

## Balance de nutrientes en los sistemas mixtos

### Fertilización en cultivos de cosecha gruesa

**Dra. M Sc. Ing. Agr. Carina R. Álvarez**  
**Profesora Asociada**  
**Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes**  
**Facultad de Agronomía-UBA**



Facultad de Agronomía  
Universidad de Buenos Aires

# Secuencia de diagnóstico de la capacidad productiva y fertilidad del suelo

## Limitantes de la productividad

- ✓ Sodicidad
- ✓ Salinidad
- ✓ Hidromorfismo
- ✓ Tosca

- Determina la posibilidad o no de realizar cultivos agrícolas.
- Restricciones de difícil solución y/o costosas.
- Abarca grandes áreas.

Ambientes con distinta capacidad productiva

## Compactación

- ✓ Compactación por tránsito
- ✓ Compactación por pisoteo

- A nivel de lote.
- El impacto depende de la disponibilidad hídrica.
- Prevención y remediación.

## Fertilidad

- ✓ Disponibilidad de nutrientes

- A nivel de lote.
- Fertilización/Fijación biológica

# Análisis de la fertilidad

- ✓ Balance de nutrientes
- ✓ ¿El suelo que dice? Análisis de suelo
- ✓ Comparando la disponibilidad con los rendimientos
- ✓ Conclusiones y reflexiones

# Balance de nutrientes

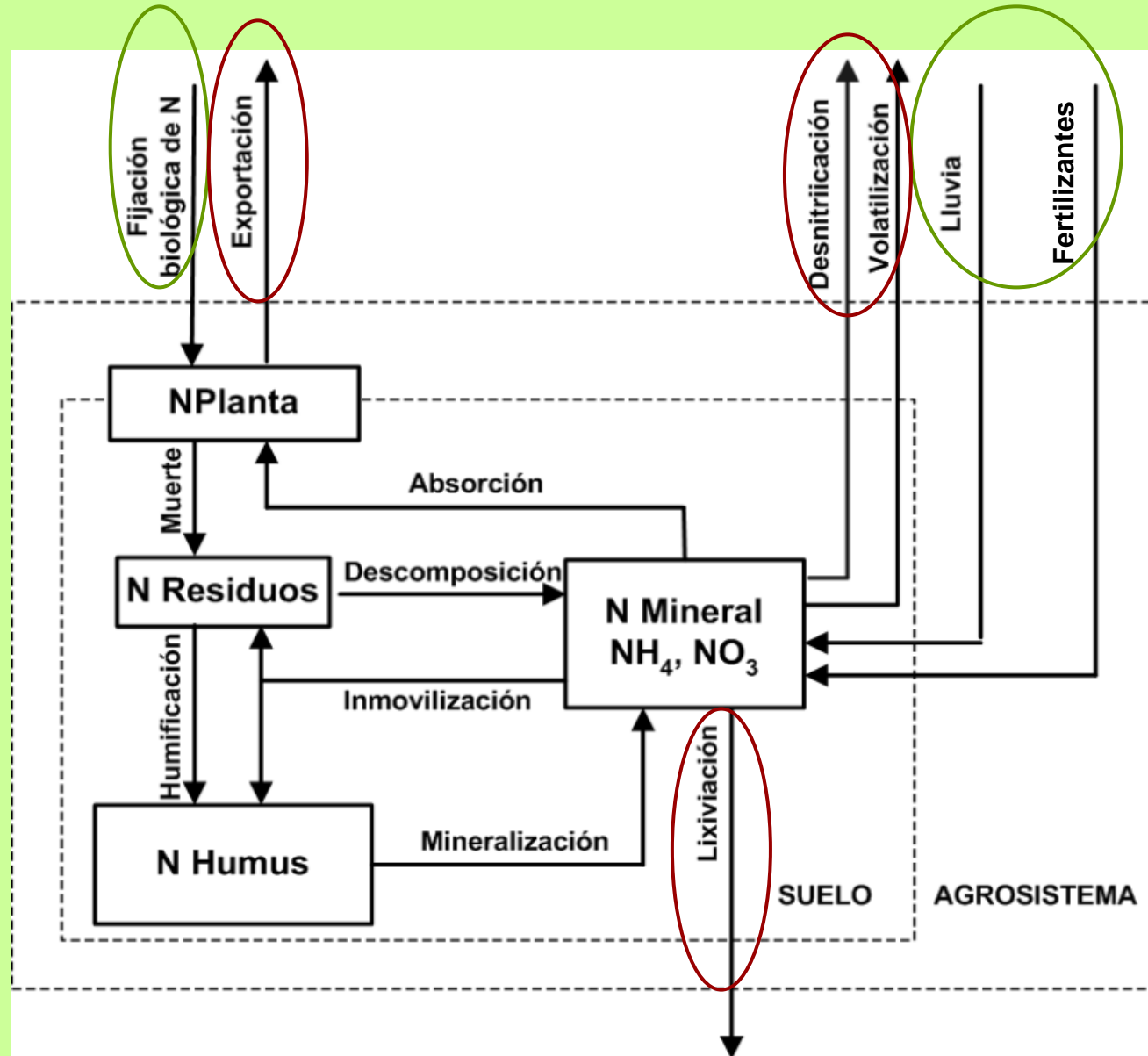
Rotación promedio o clásica:

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Pastura					Vi/Sj	Mz	Gir	Tr	Vi/Vv	Ceb	Vi/Sj	Tr	Vi/Gir	Ceb

Rendimientos:

<b>Potencial productivo</b>	Bajo	Medio	Alto
Pastura	5000	6000	7000
Verdeo Invierno	2500	3000	3500
Verdeo Verano	4000	5500	7000
Soja	1600	2200	2800
Maíz cosecha	4000	5000	6000
Girasol	1600	1850	2100
Trigo pan	2500	3300	4100
Cebada	2700	3500	4300

# Ciclo de nitrógeno



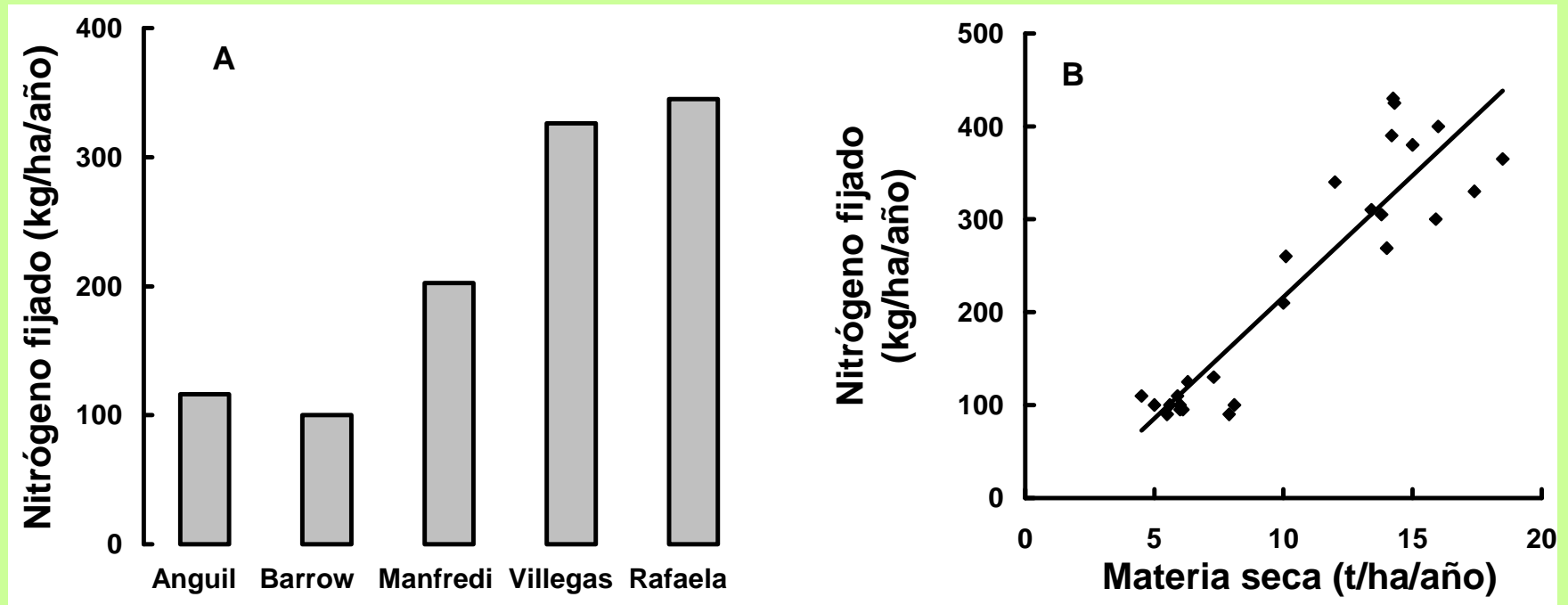
# Balance de nitrógeno

Nutriente	Entradas	Salidas
Nitrógeno	Fijación Fertilización Lluvias	Cosecha <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grano</li> <li>• Carne</li> </ul> { <ul style="list-style-type: none"> <li>Volatilización</li> <li>Lixiviación</li> <li>Desnitrificación</li> </ul> }

$$\Delta N \text{ agrosistema} = (N \text{ fijado} + N \text{ fertilizante} + \cancel{N \text{ lluvia}}) - (N \text{ exportado} + \cancel{N \text{ volatilizado}} + \cancel{N \text{ desnitrificado}} + \cancel{N \text{ lixiviado}})$$

# Entrada

# Fijación biológica: alfalfa



$$N \text{ fijado} = 19 * \text{Materia seca (t/ha/año)}; R^2 = 0.62$$

A: Fijación biológica de nitrógeno por cultivos de alfalfa en varias localidades de la Región Pampeana, datos promedio de 4 años. B: Relación entre la producción de biomasa de alfalfa y la cantidad de nitrógeno fijado. Elaborado con datos de Racca et al. (2001).





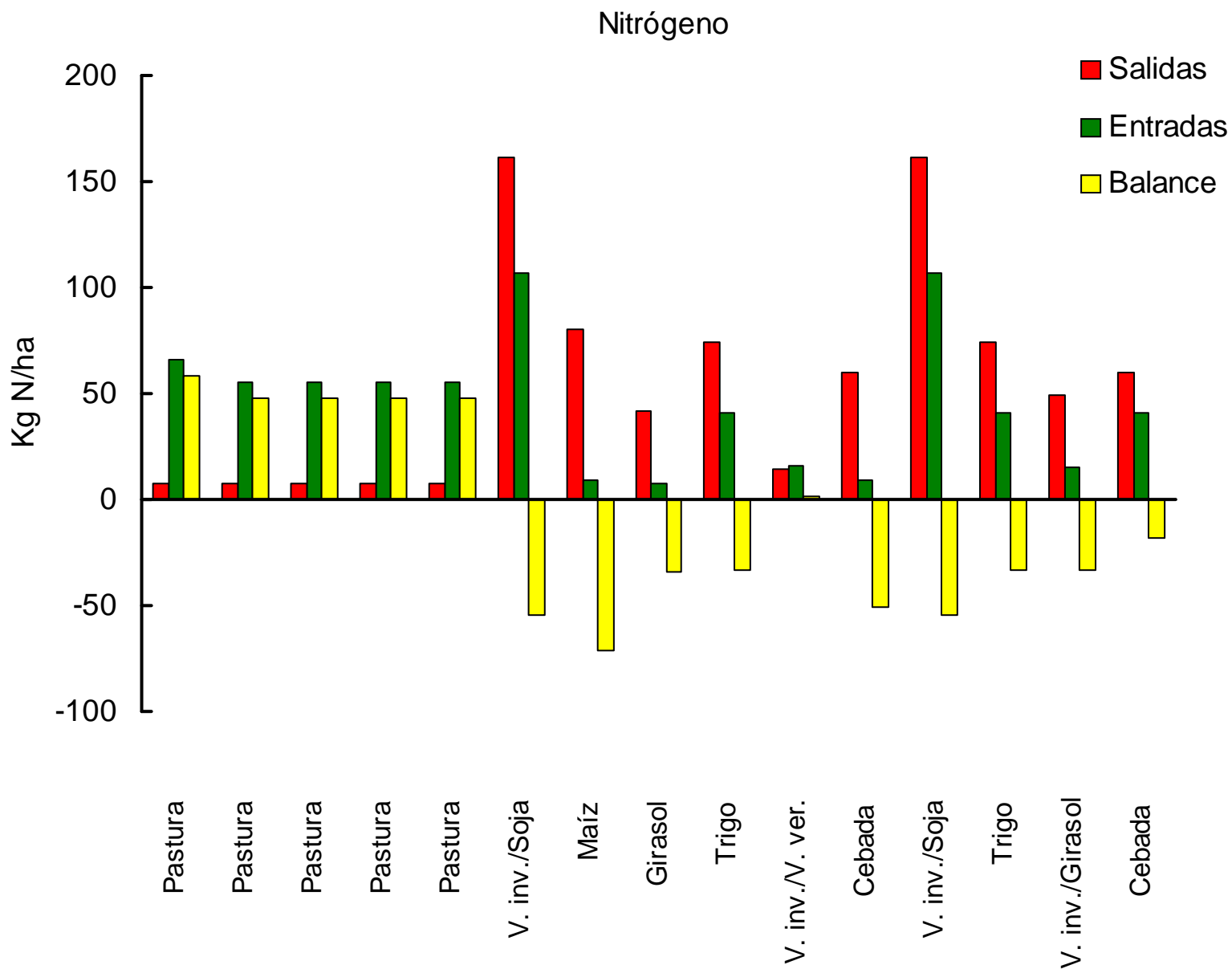
# Entrada

Año	Cultivo	Fertilizantes		Entradas fertilizantes	Entradas fijación
		Urea	PDA	N	N
		kg / ha		kg / ha	
1	Pastura	0	60	10,8	55
2	Pastura	0	0	0	55
3	Pastura	0	0	0	55
4	Pastura	0	0	0	55
5	Pastura	0	0	0	55
6	Verdeo invierno	0	45	8,1	0
6	Soja	0	0	0	98,4
7	Maíz	0	50	9	0
8	Girasol	0	40	7,2	0
9	Trigo	70	50	41,2	0
10	Verdeo invierno	0	45	8,1	0
10	Verdeo verano	0	45	8,1	0
11	Cebada	0	50	9	0
12	Verdeo invierno	0	45	8,1	0
12	Soja	0	0	0	98,4
13	Trigo	70	50	41,2	0
14	Verdeo invierno	0	45	8,1	0
14	Girasol	0	40	7,2	0
15	Cebada	70	50	41,2	0

