Simposio Internacional sobre Manejo y Uso Eficiente de Fertilizantes

Lima, Perú – 8 y 9 de Julio de 2010

Marco Global de las Mejores Prácticas de Manejo de los Fertilizantes

Fernando O. García

IPNI Cono Sur

www.ipni.net/lasc

Escenario actual

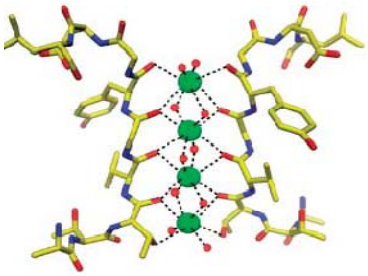
- Demanda creciente de alimentos, forrajes, fibras y biocombustibles
- Costos crecientes de tierra, otros recursos e insumos

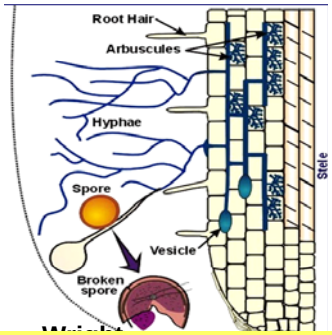
Intensificación productiva sustentable

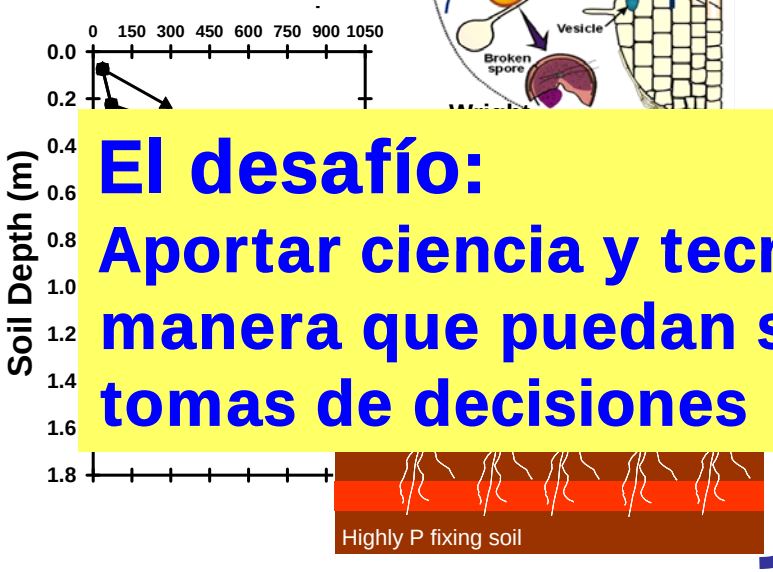
- Mayor producción por unidad de recurso y/o insumo involucrado en el espacio y el tiempo (kg/ha/año)
- Enfatiza la eficiencia en términos agronómicos, económicos y ambientales
- Involucra sistemas y no solamente cultivos

La ciencia jamás ha tenido un complejo mas completo de conocimientos

La industria jamás ha tenido un complejo mas impresionante de tecnologías



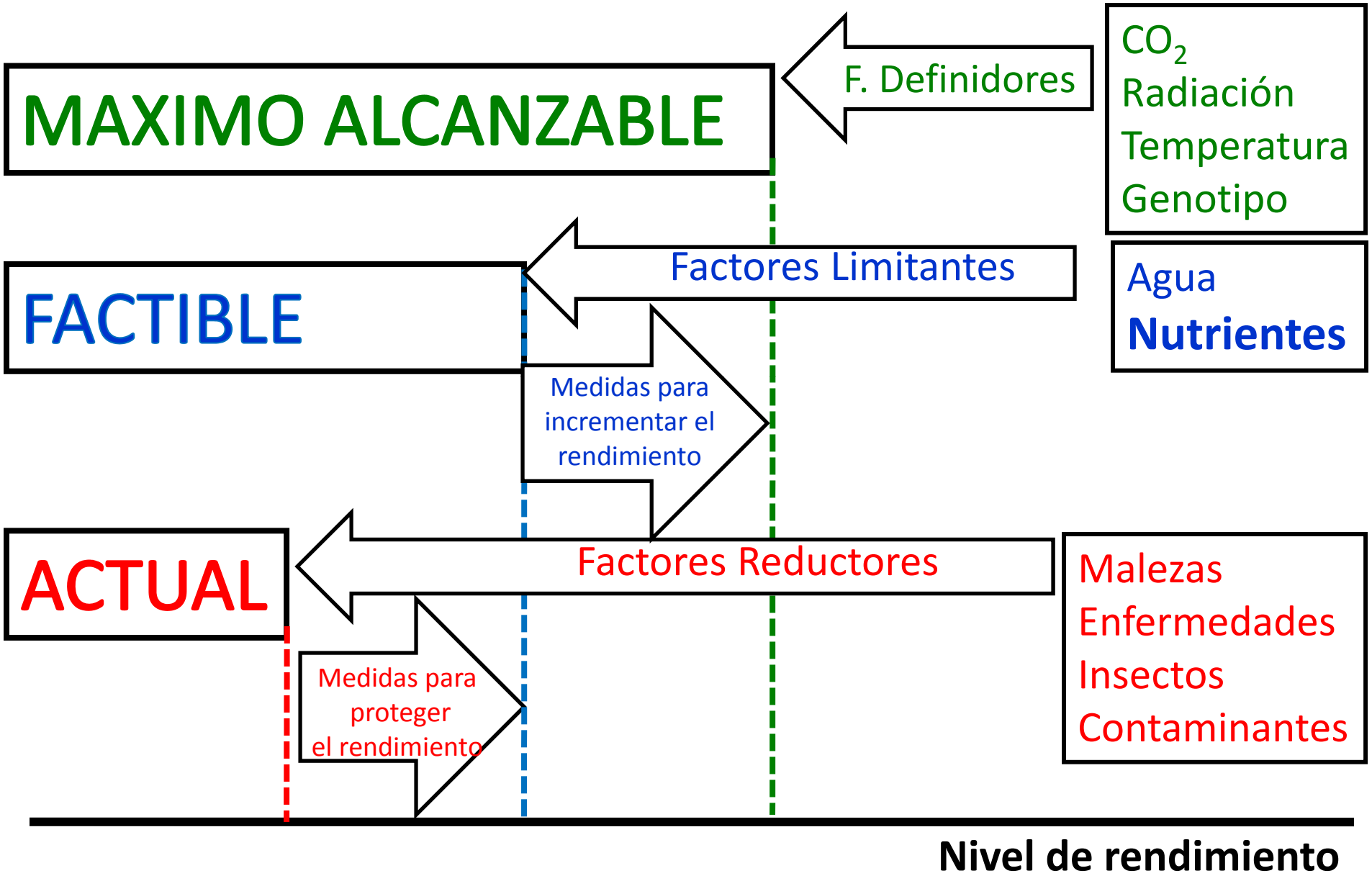




El desafío:

Aportar ciencia y tecnología a la agricultura de manera que puedan ser integradas en apoyo de las tomas de decisiones

