

# ALTERNATIVAS DE DIAGNÓSTICO PARA EL MANEJO NUTRICIONAL EN CULTIVOS EXTENSIVOS

**Adrián Correndo**  
**y Fernando García**

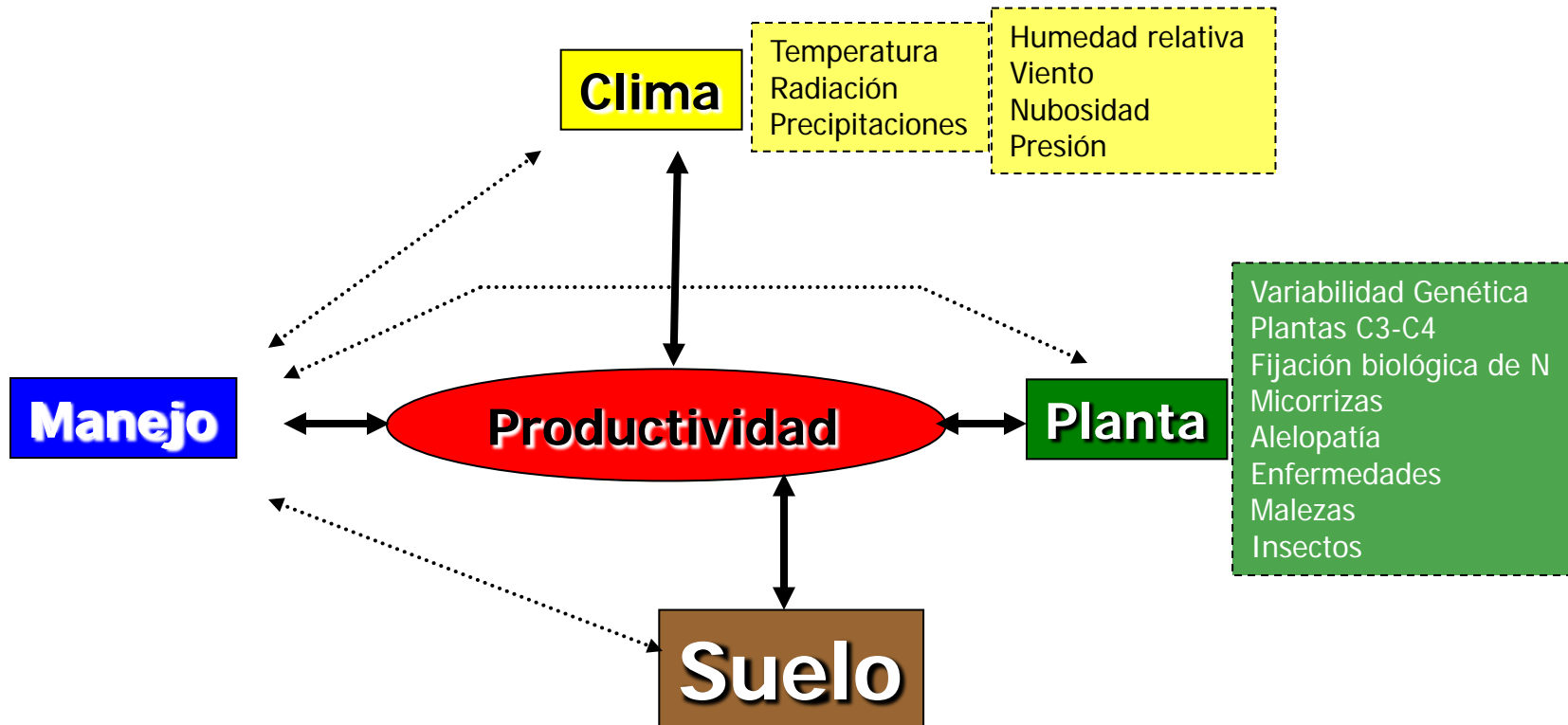
VI Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo  
8-10 Noviembre de 2012, Sucre, Bolivia



INTERNATIONAL  
**PLANT NUTRITION**  
INSTITUTE

<http://Lacs.ipni.net>

# FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS



**Propiedades Físicas:** Textura, Estructura, Densidad

**Propiedades Químicas:** disponibilidad de nutrientes, pH, Capacidad de intercambio catiónico, Saturación de bases, Oxido-reducción, Salinidad, Sodicidad

**Propiedades Biológicas:** Materia orgánica, Biomasa microbiana, Actividad biológica, Diversidad

**Erosión**

(Adaptado de Fageria et al., 1999)

# LOS CUATRO REQUISITOS DE LA NUTRICIÓN (4RS)





# Análisis De Suelos



# ANÁLISIS DE SUELOS

## Objetivos de Diagnóstico

- Proveer un **índice de disponibilidad** de nutrientes en el suelo.
- Predecir la **respuesta o probabilidad de respuesta** a la fertilización o enmienda.

## DESARROLLO

*Muestreo. Metodología de análisis.*

*Correlación. Calibración.*

*Interpretación. Recomendaciones*



Fotos: A. Rovea (Acre del Sud)

**! CONOCER LOS LOTES  
EN LOS QUE TRABAJAMOS !**



Fotos: J. Terrazas (El Tejar)



La **mayor**  
fuente de **error**  
de los análisis  
de suelo  
proviene del  
**MUESTREO**

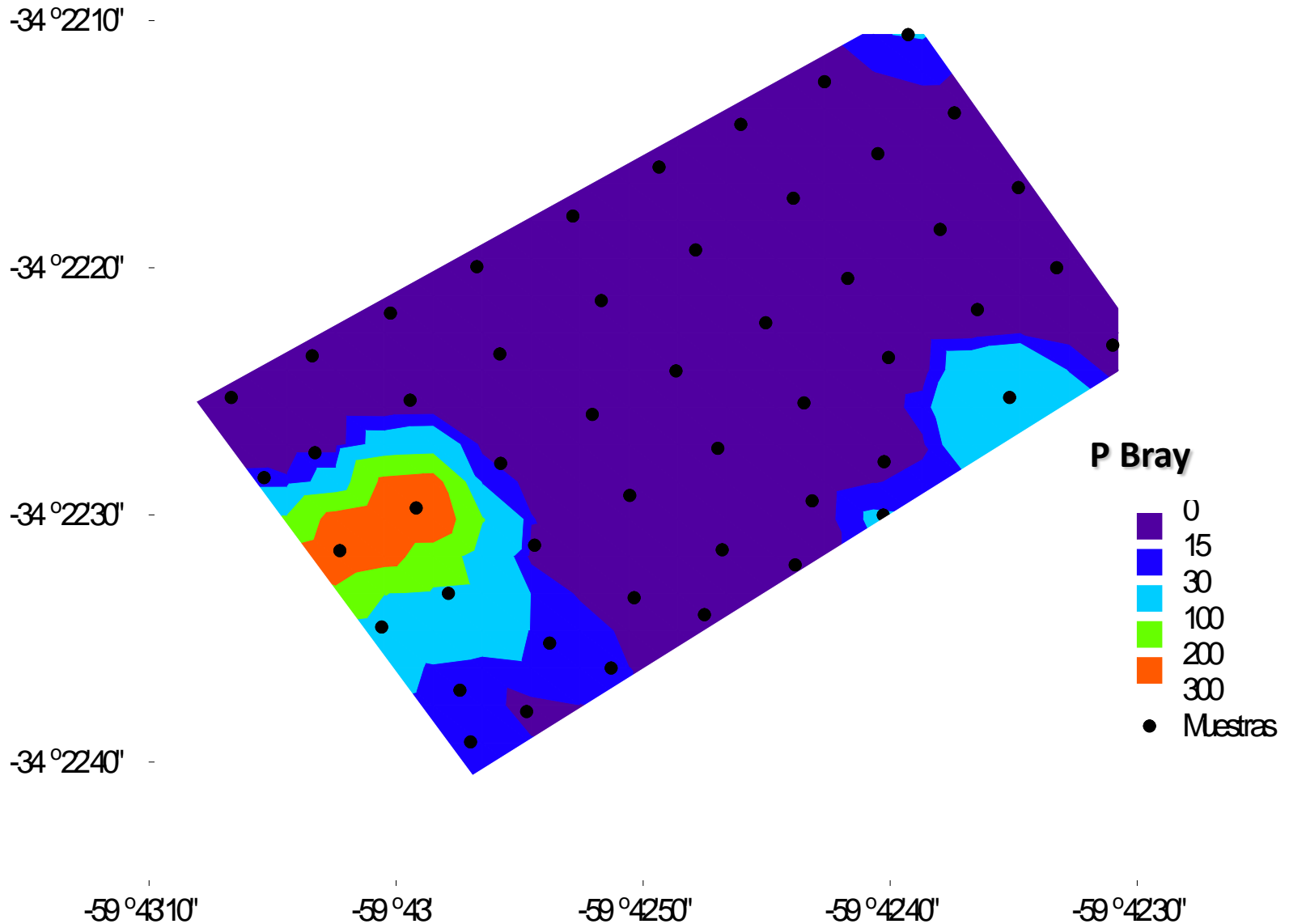


- **CONSIDERAR!!!**
  - **Representatividad** (ambientes)
  - **Número de muestras y sub-muestras**  
(precisión y exactitud)
  - **Profundidad** (movilidad del nutriente)
  - **Momento**
  - **Periodicidad**
  - **Barreno** (limpio y afilado, acero o cromado)
  - **Método de muestreo** (al azar, sistemático, grillas?)