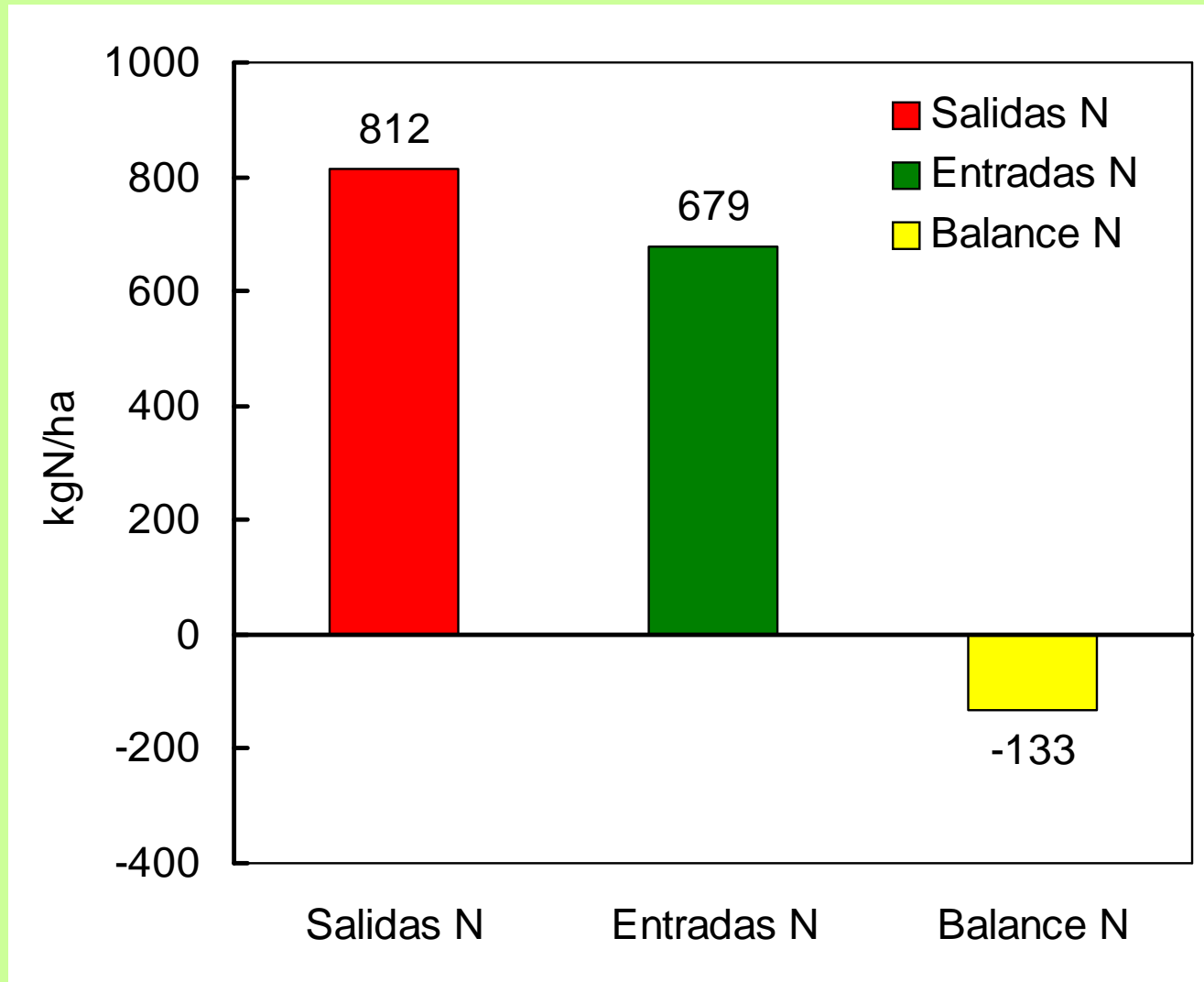
# S a l i d a

Año	Cultivo	Rendimiento	%N	Salidas N
		kg/ha		kg / ha
1	Pastura	270	27.2	7.3
2	Pastura	270	27.2	7.3
3	Pastura	270	27.2	7.3
4	Pastura	270	27.2	7.3
5	Pastura	270	27.2	7.3
6	Verdeo invierno	270	27.2	7.3
6	soja	2200	7	154
7	maíz	5000	1.6	80
8	girasol	1850	2.25	42
9	trigo	3300	2.25	74
10	Verdeo invierno	270	27.2	7.3
10	verdeo verano	270	27.2	7.3
11	cebada	3500	1.7	60
12	Verdeo invierno	270	27.2	7.3
12	soja	2200	7	154
13	trigo	3300	2.25	74
14	Verdeo invierno	270	27.2	7.3
14	girasol	1850	2.25	42
15	cebada	3500	1.7	60

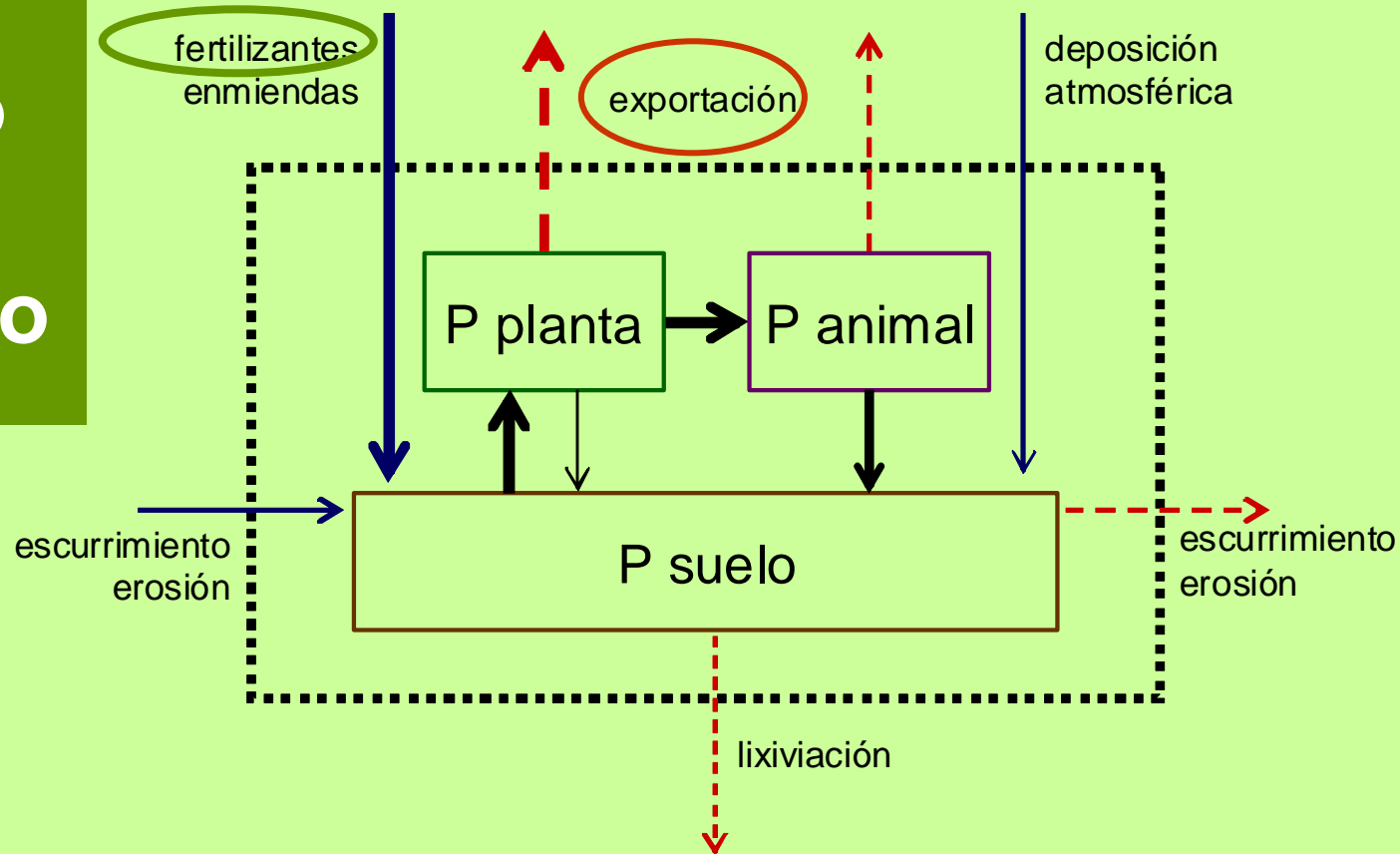
# Balance de nitrógeno



## Balance de N de la rotación



# Ciclo del fósforo



$$\Delta P \text{ agrosistema} = P \text{ fertilizante} - P \text{ exportado}$$

Nutriente	Entradas	Salidas
Fósforo	Fertilización	Cosecha <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grano</li> <li>• Carne</li> </ul>

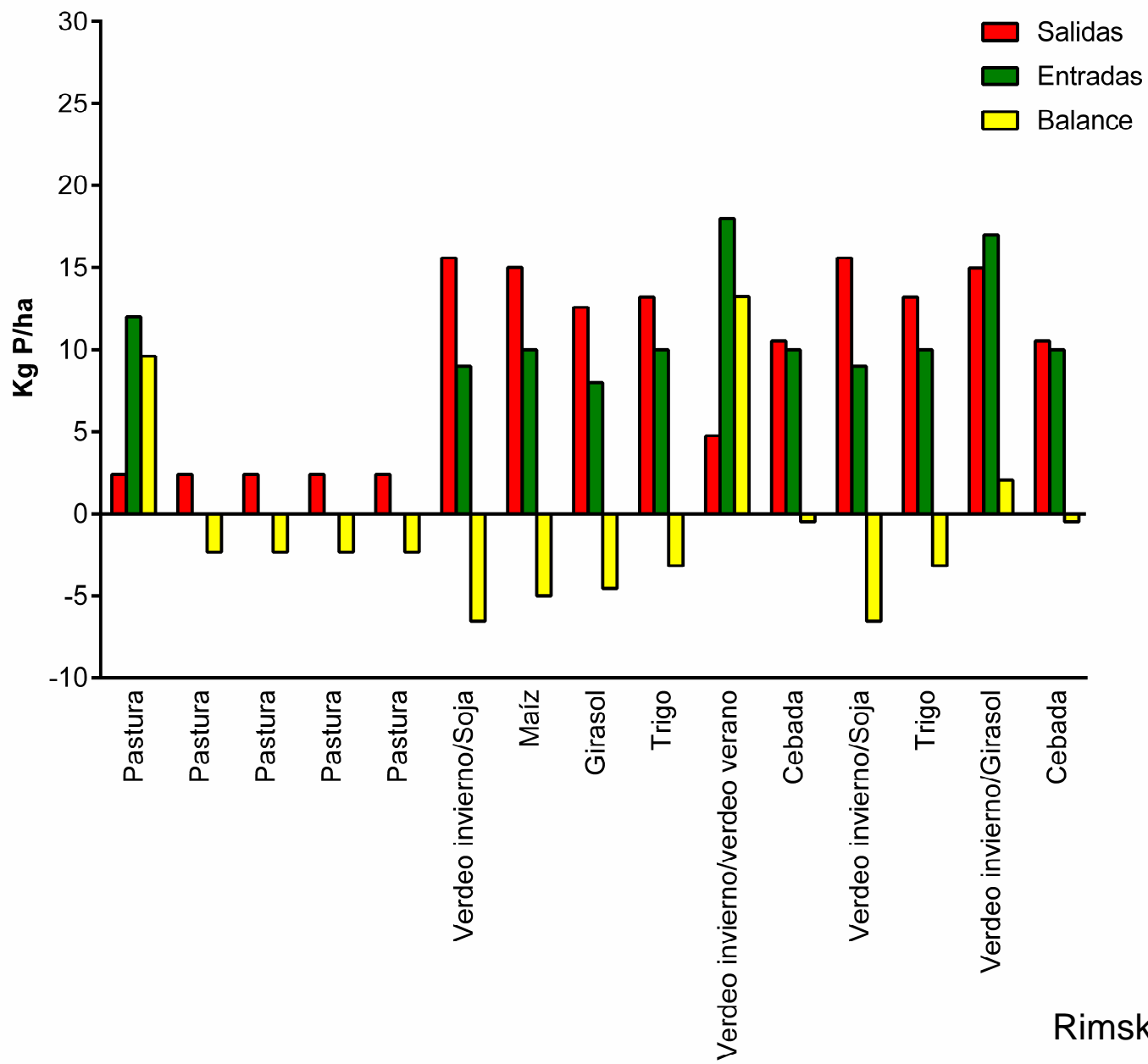
# Entrada

Año	Cultivo	Entradas fertilizantes	
		PDA	P
		kg/ha	
1	Pastura	60	12
2	Pastura	0	0
3	Pastura	0	0
4	Pastura	0	0
5	Pastura	0	0
6	Verdeo invierno	45	9
6	Soja	0	0
7	Maíz	50	10
8	Girasol	40	8
9	Trigo	50	10
10	Verdeo invierno	45	9
10	Verdeo verano	45	9
11	Cebada	50	10
12	Verdeo invierno	45	9
12	Soja	0	0
13	Trigo	50	10
14	Verdeo invierno	45	9
14	Girasol	40	8
15	Cebada	50	10

# S a l i d a

Año	Cultivo	Rendimiento	%P	Salidas P
		kg/ha		kg / ha
1	Pastura	270	8.8	2.4
2	Pastura	270	8.8	2.4
3	Pastura	270	8.8	2.4
4	Pastura	270	8.8	2.4
5	Pastura	270	8.8	2.4
6	Verdeo invierno	270	8.8	2.4
6	soja	2200	0.6	13
7	maíz	5000	0.3	15
8	girasol	1850	0.68	13
9	trigo	3300	0.4	13
10	Verdeo invierno	270	8.8	2.4
10	verdeo verano	270	8.8	2.4
11	cebada	3500	0.3	11
12	verdero invierno	270	8.8	2.4
12	soja	2200	0.6	13
13	trigo	3300	0.4	13
14	Verdeo invierno	270	8.8	2.4
14	girasol	1850	0.68	13
15	cebada	3500	0.3	11