Fixen, 2006



Adaptado de Van Ittersum y Rabbinge, 2001

Las mejores practicas de manejo de los fertilizantes

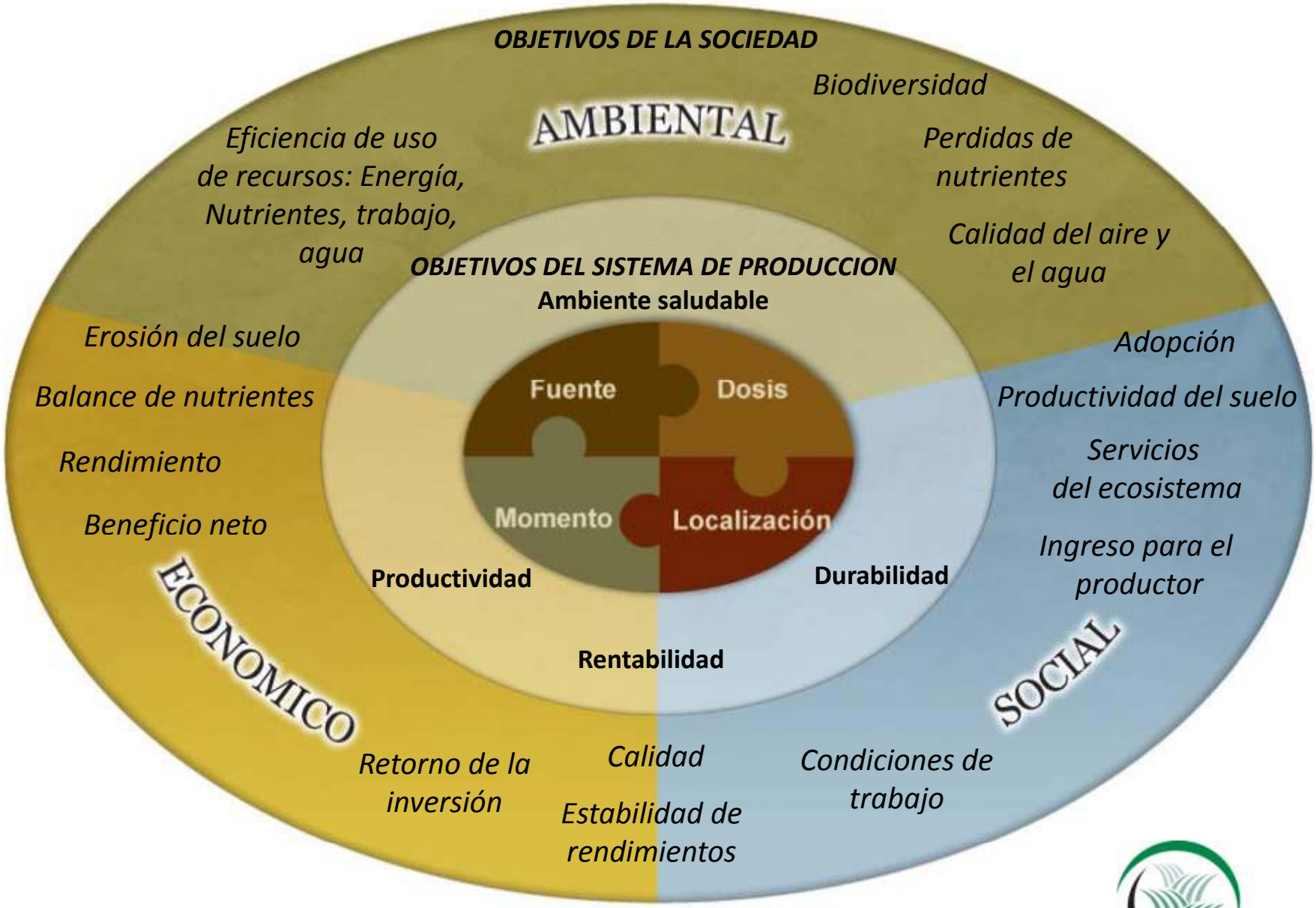
- *Son herramientas utilizadas a nivel de agricultor para el manejo efectivo y eficiente de los nutrientes*

- *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 nuevos 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)



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

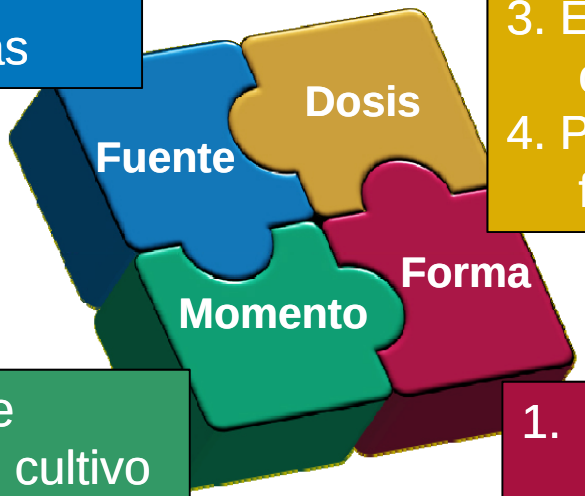
- *Los principios científicos son globales y aplicables al nivel práctico de manejo en el campo*
- *Su aplicación depende del sistema específico de cultivo que se encuentre bajo consideración*

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

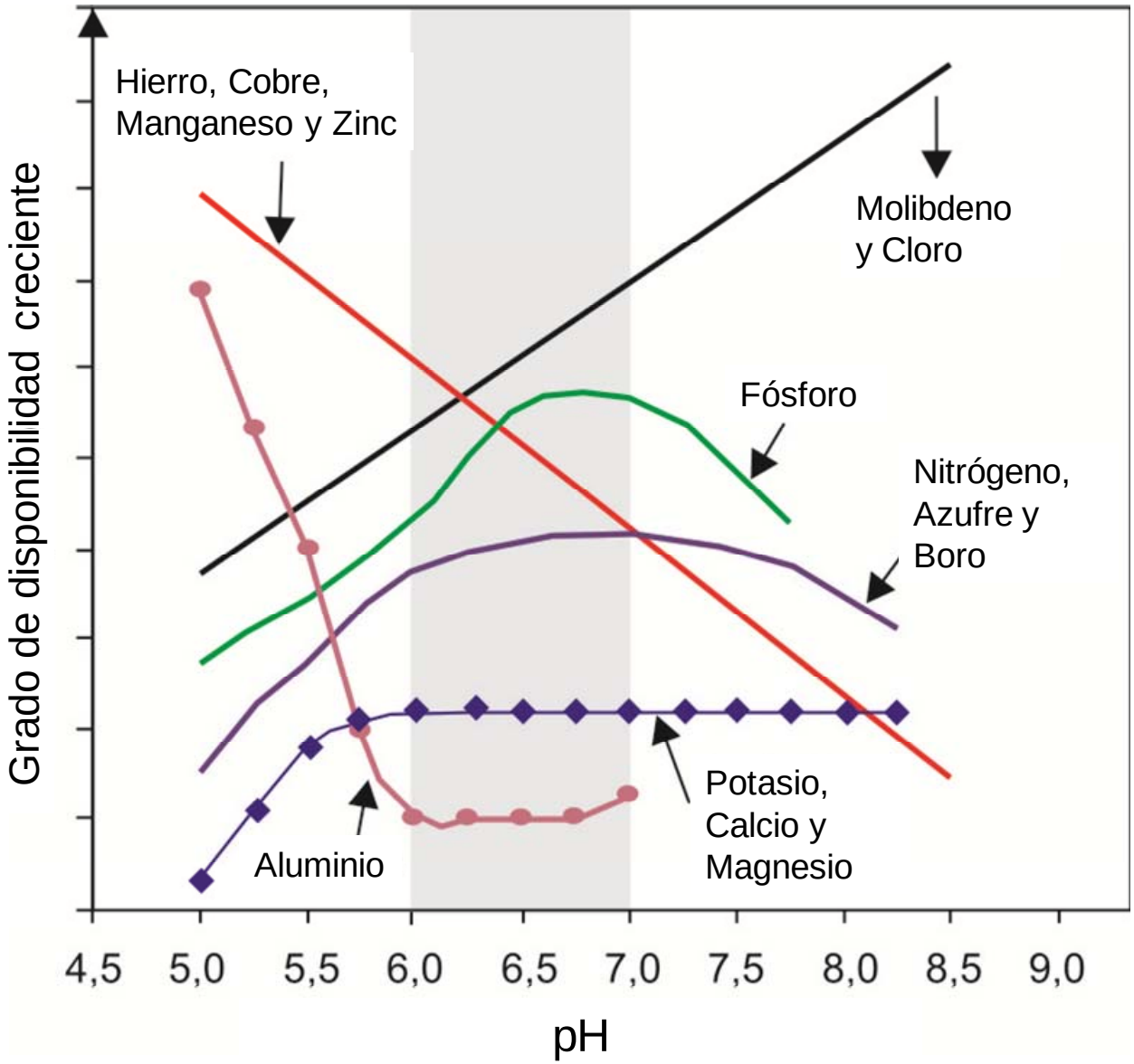
1. Evaluar abastecimiento de nutrientes del suelo
2. Evaluar todas las fuentes de nutrientes del suelo y del aire
3. Evaluar la demanda de los cultivos
4. Predecir la eficiencia de uso del fertilizante



