Jornada Técnica ASP
*Dolores -Young, 9 de Septiembre de 2010*

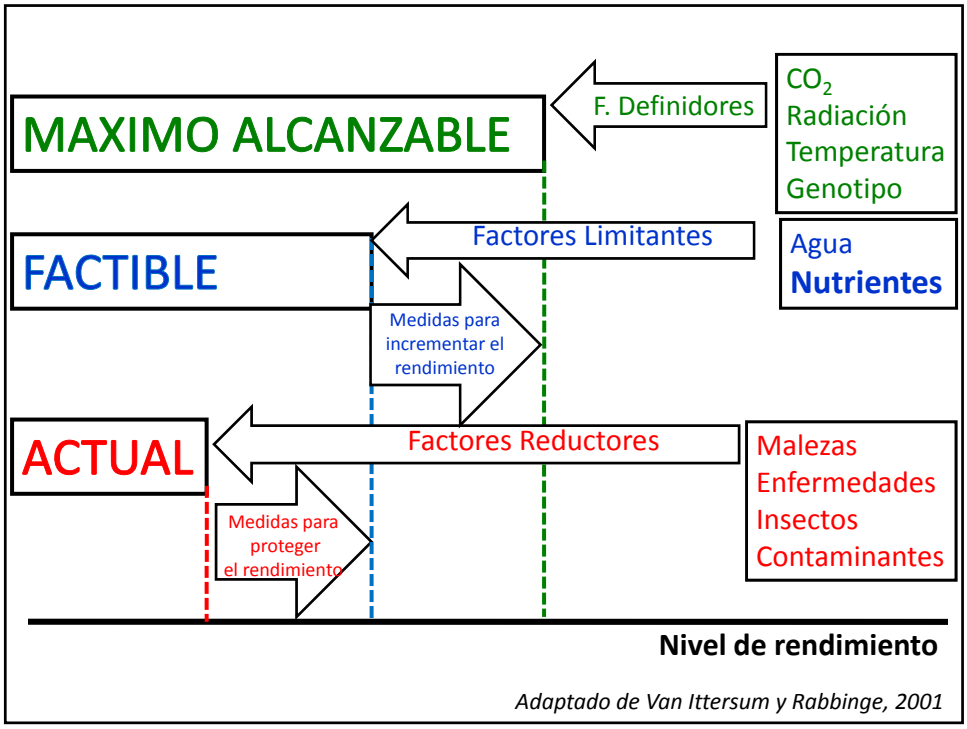
# Mejores practicas de manejo de los nutrientes en maíz y soja

Fernando O. García
Instituto Internacional de Nutrición de Plantas
IPNI International Plant Nutrition Institute
www.ipni.net/lasc - fgarcia@ipni.net

## 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*

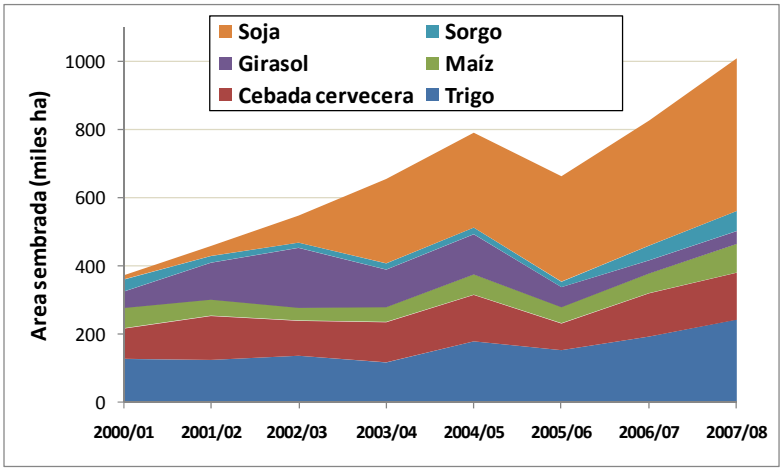
- ***Balance de nutrientes, Nutrición adecuada de cultivos y suelos***
- *Rotaciones*
- *Siembra directa*
- *Genética*
- *Manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas*
- *Practicas de manejo como cultivos de cobertura*




*Adaptado de Van Ittersum y Rabbinge, 2001*

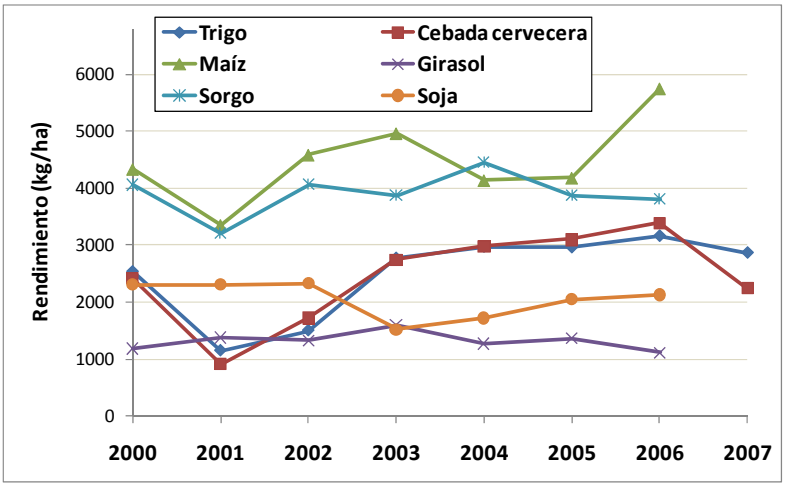
## Area sembrada de cultivos de grano en Uruguay - Periodo 2000-2007

*Fuente: DIEA-MGAP, Anuario Estadístico Agropecuario 2008, http://www.mgap.gub.uy/DIEA/anuarios.htm*



## Evolución de los rendimientos de los principales cultivos - Periodo 2000-2007

*Fuente: DIEA-MGAP, Anuario Estadístico Agropecuario 2008, http://www.mgap.gub.uy/DIEA/anuarios.htm*




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

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

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

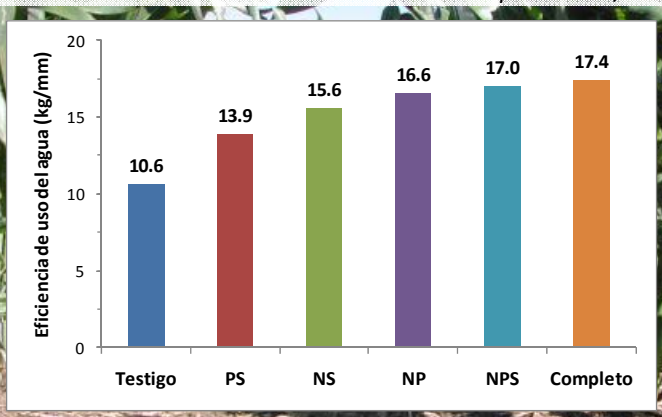
*Cano (2005)*

| 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 |

IPNI

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

*Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe – Campaña 2009/10*

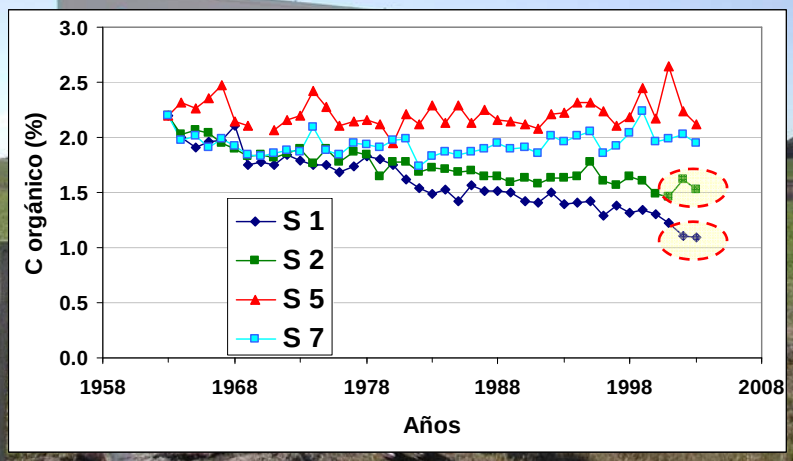



***Precipitaciones siembra a madurez 730 mm***

*Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP*

## Evolución del C orgánico en 40 años

Ensayo de Rotaciones
INIA La Estanzuela (Uruguay)



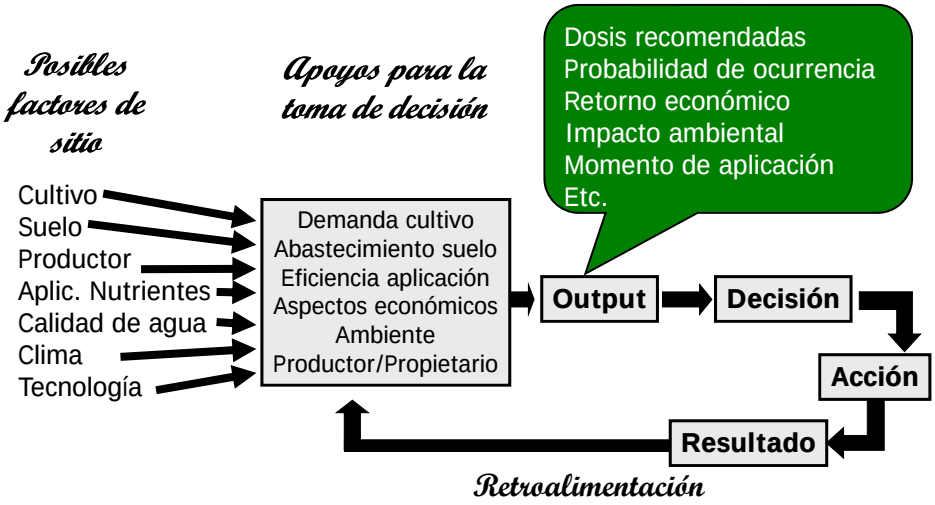

**S1: Agricultura continua sin fertilización**
**S2: Agricultura continua con fertilización**
**S5: 50 % agricultura 50 % pastura**
**S7: 66 % agricultura 33 % pastura**

*Fuente: A. Morón (2003)*

## Las Mejores Prácticas de Manejo de Fertilizantes (MPMF)

- Las MPM en el uso de fertilizantes (dosis, fuente, momento y ubicación) 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-ubicación 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 nacional.
- 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.

