



Universidad de la República - Facultad de Agronomía
Departamento de Suelos y Aguas

Seminario “Manejo de nutrientes en agricultura”

Montevideo, 25 de Abril de 2012



Mas allá de la próxima cosecha **La nutrición de cultivos** **en una agricultura sustentable**

Fernando O. García

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas

www.lacs.ipni.net - fgarcia@ipni.net



Temario

- ❖ Sustentabilidad y agricultura: Demandas, desafíos y oportunidades de la agricultura
- ❖ La búsqueda de una agricultura sustentable
- ❖ La intensificación ecológica sustentable
- ❖ Las MPM de la nutrición de suelos y cultivos
- ❖ Algunas conclusiones

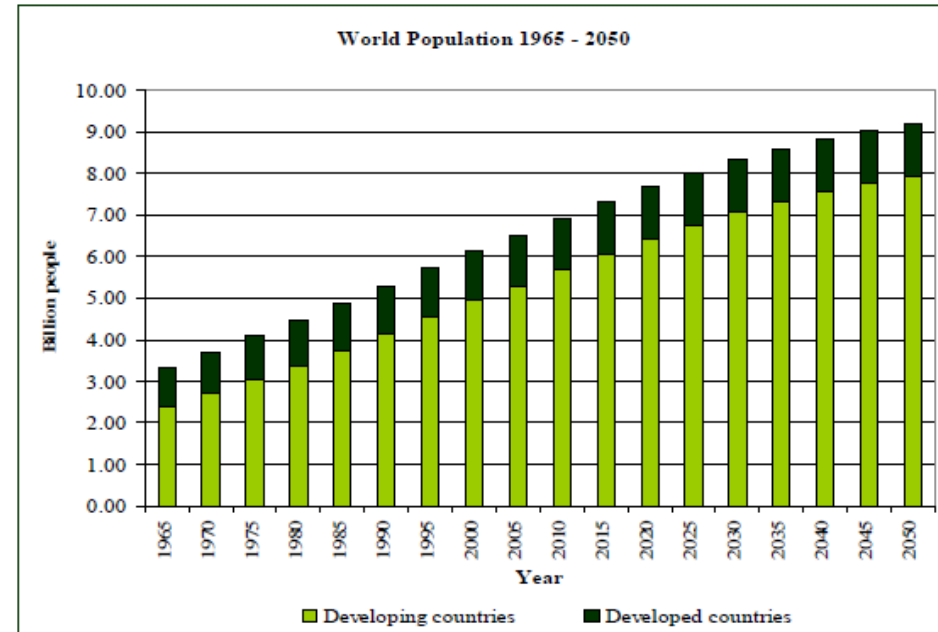
Objetivos de sustentabilidad



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)

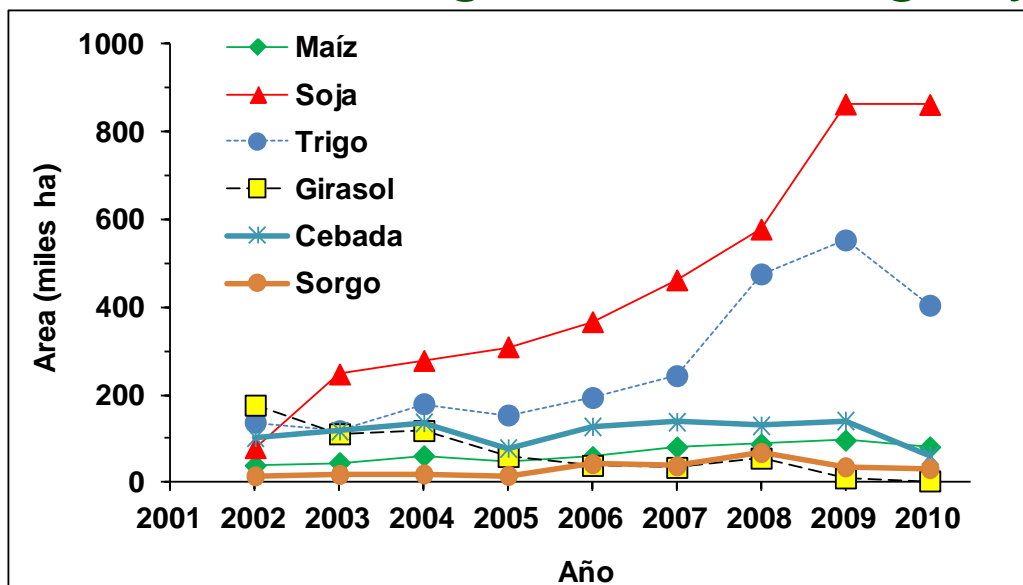


Evolución de la población mundial 1965-2050.

Fuente: ONU

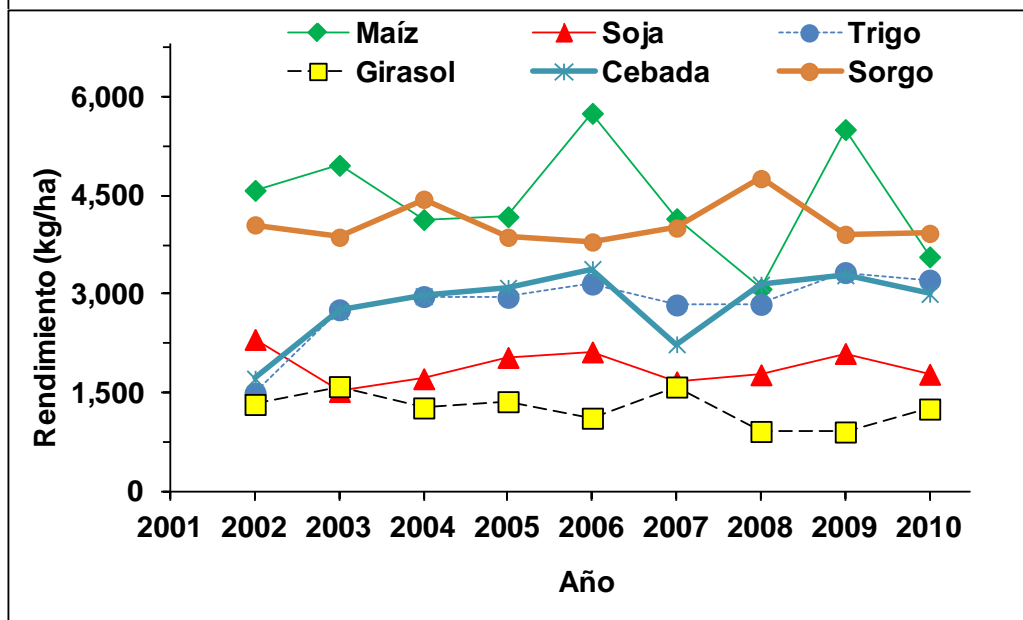


Area y rendimiento de los principales cultivos de grano en Uruguay



Para 2010, cada 10 años:

- 4.1 años Trigo-Soja
- 0.6 años Cebada-Soja
- 4.1 años Soja de primera
- 11 año Maíz o Sorgo



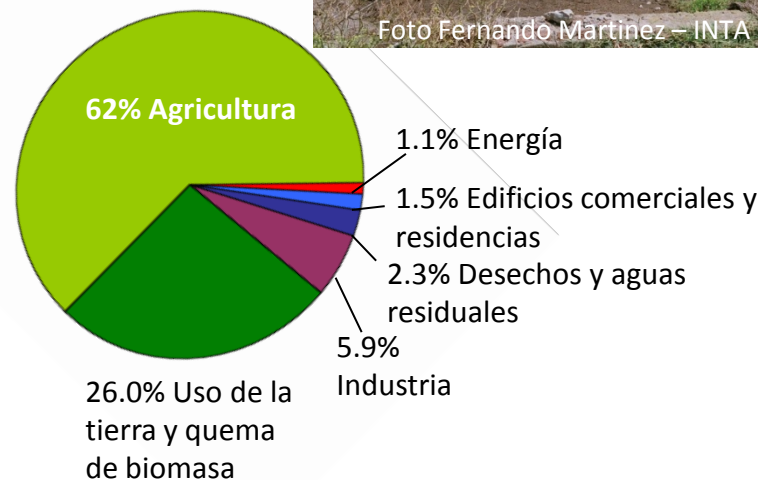
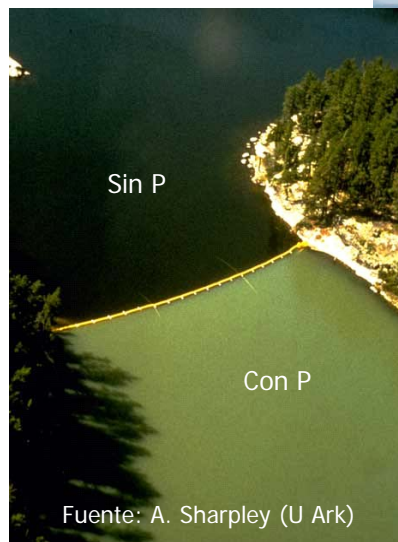
Sin cambios en los rendimientos

Fuente: DIEA (2011)

La agricultura y el ambiente



- Cambio climático: C y GEI
- Contaminación de suelos y aguas
- Erosión de suelos
- Desertificación
- Uso de agua
- Agotamiento de nutrientes en los suelos
- Cambios en biodiversidad
- Reciclado
- Otros