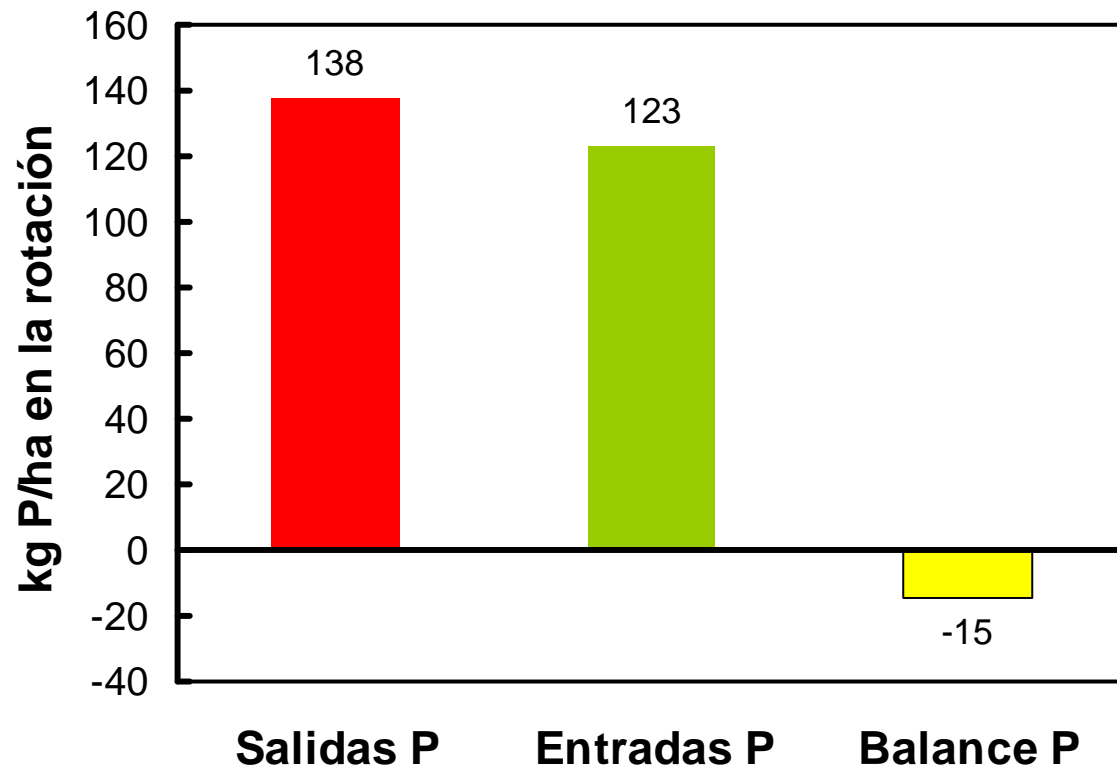
## Balance de fósforo



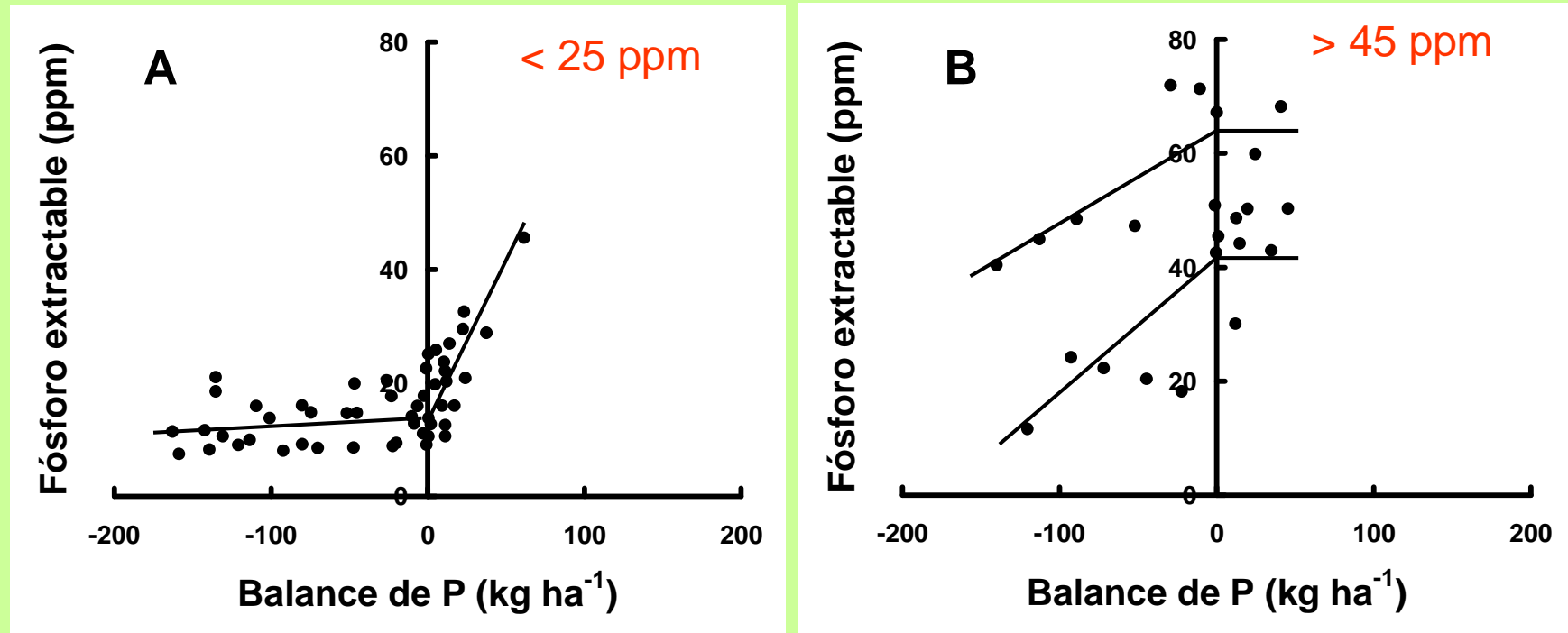
Rimski, Alvarez



## Balance de P de la rotación

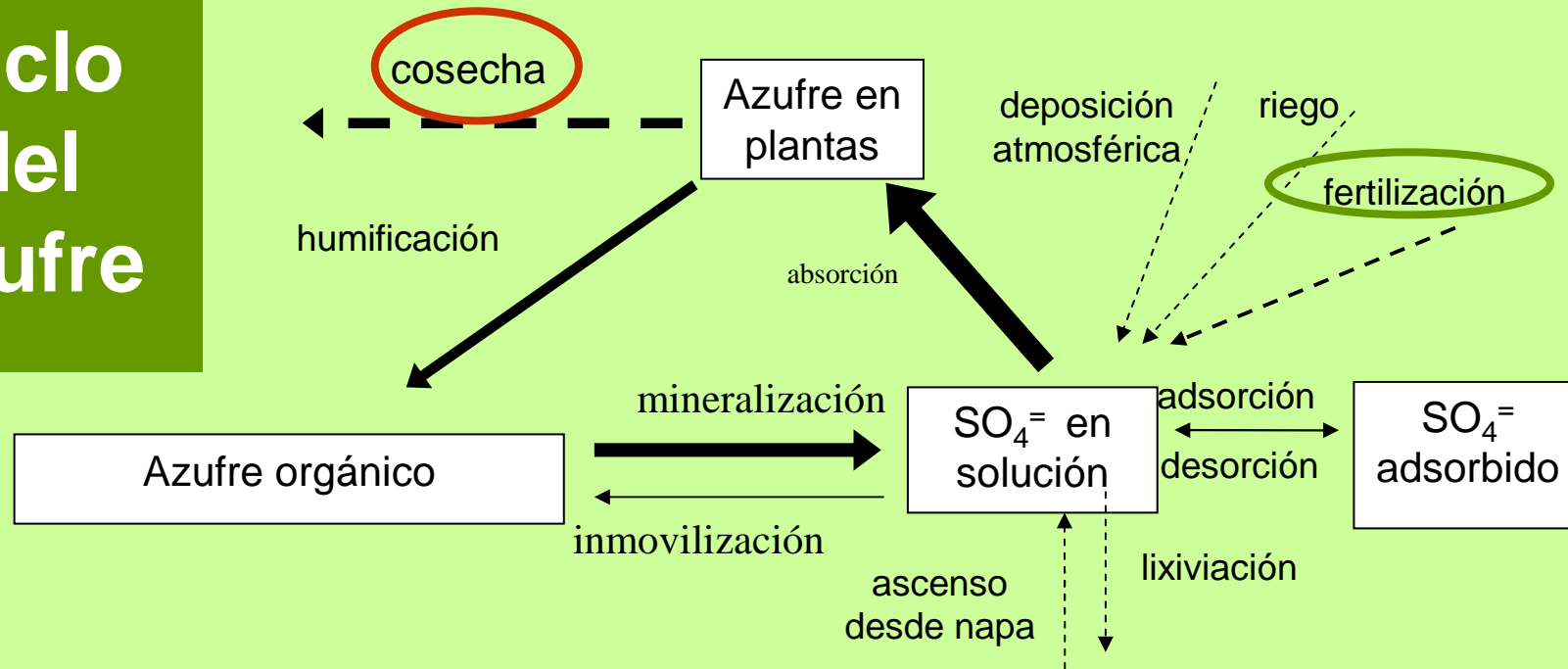


# Balance de P de la rotación y PBray



Relación entre el balance de fósforo (P fertilizante – P grano) y el fósforo extractable del estrato 0-20 cm de suelos cultivados de la Pampa Ondulada luego de 6 años de aplicar fertilizantes. A: datos de 4 experimentos con valores iniciales de fósforo extractable < 25 ppm. B: datos de 2 experimentos con valores de fósforo extractable > a 45 ppm; en este último caso se ajustó una recta a cada suelo. El balance de fósforo se manipuló aplicando dosis diferentes de fertilizante fosforado en tratamientos contrastantes. Elaborado con datos de García et al. (2010).

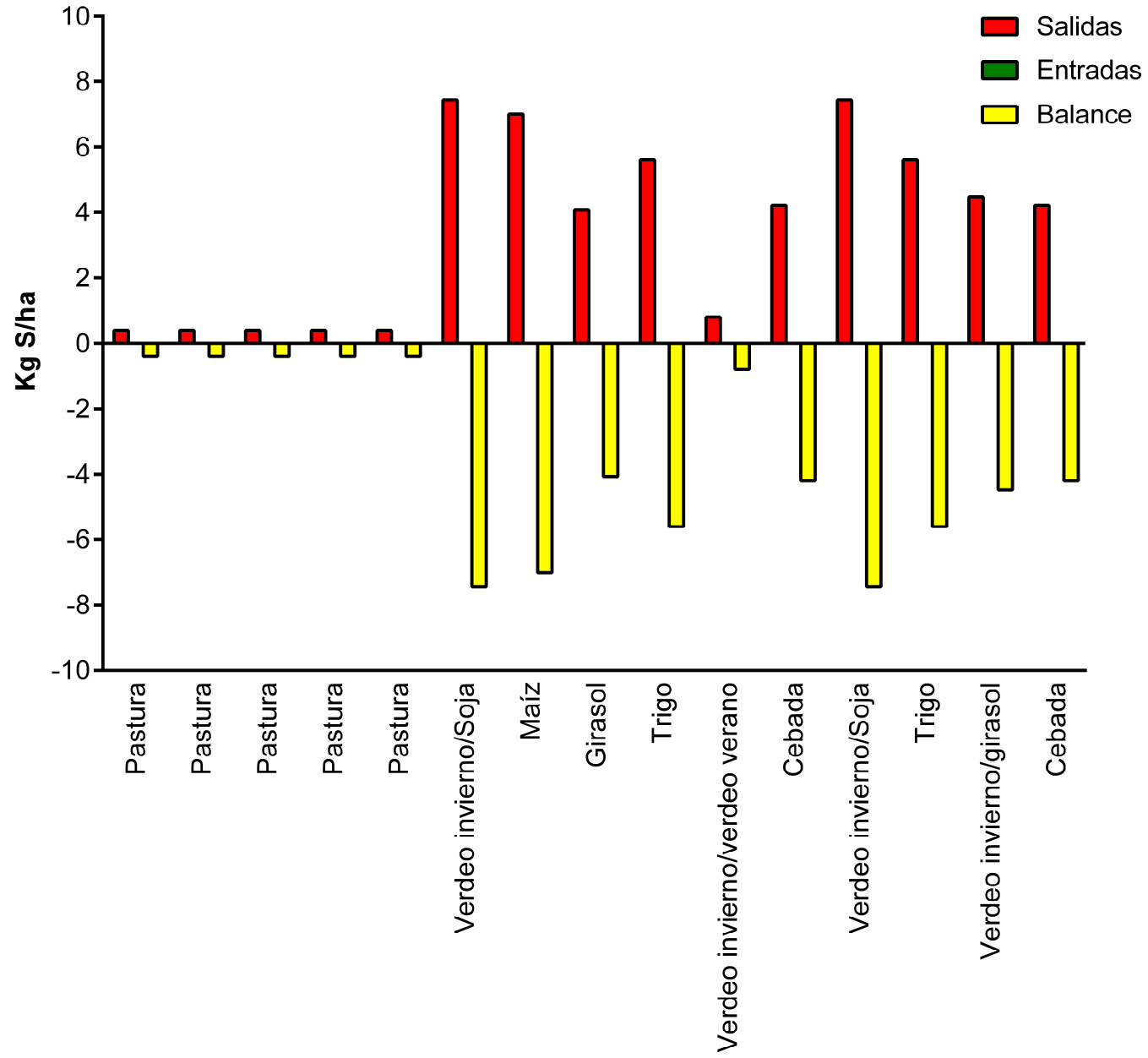
# Ciclo del azufre



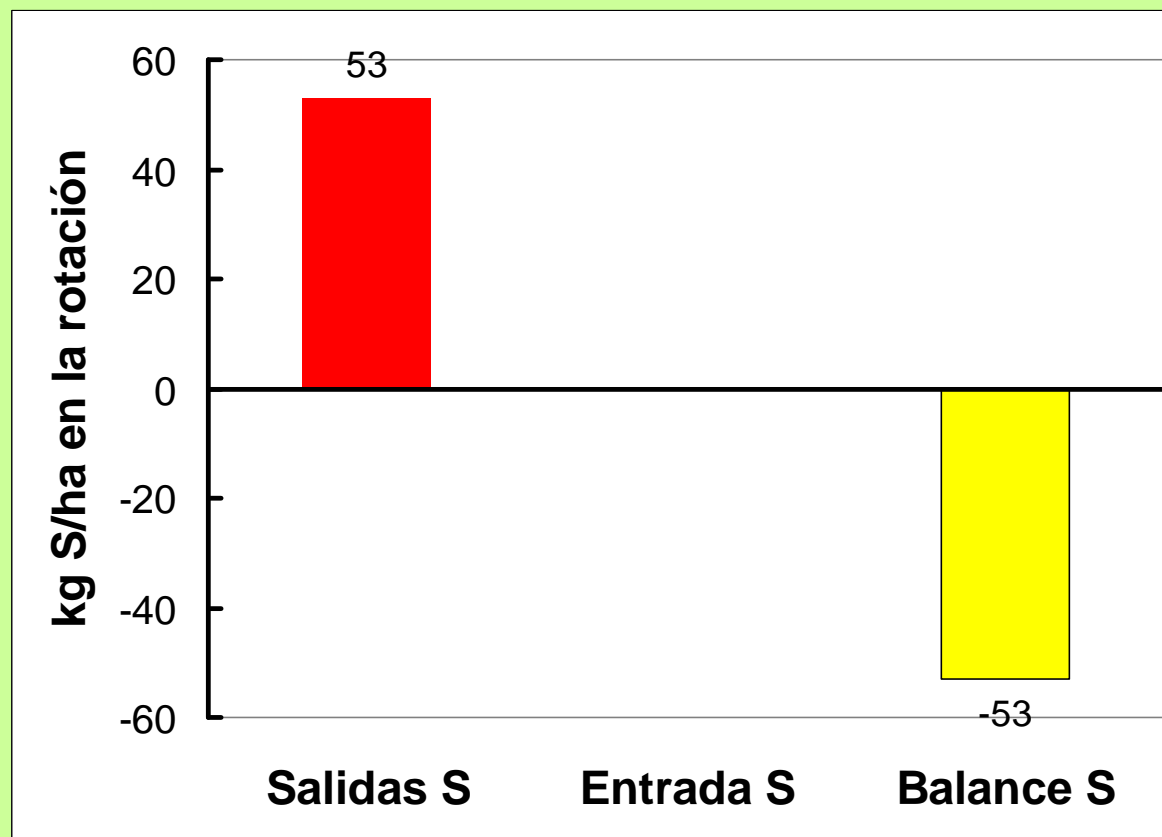
$$\Delta S \text{ agrosistema} = S \text{ fertilizante} - S \text{ exportado}$$

Nutriente	Entradas	Salidas
Azufre	fertilizante	Cosecha • Grano • Carne

## Balance de azufre



## Balance de S de la rotación



## ¿Qué nos dice el suelo? Análisis de suelo

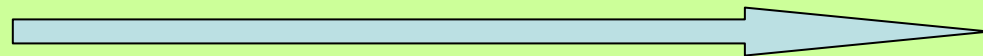
Para que sea confiable....

**¿Cuántas submuestras se necesitan para caracterizar la fertilidad de un lote o unidad de manejo?**

Manejo uniforme: 20-30 submuestras (Mallarino, 2001; Roberts, Henry, 2000)

**Lote: agrícola – ganadero, P. Ondulada, 100 ha, SD**


Lote	Medida	pH	Carbono (%)	N-nitrato (ppm)	P extrac. (ppm)
Directa	Rango	5.5 - 6.5	0.9 - 1.8	2.8 - 13	2.0 - 257
	Promedio	5.8	1.4	7.7	12
	<b>Coef. var.</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>22</b>	<b>220</b>