# ANÁLISIS DE SUELOS

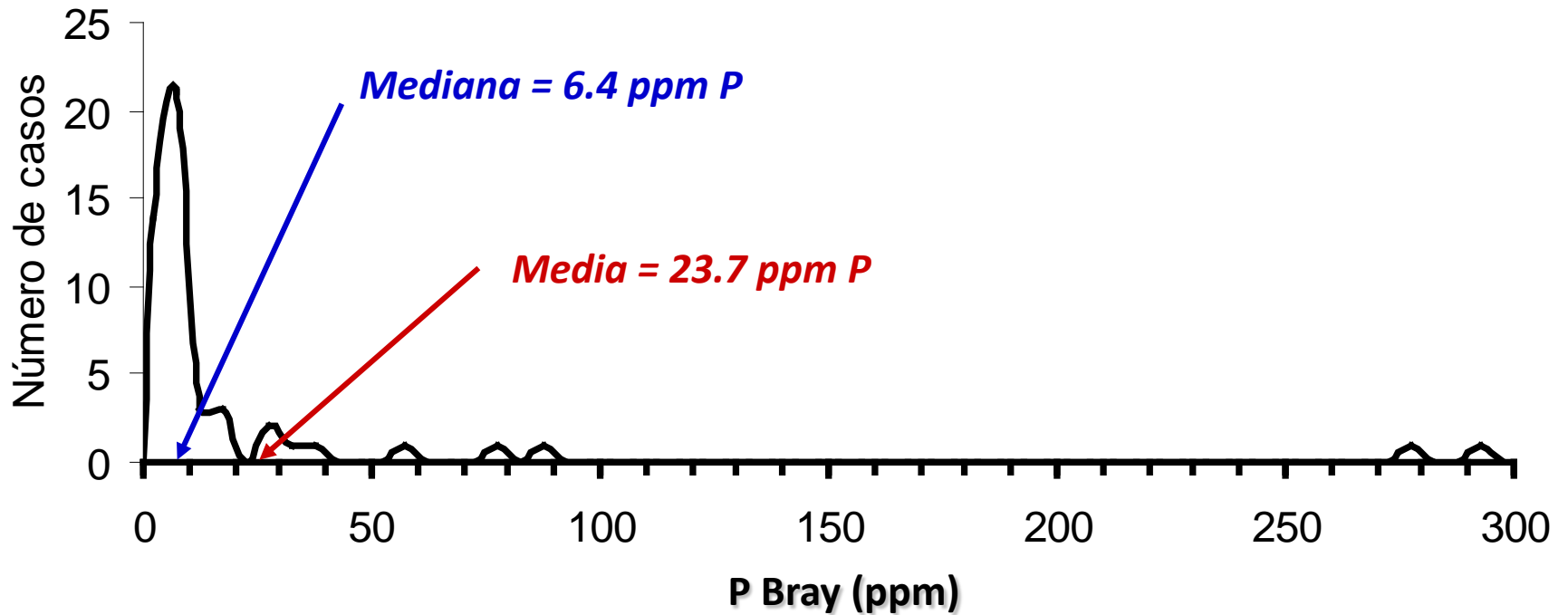
## Variabilidad



*Tomado de Gutiérrez Boem y Marasas (2004)*

# ANÁLISIS DE SUELOS

## Variabilidad



# ANÁLISIS DE SUELOS

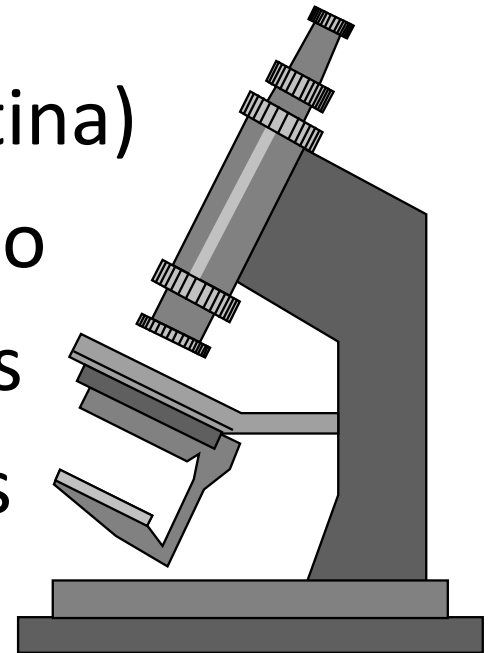
## Variabilidad

- **ATENCIÓN!!!**

- Nutrientes poco móviles (P, K, Zn)
- Historia de Manejo (siembra directa, fertilización en bandas, ganado, etc)
- Paisaje

- **OBJETIVOS COMUNES!!!**

- Altos niveles de estándar. Certificación de calidad
  - SAMLA y PROINSA (Argentina)
- **Asesorar** para muestreo correcto
- **Entregar a tiempo** de resultados
- **Facilitar la Interpretación** de los resultados.



# CORRELACIÓN-CALIBRACIÓN

Los *resultados analíticos* son de poco valor sin *investigación de campo* que correlacione los resultados y la *respuesta del cultivo*

- Disponer de **CALIBRACIONES REGIONALES**.
- Conocer los **REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES** de los cultivos
- Mantener una **FERTILIZACIÓN BALANCEADA**
- Lograr **RENDIMIENTOS ÓPTIMOS** agronómicos, económicos y ambientales

# INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUELO

Es una herramienta...

- **BUENA** para predecir la **probabilidad de respuesta de un cultivo**,
- **REGULAR** para **cuantificarla**, y
- **POBRE** para determinar la **dosis exacta**.