Fuentes globales antropogénicas de N₂O

Fuente: IPCC 4th Reporte de Evaluación: Cambio climático 2007

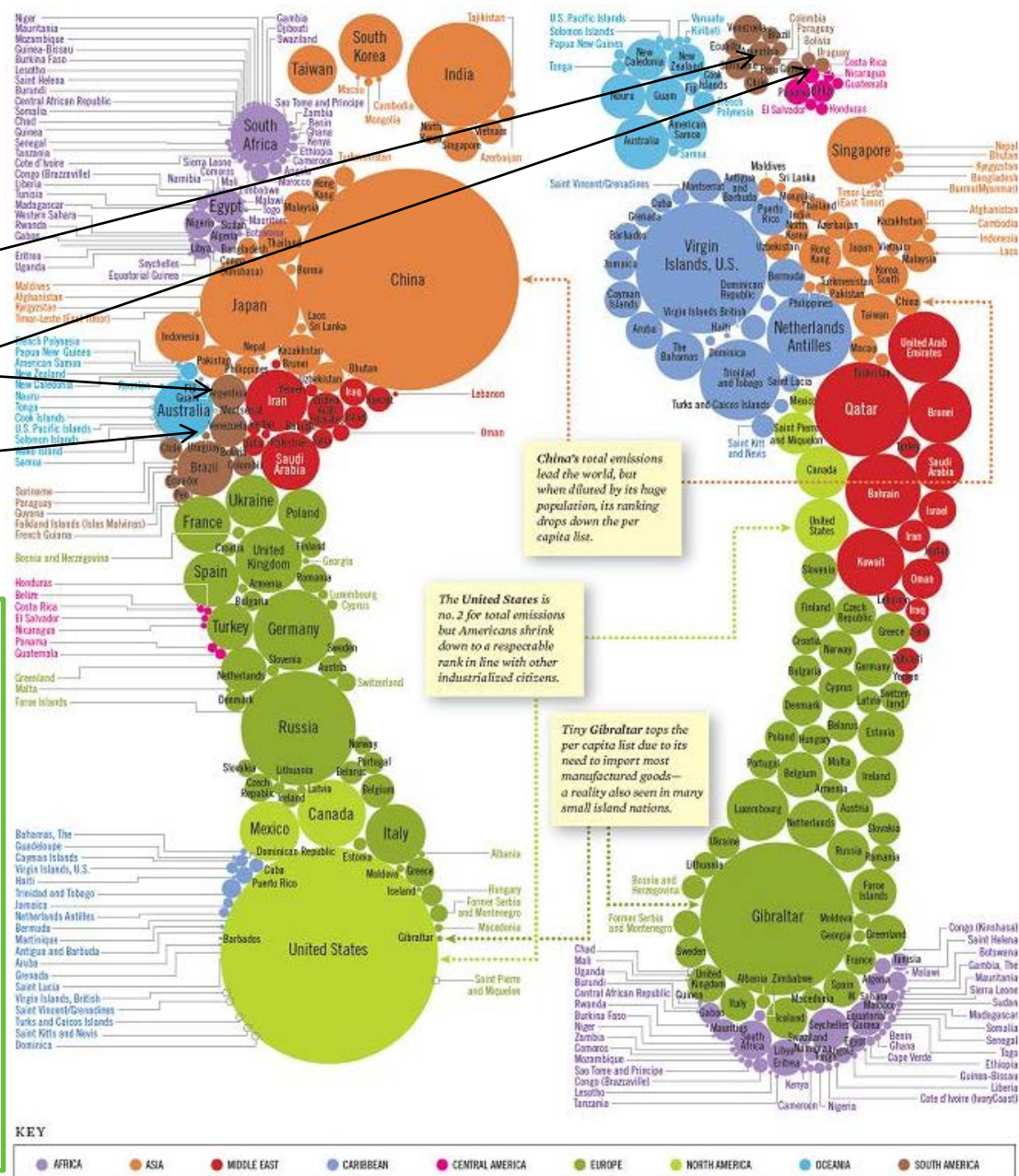
Emisiones de CO₂ por país y por habitante

Argentina

Uruguay

Total Carbon Emissions by Nation

Total Carbon Emissions Per Capita



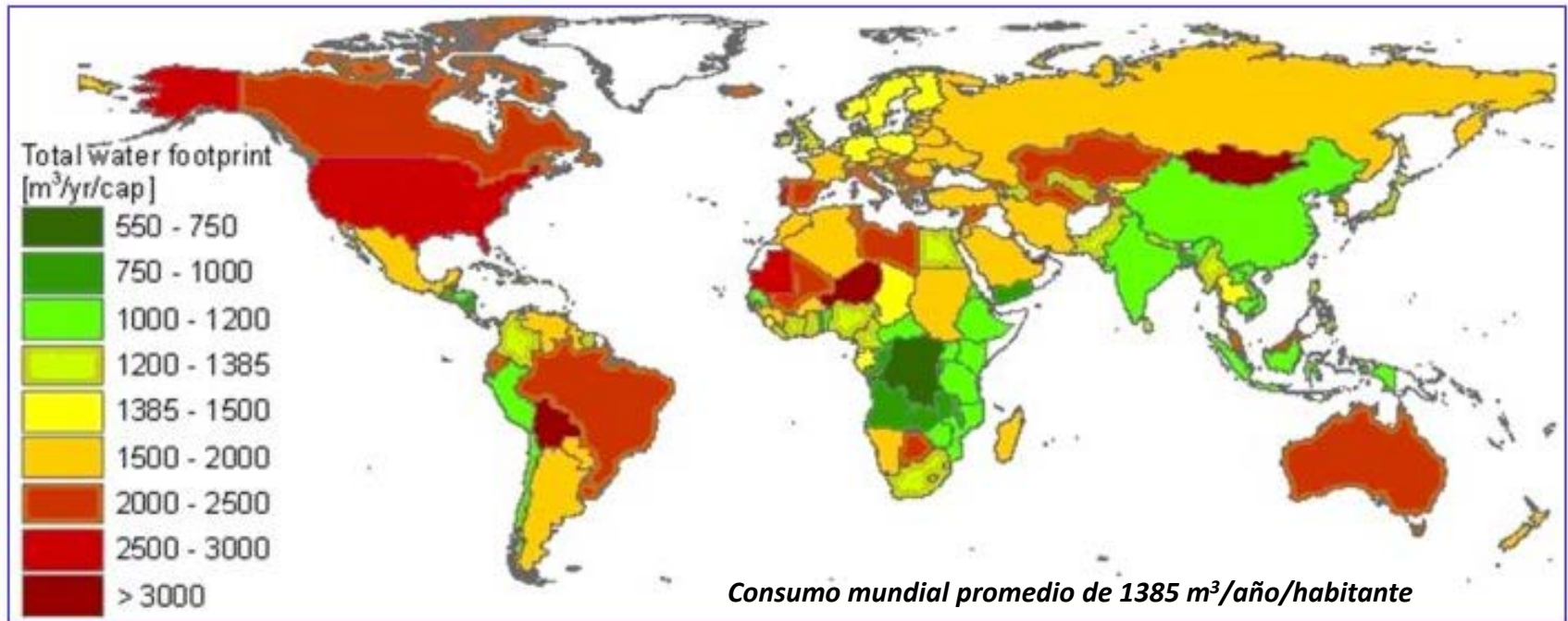
Emisiones de C por cambio de uso de la tierra



Huella de agua



Huella hídrica promedio de consumo nacional en m³ por año por habitante
Periodo 1996-2005 (Mekonnen y Hoekstra, 2011)



Países en verde tienen una huella hídrica menor que el promedio global, países en amarillo a rojo tienen una huella hídrica superior al promedio global

A nivel global

La agricultura representa 92% de la huella hídrica total

La producción industrial contribuye un 4.4% y el consumo domestico un 3.6%

Pico de fósforo (Peak Phosphorus)

