)
Campaña 1999/00
Fuente: Ing. Agr. Roberto Klein (2003)



- *Dosis de NP: 95-110 kg N, 25-49 kg P -*
- *Dosis de S: 6 kg/ha - Dosis de B: 0.5 kg/ha*
- *MO 2.5% - pH 6.1 - S-sulfatos 13 ppm - B 0.2 ppm*
- *Primavera-verano secos*

Maíz: Rendimientos con distintas dosis de Zinc

INTA 9 de Julio - Campaña 1999/00



Fuente: Carta y col. (2000)

Zinc en Maíz en Bolivar

INTA-ASP Bolivar – Campaña 2009/10

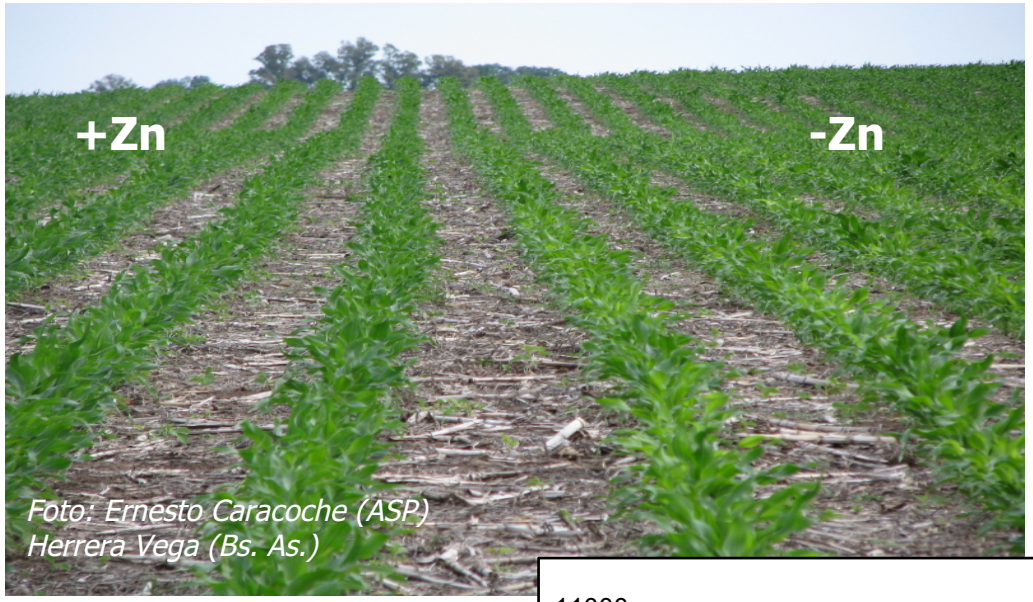
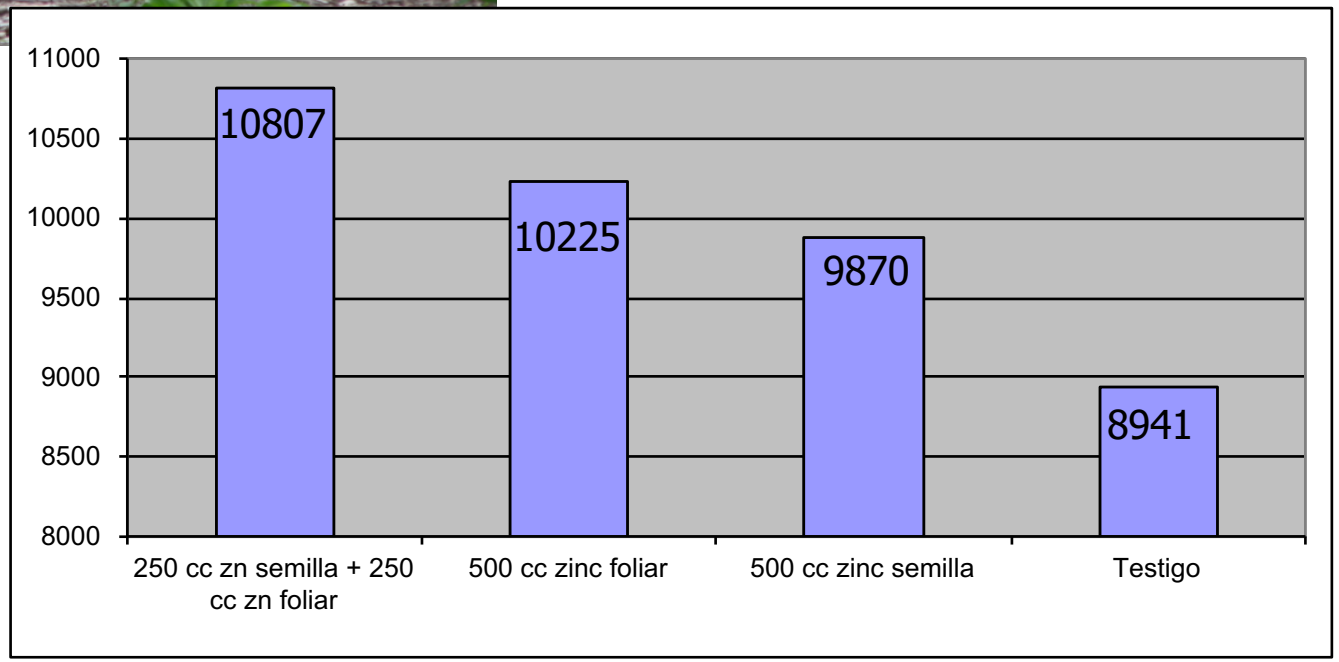
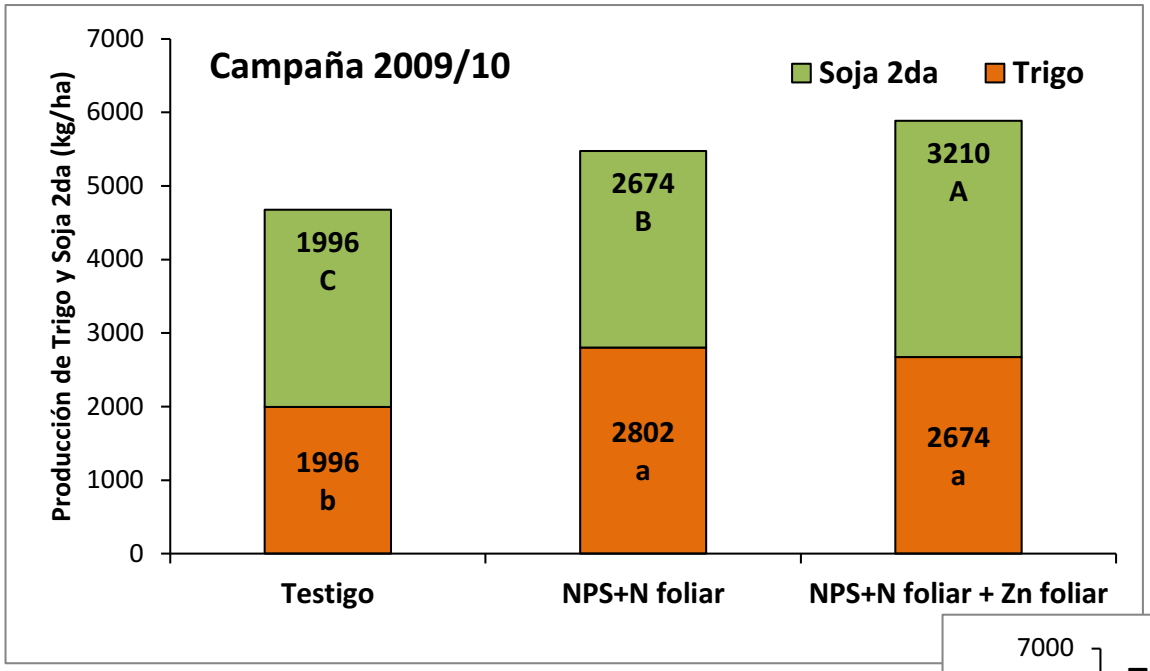


