



# TALLER RED METRICE



## Prácticas habituales de manejo para trigo y cebada bajo restricciones edáficas en suelos ácidos del Sur de Chile: Disponibilidad de P y Toxicidad por Al

**Dr. Dante Pinochet**<sup>1</sup>

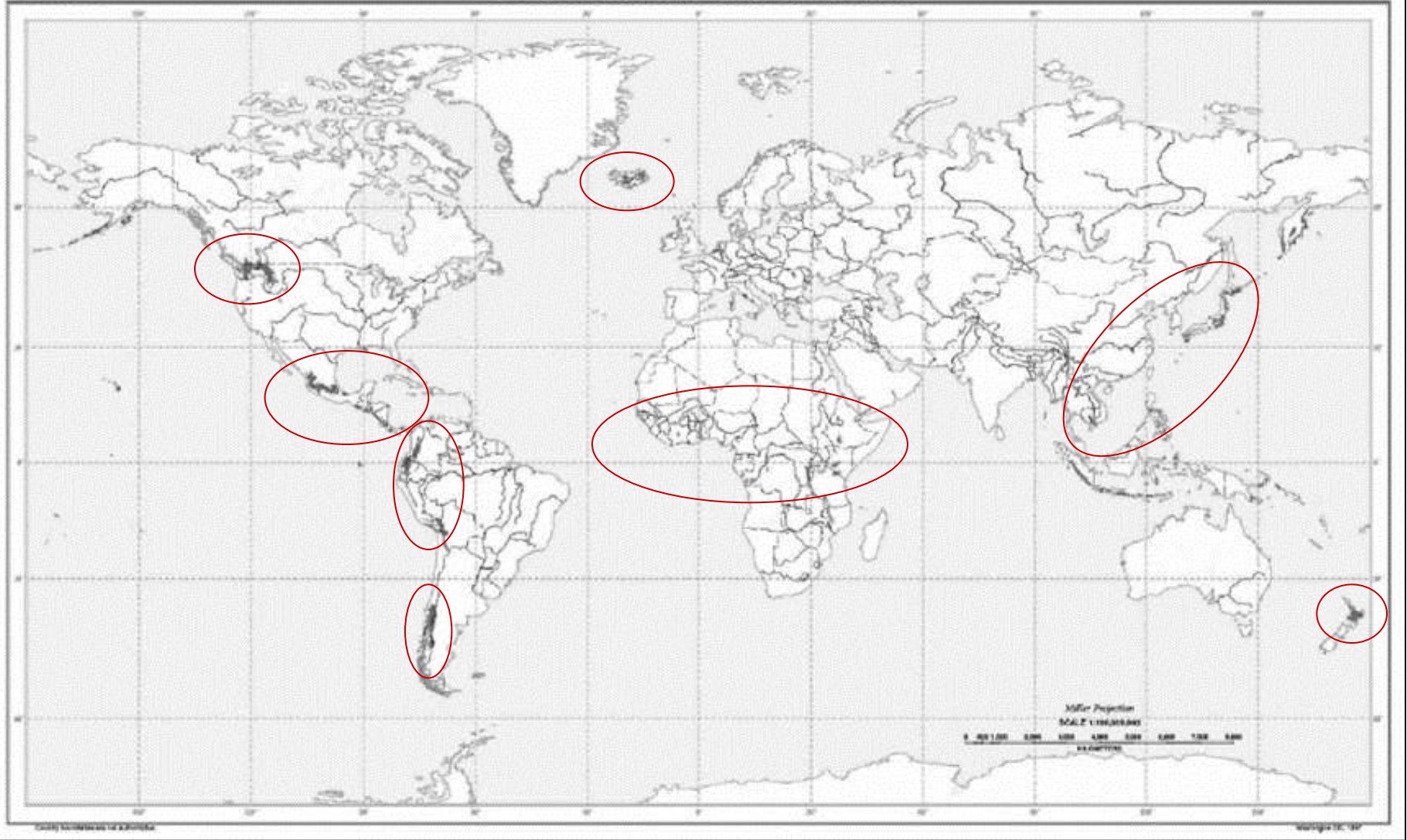
**Dr. Daniel Calderini**<sup>1</sup>

**Dr. Patricio Sandaña**<sup>1,2</sup>

**Dra. Susana Valle**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Austral de Chile, <sup>2</sup> INIA-Remehue

# Global Distribution of Andisols

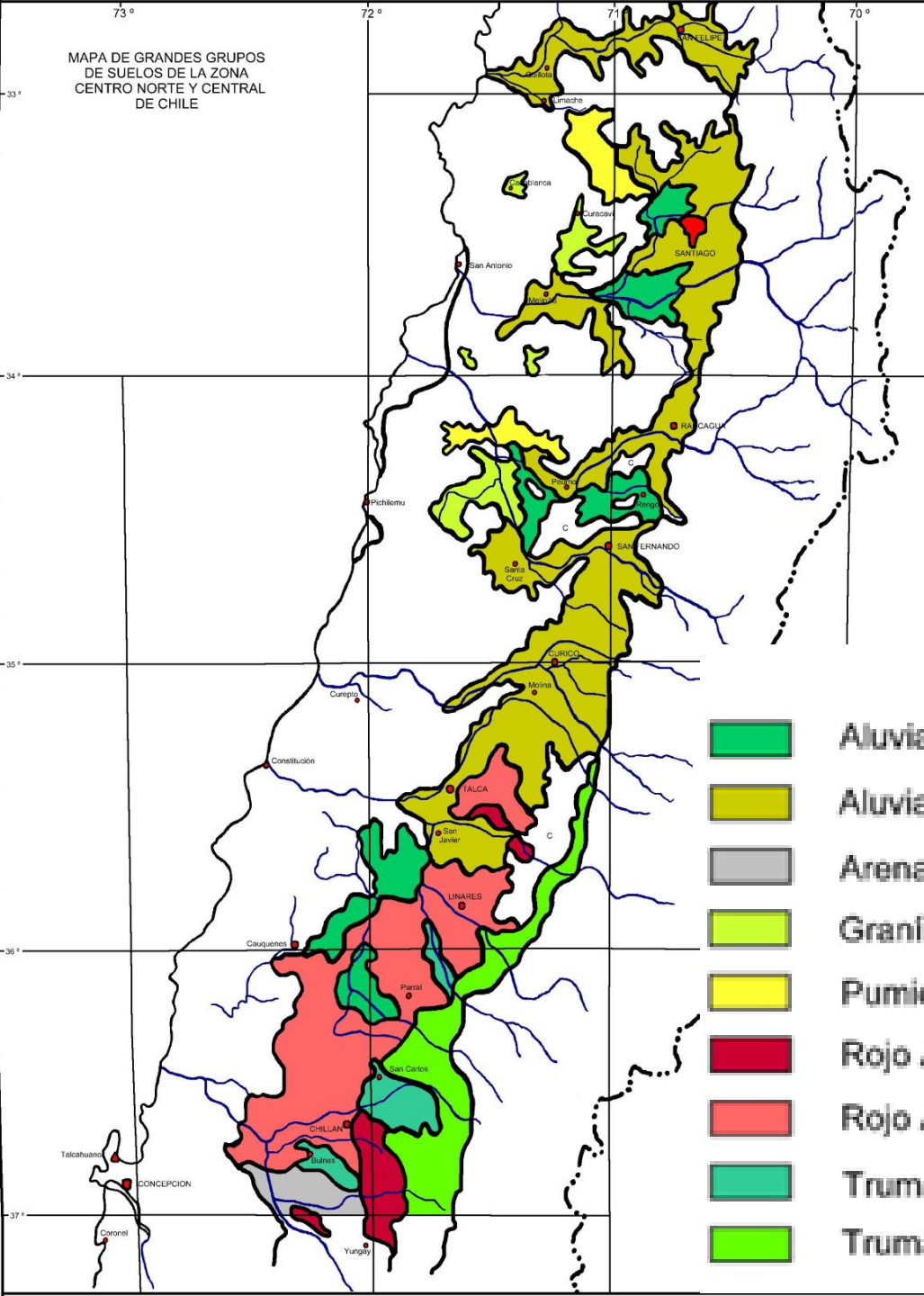


Dahlgren *et al.*, 2004



MAPA DE GRANDES GRUPOS DE SUELOS DE LA ZONA CENTRO NORTE Y CENTRAL DE CHILE

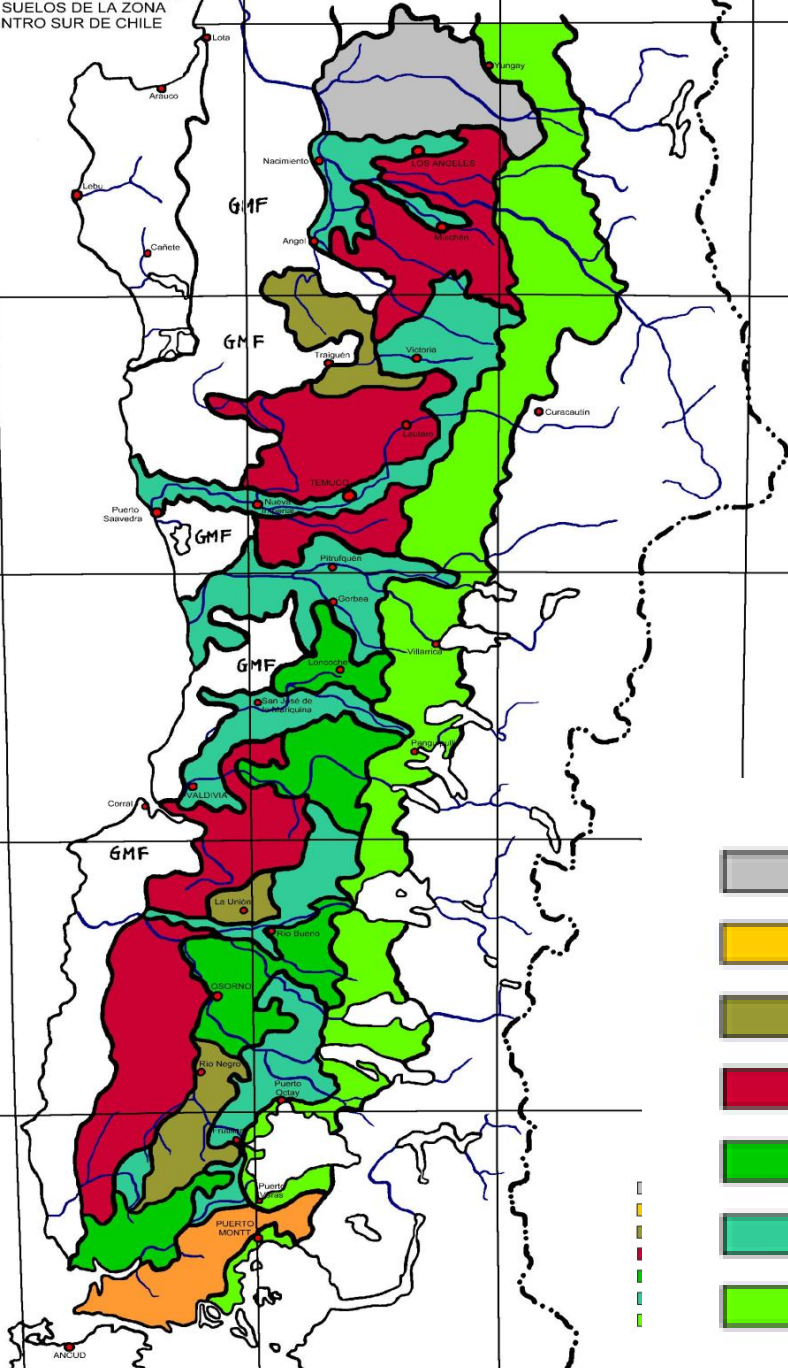
# GRANDES GRUPOS DE SUELOS V-X R



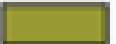

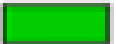




-  Aluviales Arcillosos
-  Aluviales Francos
-  Arenales
-  Graníticos planos
-  Pumicíticos
-  Rojo Arcillosos Profundos
-  Rojo Arcillosos Tobíferos
-  Trumaos Planos
-  Trumaos Precordillera

MAPA DE GRANDES GRUPOS DE SUELOS DE LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE

# GRANDES GRUPOS DE SUELOS V-X R



-  Arenales
-  Nadis no habilitados
-  Pardo Arcillosos
-  Rojo Arcillosos Profundos
-  Trumaos de Lomajes
-  Trumaos Planos
-  Trumaos Precordillera

# Problemática de los suelos Andisoles

---

ALTA  
RETENCIÓN  
DE FÓSFORO  
( > 85%)



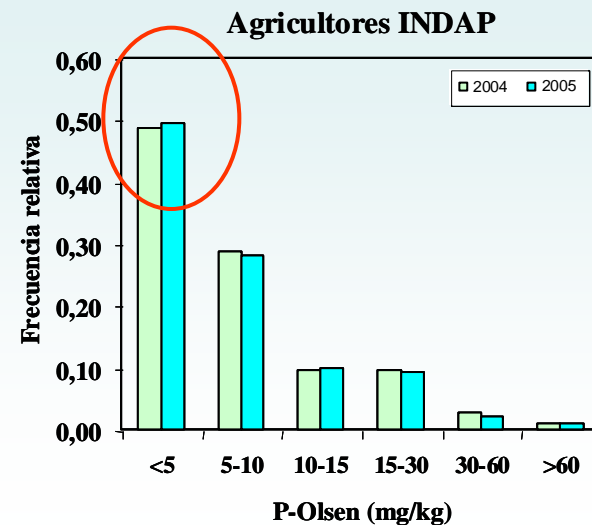
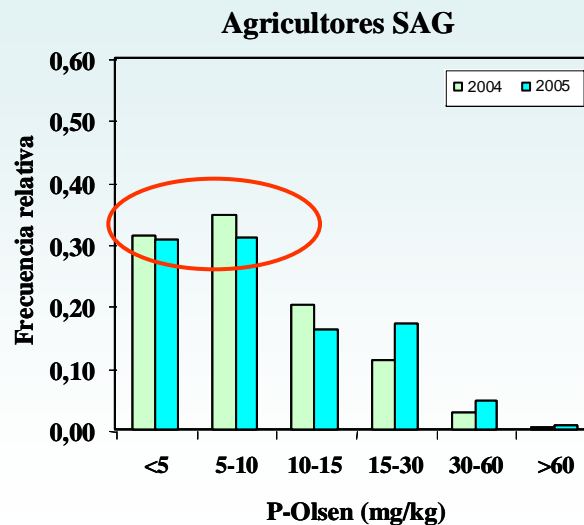
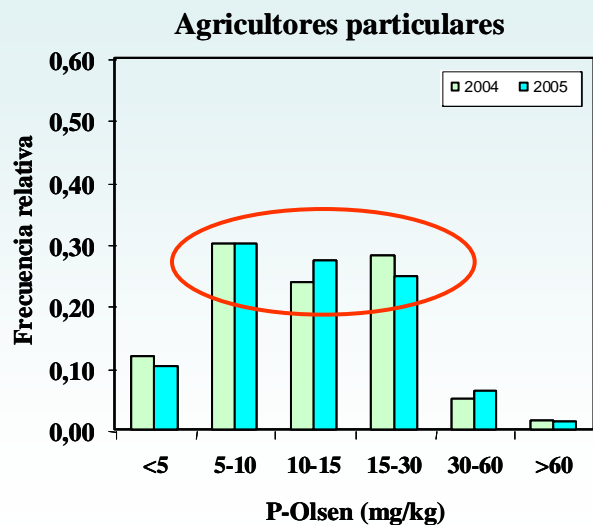
**GRANDES  
APLICACIONES DE  
FERTILIZANTES**

ALTA  
DISPONIBILIDAD  
DE ALUMINIO  
FITOTÓXICO  
(Al<sup>+3</sup>)



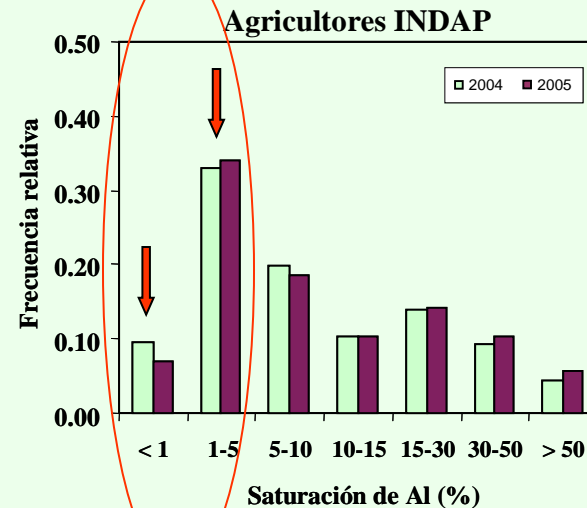
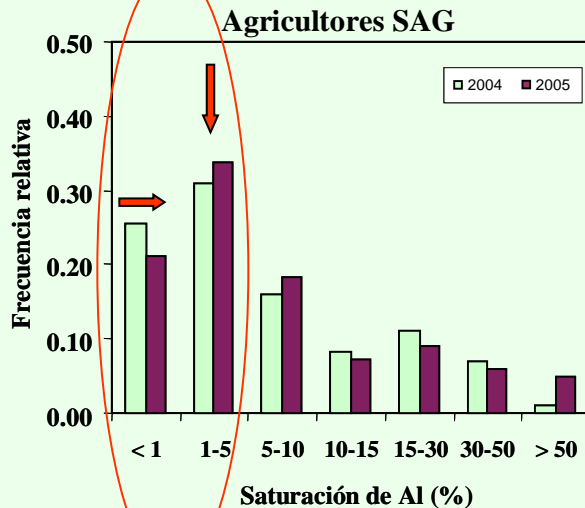
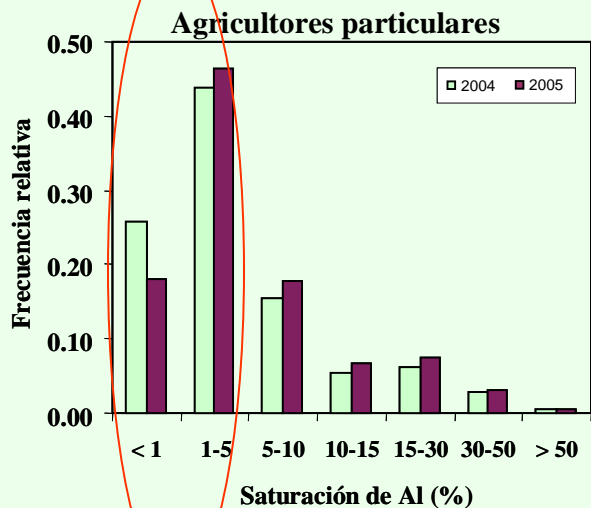
**APLICACIÓN DE  
ENCALANTES**

# Distribución de frecuencia de muestras P-Olsen, LAS UACH



Rango P-Olsen (mg/kg)	Frecuencia Relativa (%)		
	Agricultores Particulares	Agricultores Beneficiarios SAG	INDAP
< 5	11,0	30,9	49,1
5-10	30,0	32,9	28,4
10-15	25,5	18,0	9,7
15-30	26,4	14,0	9,4
30-60	5,7	3,7	2,5
> 60	1,4	0,5	0,9

# Distribución de frecuencia de muestras SatAI, LAS UACH

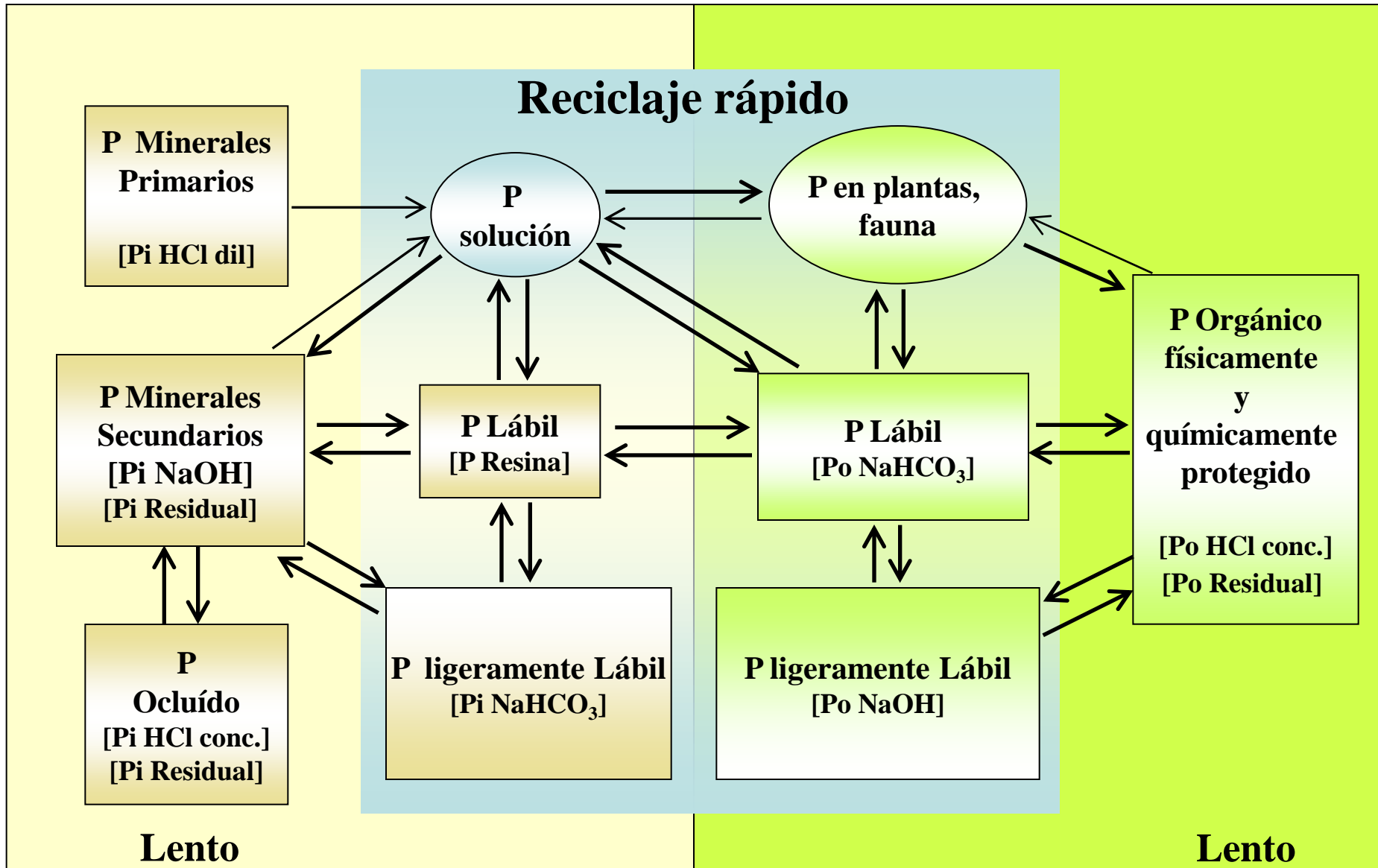


SatAI(%) Rango (%)	Distribución de Frecuencia Relativa (%)		
	Agricultores Particulares	Agricultores beneficiarios SAG	Agricultores beneficiarios INDAP
< 1	21,9	23,4	8,2
1-5	45,1	32,4	33,5
5-10	16,7	17,1	19,2
10-15	6,1	7,6	10,2
15-30	6,9	10,0	14,0
30-50	3,0	6,5	9,9
> 50	0,4	3,0	5,0