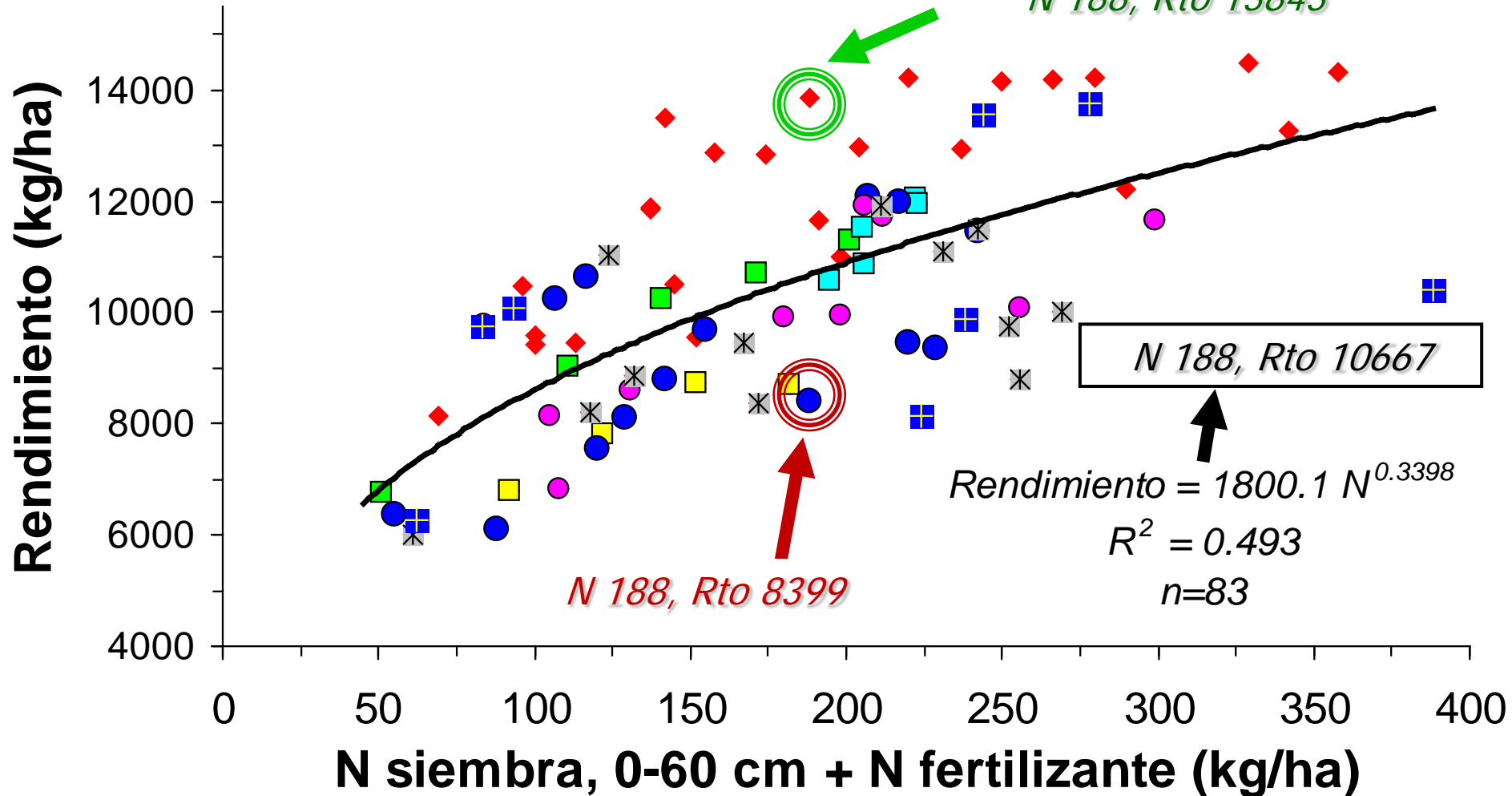
*Fixen y Grove, 1990*



# NITRÓGENO (N)

## Rendimiento de Maíz y N disponible

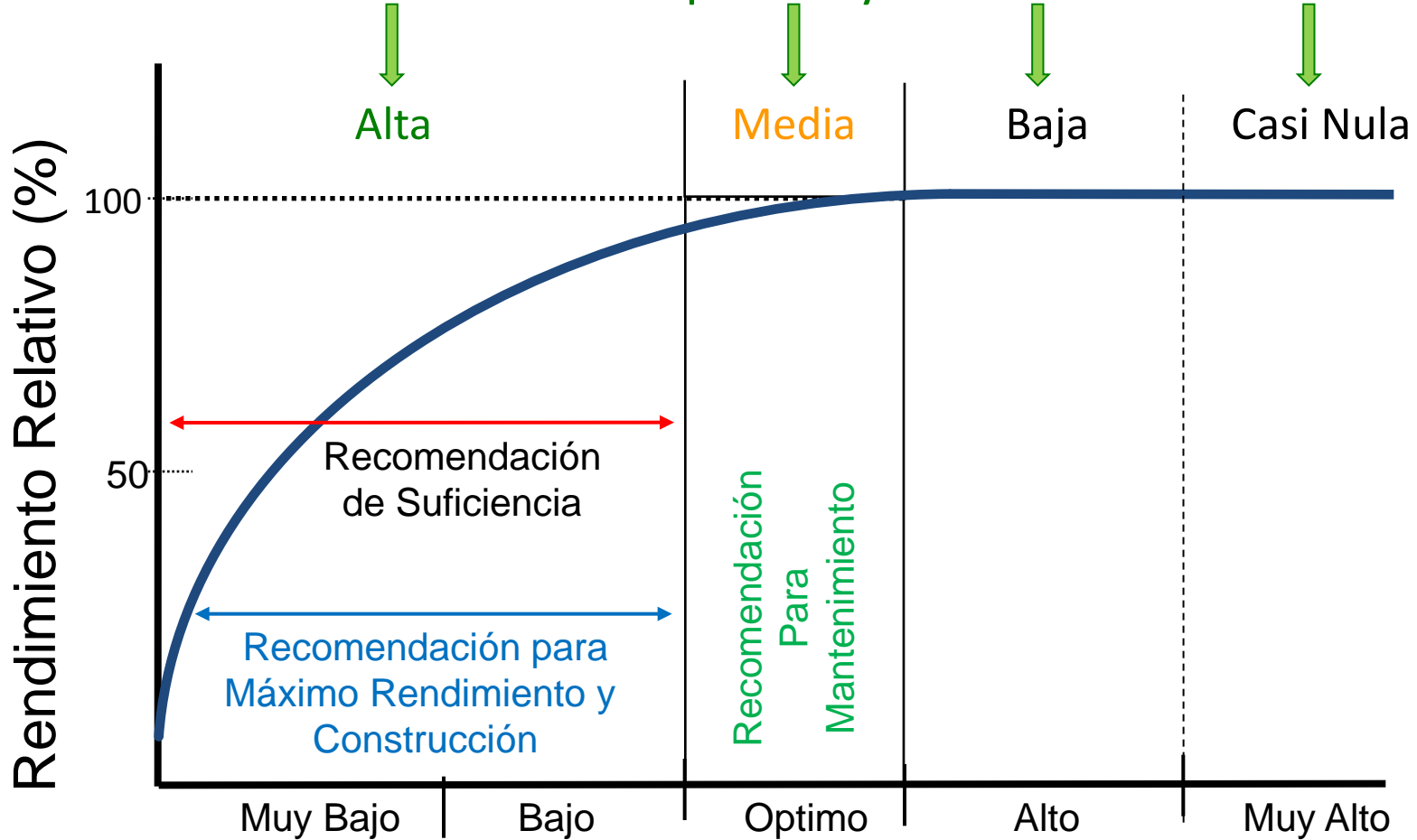
- ◆ AAPRESID-Profertil 2001
- INTA C. Gomez 2000
- INTA C. Gomez 2001
- AAPRESID-INPOFOS 2000
- CREA 2000
- CREA 2002
- ✱ CREA 2003
- CREA 2004



# FÓSFORO (P)

## Criterios de Interpretación

Probabilidad de Respuesta y Beneficio Económico



Nivel de P en el Suelo (Bray-1, Olsen o Mehlich-3, ppm)



# FÓSFORO (P)

## Criterios de Interpretación

Método	Niveles de Análisis				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
	----- mg/kg -----				
Bray-1 <sup>1</sup>	<6	6-14	14-20	20-30	30+
Olsen <sup>2</sup>	<5	6-10	11-14	15-20	21+
Mehlich-1 <sup>3</sup>	<3-4	4-10	10-15	15-30	30+
Mehlich-3 <sup>4</sup>	<8	9-15	16-20	21-30	31+
Resina <sup>5</sup>	<6	7-15	16-40	41-80	80+

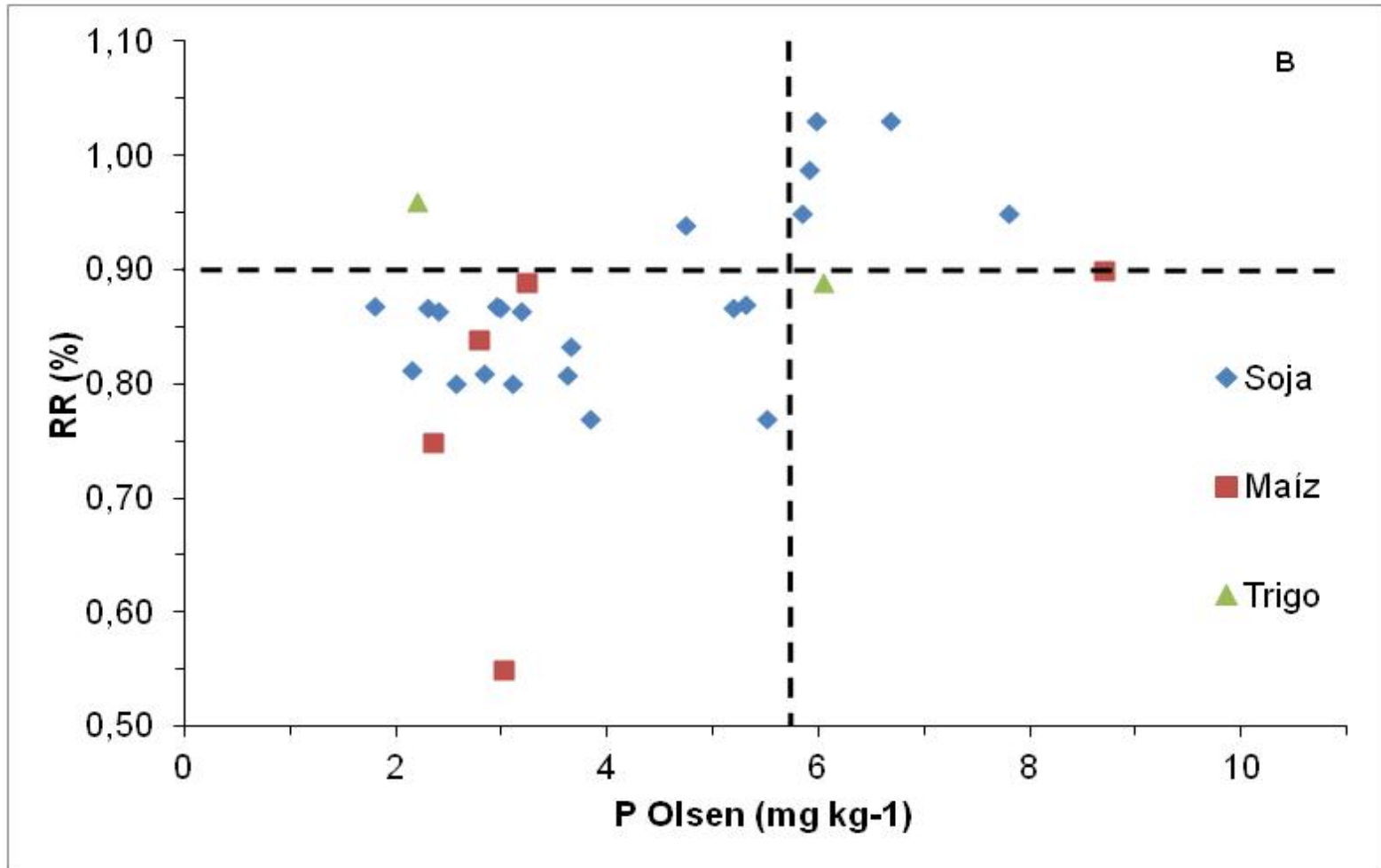
<sup>1</sup> Adaptado de información de Argentina; <sup>2</sup> Adaptado de Iowa State University;

