



Fertilización Fosfatada, Encalado y Uso de Enmiendas Orgánicas

Juan Hirzel Campos

Ingeniero Agrónomo M.Sc. Dr.

Investigador en Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas



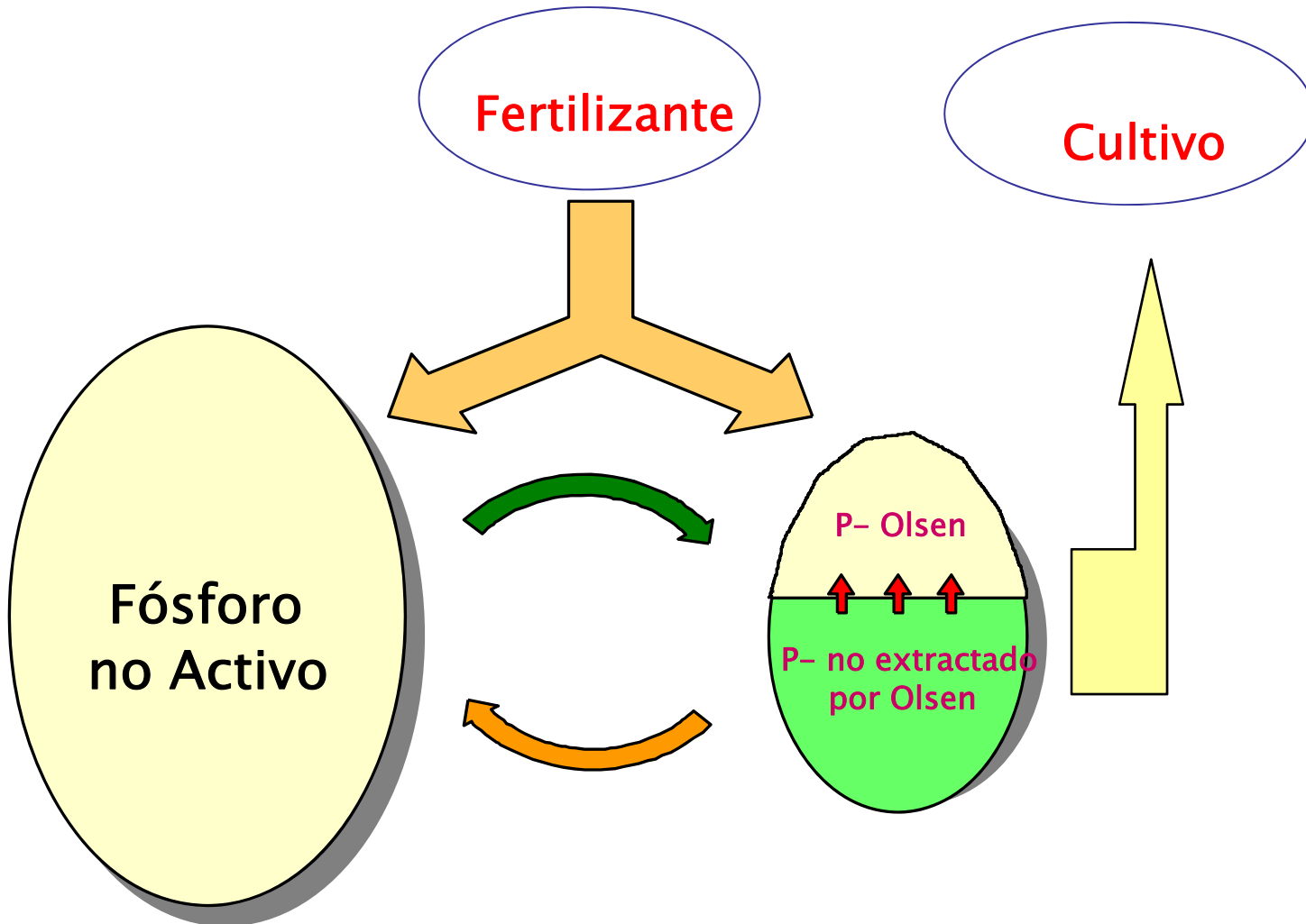
www.inia.cl



Fijación de Fósforo (Adsorción)

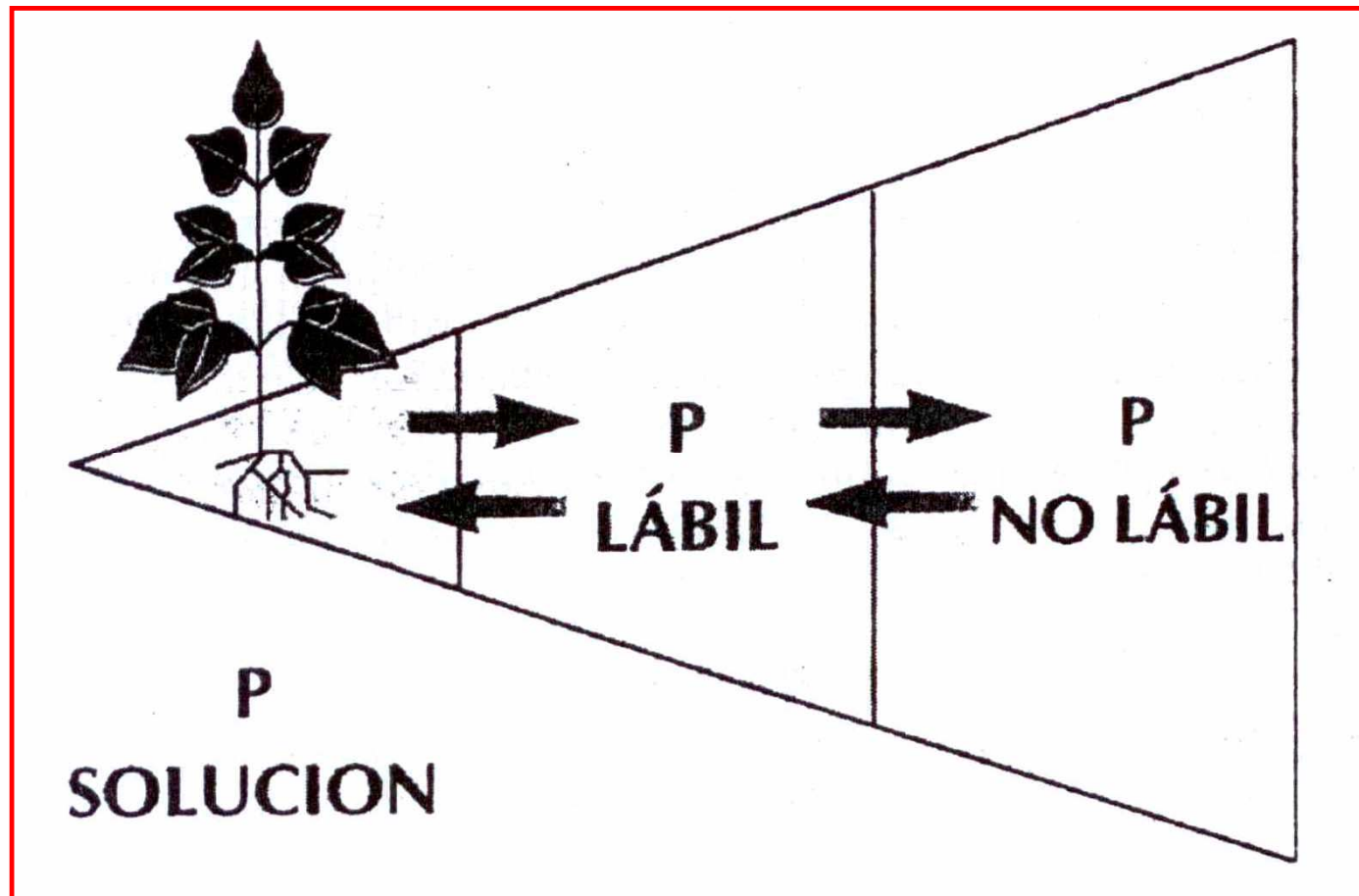
- ✓ Intercambio de Aniones (reacción de superficie)
- ✓ Oclusión o captura en partículas sólidas
- ✓ Formación de complejos Humus - Al y con Alofán e Imogolita.
- ✓ Carbonatos Minerales (suelos de pH alto)
- ✓ Andisoles del Sur se fija 85-95% del P aplicado como fertilizante.

Modelo de Flujos de P Activo y No activo

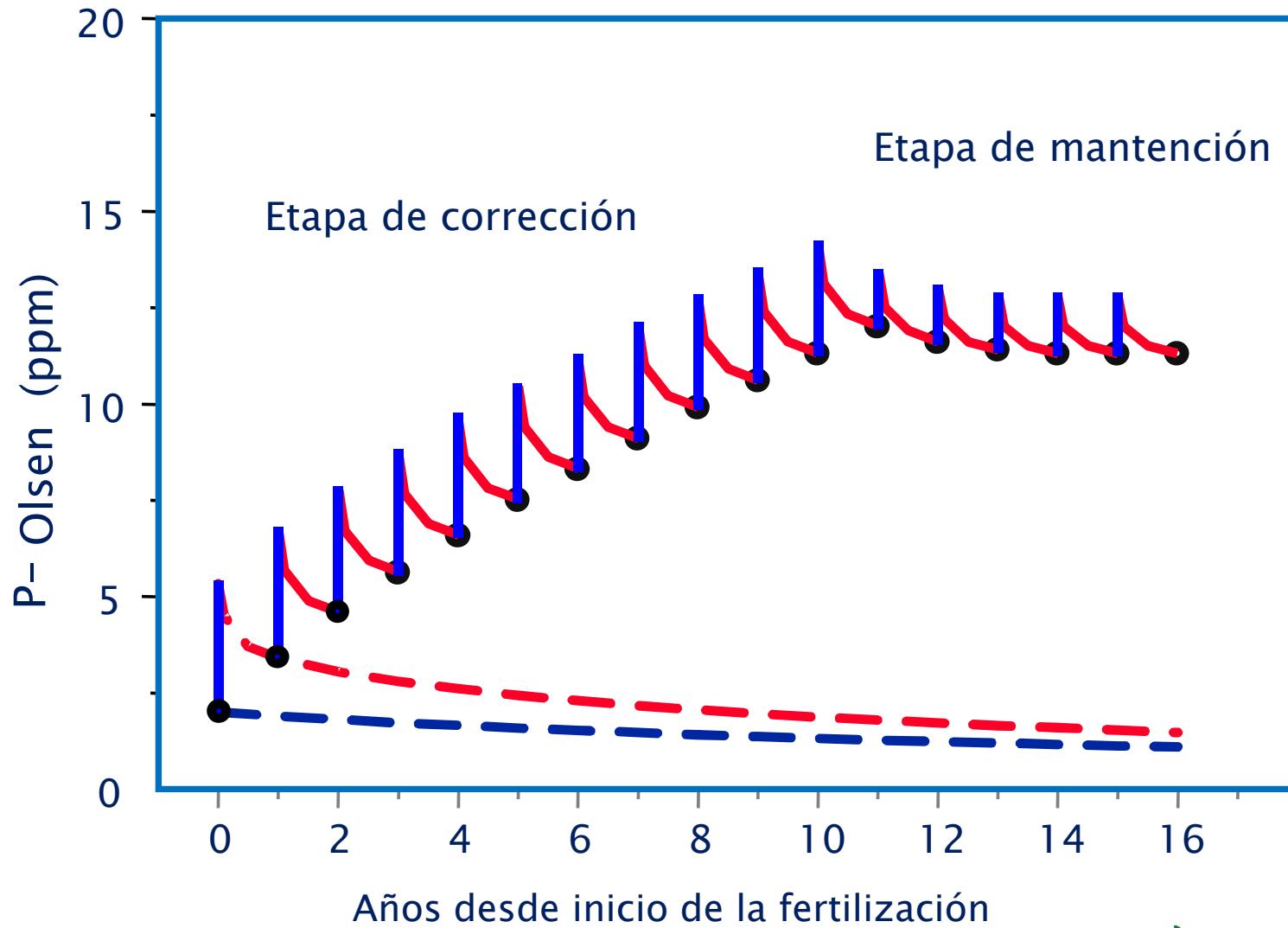


(D. Pinochet 1995)

Relación entre el P en la solución, P lábil y P no lábil



Efecto de la fertilización en el nivel de P-Olsen en suelo



ACUMULACIÓN DE FÓSFORO (ppm) EN UN SUELO TRUMAO (DURANTE 9 AÑOS)