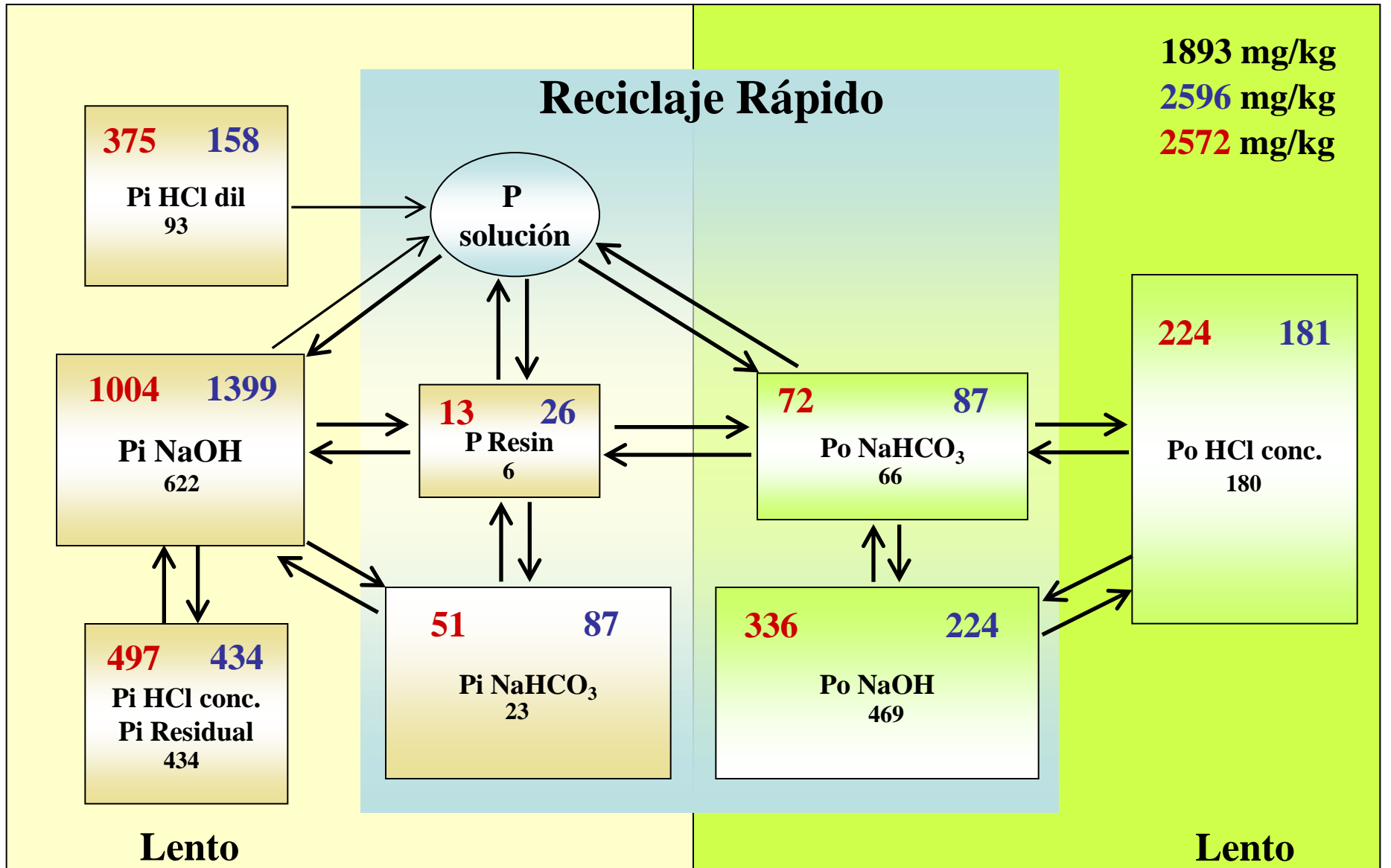
**FÓSFORO**



# Modelo conceptual de las transformaciones del P en los suelos



# Distribución del Fósforo en un Andisol chileno (Malihue)

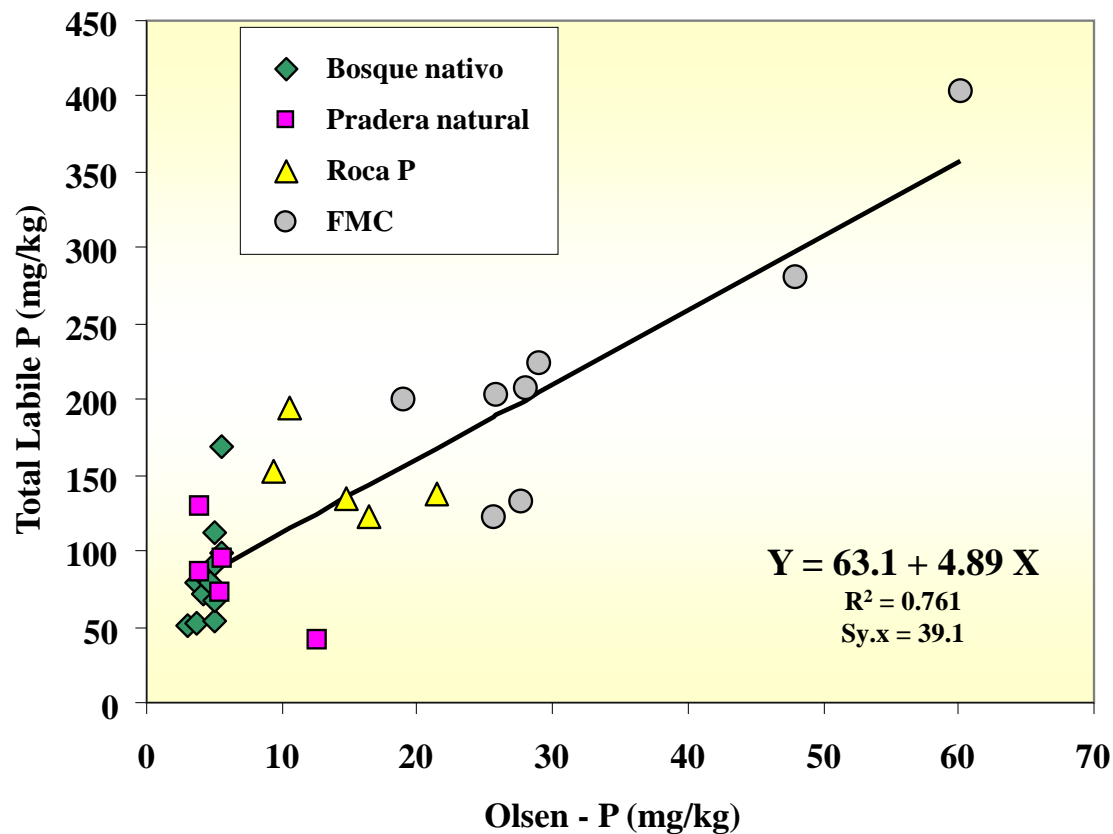


(Pinochet y Epple, no publicado)

# Relación entre el P Lábil y el P-Olsen disponible

$$P \text{ Total Lábil} = P_i\text{-Resina} + P_i - \text{NaHCO}_3 + P_o - \text{NaHCO}_3$$

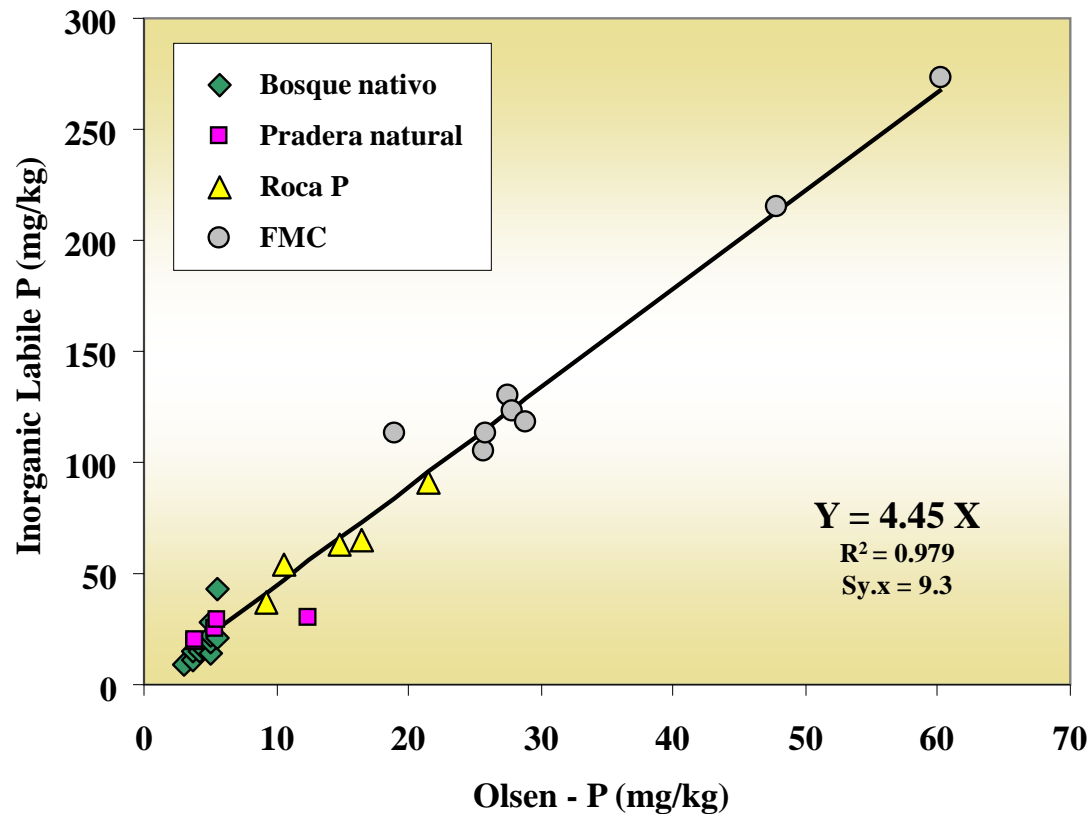
Suelos evaluados: Andisoles, Ultisoles y Alfisoles



# Relación entre el P Lábil inorgánico y el P-Olsen disponible

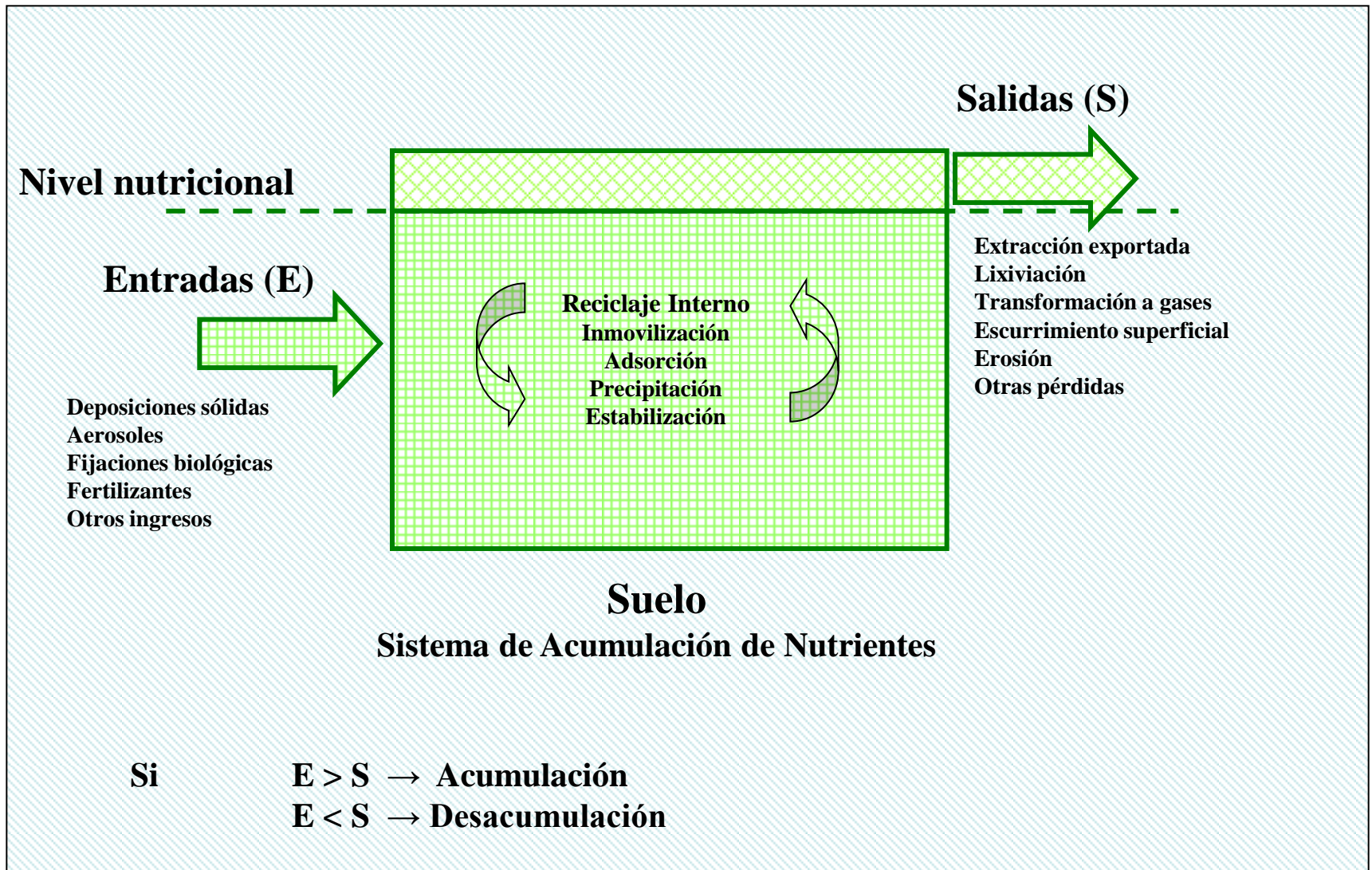
**P Lábil inorgánico = Pi-Resina + Pi - NaHCO<sub>3</sub>**

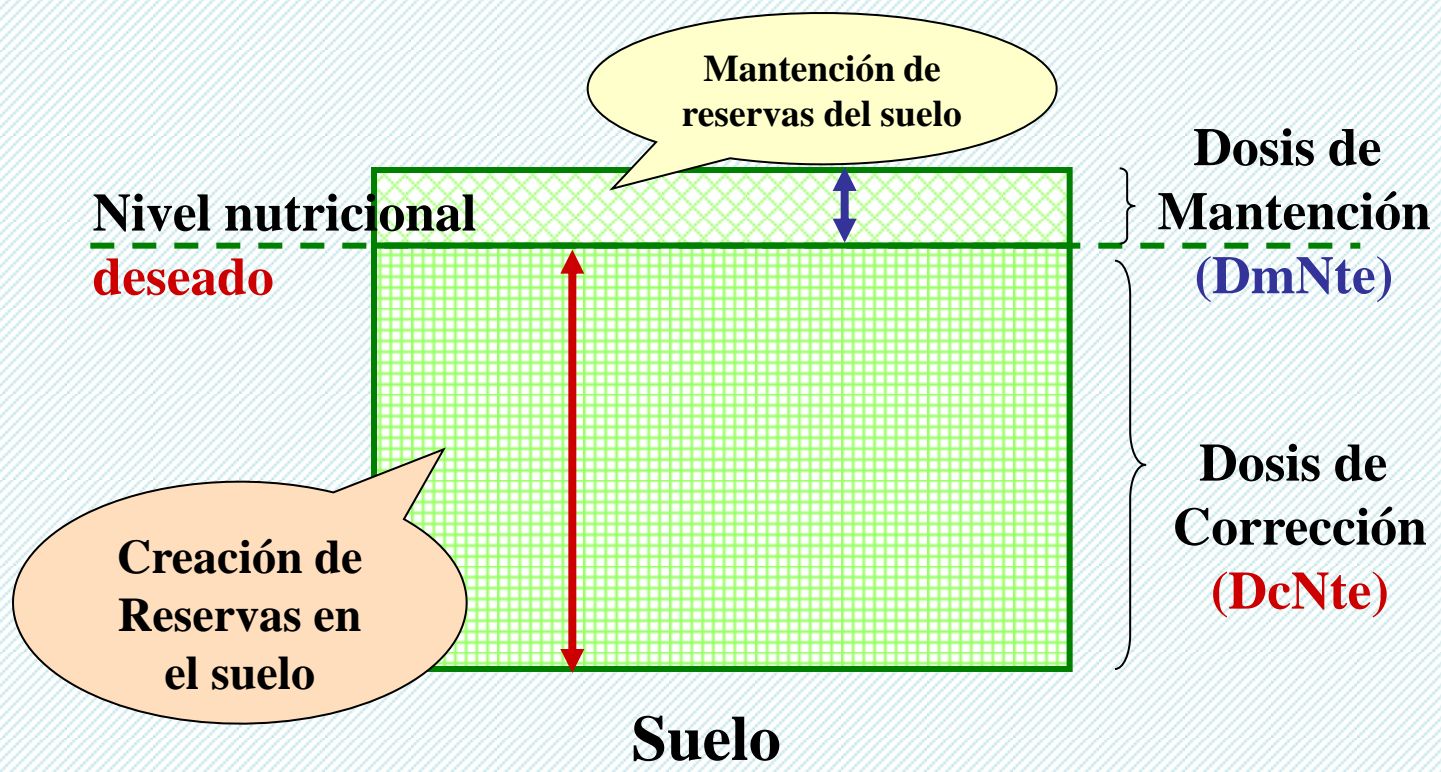
**Suelos evaluados: Andisoles, Ultisoles y Alfisoles**





# Aproximación general a la fertilización de agroecosistemas





**Esquema general para la creación de un Estado Estacionario y la mantención del Estado Estacionario**

# Cálculo de Dosis de Fertilización

## *Dosis de Fertilización*

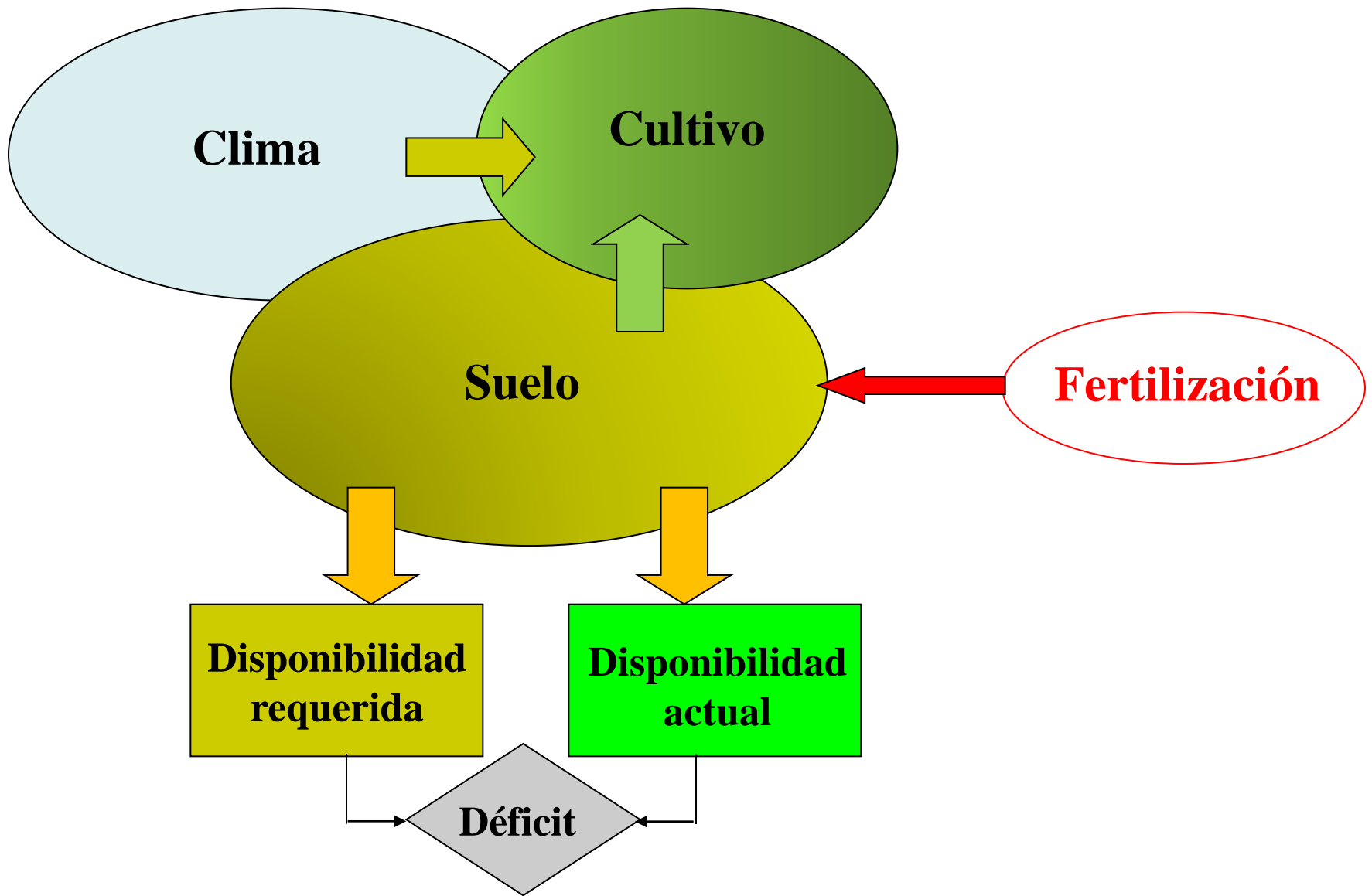
Exportación Nutrientes  
Pérdidas inevitables  
Sistema de manejo

$$Dosis = DcNte + DmNte$$

Tipo de suelo  
Tecnología de uso fertilizante  
Tiempo

Corrección

**DmNte**      **Dosis de Mantenimiento**



**Versión esquemática del Modelo de fertilización**



$$DOSIS = \frac{\textit{Disponibilidad Requerida} - \textit{Disponibilidad Actual}}{\textit{Eficiencia de Disponibilidad}}$$

**Disponibilidad Requerida:** Disponibilidad del nutriente en el suelo que permite que se alcance la demanda del cultivo

**Disponibilidad Actual:** Disponibilidad del nutriente medida por el indicador químico de suelo (análisis)

**Eficiencia de Disponibilidad:** Cantidad de nutriente a aplicar para incrementar la disponibilidad en una unidad

# Demanda en Disponibilidad Requerida

---

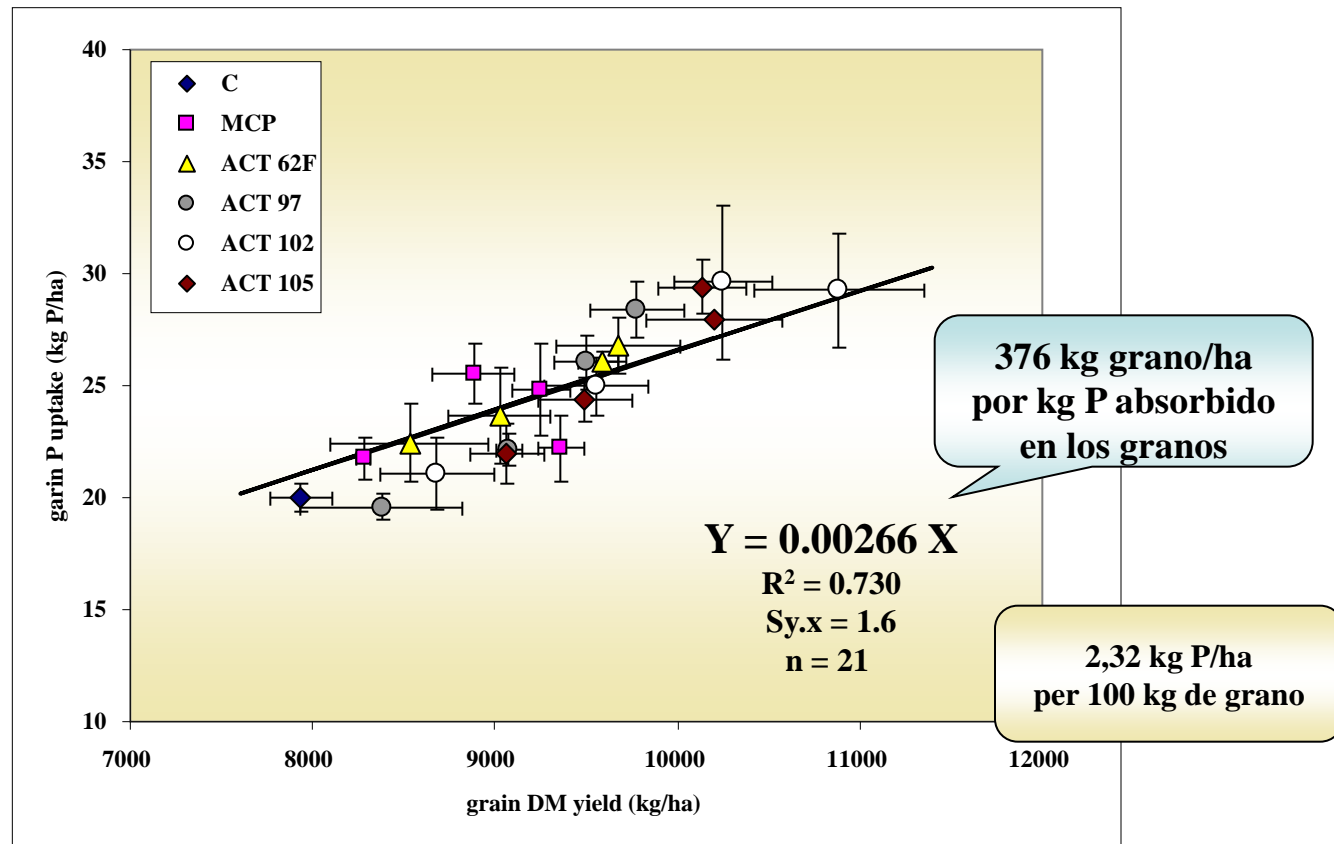
$$\text{Demanda (kg /ha)} = \text{Rendimiento a Alcanzar (100 kg/ha)} * fDem Nte \text{ (kg/100 kg)}$$

$$\text{Disponibilidad Requerida (mg kg}^{-1}\text{)} = \text{Demanda (kg ha}^{-1}\text{)} * fEAbNte \text{ (mg kg}^{-1}\text{/kg ha}^{-1}\text{)}$$