# Toma de decisiones en el manejo de nutrientes




*Fixen, 2005*

# 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

## Maíz y Soja
## Requerimientos Nutricionales

| Nutriente | Maíz 12000 kg/ha | | Soja 5000 kg/ha | |
|---|---|---|---|---|
| | Necesidad | Extracción | Necesidad | Extracción |
| | ---------- kg/ha ---------- | | | |
| N | 232 | 158 | 332 | 243 |
| P | 42 | 32 | 31 | 27 |
| S | 42 | 15 | 20 | 14 |

*Requerimientos expresados a humedad de recibo de granos (Maíz 14% y Soja 13%)*

*La fijación simbiótica de N aporta gran parte del N para el cultivo de soja*

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

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

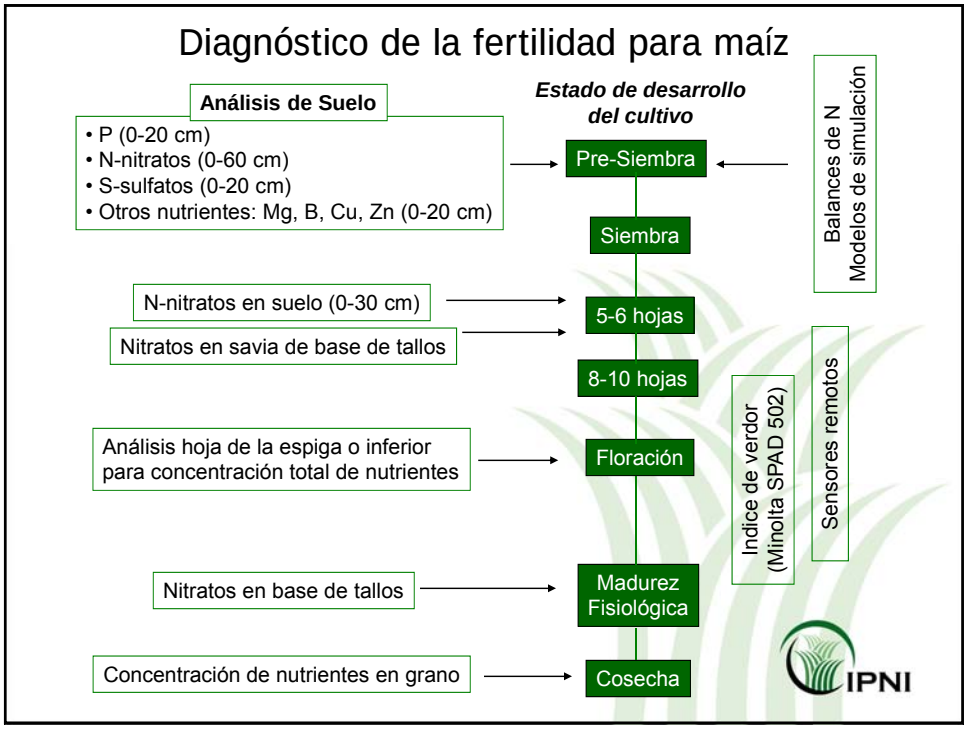
**Planilla de Cálculo de Requerimientos y Extracción de Nutrientes**

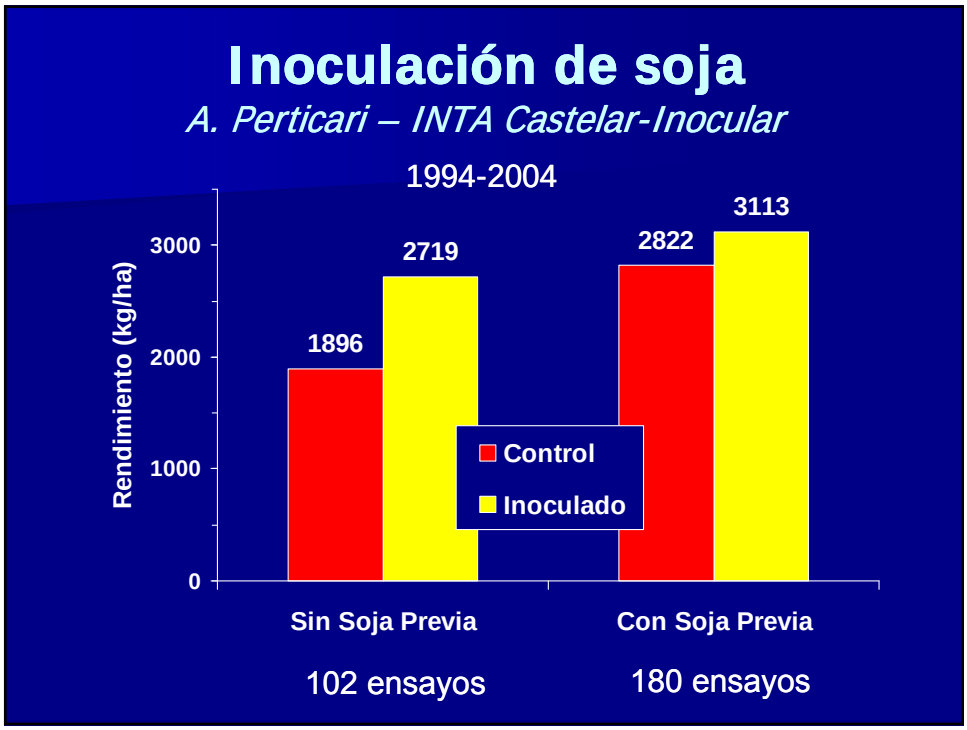
**Cereales**

| 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 | | | | |

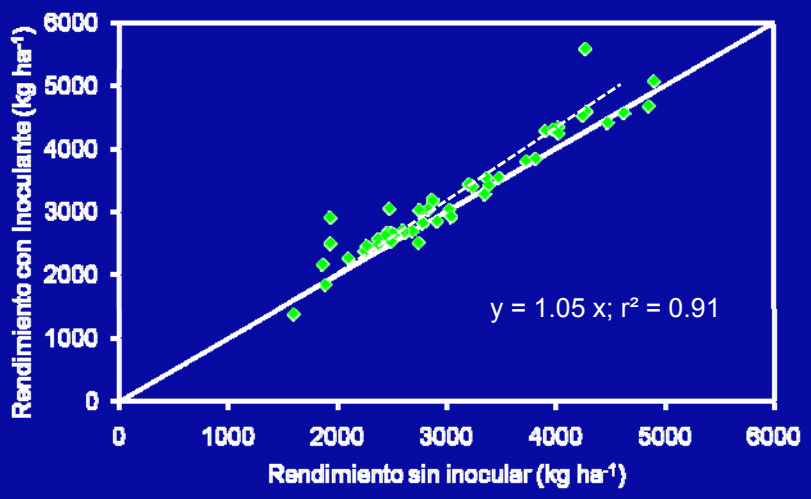
| Cultivo | Rend |
|---|---|
| Arroz | kg |
| | 1 |
| Humedad de grano | |
| | |
| | |
|


Diagnóstico de la fertilidad para maíz
Análisis de Suelo
• P (0-20 cm)
• N-nitratos (0-60 cm)
• S-sulfatos (0-20 cm)
• Otros nutrientes: Mg, B, Cu, Zn (0-20 cm)
Estado de desarrollo del cultivo
Pre-Siembra
Siembra
5-6 hojas
8-10 hojas
Floración
Madurez Fisiológica
Cosecha
N-nitratos en suelo (0-30 cm)
Nitratos en savia de base de tallos
Análisis hoja de la espiga o inferior para concentración total de nutrientes
Nitratos en base de tallos
Concentración de nutrientes en grano
Balances de N
Modelos de simulación
Indice de verdor (Minolta SPAD 502)
Sensores remotos
IPNI


Inoculación de soja
A. Perticari – INTA Castelar-Inocular
1994-2004
Rendimiento (kg/ha)
3000
2000
1000
0
1896
2719
2822
3113
Control
Inoculado
Sin Soja Previa
Con Soja Previa
102 ensayos
180 ensayos

# Inoculación

Respuesta a la inoculación en lotes con historia sojera




Enrico y Capurro, 2009. Sobre base de datos Proyecto INOCULAR

## SOJA con diferentes dosis de N (2 sitios)

**Fertilizante aplicado en V6**

| Dosis de N | SITIOS | | | |
|---|---|---|---|---|
| | San Carlos | | Rafaela | |
| | Promedio (kg/ha) | Incrementos | Promedio (kg/ha) | Incrementos |
| 0 | 3.460 | - | 4.560 | - |
| 40 | 3.365 | - 95 (NS) | 4.604 | 44 (NS) |
| 80 | 3.522 | 62 (NS) | 4.490 | - 70 (NS) |
| 120 | 3.580 | 120 (NS) | 4.585 | 25 (NS) |

Fontanetto y col. (2009)

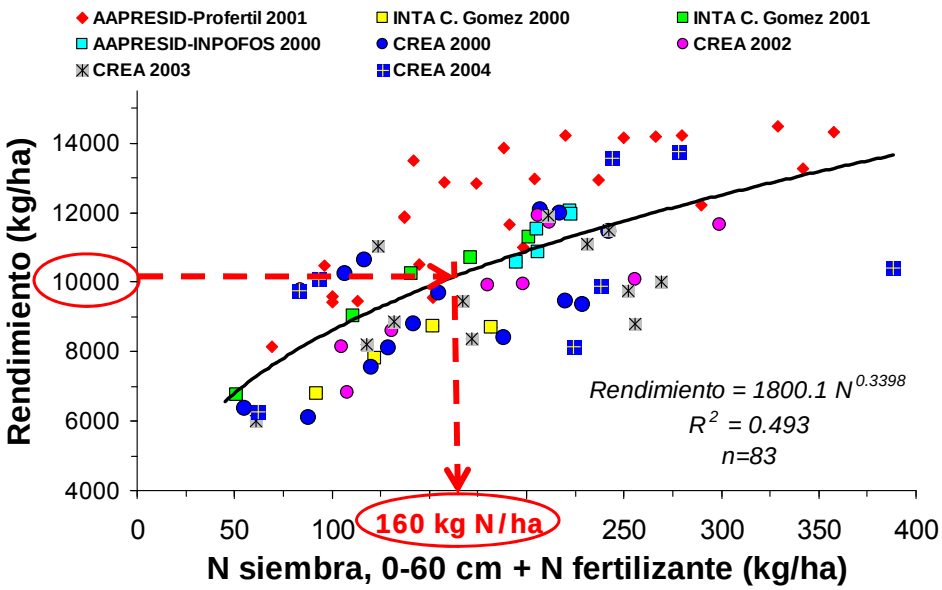
| SOJA - Momentos de Aplicación del N<br>( 2 sitios - Dosis de N: 80 kg/ha) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Momentos | SITIOS | | | |
| | Rafaela | | San Carlos | |
| | Promedio (kg/ha) | Incrementos | Promedio (kg/ha) | Incrementos |
| Testigo (N0) | 3.445 a | - | 3.990 a | - |
| Siembra | 3.502 ab | 57 | 3.975 a | - 15 |
| V6 | 3.546 ab | 101 | 4.055 ab | 65 |
| R3 | 3.655 ab | 210 | 4.286 b | 296 |
| R5 | 3.756 b | 311 | 4.465 b | 475 |