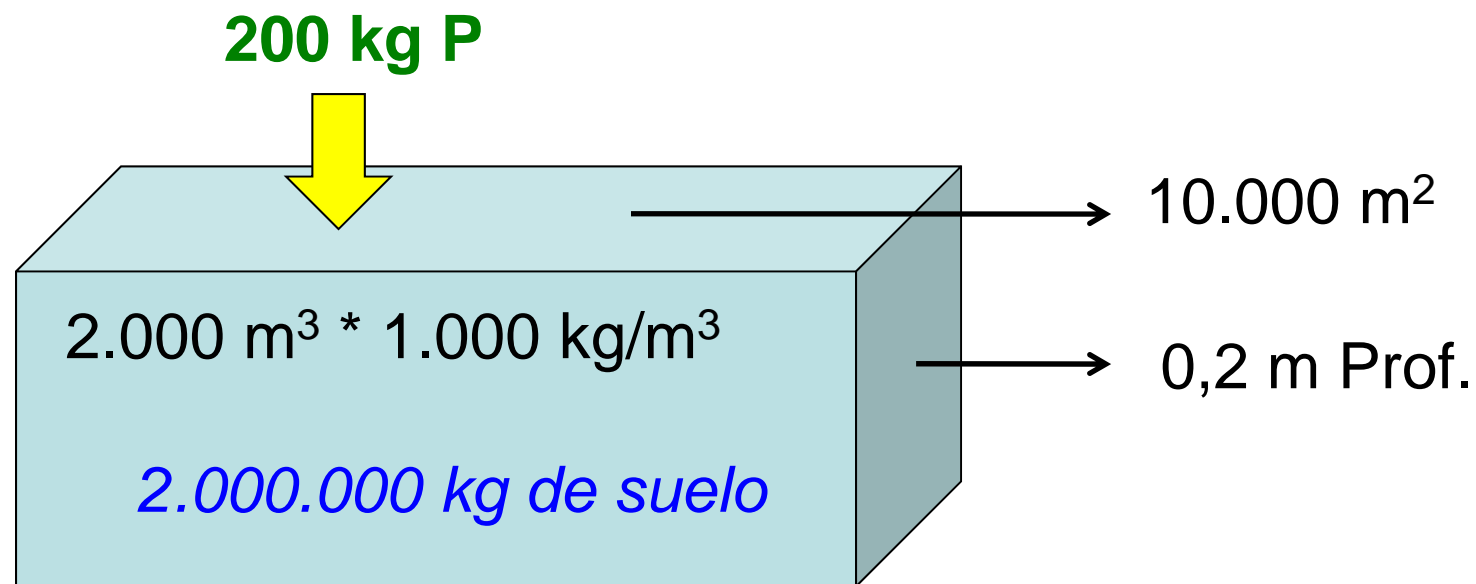
PROF. (cm)	Dosis de P ₂ O ₅ anual (Kg/ha) (total)		
	P ₂ O ₅ - 0	P ₂ O ₅ - 85 (765)	P ₂ O ₅ - 300 (2.700)
0 - 5	9,2	20,2	110,7
5 - 10	6,1	8,4	19,9
10 - 20	6,3	5,8	7,3
20 - 30	6,2	4,1	4,9
30 - 40	7,5	5,6	6,3

Fuente : Bernier y Siebald,
Informe Técnico INIA

Capacidad Tampón de Fósforo del Suelo (CP)

- ✓ Resistencia del suelo a elevar contenido de P-disponible.
- ✓ Cantidad de P a agregar para elevar el contenido del suelo en 1 ppm (Olsen)
- ✓ Kg P/ppm (para 1 hectárea a determinada profundidad)

Por ejemplo, se aplican 200 kg de P en un suelo cuya densidad aparente es de 1 g/cc con una concentración de P Olsen de 5 ppm (P inicial), y se incorporan en los primeros 20 cm de suelo (2.000.000 de kg de suelo = 2 millones).



El P aplicado se diluye en 2 millones de kg de suelo, con lo cual se obtiene una aplicación equivalente a 100 ppm = (200 kg/2 millones de kg).

Después de un periodo de tiempo libre de cultivo o vegetación se determina el aumento de P Olsen del suelo, que correspondió a 15 ppm (10 ppm de aumento respecto del valor inicial, 15 ppm – 5 ppm).

Si nada del P aplicado se hubiera fijado, entonces el aumento (teórico) habría sido de 100 ppm.

Sin embargo, el aumento (real) fue de 10 ppm (hay fijación).

¿Cuál fue el porcentaje de **Fijación de P**?

$$\text{Eficiencia de aumento} = \frac{\text{(aumento real)}}{\text{(aumento teórico)}} * 100$$

$$\text{Ef. Aumento} = (10 \text{ ppm}/100 \text{ ppm} * 100) = 10\%$$

$$\text{Fijación} = (100\% - \text{Ef. Aumento}) = \mathbf{90\%}$$

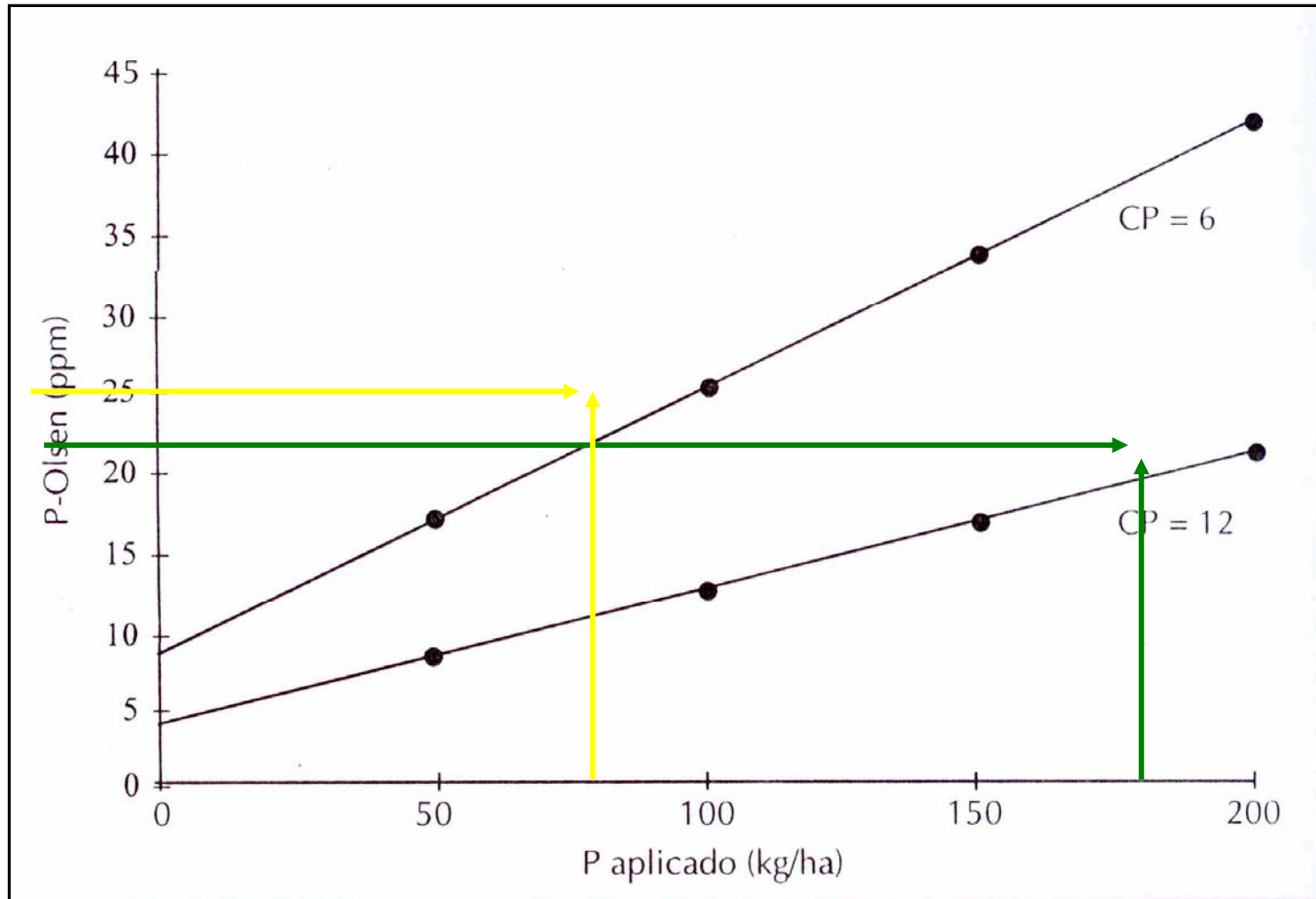
¿Cuál sería el CP de este suelo?

CP = kg de P a aplicar al suelo para subir su concentración de P Olsen en 1 ppm (0 a 20 cm).

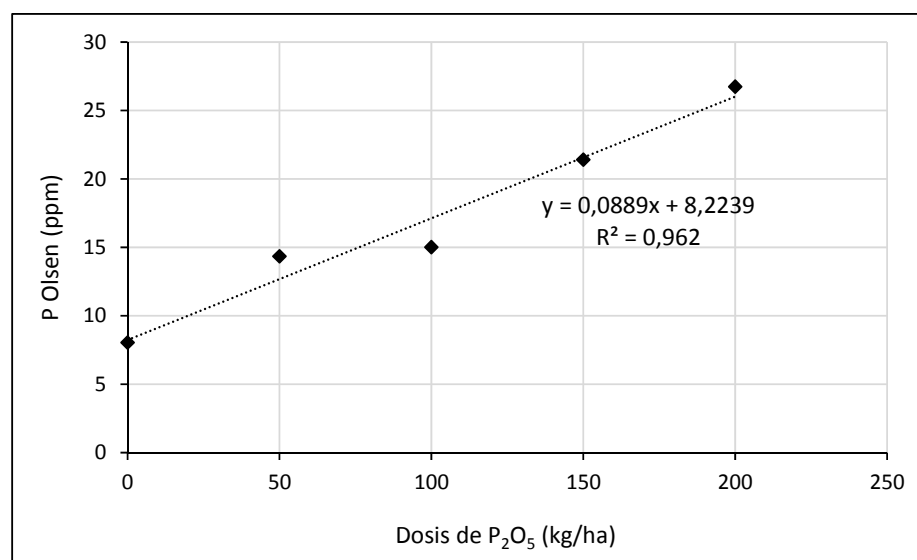
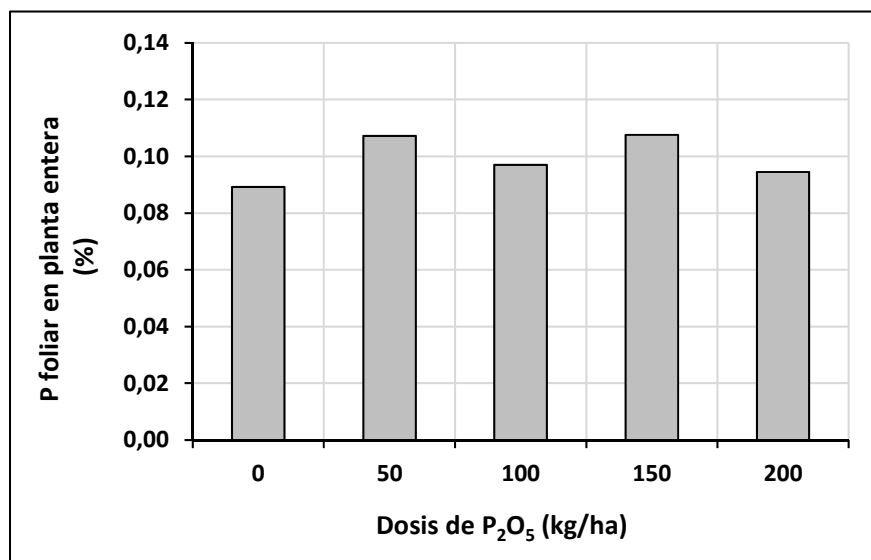
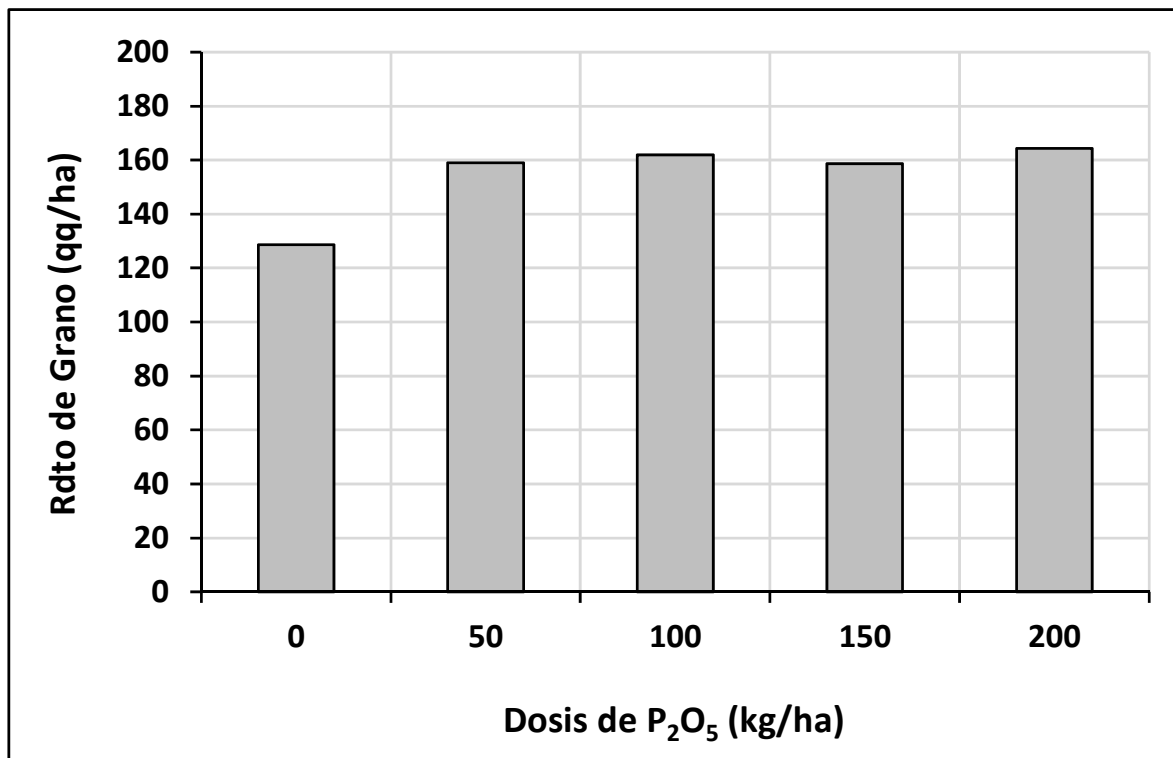
Se aplicaron 200 kg de P y el *P Olsen* subió en 10 ppm.