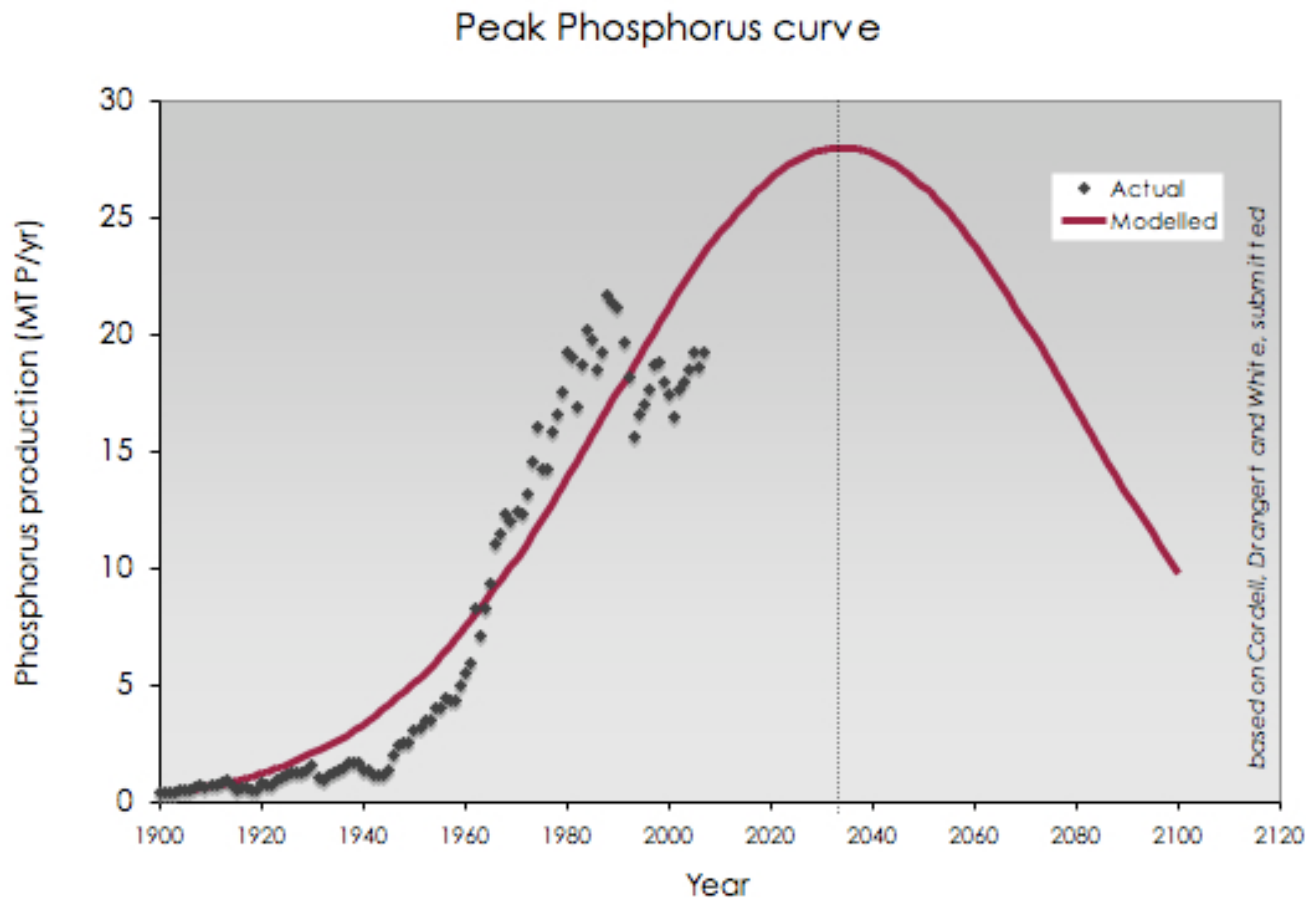
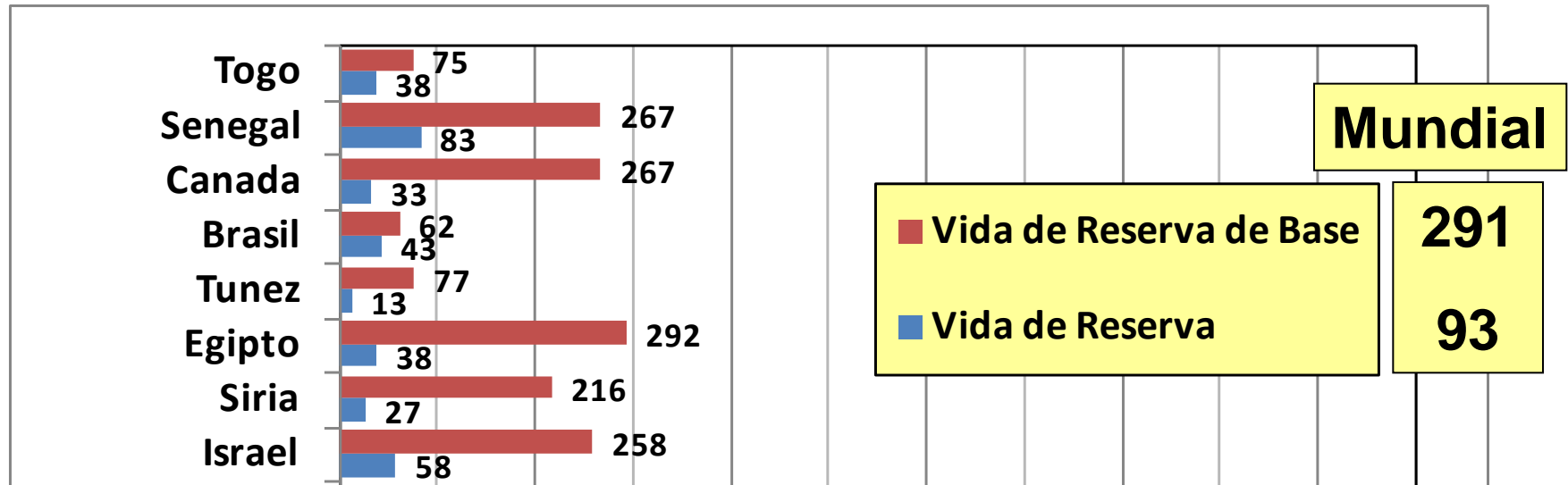


Figure 1: Peak phosphorus 'Hubbert' curve, indicating that production will eventually reach a maximum, after which it will decline (source: Cordell, Drangert and White, 2009) ⁱ

Pico de producción de 28 MT P/año en 2034

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



Un reporte reciente del IFDC concluye que las reservas globales de roca fosfatada cubrirían las demandas actuales de P por 300-400 años (Van Kauwenbergh, 2010)

Desafíos para las próximas décadas



- Cantidad de alimentos
- Calidad de alimentos
- Costo de alimentos

Nutrición humana

Manejo de suelos y nutrientes son comunes a los tres

- Cambio climático
- Costo de energía
- Bioenergía
- Etc.

Carbono

Tierra

- Uso de tierras
- Calidad de suelos
- Uso y calidad de aguas
- Disposición de desechos
- Etc.

MO

Adaptado del concepto de carbono y tierras de Henry Janzen, 2009

Siembra Directa

Rotaciones

Fertilidad



Residuos: Cobertura, cantidad y calidad



Materia orgánica



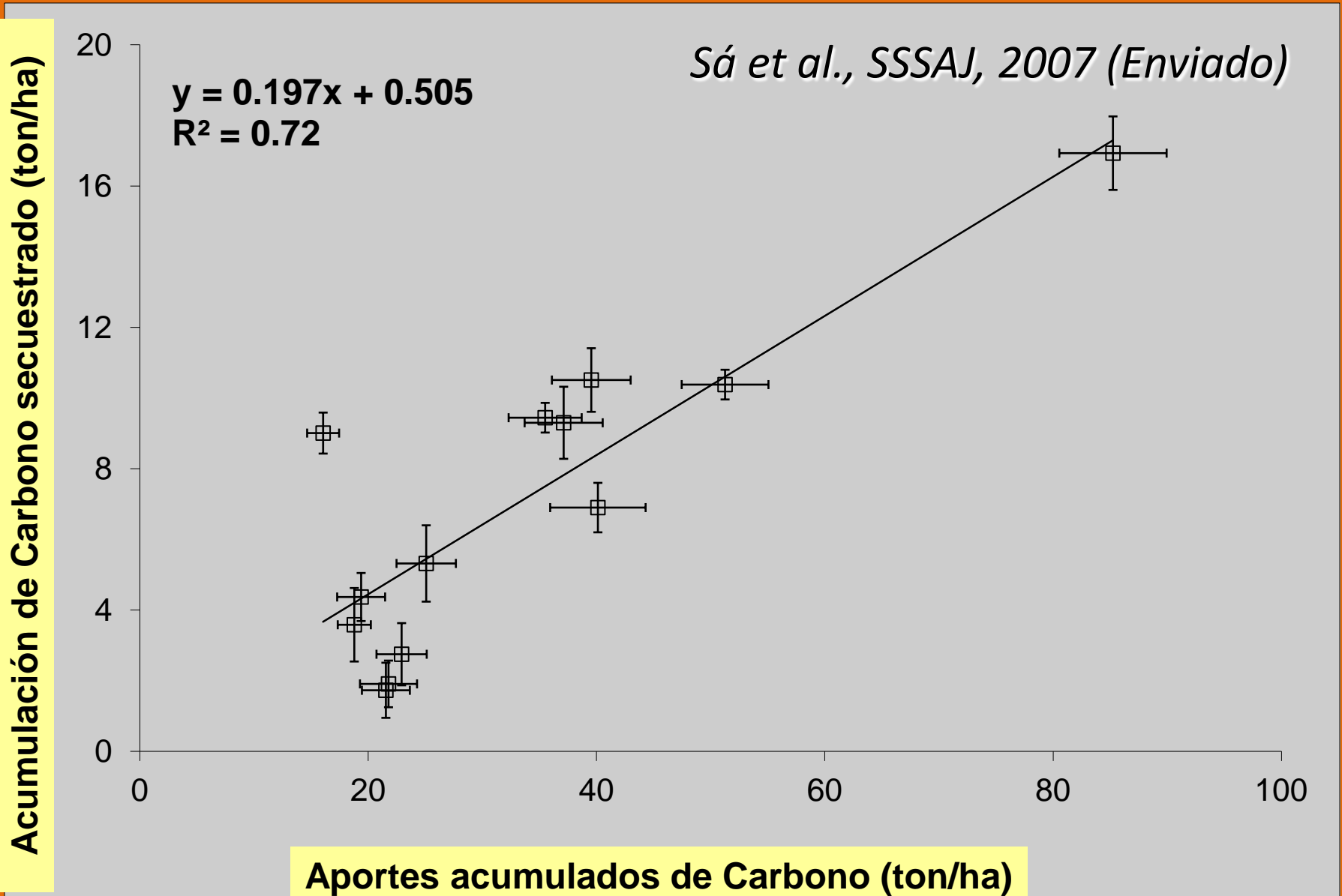
Suelo "vivo"