Fontanetto y col. (2009)

## Diagnóstico de fertilidad nitrogenada para maíz y trigo

- *Balance de N*
- ***Análisis de suelo en pre-siembra (0-60 cm)***
- *Indices de mineralización: N0 o MOP*
- *Uso de modelos de simulación: Sur, Triguero/Maicero*
- *Análisis de suelo en V5-6 (0-20 o 0-30 cm) o en macollaje*
- *Sensores remotos: Green Seeker y otros*

## 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

NO3 0-20 cm 69 ppm – 20-40 cm 32 ppm – 40-60 cm 22 ppm

*4.4 NO3 por cada N*

N-NO3
0-20 cm 16 ppm – 20-40 cm 7 ppm – 40-60 cm 5 ppm

*Densidad aparente de 1.1, 1.2 y 1.2 ton/m3*

N-NO3
0-20 cm 35 kg/ha – 20-40 cm 17 kg/ha– 40-60 cm 12 kg/ha
Total 64 kg/ha

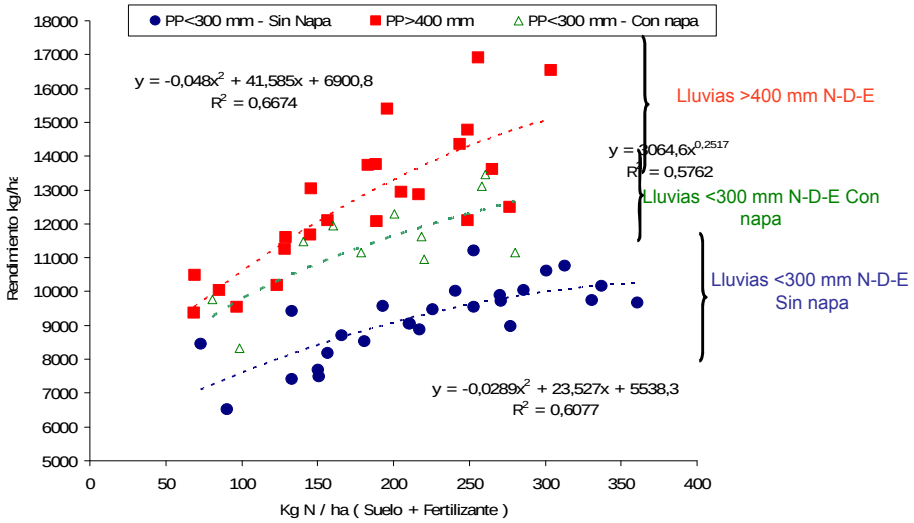
Objetivo 160 kg/ha – Análisis 64 kg/ha = 96 kg/ha N fertilizante

Rendimiento fertilizado 10000 kg/ha - Sin fertilizar 7400 kg/ha
2600 kg/ha → U$338 (Maíz a U$130/ton)
Costo → U$115 (Urea de U$550/ton)
Beneficio de U$223

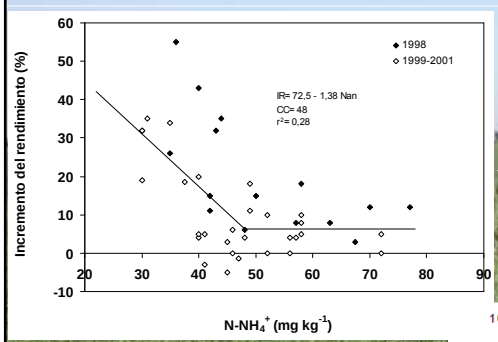
## CREA Monte Maíz y Monte Buey-Inriville

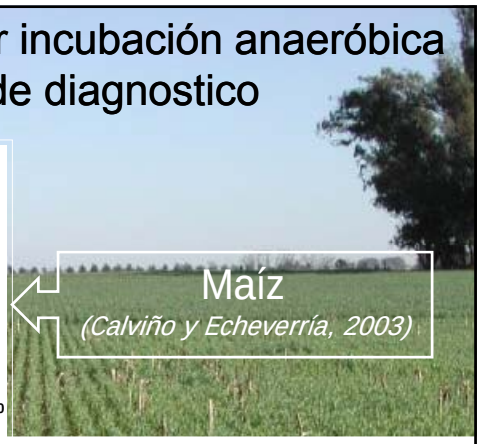
Campañas 2003/04, 2004/05 y 2005-06

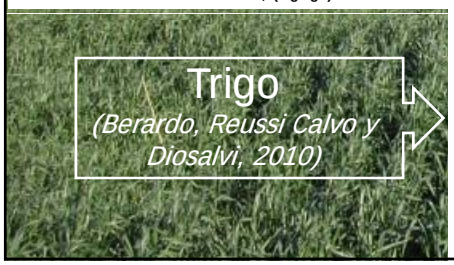
Respuesta de **N** en Maíz dependiendo lluvias en el periodo critico

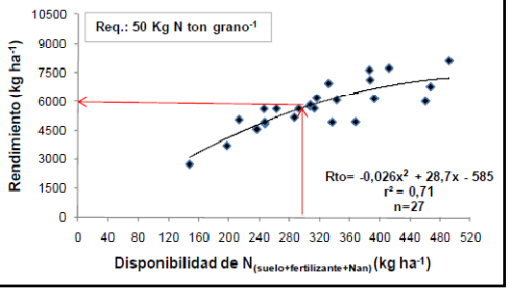



## N-amonio acumulado por incubación anaeróbica como método de diagnostico



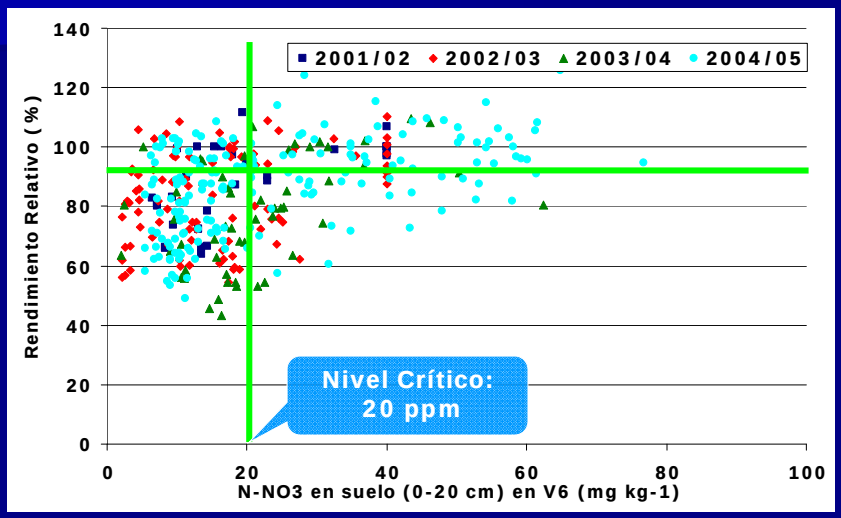



# Fertilización N en Maíz

**Red de Ensayos AAPRESID-Profertil 2001/02 – 2004/05**
**23 sitios en Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, y Santa Fé**




***Bianchini, 2005***

## Maíz: Dosis de N a aplicar según análisis de nitratos al estado V5-6

IPNI

**Dosis de N (kg/ha) = (NC – CS) x F**

*NC = nivel crítico (20-25 ppm N-$NO_3^-$)*

*CS = concentración de N-$NO_3^-$ en el suelo (ppm)*

*F = factor de conversión ≈ 8-13 kg N/ha por ppm N-$NO_3^-$ en el suelo*

***Ejemplo***
*Dosis de N (kg/ha) = (22 ppm – 16 ppm) x 10 kg N/ppm = 60 kg/ha de N o 130 kg/ha de urea*

***Valor del factor de conversión (F)***

- *Blackmer et al. (1997) para Iowa (EE.UU.): 9 kg N/ha por ppm N-$NO_3^-$*
- *Echeverría et al. (2005) para el sudeste de Buenos Aires: 8-10 kg N/ha por ppm N-$NO_3^-$*
- *Bianchini et al. (2005) para Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe: 12-13 kg N/ha por ppm N-$NO_3^-$ (0-20 cm)*

## 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 absorcion de N y el rendimiento de maíz

*Melchiori y col. 2005 y 2009 - EEA INTA Paraná*

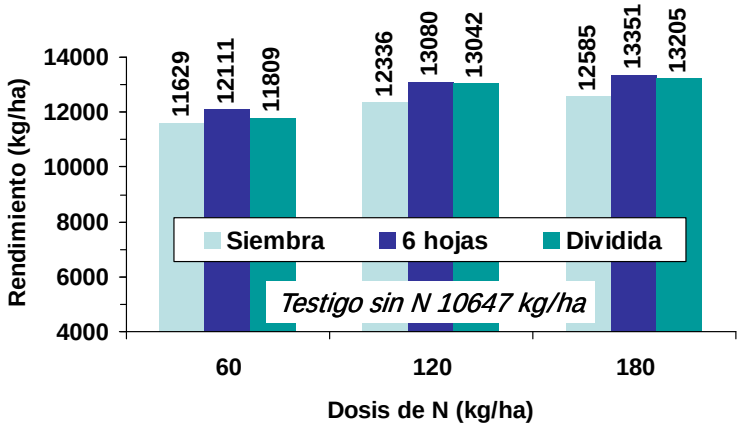
## Fertilizantes nitrogenados
## Momento, Formas y Fuentes de aplicación

- **Maíz**
  - **Aplicaciones en 5-6 hojas son más eficientes bajo condiciones húmedas entre la siembra y la aplicación**
  - **Aplicaciones a la siembra presentan similares eficiencias con bajas precipitaciones entre la siembra y 5-6 hojas**
- **Trigo**
  - **Aplicaciones al macollaje o divididas son más eficientes bajo condiciones húmedas entre la siembra y el final del macollaje**
  - **Aplicaciones a la siembra presentan mayores eficiencias en condiciones secas entre la siembra y fin de macollaje**
- **La incorporación es la forma de aplicación más eficiente de cualquier fuente nitrogenada.**
- **Aplicaciones superficiales con temperaturas medias del aire mayores de 15ºC durante 3-4 días resultan en pérdidas por volatilización de amoníaco a partir de fertilizantes que contengan urea.**
- **En aplicaciones superficiales de urea sobre un suelo/rastrojo seco, las pérdidas por volatilización son prácticamente nulas.**
- **Las pérdidas por volatilización e inmovilización serán potencialmente mayores a mayor cobertura de residuos.**
- **La aplicación en bandas superficiales concentradas de UAN o urea en superficie reduce el riesgo de volatilización y la inmovilización.**

