FACULTAD DE
AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
Jornada técnica
"Manejo de nutrientes y suelos en sistemas lecheros"
Canelones, 25 de Junio de 2009
Balance de nutrientes
en sistemas agrícolas
Fernando O. García
IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE
Instituto Internacional
de Nutrición de Plantas
www.ipni.net/lasc

Escenario actual

Demanda creciente de alimentos, forrajes, fibras y biocombustibles

Desafío actual

- ***Lograr altos rendimientos en suelos aptos para el cultivo y reducir la expansión agrícola hacia tierras menos aptas buscando:***
  - ***Satisfacer la demanda de granos, forrajes y productos animales a nivel mundial,***
  - ***Maximizar la eficiencia productiva y económica del uso de recursos e insumos,***
  - ***Preservar y/o mejorar la calidad del ambiente***

Sustentabilidad

Sustentabilidad, en el contexto de la producción agrícola-ganadera, implica preservar y/o mejorar

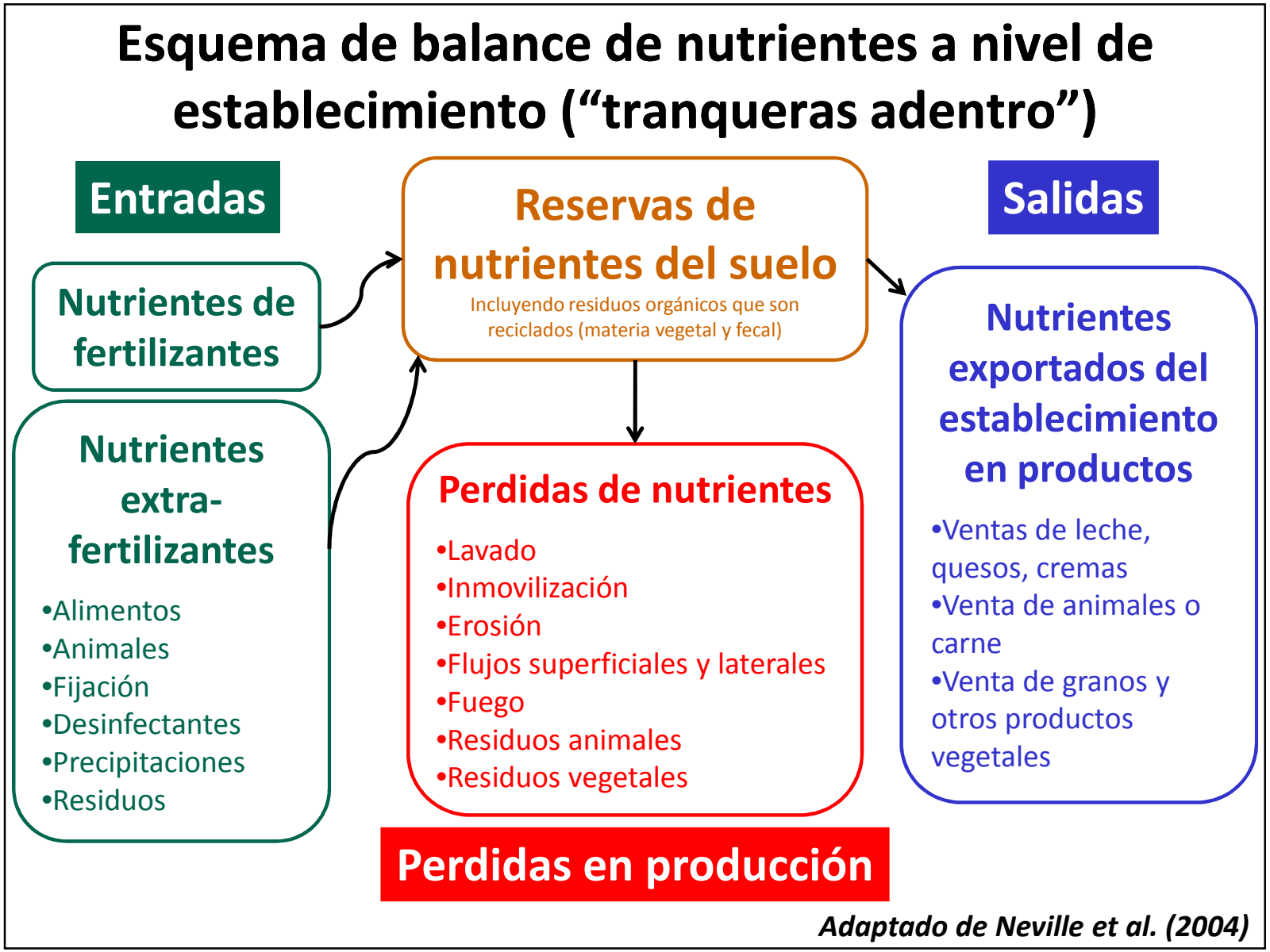
- La capacidad productiva del sistema desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental
- La calidad de los recursos renovables y no renovables incluidos en el sistema productivo (suelo, agua, aire, biodiversidad, otros)
- Entre estos recursos, se destaca el suelo como recurso finito no renovable

¿Qué es el balance de nutrientes?

Es la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que se pierden de un sistema definido en el espacio y en el tiempo

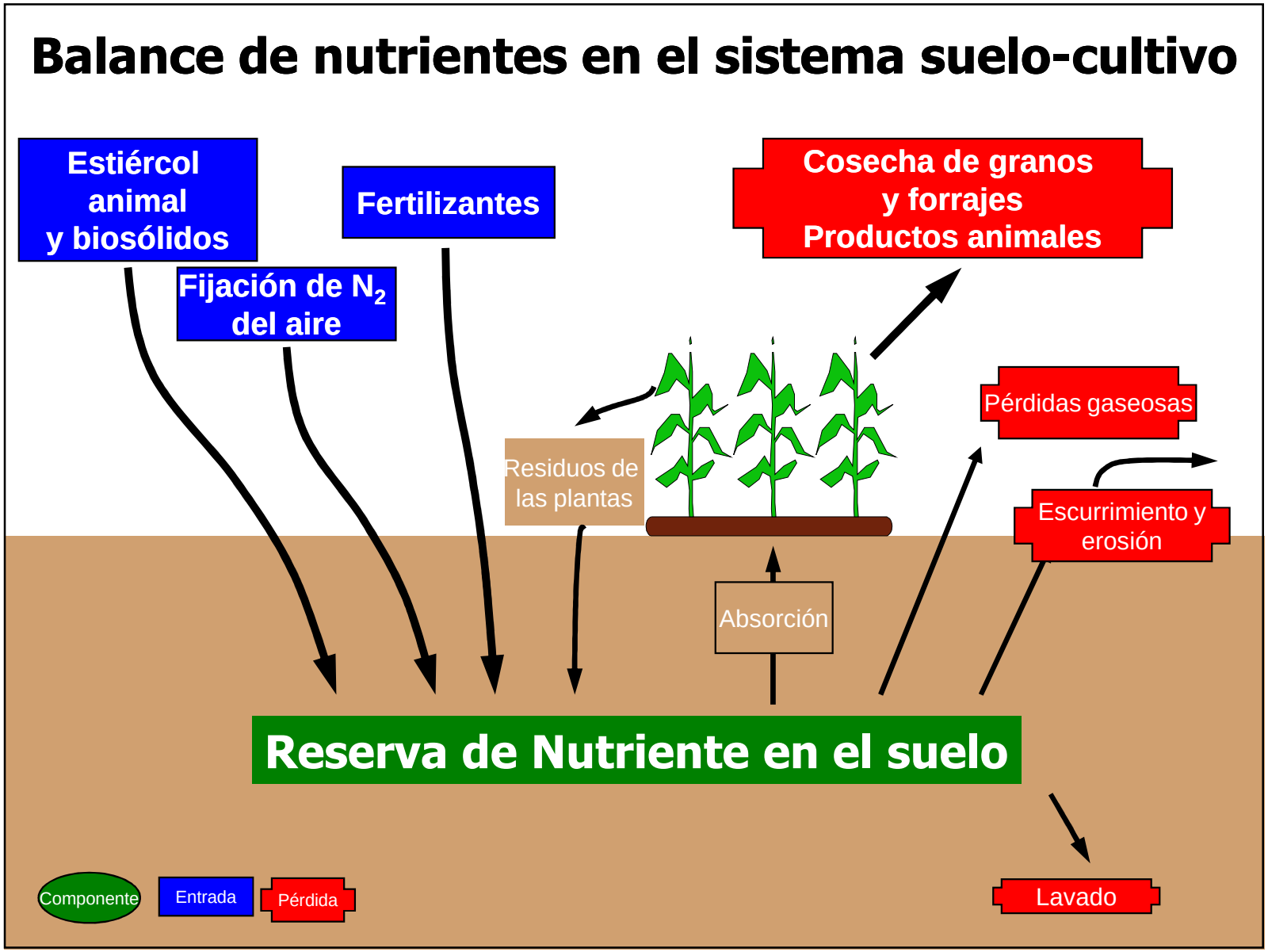
En general, los balances de nutrientes en sistemas agrícolas se consideran para la capa de suelo explorada por las raíces en períodos anuales