$$\mathbf{CP} = (200 \text{ kg}/10 \text{ ppm}) = \mathbf{20}$$

Capacidad Tampón (CP) de Suelos aluviales y trumaos



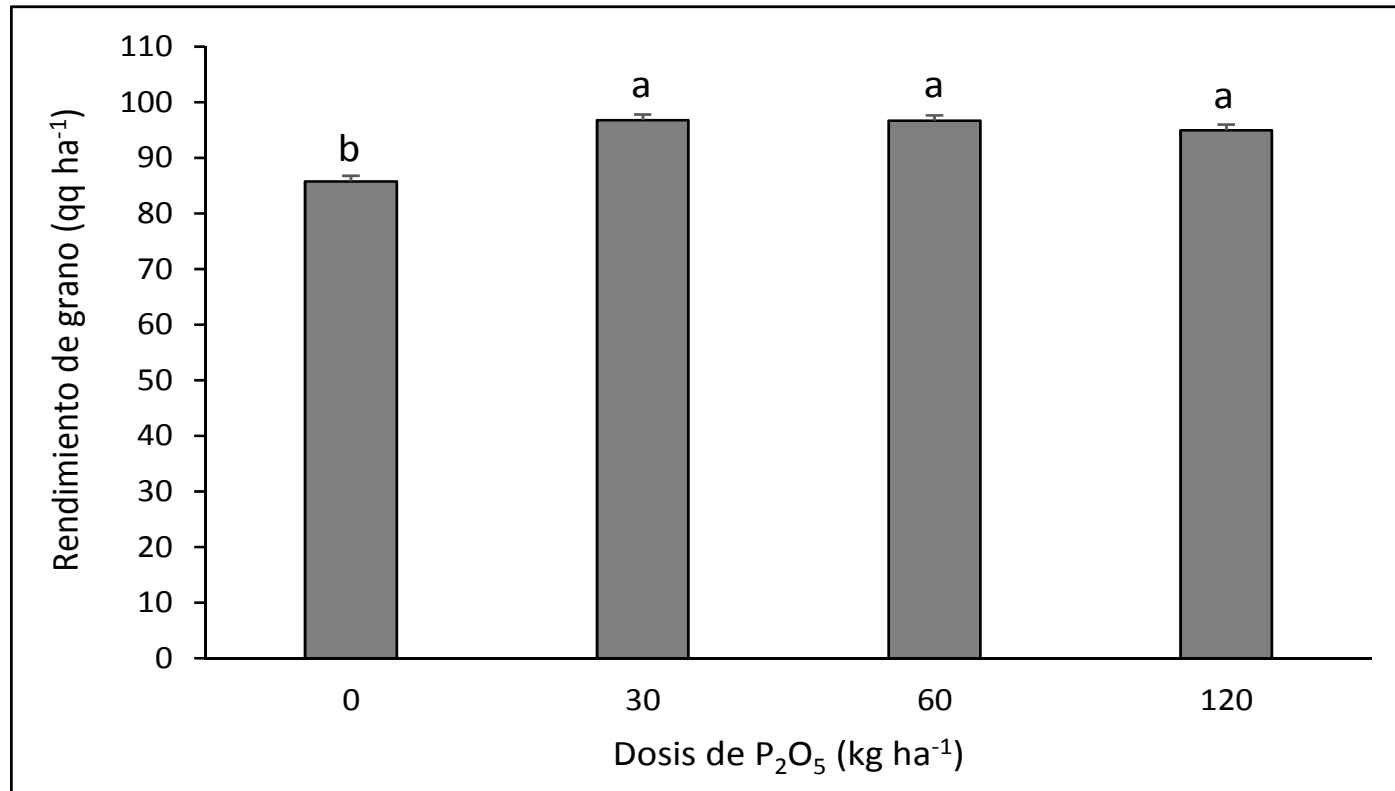
Maíz 2015-2016
Sta Rosa – INIA
P Olsen = 10,4 ppm



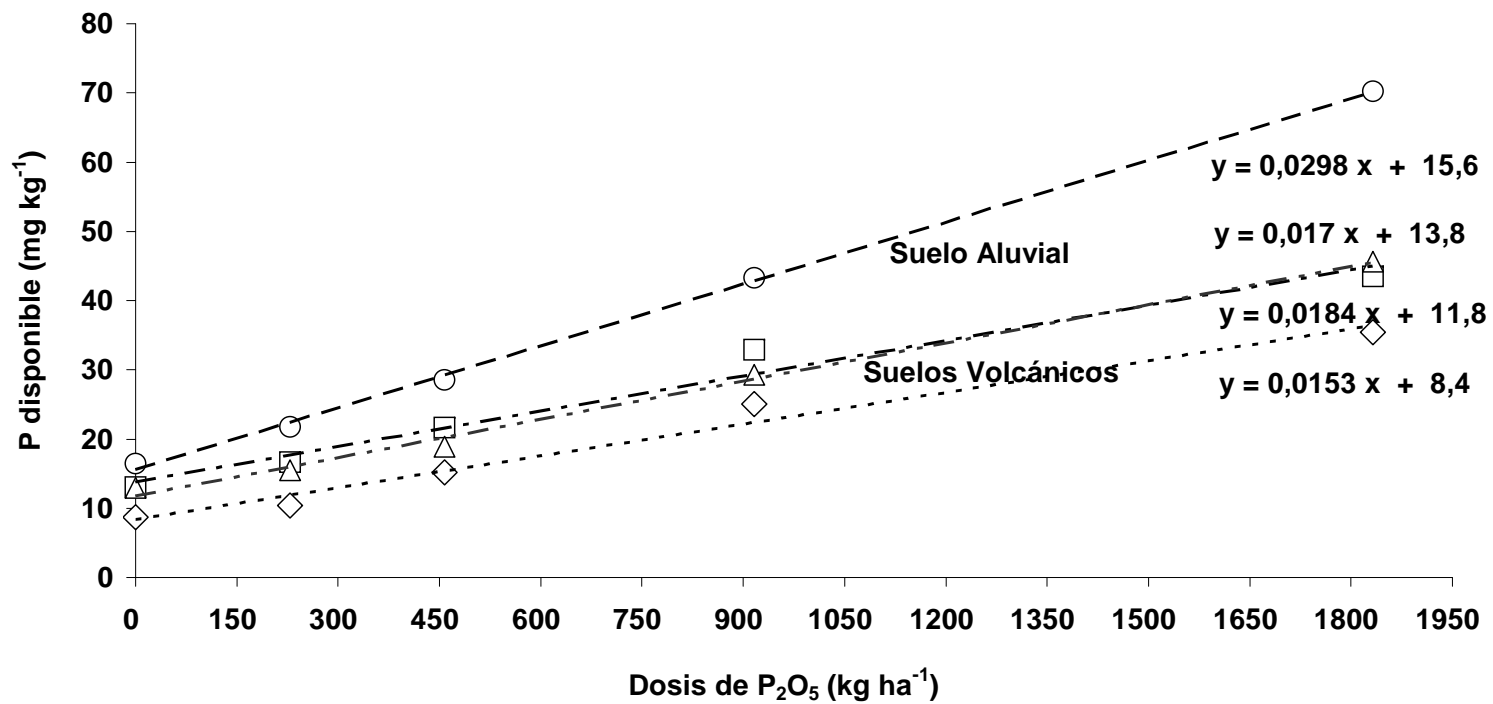
ARROZ

P Olsen Campo 1 = 4 ppm

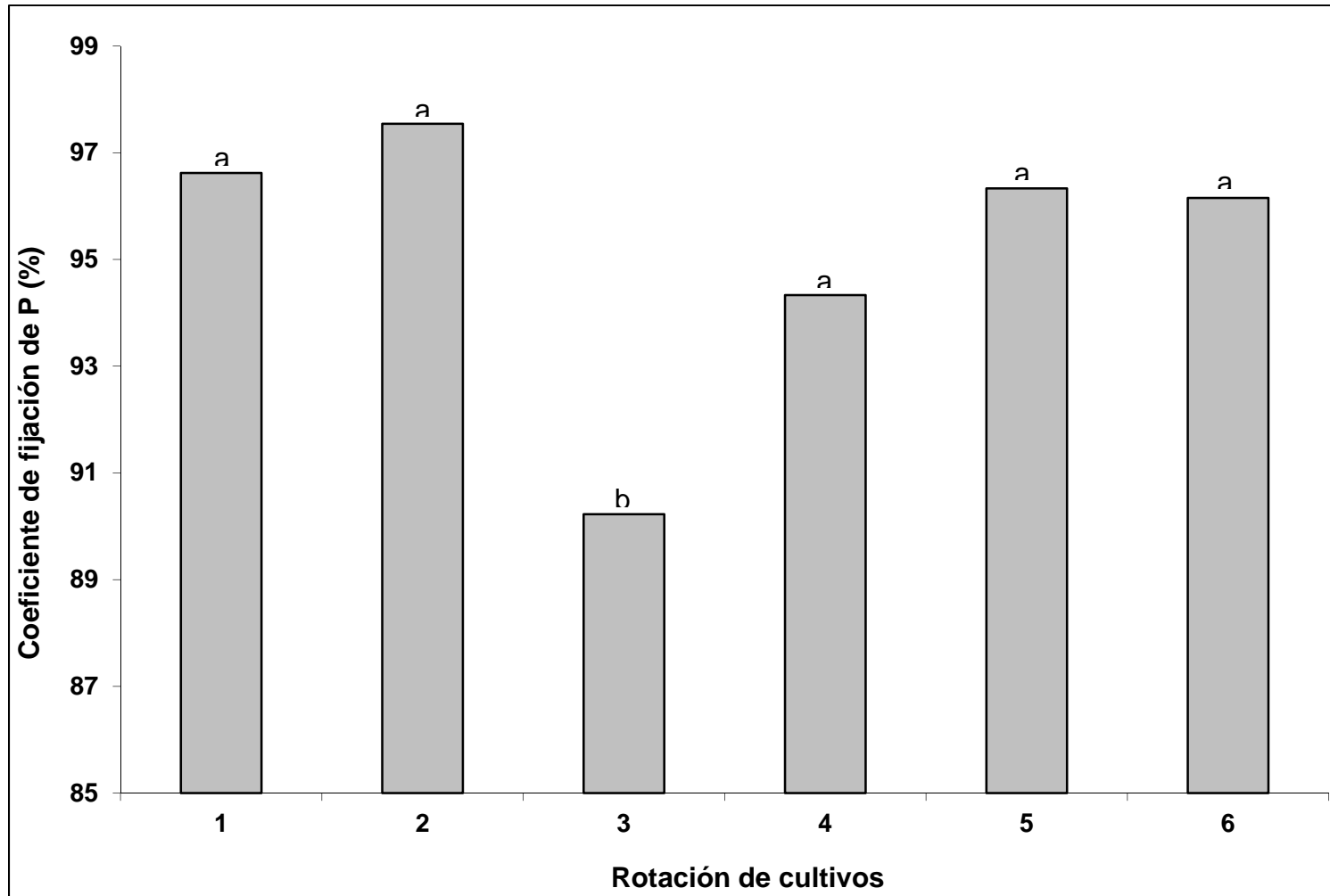
P Olsen Campo 2 = 54 ppm



Respuesta a la fertilización fosforada en variedad Digua CI, como promedio de 2 temporadas (2016-17 y 2017-18) y 2 localidades (Parral y San Carlos). Dosis de N y K₂O = 120 y 60 kg/ha. *Letras distintas sobre las columnas indican diferencia significativa según test de Tukey (p<0.05). Las barras sobre las columnas indican el error estándar de la media.*



Incremento en la disponibilidad de fósforo frente a dosis crecientes de P₂O₅ para tres suelos volcánico y un suelo de origen aluvial de la VII región de Chile.