# Maíz: Momentos de Aplicación del N

***Gudelj y col. – EEA INTA Marcos Juárez***

***Promedios de 6 lotes en Marcos Juárez - 2000/01***

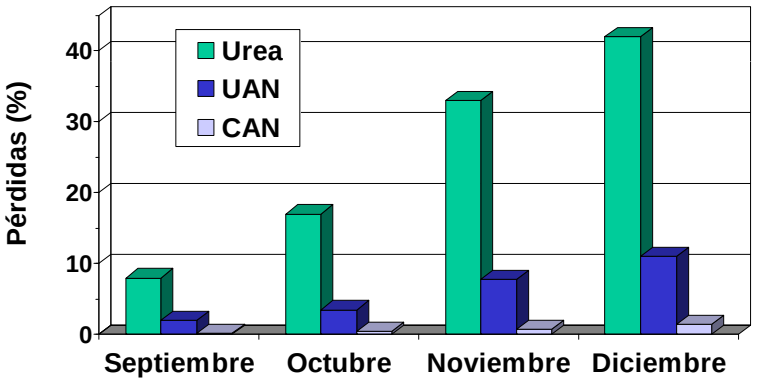



*Diferencias significativas Siembra vs. 6 hojas en 3 de los 6 lotes*

- *Siembras del 7 al 11/10/00 – Precipitaciones Siembra-6 hojas de 256 mm*
- *Aplicación de N como urea: al voleo a la siembra e incorporada a las 6 hojas*
- *66 mm de precipitación inmediatamente después de la aplicación a la siembra*

**Volatilización de amoníaco**
**a partir de distintas fuentes nitrogenadas**

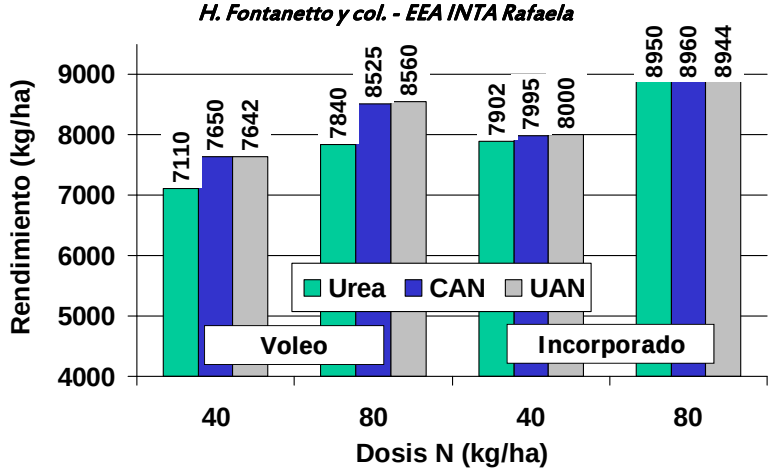
***EEA INTA Rafaela - Fontanetto (1999)***




***Dosis de 50 kg/ha de N al Voleo en Siembra Directa***

## Maíz : Fuentes Nitrogenadas y Método de Aplicación bajo Siembra Directa

**Aplicación a la 5-6ª Hoja**
**San Carlos (Santa Fe) – Campaña 2002/03**
***H. Fontanetto y col. - EEA INTA Rafaela***



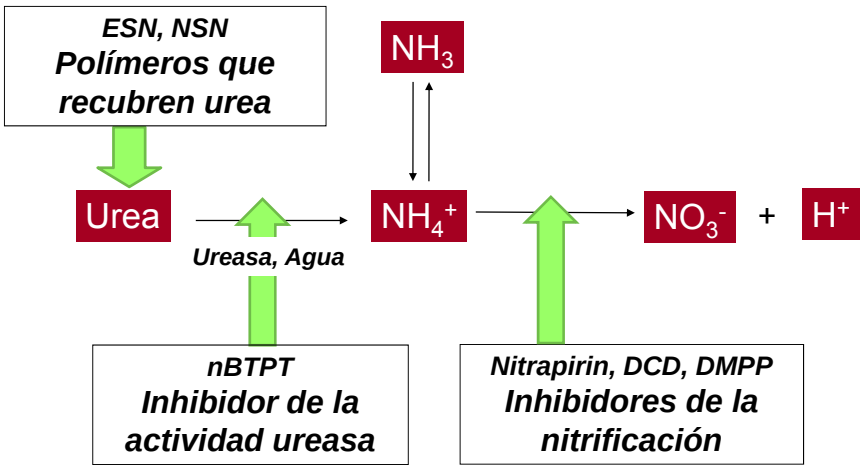

***Testigo sin Nitrógeno 6720 kg/ha***

## Nuevos productos fertilizantes

### Fertilizantes de liberación lenta o estabilizados

- **Cubiertos con polímeros**: N (*ESN®, NSN®*) o P (*Avail®*)
- **Inhibidores de la ureasa**: NBPT (*Agrotain, Urea GreenVC Plus®, eNe Total®*)
- **Inhibidores de la nitrificación**: DMPP (*Entec®*), nitrapirin, o DCD *(Super U®*)

## Efectos de inhibidores en fertilizantes nitrogenados modificados




## Inhibidores de la ureasa

Maíz de primera en Rafaela (Santa Fe)

*Fontanetto, Bianchini y col., 2007/08*

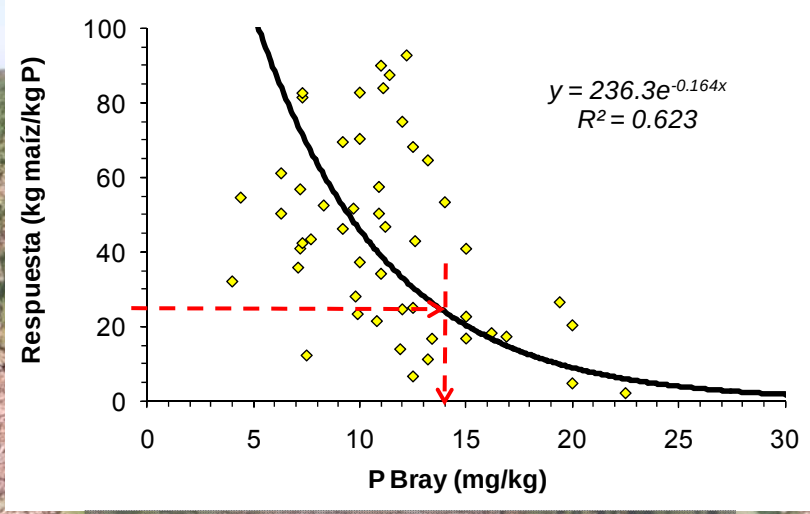
| Tratamiento | Perdidas N-$NH_3$ | Rendimiento | Eficiencia agronómica |
|---|---|---|---|
| | % | kg/ha | kg maíz/kg N |
| Testigo | - | 7334 | - |
| Urea 70N | 10 | 8381 | 15 |
| Urea 140N | 25 | 9623 | 16 |
| Urea 70N + NBTPT | 4 | 9166 | 26 |
| Urea 140N + NBTPT | 6 | 10368 | 22 |

# ¿Cómo deberíamos manejar fósforo?

- Conocer el nivel de P Bray según análisis de suelo

# Fósforo en maíz

***Recopilado de información de 56 ensayos de Región Pampeana***
***INTA, FA-UBA y CREA Sur de Santa Fe (1997-2008)***

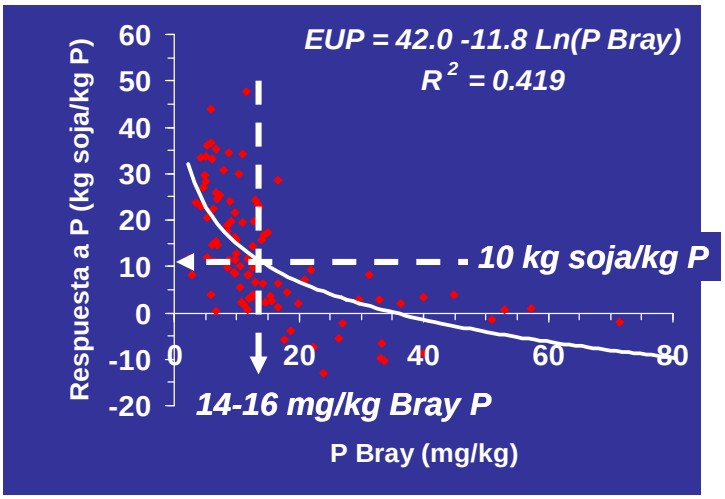



*Para un costo de indiferencia de 20-30 kg maíz/kg P, el nivel crítico de P Bray sería de 13-15 mg/kg*

# Respuesta a P en Soja

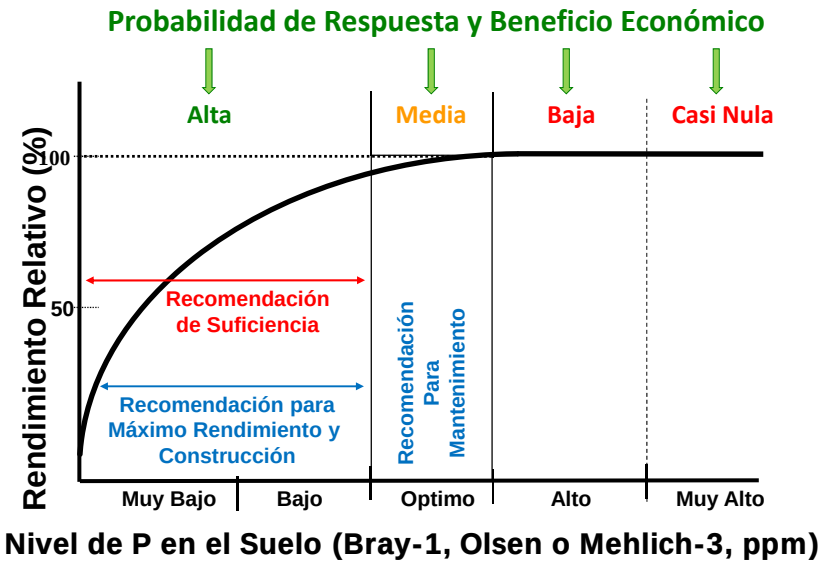
***101 ensayos Región Pampeana Argentina (1996-2004)***

***Fuente: INTA, Proyecto INTA Fertilizar, FA-UBA, FCA-UNER y CREA Sur de Santa Fe***



# ¿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*

*Filosofías de Manejo de la Fertilización de nutrientes de baja movilidad*

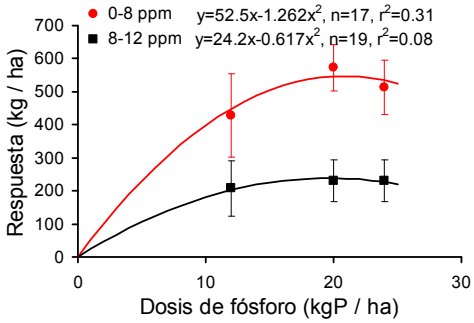
## 1. Suficiencia o Respuesta Estricta

- Hay un nivel critico de análisis de suelo, deficiencia o suficiencia.
- Se fertiliza por debajo del nivel critico, si la respuesta es probable.
- Para cada nivel debajo del nivel crítico distintas dosis determinan el óptimo rendimiento físico o económico.
- No consideran efectos de la fertilización en los niveles de nutriente en el suelo.