Esquema de balance de nutrientes a nivel de establecimiento ("tranqueras adentro")



Adaptado de Neville et al. (2004)

Balance de nutrientes en el sistema suelo-cultivo



Extracción de nutrientes

- Se estiman a partir del rendimiento y del contenido promedio de nutrientes en granos, forrajes cosechados y productos animales
- En el sitio de Internet de IPNI www.ipni.net/lasc se dispone de una planilla de cálculo Excel que permite estimar las necesidades totales y extracción de nutrientes de cultivos de grano y forrajeras

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**	**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

IPNI

Alfalfa: Extracción de nutrientes

(Adaptado de Fontanetto y Gambaudo, 1993)

10 toneladas de materia seca acumulan

300 kg de Nitrógeno

35 kg de Fósforo

300 kg de Potasio

110 kg de Calcio

25 kg de Magnesio

35 kg de Azufre

Remoción de nutrientes en productos animales

(Mathews et al., 1996)

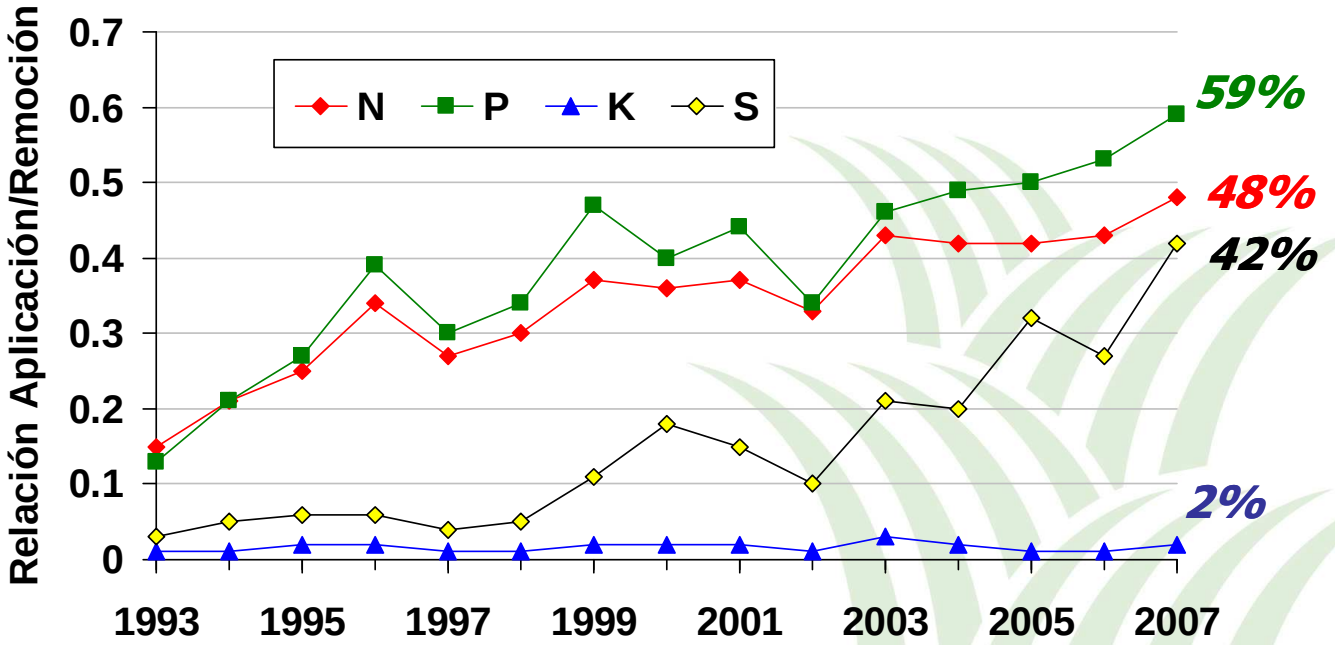
Nutriente	Carne	Leche
	g nutriente/kg carne	*g nutriente/kg leche*
Nitrógeno	27.2	0.6
Fósforo	6.8	1.0
Potasio	1.5	1.2
Azufre	1.5	0.4
Calcio	12.8	1.1
Magnesio	0.4	0.01

Producciones de carne de 600-900 kg/ha remueven 16-25 kg de N y 4-6 kg de P por ha