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

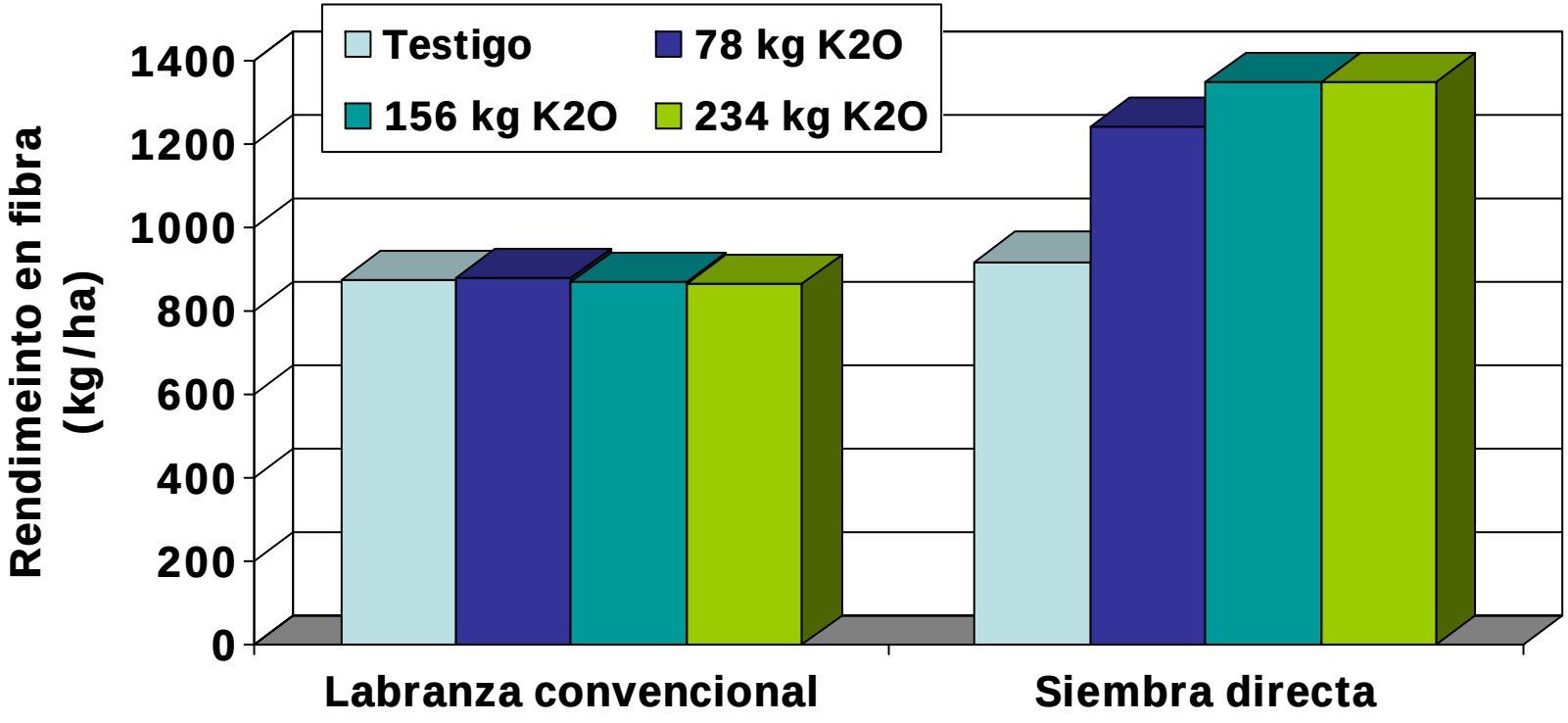
Efecto del pH en la disponibilidad



Fuente: Malavolta (1992)

Respuesta de algodón a K bajo labranza convencional y siembra directa

J. Varco, Mississippi State University, 2000



Suelo franco-arcillo-limoso – K intercambiable 157 mg/kg
CEC > 25 cmol/kg

Algunas consideraciones sobre las MPMF

- Las MPM en el uso de fertilizantes (dosis, fuente, momento y forma) interactúan entre ellas, con las condiciones edafo-climáticas y las otras prácticas de manejo de suelo y de cultivo.
- La combinación adecuada de dosis-fuente-momento-forma 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.
- 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.

Índices agronómicos para la eficiencia de uso de nutrientes

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

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

Índices agronómicos para la eficiencia de uso de nutrientes

Redes de Ensayo de P en Soja

Tratamiento	Rendimiento	EA	BPN	PPF
	kg/ha	kg soja / kg P aplicado	kg P removido / kg P aplicado	kg grano / kg P aplicado
Red INTA Pergamino, Paraná y Rafaela 2003/04 (Argentina) - 15 ensayos				
Testigo	3135	-	-	-
P10	3372	24	1.81	337
P20	3557	21	0.96	178
P30	3695	19	0.67	123
Red Fundacruz 2005 (Bolivia) – 4 ensayos				
P0	2754	-	-	-
P20	3263	25	0.88	163

Efecto de la fertilización balanceada en el rendimiento y la EA del N aplicado en varios cultivos en India (Prasad, 1996)

Cultivo	Rendimiento			EA_N		
	Control	N *	NPK	N	NPK	Incremento
	---------- t/ha ----------			--- kg grano/kg N ---		----- % -----
Arroz (estación húmeda)	2.74	3.28	3.82	13.5	27	100
A[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	671
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	85
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	219
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	100
Sorgo	1.27	1.48	1.75	5.3	12	126
Caña de Azucar	47.2	59	81.4	78.7	227.7	189

** 40 kg N/ha aplicados en cereales y 150 kg N/ha en caña de azúcar*

La importancia de la nutrición balanceada, pensar en todos los nutrientes

Respuesta a K en papa en andisoles de Ecuador bajo distinta disponibilidad de agua

Dosis K	
kg K/ha	del cultivo aplicado
Año	*1990*
50	958
100	510

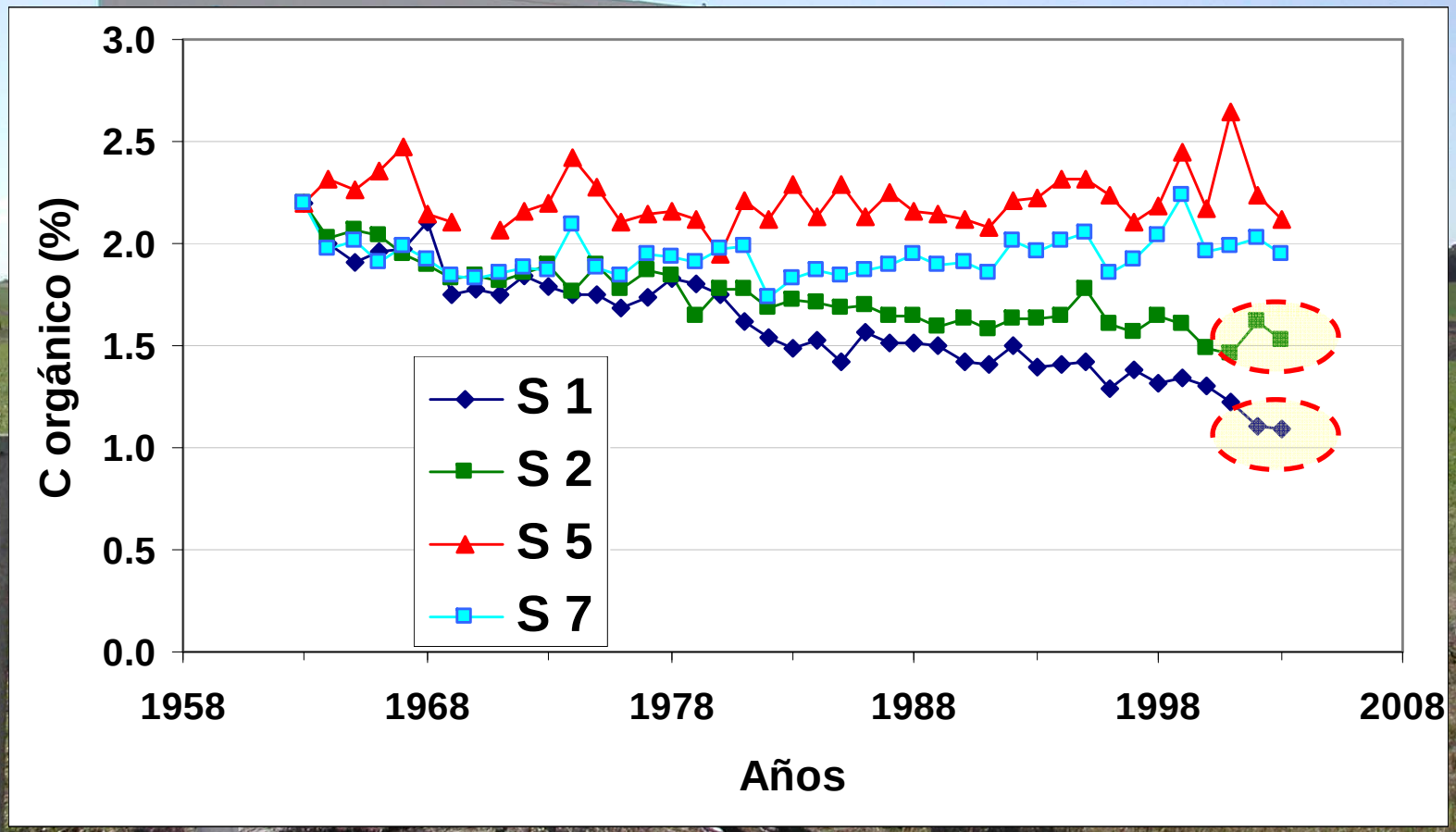
El efecto de la MPM de fertilizantes sobre la eficiencia de uso de un recurso limitante como el agua

Dosis K	Eficiencia de Uso del Agua			
kg K/ha	---------- kg papa por mm de agua ----------			
Año	*1988*	*1989*	*1990*	*Promedio*
0	24	32	35	31
50	36	46	39	41
100	50	47	41	45
Precipitaciones (mm)	*779*	*1063*	*1240*	*1027*