Sustentabilidad

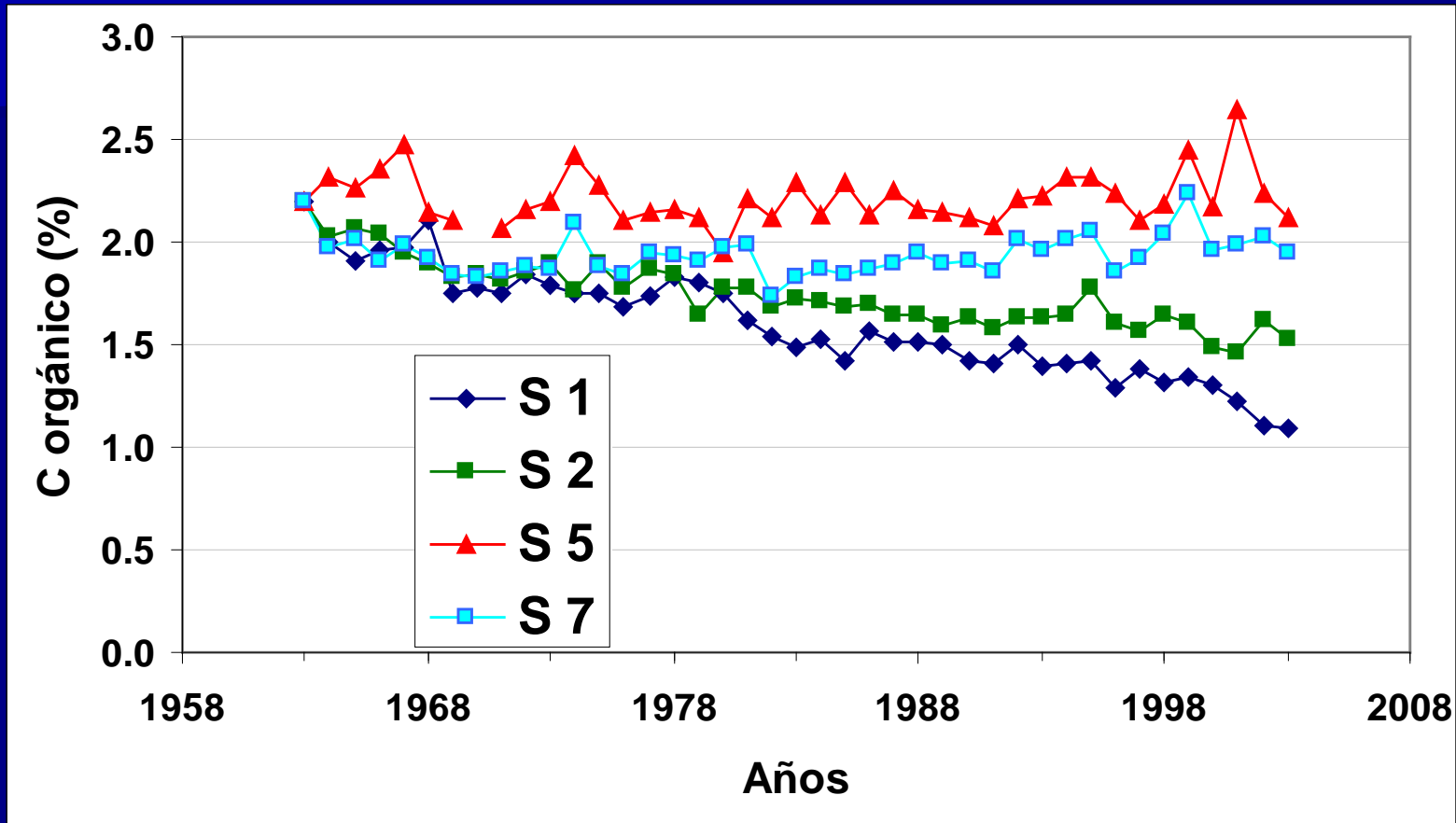


Aportes acumulados de Carbono y acumulación de Carbono secuestrado



Evolución de 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% pasturas

S7: 66% agricultura 33% pasturas

Fuente: A. Morón (2003)



La soja



- Alta concentración de proteína
- Alta concentración de aceite
- Adaptabilidad a condiciones edafo-climáticas
- Capacidad de obtener el N del aire
- Estabilidad de rendimientos
- Sistema de producción de baja inversión y bajo riesgo
- Las culpas no son de la soja, son nuestras!!!!

Efectos de la expansión del monocultivo



*La soja domina la rotación
(monocultura)*

*Baja el aporte de
C al sistema*

*Maíz, trigo y otros cultivos
no son rentables*

Disminuye la MO

*Las propiedades químicas, físicas y
biológicas de los suelos son afectadas*



*Lote del sudeste de Córdoba
bajo monocultivo de soja*

*Perfil de suelo mostrando las
zonas compactadas (marcas
rojas) a 10-15 cm*

Modelos Productivos en el Centro-Sur de Santa Fe



Campañas 2002/03 a 2004/05

Fuente: F. Martínez - INTA Casilda

Intensidad/ Modelo Productivo	Indice de ocupación del suelo (Cultivos/año)	Porcentaje de gramíneas	Producción de grano (kg/ha/año)	Producción de proteína (kg/ha/año)	Eficiencia Uso Agua (kg grano/mm lluvia)	Balance de C (kg/ha/año)
BAJA Monocultivo sojero Al menos 7 sobre 10 años con Sjl	1	0	3400	1300	3.4	-1200
MEDIA Al menos 6 sobre 10 años con Sjl, Mz < 10 %, Tr/Sjll < 25%	1.25	< 30	4700	1460	4.7	-1000 a -500
ALTA Al menos 6 sobre 10 años con gramíneas	1.3-2	36-54	7800	1700	7.8	0 a +600

Fuente: Martínez, 2011

Aporte de C de residuos y C humificado en un ciclo de la rotación maíz-trigo/soja para cuatro tratamientos de fertilización en dos sitios del sudeste de Córdoba (Argentina)

Elaborado a partir de información de Vicente Gudelj y col. (com. personal)

Tratamiento	Aporte C Residuos ¹ (kg C/ha)	C humificado ² (kg C/ha)
<i>Don Osvaldo (Baja fertilidad)</i>		
Testigo	6144	-815
NP	8061	31
NPS	10353	1082
NPS Rep	11381	1532
<i>Los Chañaritos (Alta fertilidad)</i>		
Testigo	8358	173
NP	10377	1071
NPS	11019	1359
NPS Rep	11747	1677

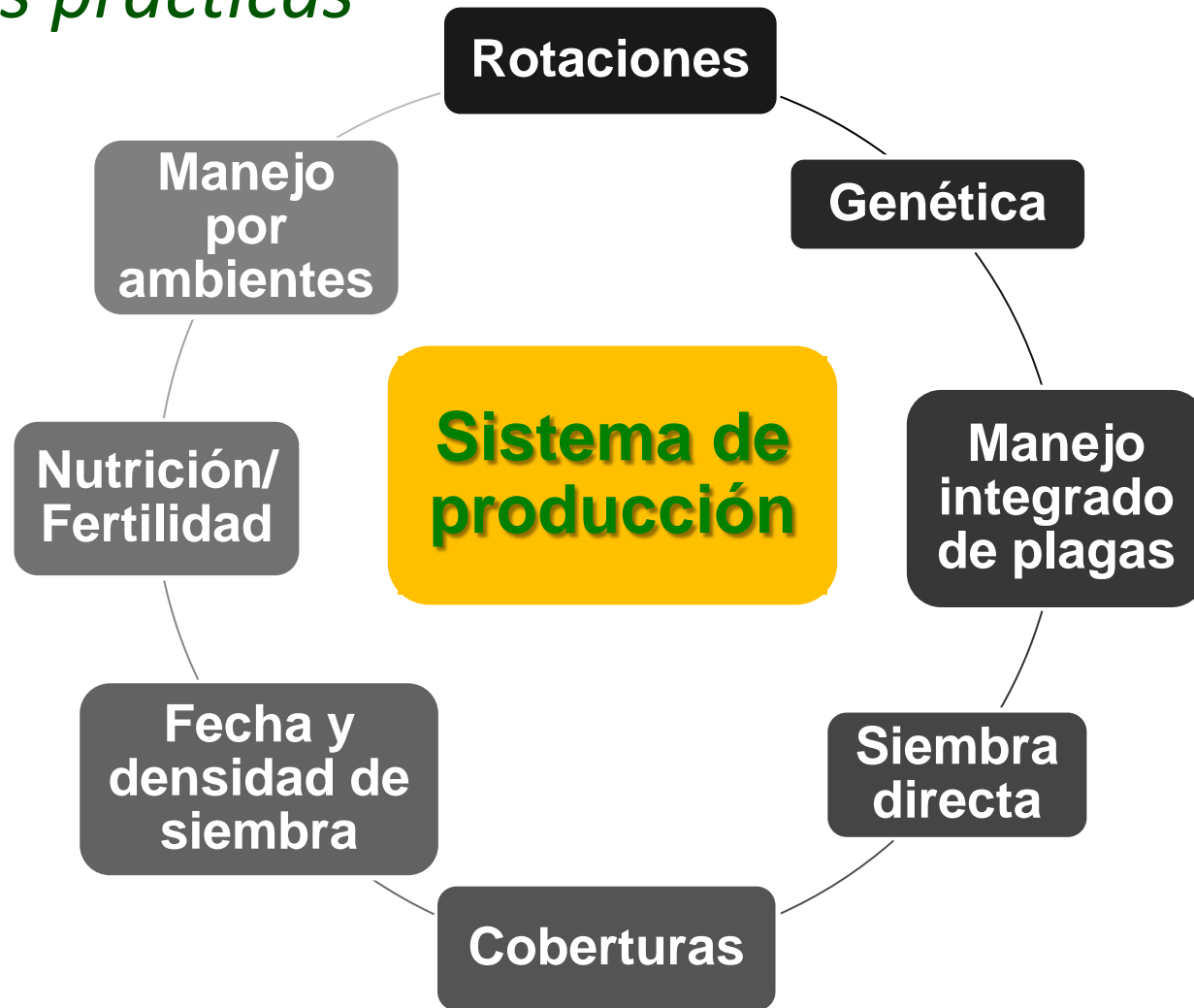
Los tratamientos NP y NPS incluyeron dosis de nutrientes según diagnóstico, y el tratamiento NPS Rep dosis de nutrientes según reposición de los nutrientes extraídos en grano

Balance de P en grupos de chacras agrícolas del Litoral Oeste de Uruguay

Cano (2005)

Grupo	Características	Nº chacras	Nº cultivos / año	Cultivos fertilizados (%)	Balance final rotación (kg P/ha)
A	Alta frecuencia de fertilización	7	1,13	91,1%	24,5
B	Alta frecuencia de fertilización, doble cultivo, rotaciones largas	6	1,97	86,7%	11,0
C (a)	Extraen poco P, rotaciones cortas	6	1,22	71,4%	4,5
C (b)	No fertilizan los cultivos de verano de segunda	7	1,48	62,2%	-9,6
D	Poseen altos niveles de P Bray, fertilizan poco	5	1,82	42,5%	-40,2