# Factores de Demanda de cereales

Cultivos	Factor de Demanda ( <i>f</i> Dem)		
	N	P	K
(kg /100 kg de producto)			
Arroz	1.64	0.30	1.50
Avena grano	2.22	0.33	1.55
Cebada	1.77	0.35	1.40
Centeno	2.00	0.32	1.45
Maíz grano	1.90	0.30	1.24
Trigo	2.43	0.32	1.62
Triticale	2.20	0.32	1.55

# Eficiencia de utilización de P en trigo

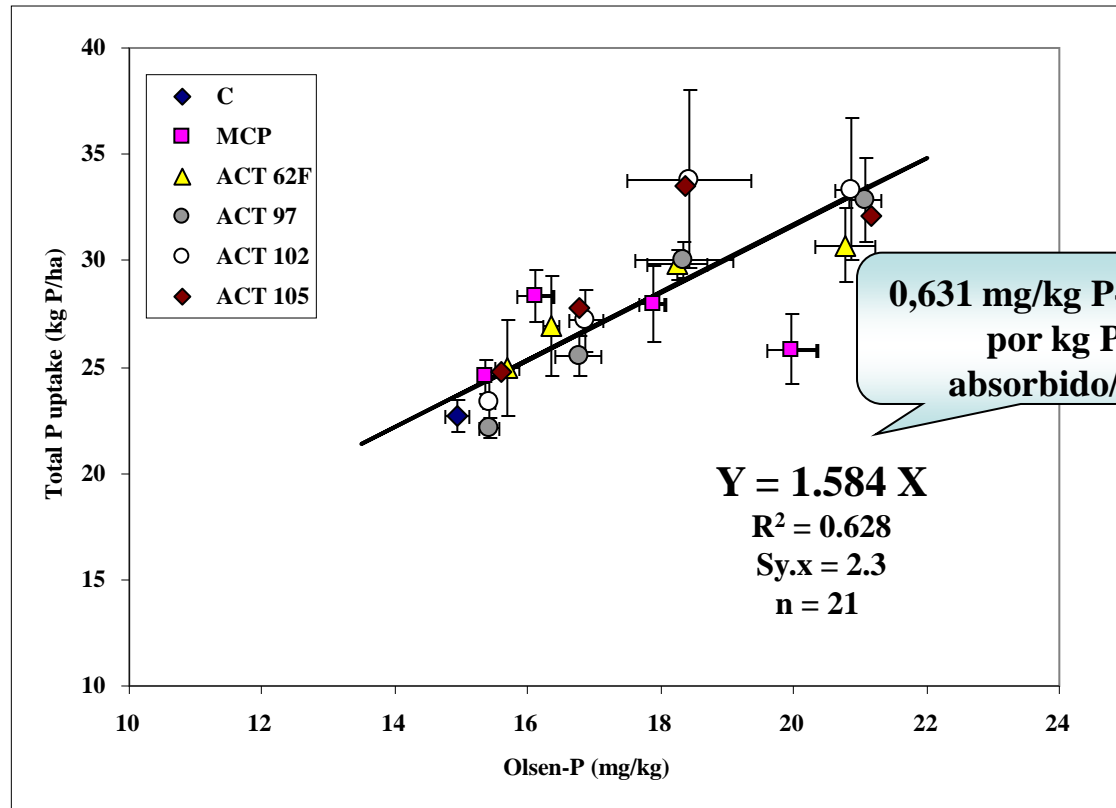




# Factores de Absorción de cultivos

<b>Grupo de cultivo</b>	<b>Factor de absorción de P del cultivo ppm-Olsen/kg absorbido/ha</b>
<b>Gramíneas forrajeras, arroz</b>	<b>0.357</b>
<b>Leguminosas forrajeras, lupino</b>	<b>0.540</b>
<b>Cereales</b>	<b>0.667</b>
<b>Remolacha, Brásicas y Leguminosas de grano</b>	<b>0.800</b>
<b>Papas, cebollas, lechugas, ajo, zanahoria</b>	<b>1.000</b>

# Factor de Eficiencia de Absorción en Trigo



## Efecto Residual del P aplicado desde los fertilizantes

Dosis de Fósforo = 700 mg P/kg of soil

- **P aplicado como P principalmente soluble**
  - Fosfato de Potasio (FdK)
  - Fosfato monocálcico como SFT (FMC)
- **Dos métodos de extracción**
  - Resinas en Membranas (Saggar et al., 1990)
  - Método Olsen (Olsen, 1954)

- **Tres tipos de suelos**

- Ultisol (Cudico)
- Dos Andisoles (V)

- **Incubación suelo fe**

- 25 °C
- 75% MCAA

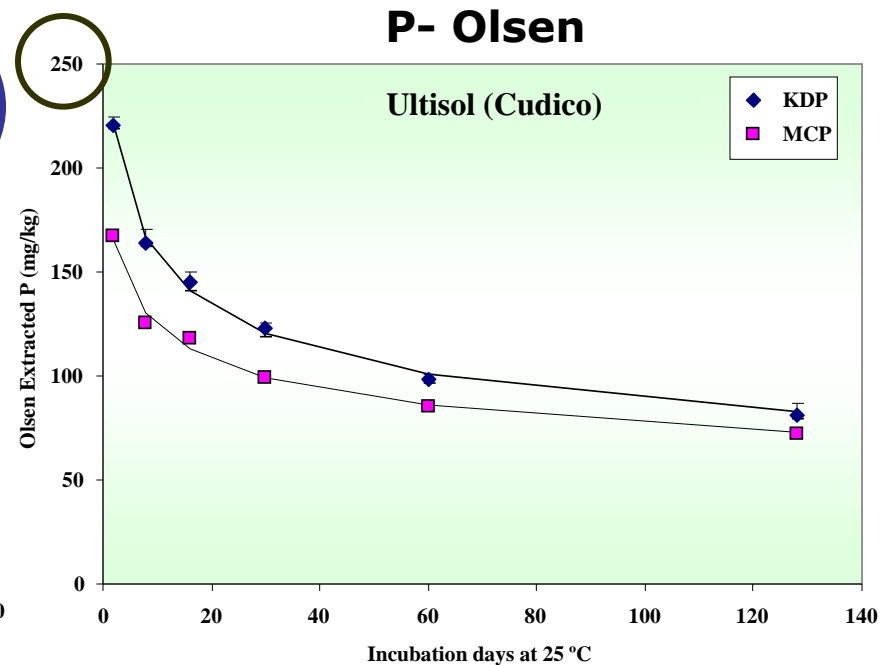
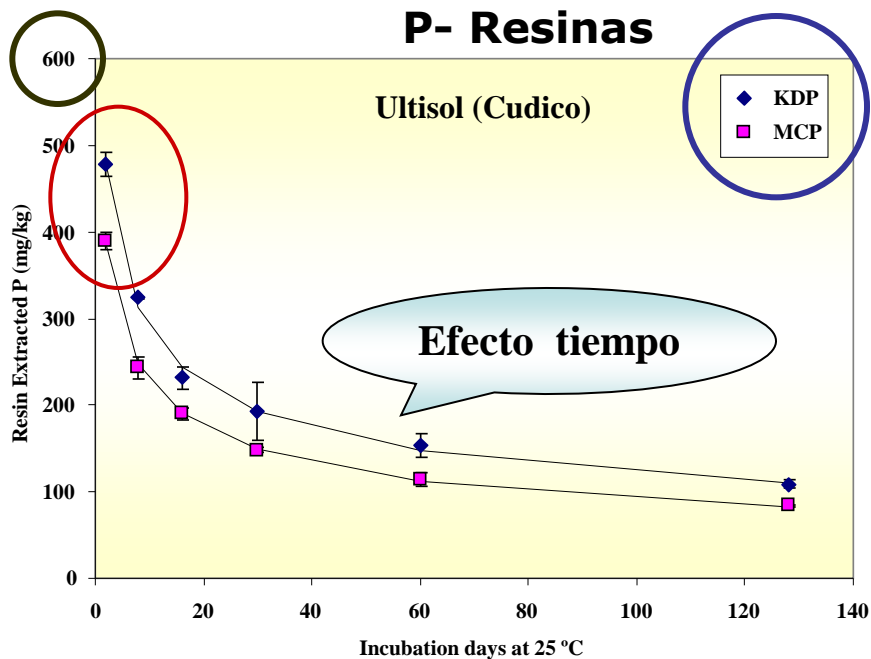
	Fertilizantes usados	
Método	FdK	FMC
Agua	22,76	16,29
Citrato	0,0	5,58
Insoluble	0,0	0,30
Total	22,76	22,18

73%

# Efecto residual del P aplicado como fertilizantes

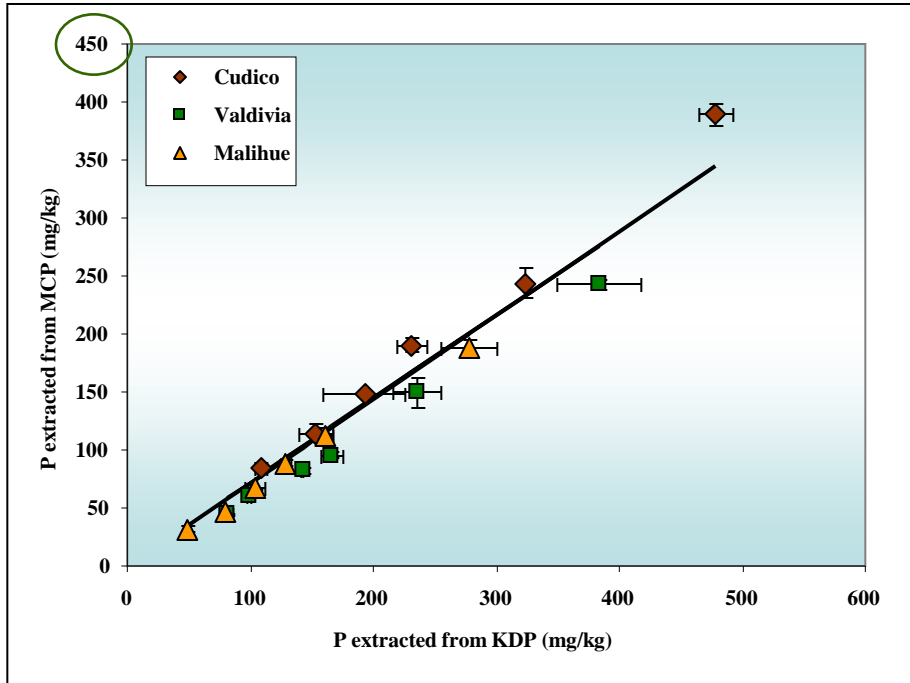
Dosis de Fósforo = 700 mg P/kg of soil

Tres suelos diferentes: 1 Ultisol y 2 Andisoles  
Dos diferentes tipos de extractantes: Resin-P y Olsen-P



# Relación entre los tipos de fertilizantes FdK y FMC

## Extracción de Resin-P



$$Y = 0.72 X$$

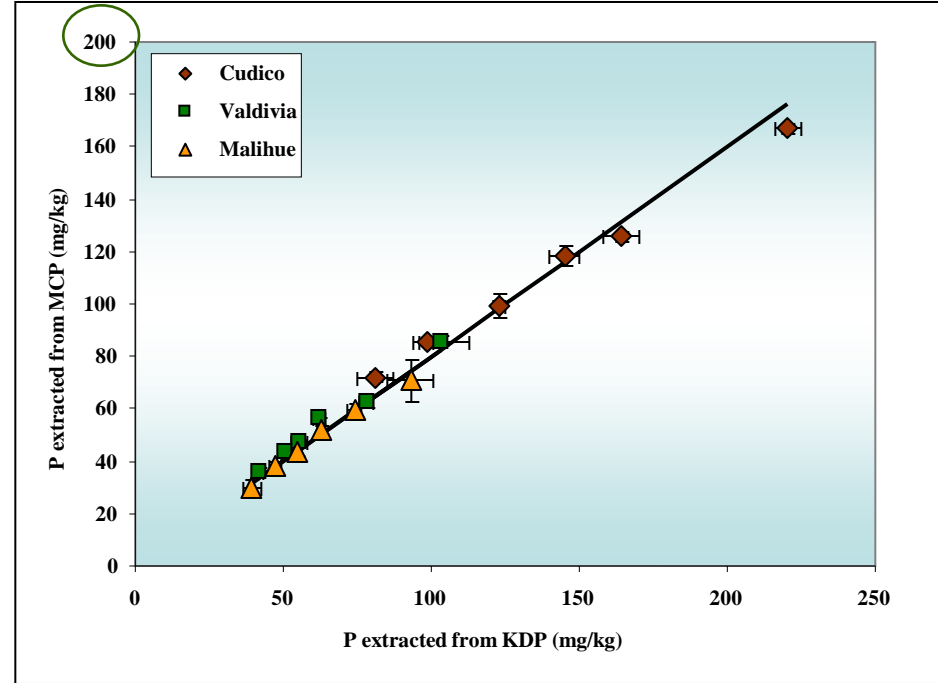
$$R^2 = 0.957$$

$$Sy.x = 19$$

$$n = 18$$

72%

## Extracción de Olsen-P



$$Y = 0.80 X$$

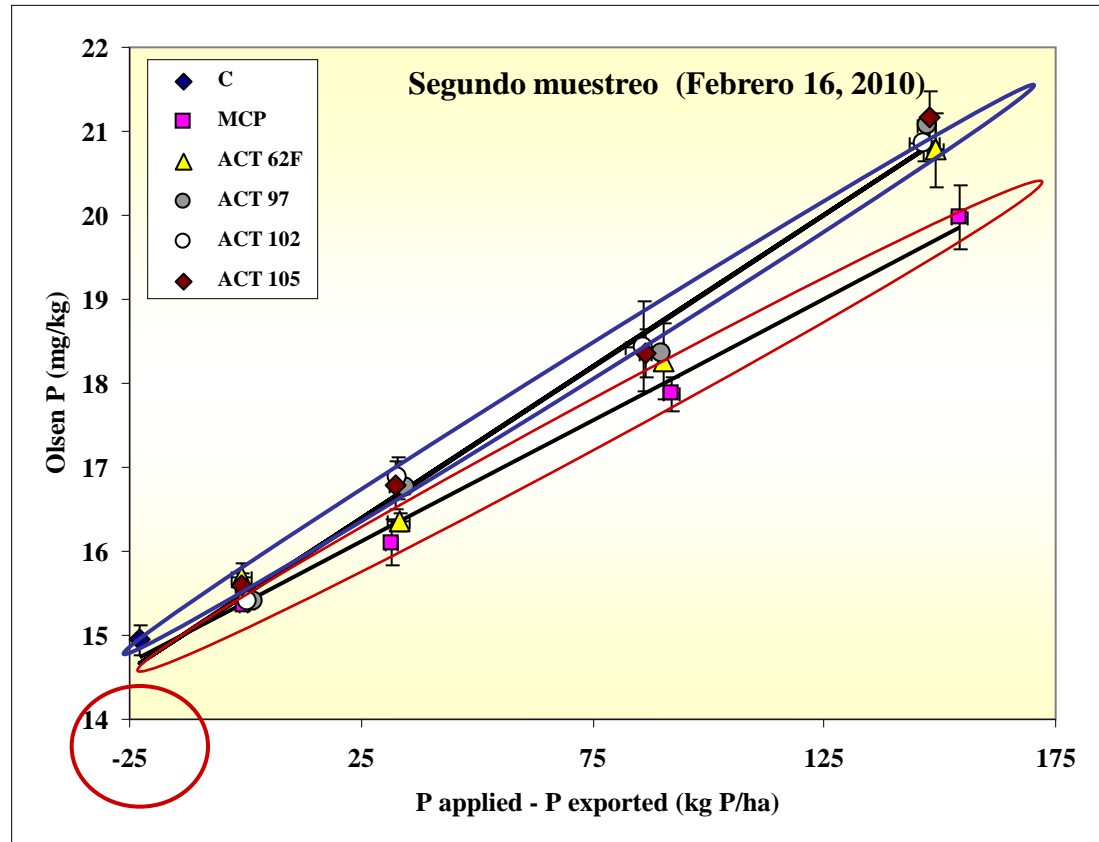
$$R^2 = 0.986$$

$$Sy.x = 4$$

$$n = 18$$

80%

# Factor de Eficiencia de Disponibilidad ( $f_{ED}$ )



# Factor $fED$

(kg P aplicado/ mg/kg Olsen-P)

Segunda fecha de muestreo (Febrero 16, 2010)

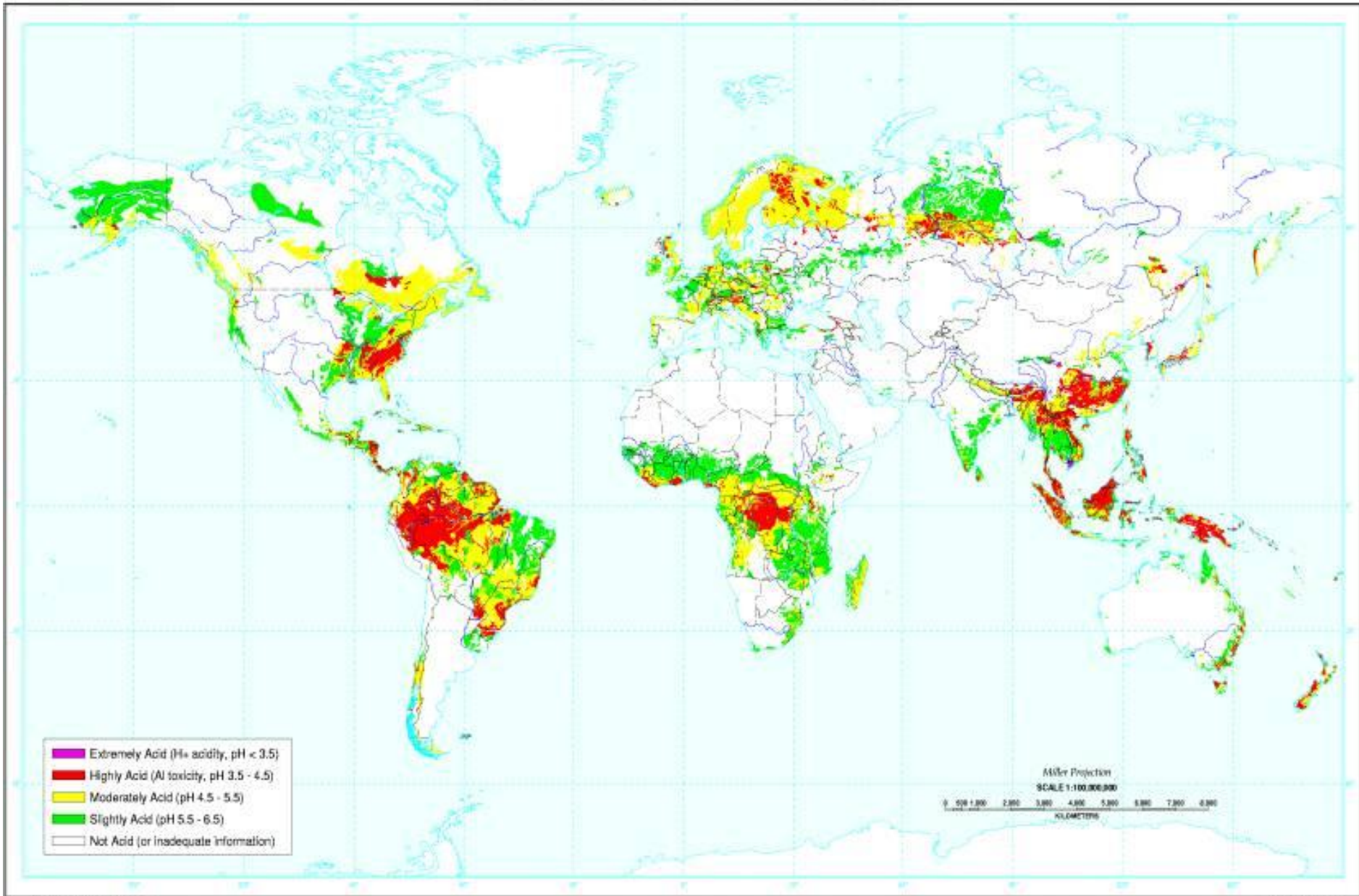
	Parámetros de ecuación lineal				<b>FED</b>
Fertilizante	a	b	R <sup>2</sup>	Sy.x	1/b
FMC	15.39 a	0.0289 b	0.993	0.19	34.6
ACT 62F	15.53 a	0.0336 a	0.986	0.32	29.7
ACT 97	15.50 a	0.0364 a	0.989	0.31	27.5
ACT 102	15.57 a	0.0355 a	0.994	0.22	28.2
ACT 105	15.62 a	0.0363 a	0.993	0.25	27.5

82%

**ALUMINIO**



# Global Distribution of Acid Soils



# Distribución de los suelos ácidos del mundo

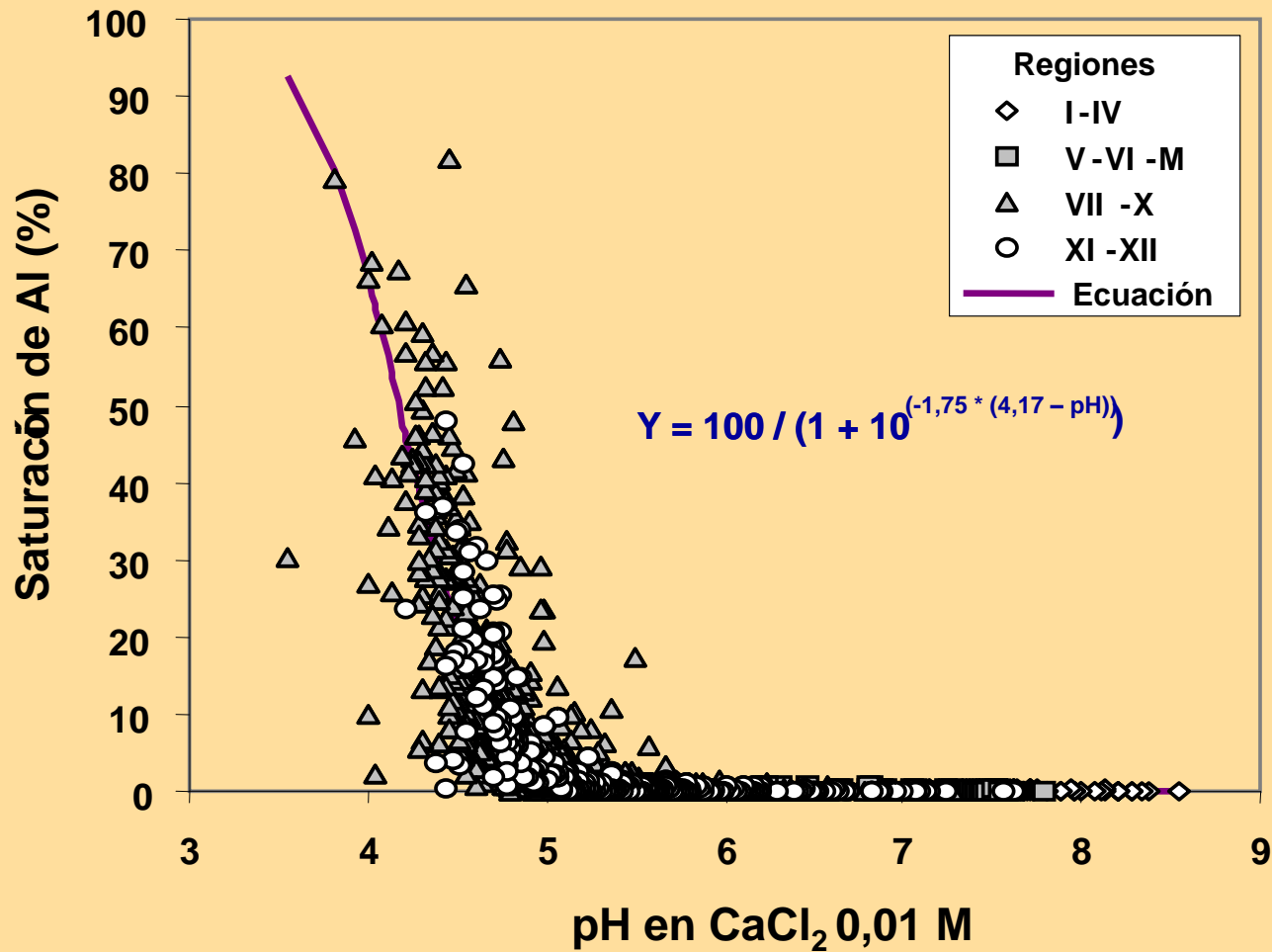
von Uexkull and Mutert (1995)