<sup>3</sup> Adaptado de M. Cubilla (Paraguay); <sup>4</sup> Adaptado de Iowa State University;

<sup>5</sup> Adaptado de información para el estado de San Pablo (Brasil).

# FÓSFORO (P)

## Criterios de Interpretación



Respuesta a P en 26 de 33 sitios/año. No se incluyen los sitios con valores superiores a 12 mg kg<sup>-1</sup> que presentaron rendimientos relativos superiores a 0.9.

*Red de Ensayos Exploratorios FUNDACRUZ-IPNI. Terrazas et al. (2012)*



# Otras Herramientas De diagnóstico



# ANÁLISIS DE PLANTAS

- Evaluar de forma **directa** al cultivo.
- Confirmar y detectar **deficiencias / toxicidad**.
- Identificar **áreas problema**.
- **Micronutrientes**.
- **MAYOR rigor de muestreo**. Nutriente, momento, tejido, etc.

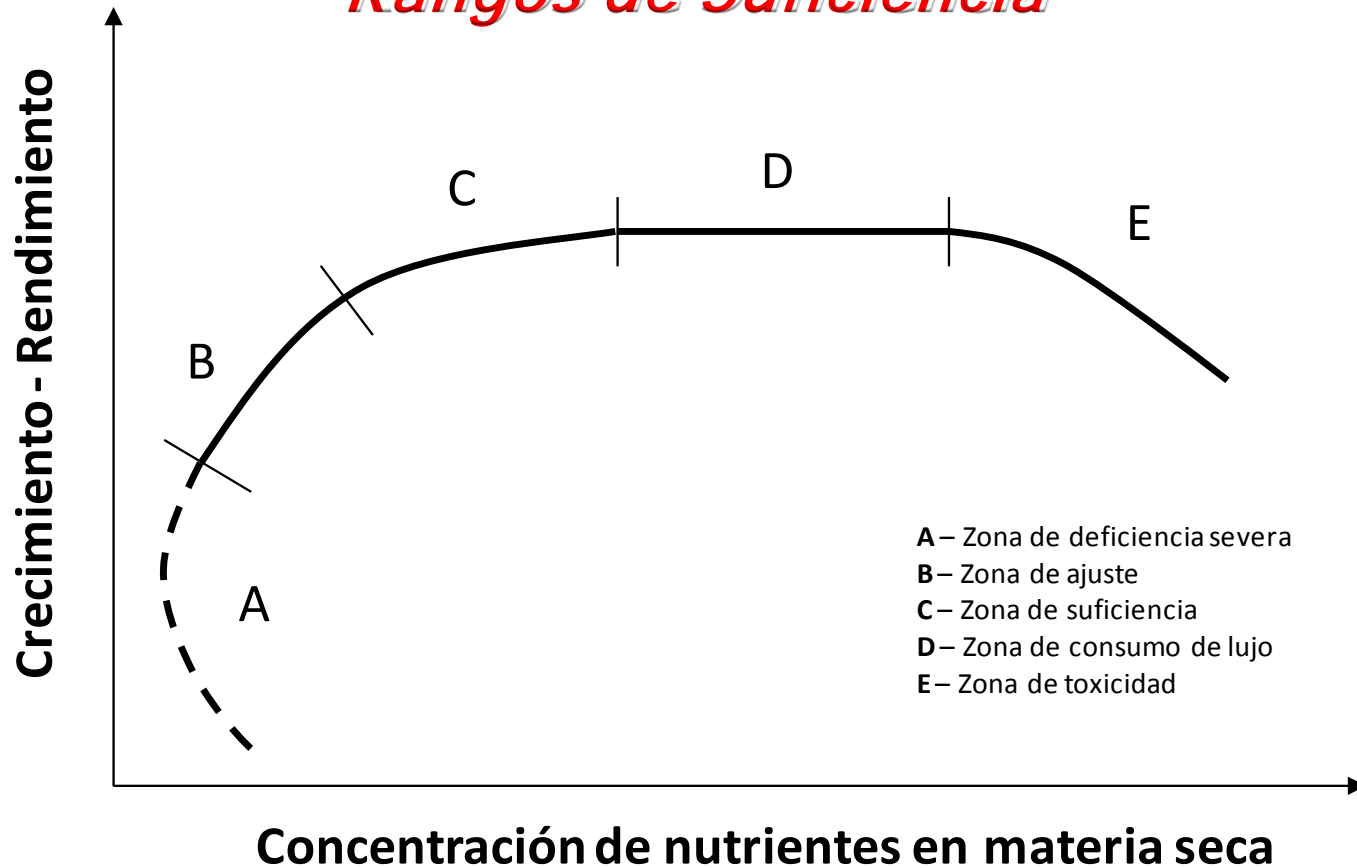
Existen diferentes **CRITERIOS DE INTERPRETACIÓN**.

Niveles críticos - Rangos de Suficiencia - DRIS.

# ANÁLISIS DE PLANTAS

## Criterios de Interpretación

### *Rangos de Suficiencia*



*Correndo y García (2012)*

Archivo Agronómico #14, IAH 05, Marzo 2012 - <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/issue/IA-LACS-2012-5>



# ANÁLISIS DE PLANTAS

## Rangos de Suficiencia (Macronutrientes)

	Trigo		Maíz		Soya	
Momento y tejido	Emergencia – Macollaje	Encañazón-Inicios Floración	V3-V4	R1	Etapa vegetativa	R2 – R3
	<i>Planta entera a 2.5 cm ras del suelo</i>	<i>Hojas 1 a 4 desde el ápice</i>	<i>Planta entera</i>	<i>Hoja de la espiga u opuesta y debajo</i>	<i>Primer hoja madura desde el ápice, sin pecíolo</i>	
Muestras ha <sup>-1</sup>	30-50		15-30		30-50	
N (%)	4.0-5.0	1.75-3.3	3.0-5.0	2.7-4.0	3.5-5.5	3.25-5.5
P (%)	0.2 - 0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	0.20-0.50	0.30-0.60	0.26-0.60
K (%)	2.5-5.0	1.5-3.0	2-5.0	1.7-3.0	1.7-2.5	1.5-2.5
S (%)	0.15-0.65	0.4	0.15-0.4	0.10-0.60	-	0.20-0.60
Ca (%)	0.2-1.0	0.21-1.4	0.25-1.6	0.20-1.00	1.1-2.2	0.2-2.0
Mg (%)	0.14-1.0	0.16-1.0	0.3-0.8	0.15-1.00	-	0.25-1.00

**Correndo y García (2012)**

Archivo Agronómico #14, IAH 05, Marzo 2012 - <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/issue/IA-LACS-2012-5>