Espinosa, 1991

Evolución del C orgánico en 40 años

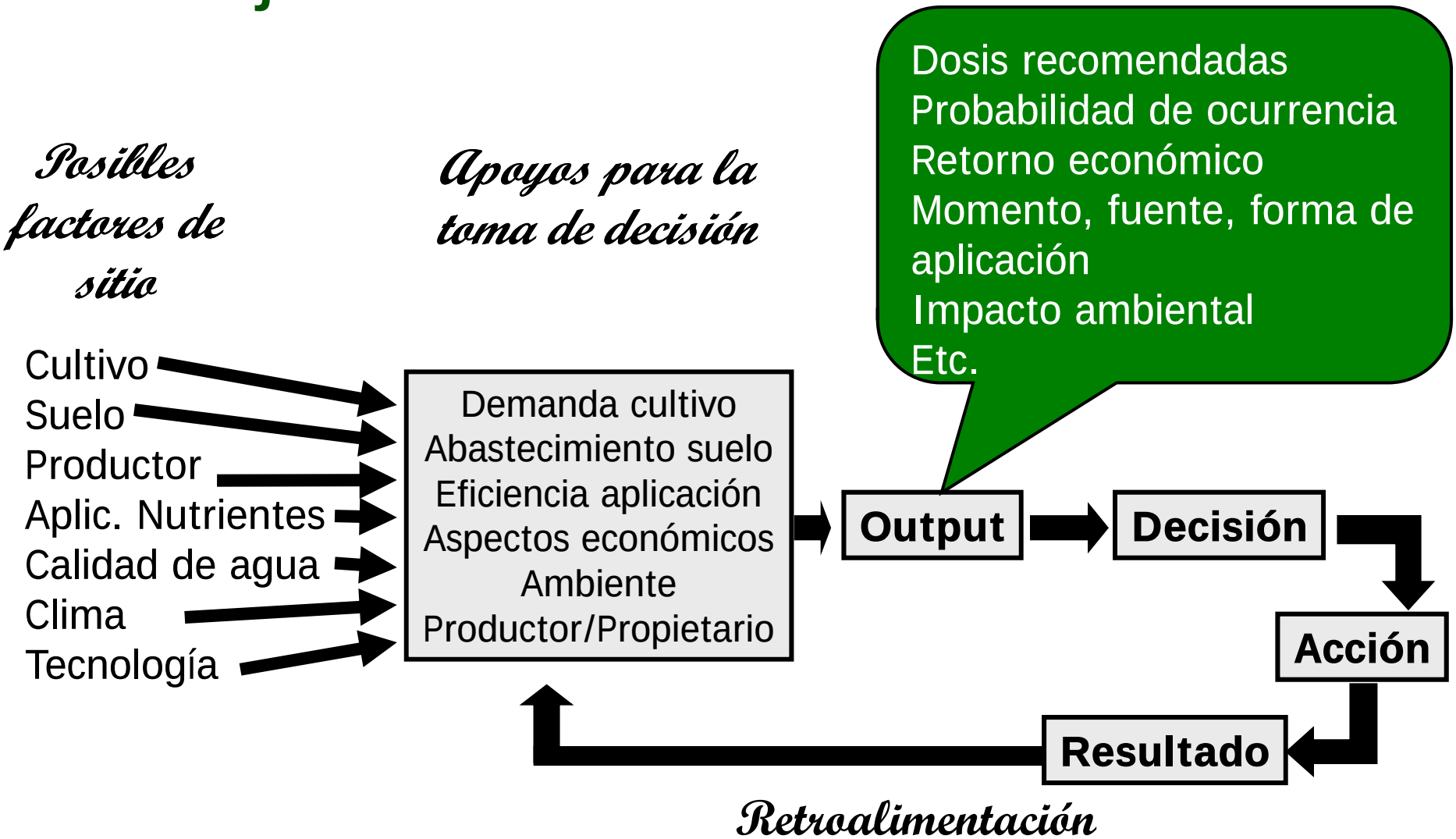
Ensayo de Rotaciones
INIA La Estanzuela (Uruguay)



S1: Agricultura continua sin fertilización
S2: Agricultura continua con fertilización
S5: 50 % agricultura 50 % pastura
S7: 66 % agricultura 33 % pastura

Fuente: A. Morón (2003)

Toma de decisiones en el manejo de nutrientes



Fixen, 2005

Requerimientos Nutricionales de los Cultivos

Absorción y extracción por tonelada de órgano cosechado

Cultivos	Órgano cosechado	Absorción Total (kg/ton)						Extracción (kg/ton)					
		N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Maiz	grano	22	4	19	3	3	4	15	3	4	0.2	2	1
Trigo	grano	30	5	19	3	4	5	21	4	4	0.4	3	2
Arroz	grano	22	4	26	3	2	1	15	3	3	0.1	1	0.6
Caña	tallos	1.4	0.2	1.7	0.9	0.5	0.4	0.8	0.1	0.8	0.5	0.3	0.3
Algodón	fibra	150	25	100	102	24	25	70	13	33	-	-	12
Espárrago	brotes	19.3	2.9	17.9	10	0.9	-	9.6	1.6	8.5	-	-	-
Papa	tubérculo	5.5	0.9	8.2	1.4	0.8	0.7	3.5	0.7	5.4	0.1	-	-
Palta	fruto	11	2	20	0.2	0.8	0.8	2.8	0.4	4.5	0.1	0.2	0.3

Fuente: Recopilación de Ciampitti y García (2007 y 2008)

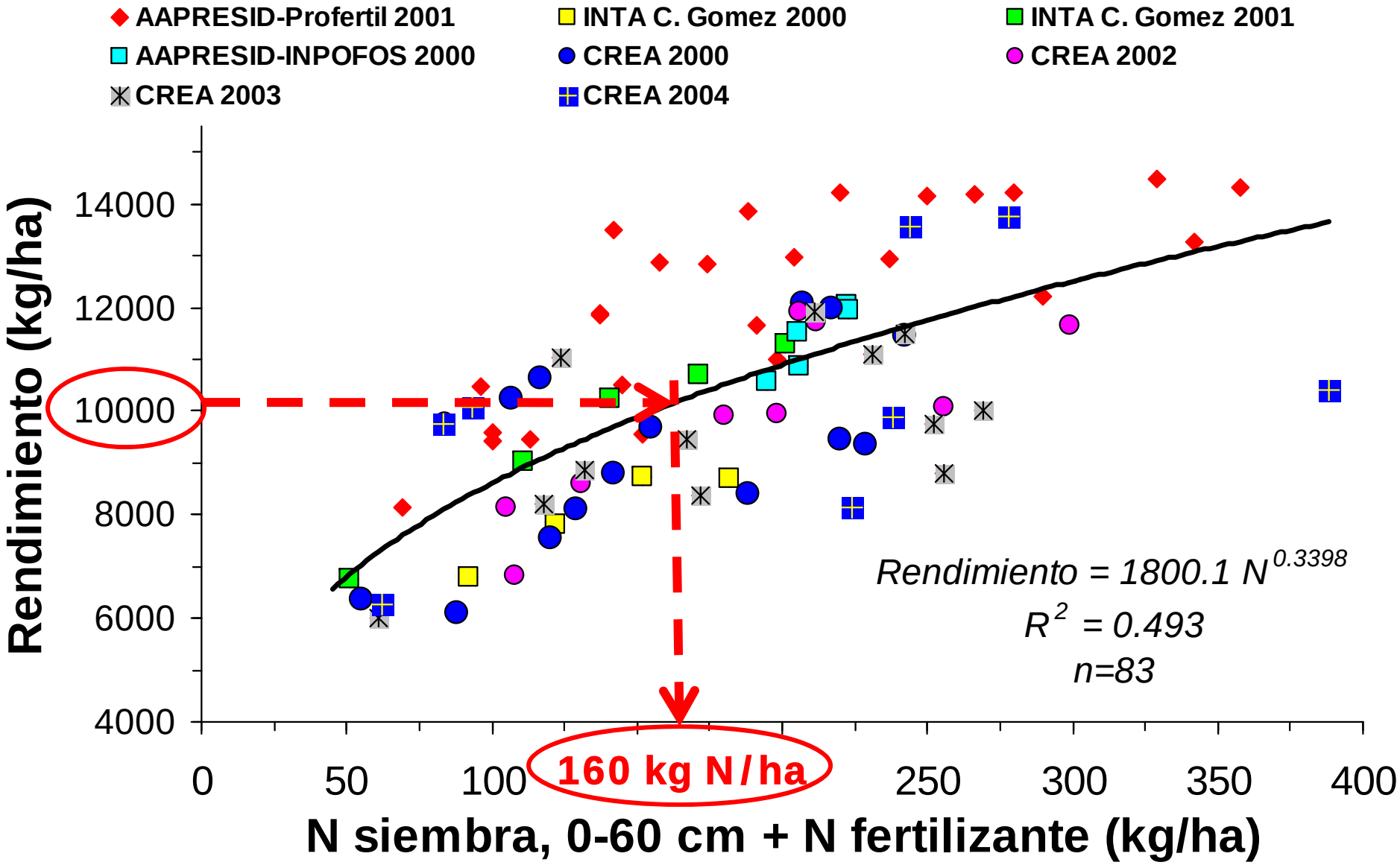
El análisis de suelos como herramienta de apoyo para la toma de decisión