Ingresos de nutrientes al sistema

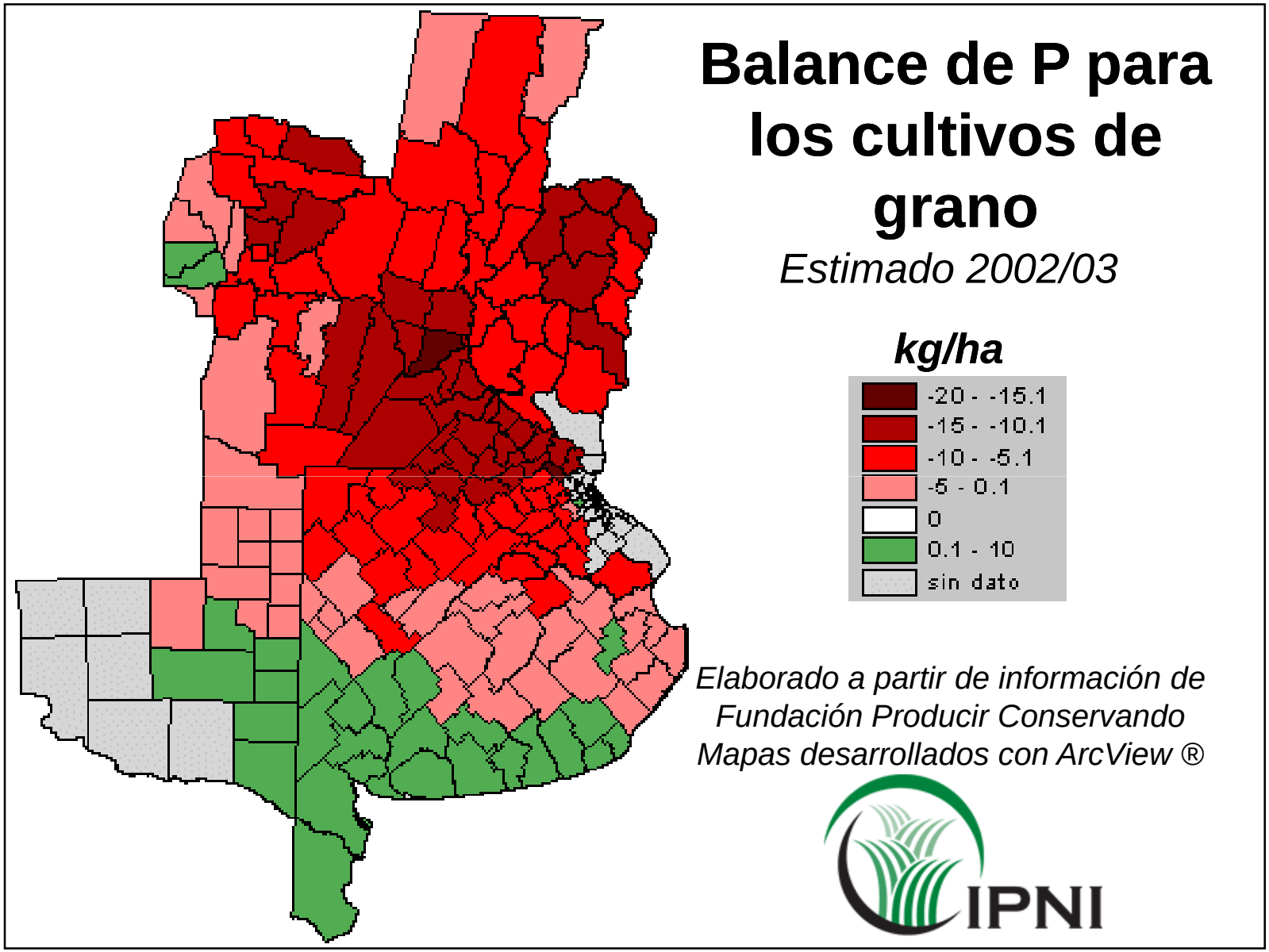
- Se estiman a partir de la cantidad de abono orgánico o fertilizante que se aplican y su contenido de nutrientes
- En el caso de la fijación biológica de N_2 (simbiótica o asimbiótica), se dispone de información de investigaciones sobre las cantidades de N que aportan los distintos cultivos en distintas condiciones

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



Las relaciones se incrementaron 1.2%, 2.6%, 0.06%, y 2.6% por año para N, P, K, y S, respectivamente

IPNI


Balance de P para los cultivos de grano
Estimado 2002/03
kg/ha
-20 - -15.1
-15 - -10.1
-10 - -5.1
-5 - 0.1
0
0.1 - 10
sin dato
Elaborado a partir de información de
Fundación Producir Conservando
Mapas desarrollados con ArcView ®
IPNI

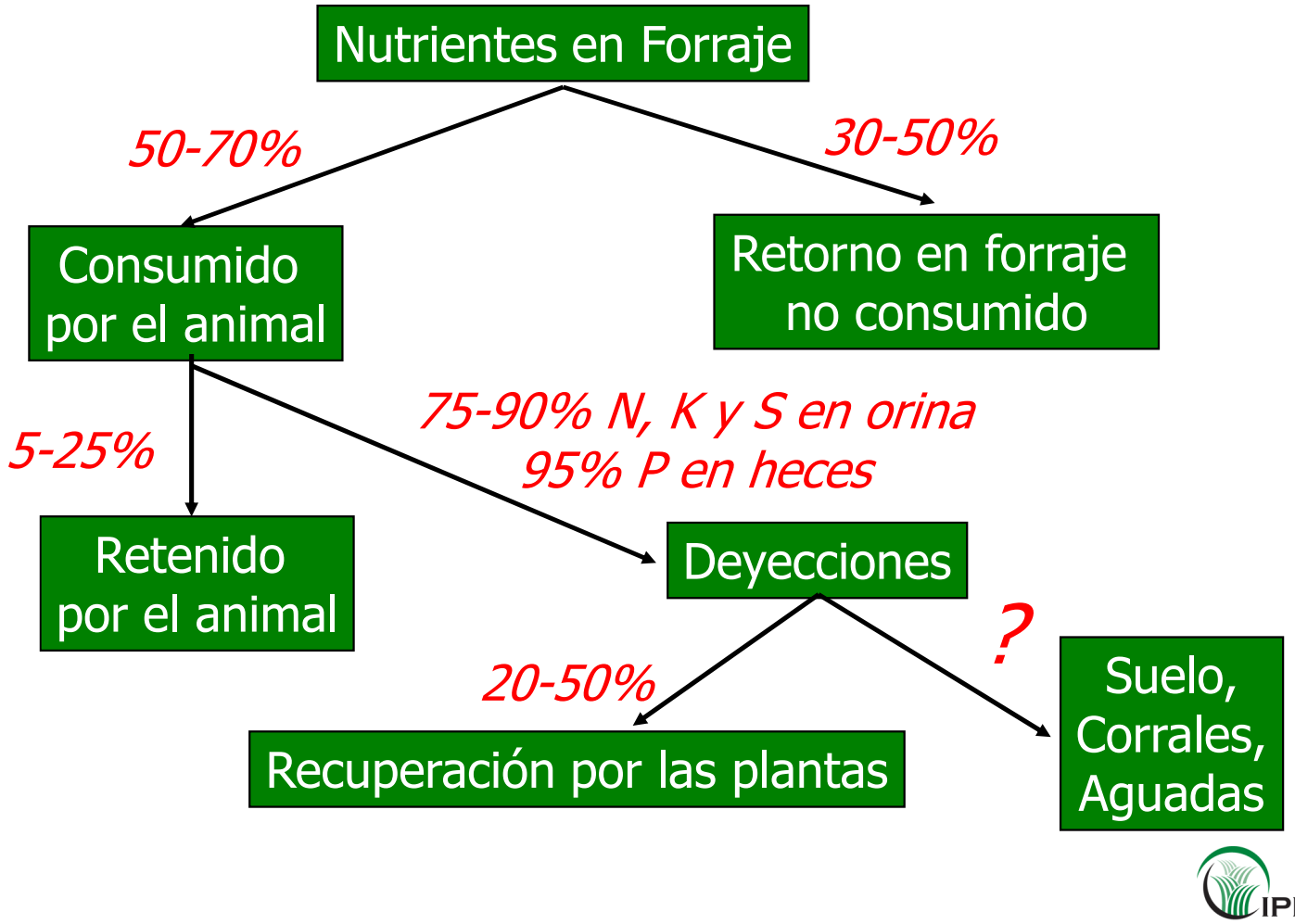
Balance de P en grupos de chacras agrícolas del Litoral Oeste de Uruguay