# ANÁLISIS DE PLANTAS

## Rangos de Suficiencia (Micronutrientes)

	Trigo		Maíz		Soya
Momento y tejido	Emergencia – Macollaje	Encañazón-Inicios Floración	V3-V4	R1	R2 – R3
	<i>Planta entera a 2.5 cm ras del suelo</i>	<i>Hojas 1 a 4 desde el ápice</i>	<i>Planta entera</i>	<i>Hoja de la espiga u opuesta y debajo</i>	<i>Primer hoja madura desde el ápice, sin pecíolo</i>
Muestras ha <sup>-1</sup>	30-50		15-30		30-50
B (ppm)	1.5-4.0	5-20	5-25	4-25	20-60
Cu (ppm)	4.5-15	5-50	5-25	5-25	4-30
Fe (ppm)	30-200	21-200	30-300	11-300	21-350
Mn (ppm)	20-150	16-200	20-160	15-200	20-100
Mo (ppm)	0.1-2.0	0.4-5.0	0.1-2.0	0.15-0.2	0.5-1.0
Zn (ppm)	18-70	20-70	20-50	15-100	15-80

**Correndo y García (2012)**

Archivo Agronómico #14, IAH 05, Marzo 2012 - <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/issue/IA-LACS-2012-5>



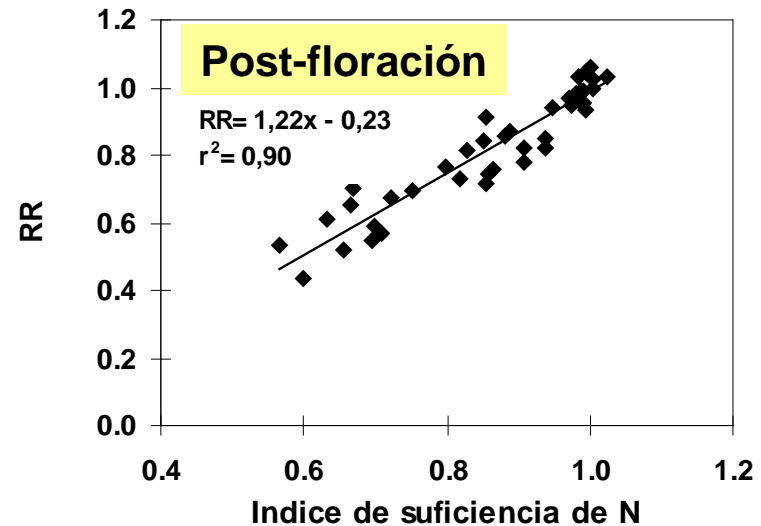
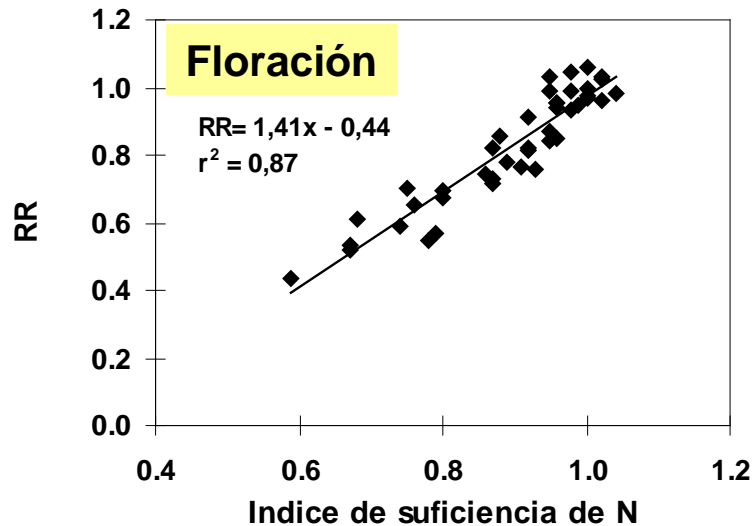
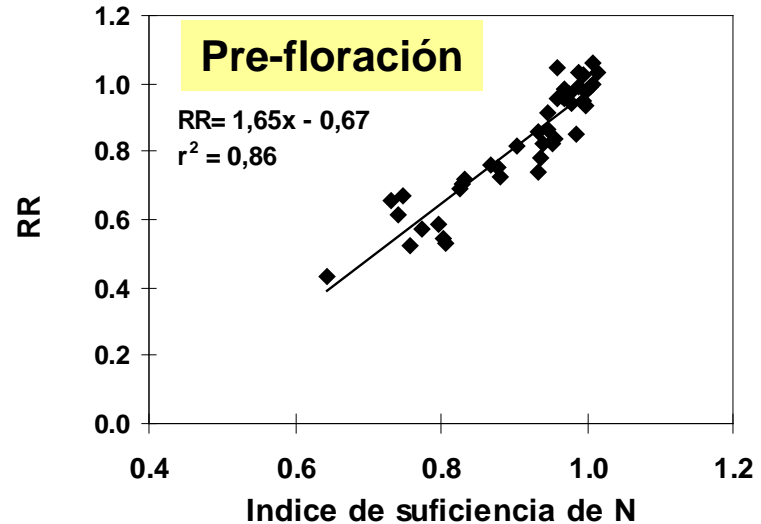
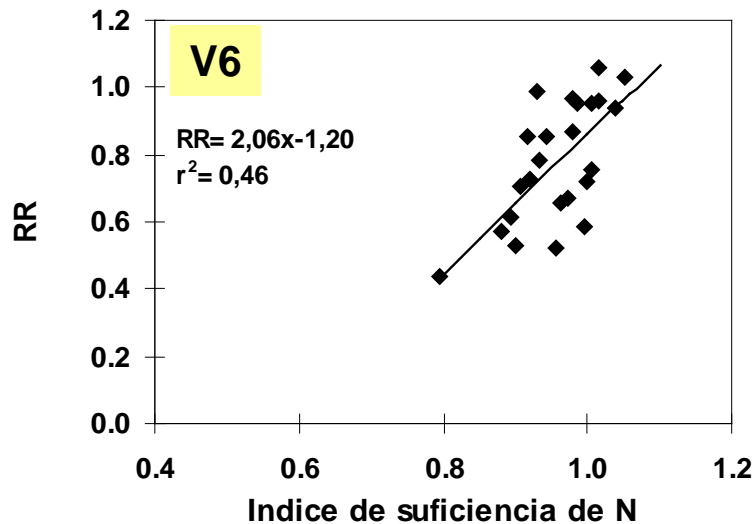
# MEDIDOR DE ÍNDICE DE VERDOR MINOLTA SPAD 502