<b>Región</b>	<b>Area Acida</b>	
	<b>millones ha</b>	<b>(%)</b>
<b>América Central</b>	<b>37</b>	<b>35</b>
<b>América del Sur</b>	<b>917</b>	<b>14</b>
<b>América del Norte</b>	<b>662</b>	<b>30</b>
<b>Africa</b>	<b>659</b>	<b>22</b>
<b>Asia</b>	<b>532</b>	<b>76</b>
<b>Australia/Nueva Zelanda</b>	<b>239</b>	<b>30</b>
<b>Europa</b>	<b>391</b>	<b>37</b>
<b>Global</b>	<b>3950</b>	<b>30</b>

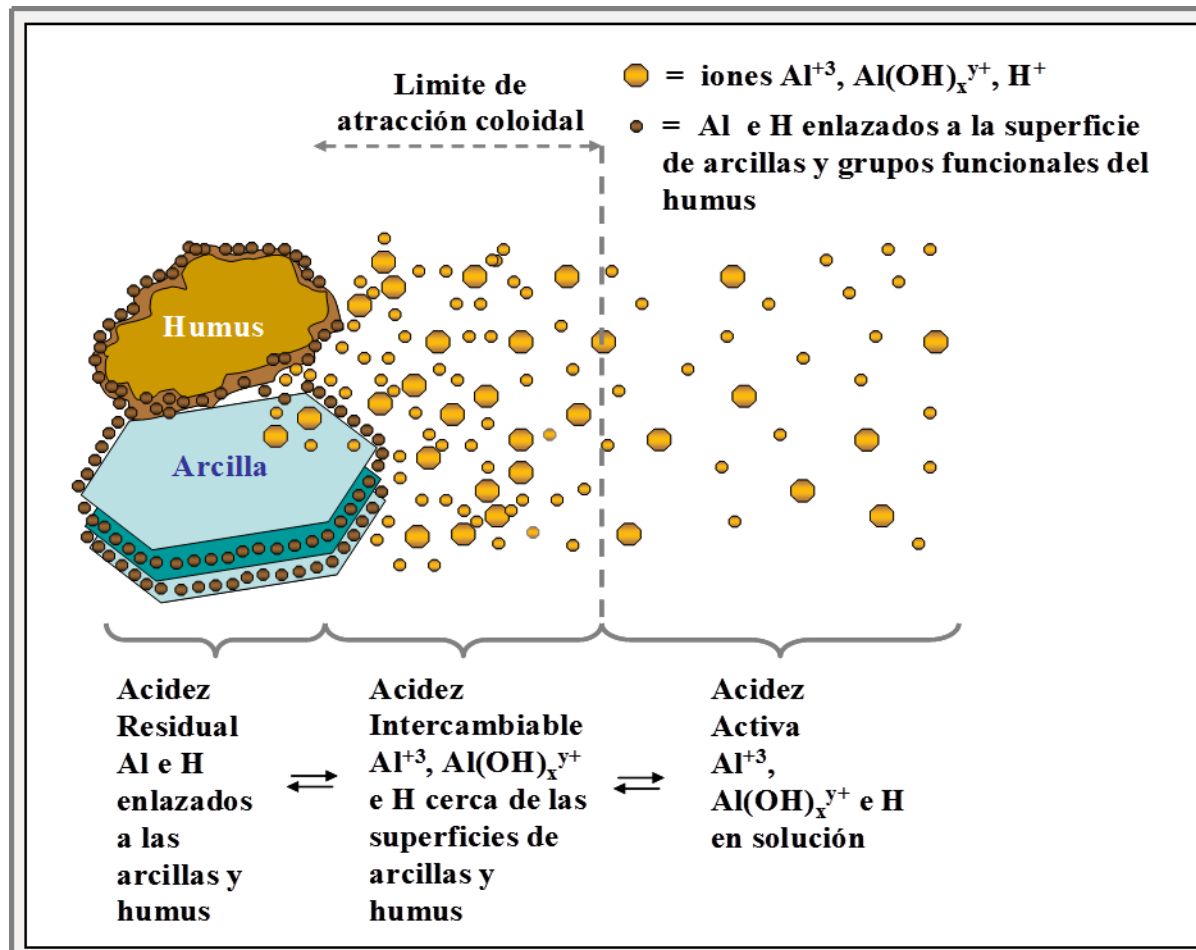
Considera el área libre de hielo del globo terráqueo  
excluye Asia del Sur y Este



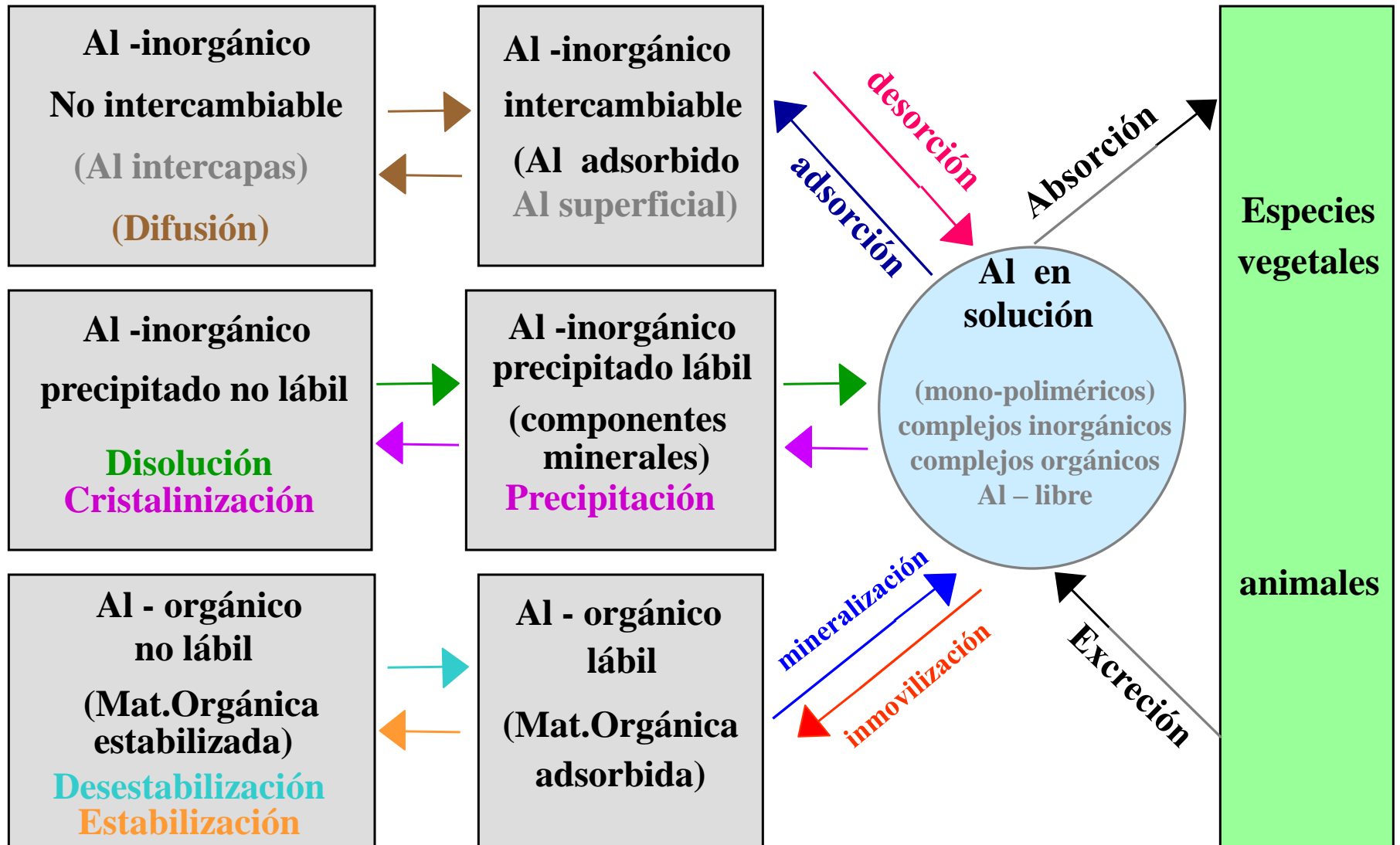
# pH<sub>c</sub> y Saturación de Al en suelos chilenos



# Clasificación de los tipos de acidez de los suelos



# Dinámica del Aluminio en el suelo



## Corrección de la Acidez del Suelo

$$Dosis\ Cal\ (t/ha) = \Delta pH / fCT_{pH}$$

$\Delta pH$  : Diferencia de pH (pH alcanzar - pH inicial)

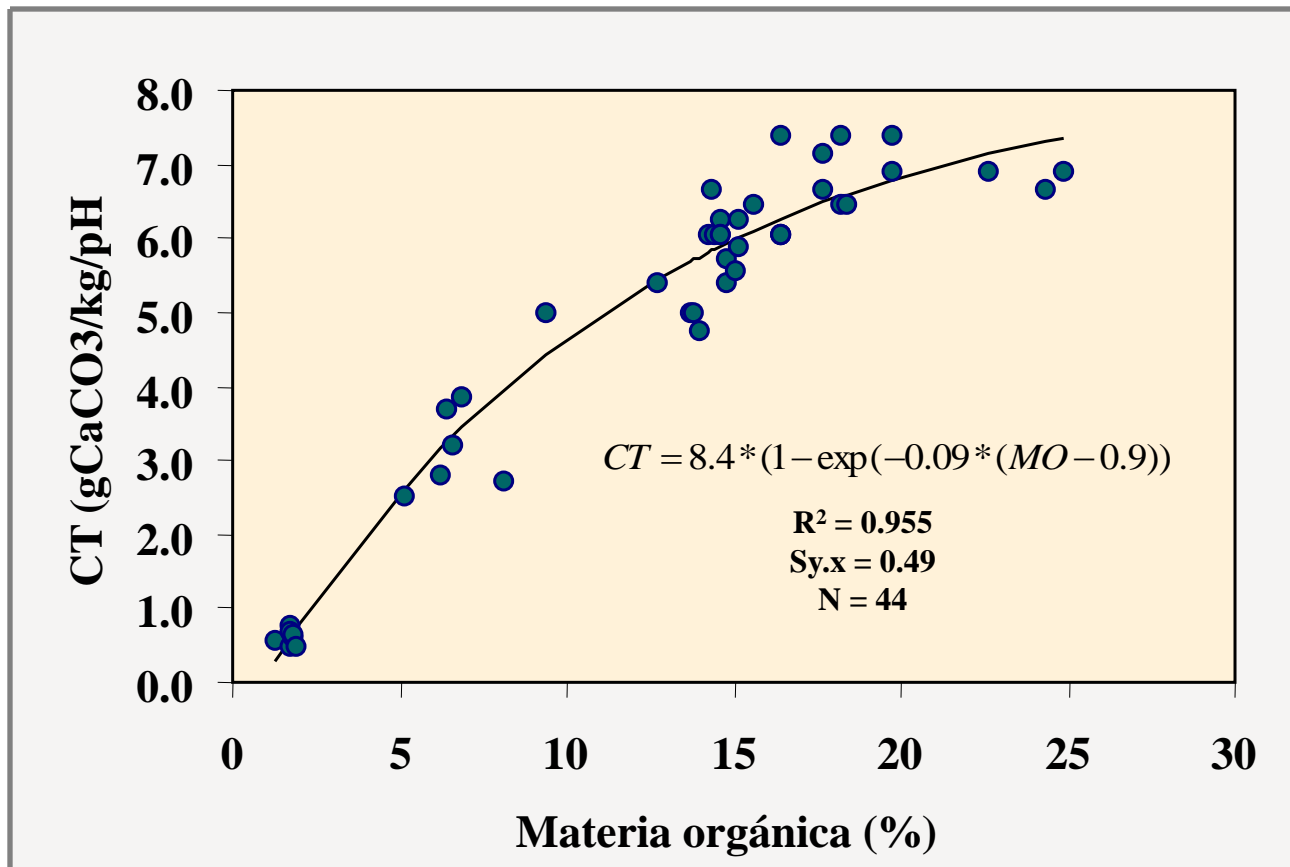
$fCT_{pH}$  : Factor de la capacidad tampón del suelo

# Grados de tolerancia a la acidez de los suelos

Cultivo	Categoría	pH crítico	pH a alcanzar
<b>Cereales</b>			
Alforfón	Tolerante	5.4	5.6
Arroz	Muy tolerante	5.0	5.2
Cebada	Sensible	5.8	6.0
Maíz grano	Poco sensible	5.5	5.7
Trigo	Tolerante	5.4	5.6
<b>Oleaginosas</b>			
Maravilla	Tolerante	5.4	5.6
Raps	Poco sensible	5.6	5.8
<b>Leguminosas de grano</b>			
Arvejas fresco	Sensible	5.8	6.0
Arvejas grano	Sensible	5.8	6.0
Frejoles	Sensible	5.8	6.0
Garbanzos	Poco sensible	5.6	5.8
Lentejas	Poco sensible	5.6	5.8
Lupino grano	Tolerante	5.4	5.6
<b>Cultivos industriales</b>			
Papas	Muy tolerante	4.9	5.1
Remolacha	Sensible	5.9	6.1
Tabaco	Muy tolerante	5.0	5.2
Tomate	Tolerante	5.0	5.2



# Cálculo de la capacidad tampón



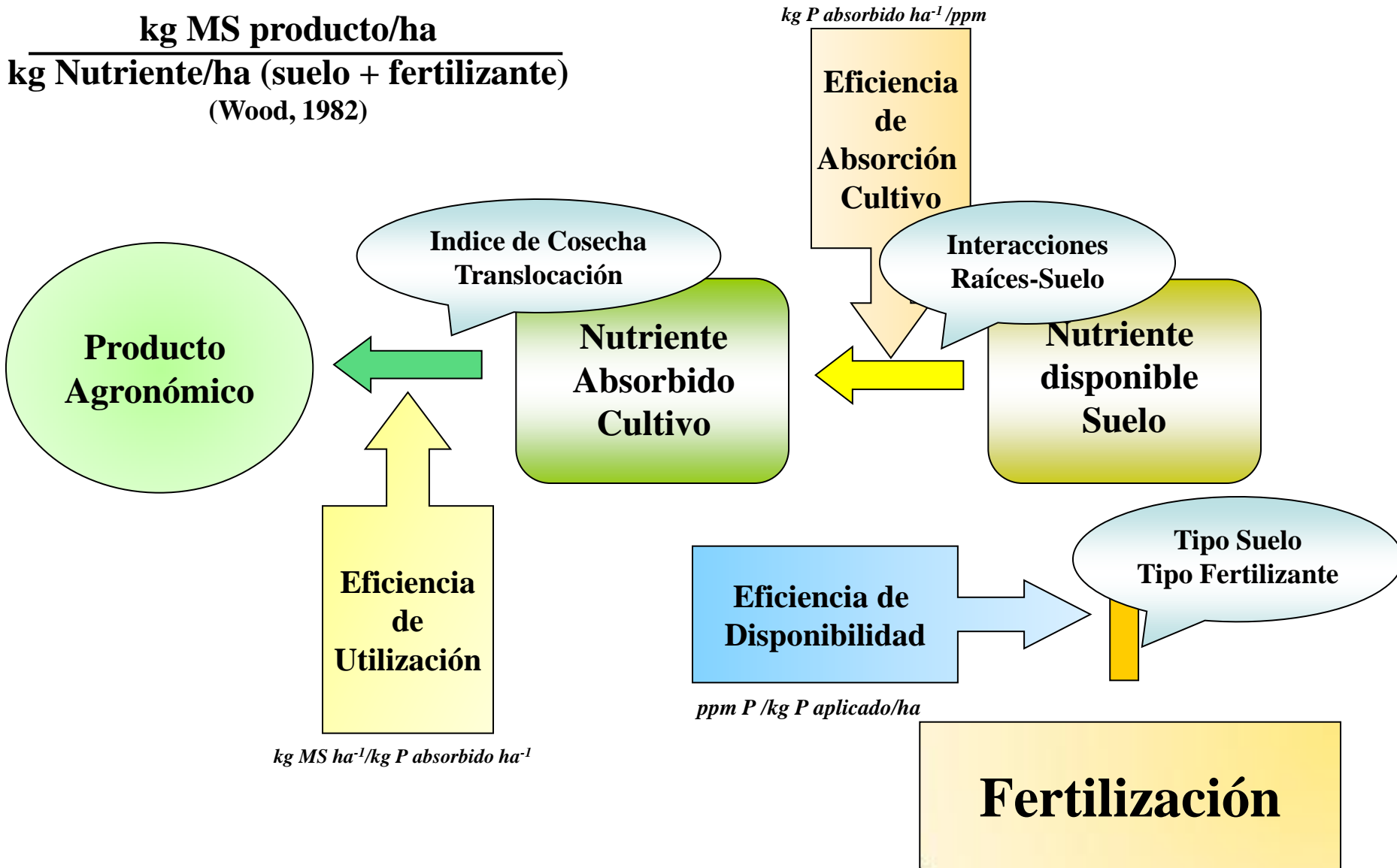
$$fCT_{pH} = 1 / ( 8.4 * ( 1 - \exp(-0.09 * (MO - 0.9))) * Dap * dm )$$

**Dap = densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)**

**dm = profundidad en decímetros**

# Eficiencia de Uso de Nutrientes

$$\frac{\text{kg MS producto/ha}}{\text{kg Nutriente/ha (suelo + fertilizante)}} \quad (\text{Wood, 1982})$$

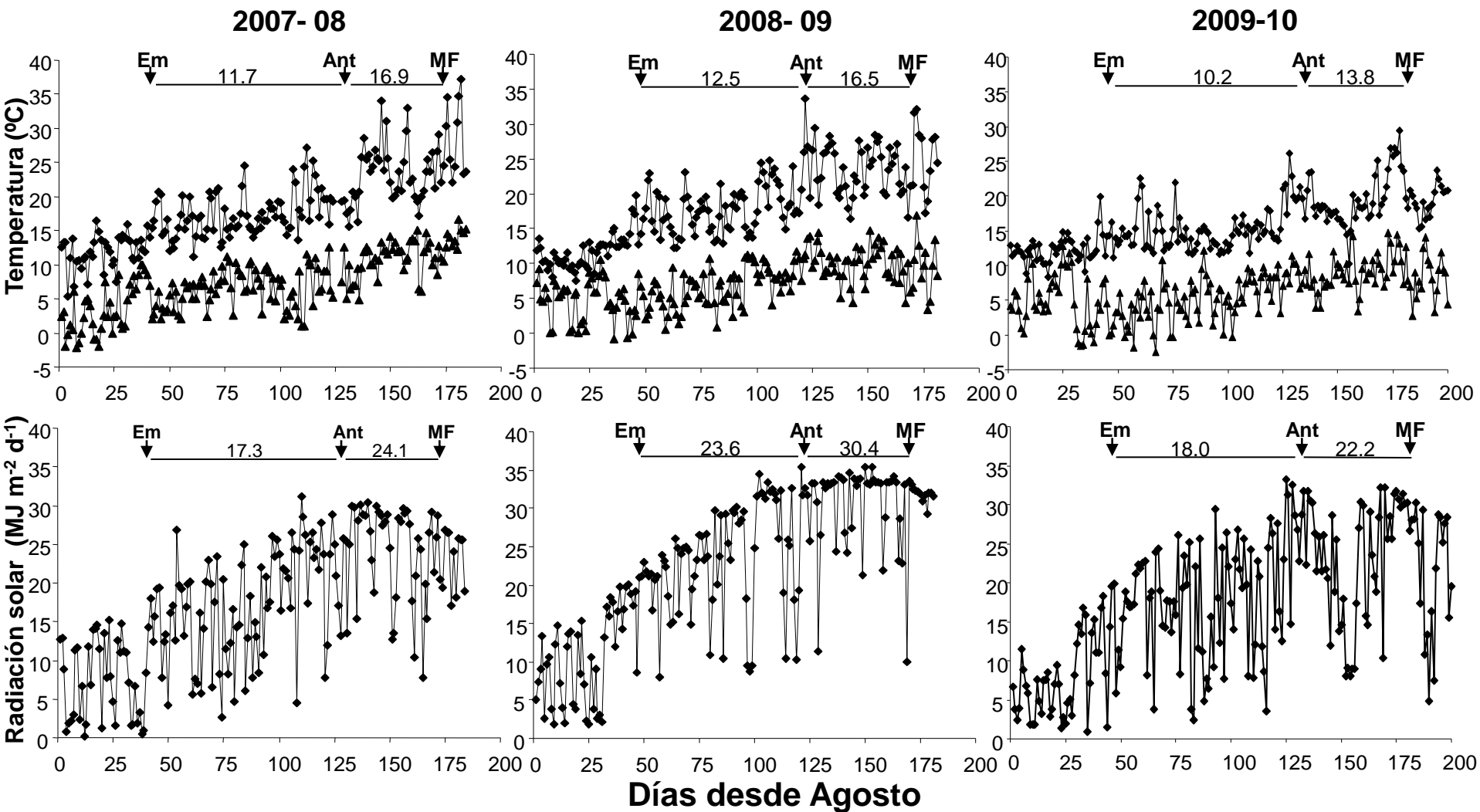


# CASO DEL FÓSFORO

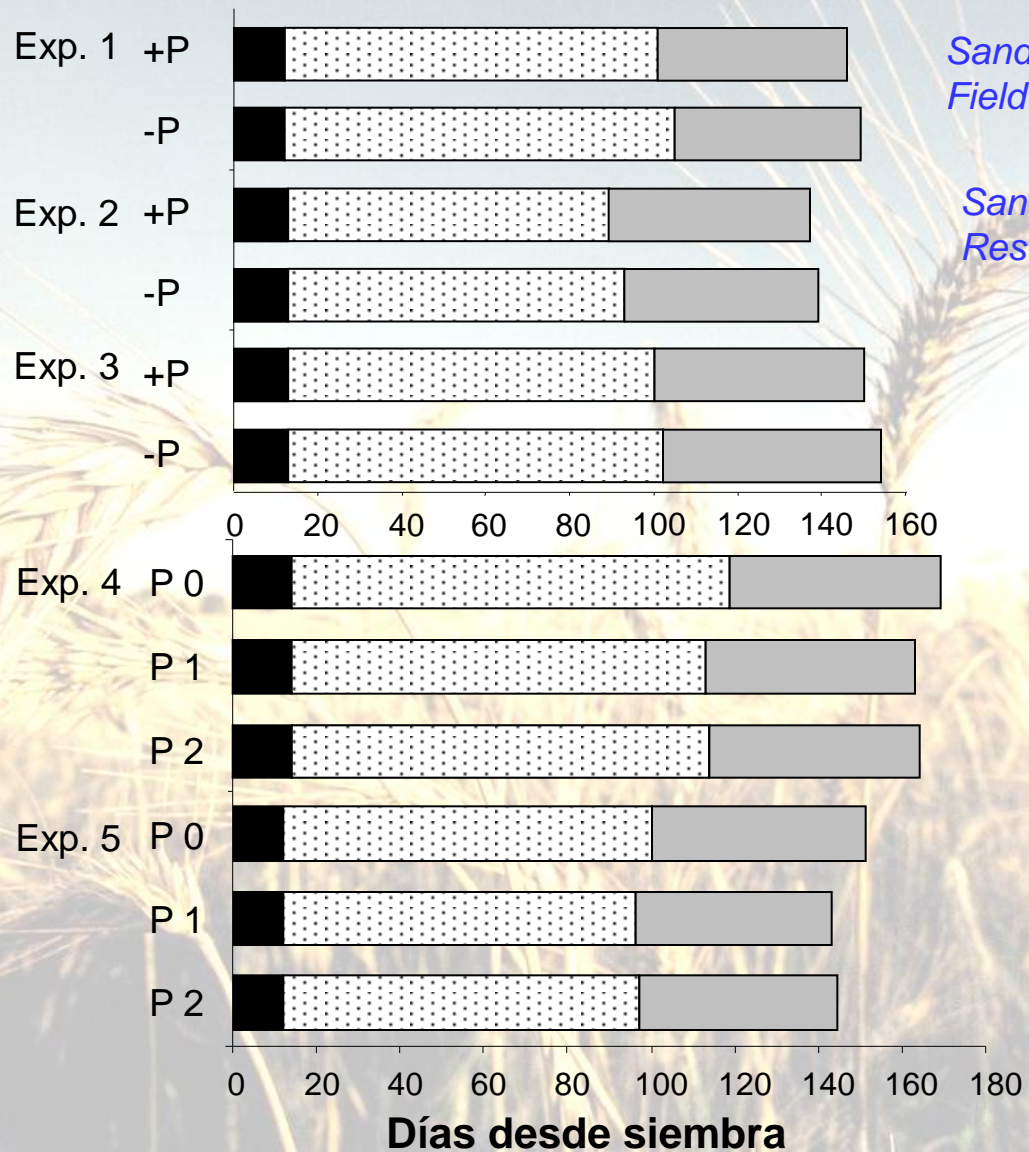
Captura y Eficiencia de uso de  
Recursos