**Coeficiente de fijación de Fósforo obtenido para los primeros 7 años de cada rotación de cultivos en un suelo volcánico del centro sur de Chile.
Letras distintas indican diferencia estadística entre tratamientos ($p < 0.05$).**

- **ACIDEZ DEL SUELO**

- **El pH del suelo indica concentración de iones hidrógeno (H^+) que hay en la solución del suelo.**
- **Es neutro cuando toma un valor de 7.0, en la cual la concentración de H^+ y OH^- son iguales.**
- **Cada unidad de cambio de pH indica 10 veces el cambio en la concentración.**

Acidez del Suelo:

Actividad del ion H⁺ (pH log – de la concentración de H⁺)

Un suelo a pH 5 tiene 10 veces mas H⁺ activo que a pH 6

pH adecuado 6.0 a 7.0

Fuentes de acidez de los suelos:

- **Material original del suelo**
- **Lixiviación de Cationes (Ca, Mg, K, Na) y sustituidos por Al e H.**
- **Crecimiento de las plantas (Acidificación fisiológica, desbasificación)**
- **Erosión (pérdida de Cationes del horizonte superficial)**
- **Uso de fertilizantes amoniacales ($\text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{NO}_3^- + 4 \text{H}^+$)**

ALUMINIO EN EL SUELO

La acidez del suelo implica altas concentraciones de aluminio activo.

% saturación de Aluminio (% Sat. Al)

% Sat. Al = (Al/(Suma de Bases de Intercambio+Al)) x 100

Indica que porcentaje ocupa el Al activo del total de cationes que se encuentran en la solución del suelo (cmol(+)/kg)

El orden en concentración de cationes es el siguiente:

Ca > Mg > K > Na > Al > H.

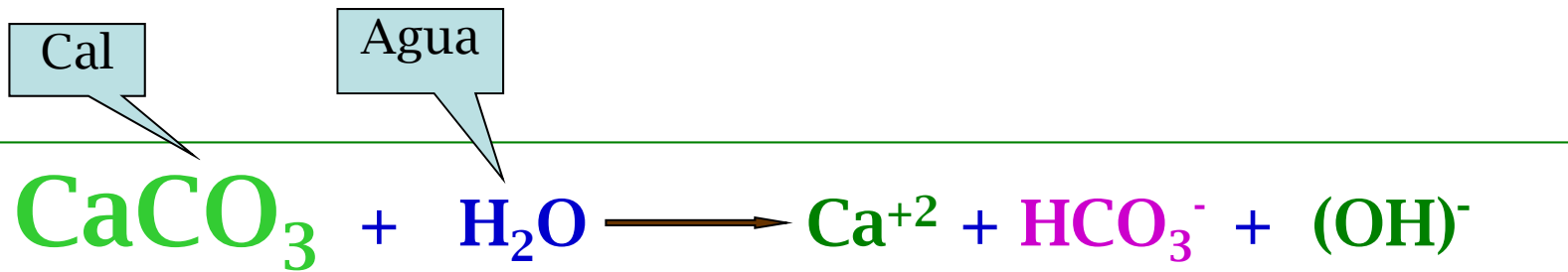
Cuando el suelo se acidifica disminuye Ca, Mg, K y Na y su lugar es ocupado por Al e H

PORQUÉ ES NECESARIO CORREGIR LA ACIDEZ DE LOS SUELOS

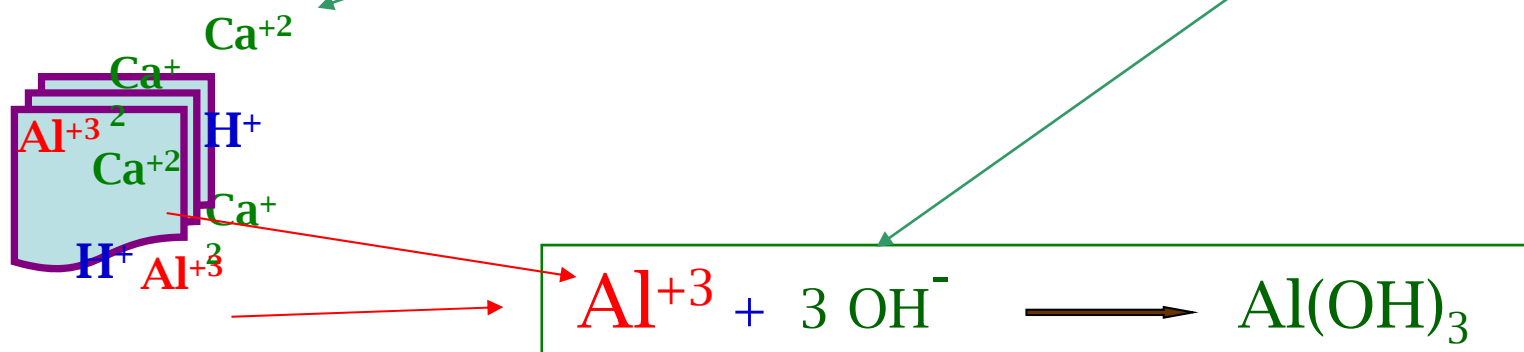
Neutralizar el Aluminio y Manganeseo que se solubiliza al descender el pH



Reacción de la cal en el suelo

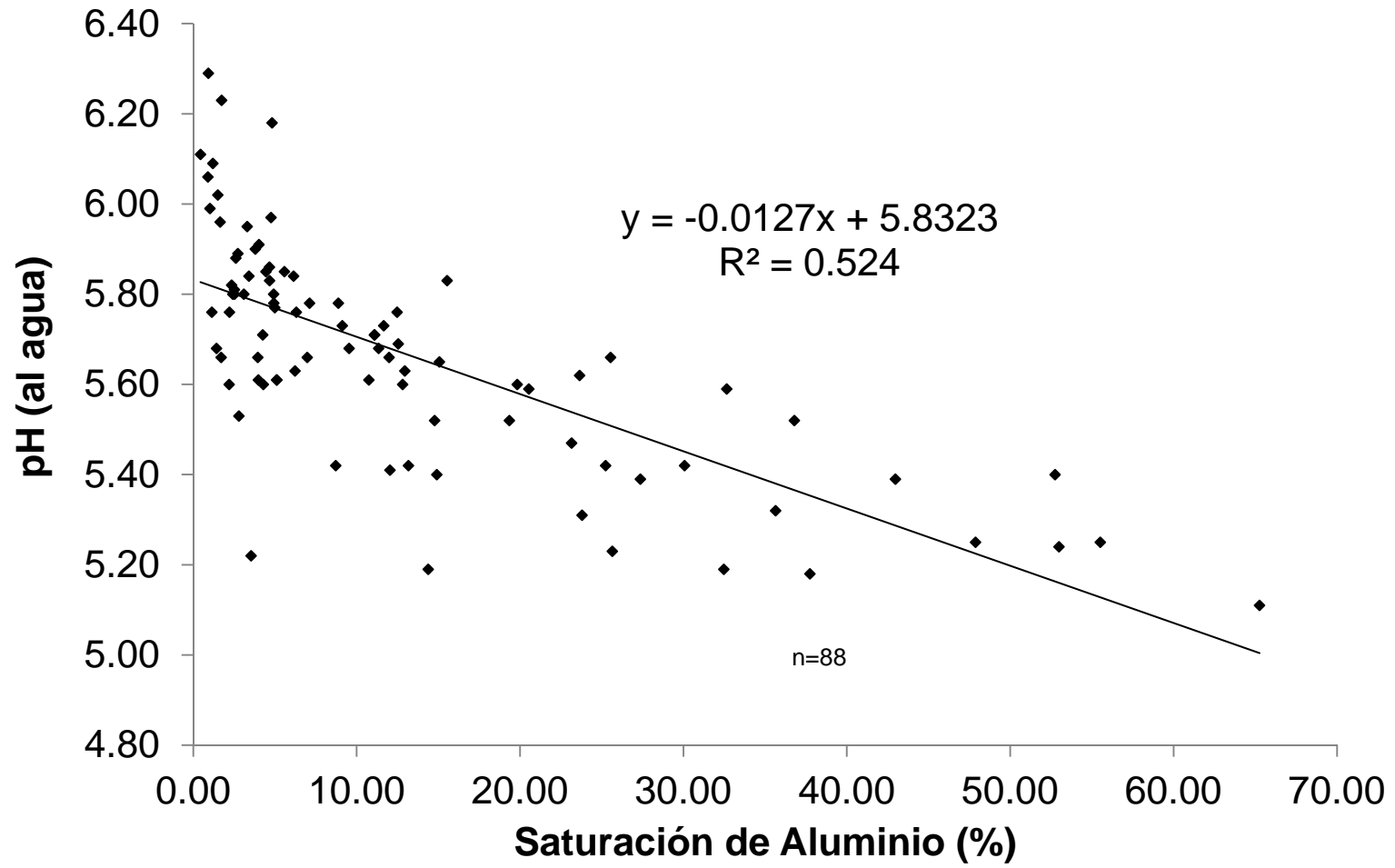


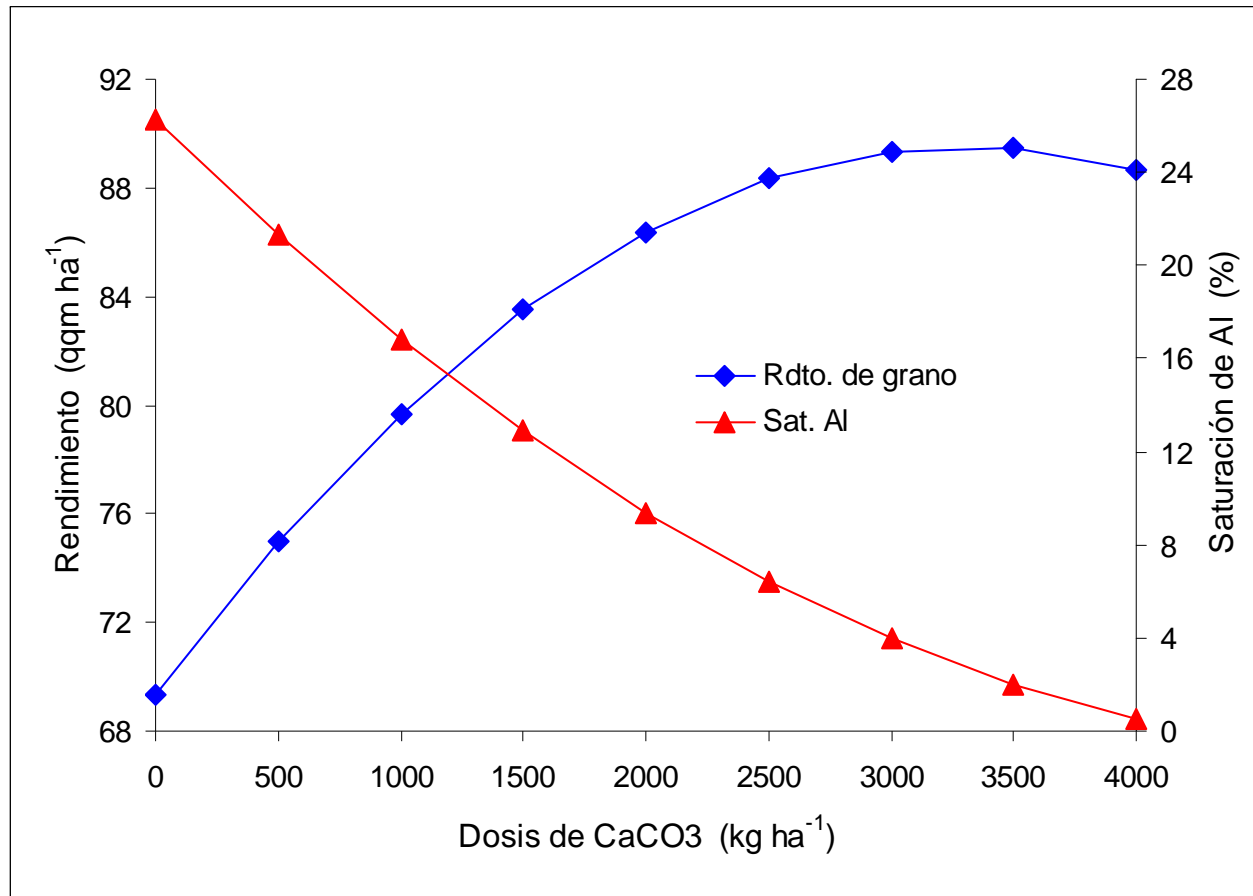
× Ocupación de los Sitios vacíos dejados por H^+ por Ca^{+2} de la cal



× Neutralización del Aluminio.