# MEDIDOR DE CLOROFILA

## Maíz – Índices de Suficiencia

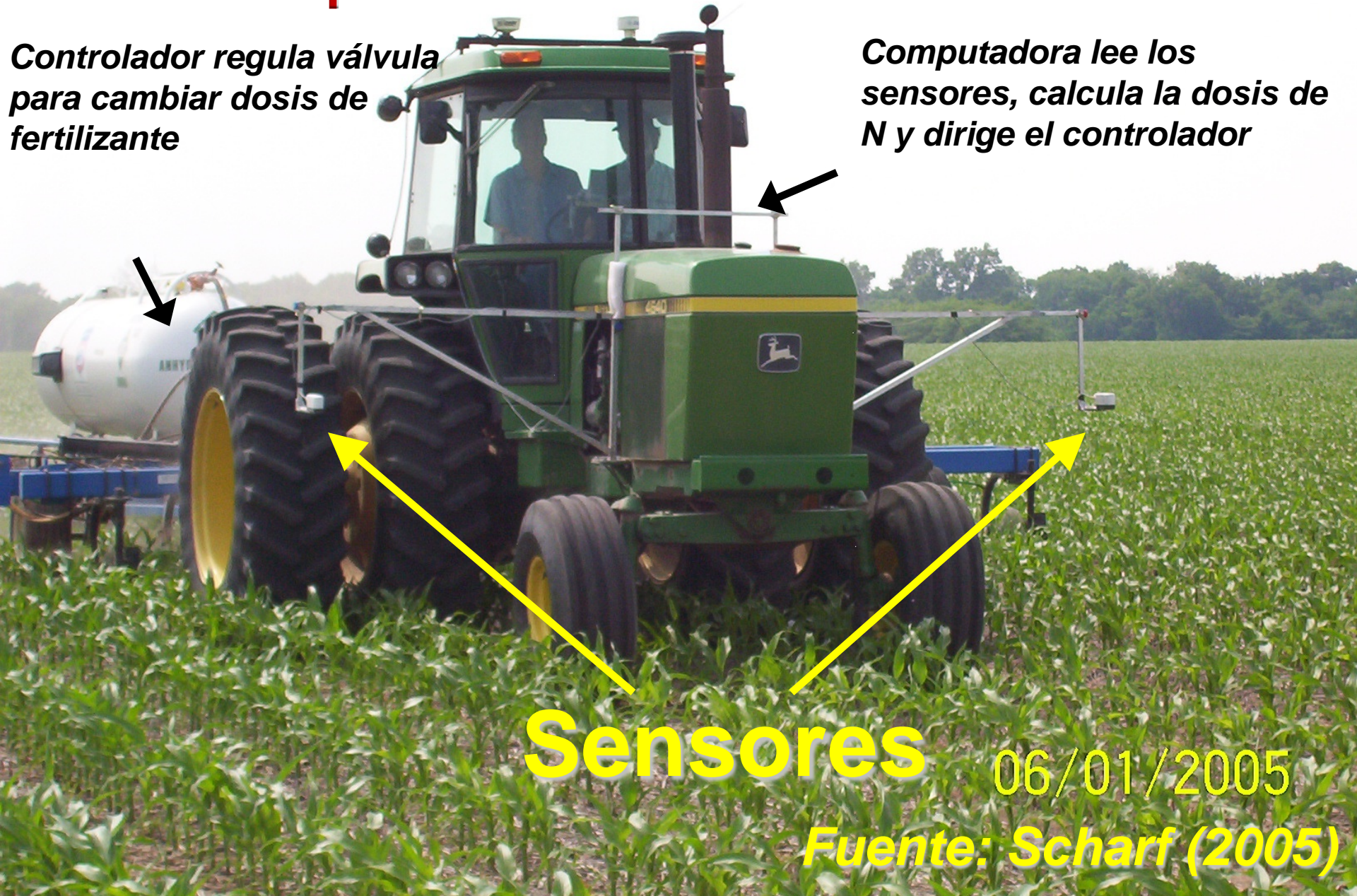


# SENSORES REMOTOS

## Aplicación a TASA VARIABLE

*Controlador regula válvula para cambiar dosis de fertilizante*

*Computadora lee los sensores, calcula la dosis de N y dirige el controlador*



**Sensores**

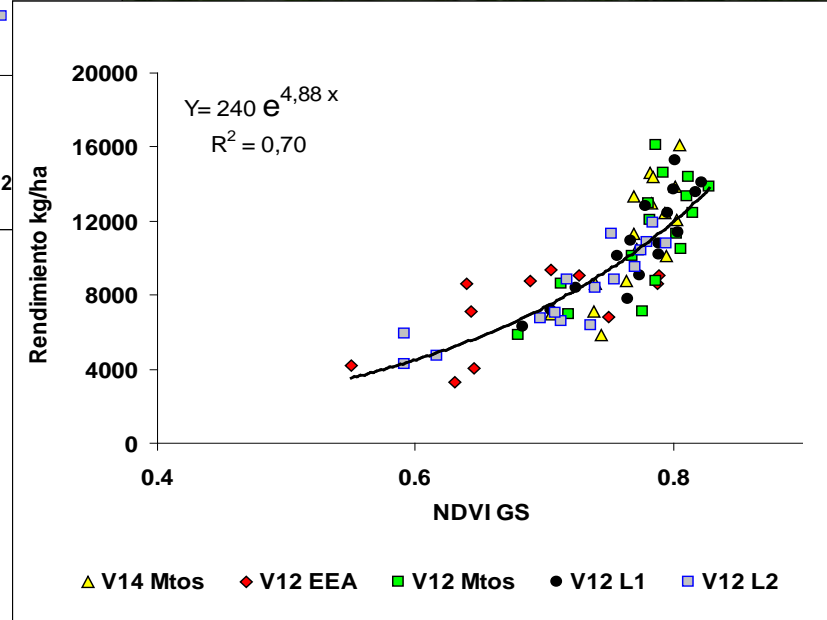
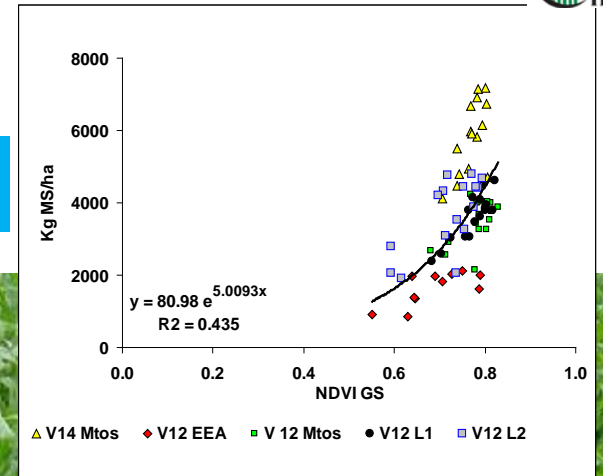
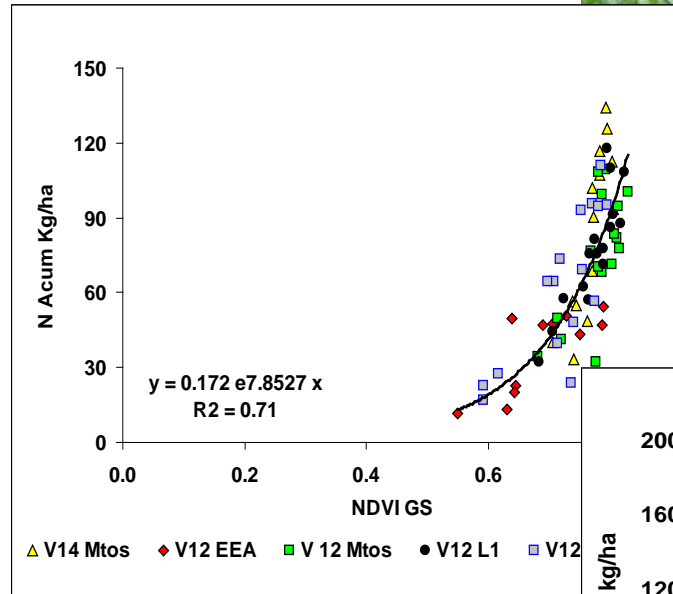
06/01/2005

*Fuente: Scharf (2005)*

# NDVI

## CRECIMIENTO

## ESTADO DE NUTRICION



## RENDIMIENTO BASE DE CALCULO DE LA DOSIS DE N

Melchiori (2012)



**IPNI**  
INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE

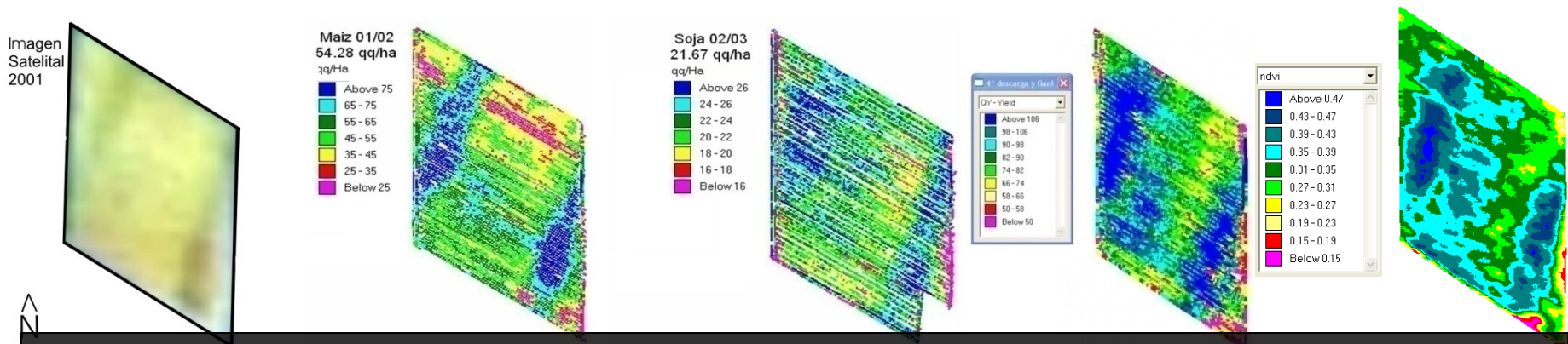
# Agricultura De Precisión



# TENDENCIAS

- **INTENSIFICACIÓN** de la **producción**, de las **organizaciones** y del **CONOCIMIENTO**
- **Nuevas herramientas** para generar y procesar **INFORMACIÓN**
- **DESAFÍOS....**
  - Capacidad de **PROCESAR LA INFORMACIÓN**.
  - **SOPORTE** adecuado para una **ADOPCIÓN** adecuada.

# DEFINICIÓN DE AMBIENTES



“El éxito del uso de la **Agricultura de Precisión** en la nutrición se basa en la habilidad de **IDENTIFICAR ÁREAS** dentro de un lote que tengan, y no, probabilidad de **respuesta a la fertilización** (M. Bermúdez, 2011).”