**Dr. Dante Pinochet**  
**Dr. Patricio Sandaña**

# CONDICIONES CLIMATICAS EN EXPERIMENTOS



# EFECTO DEL FOSFORO EN FENOLOGIA

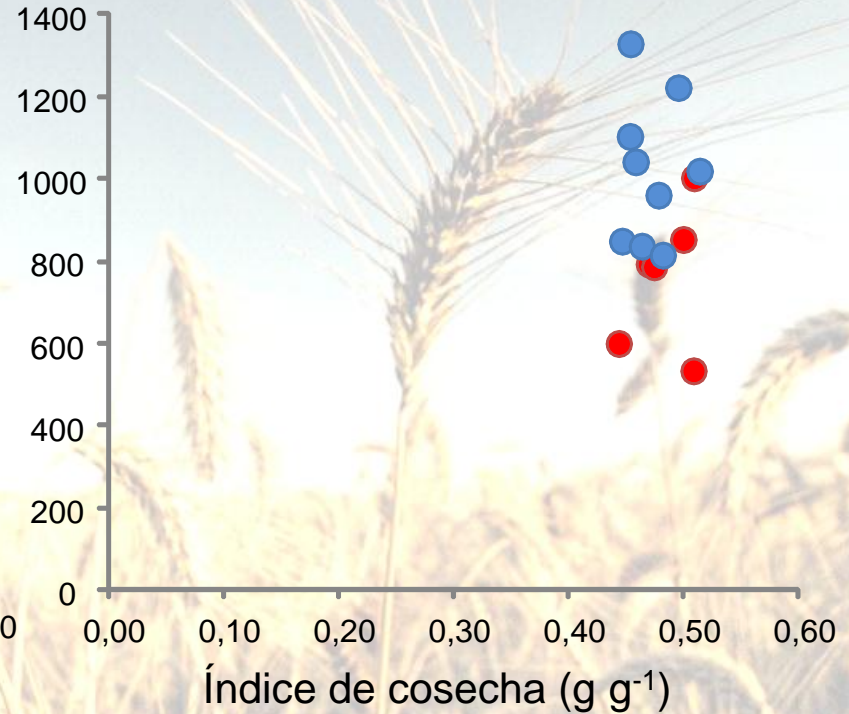
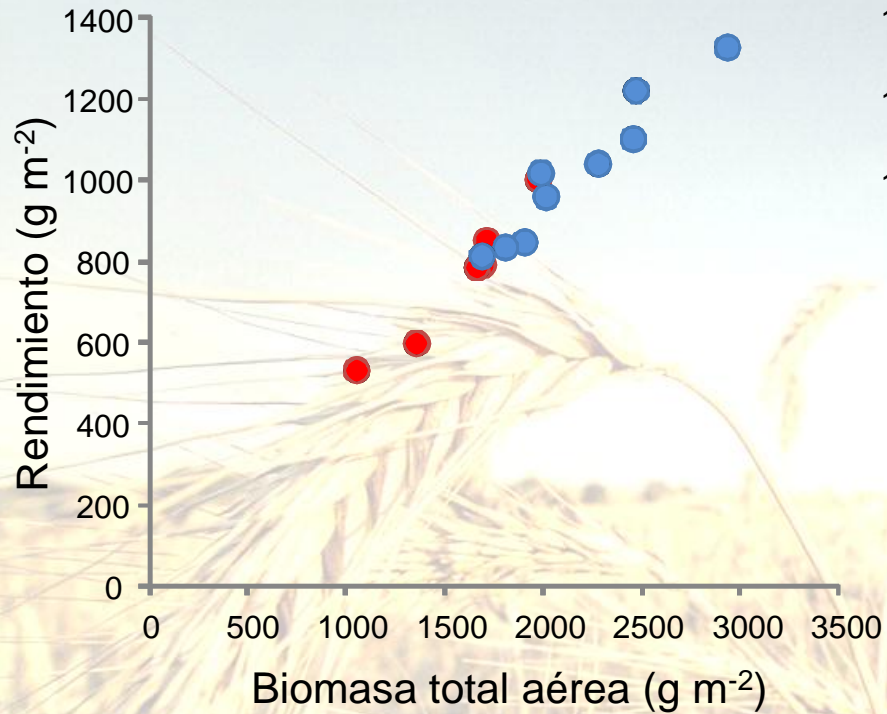


*Sandaña and Pinochet, 2011.  
Field Crops Res.*

*Sandaña et al., Field Crops  
Res. (en prensa)*



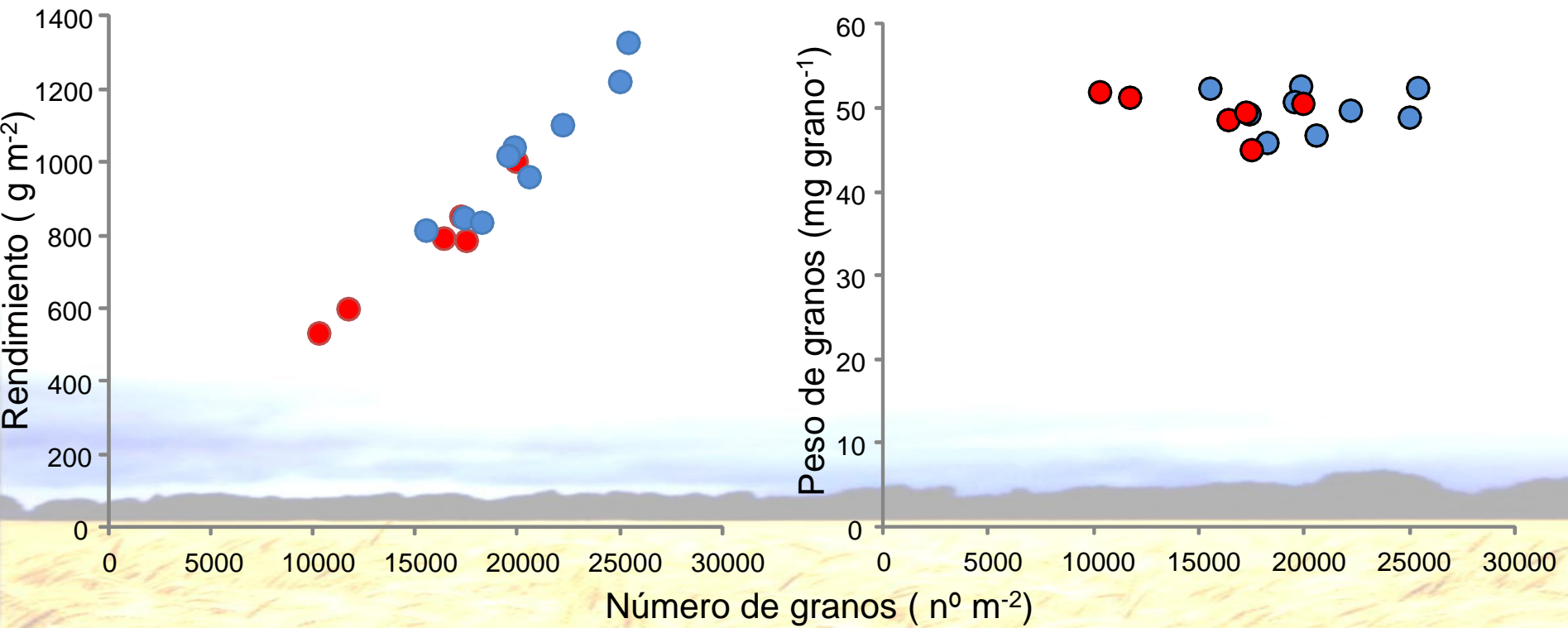
# BIOMASA, PARTICION Y SU IMPACTO EN RENDIMIENTO



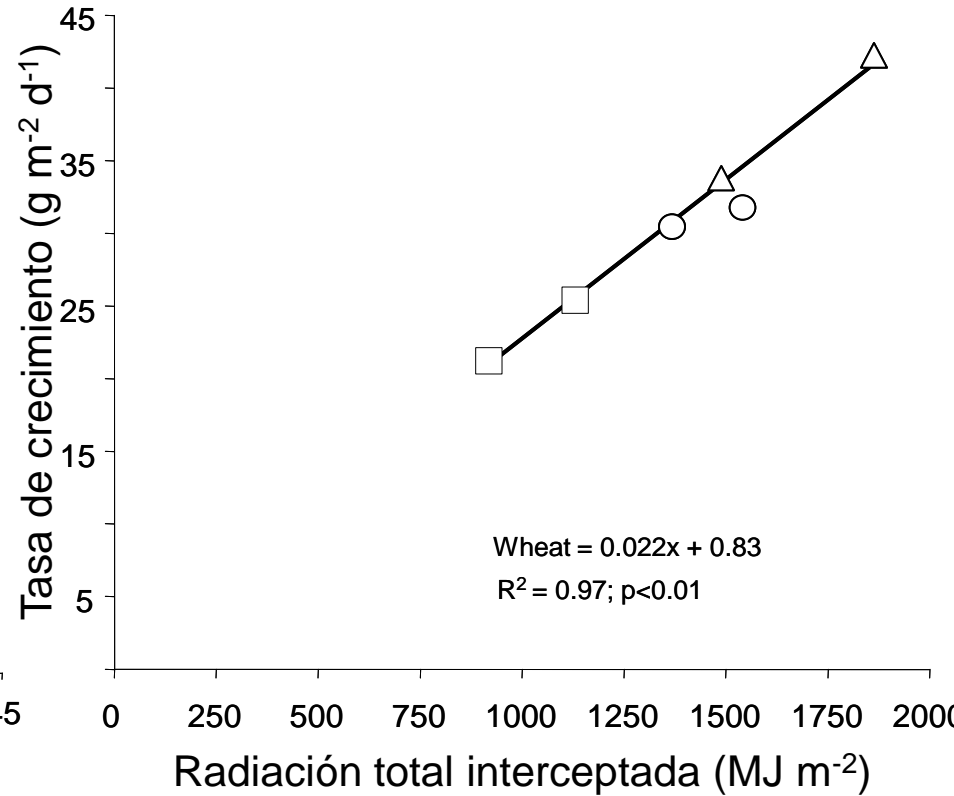
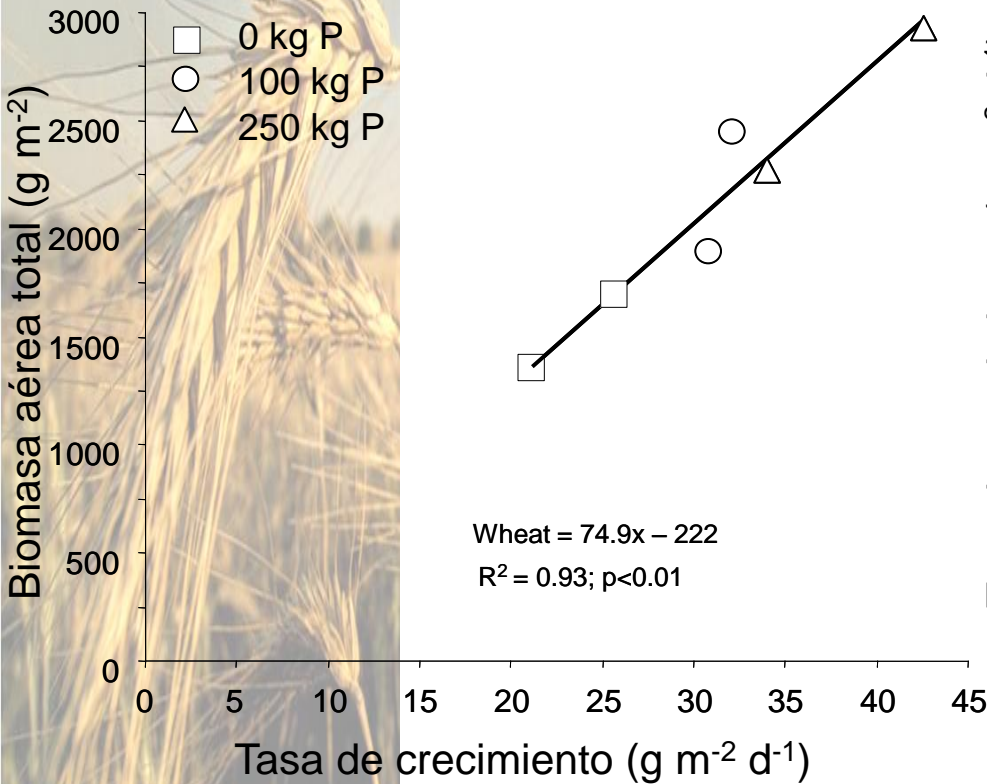
*Sandaña and Pinochet, 2011.  
Field Crops Res.*

*Sandaña et al., Field Crops  
Res. (en prensa)*

# NUMERO Y PESO DE GRANOS



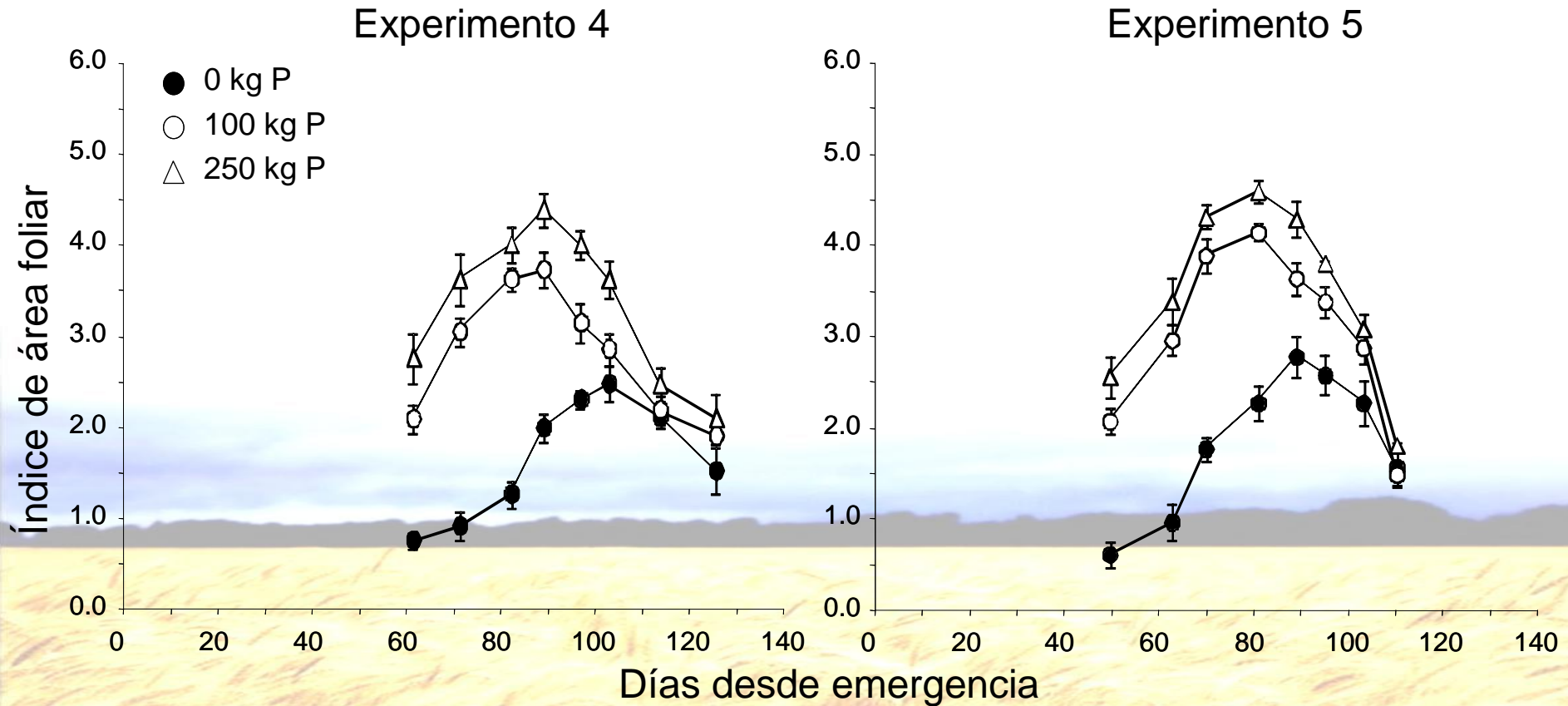
# CAPTURA Y USO DE RADIACIÓN



*Sandaña et al., Field Crops Res. (en prensa)*

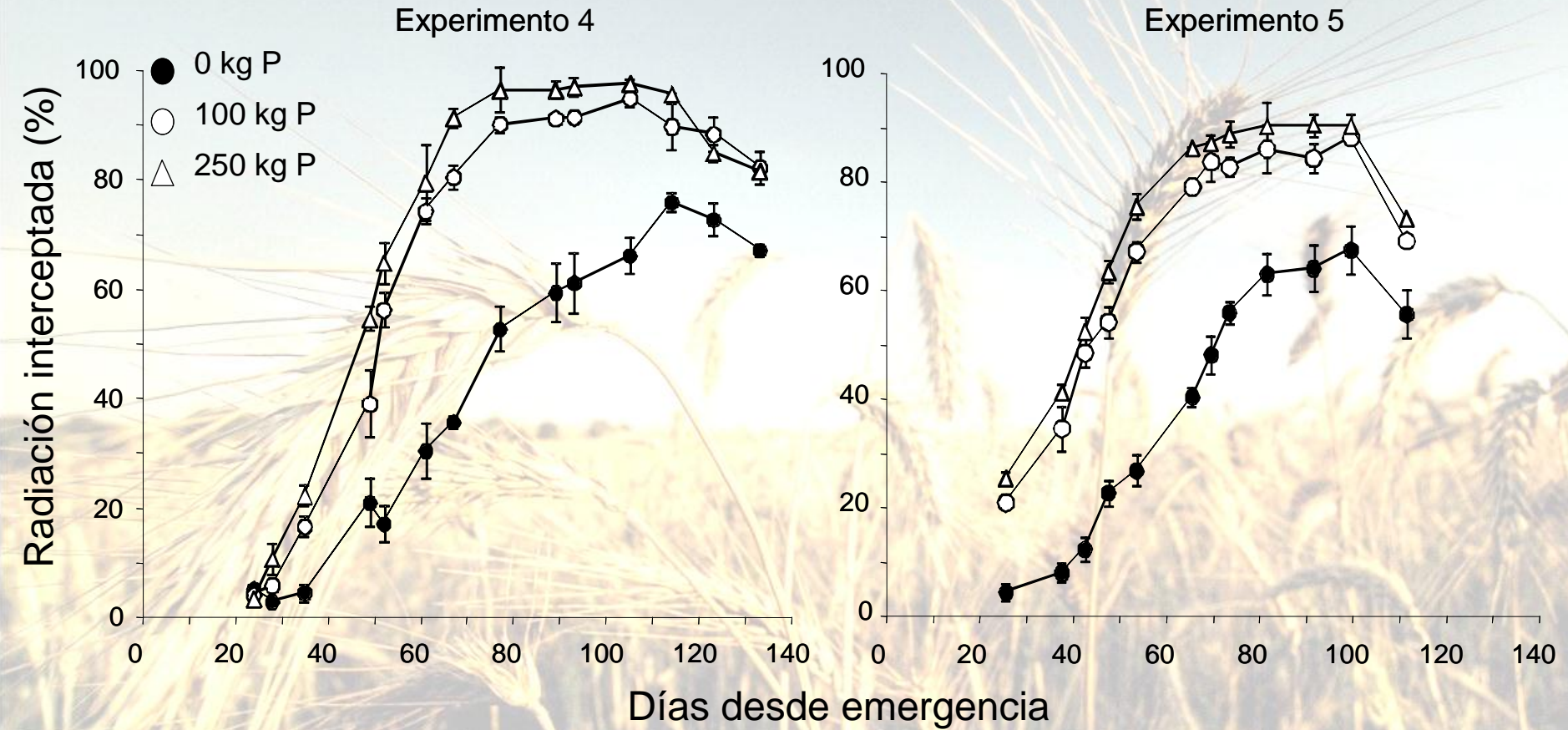


# VARIACION DEL INDICE DE AREA FOLIAR



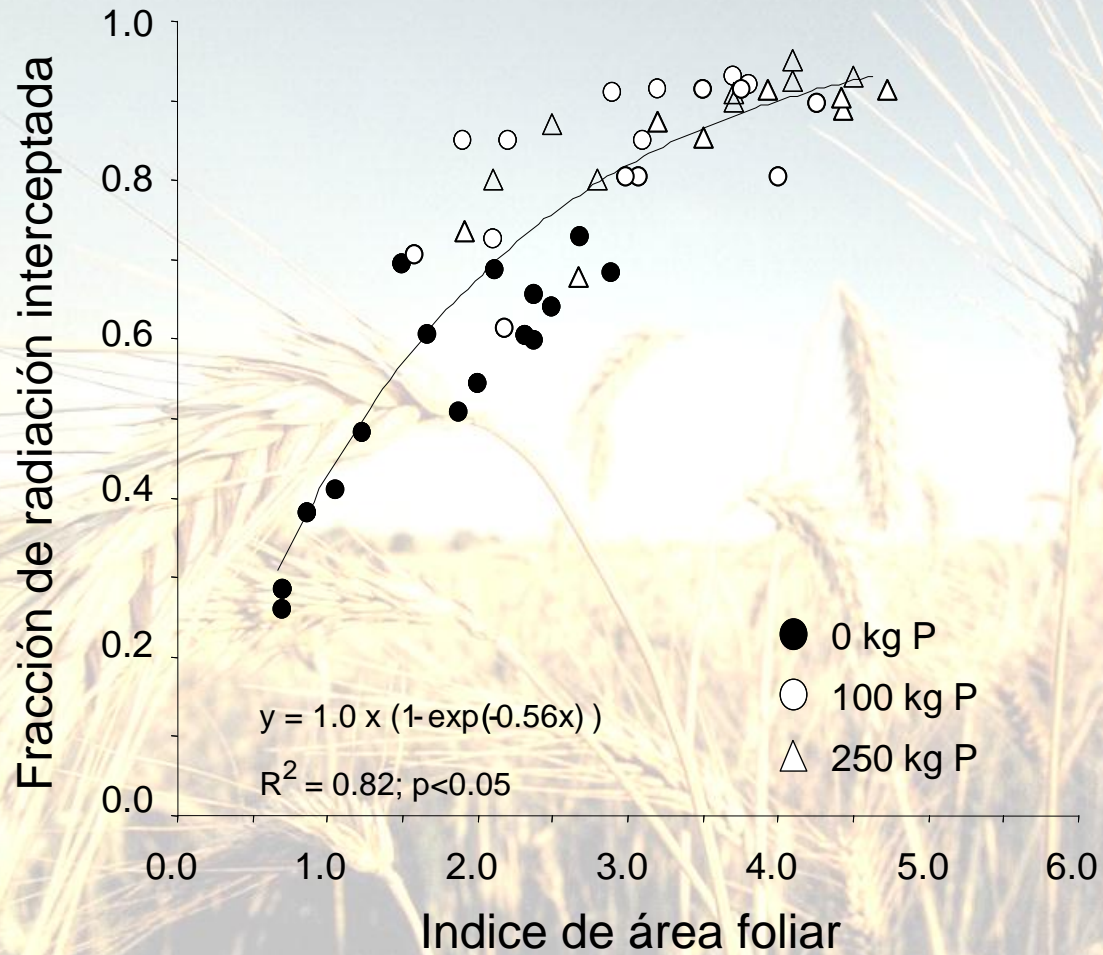
*Sandaña et al., Field Crops Res. (en prensa)*