Precipita
(no daña)



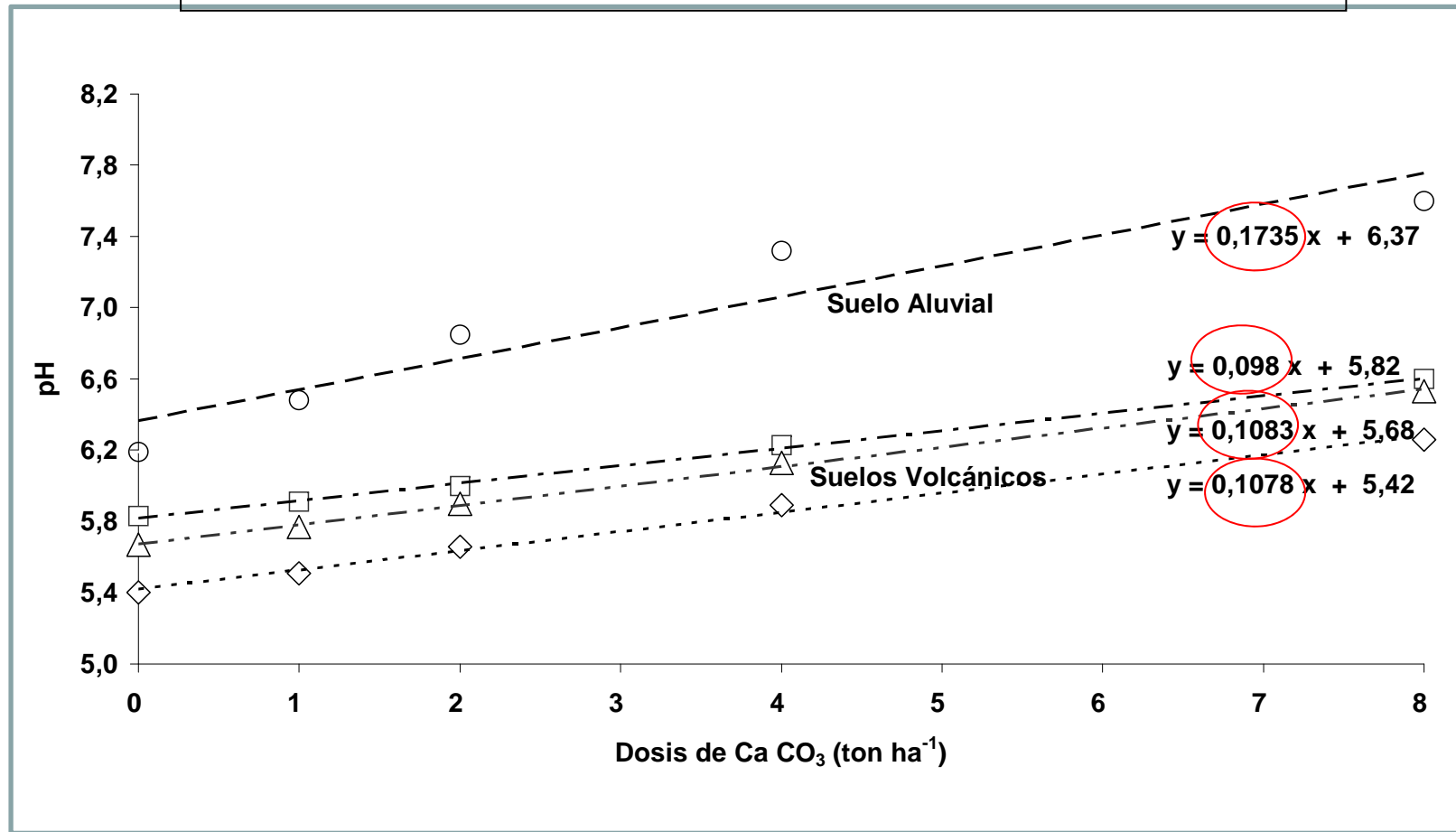


Efecto del encalado sobre el rendimiento de trigo cv. Kumpa-INIA y en la saturación de Al del Andisol. Vilcún, Cautín, 2005-2006.
Fuente: Campillo (2011).

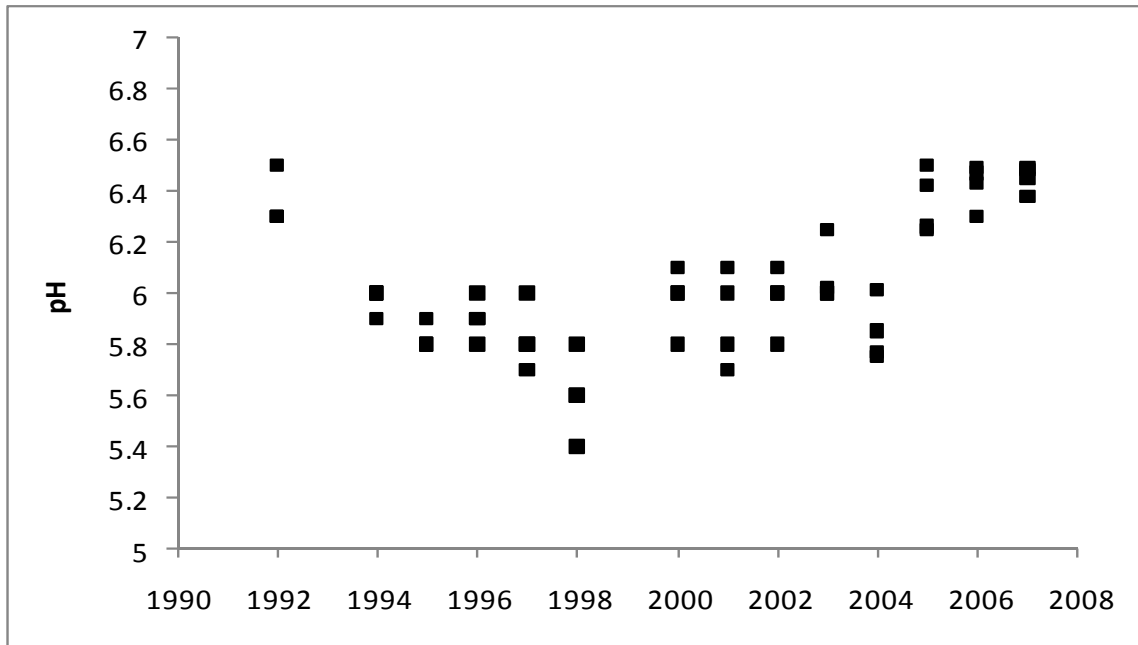
$$\text{Dosis de CaCO}_3 = \frac{(\text{pH alcanzar} - \text{pH Inicial})}{\text{Poder tampón}}$$

(Ton/ha)

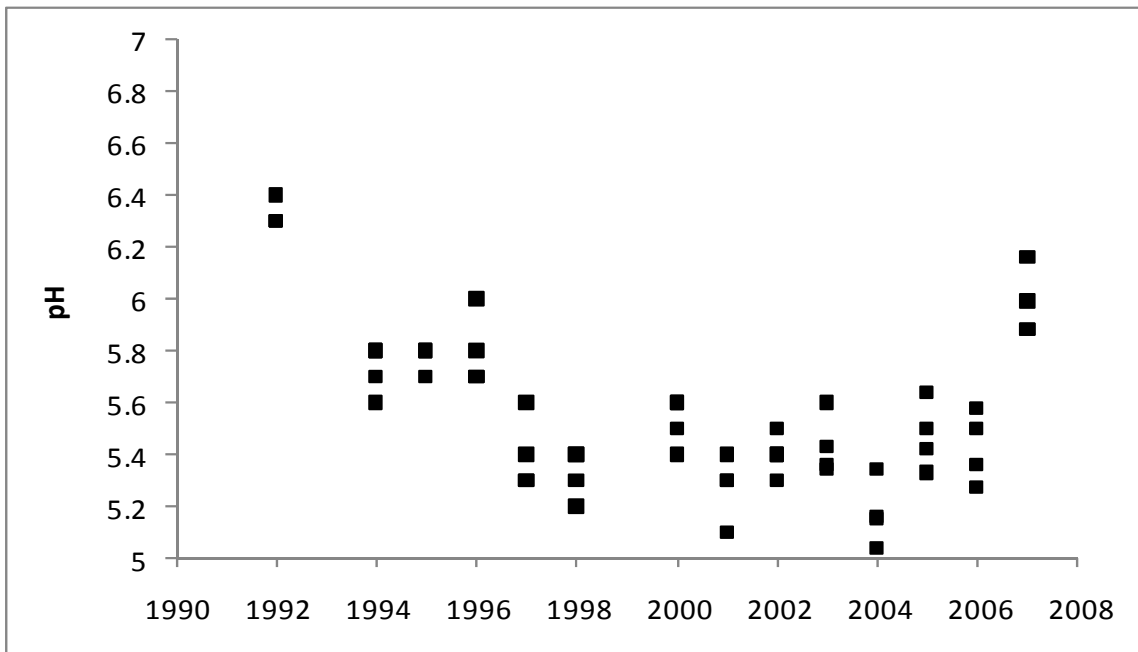
Poder tampón



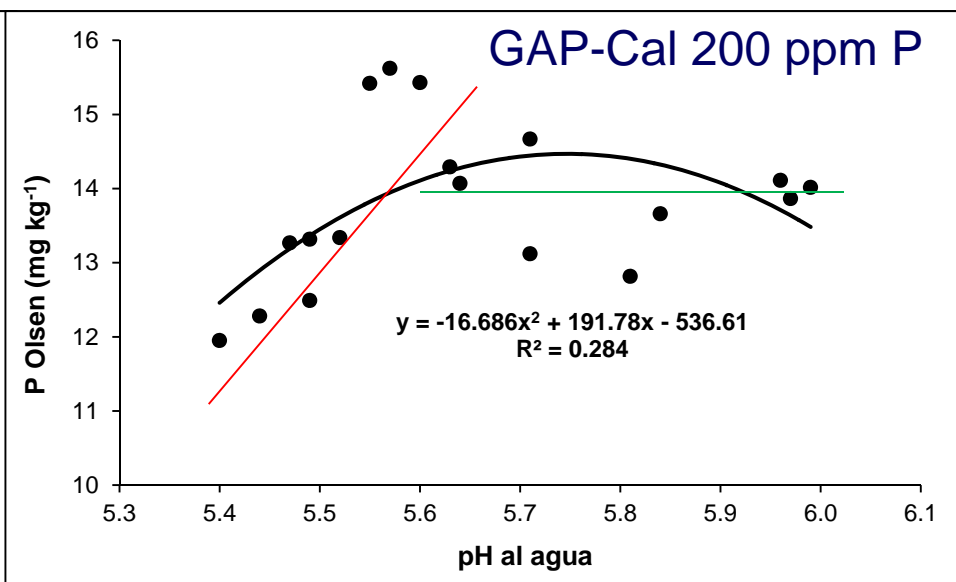
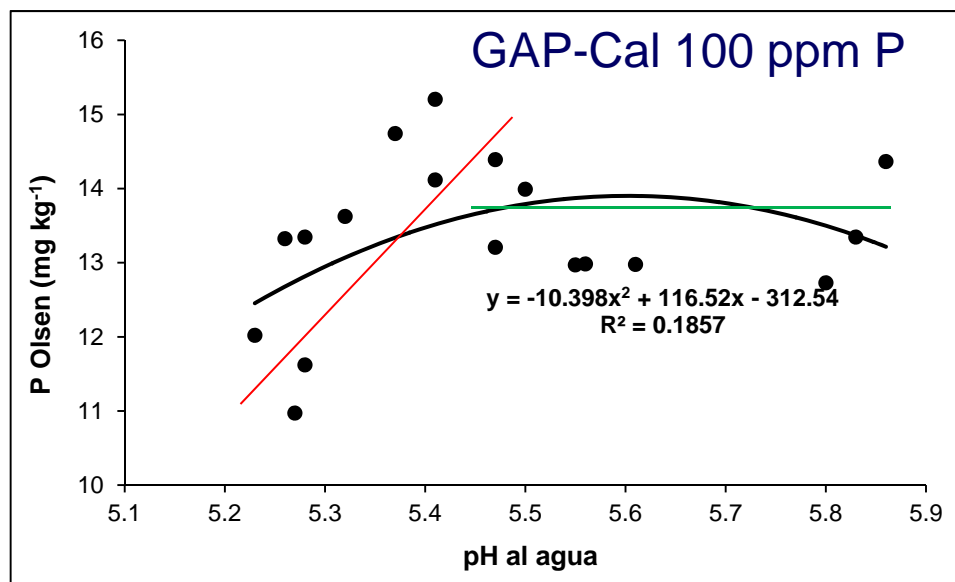
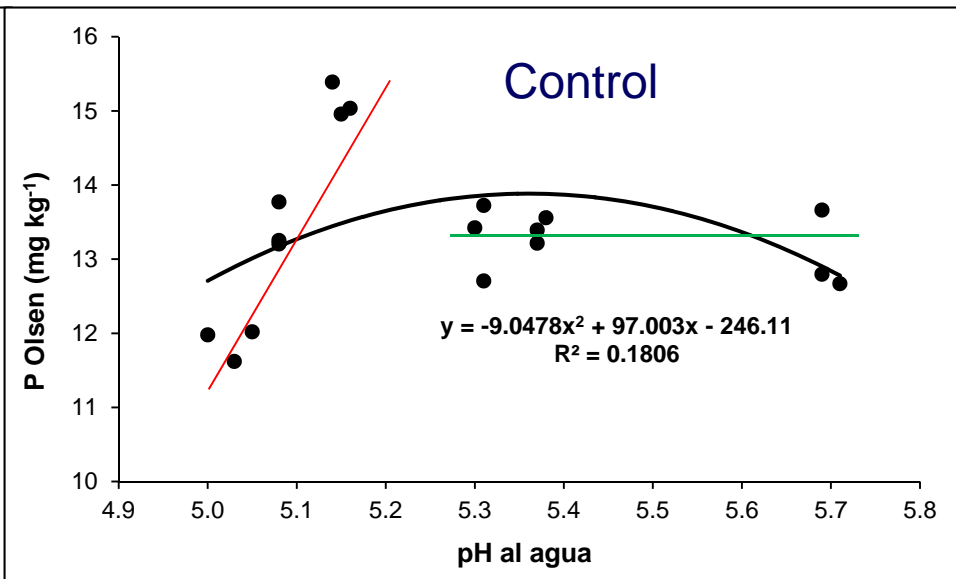
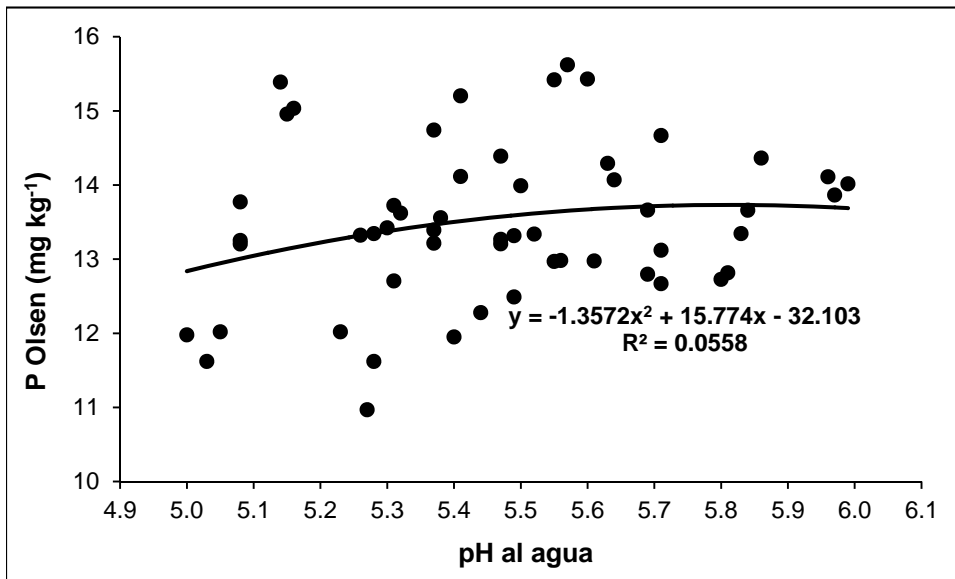
Incremento en el pH del suelo frente a dosis crecientes de CaCO₃ para tres suelos de origen volcánico y un suelo de origen aluvial de la VII región de Chile.