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



Intensificación productiva sustentable

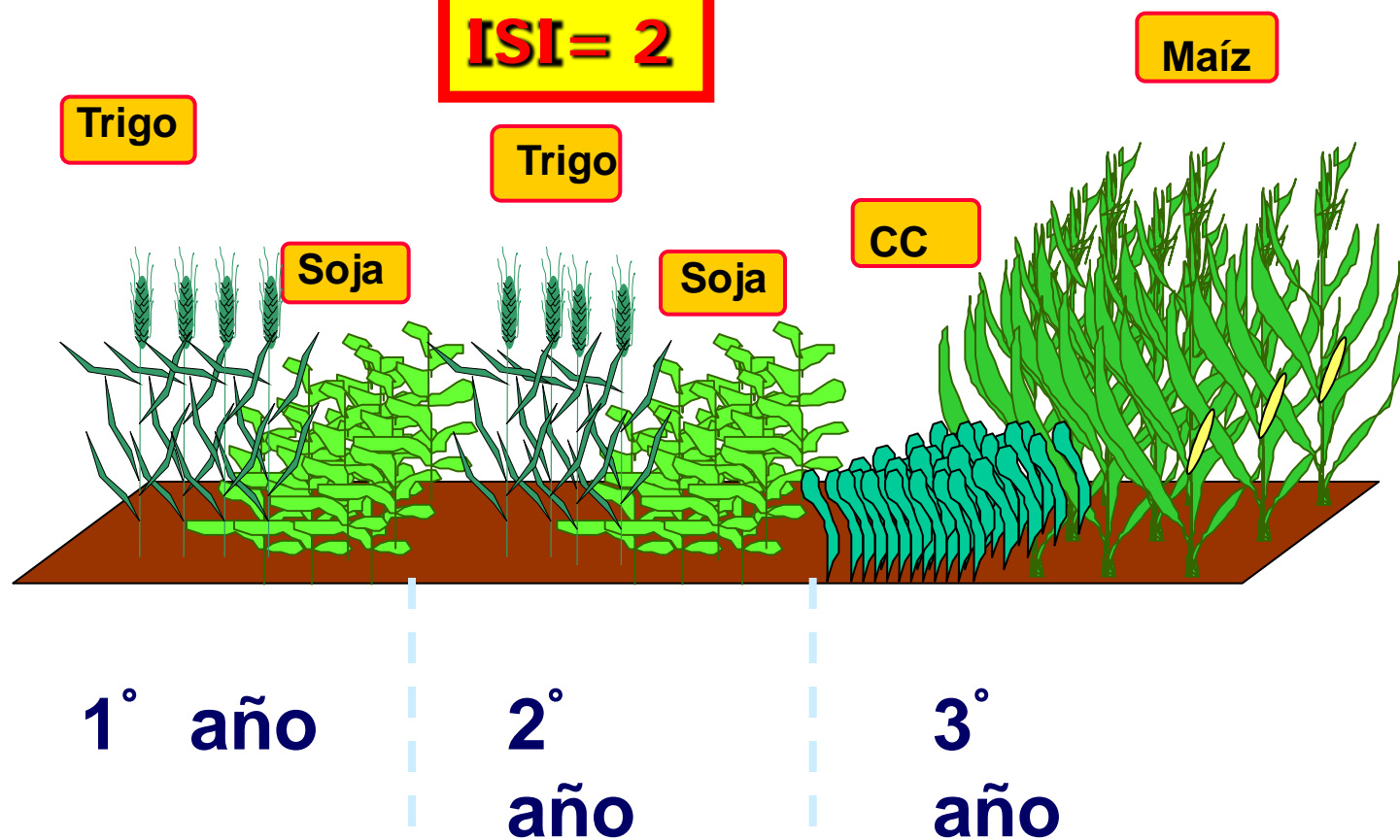
- *Mayor producción por unidad de recurso y/o insumo involucrado en el espacio y el tiempo (kg/ha/año)*
- *Mejorar eficiencias en términos agronómicos, económicos y ambientales*
- *Involucra sistemas y no solamente cultivos*

- ***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*

Duración Secuencia = 3 años

6 cultivos en 3 años

ISI = 2



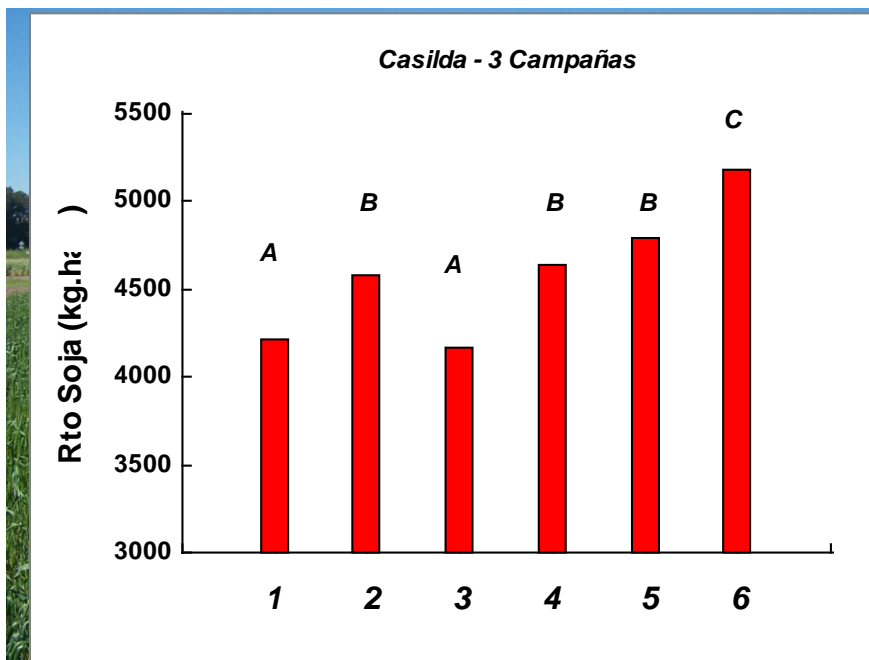
**Secuencia
Intensificada!!**

Caviglia (2011)

Cultivos de cobertura

Gramíneas en Soja

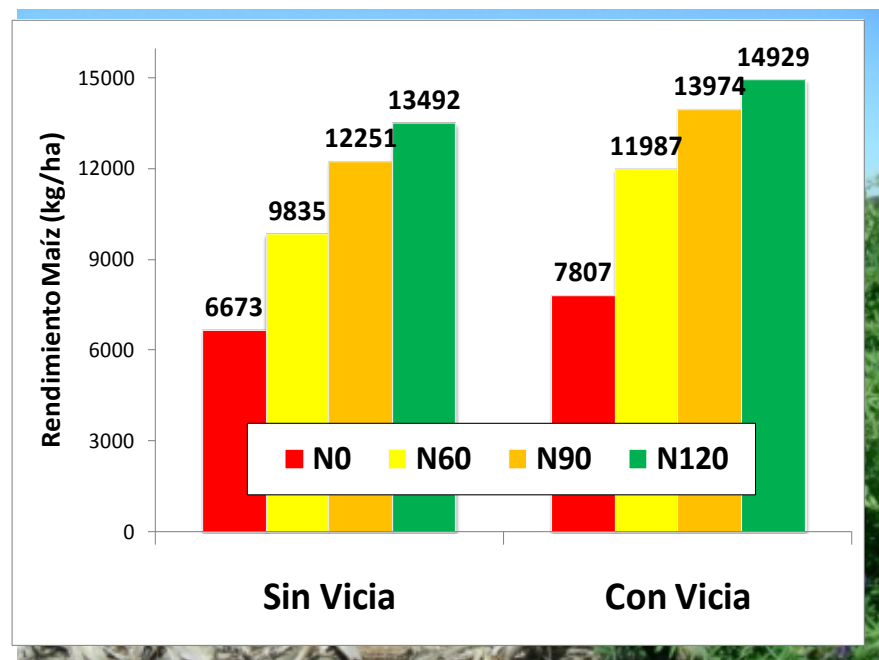
Cordone et al. (2011) – AER INTA Casilda - Campañas 2007/08 a 2009/10



1= Soja sin fert., 2= Soja PS, 3= CC/Soja,
4= CC/Soja PS, 5= CCN/Soja PS, 6= Soja en secuencia

Vicia en Maíz

Capurro et al. (2010) – AER INTA Cañada de Gómez - Campaña 2009/10



Los cultivos de cobertura aportan C, N, raíces, actividad microbiana

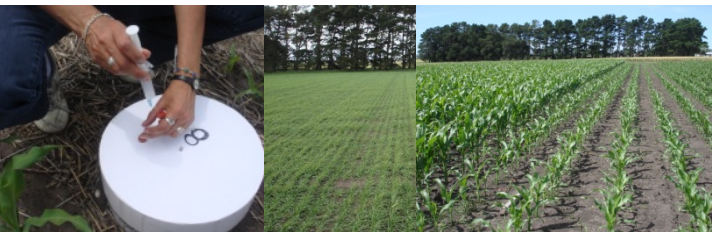
Productividad e impacto ambiental de sistemas intensificados de producción de granos en la región pampeana argentina

Un proyecto interdisciplinario orientado a evaluar:

- Eficiencia de uso y productividad de recursos (N, agua, radiación)
- Materia orgánica del suelo
- Estructura del suelo
- Emisión de gases de efecto invernadero
- Contaminación de aguas con nitratos y herbicidas
- Análisis económico