# RADIACION INTERCEPTADA





# FRACCION DE LA RADIACION INTERCEPTADA



*Sandaña et al., Field Crops Res. (en prensa)*

# EFICIENCIA DE USO DE LA RADIACION

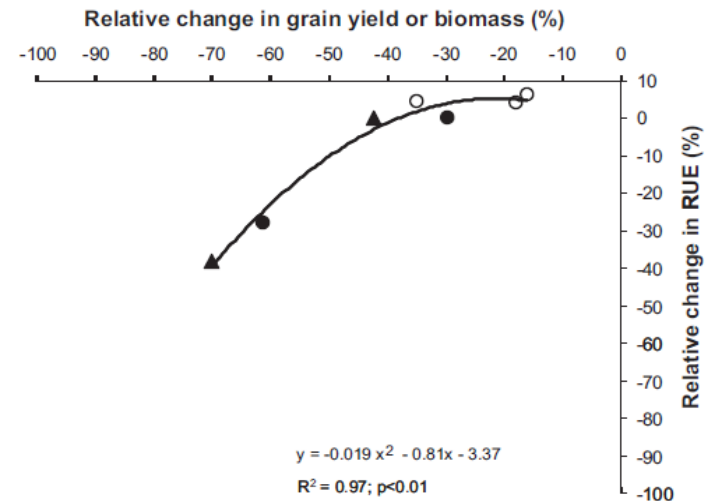
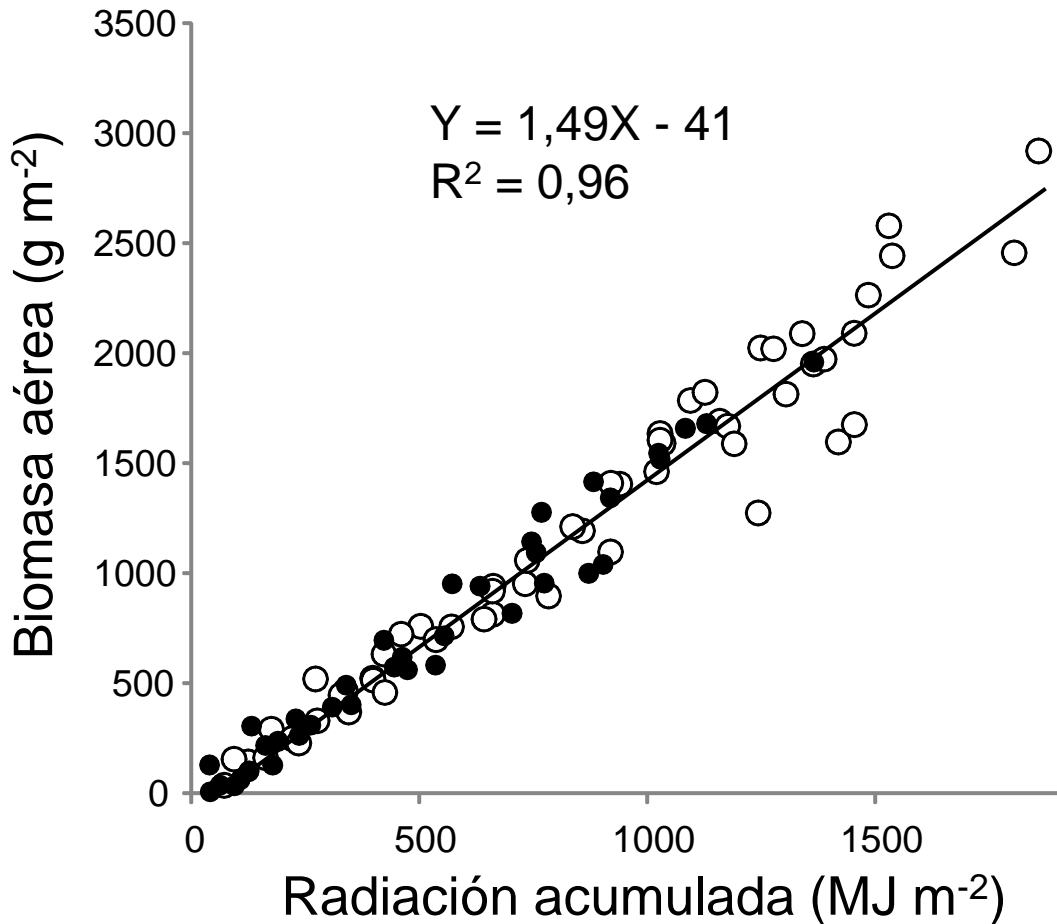


Fig. 7. Relationship between relative change in radiation use efficiency (RUE) and relative change in grain yield (circles) or biomass (triangles) under P deficiency recorded in the present study (open circles) and previous studies in non-shaded treatments of Lázaro et al. (2009) (closed circles) and Rodríguez et al. (2000) (closed triangles) under P deficiency.

*Sandaña and Pinochet, 2011.  
Field Crops Res.*

# COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

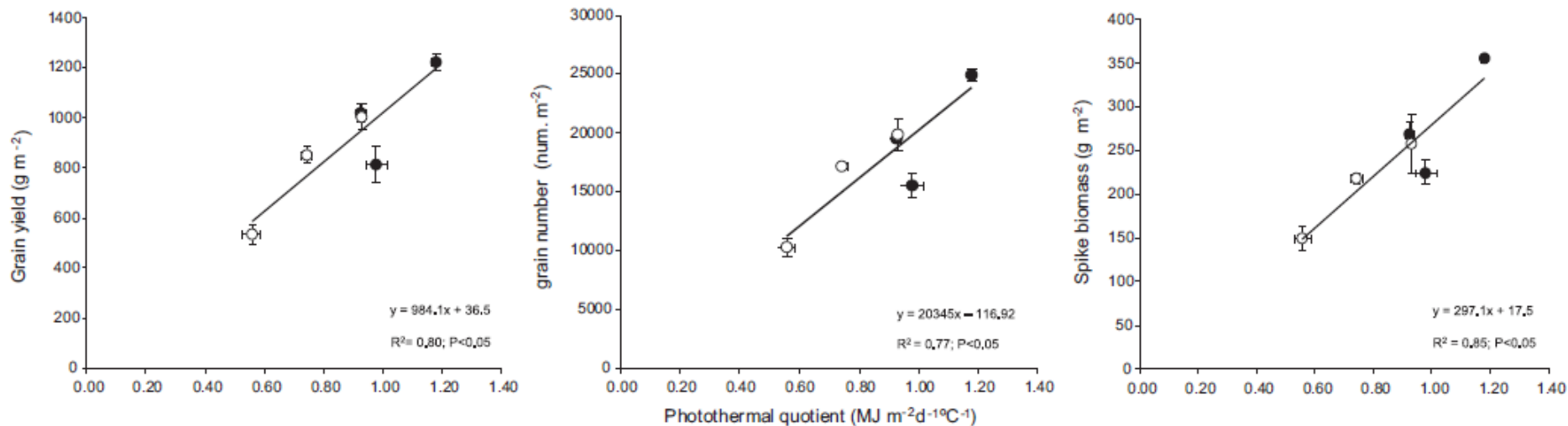
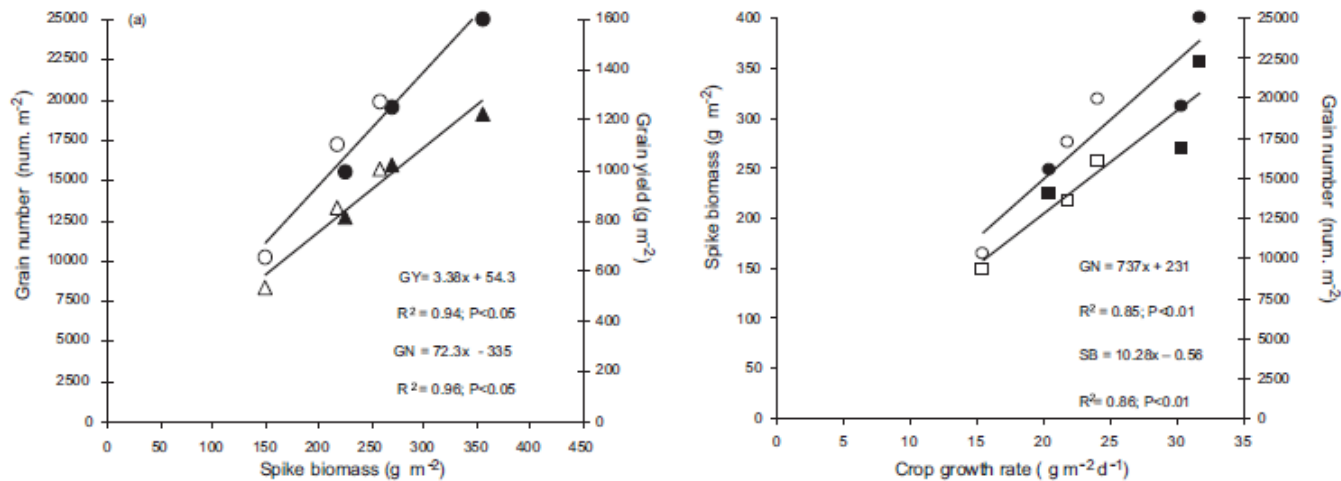
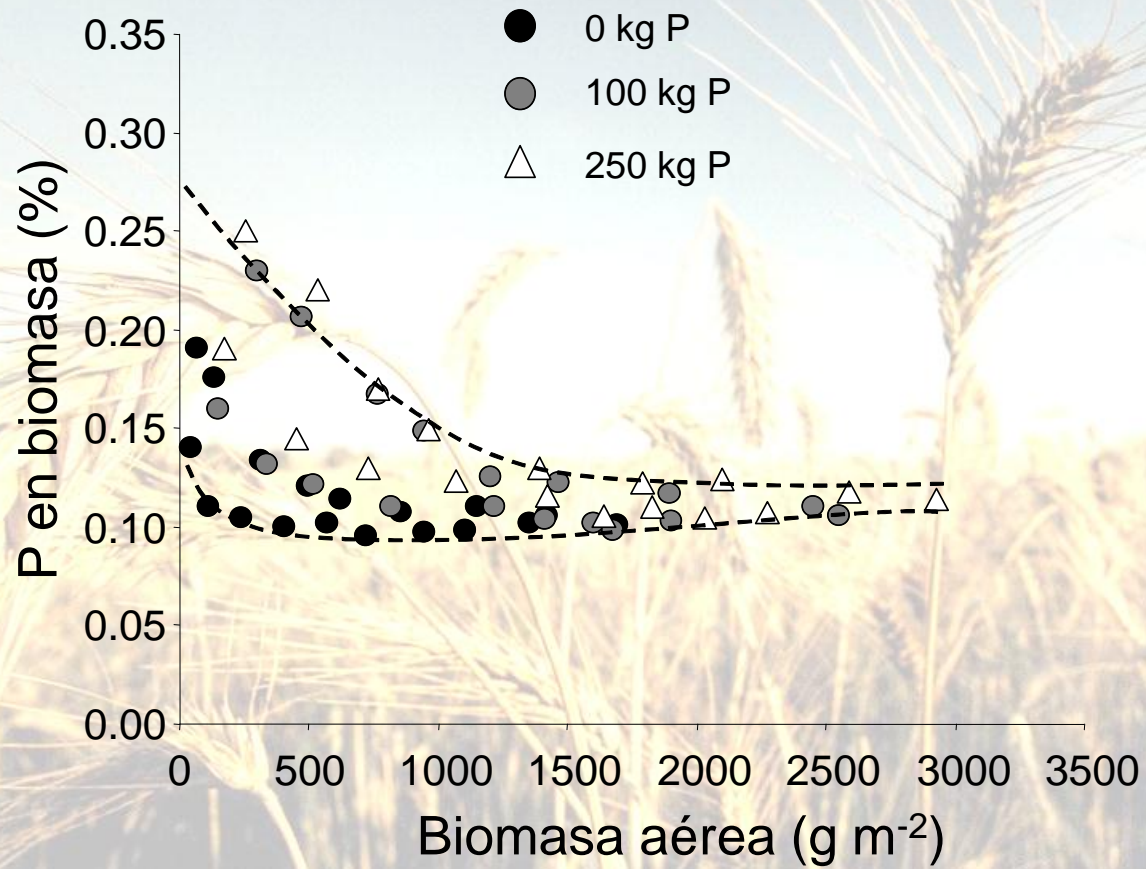


Fig. 5. Relationship between grain yield (a), grain number (b) and spike biomass at anthesis (c) with photothermal quotient of treatments with (closed circles) or without (open circles) P fertilization in experiments 1, 2 and 3. Vertical and horizontal bars represent standard error of the means.

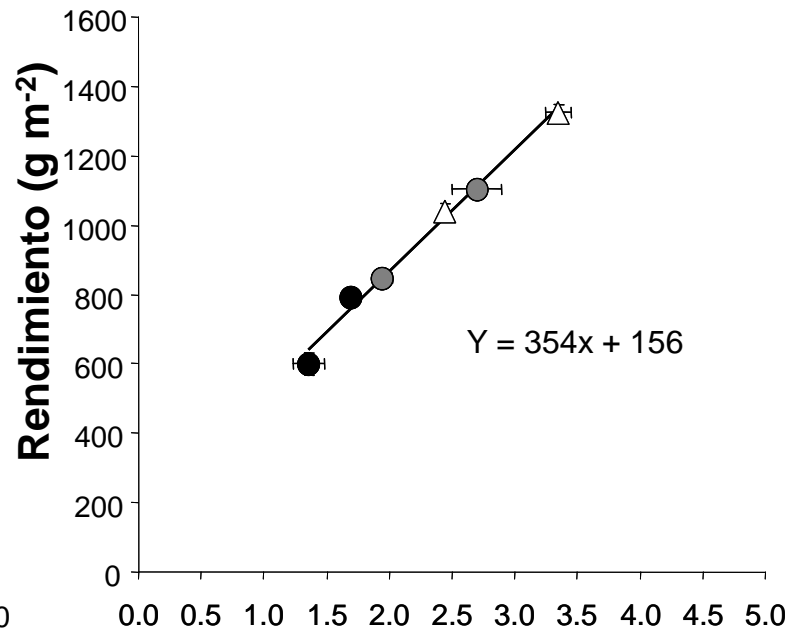
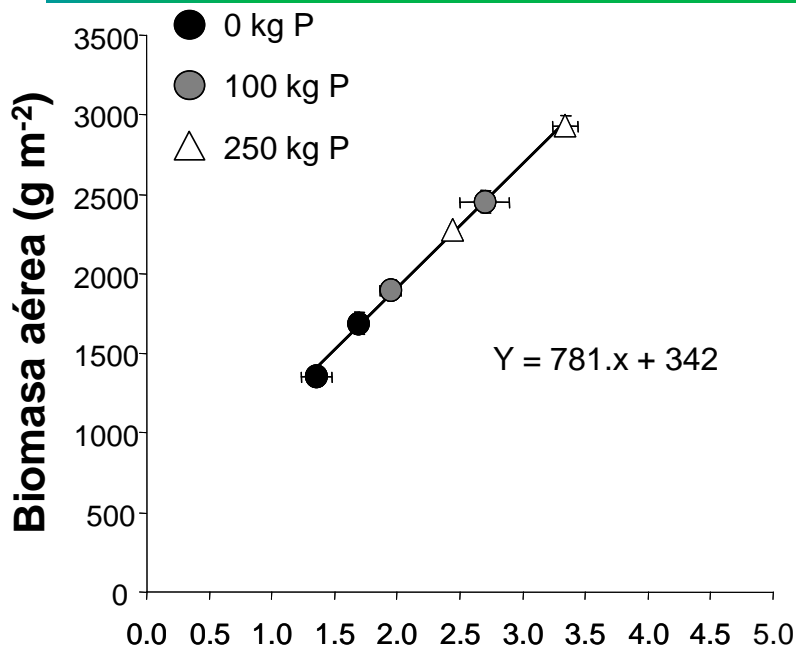