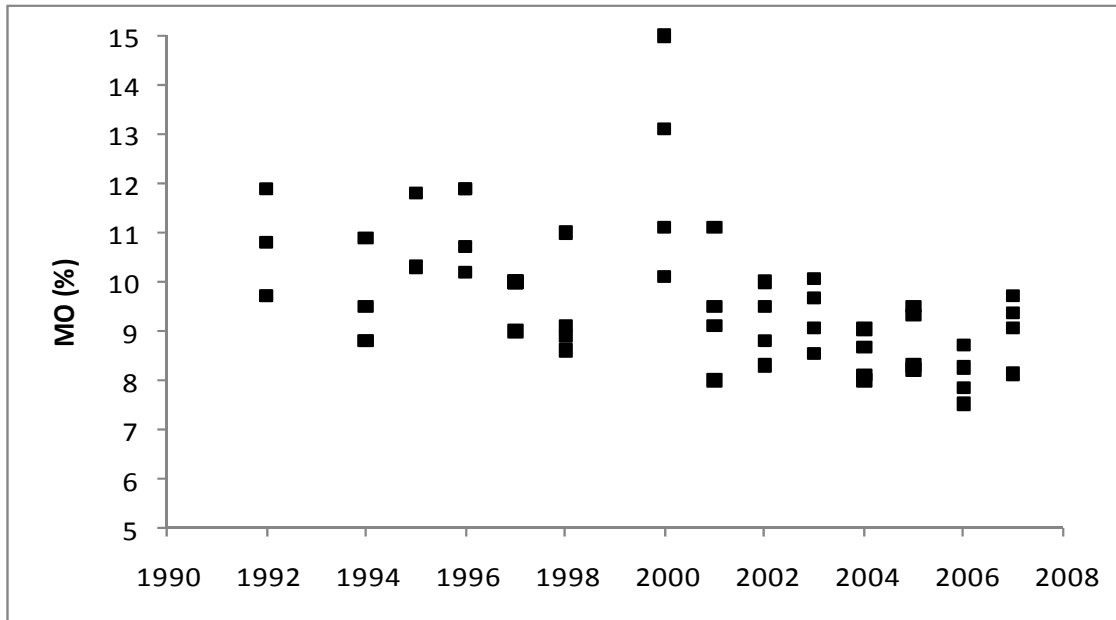
Rotación:
Trébol rosado por 2 años,
Remolacha, Trigo.



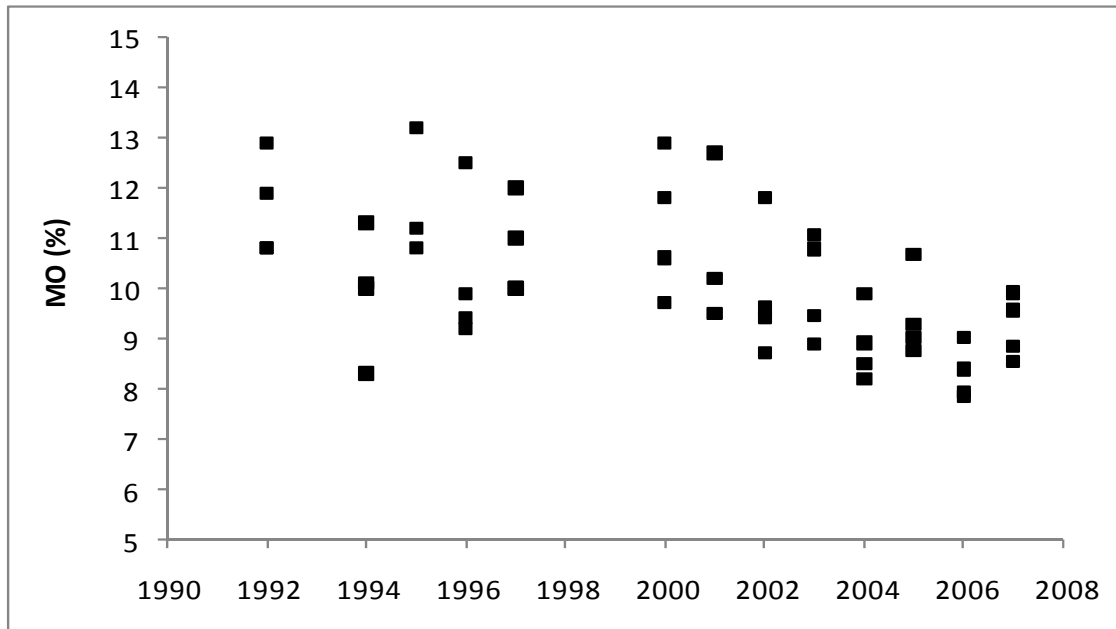
Rotación:
Trébol rosado por 2 años,
Maíz de Silo, Trigo.



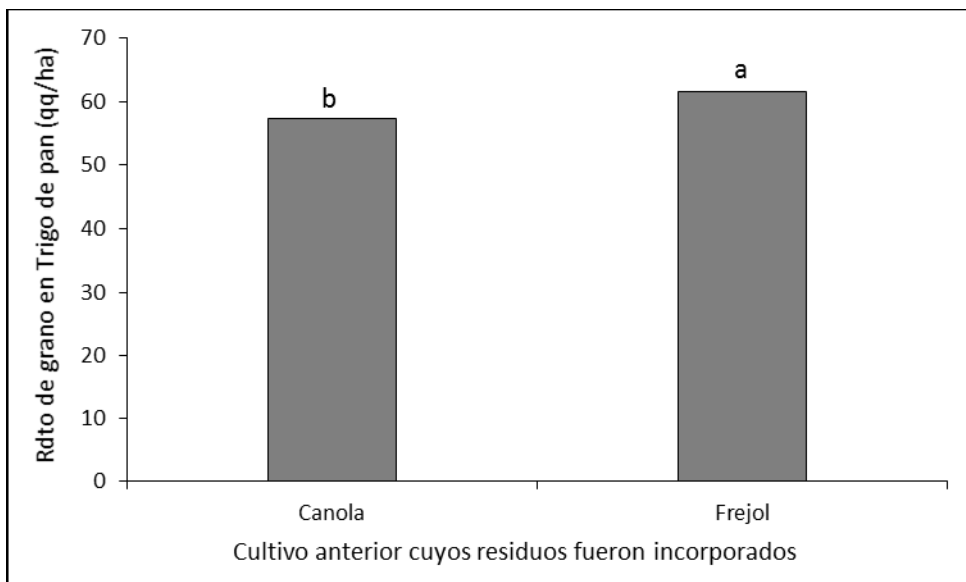
Uso de Enmiendas Orgánicas



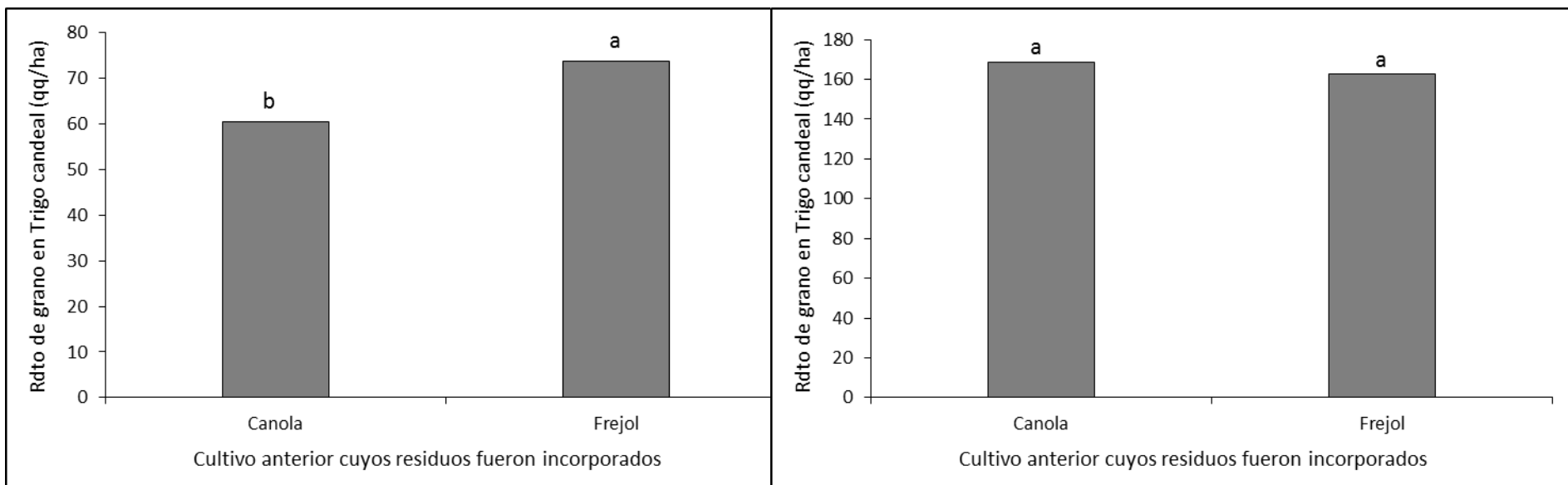
Rotación:
Trébol rosado por 2 años,
Remolacha, Trigo.
*Sin incorporación de
residuos.*