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

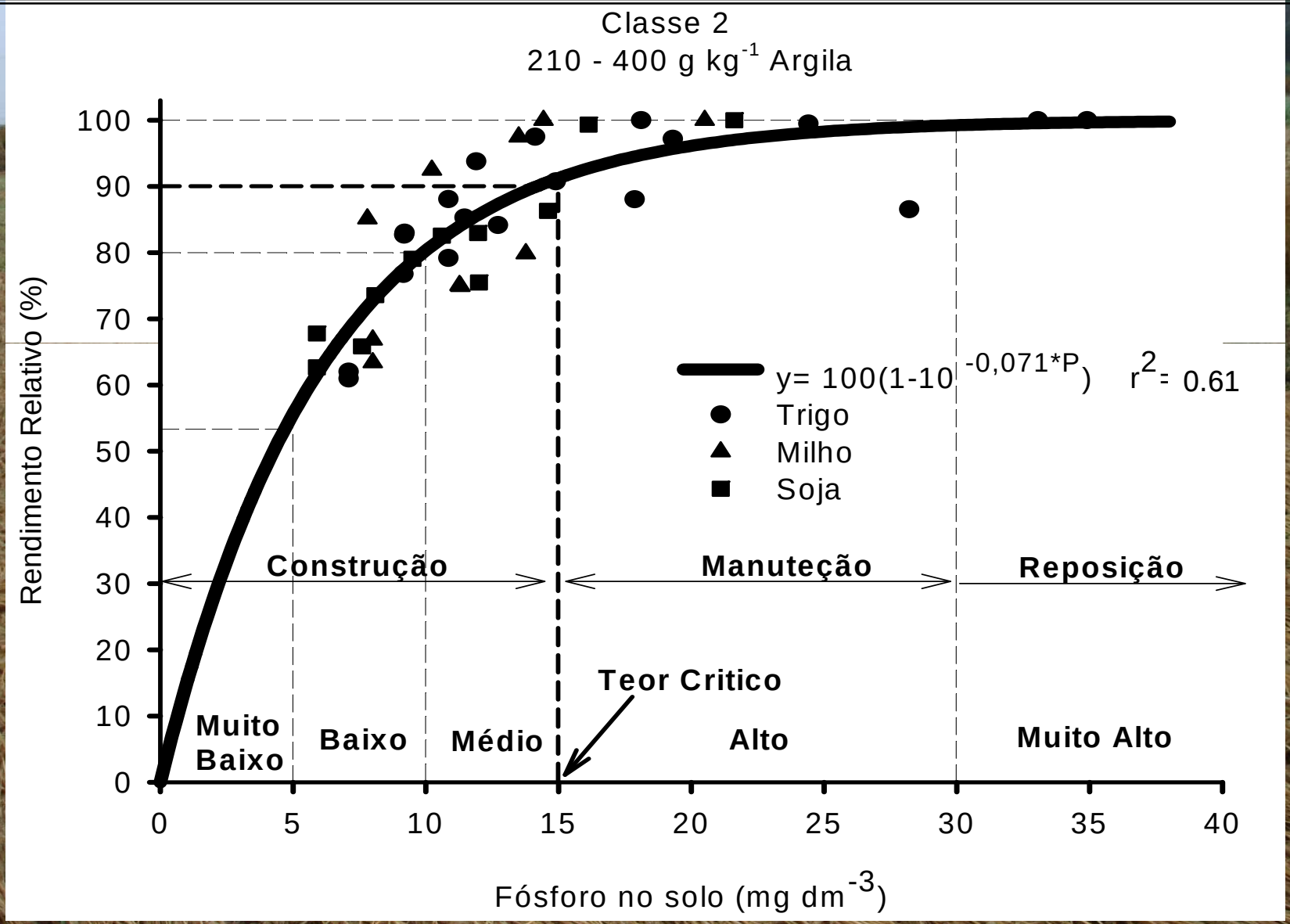
Objetivos del análisis de suelo con fines de diagnostico

- *Proveer un índice de disponibilidad de nutrientes en el suelo*
- *Predecir la probabilidad de respuesta a la fertilización o encalado*
- *Proveer la base para el desarrollo de recomendaciones de fertilización*
- *Contribuir a la protección ambiental mejorando la eficiencia de uso de los nutrientes y disminuyendo la huella ("footprint") de la agricultura sobre el medio ambiente*

N disponible a la siembra y Rendimiento de Maíz



Niveles críticos de P en SD en Paraguay



Fuente: M. Cubilla, T. Amado y col. - UFSM y CAPECO - 2008

Recomendaciones de fertilización en arroz bajo riego en Vertisoles y Mollisoles

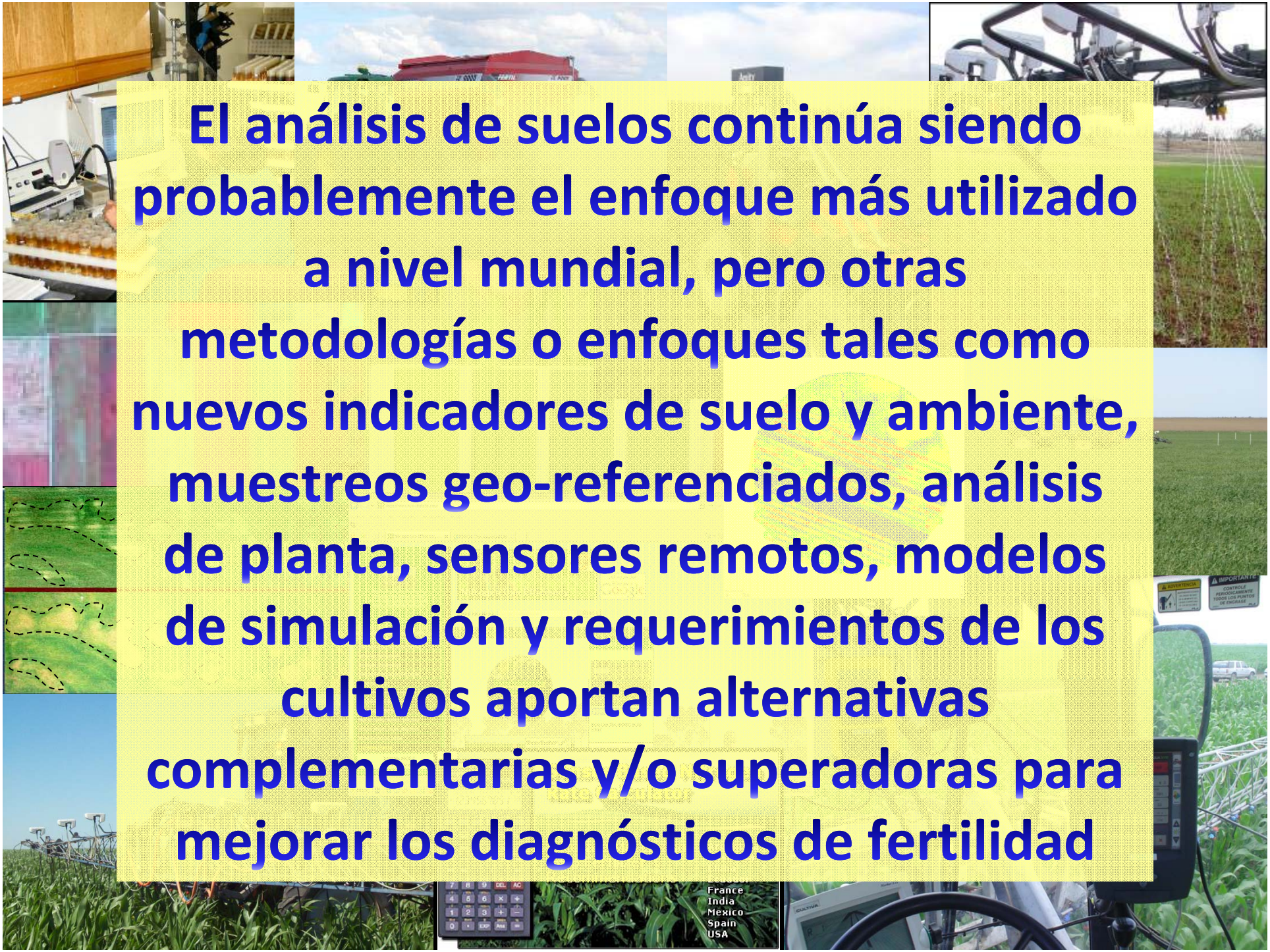
		Potasio (cmol(+)/L)								
		Bajo < 0.1			Medio < 0.11-0.20			Alto > 0.20		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
		kg/ha								
Fósforo (mg/L)	Bajo < 5	180	60	60	180	60	30	180	60	0
	Medio 6-10	180	30	60	180	30	30	180	30	0
	Alto > 10	180	0	60	180	0	30	180	0	0