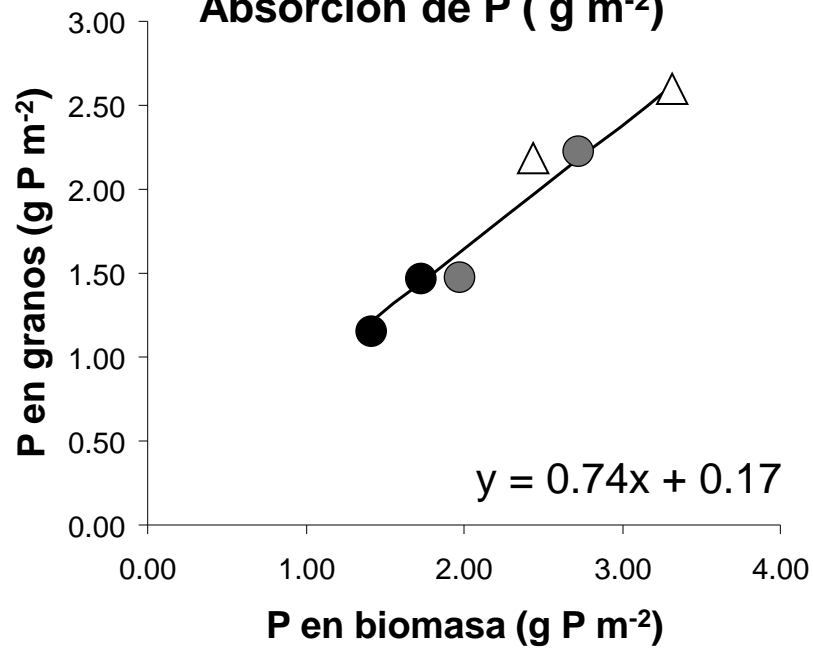
# EFICIENCIA DE USO DE P



# EFICIENCIA DE UTILIZACION DE P

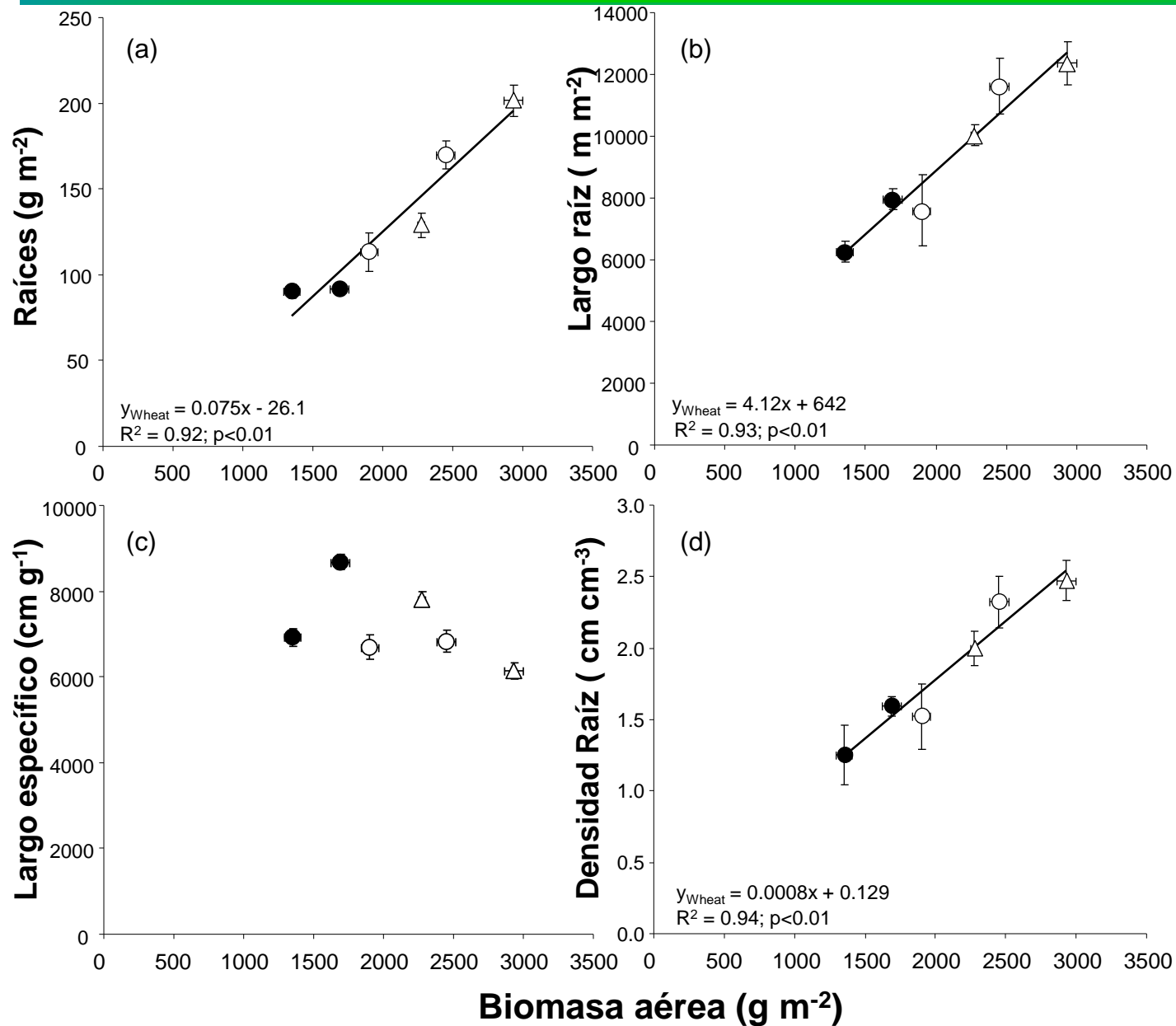


## Absorción de P (g m<sup>-2</sup>)



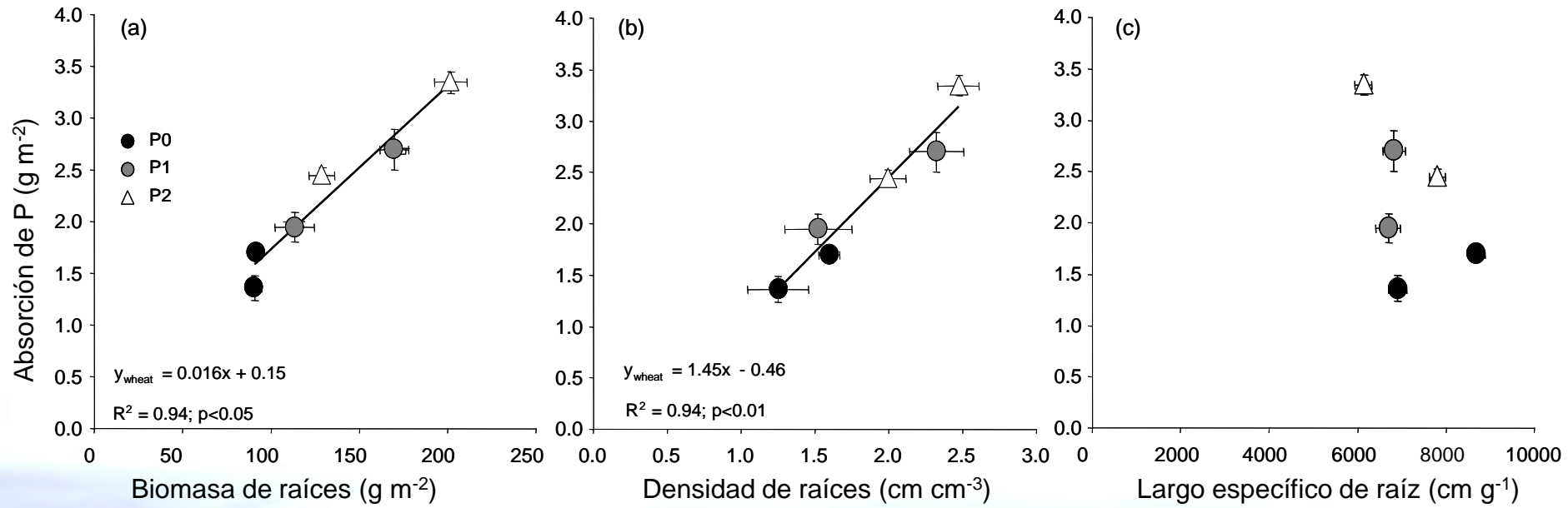
INDICE COSECHA  
DE P

# EFICIENCIA ABSORCION DEL FOSFORO

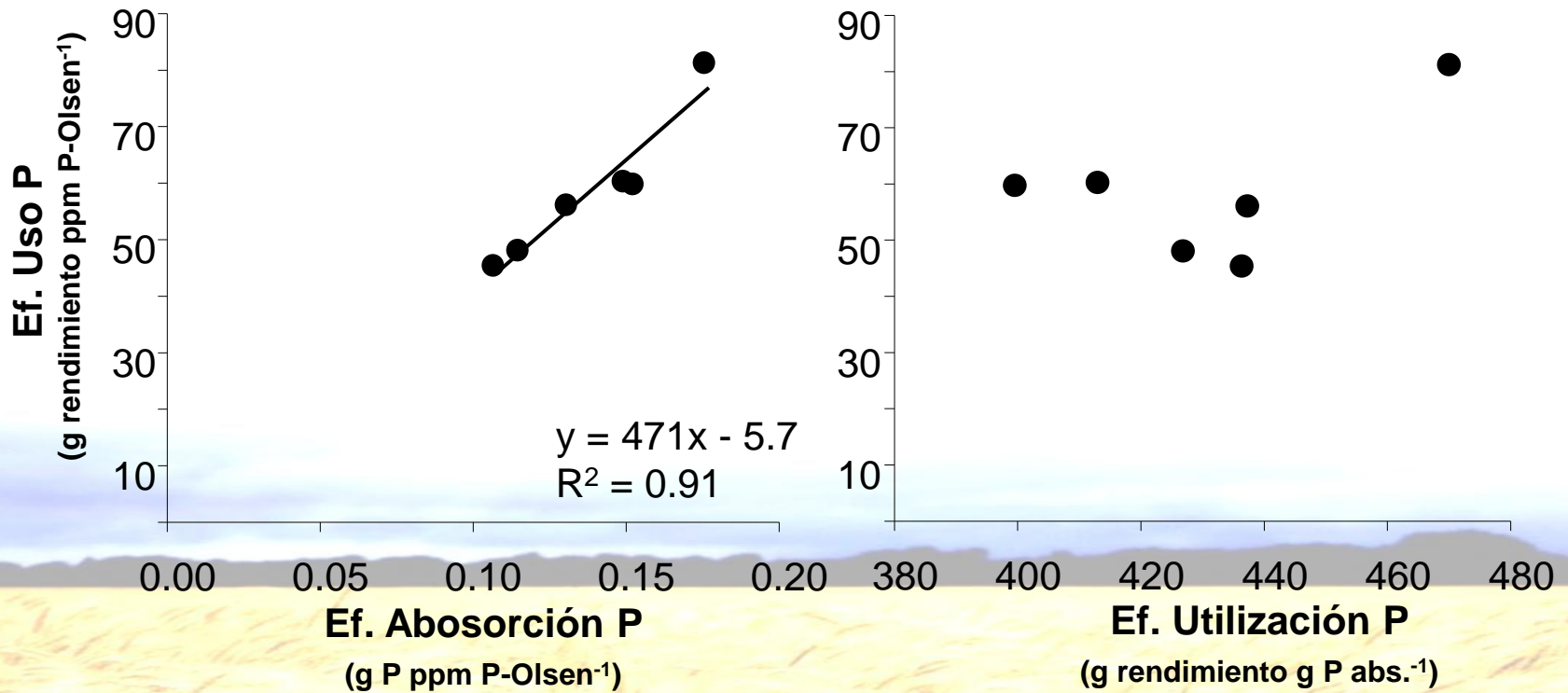




# EFICIENCIA ABSORCION DEL FOSFORO



# RELACION ENTRE LAS EFICIENCIAS



# CASO DEL ALUMINIO

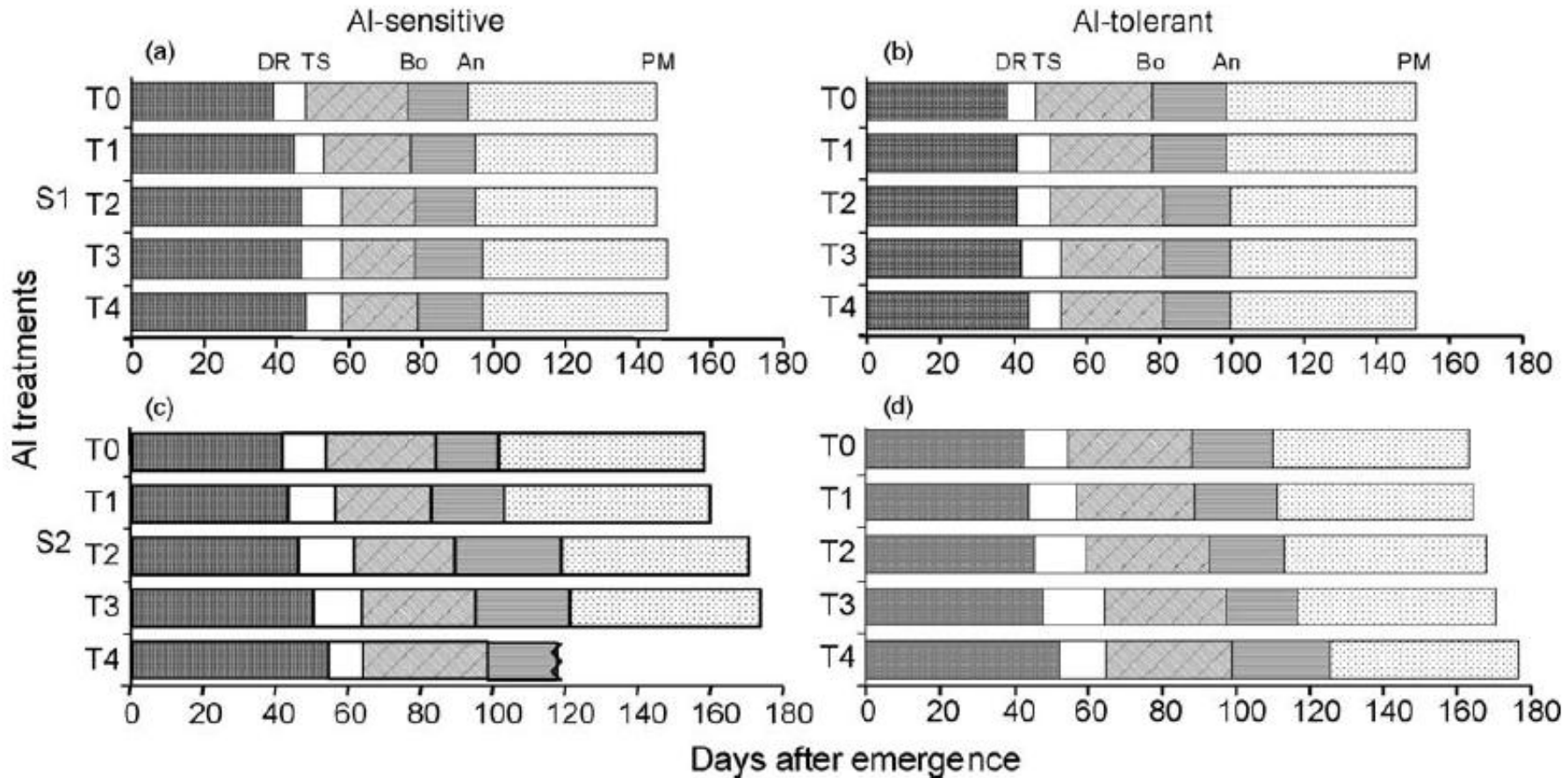
Captura y Eficiencia de uso de  
Recursos

**Dr. Daniel Calderini**

**Dr. Dante Pinochet**

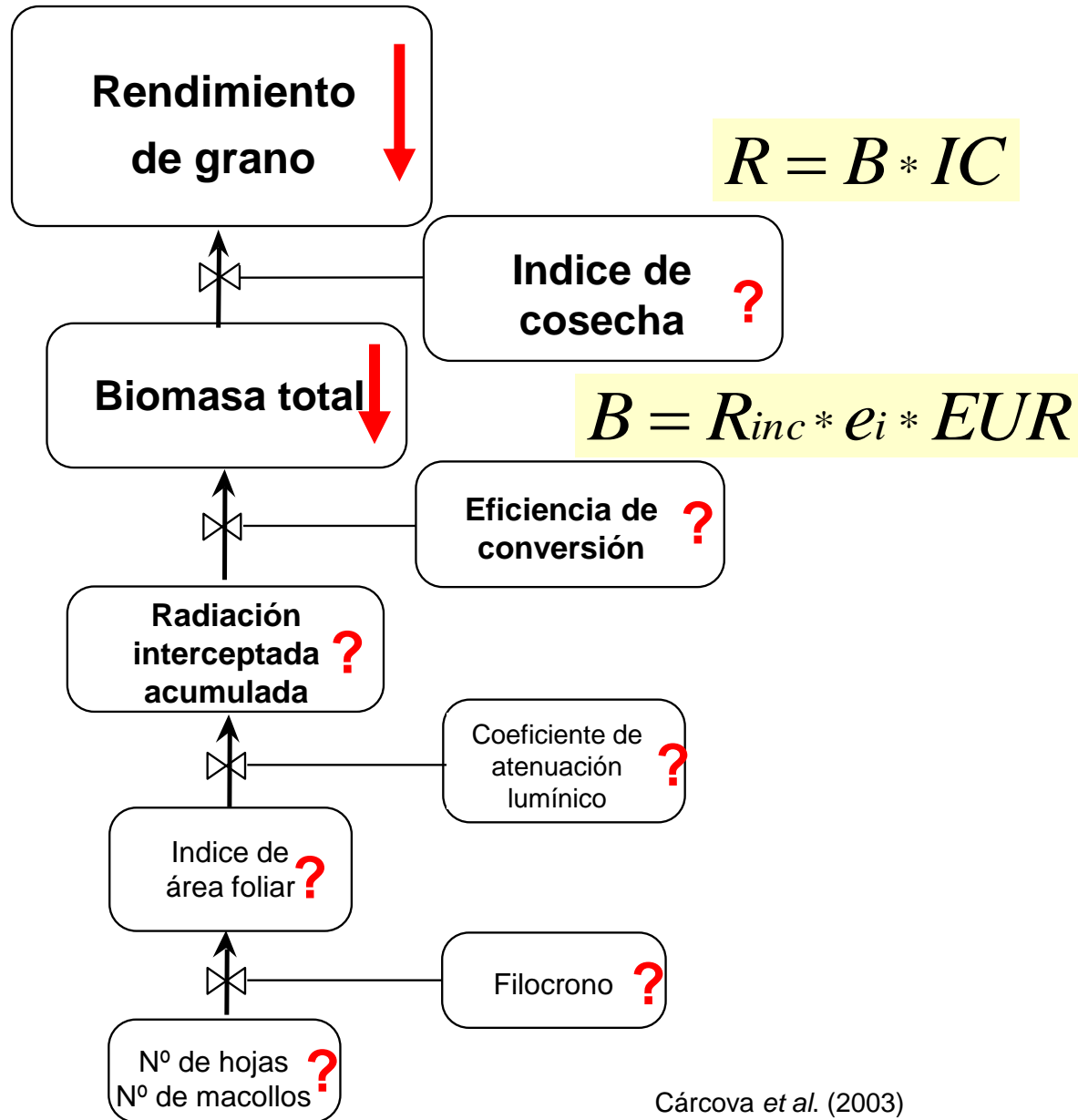
**Dra. Susana Valle**

# Fenología del cultivo de trigo bajo toxicidad por Al

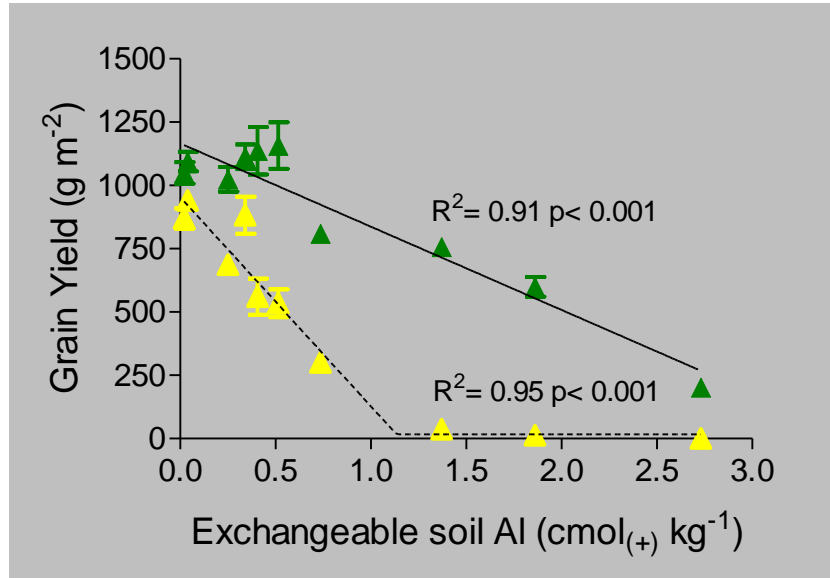


DR, doble lomo  
 TS, espiguilla terminal  
 Bo, bota  
 An, antesis  
 PM, madurez fisiológica

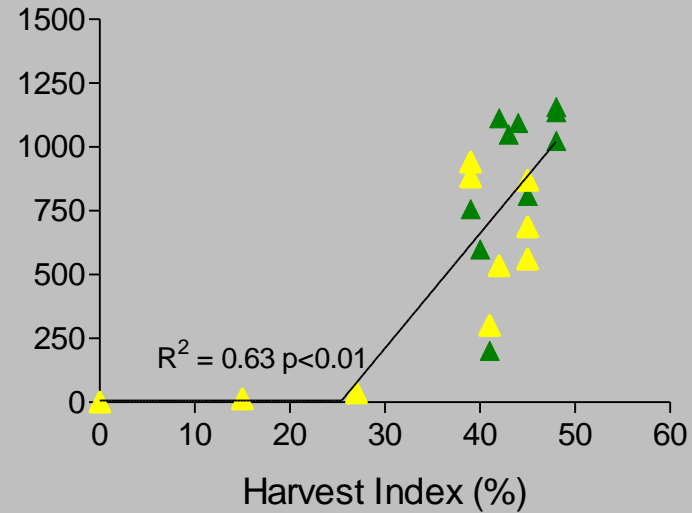
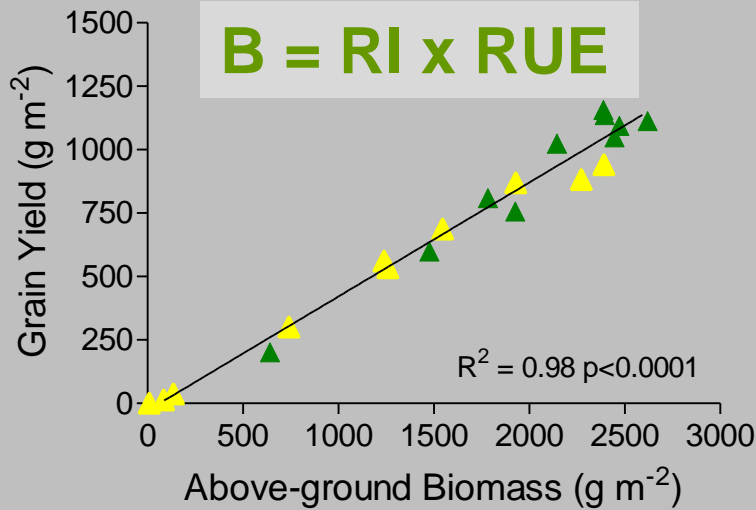
# Generación del Rendimiento en trigo bajo toxicidad por Al



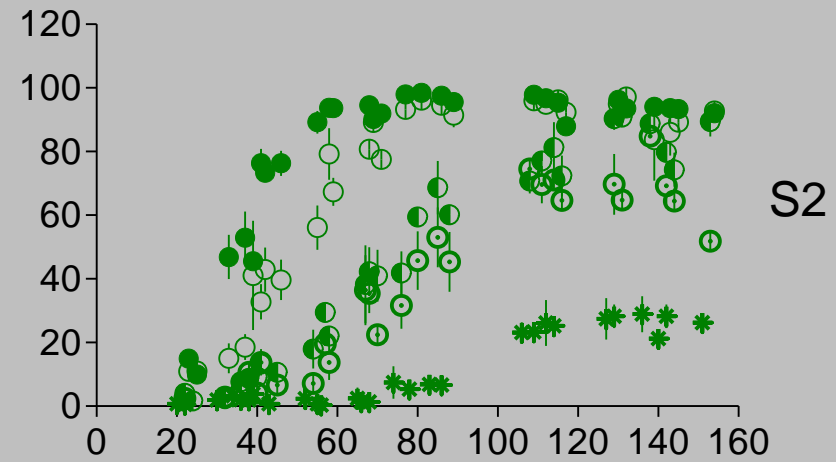
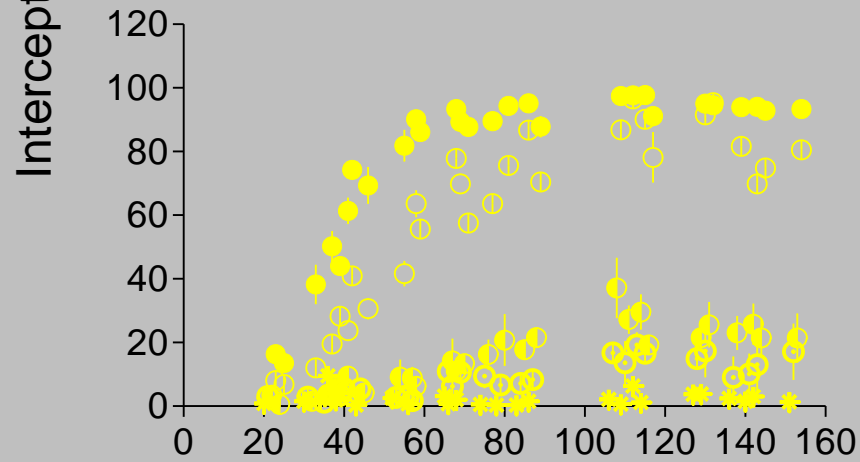
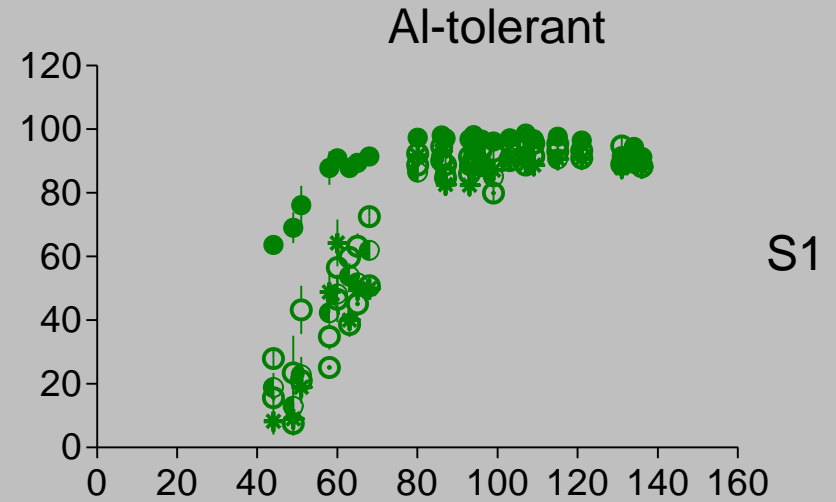
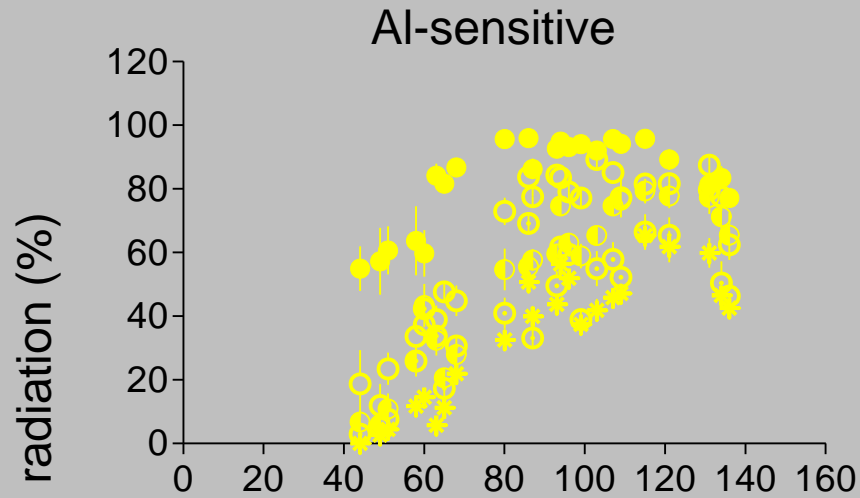
# Rendimiento en función de la toxicidad por Al



$$GY = B \times HI$$

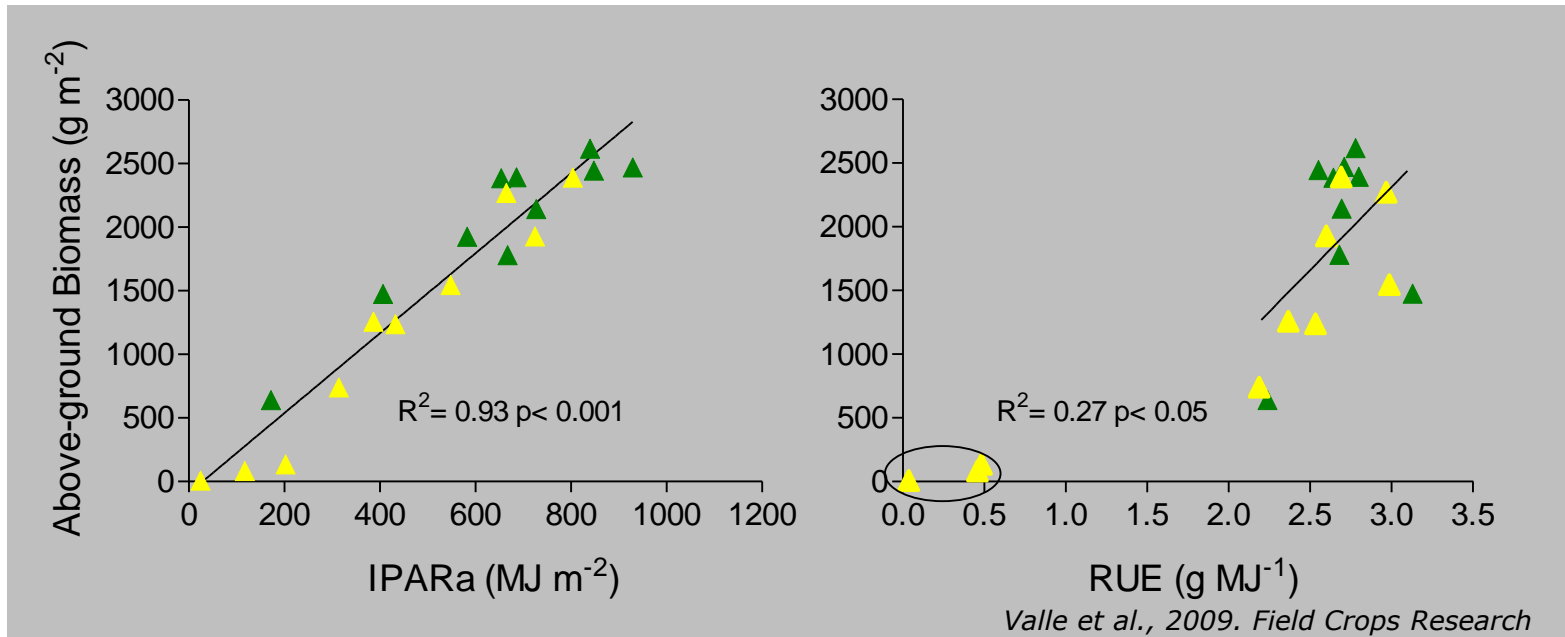
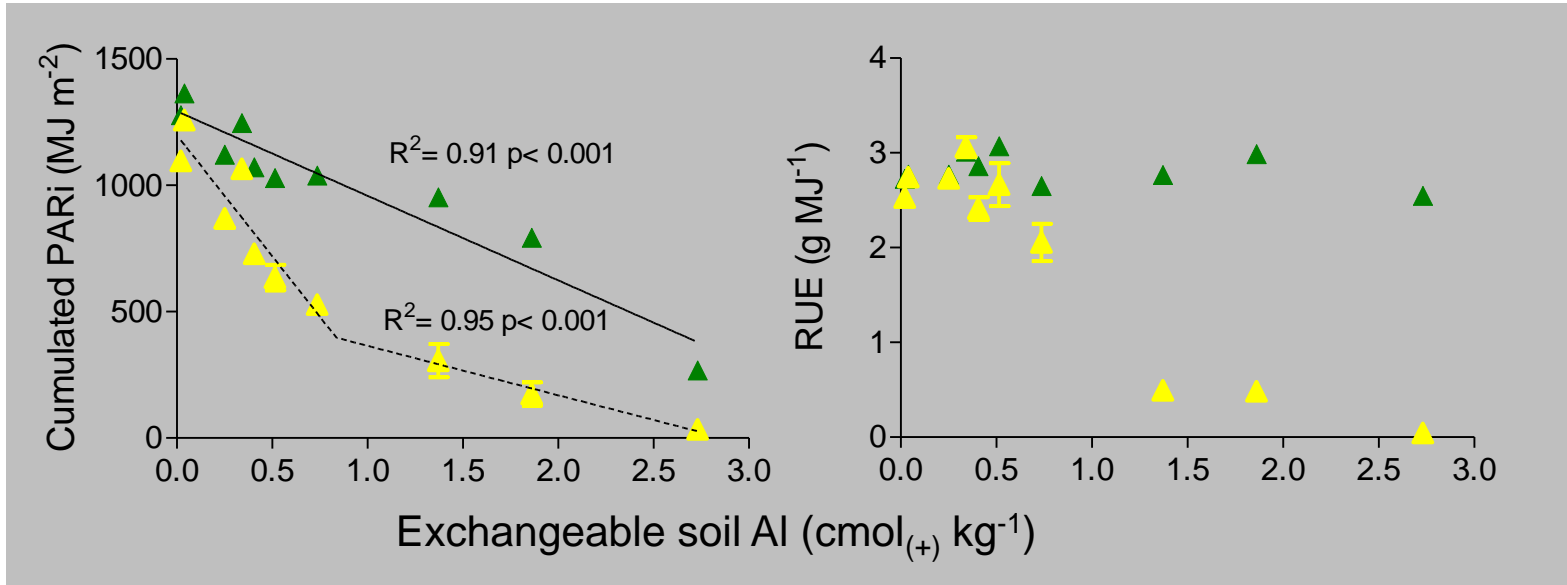