Variabilidad creciente

## La Sorpresa (SD)

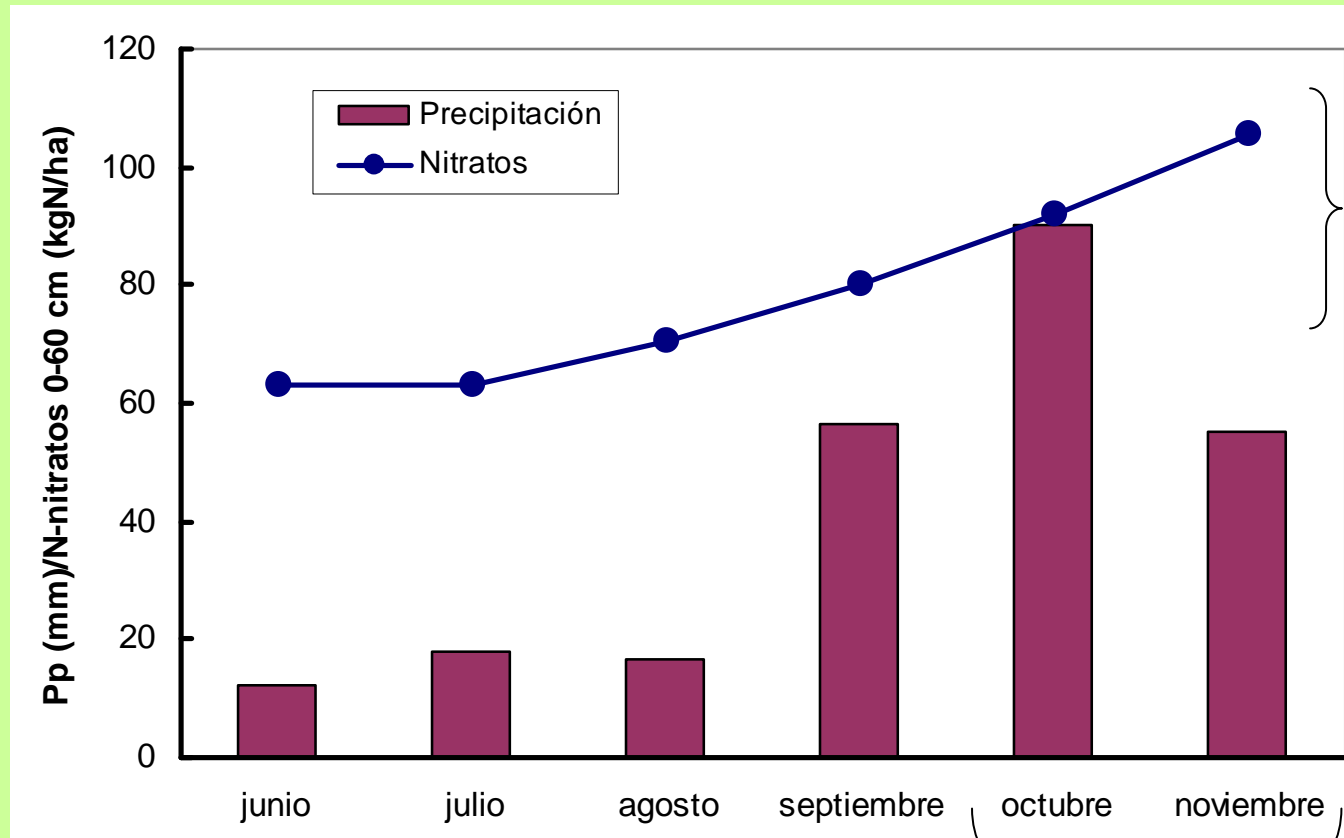
7,8	7,3	5,9	17,4	6,1	7,3	29,3	6,7
24,2	4,6	4,6	2,9	2,7	4,5	4,3	4,3
5,7	5,5	5,5	5,0	9,1	17,4	6,9	4,6
7,3	5,3	6,6	6,4	9,1	8,7	3,9	24,2
5,3	18,9	6,4	5,0	7,7	3,6	3,6	10,9
3,4	5,9	11,9	6,1	5,2	9,3	4,3	5,2
11,4	4,8	8,5	3,0	21,7	24,5	6,4	3,9
8,5	3,0	2,0	5,0	4,3	5,7	6,8	5,5
12,9	7,3	8,6	6,0	6,6	5,0	8,0	5,3
2,7	2,3	11,9	16,9	6,0	4,0	4,0	6,0
10,9	34,5	257	60,0	8,0	6,6	28,2	2,7
9,6	15,6	38,5	8,6	2,0	6,3	50,4	17,2

Color	Fósforo
	0-5
	5-10
	10-15
	15-20
	20-25
	25

## Recomendación

	pH	Carbono	Nitrógeno	Fósforo
Nº de submuestras	6-24	10-12	15-25	45-55
Variación Vertical	0-20 cm	0-20 cm	0-20 cm Estimar a 60 cm	0-20 cm
Variación temporal	Poco variable	Poco variable 3-4 años	A la siembra del cultivo	Cada 2-4 años

## N - nitrato 0-60 cm (kg N/ha)



42 kg/ha

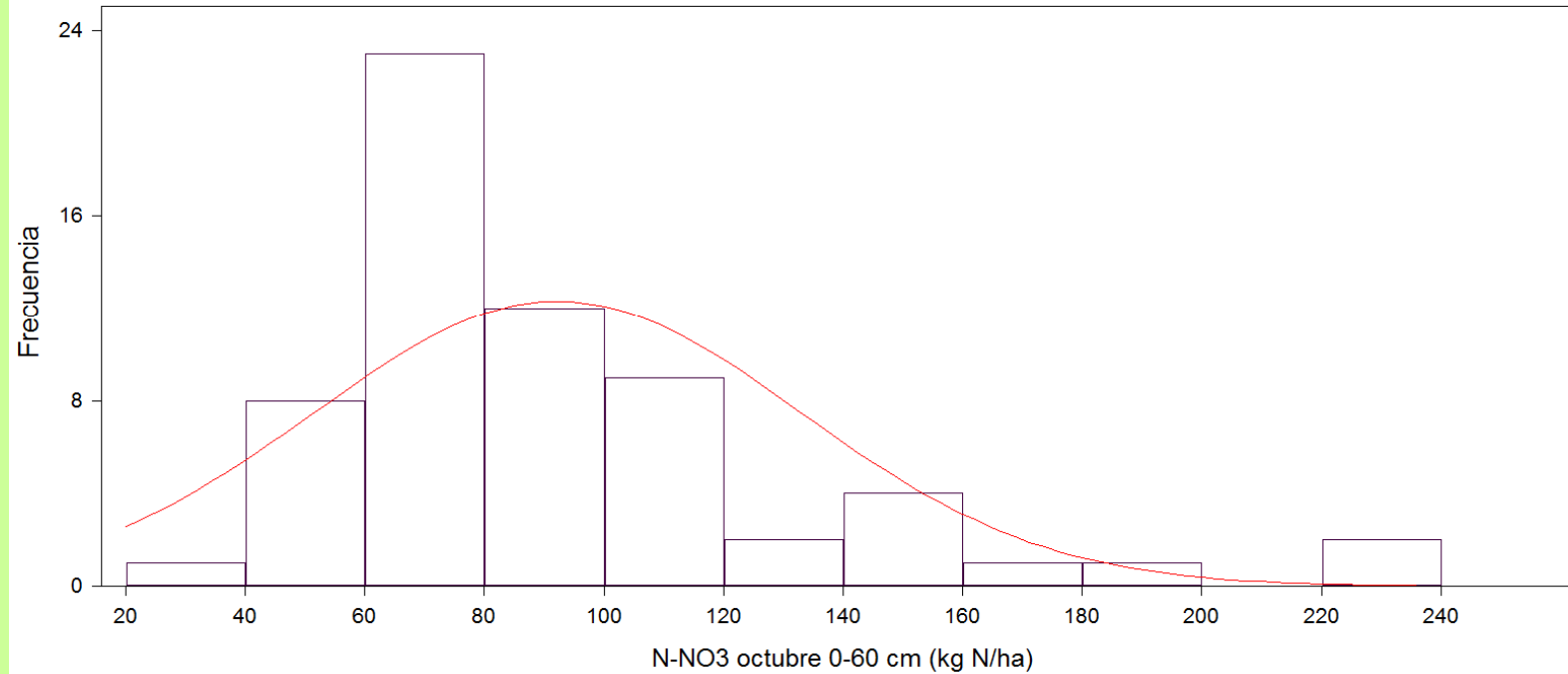
Datos provenientes de parcelas sin cultivo (desnudas)

Referencia maíz  
a la siembra

A. Giorno



## Octubre: N-nitrato 0-60 cm (kgN/ha)

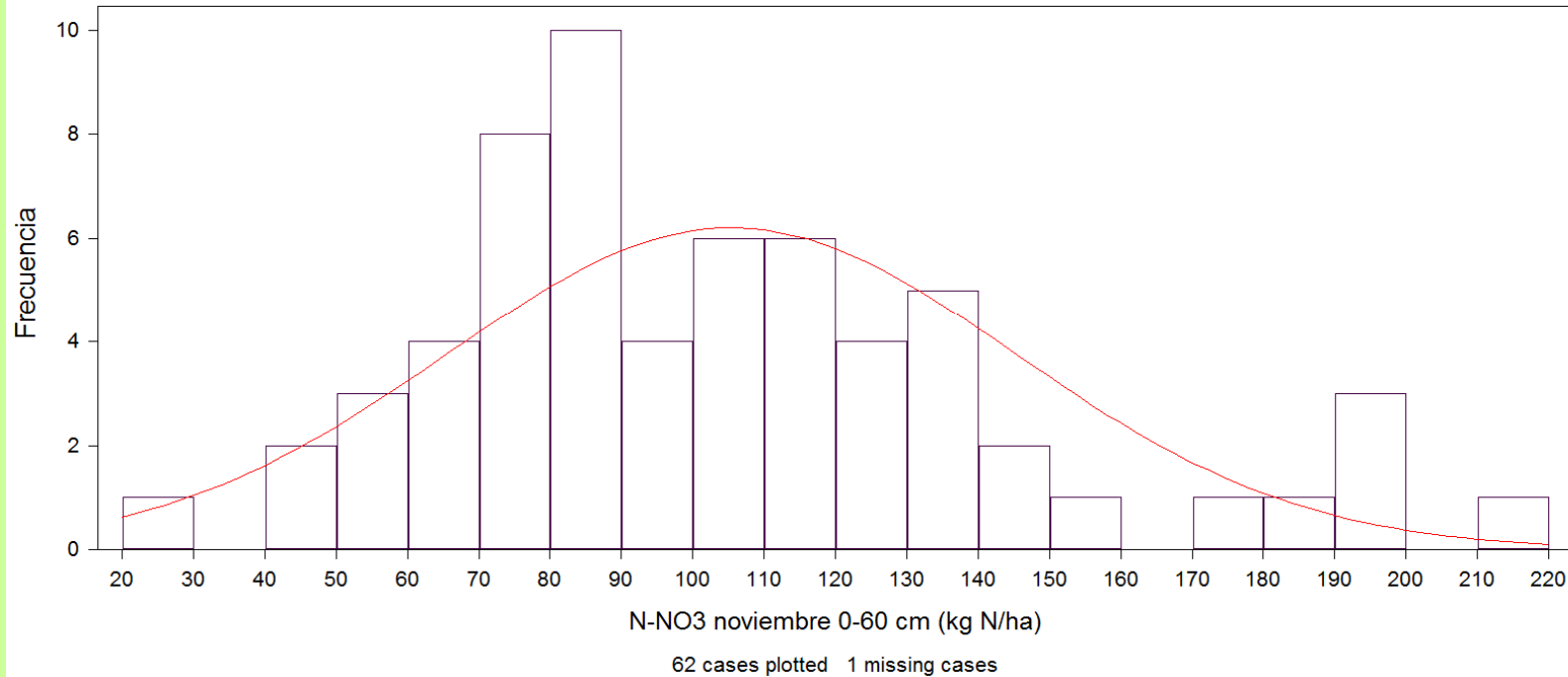


	<b>promedio</b>	<b>min.</b>	<b>25 %</b>	<b>50%</b>	<b>75 %</b>	<b>máx.</b>	<b>Nº</b>
<b>N-NO<sub>3</sub> octubre 0-60 cm (kgN/ha)</b>	92	36	68	80	106	237	63

$$\text{N-NO}_3 \text{ 0-60 cm (kgN/ha)} = 33 + 1.24 \text{ NAN} - 0.357 \text{ pp septiembre (mm)}$$

$$R^2 = 0.42; n = 38$$

## Noviembre: N-nitrato 0-60 cm (kgN/ha)



	<b>promedio</b>	<b>min.</b>	<b>25 %</b>	<b>50%</b>	<b>75 %</b>	<b>máx.</b>	<b>Nº</b>
<b>N-NO<sub>3</sub> noviembre 0-60 cm (kgN/ha)</b>	105	26	77	99	124	219	62

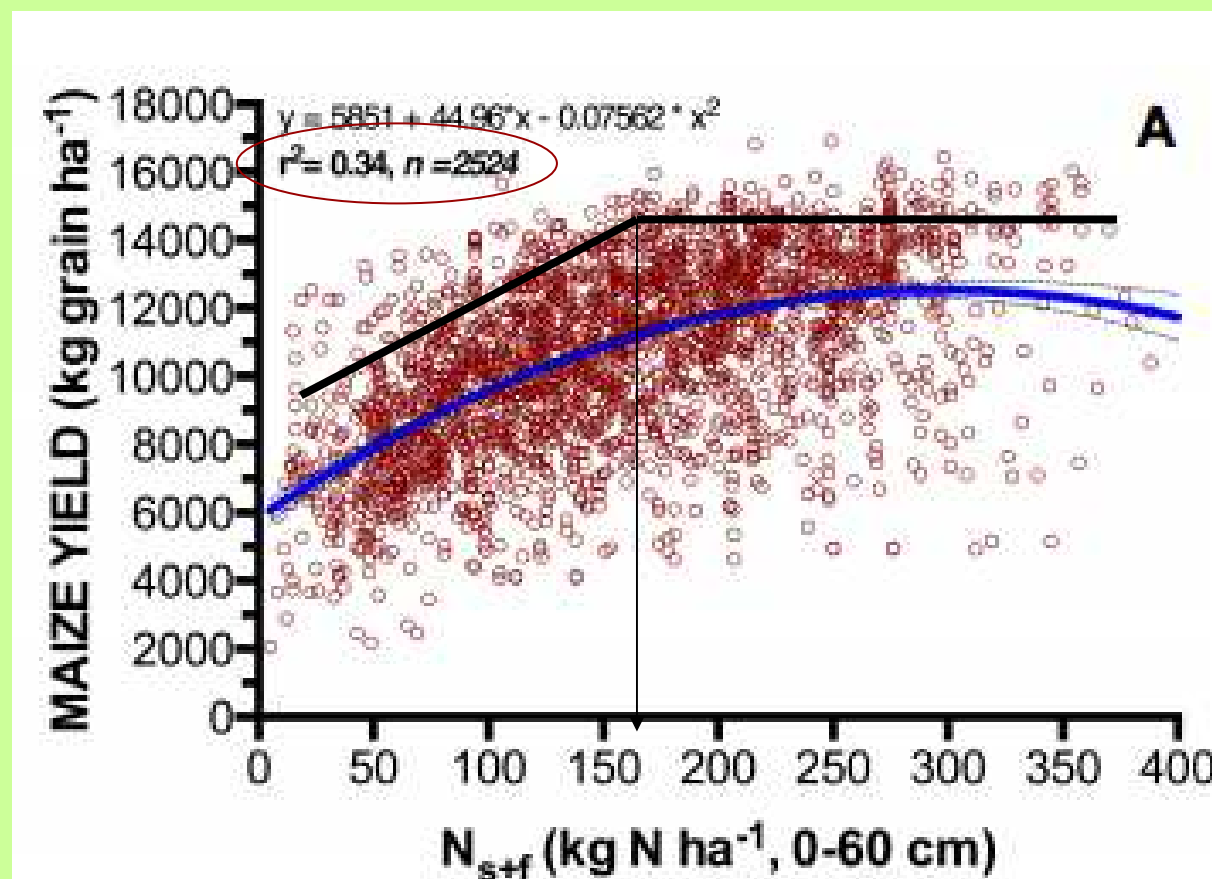
$$\text{N-NO}_3 \text{ 0-60 cm (kgN/ha)} = 5.05 + 1.51 \text{ NAN} - 0.226 \text{ pp octubre (mm)} + 7.88 \text{ MO (\%)} \\ R^2 = 0.57; n = 38$$

# Relación: rendimiento vs. N-nitrato 0-60 cm + N fertilizante (kg N/ha)

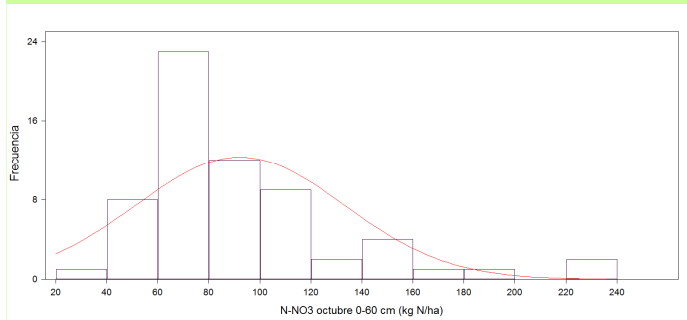
498 ensayos de fertilización; n= 2524

Reportes INTA  
CREA  
Fertilizar  
Revistas con y sin referato  
Congresos  
Tesis