P y K extraído con la solución Olsen modificada

N fraccionado 3 veces

Espinosa, 2006

IPNI



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

Concentración Crítica de Nutrientes en Algodón, Arroz, Caña de Azúcar y Maíz

Nutriente	Algodón	Arroz	Caña de azúcar	Maíz
	---------- g/kg ----------			
Nitrógeno	26-33	40-48	19-22	27.5-32.5
Fósforo	2.0-3.0	2.5-4.0	1.8-2.4	2.5-3.5
Potasio	24-27	25-35	11-15	17.5-22.5
Calcio	15-38	7.5-10	5-10	2.5-4.0
Magnesio	18-23	5-7	2-3	2.5-4.0
Azufre	6-12	1.5-2.0	2.5-3.0	1.5-2.0
Muestreo	Hojas superiores plenamente desarrolladas, al inicio de floración	Hoja inferior a la mas reciente desarrollada, en pleno macollaje	Tercio mediano, sin nervadura, de hoja +3, cuatro meses luego de brotado	Hoja opuesta y por debajo de la espiga, en aparición de estigmas

Fuente: Malavolta et al. (1997)

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

Adaptado de Shanahan et al. (2008)

Causas de la baja EUN

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

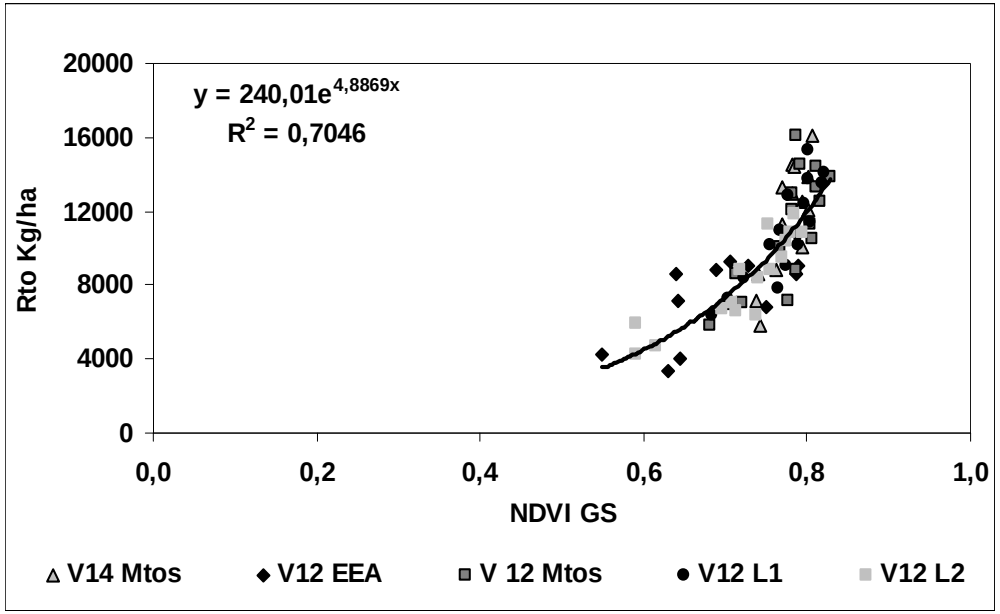
Alternativas en manejo sitio-especifico

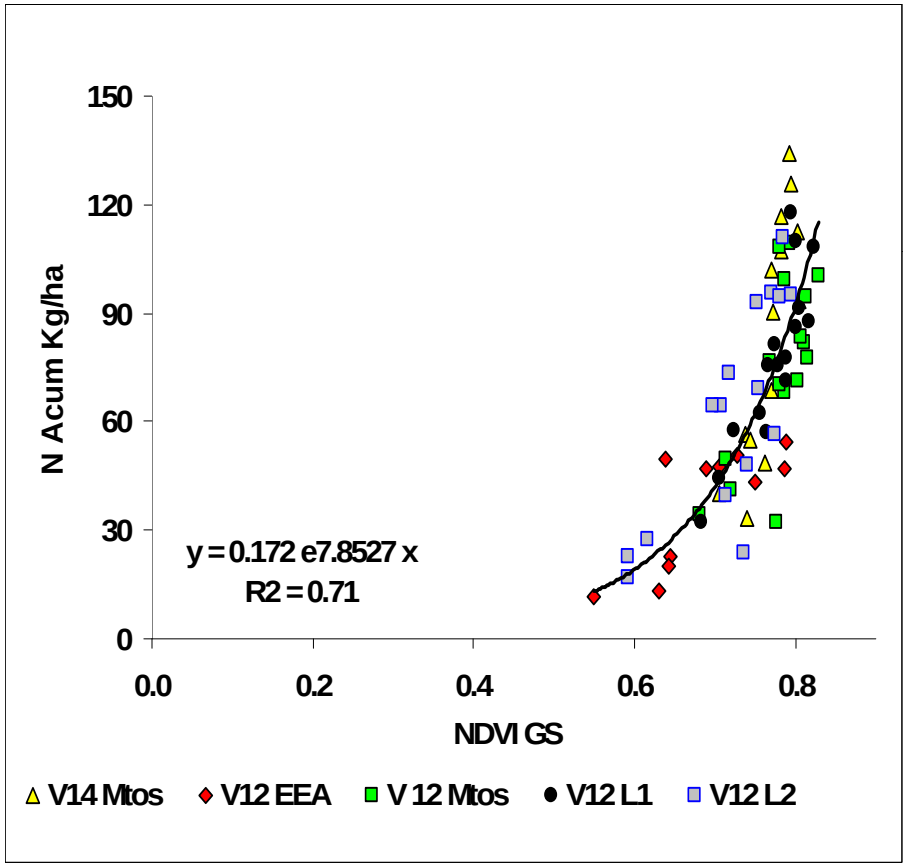
- Manejo por ambientes
- Monitoreo durante la estación de crecimiento
  - Evaluación visual usando parcelas de referencia
  - Uso de medidor de clorofila
  - Sensores remotos aéreos y satelitales
  - Sensores remotos terrestres

Fotos: Ricardo Melchiori - EEA INTA Paraná

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

Melchiori y col. 2005 y 2009 - EEA INTA Paraná





NDVI, Índice normalizado de diferencias de vegetación

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

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

Modelos de Simulación

Entradas

Clima: pp,T°,Rad

Suelo: Perfil, Agua, nitrógeno

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

Genotipo:
Trigo
Escorpión, Guapo y Baguette 10
Don Enrique

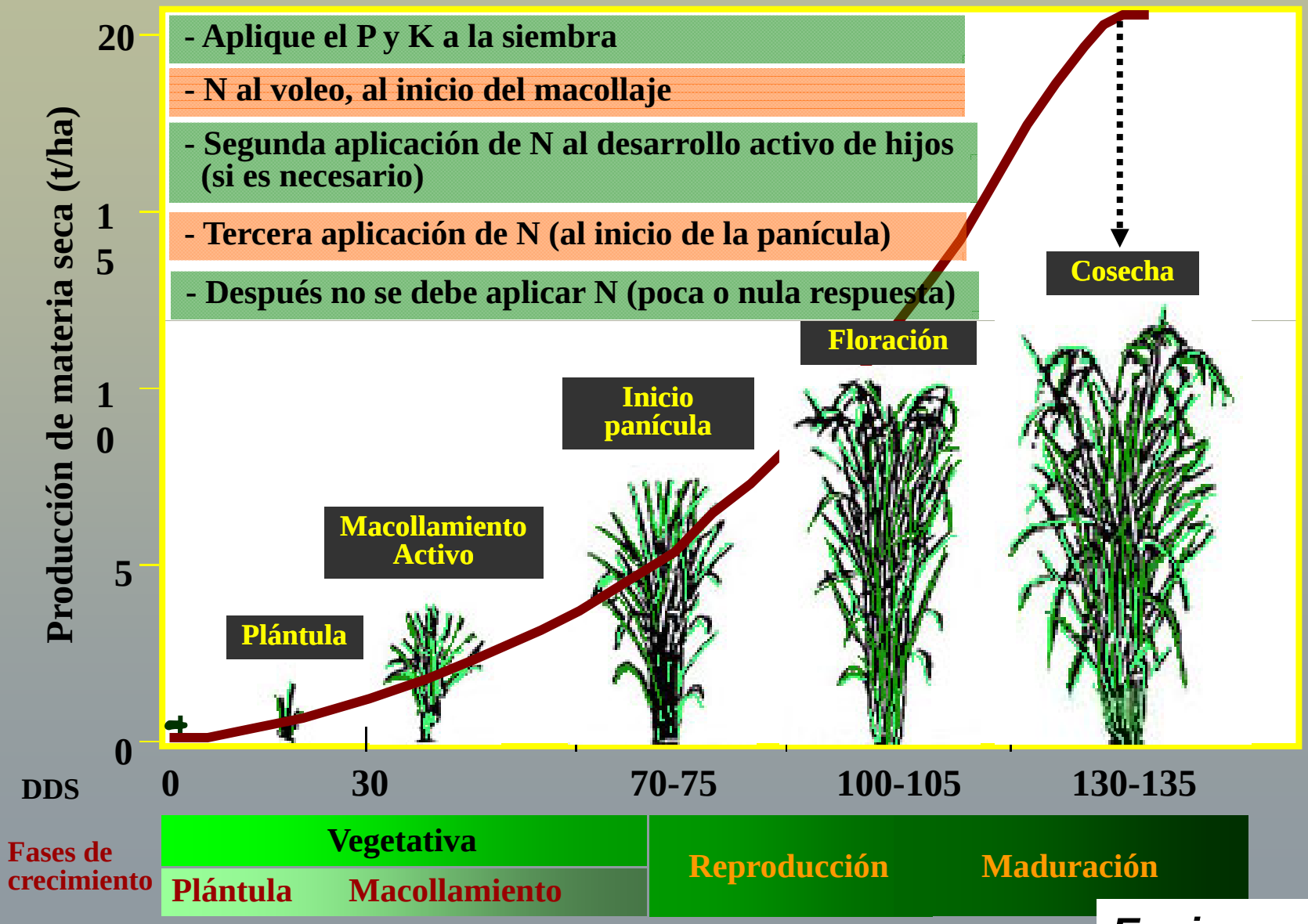
GECER
Modelo de Simulación Agronómica Funcional - paso diario