***Mallarino, 2006***

## Soja: Dosis óptima económica (suficiencia)

*Elaborado por Gutiérrez Boem (2008)*

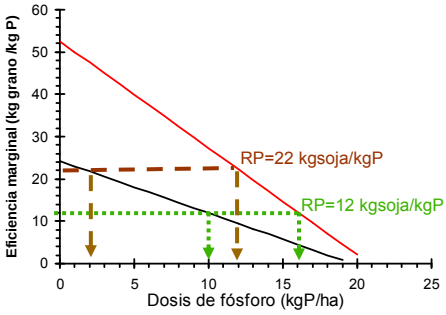



Cada punto es el promedio de 5 a 7 ensayos

**Eficiencia marginal**: es el aumento de rendimiento por kg de P adicional (la pendiente de la curva de respuesta)

Fuente: Echeverría et al., 2002; Calviño & Redolatti, 2004

Dosis óptima económica: eficiencia marginal = relación de precios




La eficiencia marginal cae a mayor dosis:

Ef (0-8ppm) = 52.5 – 2.524 P

Ef (8-12ppm) = 24.2 – 1.234 P

*Filosofías de Manejo de la Fertilización de nutrientes de baja movilidad*

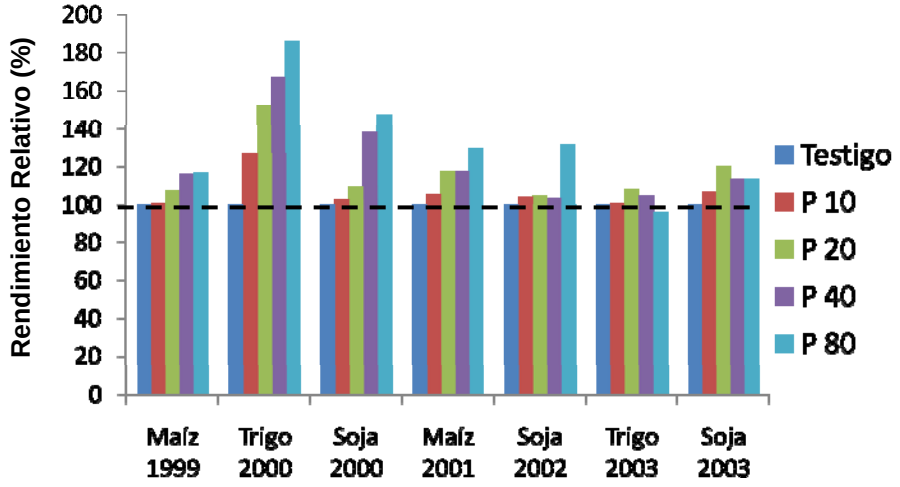
## 2. Subir al Nivel Deseado y Mantenerlo

- No se debe trabajar en la zona de deficiencia grave y probable.
- Si el nivel de P o K es bajo, se fertiliza no solo para alcanzar el máximo rendimiento, sino para asegurar que se sube el nivel inicial.
- Llegar al óptimo nivel en 4 a 6 años y mantenerlo, generalmente basado en la remoción de nutriente con las cosechas.

***Mallarino, 2006***

## Residualidad de Fósforo

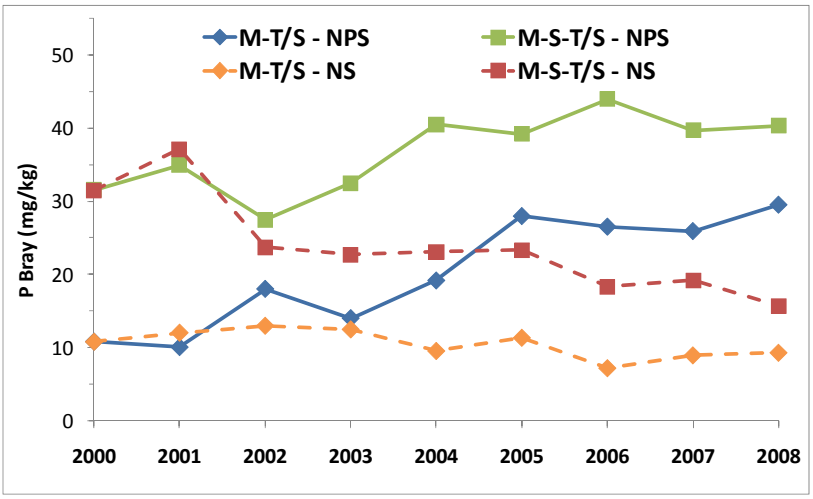
### INTA 9 de Julio (Buenos Aires) - Suelo Hapludol típico




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

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

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

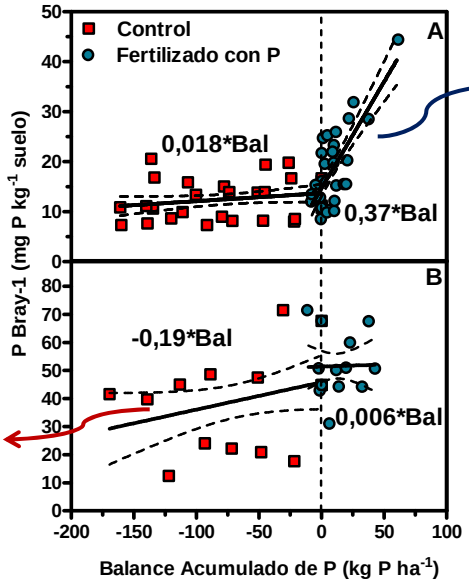



***Dosis P: Remoción en granos + 5-10%***

***Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP***

## Relación entre el Balance de P en suelo y el P extractable Bray P-1

Suelos < 20 ppm




*El P Bray aumenta aproximadamente 4 ppm por cada 10 kg P de balance positivo*

*El P Bray disminuye aproximadamente 2 ppm por cada 10 kg P de balance negativo*

Suelos > 40 ppm

*Fuente: Ciampitti (2009) Red CREA Sur de Santa Fe (CREA-IPNI-ASP)*

## Algunas consideraciones sobre aplicación de P

- ✓ P en bandas a la siembra o alternativa al voleo pre-siembra bajo siembra directa
- ✓ Las fuentes fosfatadas solubles presentan similares eficiencias de uso (FDA, FMA, SFT o SFS)

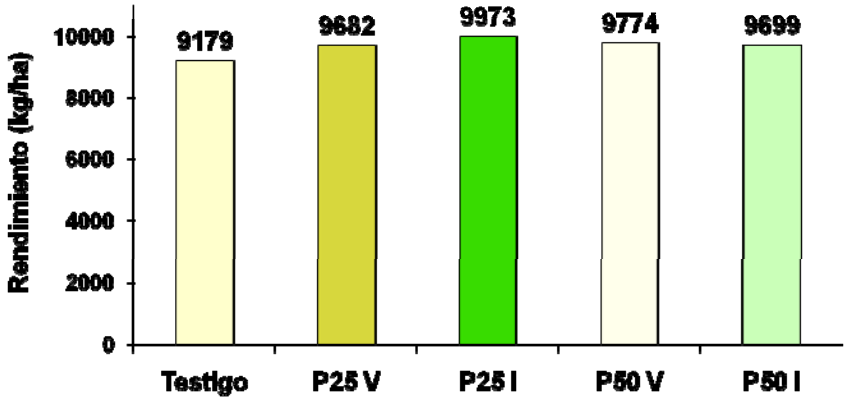
## ¿Cuándo el P al voleo puede funcionar como el bandeado?

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)***

## Métodos de aplicación de P en maíz bajo siembra directa

**Red AAPRESID-Cargill – Bianchini et al. (2004)**

*Promedios de seis sitios en Región Pampeana Argentina*
*P Bray al inicio de 8.3 a 22.4 mg/kg*

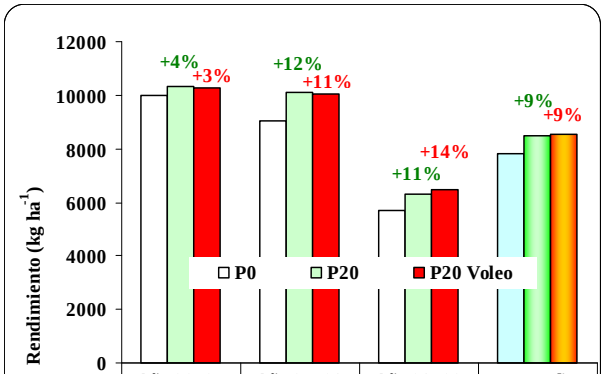



***I = Incorporado en líneas  V = al voleo anticipado***

## Bandas vs. Voleo en Maíz

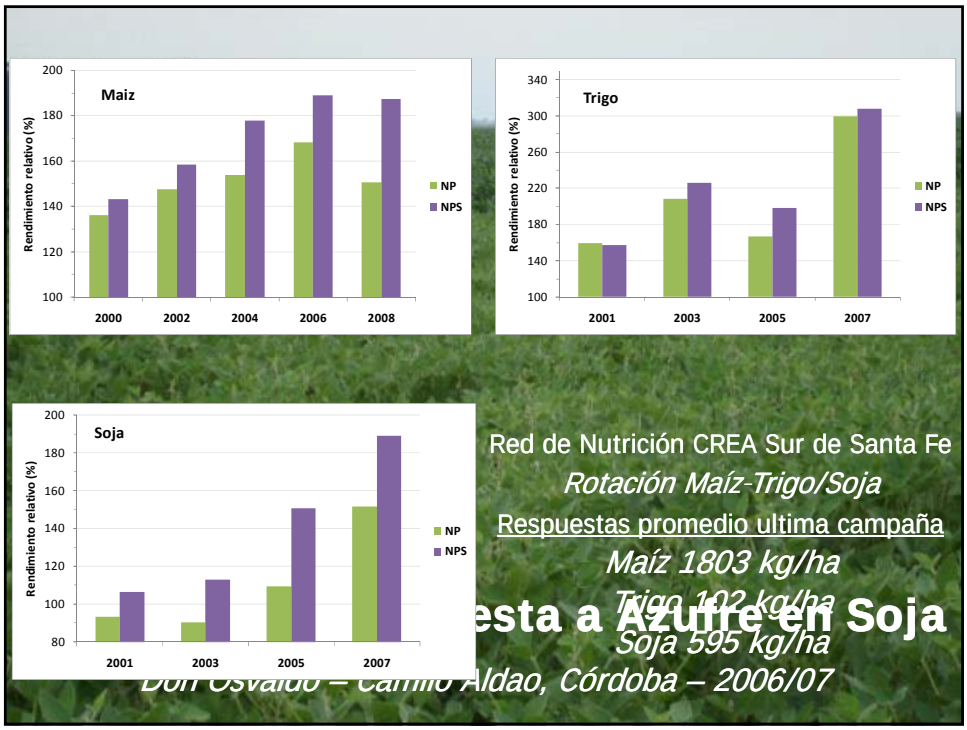
*Ferraris et al., 2009 - Desarrollo Rural INTA Pergamino*