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

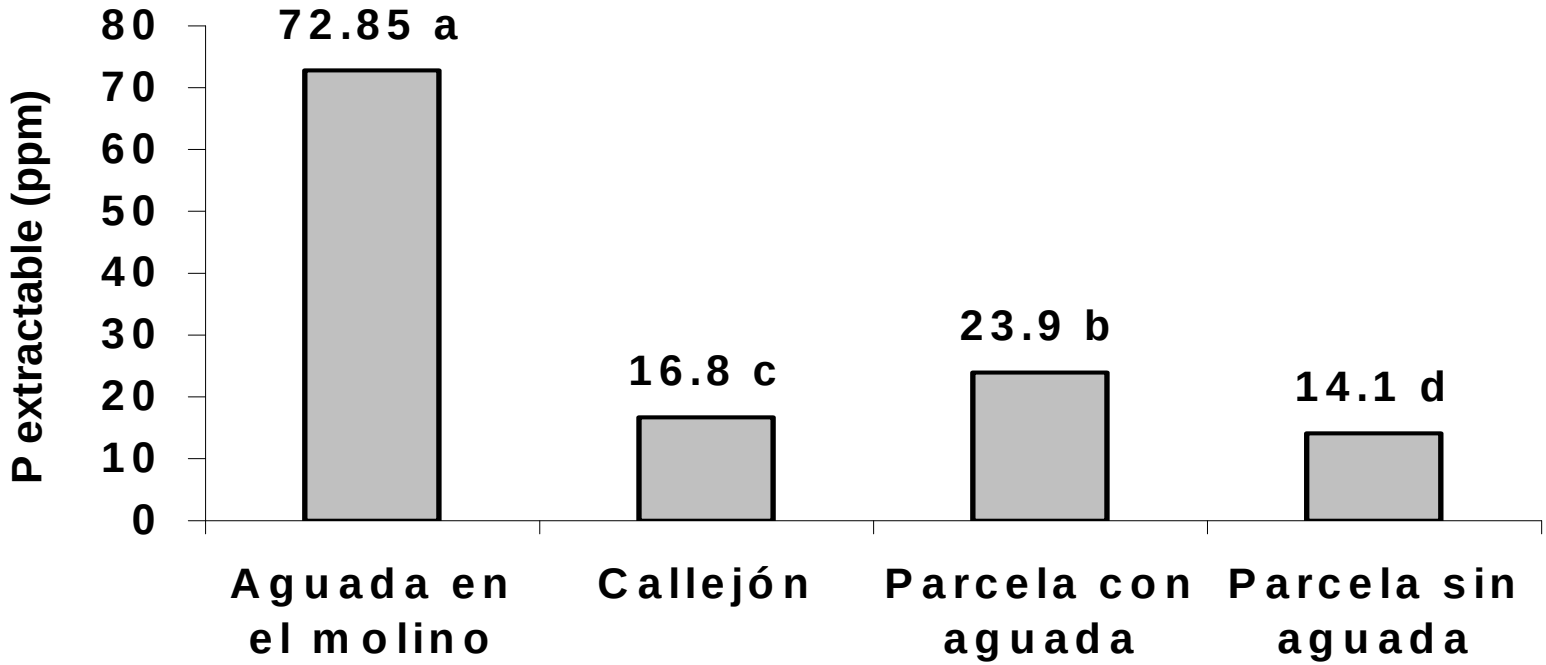
Circulación de nutrientes en sistemas de pastoreo

Adaptado de Marino y Agnus Dei (2005)



Traslados de fertilidad en sistemas ganaderos

(Díaz Zorita y Barraco, 2002)



Balances de N y P en sistemas de producción intensiva de carne

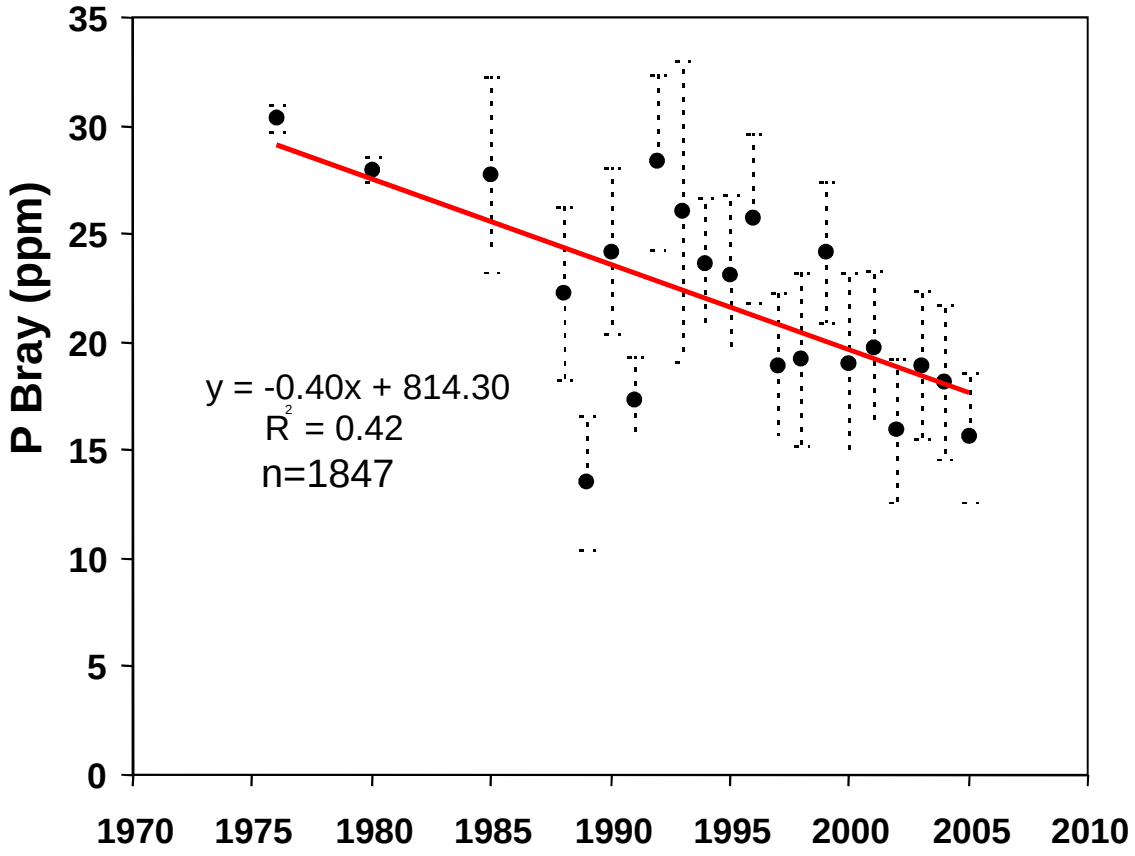
Marino y Agnus Dei (2005)

Nutriente	Nitrógeno	Fósforo
	kg/ha	*kg/ha*
Disponibilidad en forraje	200-250	20-25
Retorno por forraje no consumido	40-50	4-5
Retorno por deyecciones	60-75	4-5
Requerimiento reposición	100-125	12-15

¿Por qué es importante considerar el balance de nutrientes?