Sistemas de
manejo
ecologicamente
intensificados



Experimentos a Largo Plazo

Practica del productor vs. Intensificación Ecológica

Rotación: Maíz – Trigo/Soja (doble cultivo), con y sin coberturas invernales

Diferencias de Manejo

Cultivar

Fecha de siembra

Espaciamiento

Densidad

Fertilización

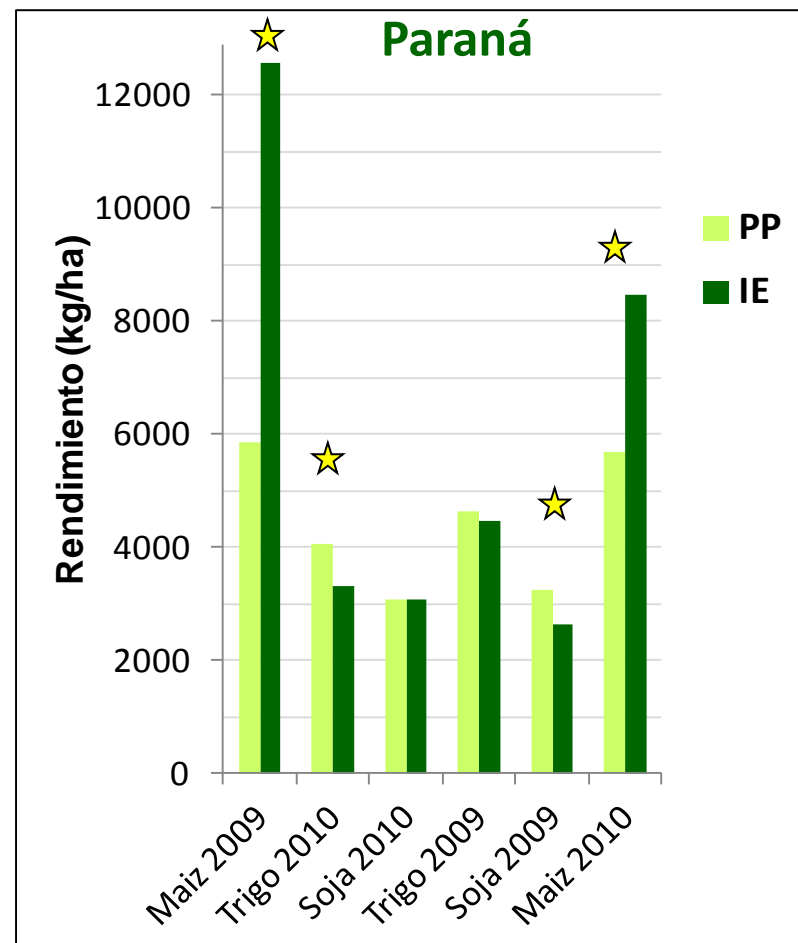
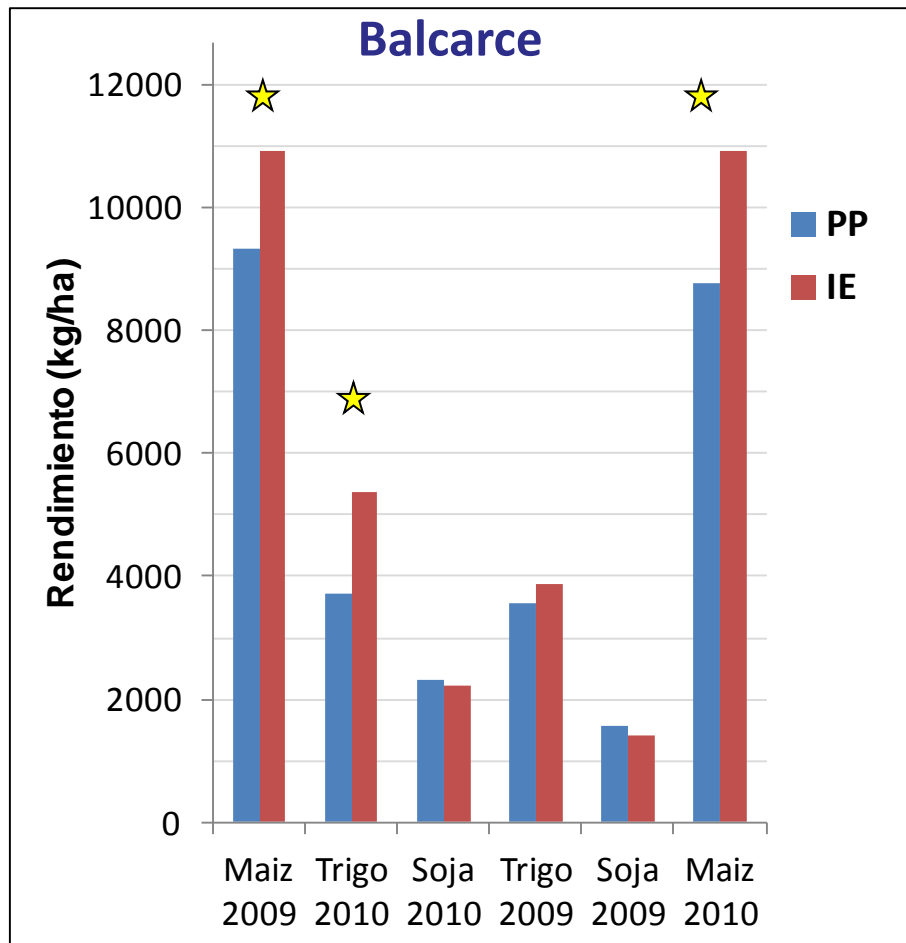
Momento

Dosis

Fuente



Algunos resultados del del proyecto GM en Argentina



★ Indica diferencias significativas entre tratamientos



Algunos resultados del del proyecto GM en Argentina



Índice	Paraná		Balcarce	
Productividad de Agua (kg/mm)	6.7 a	5.1 b	9.9 a	8.3 b
Eficiencia de Uso de Agua (kg/mm)	12.3 a	9.4 b	13.9 a	11.8 b
Eficiencia de Captura de Agua (mm/mm)	0.59	0.59	0.71	0.70
Productividad Parcial de N (kg/kg N)	108 b	132 a	78 b	90 a
Eficiencia Fisiológica de Uso de N (kg/kg N)	34.3 a	26.4 b	45.8 a	41.3 b
Balance de N (kg/ha)	-121 a	-186 b	-147 a	-173 b



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



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

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

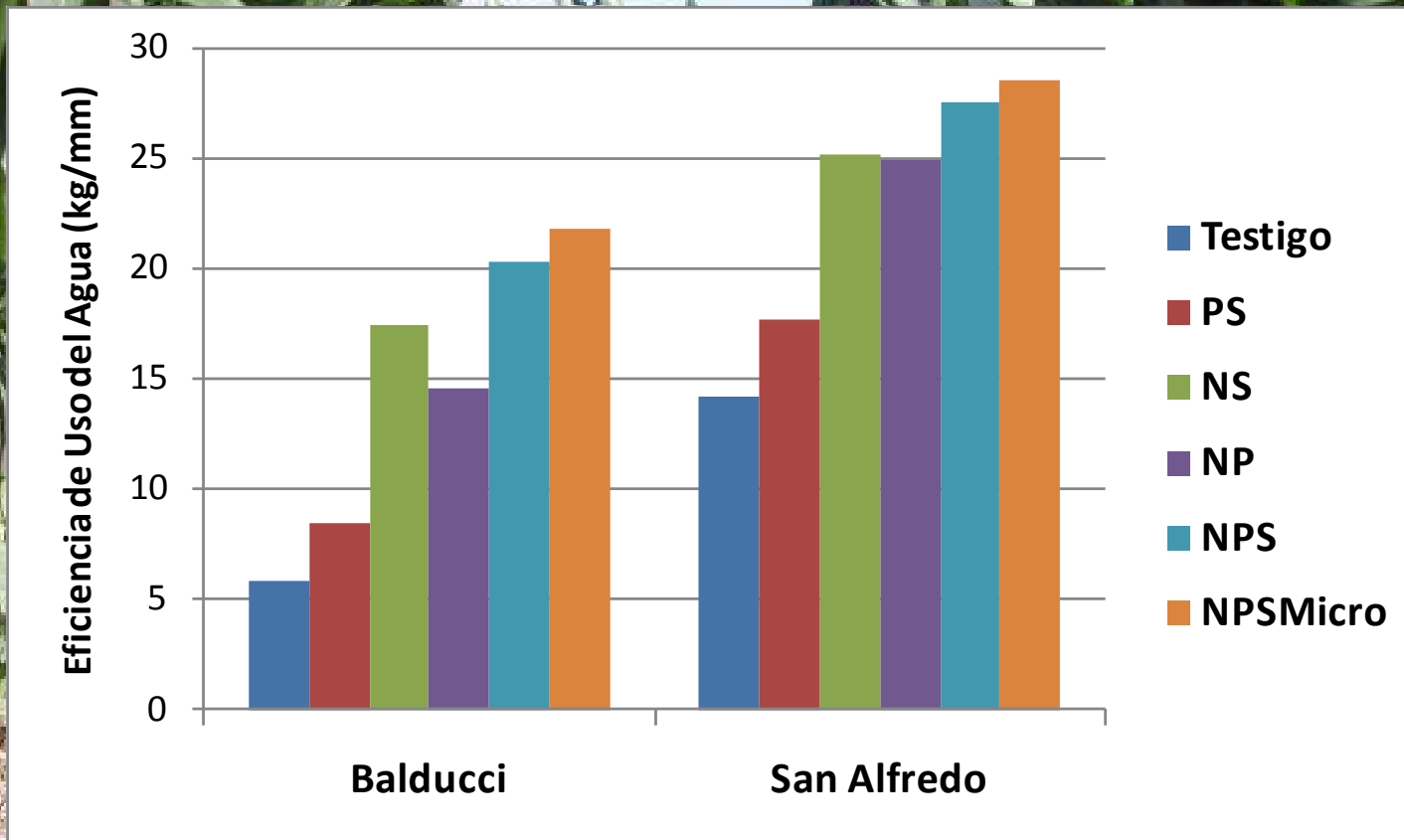


1. Evaluar los momentos de demanda nutricional del cultivo
2. Evaluar la dinámica de abastecimiento de nutrientes del suelo
3. Reconocer los efectos de factores climáticos
4. Evaluar la logística de operaciones

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

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

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe – Campaña 2010/11



*Precipitaciones siembra a madurez
Balducci 420 mm y San Alfredo 517 mm*

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

Alternativas para una mayor Eficiencia de Uso de N

- Mejorar los diagnósticos y las recomendaciones
- Aplicaciones divididas, ¿adopción? ¿logística? ¿rentabilidad?
→ Monitoreo durante la estación de crecimiento
 - Evaluación visual usando parcelas de referencia (*parcelas de omisión*)
 - Uso de medidor de clorofila
 - Sensores remotos aéreos y satelitales
 - Sensores remotos terrestres
 - Uso de modelos de simulación
- Manejo sitio-específico
- Tecnologías de fertilización: Aplicaciones variables y nuevos fertilizantes como inhibidores de ureasa y de nitrificación o fertilizantes estabilizados o de liberación lenta
- Rotaciones y asociaciones de cultivos: Uso de cultivos de cobertura que aporten N al sistema