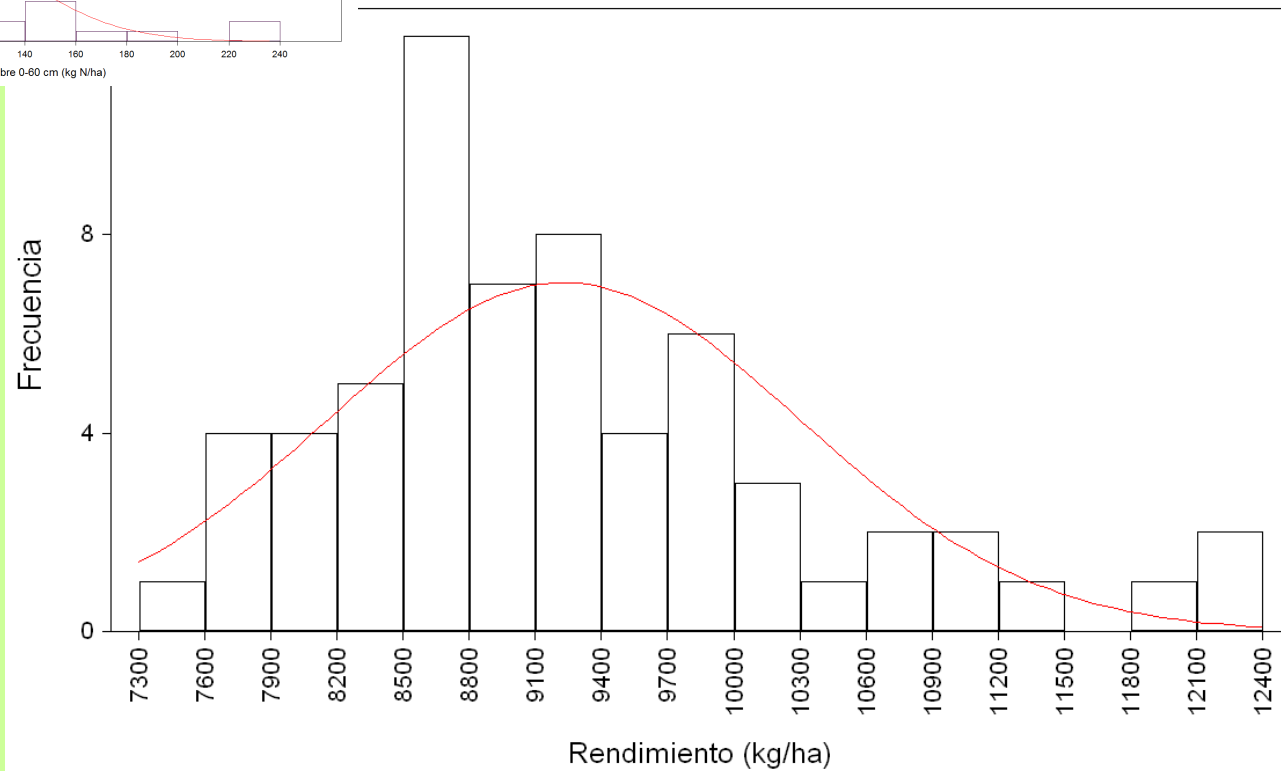
- Vertisoles
- Argiudoles
- Hapludoles
- Haplustoles
- Entisoles



# Rendimientos estimados a partir de N-nitrato 0-60 cm (kg N/ha)



$$\text{Rend (kg/ha)} = 5851 + 41.96 N - 0.0762 N^2$$

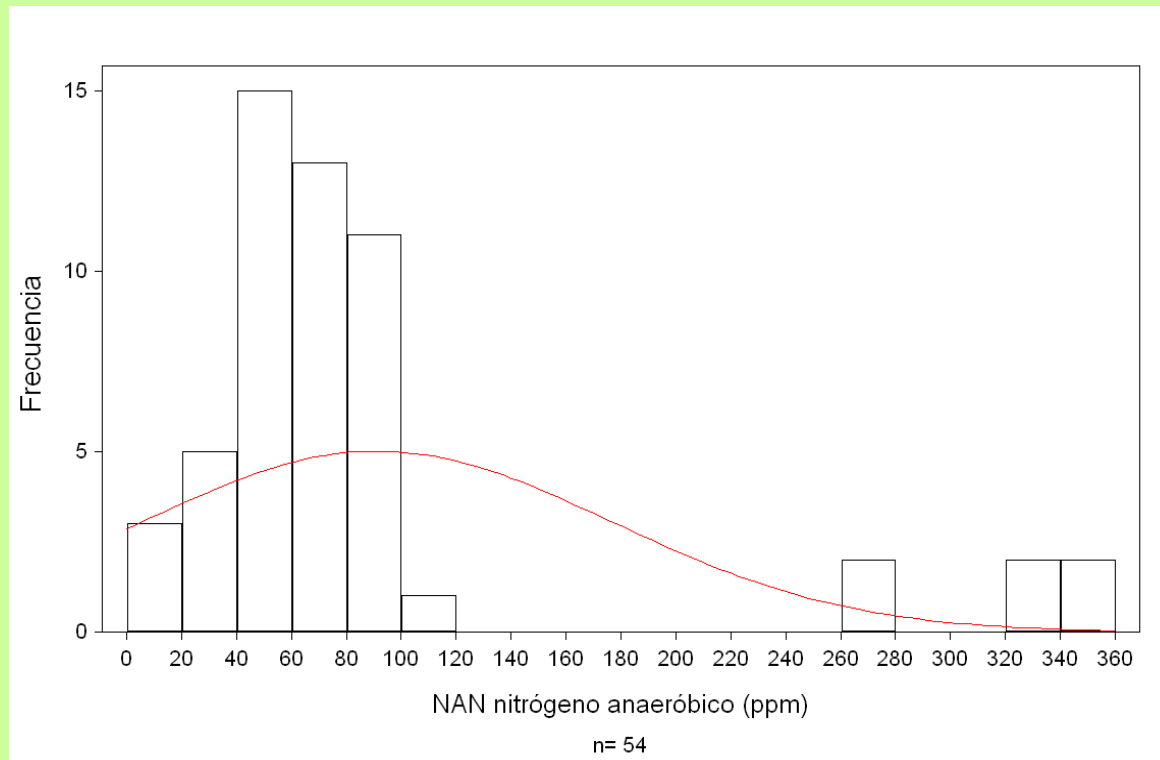


	<b>promedio</b>	<b>min.</b>	<b>25 %</b>	<b>50%</b>	<b>75 %</b>	<b>máx.</b>	<b>Nº</b>
<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	9229	7380	8557	8949	9762	12258	63

Comparar rendimientos estimados con los obtenidos

Correndo et al. 2015

## NAN 0-20 cm (ppm)



NAN vs. MO  $r= 0.94$

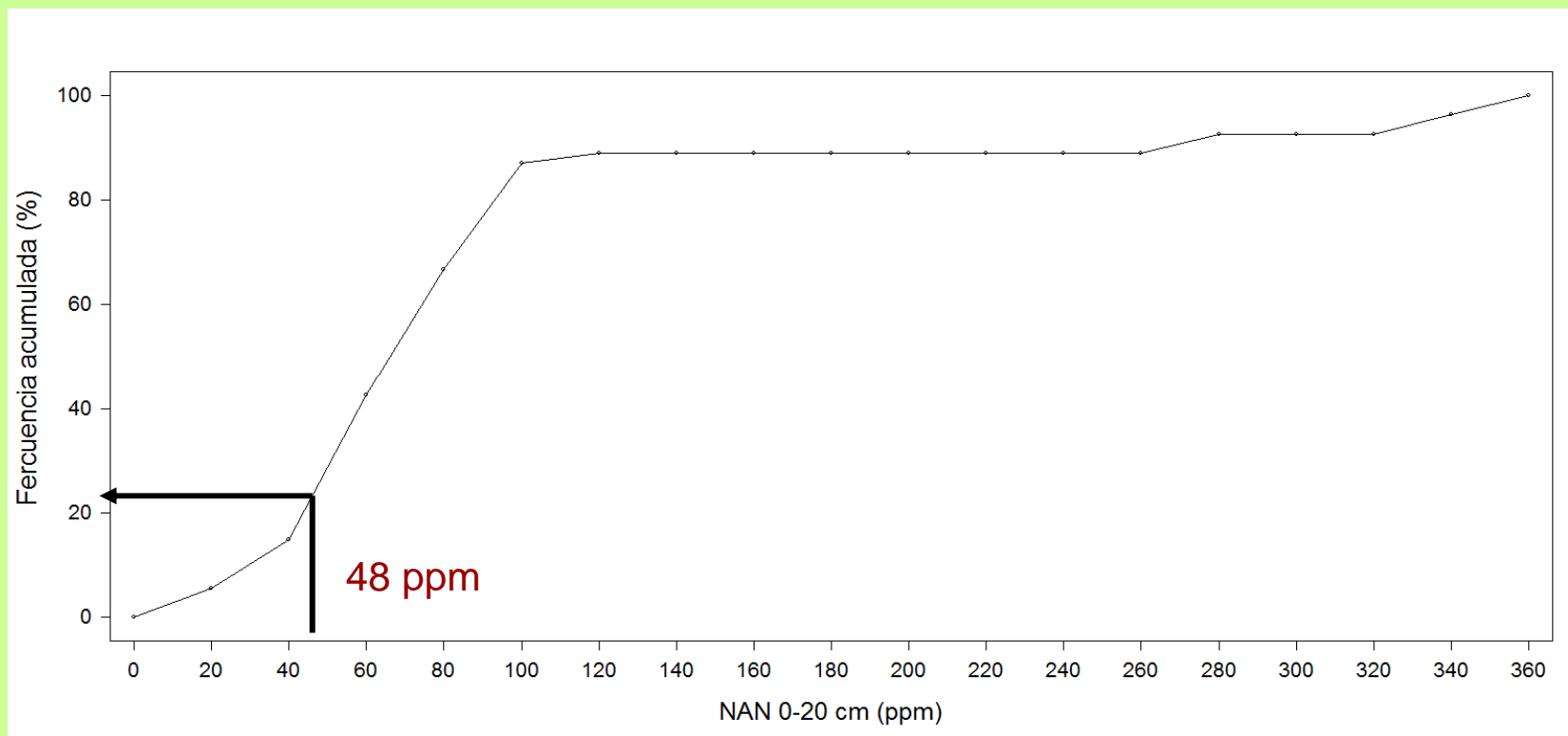
	<b>promedio</b>	<b>min.</b>	<b>25 %</b>	<b>50%</b>	<b>75 %</b>	<b>máx.</b>	<b>Nº</b>
<b>NAN 0-20 cm (ppm)</b>	91	4	56	64	84	357	54

Ensayos de respuesta del maíz a 60 kgN/ha Calviño y Echeverria (2003)

Inc. Rend. (%) =  $72.5 - 1.38 \text{ NAN (ppm)}$  cuando  $\text{NAN} < 48 \text{ ppm}$ ;

Inc. Rend. = 0 si  $\text{NAN} > 48 \text{ ppm}$

## NAN 0-20 cm (ppm)



	<b>promedio</b>	<b>min.</b>	<b>25 %</b>	<b>50%</b>	<b>75 %</b>	<b>máx.</b>	<b>Nº</b>
<b>NAN 0-20 cm (ppm)</b>	91	4	56	64	84	357	54

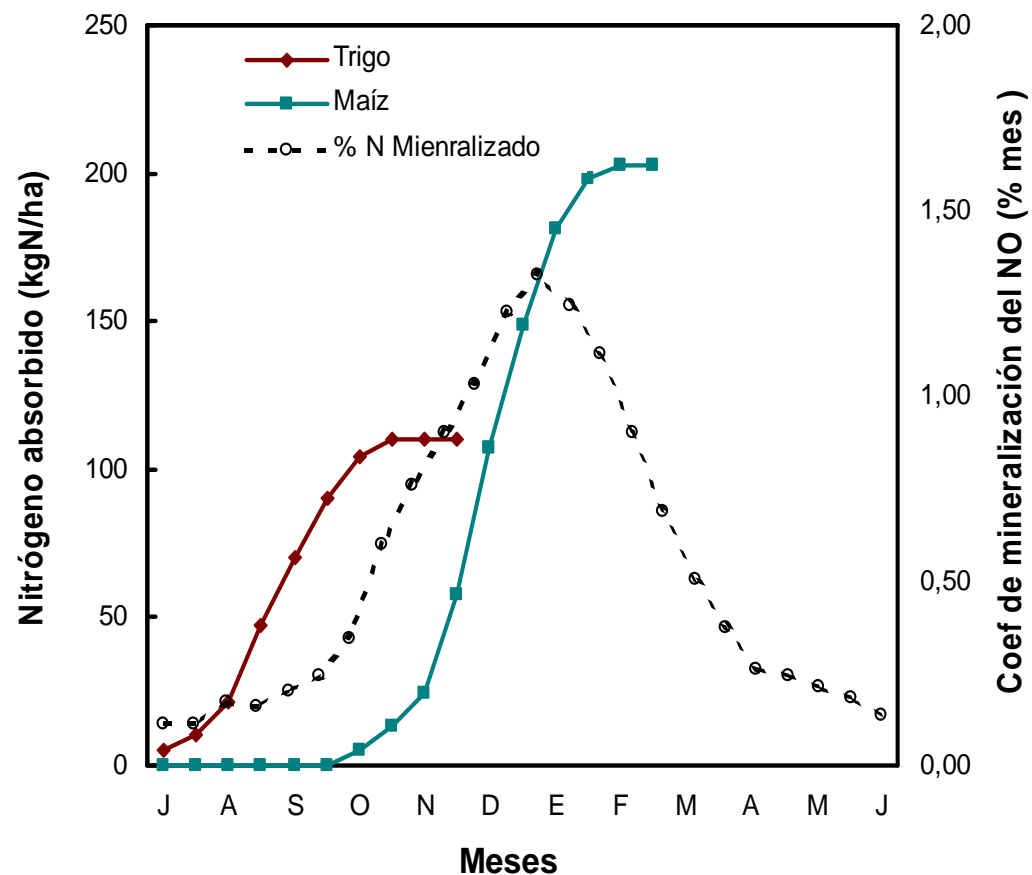
Ensayos de respuesta del maíz a 60 kgN/ha Calviño y Echeverria (2003)

Inc. Rend. (%) =  $72.5 - 1.38 \text{ NAN (ppm)}$  cuando  $\text{NAN} < 48 \text{ ppm}$ ;

Inc. Rend = 0 si  $\text{NAN} > 48 \text{ ppm}$

# Sincronización de la mineralización con los requerimientos del cultivo

## Pampa Ondulada

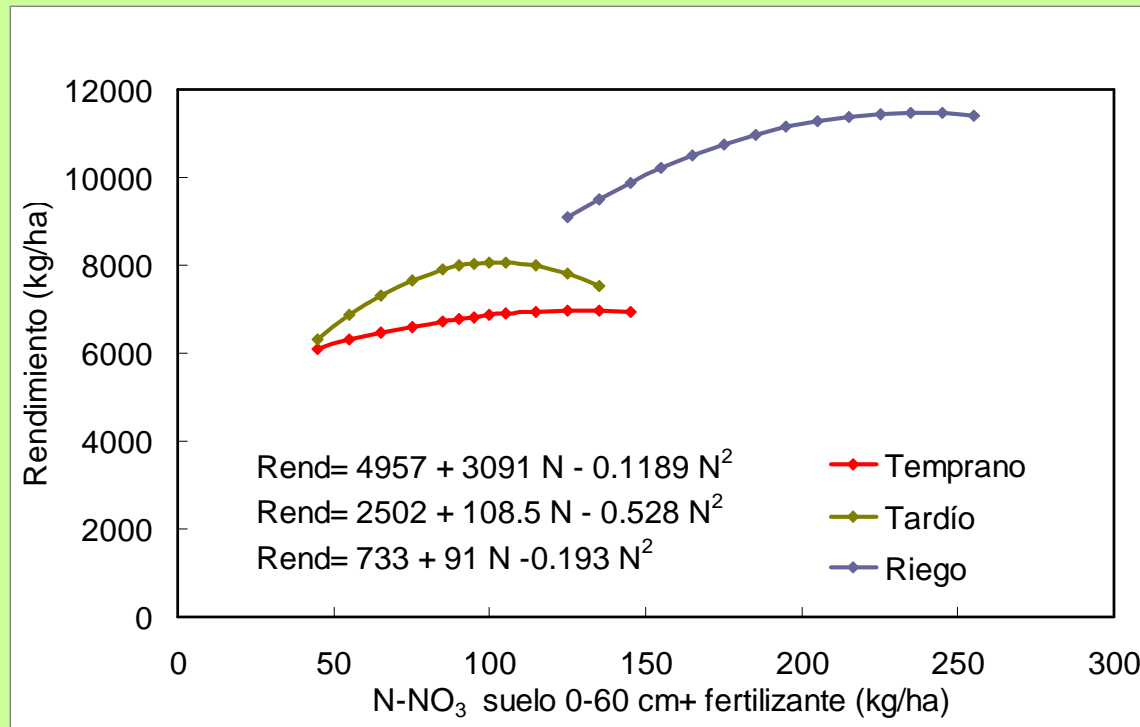


Coef: 0.8-1 % julio-octubre

2,4% setiembre-enero (0-30 cm)