- Porque los balances negativos reducen la cantidad y disponibilidad de nutrientes en los suelos afectando
  - la calidad (fertilidad) de los suelos
  - los rendimientos de los cultivos
  - la sustentabilidad de los sistemas de producción

P extractable en suelos del oeste de la región pampeana



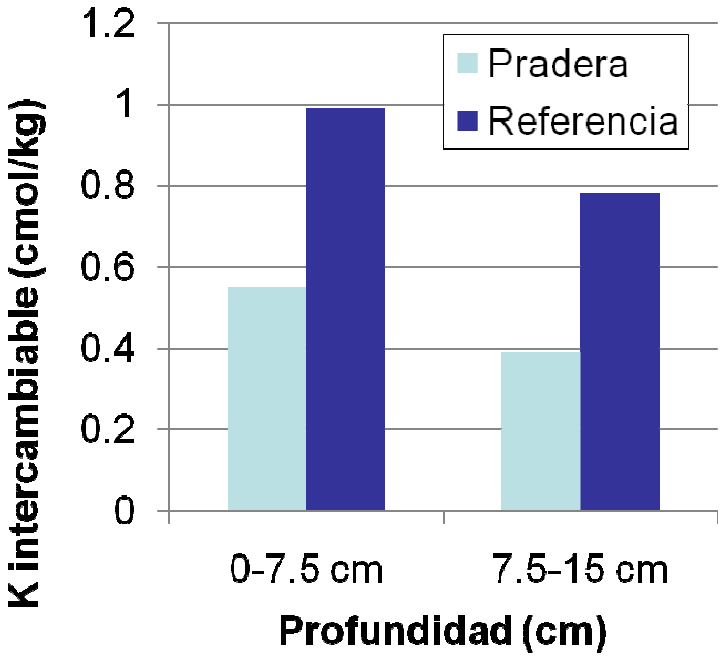
Fuente: Díaz-Zorita, Duarte & Asoc. (2005)

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

Comparación con Referencia (Promedios)

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

K intercambiable en 30 predios lecheros de Florida



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

Las Mejores Prácticas de Manejo de Fertilizantes (MPMF)

IPNI

Bruulsema et al., 2008

Soja: Eficiencia agronómica y balance parcial de P en 15 ensayos realizados en la región pampeana norte

Campaña 2003/04

Fuente: Melchiori et al. (2004), Proyecto INTA-IPNI-Mosaic

Tratamiento	**Rendimiento** (kg/ha)	Eficiencia Agronomica (kg soja/kg P)	**Balance P suelo** (kg P en el suelo)
Testigo	3135	-	-16.9
P10	3372	24	-8.2
P20	3557	21	+0.8
P30	3695	19	+10.0

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

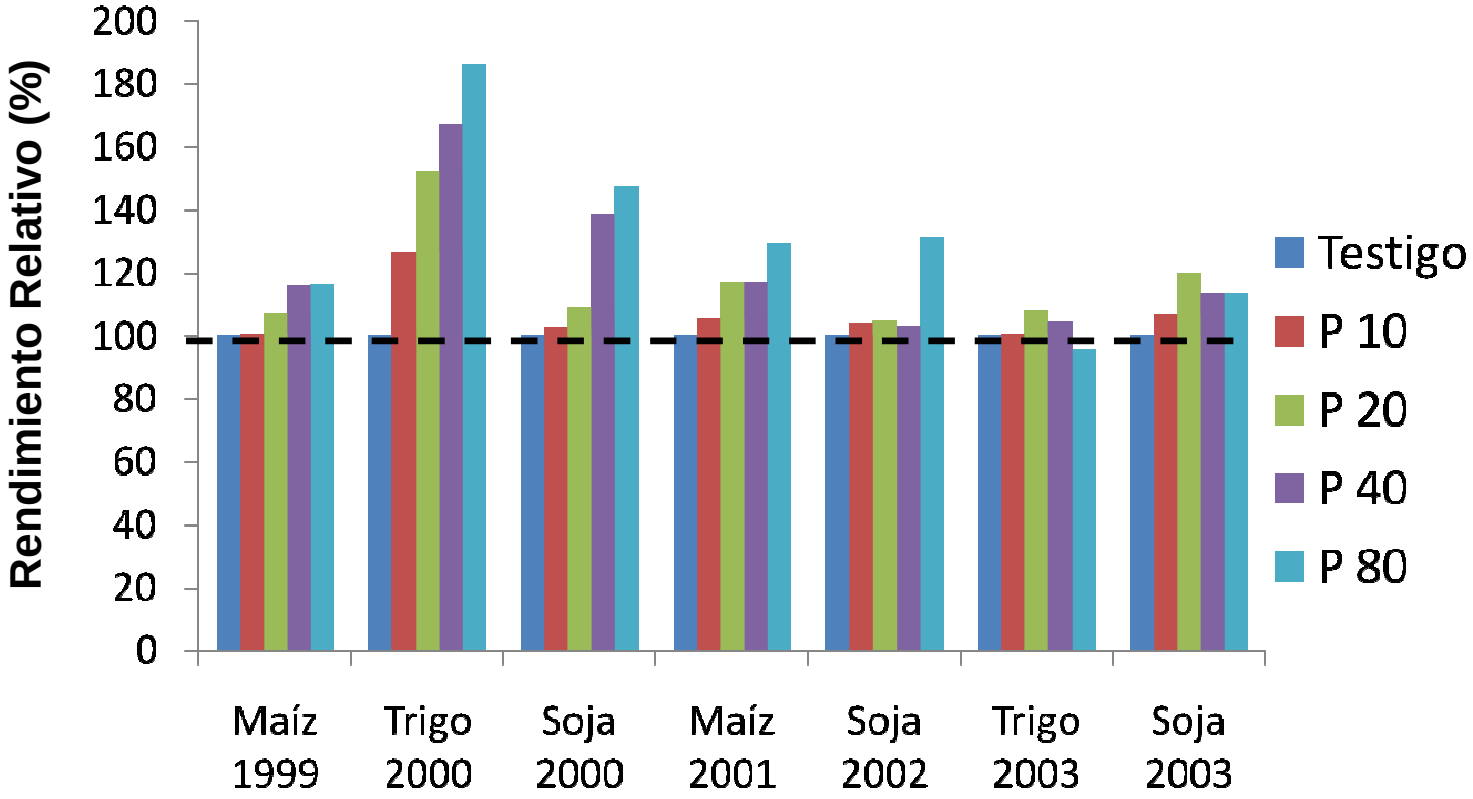
- *Potenciar el reciclado de nutrientes bajo formas orgánicas (efectos sobre la MO del suelo)*
- *Mejorar los balances de nutrientes en el suelo (Reposición)*
- *Producir mayor cantidad de materia seca en cultivos de renta y cultivos de cobertura (mejorar balance de C del suelo)*
- *Aumentar la eficiencia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

¿Qué es fertilización de la rotación?