Salidas

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

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

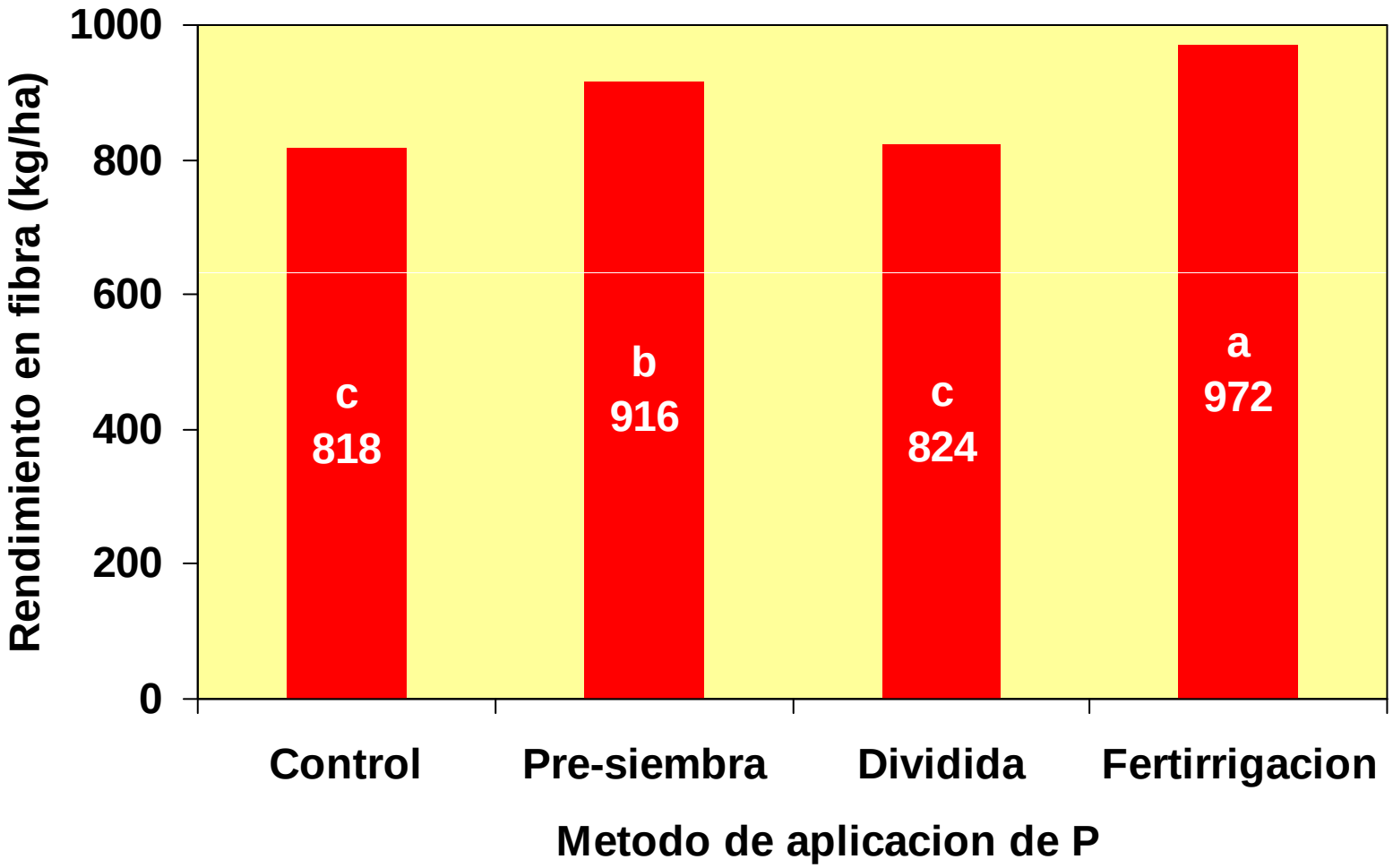
Fertilización del arroz



Espinosa, 2006

Efecto de tres formas de aplicación de P en el rendimiento de algodón bajo riego

Texas (EE.UU.) - Promedios de tres años

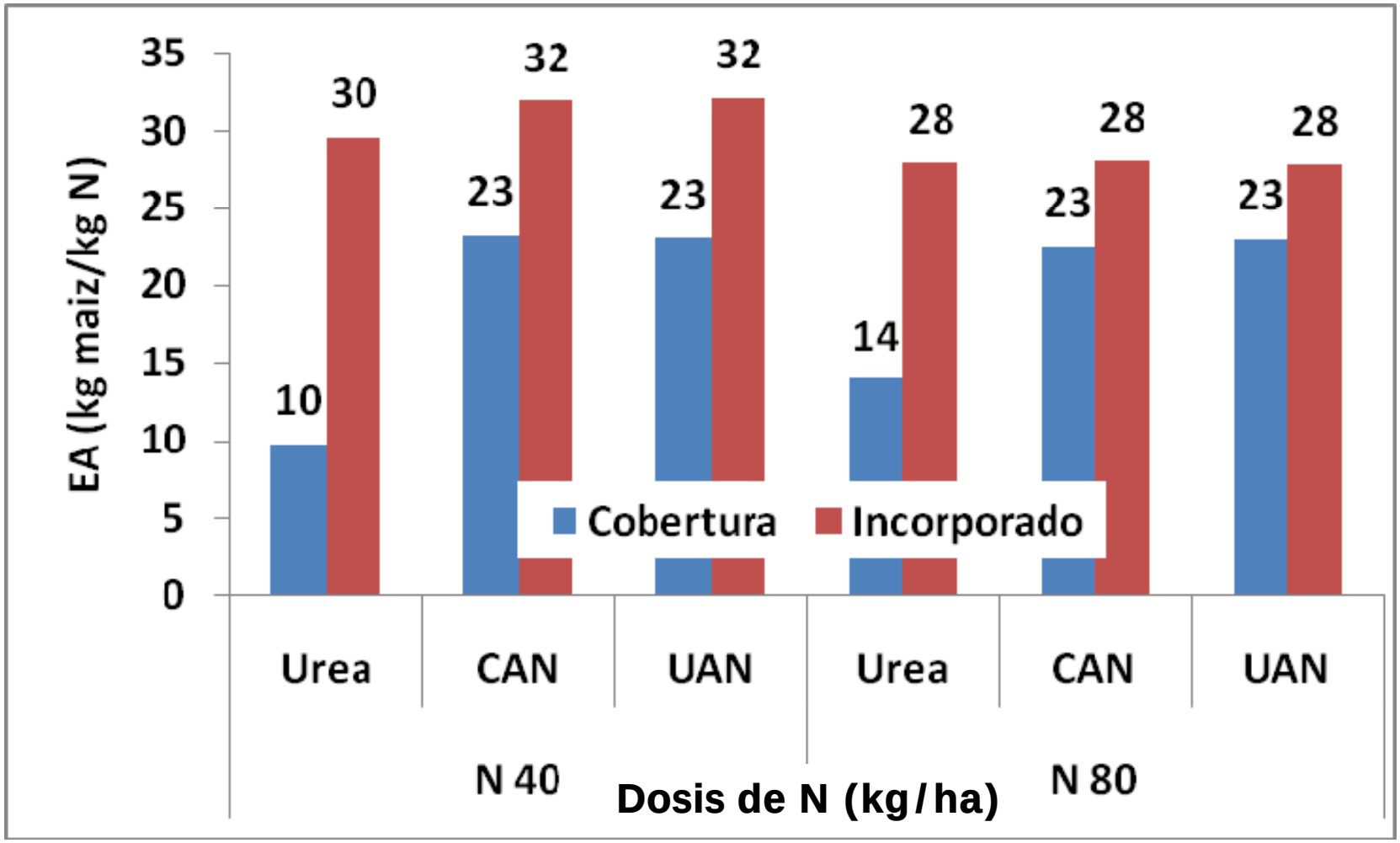


Fuente: Reiter y Krieg (2000)

Medias con la misma letra no son diferentes al nivel de probabilidad del 5%

Maíz: Fuentes y formas de aplicación de N en el norte de la Región Pampeana Argentina