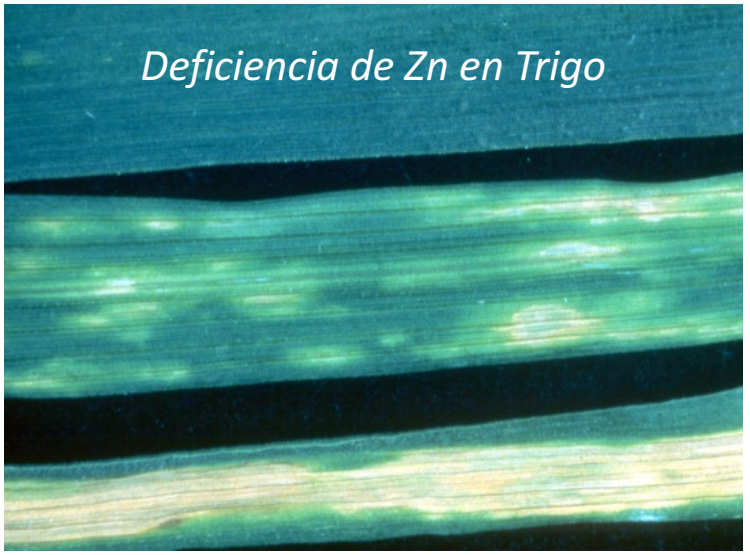
Foto: Ernesto Caracoche (ASP)
Herrera Vega (Bs. As.)