**Campañas 2006/07 a 2008/09. Media=11,8 ppm. Mediana 8,8 ppm. Rango=2,7-63 ppm**




| | Año 06_07 (n=6) | Año 07_08 (n=5) | Año 08_09 (n=8) | Promedio (n=18) |
|---|---|---|---|---|
| P0 | 9971 | 9055 | 5678 | 7809 |
| P20 | 10352 | 10105 | 6303 | 8484 |
| P20 Voleo | 10291 | 10034 | 6469 | 8521 |

Respuesta a Azufre en Soja
INTA Casilda - Santa Fe - 1998/99


Maiz
Rendimiento relativo (%)
200
180
160
140
120
100
2000
2002
2004
2006
2008
NP
NPS
Trigo
Rendimiento relativo (%)
340
300
260
220
180
140
100
2001
2003
2005
2007
NP
NPS
Soja
Rendimiento relativo (%)
200
180
160
140
120
100
80
2001
2003
2005
2007
NP
NPS
Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe
Rotación Maíz-Trigo/Soja
Respuestas promedio ultima campaña
Maíz 1803 kg/ha
Trigo 102 kg/ha
Soja 595 kg/ha
esta a Azufre en Soja
Don Osvaldo – Camilo Aldao, Córdoba – 2006/07

# Respuesta a S en Soja I

| Zona y Campaña | Sitios con respuesta/Total sitios |
|---|---|
| Centro-Sur de Santa Fe, 2000/01 | 8/11 |
| Región Pampeana, 2000/01 y 2001/02 | 10/47 |
| Sur de Sta Fe y SE de Córdoba, 2003/04 | 17/44 |
| Sur de Sta Fe y SE de Córdoba, 2004/05 | 2/5 |
| Sur de Sta Fe y SE de Córdoba, 2003/04 | 2/4 |

*De un total de 146 ensayos, 59 sitios mostraron respuestas significativas (40%)*

***Dosis de 10-15 kg S por ha***

***Respuesta de indiferencia de 50-75 kg/ha de soja***

***Respuestas de 300 a 800 kg/ha según sitio***

## Situaciones de deficiencia de azufre

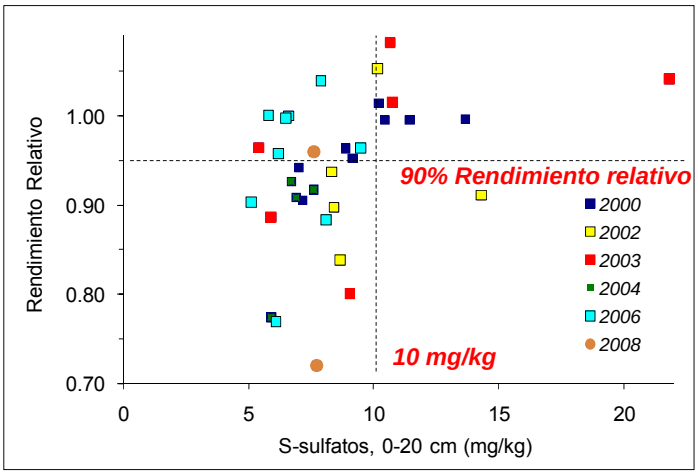
- Suelos con bajo contenido de materia orgánica, suelos arenosos
- Sistemas de cultivo mas intensivos, disminución del contenido de materia orgánica

## Diagnóstico de deficiencia de azufre

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

# Maíz

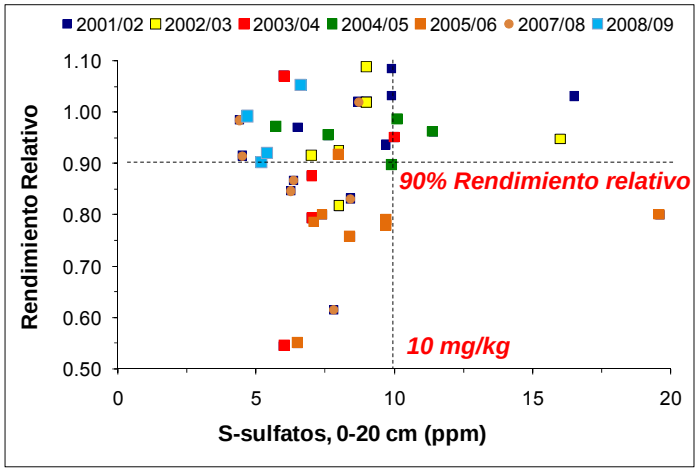
## Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe




- *El 64% de los sitios con S-sulfatos a 0-20 cm a la siembra de maíz inferior a 10 mg/kg mostro respuestas en rendimiento mayores al 5%*
- *El 89% de los sitios con S-sulfatos mayor a 10 mg/kg, no presento respuestas significativas*

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

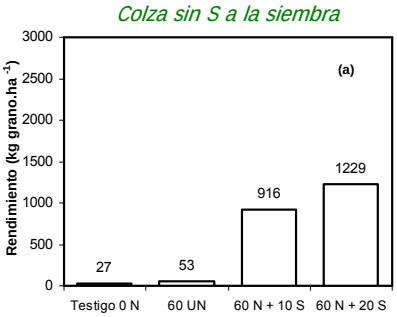
# Soja I y II
## Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

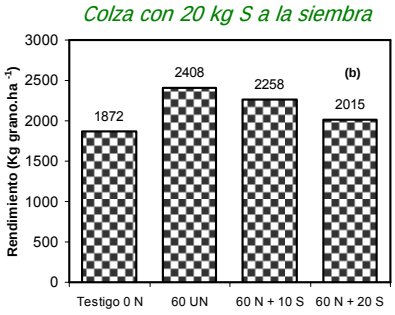



- *El 48% de los sitios con S-sulfatos a 0-20 cm a la siembra de la soja de primera o del trigo inferior a 10 mg/kg mostro respuestas en rendimiento mayores al 10%*
- *El 80% de los sitios con S-sulfatos mayor a 10 mg/kg, no presento respuestas significativas*

Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP

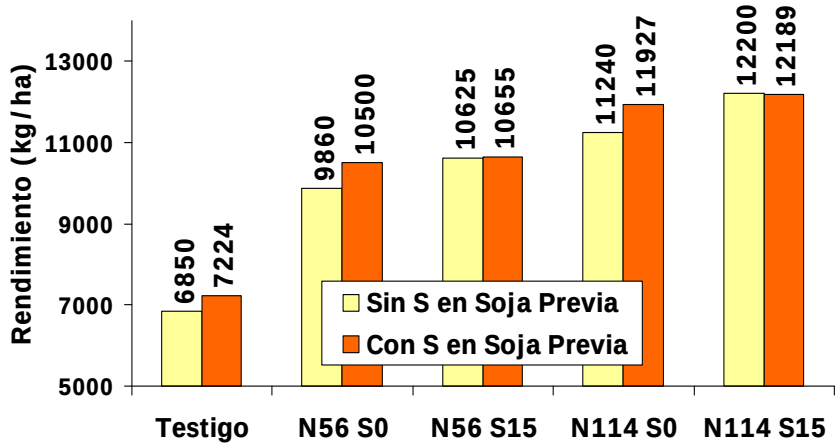
# Respuesta a la fertilización con azufre en el cultivo de colza en suelos del litoral norte de Uruguay
*Mazzilli y Hoffman (2010)*



## Residualidad de S aplicado en Soja sobre Maíz

*Fontanetto y col. – EEA INTA Rafaela (2001/02)*




| | Testigo | N56 S0 | N56 S15 | N114 S0 | N114 S15 |
|---|---|---|---|---|---|
| *Respuesta residual a S* | *374* | *640* | *30* | *687* | *-11* |

*Todas las parcelas con P20*

## Algunas consideraciones sobre aplicación de S

- Las aplicaciones de S pueden realizarse al voleo o en línea.
- Las fuentes azufradas que contienen sulfatos presentan similares eficiencias de uso: sulfatos de amonio, potasio, magnesio o magnesio-potasio; superfosfato simple, tiosulfato de amonio.
- El yeso, de menor solubilidad, debe aplicarse en partículas de tamaño pequeño para permitir un buen contacto con el suelo y facilitar su disolución. Considerar la calidad del yeso a utilizar

## Fertilizantes azufrados

| Fertilizante | Azufre | Otros elementos |
|---|---|---|
| | % | % |
| S elemental | 85-100 | |
| Sulfato de calcio (Yeso) | 15-19 | |
| Sulfato de amonio | 24 | 21 N |
| Sulfato de magnesio y potasio | 22 | 11 Mg 22 $K_2O$ |
| Sulfonitrato de amonio | 14 | 26 N |
| Sulfato de magnesio | 23 | 10 Mg |
| Sulfato de potasio | 17-18 | 50 $K_2O$ |
| Superfosfato simple | 12-14 | 20 $P_2O_5$ |
| Superfosfato triple | 1.5 | 46 $P_2O_5$ |
| Tiosulfato de amonio | 26 | 12 N |

# Uruguay

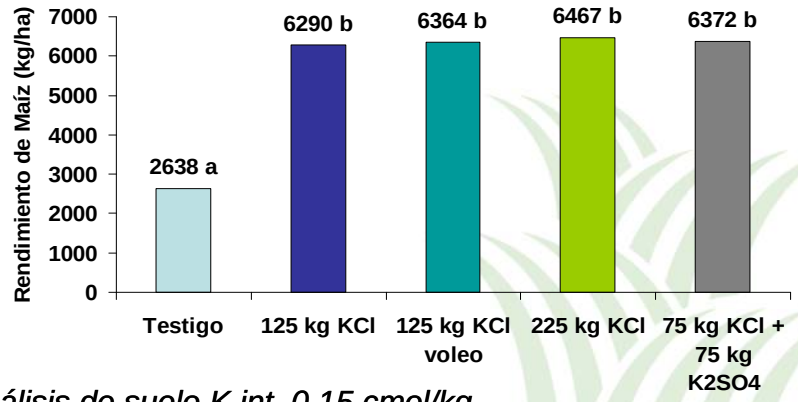
Exploración de deficiencias de K en maíz y sorgo en la región oeste