Fontanetto, 2004 – EEA INTA Rafaela (Santa Fe, Argentina)

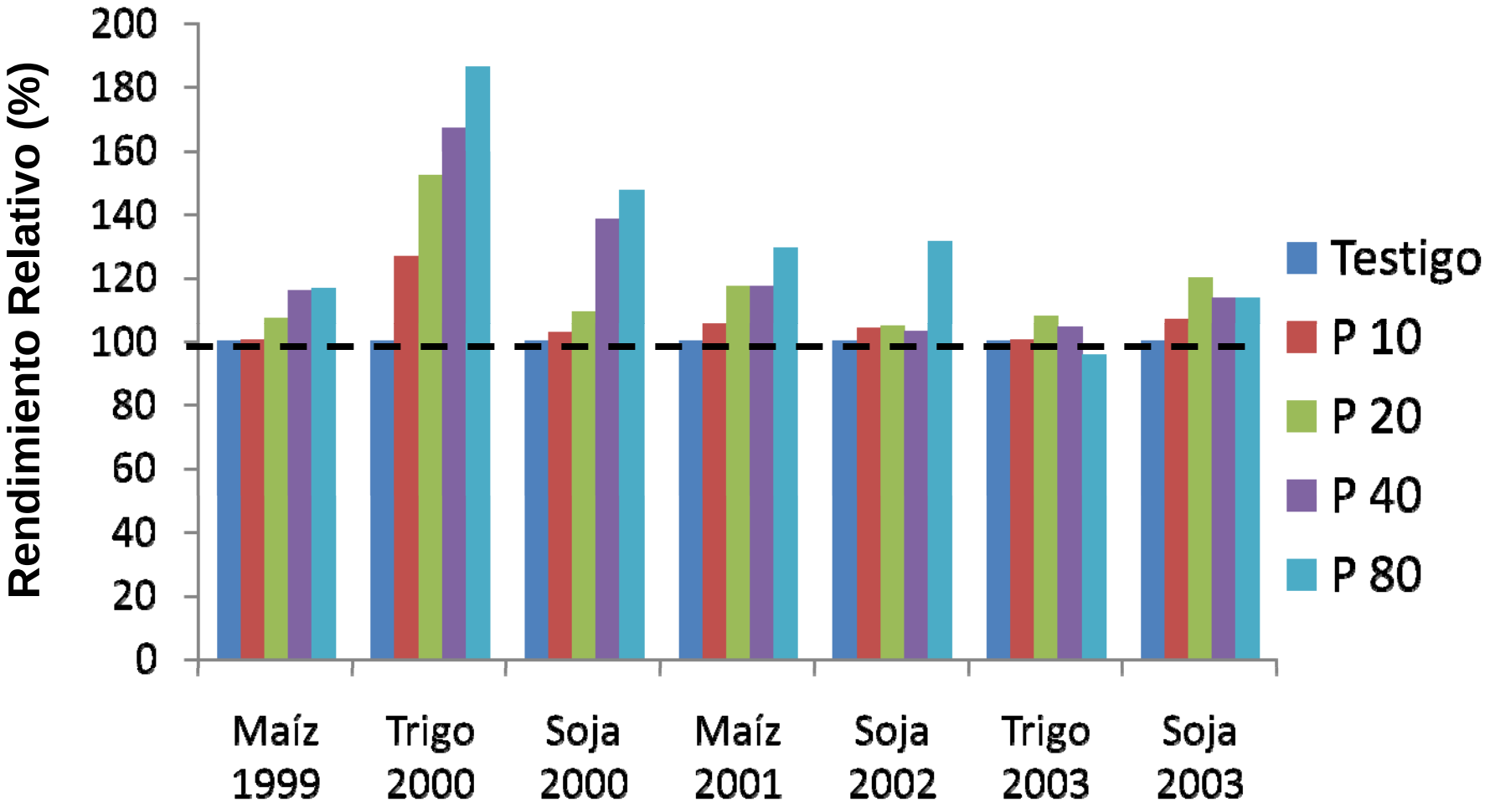


El manejo de los nutrientes es central para sostener sistemas de producción sustentables

Efectos directos sobre los rendimientos de los cultivos e indirectos a través de una mejora en la fertilidad del sistema

Residualidad de Fósforo

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

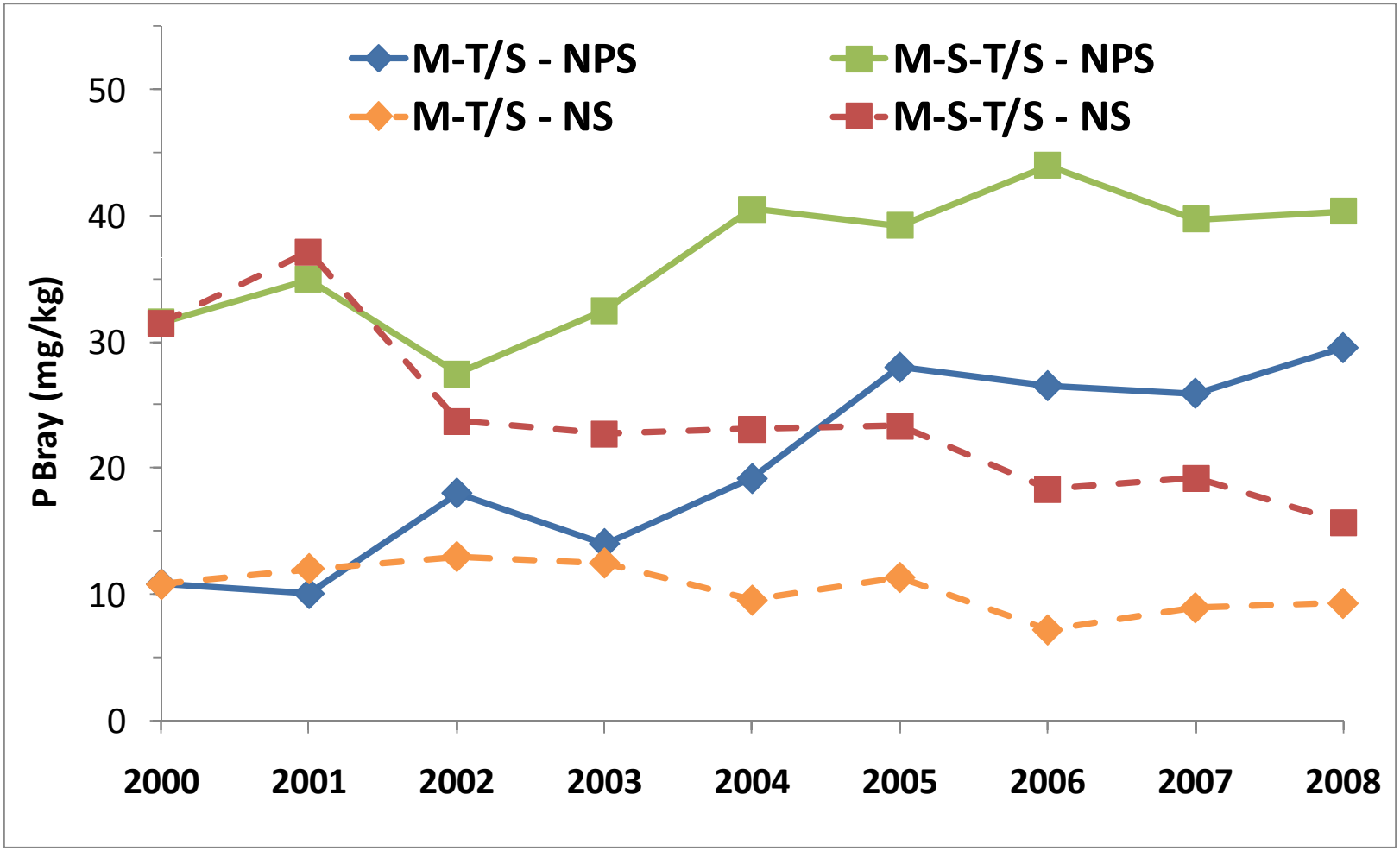


P aplicado a la siembra del Maíz en Septiembre 1999
o en todos los cultivos (R)
P Bray inicial 9 ppm

IPNI

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

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



Dosis P: Remoción en granos + 5-10%

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

Consideraciones finales

La intensificación de la producción agrícola, en un marco global de sustentabilidad económica, ecológica y social, requiere del empleo de las mejores prácticas de manejo (MPM) para el uso de los fertilizantes

Las MPM implican la aplicación de la fuente correcta con la dosis correcta, en el momento y la forma correctos y se deben integrar con las MPM agronómicas para alcanzar los objetivos del sistema de producción (productividad, rentabilidad, durabilidad y salud ambiental) y de la sociedad

Las MPM se basan en principios científicos globales y aplicables al nivel práctico de manejo en el campo

Los indicadores de eficiencia de uso de los nutrientes (producción/nutriente) son utilizados para determinar las MPM de fertilizantes , pero se debe procurar la integración de otros indicadores funcionales relacionados con los objetivos sociales y ambientales

¡Muchas gracias!

IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

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