- *Los efectos de la fertilización de un cultivo se extienden a los cultivos posteriores*
- *Fertilizar la rotación o el sistema, es manejar estos efectos mas allá del cultivo inmediato*
- *Depende fuertemente del conocimiento de la dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta*
- *La fertilización de la rotación se asocia con la idea de nutrición de suelos … y cultivos*
- *En segunda instancia, se asocia con la filosofía de reposición de nutrientes*

Residualidad de Fósforo

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

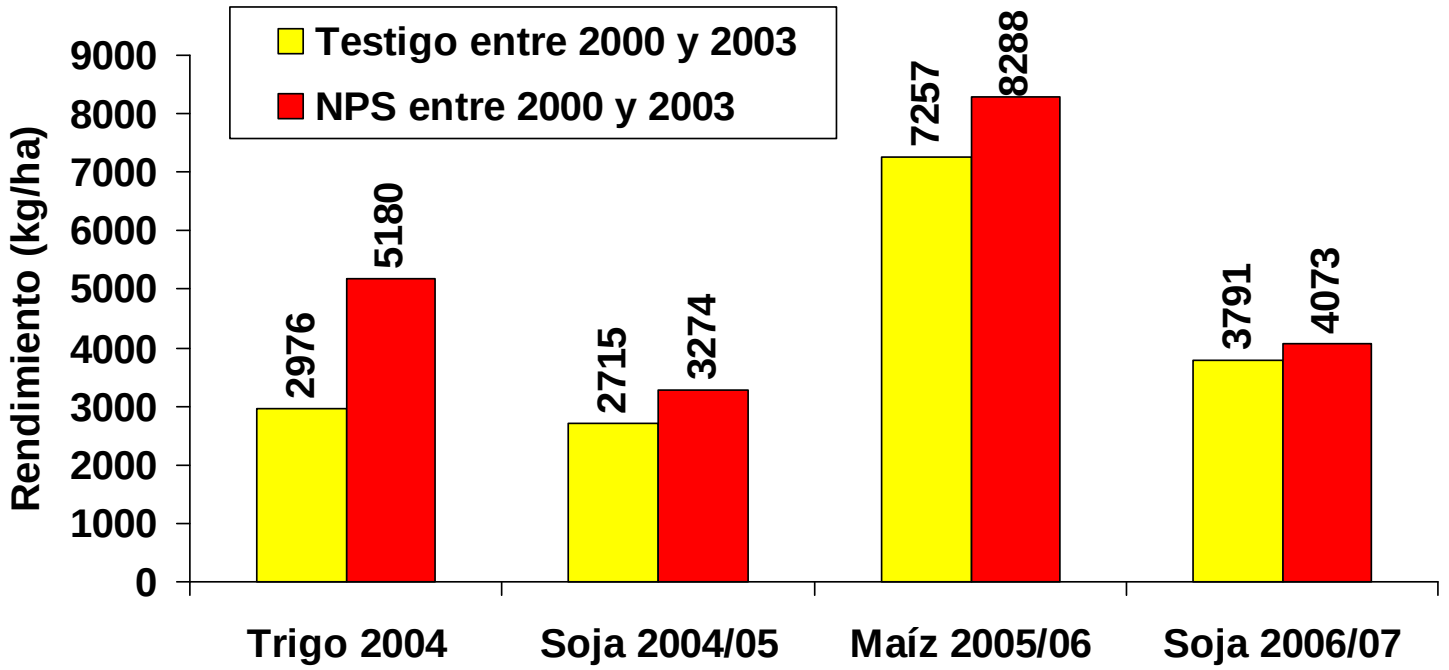


P aplicado a la siembra del Maíz en Septiembre 1999 o en todos los cultivos (R)

P Bray inicial 9 ppm

Residualidad de la fertilización

Ensayo El Fortín – Gral. Arenales (Buenos Aires) – Serie Santa Isabel
Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe 2004/05 y 2005/06

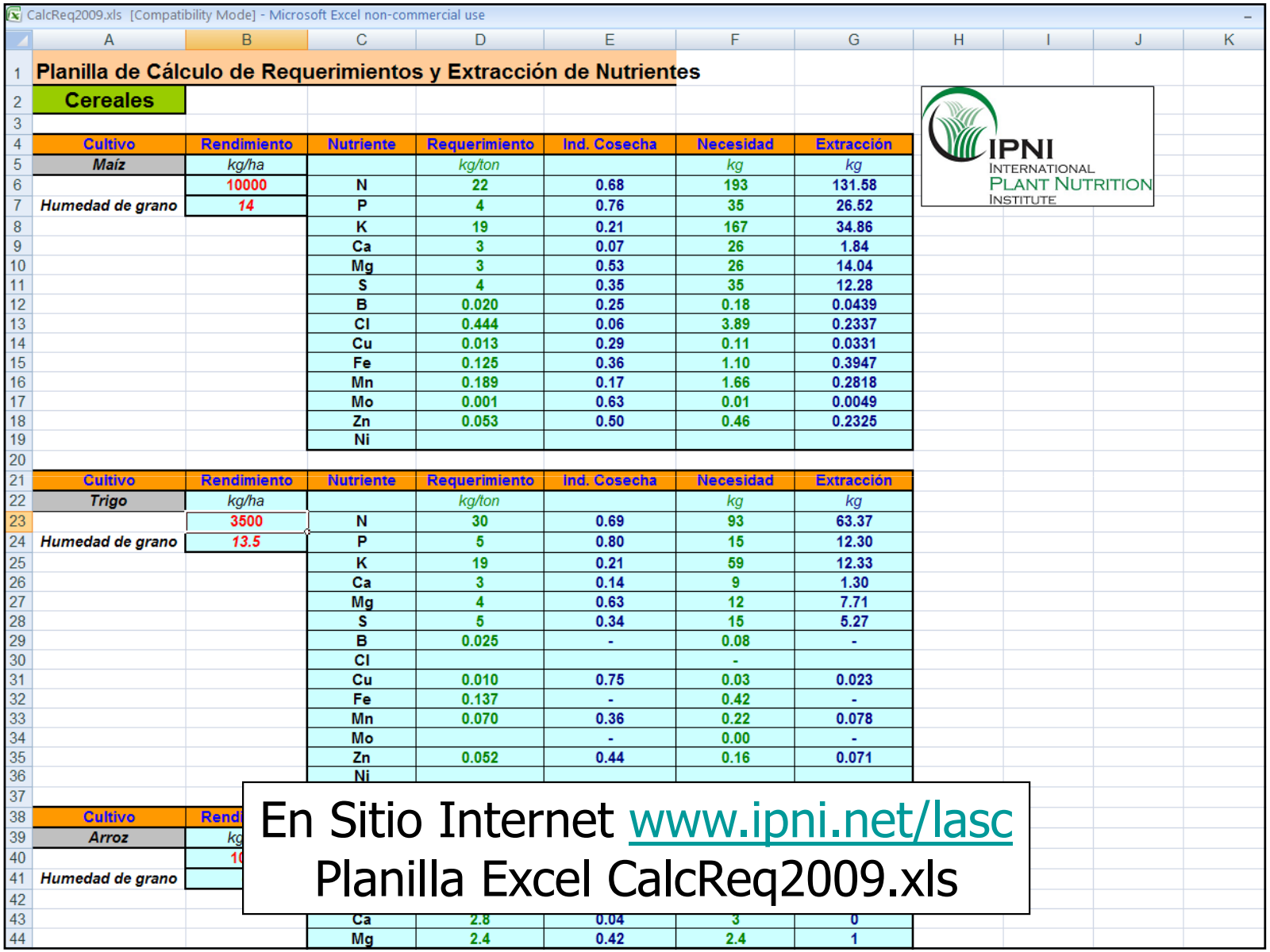


<u>Trigo/Soja 2004/05</u>: Todos fertilizados con 86 kg N + 27 kg P + 10 kg S
<u>Maíz 2005/06</u>: Todos fertilizados con 88 kg N + 26 kg P + 10 kg S

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

¿Como deberíamos manejar la fertilización de la rotación?