Rotación:
Poroto, Cebada, Maíz de
grano, Trigo.
*Sin incorporación de
residuos.*



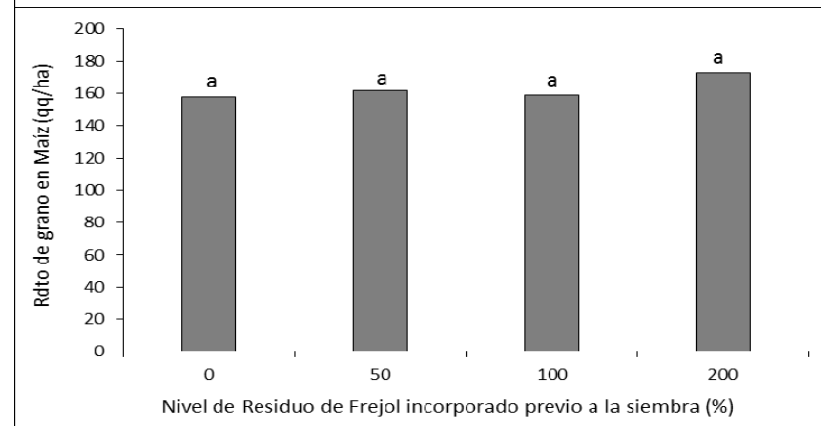
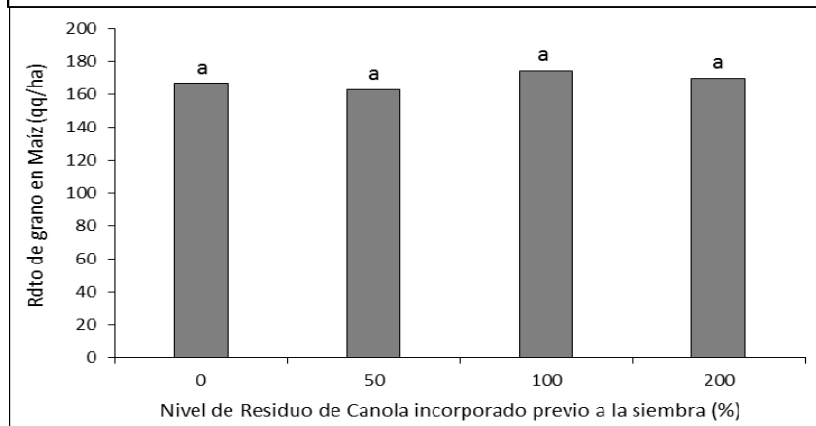
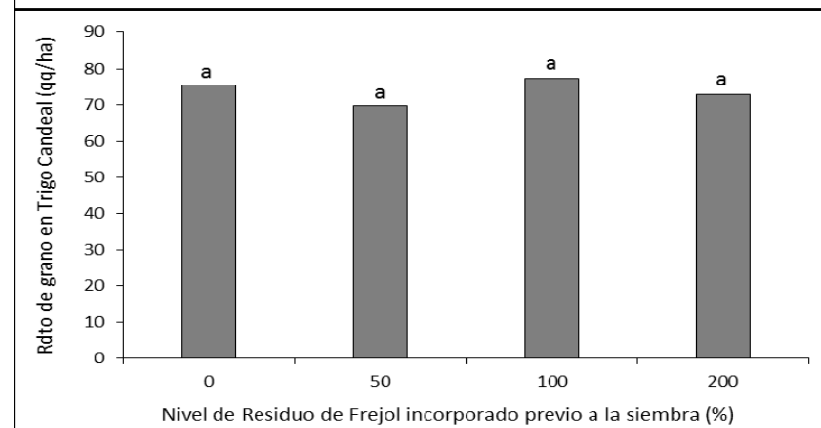
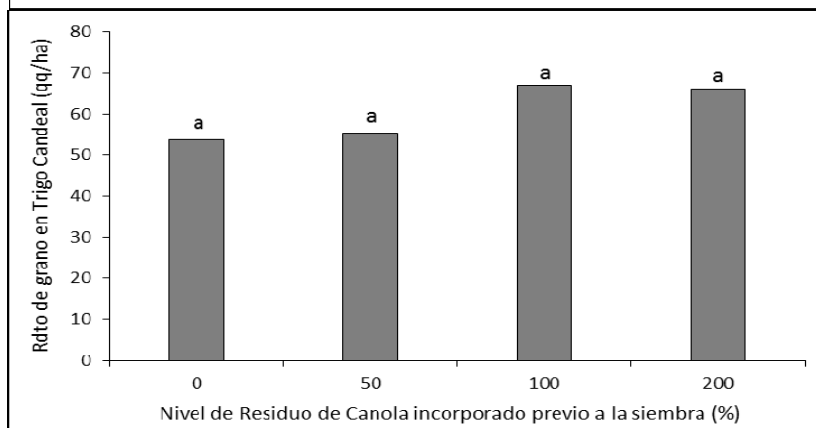
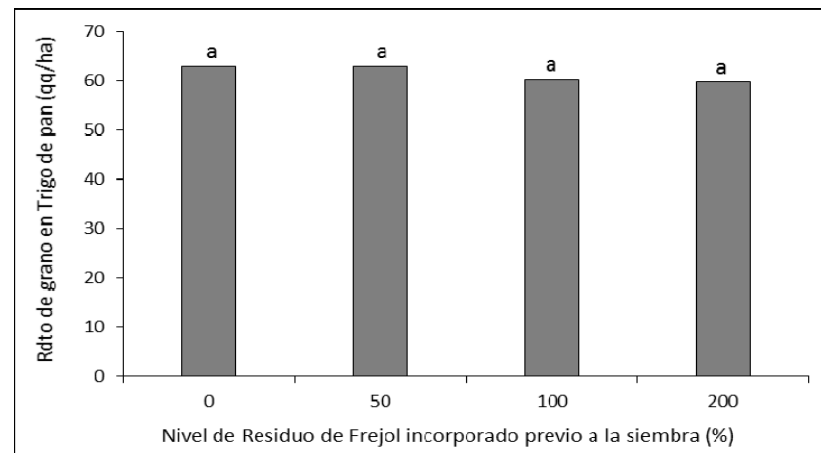
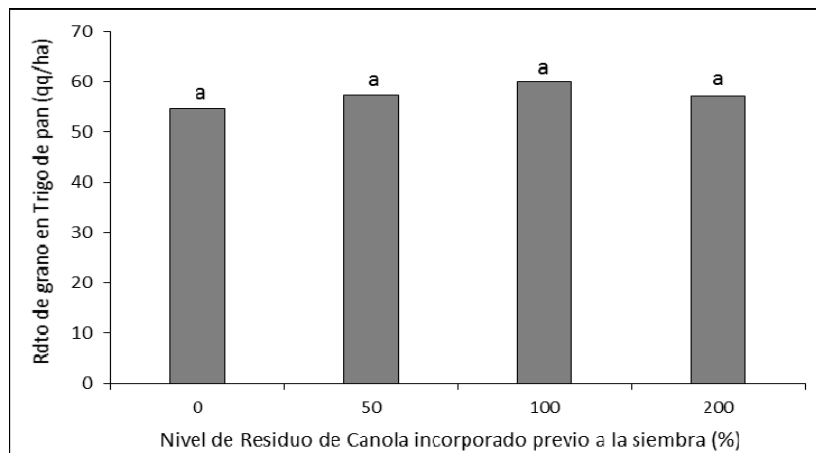
Condición de Valle Regado.
Suelo volcánico sobre
lecho de río.
Campo Santa Rosa de INIA
Quilamapu.



Rendimiento de grano en Trigo de Pan, Trigo Candeal y Maíz de grano después de dos cultivos antecesores.

Letras distintas sobre las columnas indican diferencia significativa entre los niveles de residuo empleados, según test de Tukey ($p < 0.05$).

Condición de Valle Regado. Suelo volcánico sobre lecho de río. Campo Santa Rosa de INIA Quilamapu.



Cálculo de dosis de enmienda para aumentar el contenido (%) de materia orgánica del suelo.

$$\begin{array}{l} \text{Dosis de MO} \\ \text{a aplicar} \\ \text{(ton/ha)} \end{array} = \frac{(\text{MO a subir (\%)} * \text{DA (g/cc)} * \text{PDM (cm)})}{0,33 (\text{Ef})}$$

Donde: MO = materia orgánica.
DA = densidad aparente del suelo.
PDM = profundidad de muestreo de suelo en que se determinó el contenido de materia orgánica.
Ef = 1/3 de lo aplicado que es la eficiencia de incorporación neta de la materia orgánica agregada al suelo.

$$\begin{array}{l} \text{Dosis de} \\ \text{EMD} \\ \text{(ton/ha)} \end{array} = \frac{\text{Dosis MO a aplicar (ton/ha)} * 10000}{\% \text{ de MO en la EMD a utilizar} * (100 - \% \text{H}^\circ \text{ en EMD})}$$

Donde: MO = materia orgánica
EMD = enmienda orgánica a utilizar.
H° = porcentaje de humedad en la enmienda a utilizar.
10000 = factor de corrección de unidades.

Ejemplo; Un agricultor tiene un suelo con un contenido de materia orgánica de 2,2% y una densidad aparente de 1,2 g/cc (según análisis de una muestra compuesta de suelo colectada de 0 – 20 cm de profundidad).

Se desea aumentar el contenido de materia orgánica en un 0,3%, para lo cual se usará cama de broiler en estado fresco (incorporado con labranza).

La cama de broiler disponible presenta un 30% de humedad y un 65% de materia orgánica. ¿Cuánta cama de broiler debe usar como enmienda para lograr su objetivo?.

$$\begin{array}{l} \text{Dosis de MO} \\ \text{a aplicar} \\ \text{(ton/ha)} \end{array} = \frac{(0,3 * 1,2 * 20)}{0,33 \text{ (Ef)}} = 21,8 \text{ ton/ha}$$

$$\begin{array}{l} \text{Dosis de} \\ \text{Cama Broiler} \\ \text{(ton/ha)} \end{array} = \frac{(21,8 * 10000)}{(65 * 70)} = 47,9 \text{ ton/ha}$$

Composición nutricional de las principales enmiendas orgánicas comercializadas en el país

Parámetro determinado	Guano Broiler	Guano de Pavo	Guano de Pavo madurado	Bioestabilizado
Humedad (%)	19 – 43	15 – 50	24 – 50	10 – 45
pH	6,9 - 9,1	5,3 – 7,4	5,6 – 8,2	6,8 – 8,6
CE (dS m ⁻¹)	6,0 – 12,0	7,7 – 18,2	10,0 – 29,8	3,2 – 13,4
MO (%)	65 – 70	64 – 85	66 - 83	41 – 60
Relación C/N	6,6 - 16,7	9,0 – 12,8	8,1 - 16	8,8 – 20,6
C total (%)	43 – 44	36 – 47	31 – 41	26 – 41
N total (%)	2,1 – 3,7	3,3 – 4,4	2,3 – 4,5	1,5 – 3,4
N amoniacal (%)	0,31 – 0,65	0,6 – 1,3	0,4 – 1,5	0,7 – 1,3
N nítrico (%)	0,3 - 0,65	0,05 – 0,15	0,06 – 0,5	0,01 – 0,05
P total (%)	0,81 – 2,25	1,7 – 3,1	2,05 – 3,88	2,27 – 3,78
K total (%)	1,2 – 3,7	2,5 – 3,4	3,1 – 3,6	1,0 – 2,0
Ca total (%)	1,3 – 3,1	4,4 – 7,5	4,8 – 7,9	3,2 – 6,4
Mg total (%)	0,33 – 0,65	0,65 – 1,25	1,0 – 1,47	0,96 – 1,88
S total (%)	0,2 – 0,4	0,3 – 0,6	0,3 – 0,6	0,18 – 0,98

Aportes de Nitrógeno desde enmiendas orgánicas

$$\begin{array}{rcl} \text{N total} & = & \text{N inorg } t_0 + \text{N org } t_0 * \text{ tasa de mineralización} \\ \text{(kg/ha)} & & \text{(kg/ha)} \quad \text{(kg/ha)} \end{array}$$

Tasa de mineralización durante el mismo año de aplicación:

- Abonos verdes : **0,05 a 0,2** (5 a 20%)
- Compost : **0,25 a 0,4** (25 a 40%)
- Cama de vacuno : **0,4 a 0,5** (40 a 50%)
- Cama de broiler o pavo: **0,6** (60%)
- Purines : **0,9** (90%)

Por ejemplo, se aplican 20 ton/ha de cama de broiler en estado fresco, con un contenido de humedad de 40%, N total de 3,0% y N disponible de 0,5%, entonces el nitrógeno total aportado con la aplicación incorporada de la cama broiler sería la siguiente:

12.000 kg de materia seca (20 ton * 0,6 * 1.000 kg/ton).

N orgánico = 2,5% (3,0% – 0,5%)

N total (kg ha⁻¹ año⁻¹) =

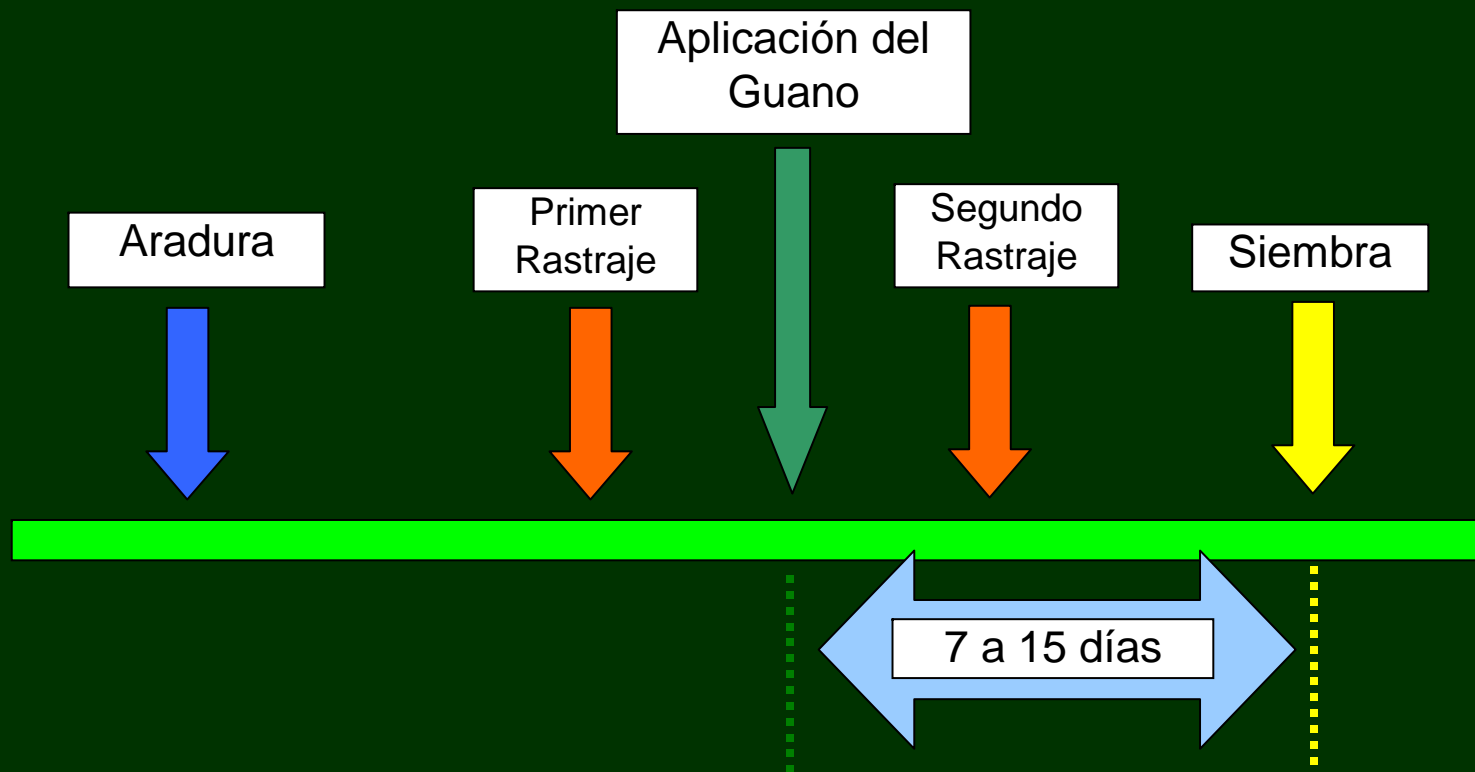
N inorgánico inicial (kg ha⁻¹) + N orgánico inicial (kg ha⁻¹) * 0,6