Alvarez, 2008

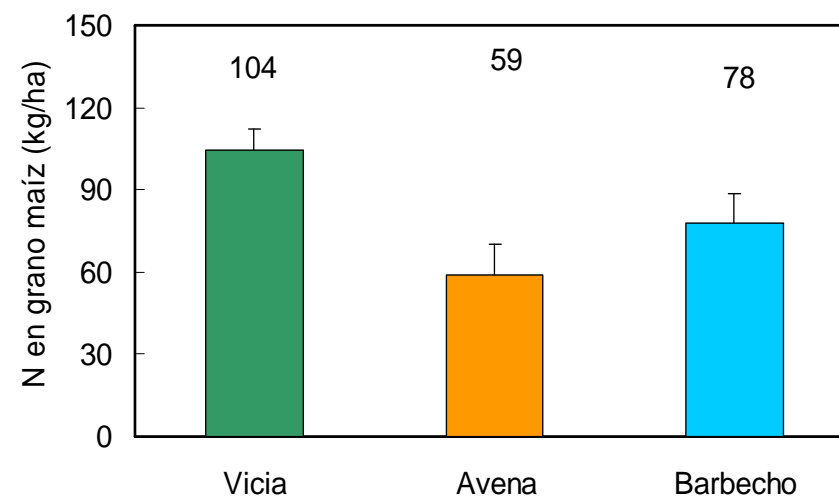
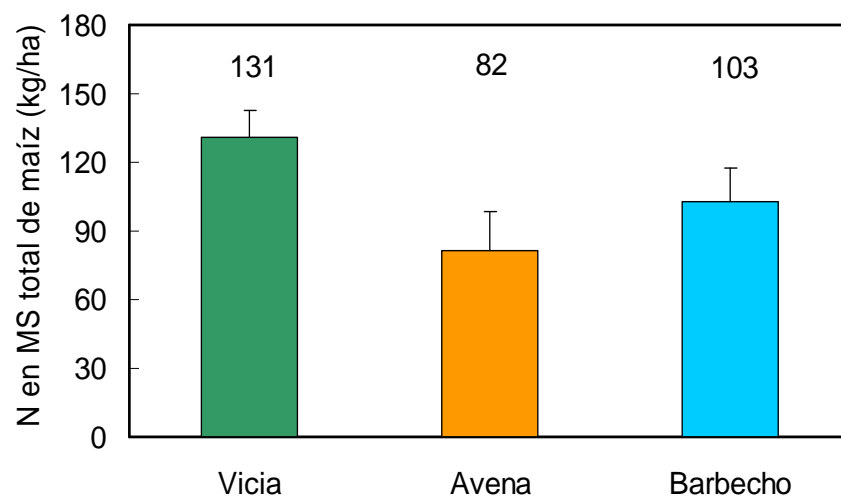
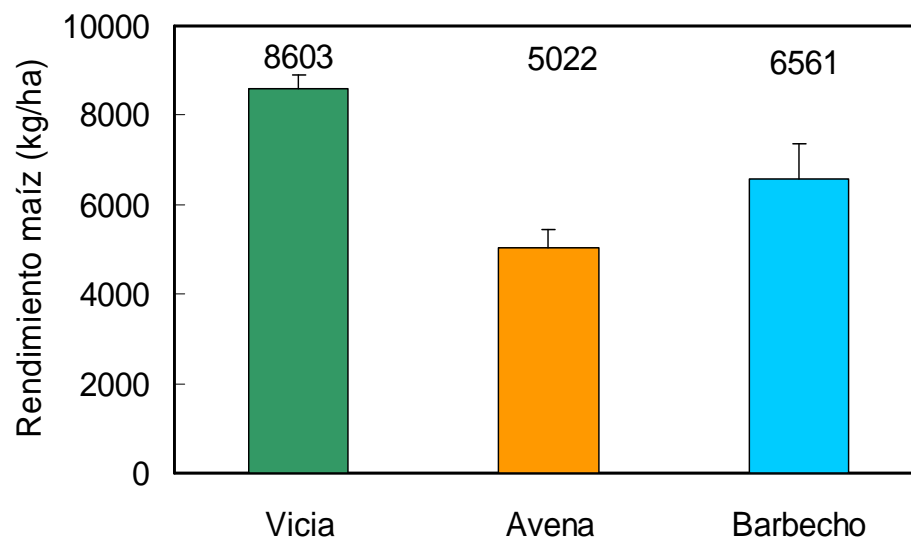
## Relación: rendimiento vs. N-nitrato 0-60 cm + N fertilizante (kg N/ha)



RP	N s 0-60 cm+f objetivo (kgN/ha)		
	temprano	tardio	riego
10	88	93	210
11	84	92	207
12	80	91	205
13	75	90	202
14	71	89	199
15	67	89	197



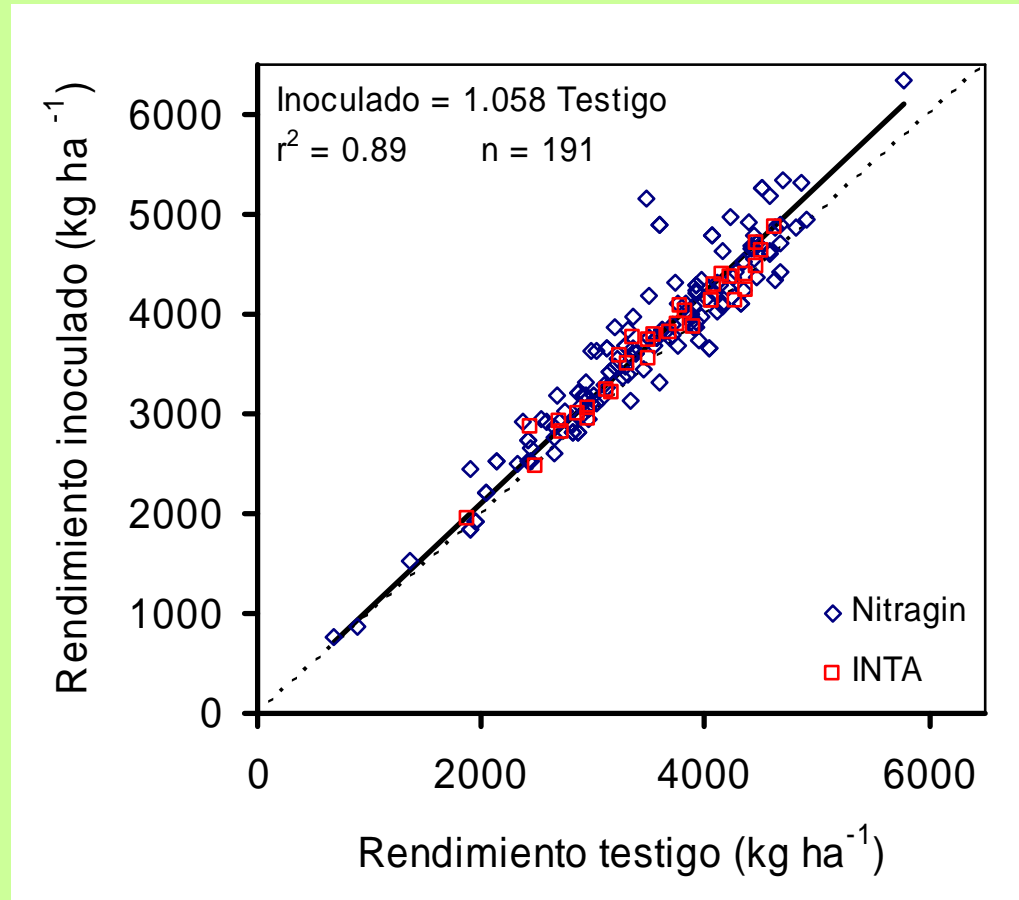
# Incorporación de cultivos de cobertura



230-250 días de ciclo; siembra oct-nov

Sá Pereira et al. 2014

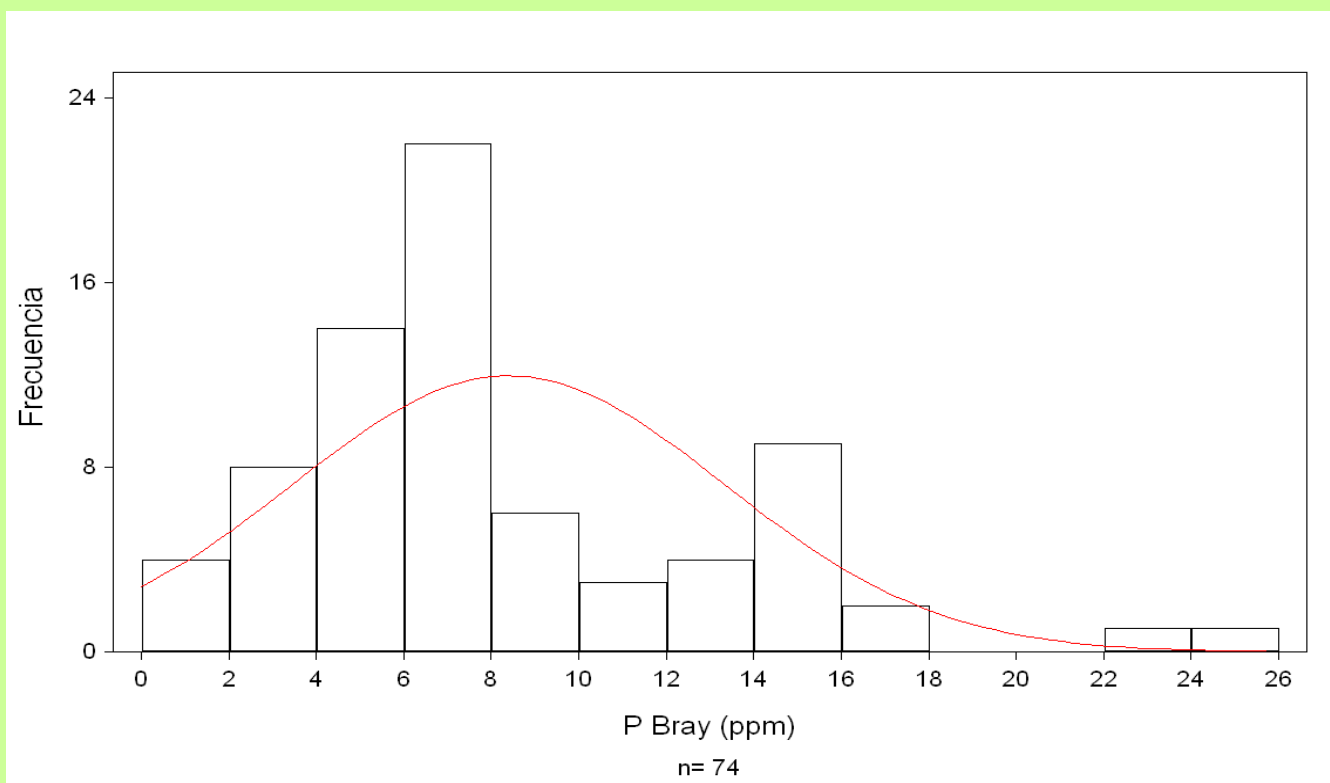
# Soja inoculación: efecto de la inoculación



**5 %**

Efecto de la inoculación sobre el rendimiento en ensayos realizados en suelos con antecedentes de soja en la región pampeana (Diaz Zorita et al., 2003; 2004; 2005; Mousegne et al., 2005; Ferraris & Couretot, 2005; 2006; Ventimiglia & Carta, 2006; Bodrero et al., 2005; Fontanetto et al., 2004; 2006).

## P Bray 0-20 cm (ppm)



	<b>promedio</b>	<b>min.</b>	<b>25 %</b>	<b>50%</b>	<b>75 %</b>	<b>máx.</b>	<b>Nº</b>
<b>P Bray 0-20 cm (ppm)</b>	8.4	1	5.3	6.7	11.4	24.6	74