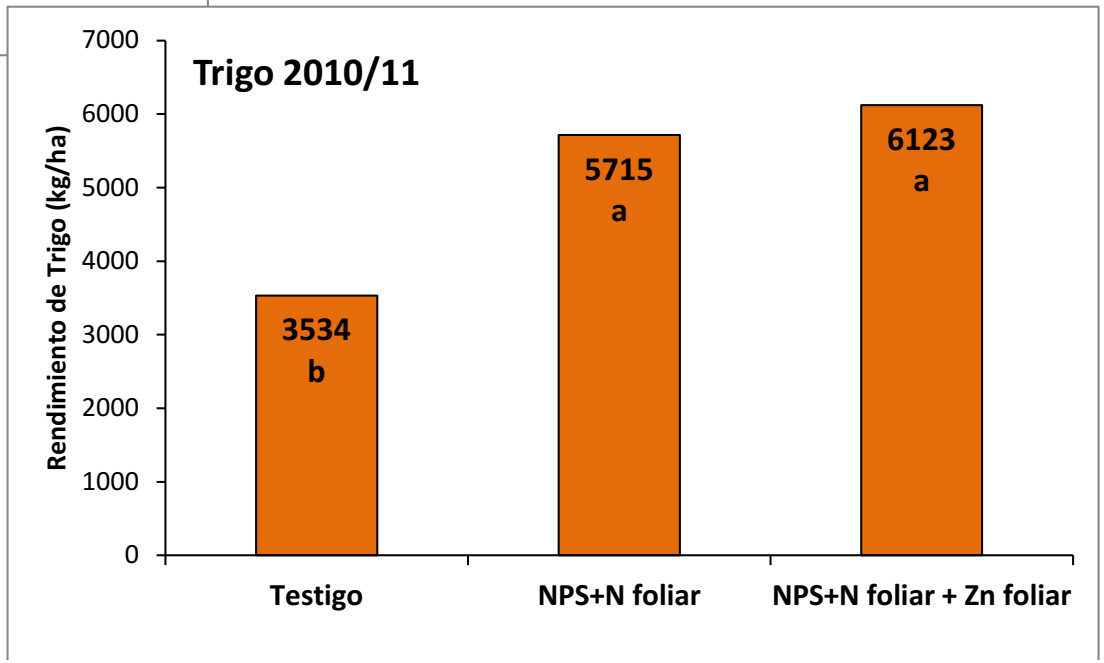
Zinc en Trigo

Gral. Arenales, Buenos Aires
Ferraris et al., 2011

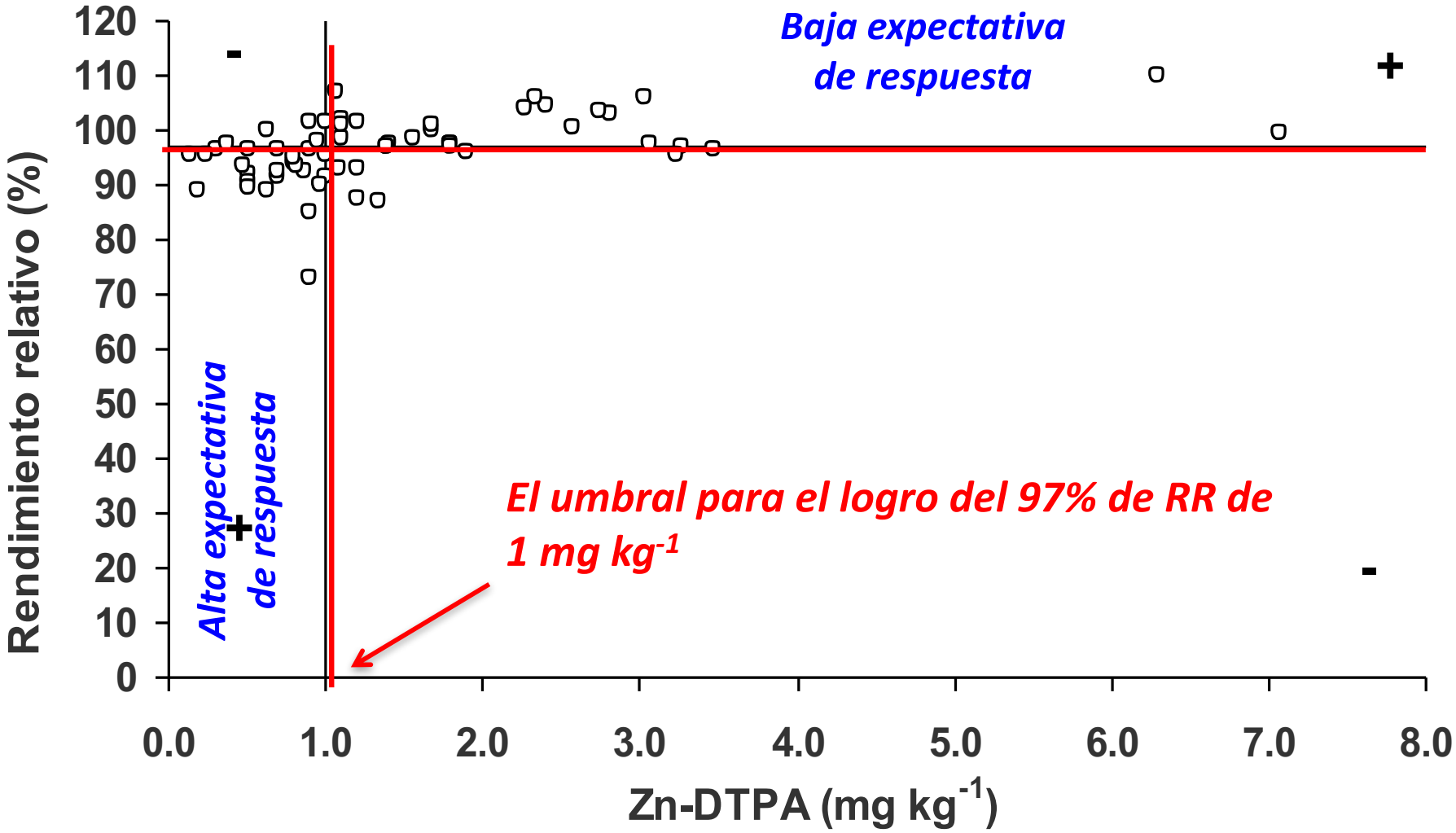




- ***Sin respuesta significativa en trigo 2009***
- ***Respuesta significativa en trigo 2010***
- ***Respuesta residual en soja de 2ª***



Maíz: Relación entre Respuesta y Zn en suelo



- *51 ensayos de fertilización en región pampeana y extra-pampeana*
- *Respuesta a Zn en 13 sitios (25%)*
- *75 % de eficacia en separar sitios con y sin respuesta*

Fuente: Barbieri et al. (2015)

¿Hacia dónde debemos ir?

- *¿Reponer los nutrientes que extraemos?*
  - *Responder a las necesidades de la chacra y del ambiente dentro de la chacra: 4Rs de dosis, fuente, momento y localización correctas*
- *Ser mas eficientes y efectivos (productiva, económica, ambiental y socialmente)*
  - *Usar el análisis de suelo … implementar prácticas de manejo específico por sitio*
  - *Reciclar nutrientes: Estiércol, efluentes, cama de pollo, otros*
  - *Fertilizantes "inteligentes", biofertilizantes*
- *Producir y cuidar el recurso*
  - *Evaluar impactos en la producción, la rentabilidad y la salud del suelo*
- *Generar el conocimiento y la información necesaria*

IPNI

- *Mirar con faros largos, en espacio y tiempo*
- *Agricultura "distinta", "nueva", "compleja", "Multidisciplinaria"*

… pero <u>INTEGRADA a la SOCIEDAD</u>

Con todos los "actores":

Productores, Trabajadores, Profesionales, Científicos, Vecinos, Instituciones, Empresas, Estado

IPNI

¡¡Muchas gracias!!
IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE
www.lacs.ipni.net
fgarcia@ipni.net
@IPNIcs