*Problemas detectados en 2005/06*

*Ensayo en 2006/07*
*en V. Constitución (Salto)*

## Ensayo K en Maíz

*Va. Constitución (Uruguay) - Campaña 2006/07*
*Cano y Ernst – Facultad de Agronomía (UdelaR)*

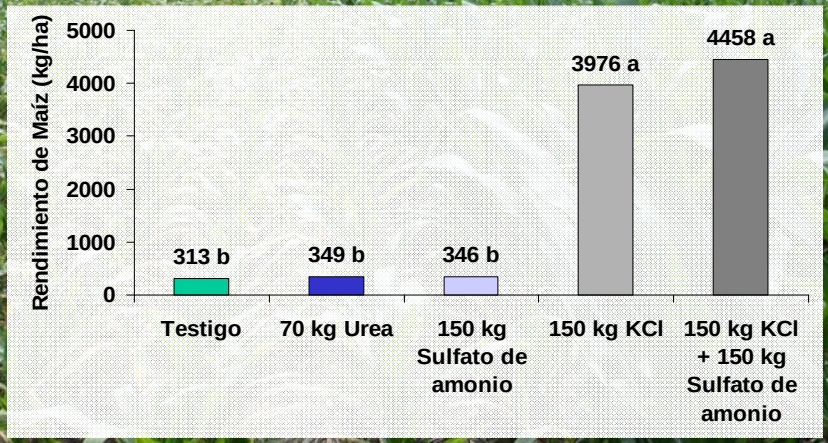



- *Análisis de suelo K int. 0.15 cmol/kg*
- *Fecha de siembra: 12/10/06.*
- *Híbrido: Mass 504 MGCL.*
- *Fertilización de base de 150 kg (12-52) al voleo.*

IPNI

## Ensayo Potasio en Maíz - Young (Uruguay)
## Cano et al. (2007/08)

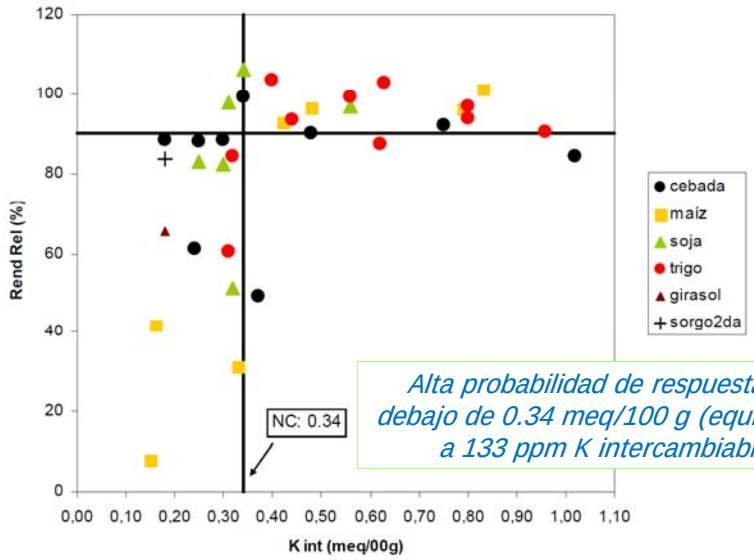
(La Macarena)



## Calibración para Potasio en Uruguay

*Barbazán (2009)*

*a partir de información de 34 ensayos de Bautes y Beux; Garcia y Quincke; y Cano y col.*



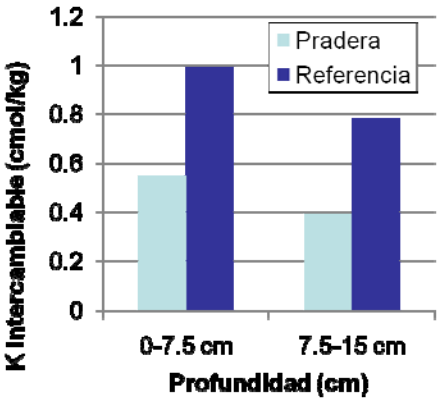

*Alta probabilidad de respuesta por debajo de 0.34 meq/100 g (equivalente a 133 ppm K intercambiable)*

## 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

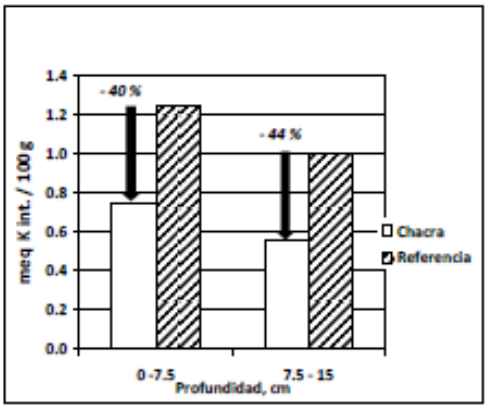
*K intercambiable en 30 predios lecheros de Florida*




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

## Estado de K del suelo
## 48 chacras bajo cultivo en el Departamento Soriano

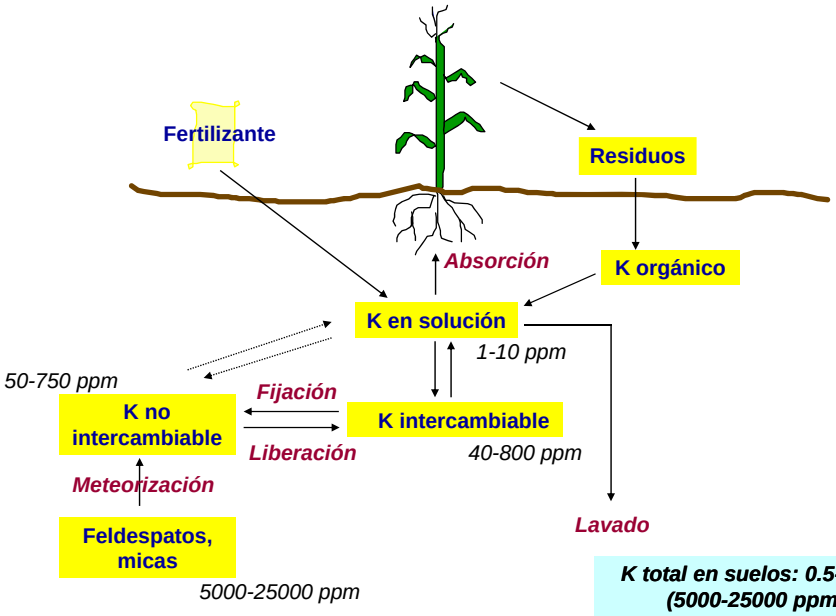
*Moron y Quincke (2010)*




*Caídas del 40%-44% del K intercambiable, respecto de la referencia*

## Ciclo del potasio en ecosistemas agrícolas

*(Adaptado de Havlin et al., 1999)*




***K total en suelos: 0.5-2.5% (5000-25000 ppm)***

# Potasio

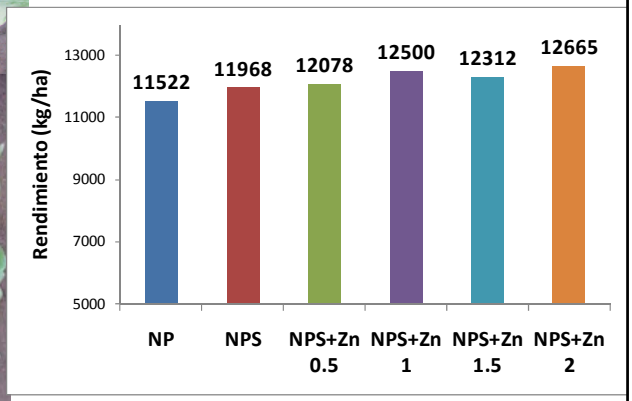
## *Requerimientos de los cultivos*

| Cultivo | Absorción | Indice de Cosecha | Extracción |
|---|---|---|---|
| | kg K/ton | | kg K/ton |
| Soja | 35 | 0.49 | 17 |
| Trigo | 17 | 0.21 | 3.5 |
| Maíz | 17 | 0.21 | 3.5 |
| Girasol | 26 | 0.19 | 5.1 |
| Caña de Azúcar | 5.5 | | |
| Alfalfa | 21 | | |

## Deficiencias de K en soja

# Zinc en Maíz

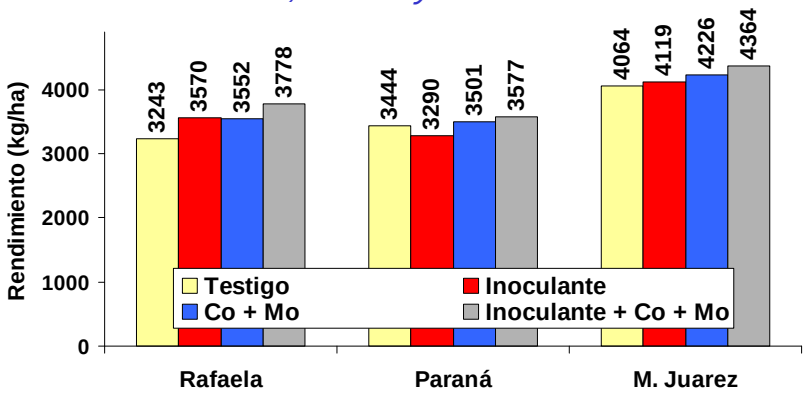
*Promedios de seis ensayos en Córdoba, Buenos Aires y Santa Fe*
*Campaña 2009/10*




*Fuente: Mosaic-IPNI*

## Efecto de la inoculación y Co + Mo sobre los rendimientos de soja

*EEA INTA Rafaela, Paraná y Marcos Juárez - 2004/05*




***Respuestas Promedio***

| | |
|---|---|
| ***Inoculación*** | ***76 kg/ha*** |
| ***Co + Mo*** | ***176 kg/ha*** |
| ***Inoculación + Co + Mo*** | ***323 kg/ha*** |

## Boro Foliar en Soja de Segunda

*San Carlos (Santa Fe)*

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

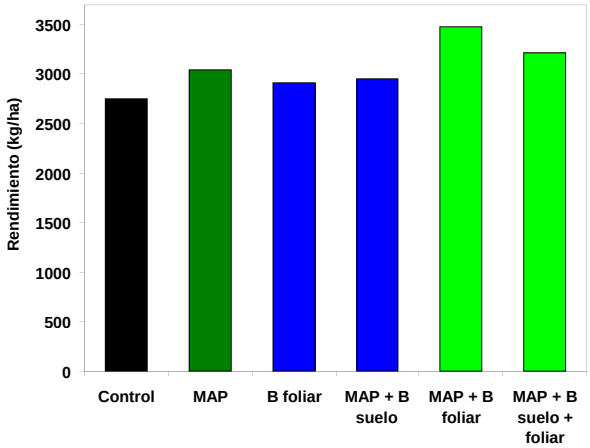
| Variable | Testigo | B foliar en R2-3 |
|---|---|---|
| Rendimiento (kg/ha) | 3068 b | 3303 a |
| Materia grasa (%) | 19.0 | 19.6 |
| Proteína (%) | 37.2 | 37.7 |
| Flores/planta 15 días luego R4 | 39 | 42 |
| Vainas/planta 15 días luego R4 | 88 b | 133 a |

- *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*

# BORO en GIRASOL

*Foto M. Díaz Zorita*

## Girasol. Fertilización con Boro en la región oeste pampeana (Prom. de 3 sitios)




Mejoras en producción con aplicaciones foliares de B.