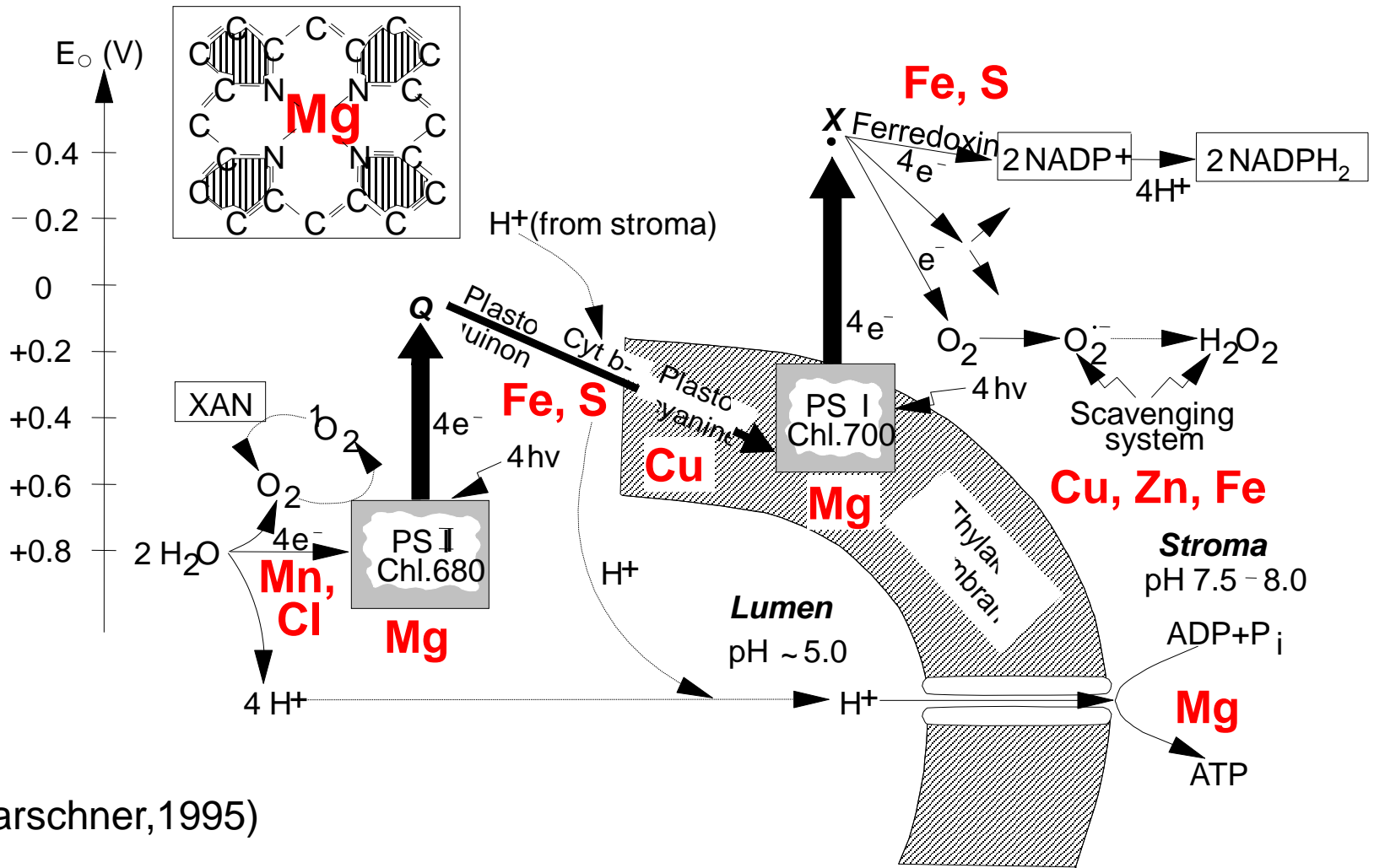
Inhibidores de la ureasa

Maíz de primera en Rafaela (Santa Fe)

Fontanetto, Bianchini y col., 2007/08

Tratamiento	Perdidas N-NH ₃	Rendimiento	Eficiencia agronómica
	%	kg/ha	kg maíz/kg N
Testigo	-	7334	-
Urea 70N	10	8381	15
Urea 140N	25	9623	16
Urea 70N + NBPT	4	9166	26
Urea 140N + NBPT	6	10368	22

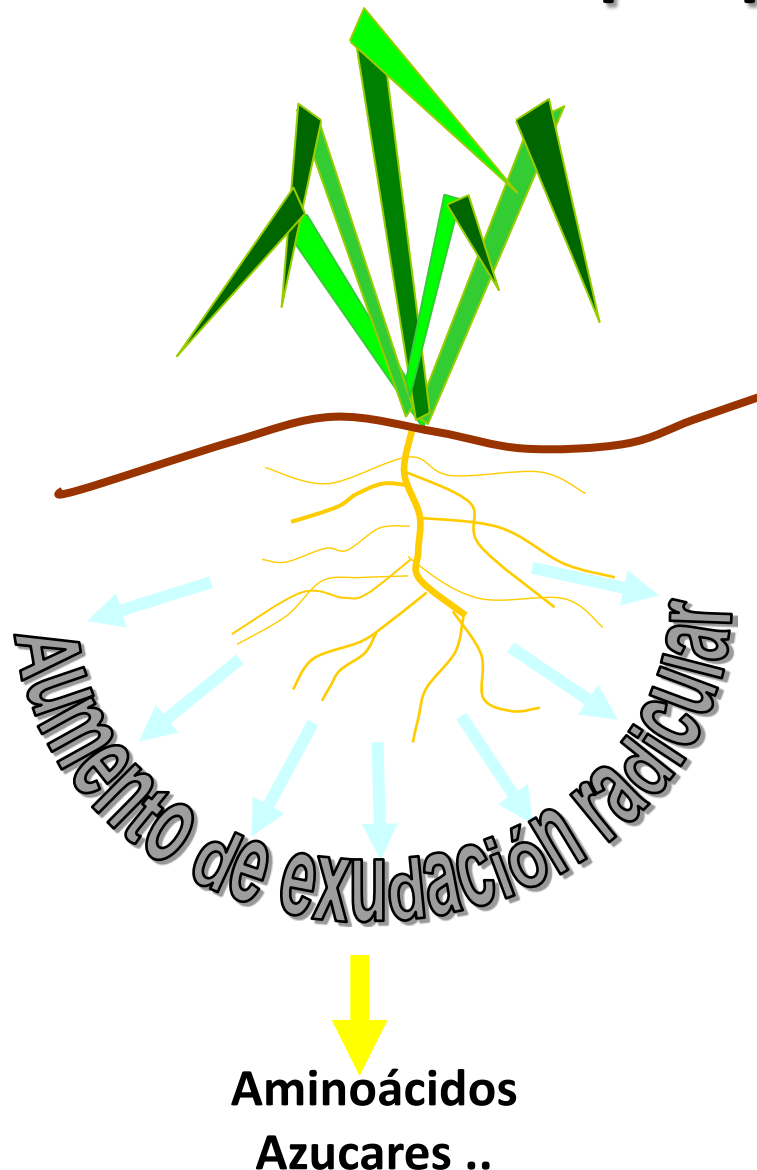
Nutrientes minerales requeridos para el transporte de electrones y la formación de ATP



(Marschner, 1995)

Transporte de electrones en el fotosistema I y II, fotofosforilacion
 Fuente: I. Cakmak (2011)

Zinc y Boro proveen resistencia contra infecciones por patógenos



Zinc y B son necesarios para la integridad funcional y estructural de las membranas celulares

Cualquier daño a la integridad estructural celular resulta en permeabilidad de membranas y liberación de exudados

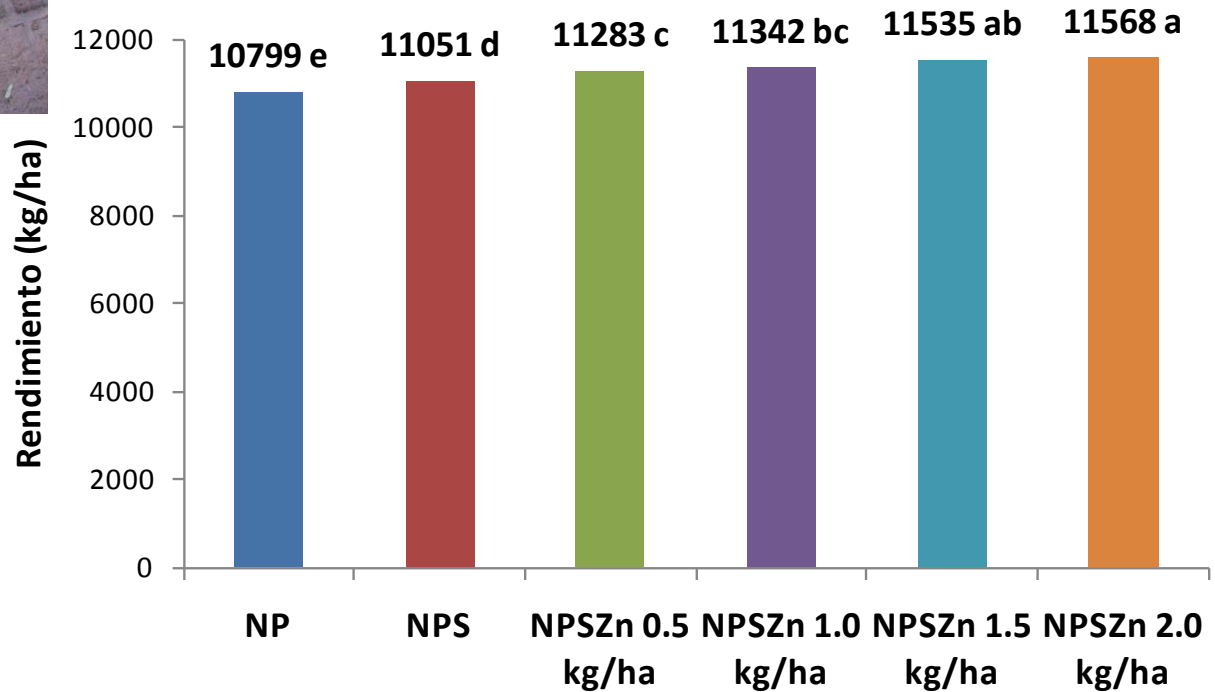
Exudados radiculares: Substrato alimenticio de patógenos