- *Conocer la dinámica de los principales nutrientes deficitarios en los suelos de la región*
- *Considerar los cultivos incluidos en la rotación*
- *Evaluar la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Análisis de suelo)*
- *Utilizar la información disponible en cuanto a niveles de nutrientes en el suelo necesarios para alcanzar determinados rendimiento de los cultivos*
- *Generar mayor información a nivel local (facilidades con agricultura de precisión)*



CalcReq2009.xls [Compatibility Mode] - Microsoft Excel non-commercial use

Planilla de Cálculo de Requerimientos y Extracción de Nutrientes

Cereales

Cultivo	Rendimiento	Nutriente	Requerimiento	Ind. Cosecha	Necesidad	Extracción
Maíz	*kg/ha*		*kg/ton*		*kg*	*kg*
	10000	N	22	0.68	193	131.58
Humedad de grano	*14*	P	4	0.76	35	26.52
		K	19	0.21	167	34.86
		Ca	3	0.07	26	1.84
		Mg	3	0.53	26	14.04
		S	4	0.35	35	12.28
		B	0.020	0.25	0.18	0.0439
		Cl	0.444	0.06	3.89	0.2337
		Cu	0.013	0.29	0.11	0.0331
		Fe	0.125	0.36	1.10	0.3947
		Mn	0.189	0.17	1.66	0.2818
		Mo	0.001	0.63	0.01	0.0049
		Zn	0.053	0.50	0.46	0.2325
		Ni				

Cultivo	Rendimiento	Nutriente	Requerimiento	Ind. Cosecha	Necesidad	Extracción
Trigo	*kg/ha*		*kg/ton*		*kg*	*kg*
	3500	N	30	0.69	93	63.37
Humedad de grano	*13.5*	P	5	0.80	15	12.30
		K	19	0.21	59	12.33
		Ca	3	0.14	9	1.30
		Mg	4	0.63	12	7.71
		S	5	0.34	15	5.27
		B	0.025	-	0.08	-
		Cl			-	
		Cu	0.010	0.75	0.03	0.023
		Fe	0.137	-	0.42	-
		Mn	0.070	0.36	0.22	0.078
		Mo		-	0.00	-
		Zn	0.052	0.44	0.16	0.071
		Ni				

Cultivo	Rend
Arroz	*kg*
	1
Humedad de grano	

Ca	2.8	0.04	3	0
Mg	2.4	0.42	2.4	1

IPNI International Plant Nutrition Institute

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

Necesidades nutricionales de maíz

Rendimiento de 10000 kg/ha a 14% de humedad de grano

Nutriente	Requerimiento	Indice de Cosecha	Rendimiento de 10000 kg/ha	
			Necesidad	Extracción
	kg/ton	*%*	*kg*	*kg*
N	**22**	**0.68**	**193**	**132**
P	**4**	**0.76**	**35**	**27**
K	**19**	**0.21**	**167**	**35**
Ca	**3**	**0.07**	**26**	**2**
Mg	**3**	**0.53**	**26**	**14**
S	**4**	**0.35**	**35**	**12**

Fuente: Ciampitti y García (2007) – Disponible en www.ipni.net/lasc

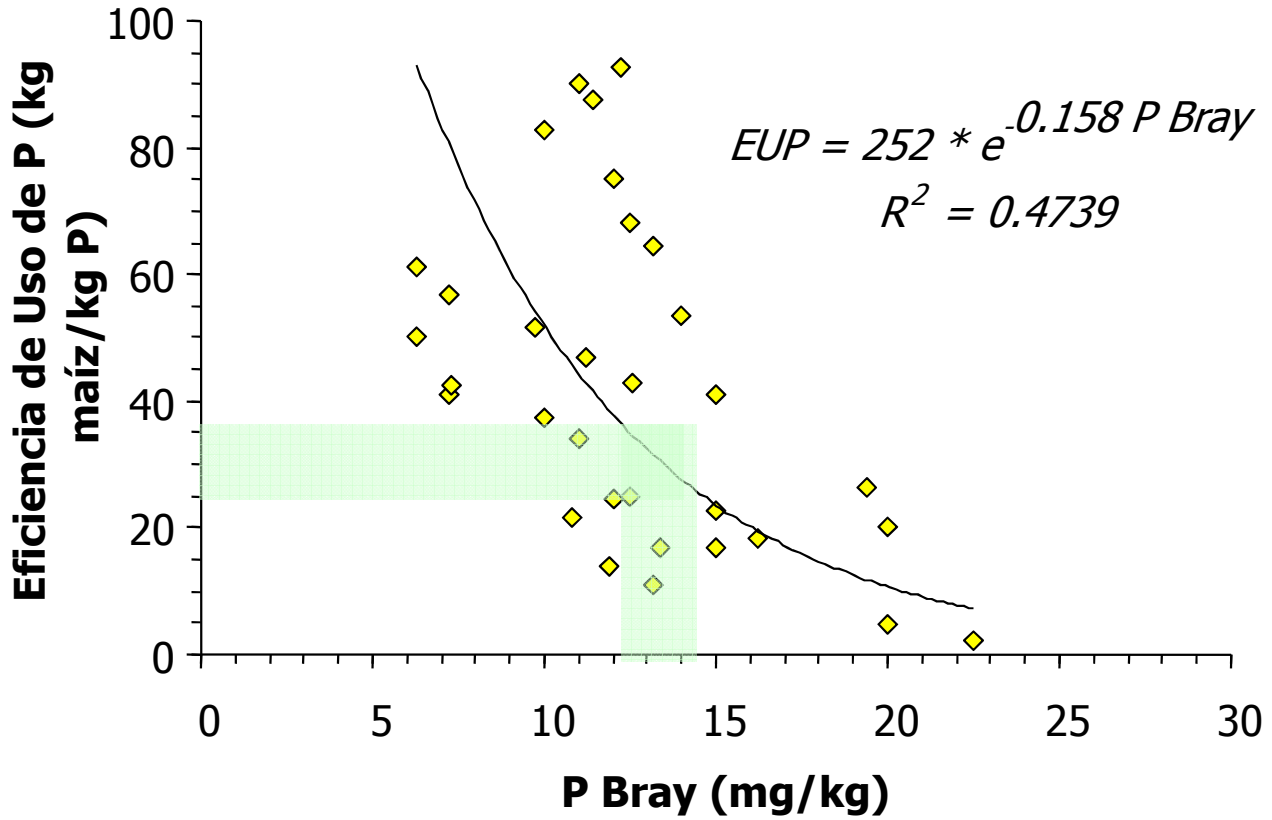
Criterio de Reposición o Reposición y Mantenimiento

Ej. Maíz de 10000 kg/ha - Suelo no fijador de P

- Nivel de P Bray en rango optimo (cercano a 15 ppm):
  - Aplicar lo exportado en grano: 27 kg/ha de P (equivalentes a 130 kg/ha de FDA)
- Nivel de P Bray en rango deficiente (Ej. 9 ppm):
  - Aplicar lo exportado en grano: 27 kg/ha de P (equivalentes a 130 kg/ha de FDA) para reponer
  - Aplicar 16 kg P/ha (equivalentes a 80 kg/ha de FDA) para subir de 8 a 15 ppm
  - Aplicación total de 43 kg de P (equivalentes a 210 kg/ha de FDA)
- Nivel de P Bray en rango alto o muy alto (> 20 ppm):
  - No aplicar P