# Intercepción de Radiación





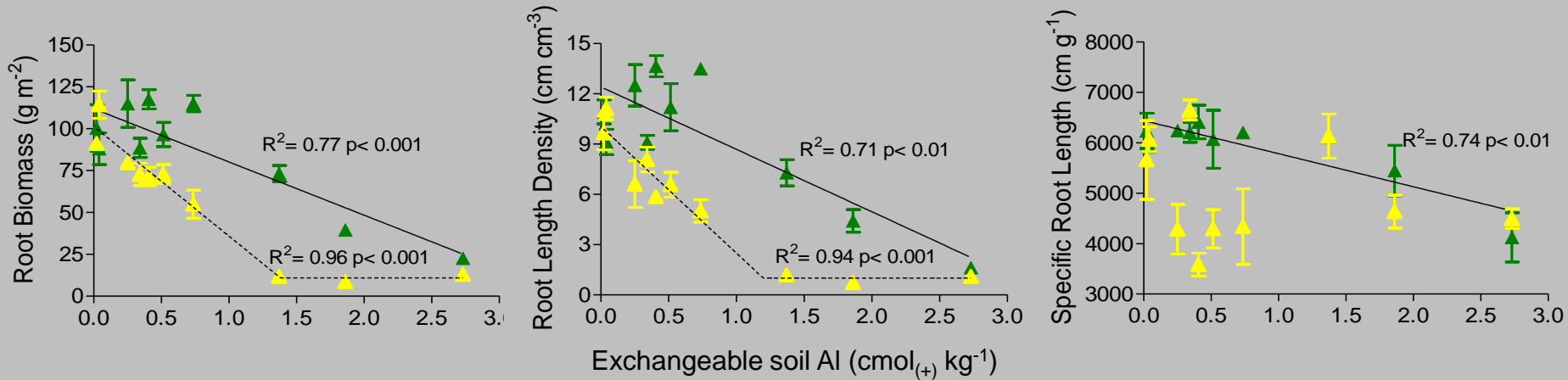
# Captura de Radiación versus eficiencia de uso bajo toxicidad por Al



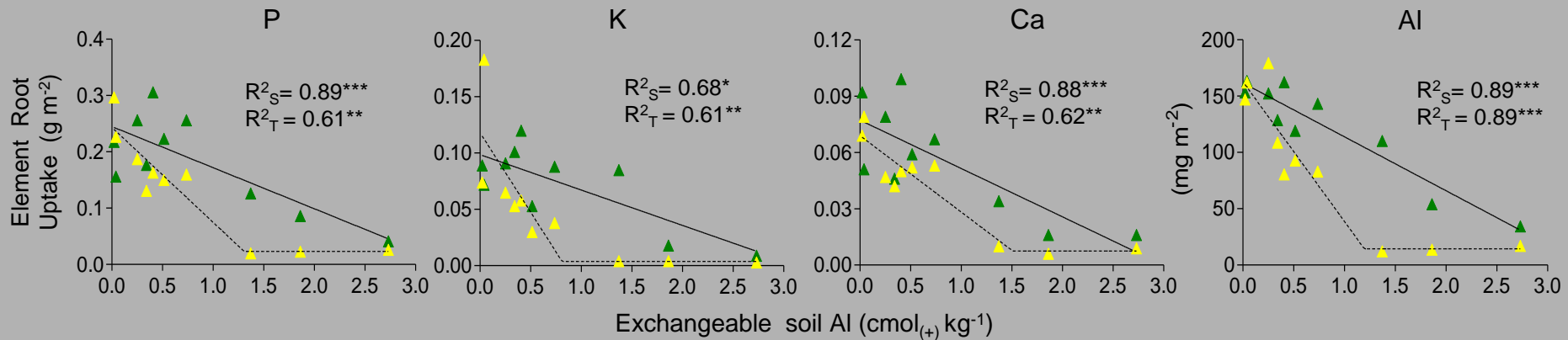
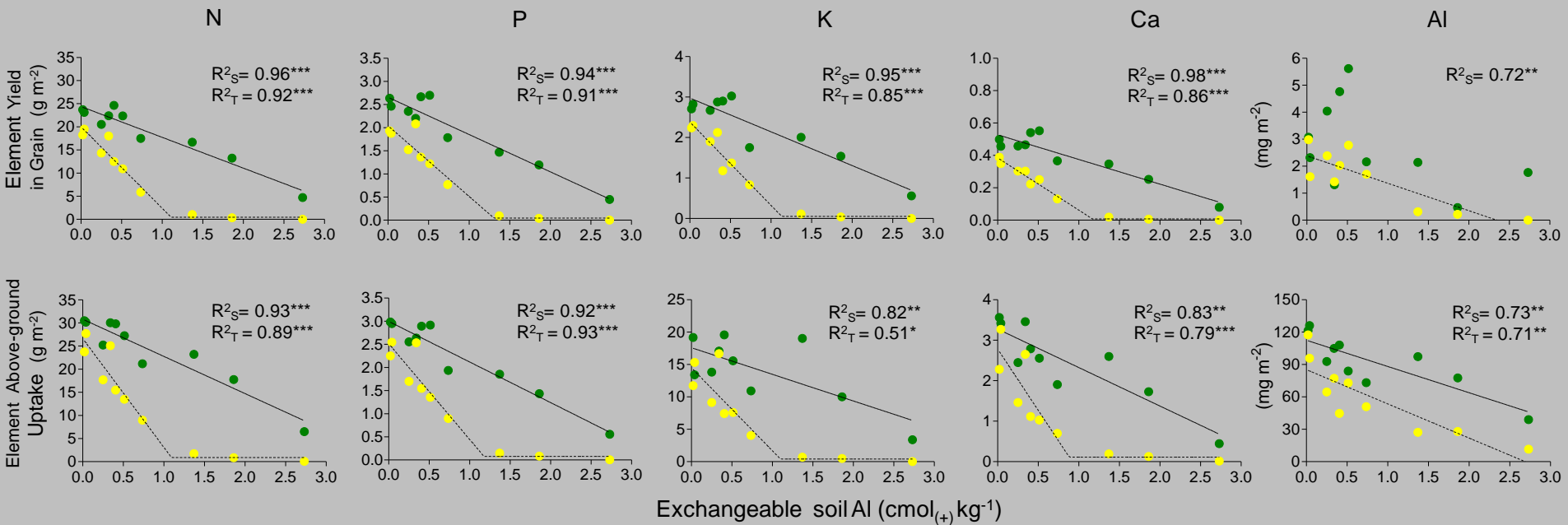


# Crecimiento radical bajo toxicidad por Al

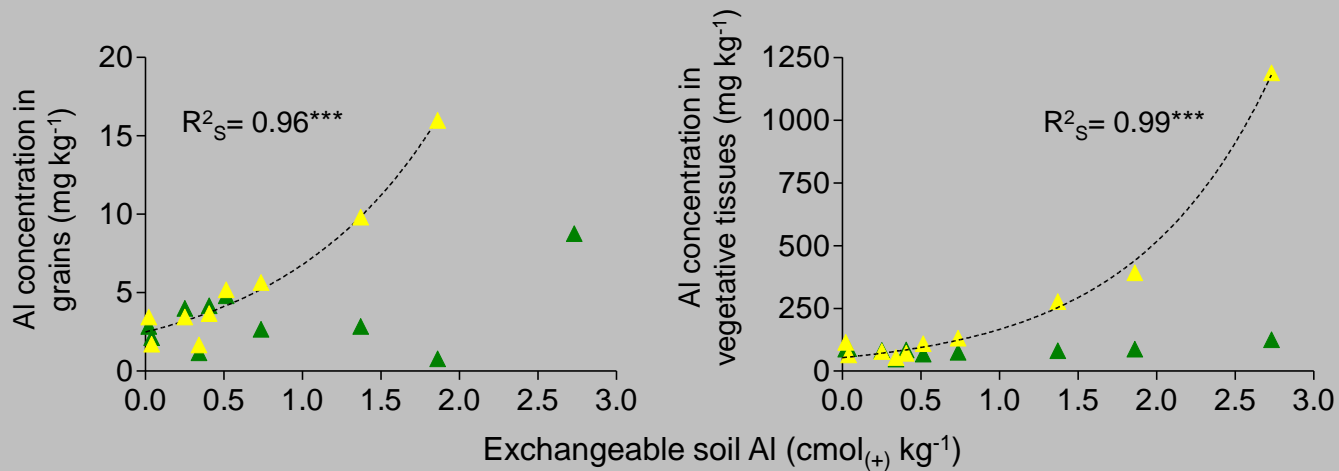
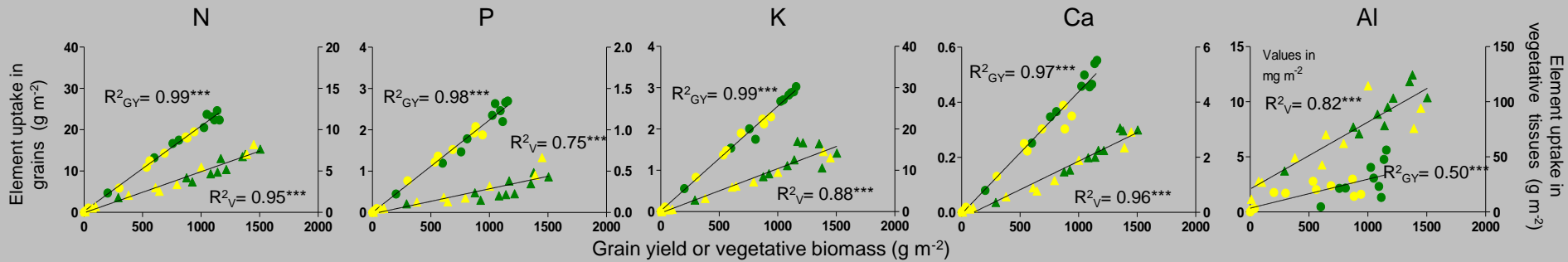
## Crecimiento Radical



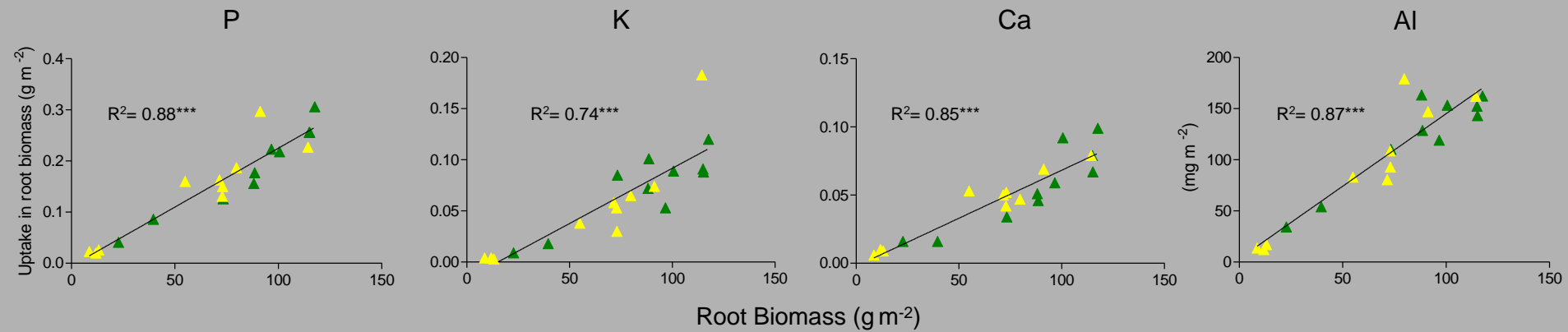
# Absorción de nutrientes y Al



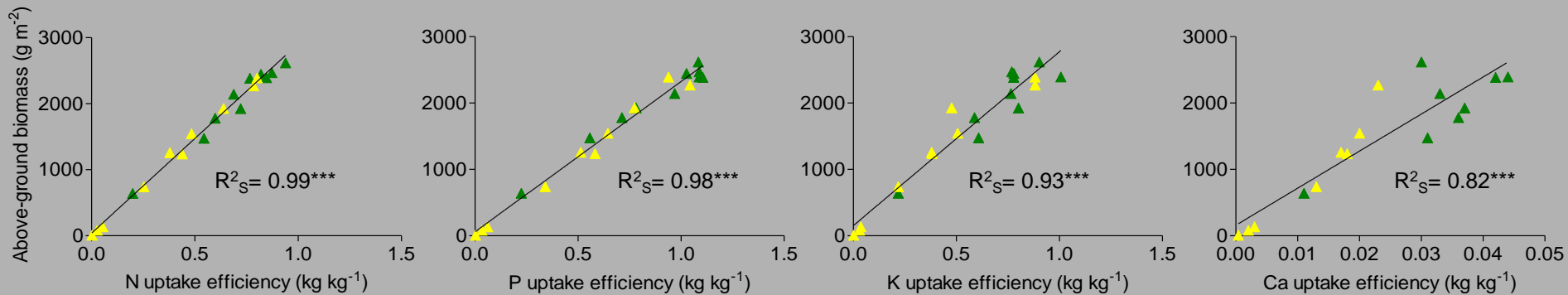
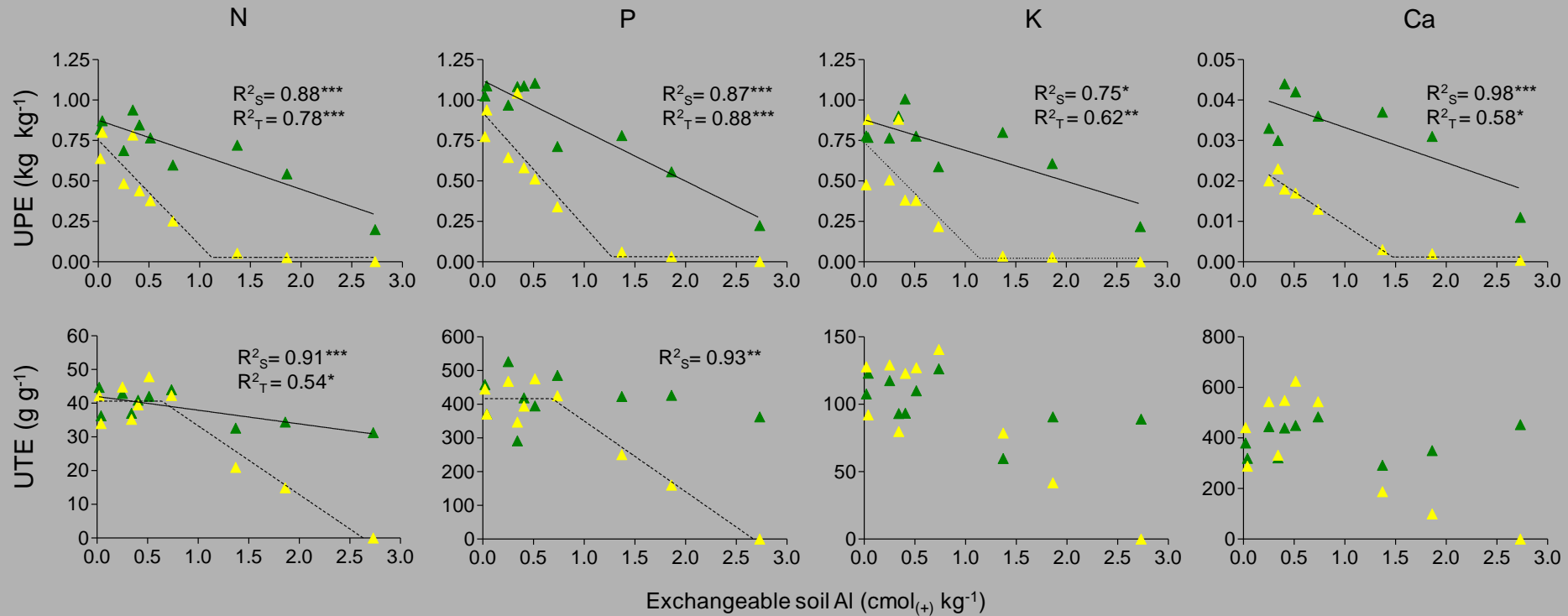
# Absorción y concentración en parte aérea



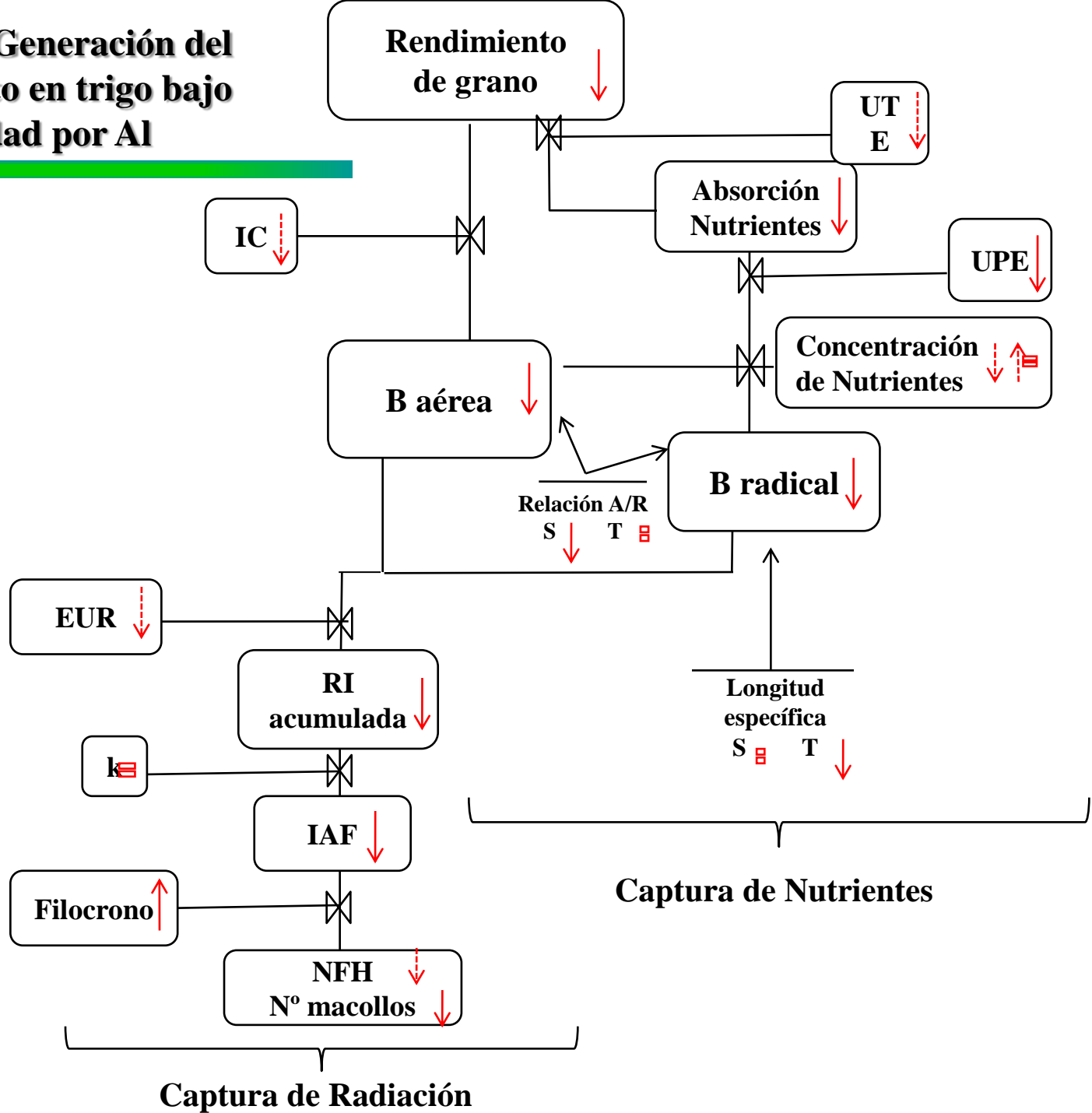
# Absorción y concentración en parte radical



# Eficiencia de Absorción (UPE) y de Utilización (UTE) de Nutrientes



# Modelo de Generación del Rendimiento en trigo bajo toxicidad por Al



# CONCLUSIONES

---

**Considerando ambas restricciones edáficas (P y Al), la fenología del cultivo fue ligeramente afectada por los distintos niveles evaluados. En general, bajo ambas restricciones de suelo el ciclo de cultivo fue extendido.**

**Tanto la deficiencia de P como la toxicidad de Al afectan de forma similar los determinantes ecofisiológicos del rendimiento. Las respuestas en rendimiento estuvieron relacionadas con la producción de biomasa y solo en casos extremos se afectó la partición (Al).**

**Las restricciones edáficas afectaron la producción de biomasa principalmente a través de su efecto sobre la captura de radiación (reducción del IAF y fracción de radiación interceptada). La eficiencia de uso de radiación mostró ser un carácter bastante estable bajo estas restricciones.**

# CONCLUSIONES

---

**El crecimiento radical fue afectado por ambas restricciones de suelo, disminuyendo la biomasa, longitud y densidad radical. Además, estas variables del crecimiento radical resultaron ser buenos descriptores de la producción de biomasa aérea.**

**La absorción de nutrientes estuvo relacionada con la producción de biomasa, en cambio, la concentración de nutrientes fue poco afectada por las restricciones edáficas evaluadas.**

**La determinación de la eficiencia de uso de nutrientes (Rendimiento/Disponibilidad de nutriente) fue principalmente asociada a la eficiencia de absorción (absorbido/disponible) y en menor medida a la eficiencia de utilización de nutrientes (rendimiento/absorbido), considerando ambas restricciones de suelo.**



# Reconocimientos



Jermán Carrasco  
Ensayos de campo



Ruth Espinoza  
Análisis de Laboratorio

Gracias!