Fuente: I. Cakmak (2011)

Zinc en Maíz

*Promedios de catorce ensayos en Córdoba, Buenos Aires y Santa Fe
Campaña 2009/10 y 2010/11*

Fotos : Matias Ruffo (Mosaic)



Fuente: Mosaic-IPNI

*Sitios en Buenos Aires (9 de Julio, Balcarce, Lincoln, Gral. Villegas),
Córdoba (Alejo Ledesma, Chaján, Adelia María, Guatimozin y Rio
Cuarto) y Santa Fe (San Justo, María Teresa, Rafaela y Oliveros)*

Deficiencia de Manganeso en soja RR luego de la aplicación de glifosato



Soja RR

Soja no RR

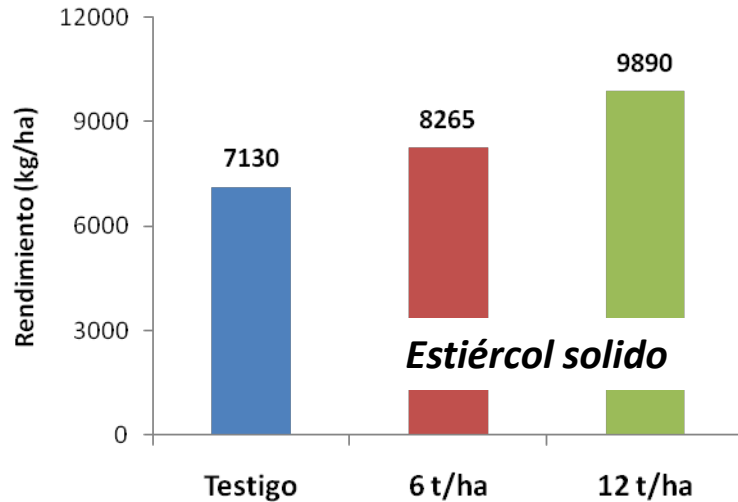
Clorosis foliar momentánea por efecto del glifosato sobre los microorganismos reductores de Mn

Fuente: Don Huber, Purdue University (2005)

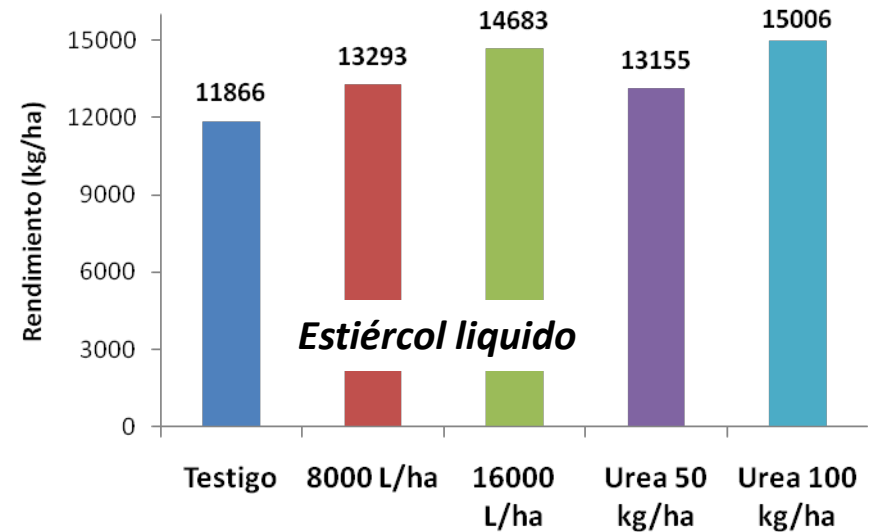
Experiencias con el uso de efluentes de tambo en la región central de Santa Fe

Fontanetto y col. (2010)- EEA INTA Rafaela (Santa Fe)

Maíz de segunda 2007/08



Maíz de primera 2008/09



Efecto en propiedades del suelo – Tambo en Humboldt (2009), aplicación de 72000 L/ha de efluentes

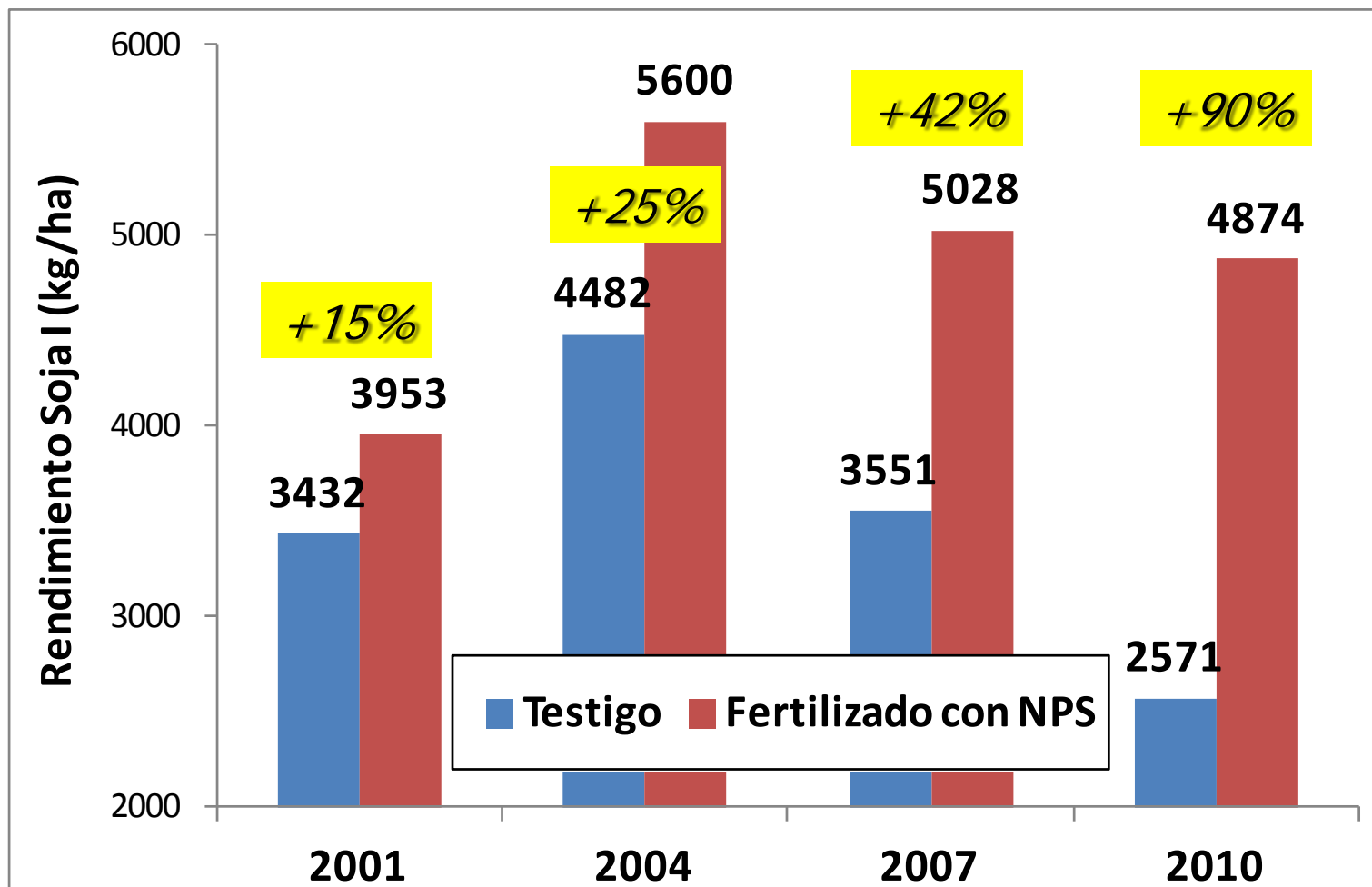
Tratamiento	MO	N total	P Bray
	%	%	ppm
Sin efluentes	2.27	0.11	11
Con efluentes	2.94	0.15	34

Composición de efluente de sala de ordeño 10.4% MS, 0.14 g/L N y 0.01 g/L P

Soja de primera

Evolución de rendimientos sin y con fertilización NPS

Ensayo La Blanca – Alejo Ledesma (Córdoba) - Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe



Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

CONSIDERACIONES FINALES

- La agricultura enfrenta demandas, desafíos y oportunidades a los que debemos responder a través de sistemas de producción sustentables mas eficientes y efectivos
- Existen numerosas practicas que contribuyen a la sustentabilidad de los sistemas (rotaciones, siembra directa, nutrición balanceada, etc.); y numerosos indicadores para evaluarlos (balance de C, balance de nutrientes, eficiencia de uso de agua, etc.)
- La complejidad de los sistemas requiere de la integración de disciplinas (multidisciplinariedad) y de los actores (productor-proveedor de servicios-empresas-organizaciones sociales-profesionales-investigadores-estados)
- No hay soluciones únicas (“*silver bullets*”)
- Existen numerosas compensaciones (“*trade-off*”)
- El proceso productivo no se reduce a un único ciclo agrícola, ni a una sola practica de manejo de insumos o recursos: *Pensar en el sistema de producción*

19th ISTRO CONFERENCE

XIX ISTRO 2012 - IV Reunión SUCS



ISTRO
International Soil Tillage
Research Organization

Uruguay 2012

Montevideo, 24 al 28 de Septiembre de 2012

www.fagro.edu.uy/ISTRO

ISTRO - International Soil Tillage Research Organization
Founded on 27 September 1973

Non-profit Organization
Organized as a corporation for education and scientific

iMuchas Gracias!



IPNI

INTERNATIONAL

PLANT NUTRITION

INSTITUTE

**www.lacs.ipni.net
fgarcia@ipni.net**