## Relación: rendimiento relativo vs. P Bray (ppm)

258 ensayos de fertilización

Reportes INTA

CREA

Fertilizar

Revistas con y sin referato

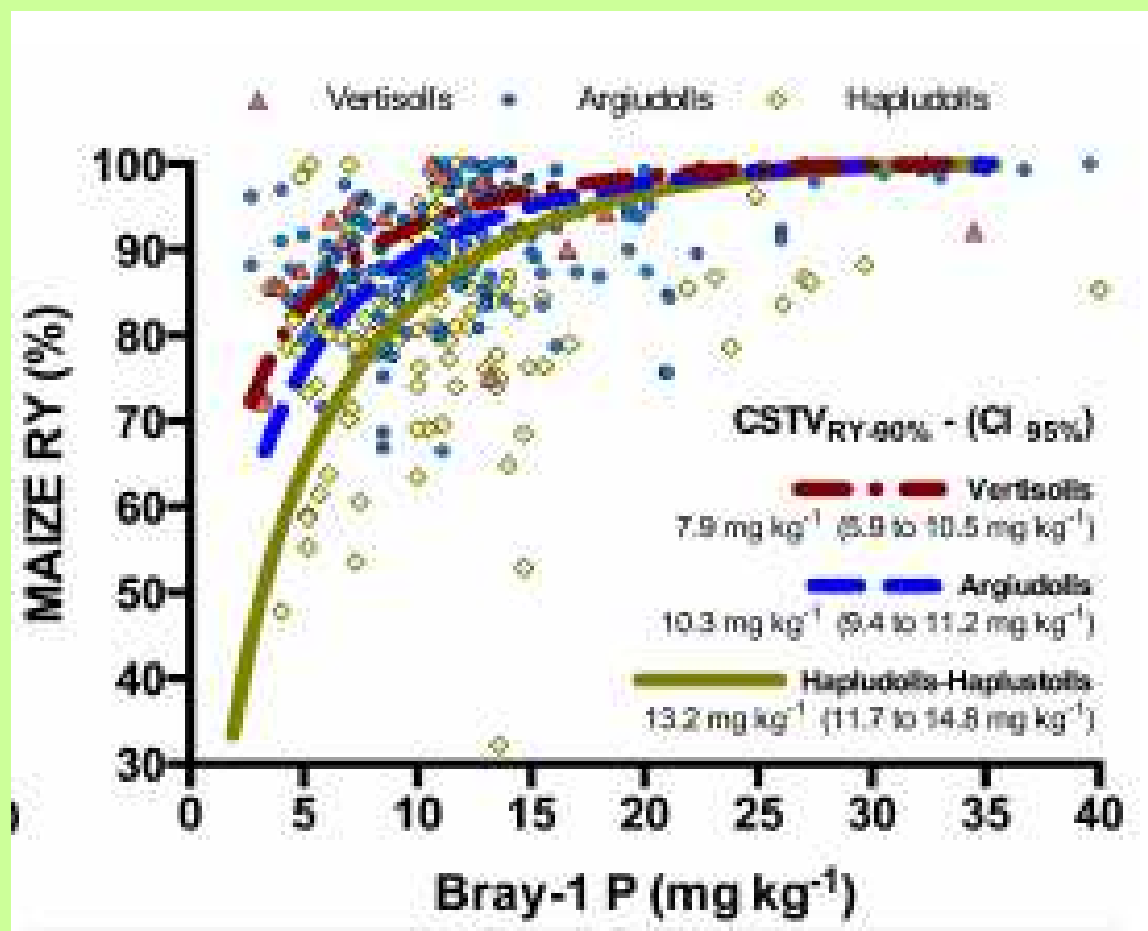
Congresos

Tesis

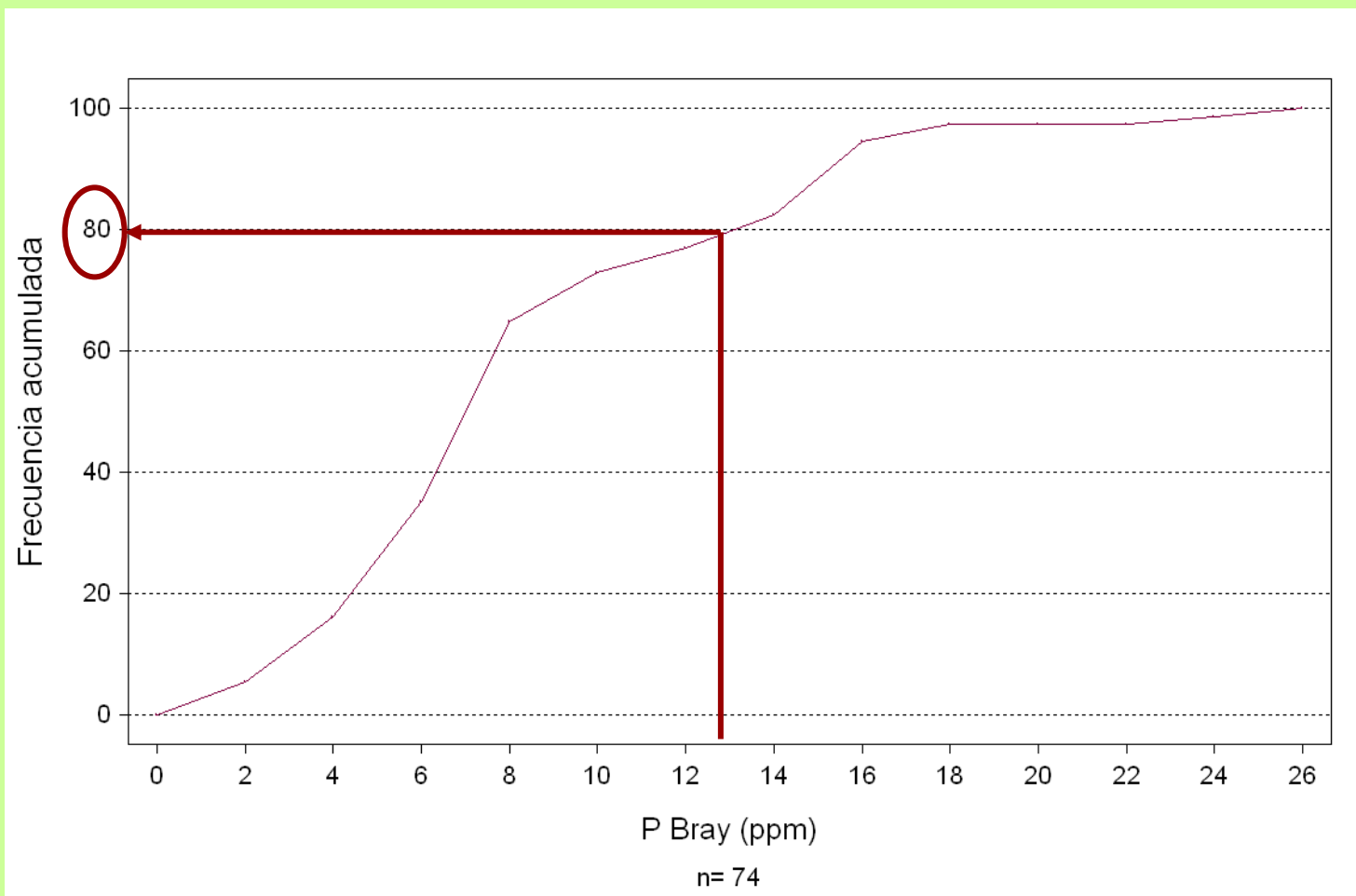
Vertisoles 7.9 ppm

Argiudoles 10.3 ppm

Hapludoles-Haplustoles 13.2 ppm



## P Bray 0-20 cm (ppm)



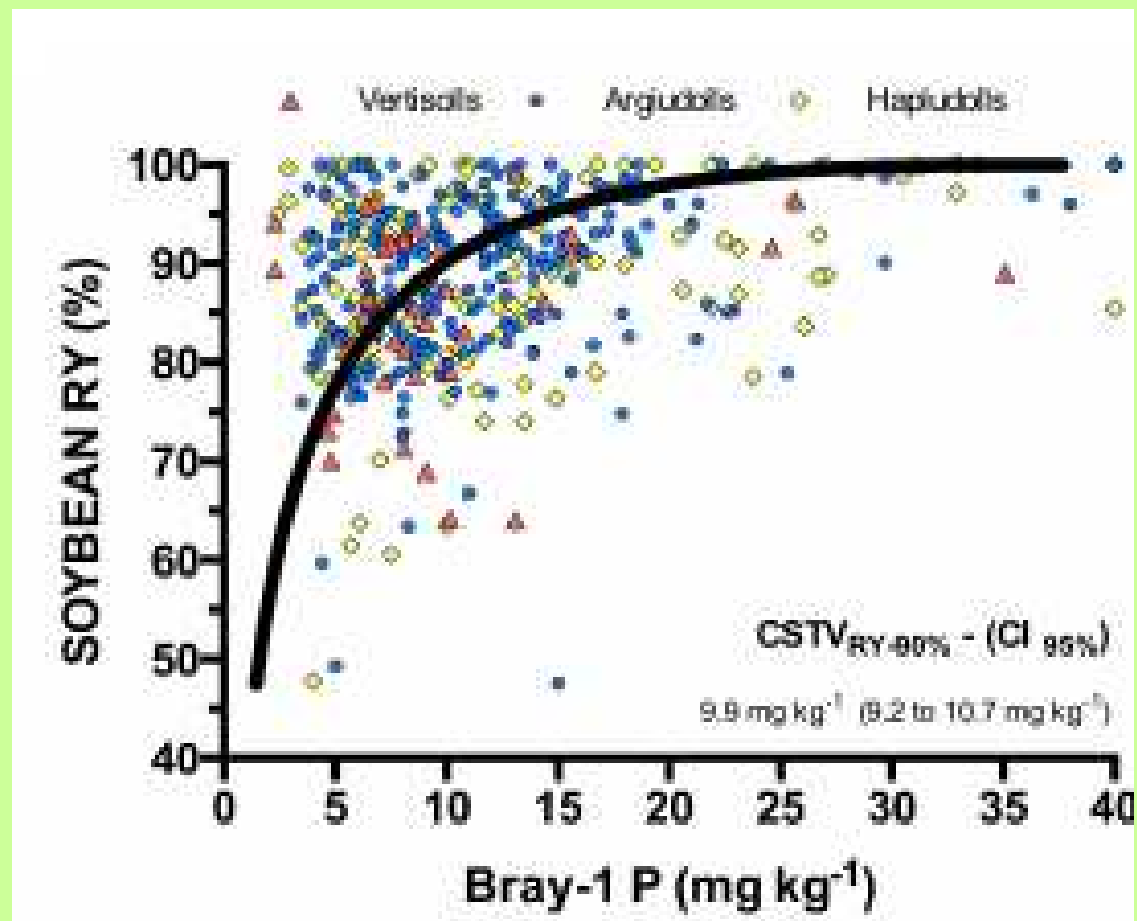
	<b>promedio</b>	<b>min.</b>	<b>25 %</b>	<b>50%</b>	<b>75 %</b>	<b>máx.</b>	<b>Nº</b>
<b>P Bray 0-20 cm (ppm)</b>	8.4	1	5.3	6.7	11.4	24.6	74

## Relación: rendimiento relativo vs. P Bray (ppm)

436 ensayos de fertilización

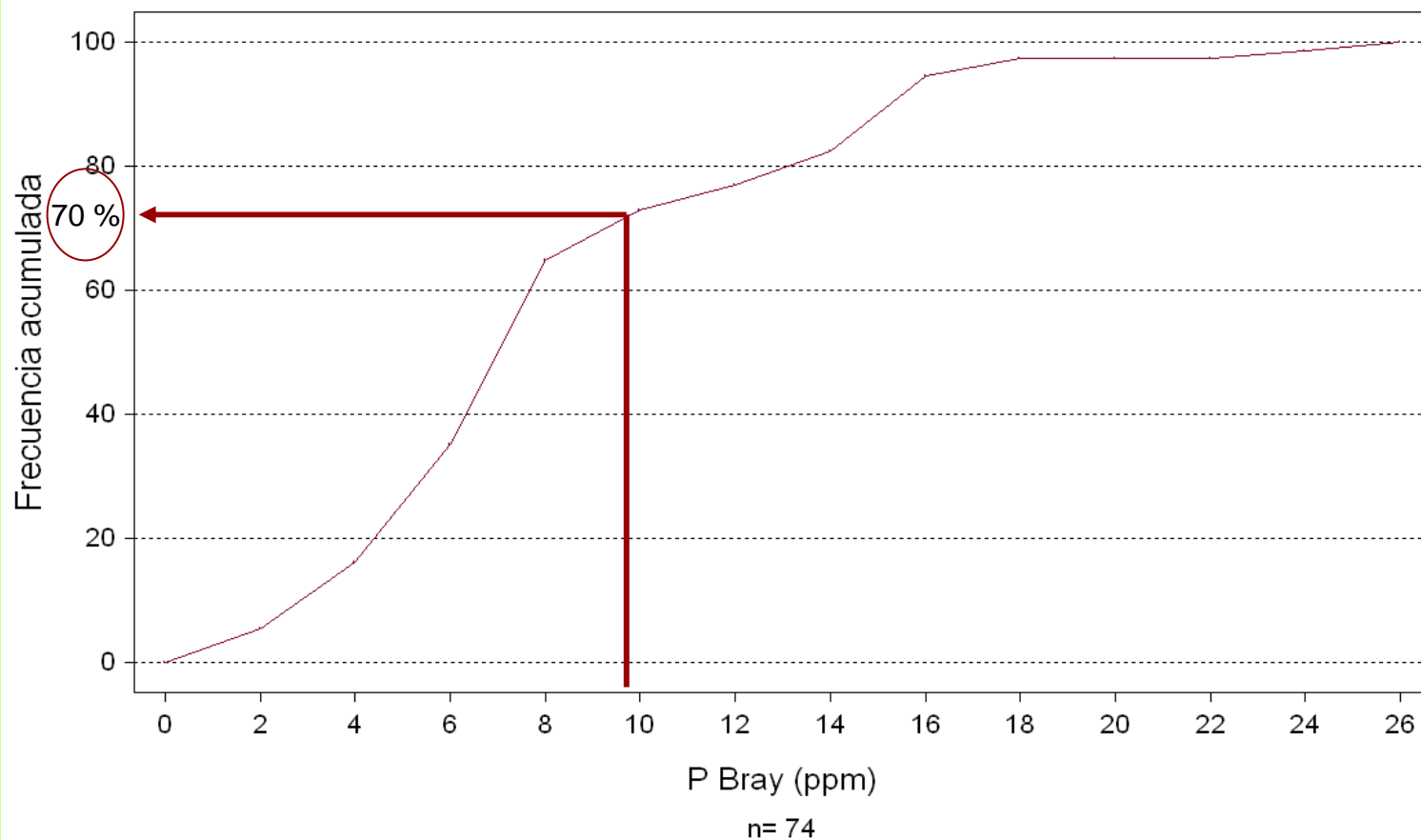
Reportes INTA  
CREA  
Fertilizar  
Revistas con y sin referato  
Congresos  
Tesis

9.9 ppm



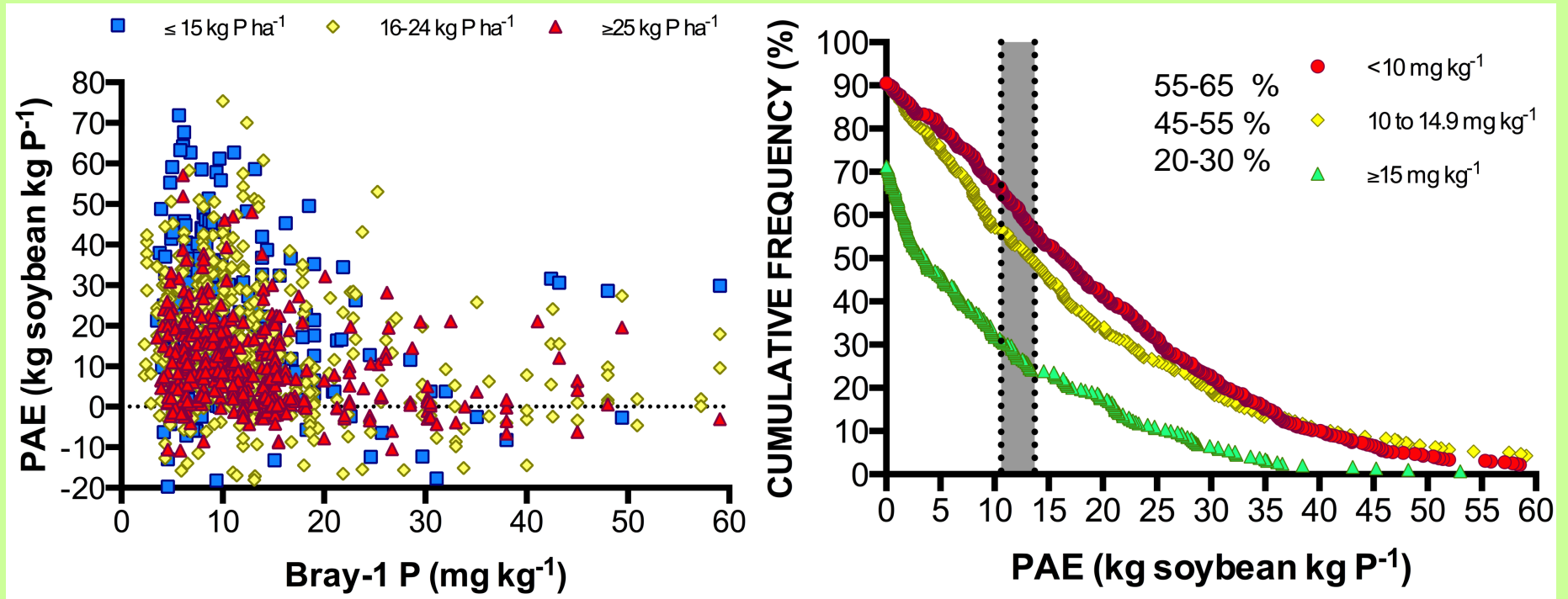
Correndo et al. 2015

## P Bray 0-20 cm (ppm)



	<b>promedio</b>	<b>min.</b>	<b>25 %</b>	<b>50%</b>	<b>75 %</b>	<b>máx.</b>	<b>Nº</b>
<b>P Bray 0-20 cm (ppm)</b>	8.4	1	5.3	6.7	11.4	24.6	74