N total (kg ha⁻¹ año⁻¹) =

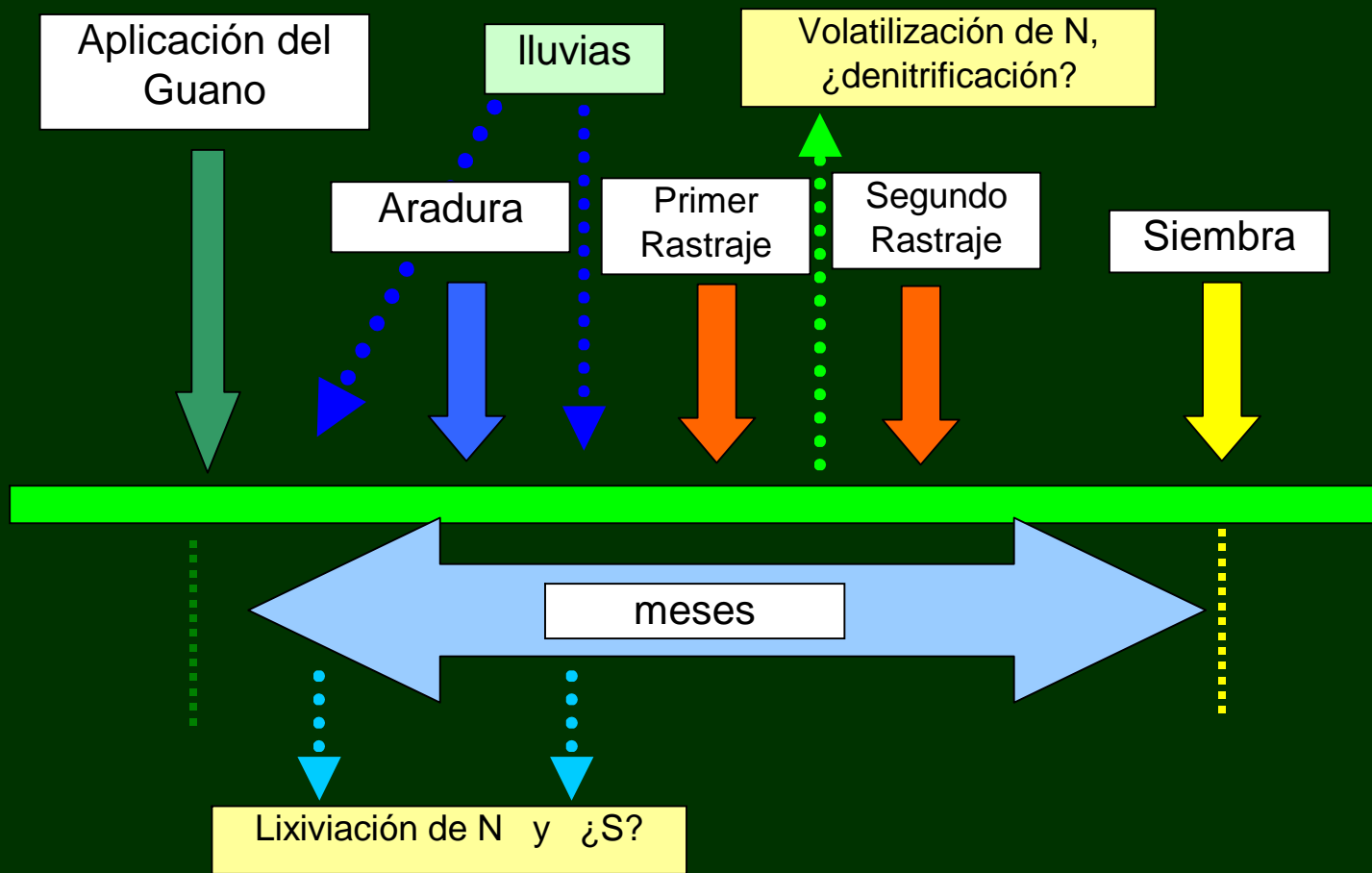
$$12.000 * 0,005 + 12.000 * 0,025 * 0,6 = \mathbf{240 \text{ kg ha}^{-1}}.$$

60

180



Oportunidad de aplicación de la enmienda orgánica como fertilizante



Oportunidad de aplicación de la enmienda orgánica como fertilizante:
 Aplicación anticipada.





Dosis de referencia de N – P₂O₅ - K₂O para Cultivos Anuales
(Kg de Nutriente a aplicar por cada Quintal producido)

Cultivo	Rdto (qq/ha)	N (Kg/qq)	P₂O₅ (Kg/qq)	K₂O (Kg/qq)
Arroz	40-80	1,2 – 1,5	0,5 – 0,8	0,5 – 1
Arvejas	10-30	4 – 6	3 – 4	2 – 3
Avena	40-60	2,5 – 2,8	2 – 2,5	1 – 1,5
Cebada	50-70	2,2 - 2,5	1,8 – 2,2	1 – 1,5
Frejoles	10-30	3 – 3,5	2 – 3	2 – 3
Garbanzos	6-20	0 – 4	3 – 4	2 – 3
Lentejas	6-20	0 – 4	3 – 4	2 – 3
Maíz	120-200	2,2 - 2,5	0,6 - 1	0,4 – 1
Maravilla	30-50	4 – 5	2 – 3	1,5 – 2,5
Papas tardías	400-700	0,3 - 0,4	0,4 – 0,8	0,3 - 0,7
Papas tempranas	300-600	0,3 - 0,4	0,5 – 0,8	0,4 - 0,8
Raps - Canola	25-40	4 – 6	2 – 4	2 – 3
Remolacha	800-1200	0,15 – 0,2	0,2 – 0,4	0,12 – 0,2
Tabaco Burley	30-50	4 – 5	2,5 – 3,5	3 – 4
Tabaco Virginia	30-50	4 – 5	2,5 – 3,5	3 – 4
Trigo Pan	40-120	2,5 – 3,2	1 – 1,6	0,8 – 1,2
Trigo candeal	60-100	3,2 – 3,4	1 – 1,6	0,8 – 1,2

1 tonelada = 10 quintales

Dosis de referencia de N – P₂O₅ – K₂O para Hortalizas
(Kg de Nutriente a aplicar por tonelada producida)

Especie	Rendimiento (Ton/ha)	N (Kg/ton)	P₂O₅ (Kg/ton)	K₂O (Kg/ton)
Coliflor	25 – 40	5 – 7	3 – 5	4 – 5
Poroto Verde	8 – 12	6 – 7	3 – 5	3 – 5
Endivia	10 – 30	5 – 7	3 – 5	3 – 4
Achicoria	30 – 60	3 – 3,5	3 – 4	2 – 3
Arveja	8 – 14	6 – 8	4 – 6	4 – 5
Pepino	20 – 50	3 – 4	2 – 3	4 – 5
Zapallo Guarda	60 – 100	1,5 – 2	1,2 – 1,5	2 – 2,5
Acelga	30 – 40	2,5 – 3	2 – 2,5	1,5 – 2
Zanahoria	30 – 80	2,5 – 3	1,5 – 2	2 – 2,5
Perejil	30 – 50	2,5 – 3	1,5 – 2	1,5 – 2
Puerro	20 – 60	3 – 3,5	1,5 – 2,5	2,5 – 3,5
Rabanitos	10 – 30	5 – 6	3 – 4	3 – 4
Nabo	10 – 25	5 – 6	4 – 5	4 – 5
Repollo Bruselas	10 – 30	8 – 10	6 – 8	6 – 8
Betarraga	30 – 60	4 – 5	3 – 4	4 – 5
Repollo Morado	30 – 60	3 – 4	2 – 3	3 – 4
Lechuga	20 – 60	2,5 – 3	1,5 – 2	1 – 1,5
Ciboulette	30 – 70	3 – 4	2 – 3	2 – 3
Apio	20 – 60	4 – 5	2 – 3	3 – 4
Espinaca	10 – 30	4 – 5	2 – 3	2 – 3
Tomate	50 – 100	2,5 – 3	1,5 - 2	3 – 4
Repollo Blanco	30 – 100	3 – 3,5	2 – 2,5	3 – 3,5
Cebolla	25 – 50	3 – 3,5	2,5 – 3	3 – 4
Brócoli	10 – 20	10 – 12	6 – 8	10 – 12

Dosis de referencia de N – P₂O₅ – K₂O para Frutales
(Kg de Nutriente a aplicar por tonelada producida)

Especie	Rendimiento (Ton/ha)	N (Kg/ton)	P₂O₅ (Kg/ton)	K₂O (Kg/ton)
Vid para vino	5 - 20	4 - 5	1,5 – 2	5 – 6
Uva de mesa	20 - 40	3 - 3,5	1,5 – 2	5 – 6
Manzano verde	50 - 100	0,6 – 1	0,3 – 0,6	1,5 – 2
Manzano rojo	50 – 80	0 - 0,6	0,3 – 0,6	1,2 – 1,8
Peral	30 – 70	2,5 – 3	0,6 – 1	3 – 4
Naranja	40 – 70	2,5 – 3	0,5 – 1	3 – 4
Limón	30 – 60	3 – 3,5	0,5 – 1	3 – 4
Kiwi	30 – 60	2 – 3	1 - 1,5	6 – 8
Nogal	4 - 8	20 – 35	15 – 20	30 – 40
Cerezo	6 - 15	4 – 6	2 – 3	8 – 12
Ciruelo	10 – 40	4 – 6	2 – 3	4 – 8
Duraznero	20 – 40	4 – 5	2 – 3	6 – 8
Damasco	15 - 25	5 – 6	2 – 3	6 – 8
Palto	6 - 15	8 – 12	5 – 6	10 – 15
Frambueso	10 - 15	8 – 10	3 – 4	5 – 8
Arándano	10 - 30	3 – 6	1 – 2	5 – 8
Frutilla	30 - 60	2 – 3	1 – 2	3 – 5

Características químicas de suelo apropiadas a las especies agrícolas

Elemento o variable analizada	Unidad de medida	Nivel adecuado según textura	
		Franco arenosa a franco limo arenosa	Franco limosa a franco arcillosa
Materia orgánica	%	Mayor a 1,5	Mayor a 1,5
pH (agua 1:2,5) **	--	6,2 - 7,5	6,0 – 7,2
Conductividad eléctrica	dS m ⁻¹	Menor a 1,5	Menor a 1,5
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol(+) kg ⁻¹	8 – 15	15 – 30
Nitrógeno inorgánico	mg kg ⁻¹	15 – 30	20 – 40
Fósforo Olsen	mg kg ⁻¹	Mayor a 15	Mayor a 20
Potasio intercambiable	cmol(+) kg ⁻¹	0,3 – 0,6	0,4 – 0,8
Calcio intercambiable	cmol(+) kg ⁻¹	7 – 10	8 – 12
Magnesio intercambiable	cmol(+) kg ⁻¹	1,0 – 1,5	1,2 – 2,0
Sodio intercambiable	cmol(+) kg ⁻¹	0,03 – 0,3	0,05 – 0,6
Suma de bases	cmol(+) kg ⁻¹	Mayor a 8	Mayor a 10
Relación de calcio sobre la CIC	%	60 – 65	55 – 65
Relación de magnesio sobre la CIC	%	12 – 15	10 – 15
Relación de potasio sobre la CIC	%	2 – 3	3 – 4
Azufre	mg kg ⁻¹	Mayor a 8	Mayor a 10
Hierro	mg kg ⁻¹	4 – 20	6 – 20
Manganeso	mg kg ⁻¹	3 – 10	5 – 20
Zinc	mg kg ⁻¹	2 – 10	4 – 10
Cobre	mg kg ⁻¹	0,5 – 1	0,5 – 1
Boro	mg kg ⁻¹	0,8 – 1,5	1 – 2

**La excepción es Arándano y Lupino (pH inferior a 5,8 para arándano e inferior a 6,5 para Lupino).