Eficiencia de uso del P aplicado en maíz

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

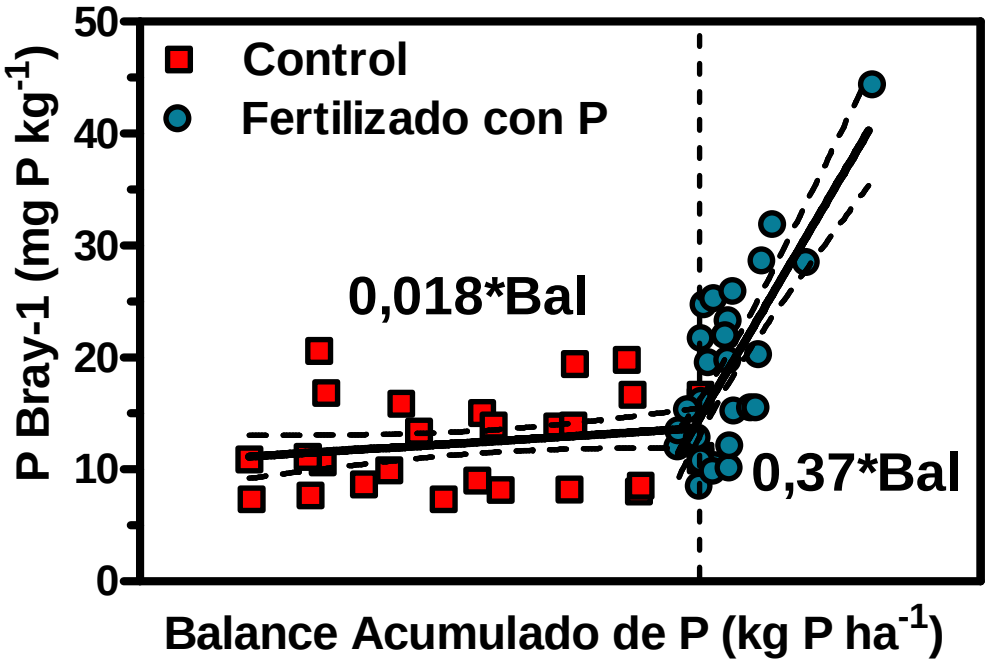


Para una eficiencia de indiferencia de 25-30 kg maíz/kg P, el nivel crítico de P Bray sería de 12-15 mg/kg

IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

Evolución de P Bray en función del balance de P para suelos con P Bray menor de 20 ppm en la región pampeana central de Argentina

Ciampitti et al. (2009)

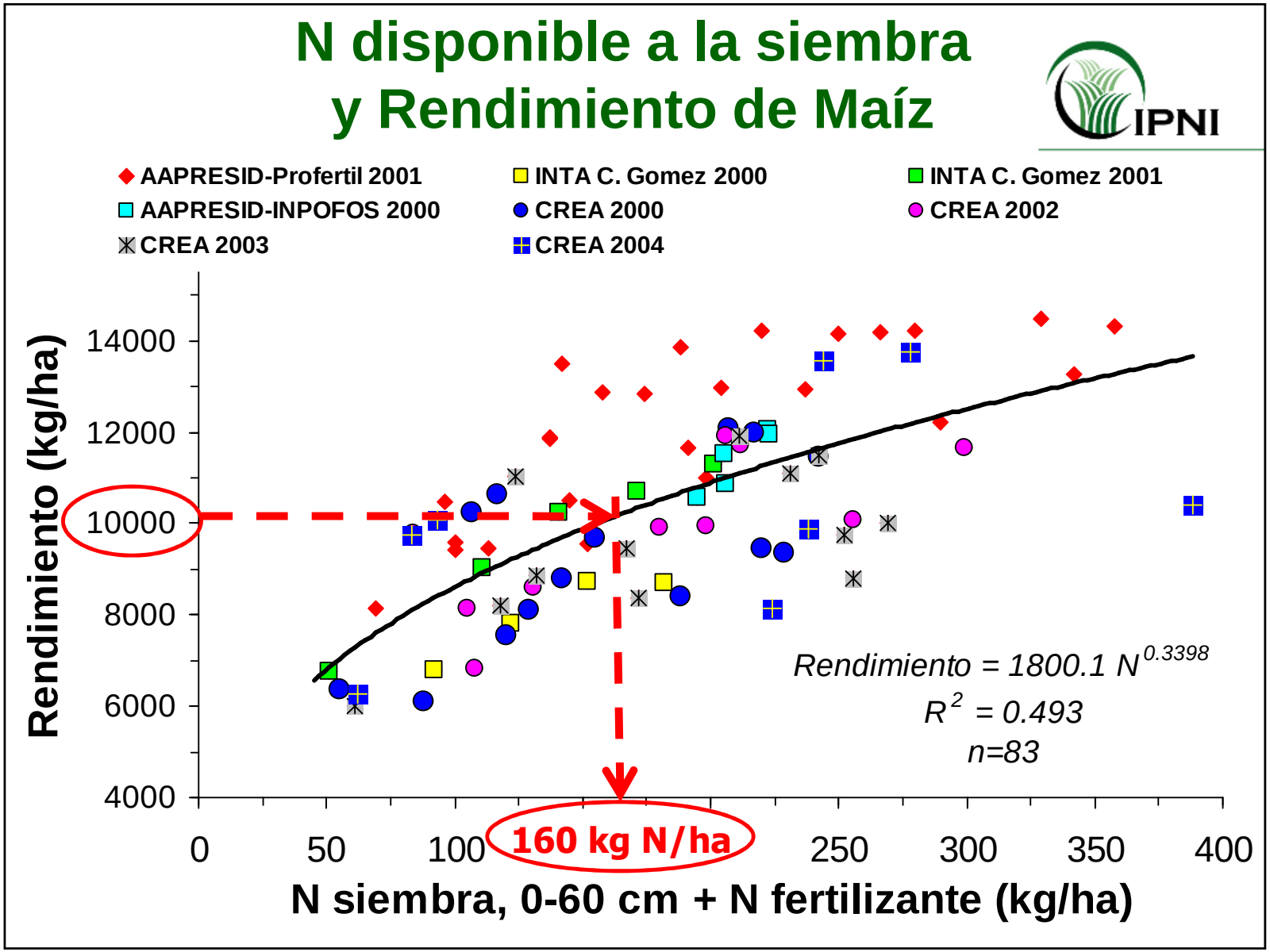


2.7 kg de balance positivo de P para subir 1 ppm el P Bray

¿Residualidad de N?

- *La eficiencia de uso del N aplicado varia del 40 al 70%, con valores promedio de 50-60%*
- *El resto del N aplicado es inmovilizado en formas orgánicas o perdido por lavado, desnitrificación, erosión u otra vía*
- *Las residualidades de N se verifican **solamente cuando el N aplicado queda retenido en formas orgánicas asociado con C**, es decir en el rastrojo o distintas formas de materia orgánica del suelo*

N disponible a la siembra y Rendimiento de Maíz



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

- Análisis de suelo

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

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

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

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

Nutrición y Sustentabilidad

Tiessen, 2003

- ***La producción siempre causa degradación: Es imposible producir un superávit de productos orgánicos para exportar sin movilizar nutrientes, interrumpir los ciclos biológicos de los nutrientes y reducir la disponibilidad de nutrientes.***
- ***El objetivo del manejo adecuado de suelos y nutrientes es limitar y balancear los procesos de degradación con procesos de producción, y evitar pérdidas innecesarias.***

"El país no tiene otra alternativa que practicar una agricultura basada en la ciencia y la tecnología, ya que poseer algunas de las mejores tierras agrícolas del mundo no es suficiente"

Informe "Las Ciencias Agropecuarias en la Argentina"
R. Blake, E. Fereres, T. Henzell y W. Powell
Fundación Antorchas, 2002

Un desafío para toda la Sociedad