Díaz-Zorita y col. (2004)

## Fertilización del Sistema de Producción

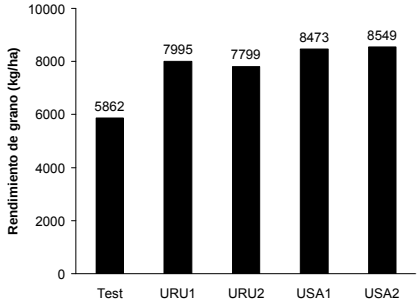
***Sustentado en la residualidad de nutrientes en formas orgánicas (N, P, S) y/o inorgánicas (P, K) en el suelo***

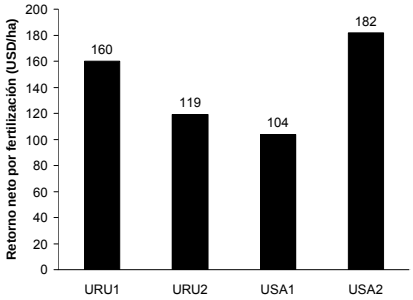
**Objetivos y Ventajas**

- ***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***

## Respuesta de maíz a fertilizaciones definidas con diferentes criterios de recomendación

Perdomo y Cardellino (2007)



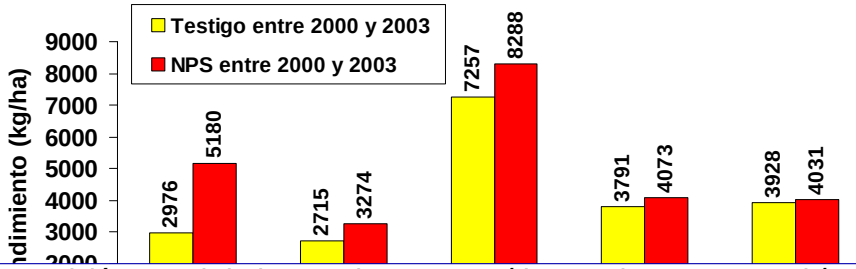




| Tratamiento | N | P | K | S | Mg | B | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | kg/ha | | | | | |
| URU1 | 84 | 27 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| URU2 | 81 | 30 | 24 | 15 | 0 | 0 | 1 |
| USA1 | 151 | 48 | 58 | 17 | 2 | 1 | 1 |
| USA2 | 147 | 22 | 14 | 1 | 1 | 0 | 0 |

*8000 kg de maíz exportan en grano 105 kg N, 21 kg P, 28 kg K, 11 kg Mg y 10 kg S*

## Residualidad de la fertilización

***Ensayo El Fortín – Gral. Arenales (Buenos Aires) – Serie Santa Isabel***
***Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe***




La reposición anual de los nutrientes extraídos por los granos podría promover un ambiente edáfico de mejor calidad para el crecimiento de los cultivos que podría explicarse por:

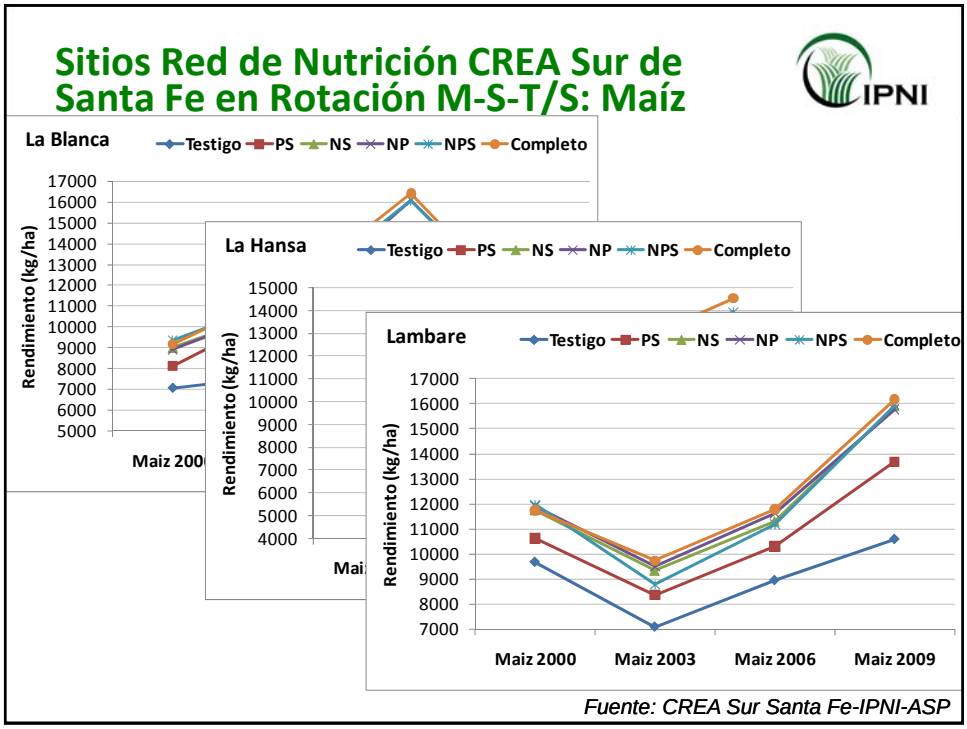
- mayores acumulaciones de rastrojo y, por lo tanto, a una mayor incorporación de carbono (C) al suelo;
- un mayor crecimiento y proliferación de raíces; y
- un mejor uso del agua (mayor infiltración, menor evaporación)

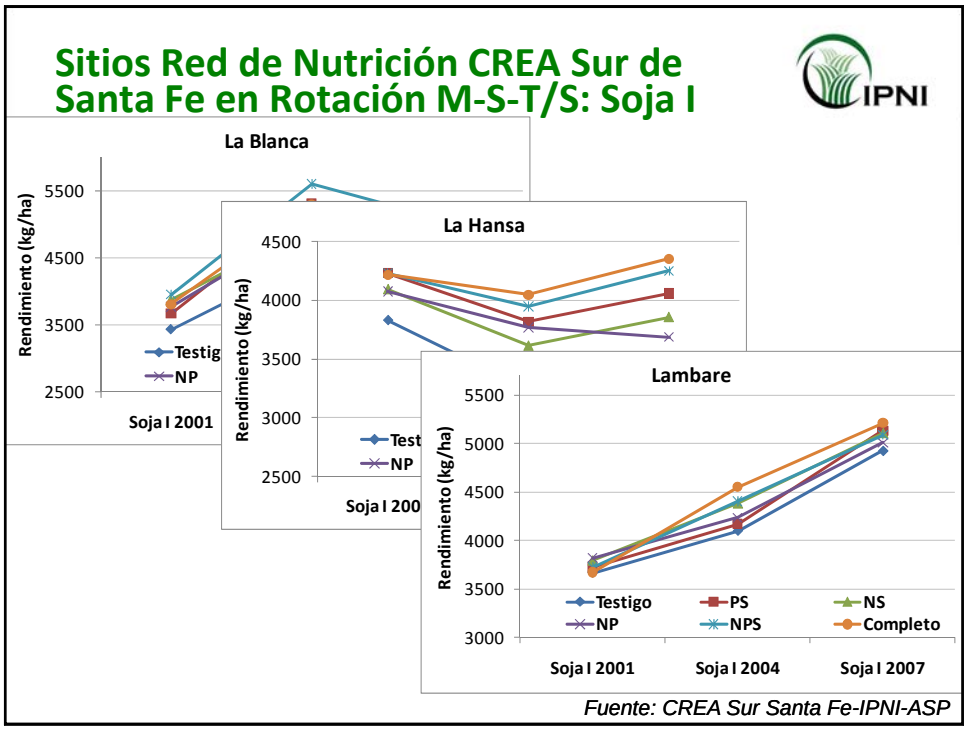
*Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP*

## Sitios Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe en Rotación M-S-T/S

| CREA | Gral. Baldissera | Armstrong-Montes de Oca | San Jorge-Las Rosas |
|---|---|---|---|
| Establecimiento | La Blanca | La Hansa | Lambaré |
| Serie Suelo | La Bélgica | Bustinza | Los Cardos |
| Años agricultura | 6 | 22 | 4 |
| *Análisis de suelo inicial (2000 o 2001)* | | | |
| MO (%) | 2.6 | 2.2 | 3.4 |
| P Bray (ppm) | 16 | 15 | 71 |
| pH | 6.6 | 5.5 | 5.6 |
| *Análisis de suelo a 2008 o 2009* | | | |
| MO (%) | 2.8/3.1 | 3.0/3.2 | 3.1/3.1 |
| P Bray (ppm) | 11/29 | 14/21 | 29/67 |
| pH | 6.5/5.9 | 6.2/6.0 | 6.1/5.9 |

*Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP*


Sitios Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe en Rotación M-S-T/S: Maíz
IPNI
La Blanca
Testigo PS NS NP NPS Completo
Rendimiento (kg/ha)
La Hansa
Lambare
Maiz 2000
Maiz 2003
Maiz 2006
Maiz 2009
Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP


Sitios Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe en Rotación M-S-T/S: Soja I
IPNI
La Blanca
La Hansa
Lambare
Rendimiento (kg/ha)
Testigo PS NS NP NPS Completo
Soja I 2001
Soja I 2004
Soja I 2007
Fuente: CREA Sur Santa Fe-IPNI-ASP

¡Muchas Gracias!
IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE
WWW.IPNI.NET/LASC
fgarcia@ipni.net