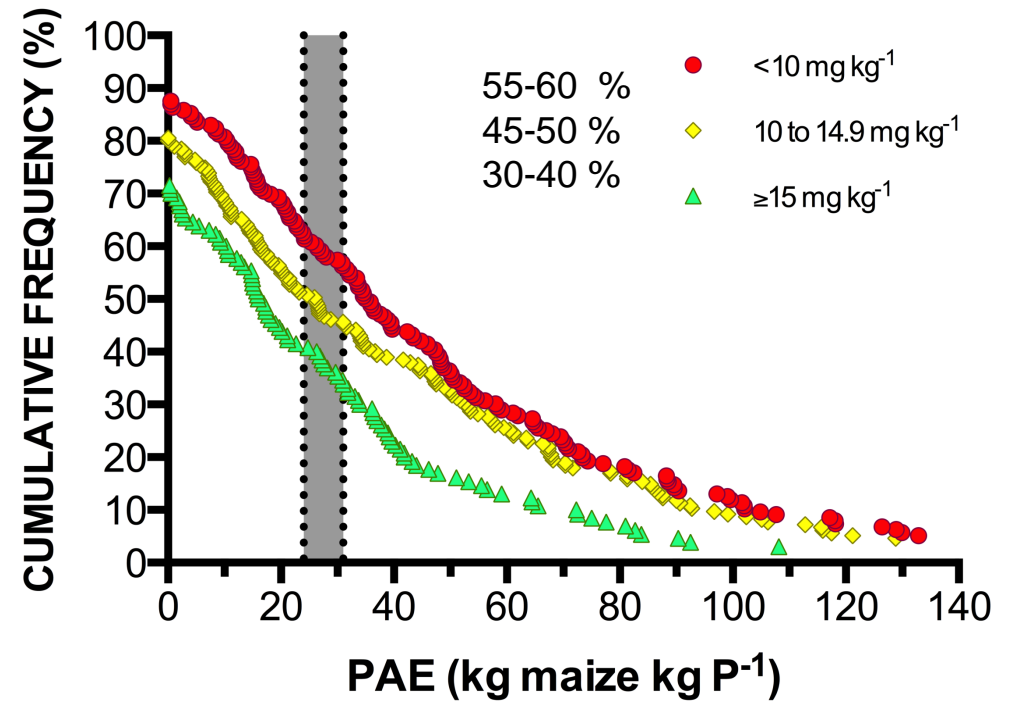
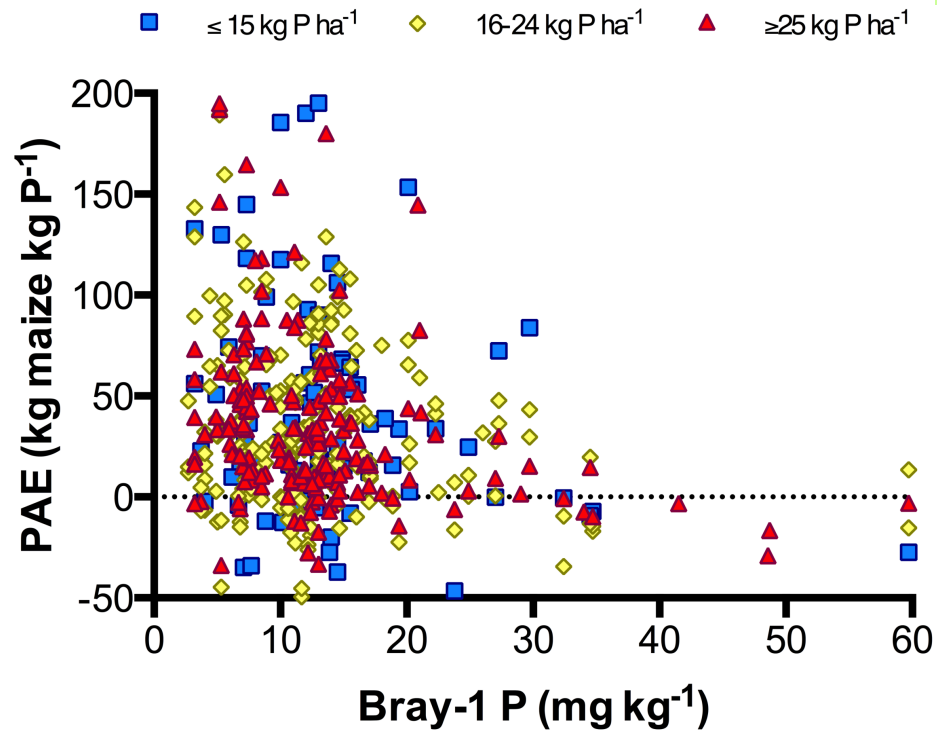
# Soja: respuesta vs. P Bray (ppm)



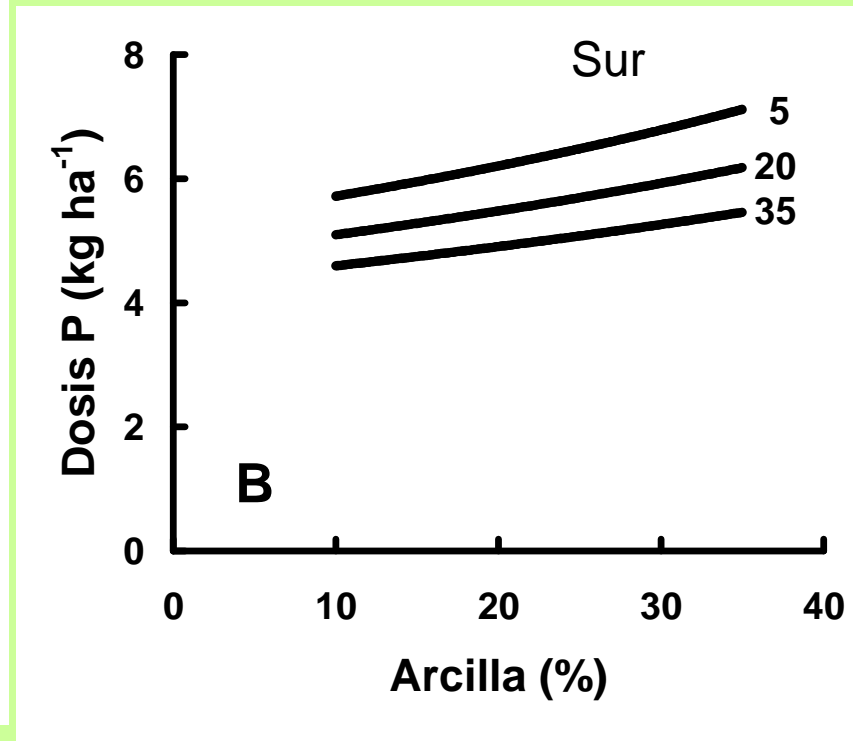
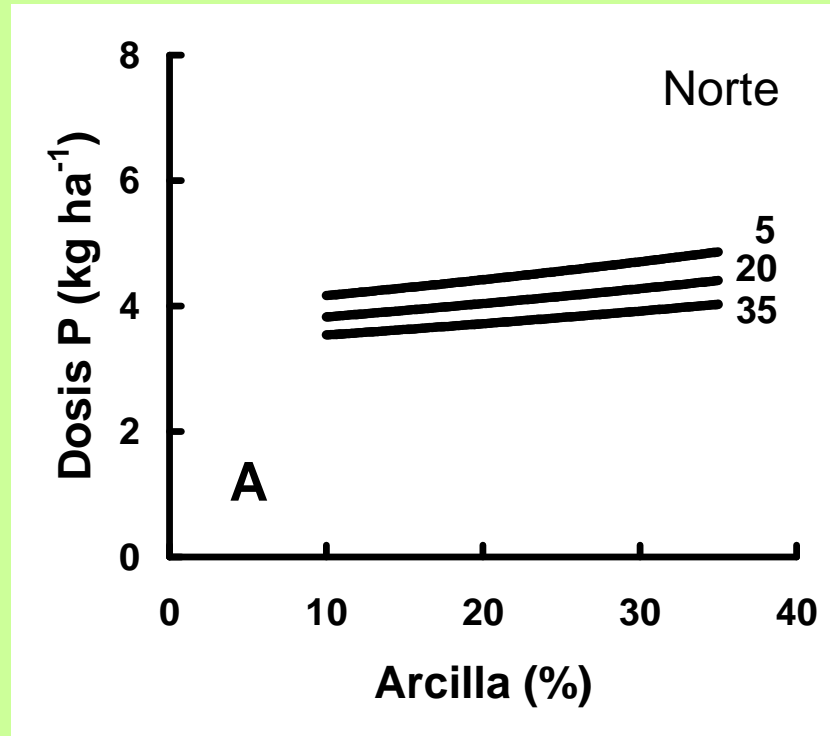
Correndo et al. 2015



# Maíz: respuesta vs. P Bray (ppm)



## Condiciones controladas



Estimación de la dosis de fertilizante fosforado necesitarías para incrementar el fósforo extractable del suelo en 1 ppm en el estrato 0-20 cm de suelos con una densidad aparente de 1.25 g ml<sup>-1</sup>. A: Pampa Ondulada, B: Sur Bonaerense. Las estimaciones se han realizado para suelos con la variación textural posible de encontrar en Molisoles de estas subregiones y para distintos niveles de fósforo extractable (números junto a las curvas) usando el modelo (Rubio et al. 2007)

## Fósforo

- Las dosis utilizadas son casi compensatorias pero no permiten el enriquecimiento del suelo
- La mayor parte de los análisis presentan valores por debajo de los umbrales
- Momentos económicos favorables, inversión en fósforo
- Utilizar criterios de enriquecimiento hasta umbrales o eficiencias (criterio económico)

## Nitrógeno

- Planteos mixtos: asegurar una buena fijación biológica
- Evaluar la probabilidad de respuesta en función de la capacidad productiva del suelo/sistema
- Los niveles de nitratos permitirían cubrir los requerimientos de los rendimientos promedios
- Los valores de NAN muestran una buena capacidad de aporte de N desde el pool orgánico
- Tener presentes los riesgos de lixiviación

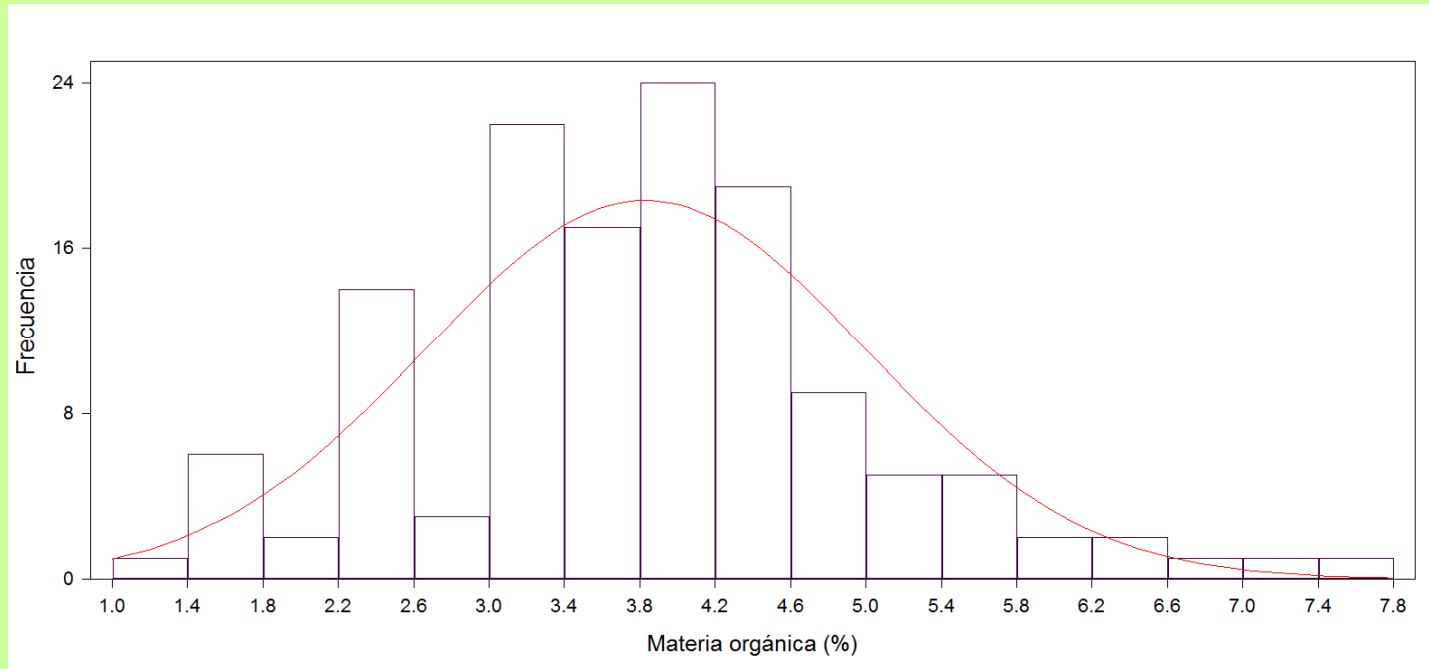
**Una rotación Clásica que se puede decir "Promedio":**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
P1	P2	P2	P4	P5	VI/SJ	MZ	GIR	TR	VI/W	CB	VI/SJ	TR	VI/GIR	CB



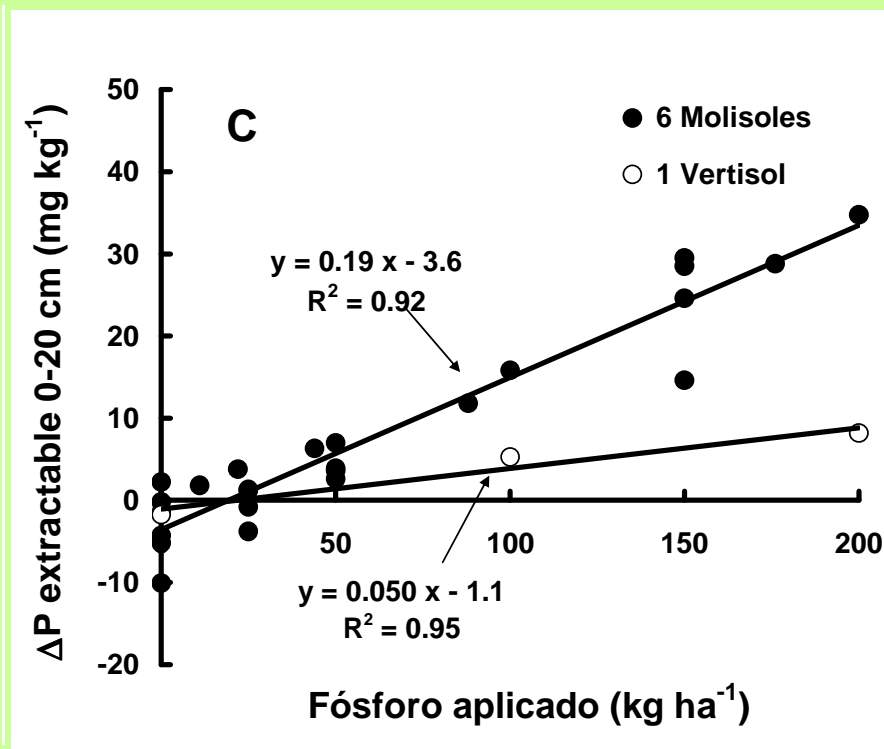
**Adicional**

## Materia orgánica 0-20 cm



	<b>promedio</b>	<b>min.</b>	<b>máx.</b>	<b>25 %</b>	<b>50%</b>	<b>75 %</b>	<b>nº de casos</b>
<b>MO (%)</b>	3.83	1.06	7.72	3.26	3.82	4.39	134

	<b>MO</b>	
	<b>r</b>	<b>P</b>
<b>arcilla</b>	0.38	<0.0001
<b>limo</b>	0.43	<0.0001
<b>arena</b>	-0.55	<0.0001
<b>arcilla+limo</b>	0.55	<0.0001



Cambio a campo del nivel de fósforo extractable (DP extractable) de suelos bajo cultivo de la Región Pampeana en función de la dosis de fósforo del fertilizante aplicada un año antes del muestreo. Suelos del Entre Ríos, sudeste de Córdoba y Sudeste Bonaerense bajo cultivo de trigo o trigo/soja de segunda. Muestreo 0-20 cm excepto en un experimento que se muestreó 0-18 cm, 7 experimentos. Elaborado con datos de Barbagelata (2012), Berado y Grattone (2000) y Echeverría et al. (2004).

Una rotación Clásica que se puede decir "Promedio":

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
P1	P2	P2	P4	P5	VI/SJ	MZ	GIR	TR	VI/VV	CB	VI/SJ	TR	VI/GIR	CB

Proporciones resultantes de la secuencia:

<b>P</b>	<b>VI</b>	<b>VV</b>	<b>SJ</b>	<b>GIR</b>	<b>MZ</b>	<b>TR</b>	<b>CB</b>	<b>SUMA</b>
33%	27%		20%	13%	7%	13%	13%	127%

Potencial Productivo

			Bajo	Medio	Alto
<b>P</b>	Pastura		5000	6000	7000
<b>VI</b>	Verdeo Inv		2500	3000	3500
<b>VV</b>	Verdeo Verano		4000	5500	7000
<b>SJ</b>	Soja 1°		1600	2200	2800
<b>MZ</b>	Maíz Cos		4000	5000	6000
<b>GIR</b>	Girasol		1600	1850	2100
<b>TR</b>	Trigo Pan		2500	3300	4100
<b>CB</b>	Cebada		2700	3500	4300

FDA utilizado en promedio (por año)

Bajo	Medio	Alto
10	12	16
35	45	55
35	45	55
0	0	0
40	50	60
30	40	50
40	50	60
40	50	60

también hay una "ganadería agrícola" con 20% de pasturas, que te lleva a una secuencia agrícola de 12 años en vez de 10, y donde los cultivos de gruesa se reemplazan por verdeos de verano, siendo la fina toda cebada para grano que se usa para consumo en corrales.

En ésta última rotación se ve una deficiencia marcada de nitrógeno a "ojo", y los análisis dan muy bajos.