Bajo

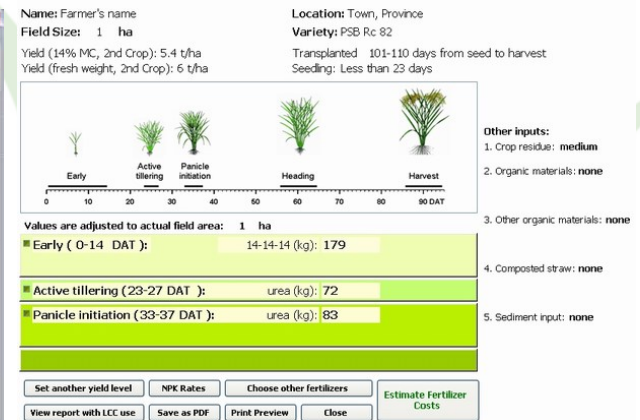
Bajo Anegable

Bajo Salino

# Modelos De Simulación



	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Other	Other	Other
Target Amounts	165	75	90			
Equivalent in Element	165	30	75			



- **Modelos matemáticos.** Representan, de una manera **simple**, las relaciones entre **partes de un sistema**, y son capaces de **reproducir su funcionamiento**.
- **Sistemas de apoyo** para la **toma de decisiones** que integran uno o varios aspectos del manejo de cultivos (fecha de siembra, ciclos, fertilización, etc.).
- Gran potencial para **mejorar recomendaciones de fertilización**, si el **desarrollo** atiende **aspectos específicos** de las **regiones** y **cultivos** en que son utilizados.



- **Triguero, Maicero y Granero**

Combina escenarios de cultivo, suelo y clima, para simular curvas de rendimiento en función del N disponible. Análisis de riesgo.



• [www.aacrea.org.ar](http://www.aacrea.org.ar)

- **Fertilizer Chooser**

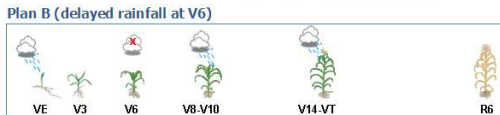
Compara fuentes de nutrientes disponibles para encontrar combinaciones de menor costo.



• [www.ipni.net/toolbox](http://www.ipni.net/toolbox)

- **Nutrient Expert for Hybrid Maize**

Formulación de recomendaciones nutricionales para maíz híbrido tropical. Actualmente está siendo adaptada para mayor variedad de ambientes.

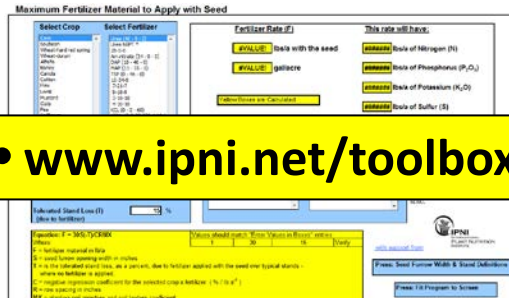


• [www.ipni.net/toolbox](http://www.ipni.net/toolbox)

V6	25	insufficient	Urea	50	0
V8-V10	30-35	sufficient	Urea	50	3

- **Fertilizer Seed Decision Aid**

Determina cantidad de fertilizante a aplicar junto a la semilla.



• [www.ipni.net/toolbox](http://www.ipni.net/toolbox)

# CÁLCULO DE REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

Planilla de cálculo para estimar la absorción y extracción de nutrientes  
CEREALES, OLEAGINOSAS, INDUSTRIALES Y FORRAJERAS



Dr. Fernando O. García  
Ing. Agr. Adrián A. Corredo  
Ultima Revisión: 09/03/2012



MAÍZ (Zea mays L.)				
RENDIMIENTO (kg ha <sup>-1</sup> )		HUMEDAD DE GRANO (%)		
12000		14,5		
NUTRIENTE	REQUERIMIENTO	IC	ABSORCIÓN	EXTRACCIÓN
-				
N				
P				
K				
Ca	3	0,07	30,8	2,2
Mg	3	0,53	30,8	16,3
S	4	0,35	41,0	14,4
B	0,02	0,25	0,21	0,05
Cl	0,444	0,06	4,56	0,27
Cu	0,013	0,29	0,13	0,04
Fe	0,125	0,36	1,28	0,46
Mn	0,189	0,17	1,94	0,33
Mo	0,001	0,63	0,01	0,01
Zn	0,053	0,5	0,54	0,27
Ni	-	-	-	-

SOJA (Glycine max (L.) Merr.)				
RENDIMIENTO (kg ha <sup>-1</sup> )		HUMEDAD DE GRANO (%)		
3000		13,5		
NUTRIENTE	REQUERIMIENTO	IC	ABSORCIÓN	EXTRACCIÓN
N				
Ca	16	0,19	41,5	7,9
Mg	9	0,39	23,4	9,1
S	4,5	0,72	11,7	8,4
B	0,025	0,31	0,065	0,020
Cl	0,237	0,47	0,615	0,289
Cu	0,025	0,53	0,065	0,034
Fe	0,300	0,25	0,779	0,195
Mn	0,150	0,33	0,389	0,128
Mo	0,005	0,85	0,013	0,011
Zn	0,06	0,7	0,156	0,109
Ni	-	-	-	-

TRIGO (Triticum aestivum L.)				
RENDIMIENTO (kg ha <sup>-1</sup> )		HUMEDAD DE GRANO (%)		
4000		13,5		
NUTRIENTE	REQUERIMIENTO	IC	ABSORCIÓN	EXTRACCIÓN
-				
N				
P				
K				
Ca	3	0,14	10,4	1,5
Mg	4	0,63	13,8	8,7
S	5	0,34	17,3	5,9
B	0,025	0,5	0,09	0,043
Cl	-	-	-	-
Cu	0,010	0,75	0,03	0,026
Fe	0,137	0,99	0,47	0,469
Mn	0,070	0,17	0,25	0,042
Mo	-	-	-	-
Zn	0,052	0,5	0,18	0,090
Ni	-	-	-	-

<http://Lacs.ipni.net/topic/nutrient-requirements>



# Indicadores Del Sistema

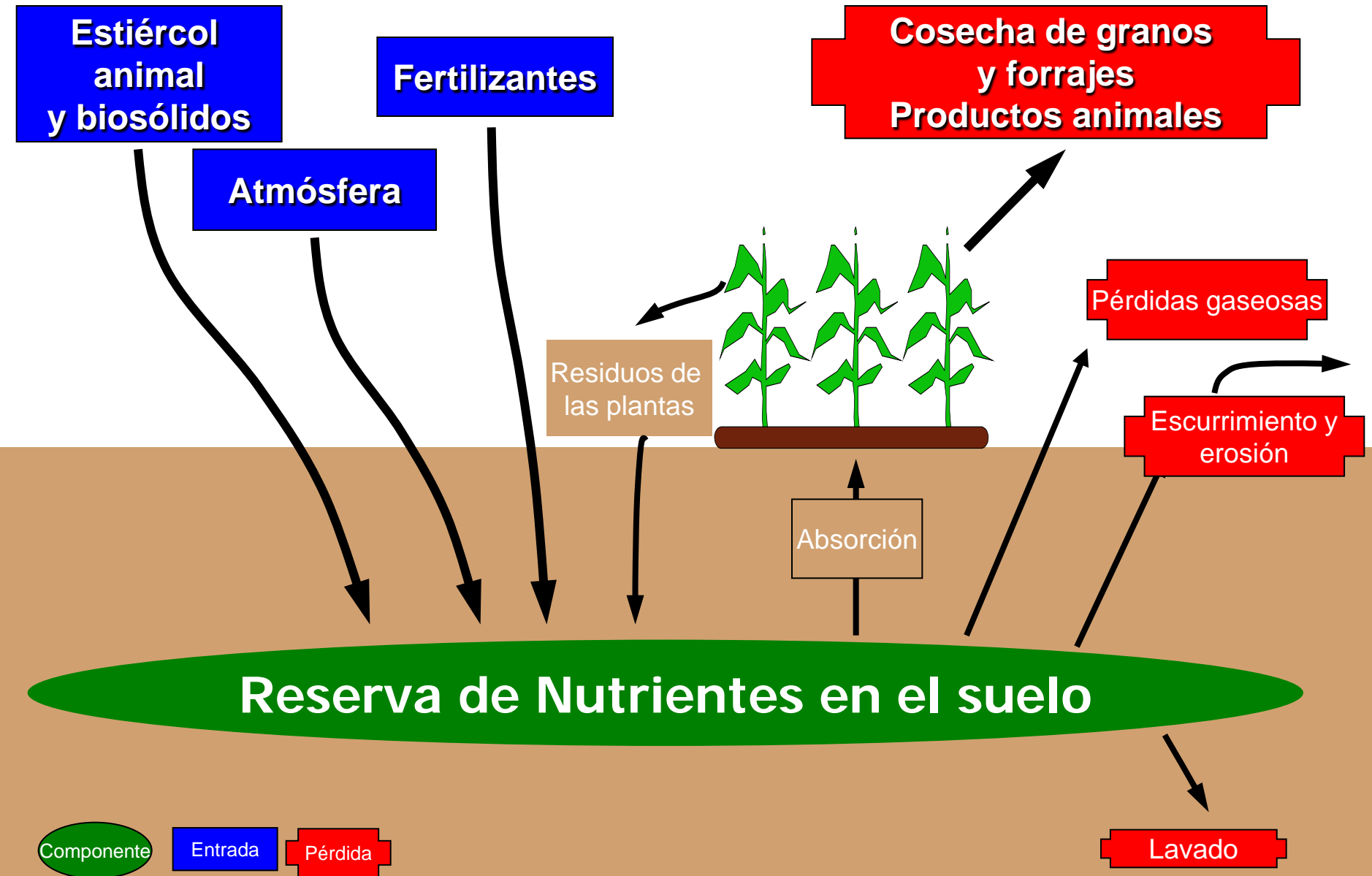


# INDICES DE EFICIENCIA

Índices	Cálculos	Rango de referencia para cereales Ej. Para N y P
<b>Eficiencia Agronómica</b>	$EA = (\text{kg } \Delta \text{rendimiento del cultivo} / \text{kg de nutriente aplicado})$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10-30 kg/kg N (&gt;25 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de N utilizado o en suelo)</li> <li>• 30-50 kg/kg P (según disponibilidad en suelo)</li> </ul>
<b>Eficiencia aparente de Recuperación</b>	$ER = (\text{kg de nutriente absorbido} / \text{kg de nutriente aplicado})$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.3-0.5 kg/kg N (0.5-0.8 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de N utilizado o en suelo)</li> <li>• 0.15-0.30 kg/kg P</li> </ul>
<b>Eficiencia Fisiológica</b>	$EF = (\text{kg rendimiento} / \text{kg de nutriente absorbido})$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30-90 kg/kg N (55-65 es un rango óptimo para una nutrición balanceada a altos niveles de rendimiento)</li> </ul>
<b>Productividad Parcial de Factor</b>	$PPF = (\text{kg de rendimiento del cultivo} / \text{kg de nutriente aplicado})$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40-80 kg/kg N (&gt; 60 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de N utilizado o en suelo)</li> <li>• 300-400 kg/kg P en maíz</li> </ul>
<b>Balance Parcial del Nutriente</b>	$BPN = (\text{kg nutriente removido} / \text{kg nutriente aplicado})$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; 1 en sistemas deficientes en el nutriente (mejora de fertilidad)</li> <li>• &gt; 1 en sistemas bien provistos de nutriente</li> </ul>

*Adaptado de Dobermann, 2007; Snyder y Bruulsema, 2007*

# BALANCE DE NUTRIENTES



# BALANCE DE NUTRIENTES

## MUY IMPORTANTE!!!

- Afecta la **cantidad y disponibilidad** de nutrientes
  - calidad (**fertilidad**) de los suelos
  - **rendimientos** de los cultivos
  - **sustentabilidad** de los sistemas de producción
- Es **estratégico** para el desarrollo de una agricultura productiva sustentable
  - Dependencia de **recursos limitantes** (por ej., P).

Componente

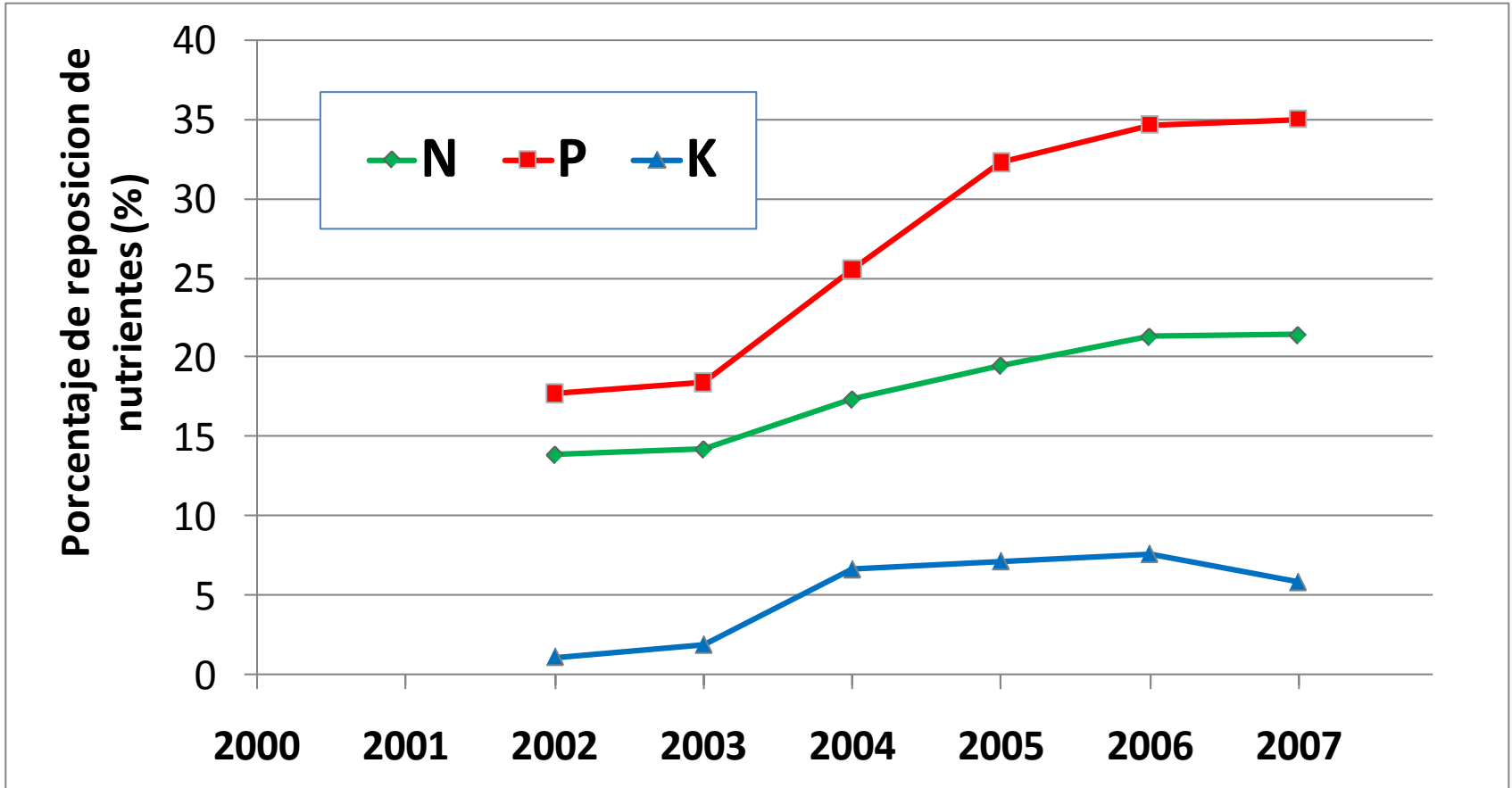
Entrada

Pérdida

Lavado

# BALANCE DE NUTRIENTES

## Bolivia 2002-2007



La reposición de los nutrientes extraídos por los cultivos en 2007 fue del 21%, 35% y 6% para N, P, y K, respectivamente.

# CONCLUSIONES

## Herramientas de diagnóstico

- Análisis de **Suelos**. Base de recomendaciones.
- Análisis de **Plantas**. Directo e indirecto. Detectar problemas.
- Modelos de **Simulación**. Predecir y comprender escenarios.
- Agricultura de Precisión. Manejo de ambientes. Tasa Variable.
- **INTERPRETACIÓN!!**
  - Potencialidades y Limitaciones.
- **Indicadores del Sistema**. No todo es rendimiento.

Accurate Mid-Season  
Crop Fertilizer N  
Recommendations

Argentina  
Australia  
China  
Ecuador  
France  
India  
Mexico  
Spain  
USA



A young boy in a red jacket is holding a large Argentine flag. The flag is waving in the wind, showing its characteristic red, white, and light blue horizontal stripes, with a yellow sun in the center. The boy is looking upwards with a focused expression. The background is a clear blue sky.

**!!!MUCHAS GRACIAS!!!**

**Adrián Alejandro  
Correndo**

**[Acorrendo@ipni.net](mailto:Acorrendo@ipni.net)**