



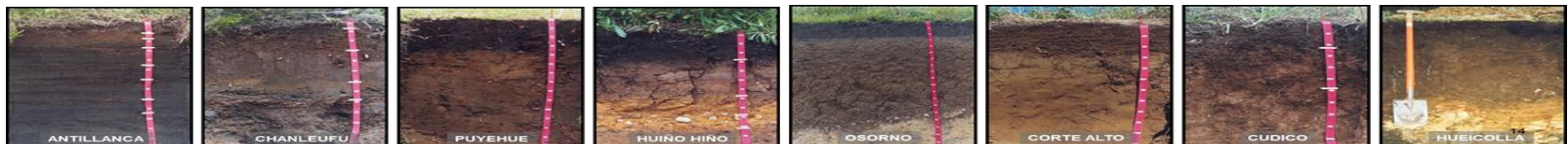
Avances en la fertilización fosforada de los suelos de Chile. Desde el empirismo a la racionalidad

Prof. Dr. Dante Pinochet T.

Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos
Facultad de Ciencias Agrarias
Centro de Investigación en Suelos Volcánicos
Universidad Austral de Chile

Presentación a la Sociedad Chilena de Ciencias Agronómicas

Octubre de 2018



Disquisiciones Ciencia e Ingeniería y Fertilidad de Suelos

El caso de la Fertilización P

El Contenido de P en los suelos del sur de Chile

Efecto de la aplicación de P en el suelo.
Evaluación de la Aplicación de P

La Eficiencia de Disponibilidad
Su medición en los suelos

Consideraciones Finales/Conclusiones



Eficiencia de Uso de los Nutrientes

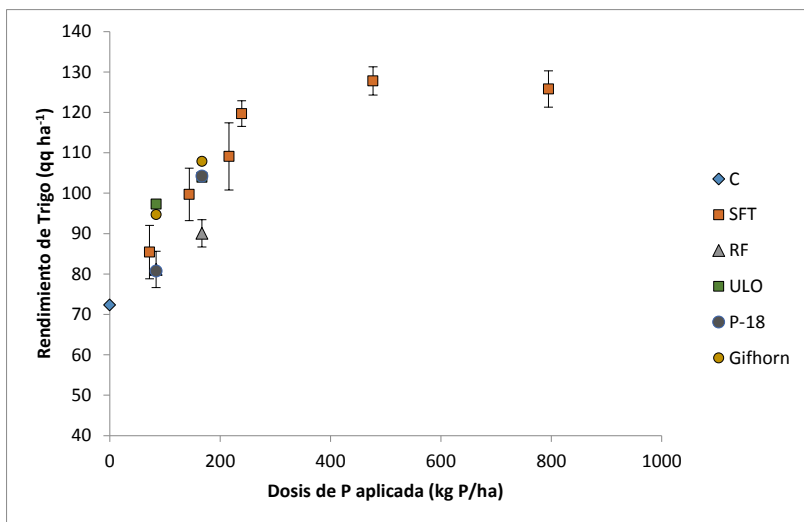


Producto Agronómico

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

Eficiencia de la Fertilización

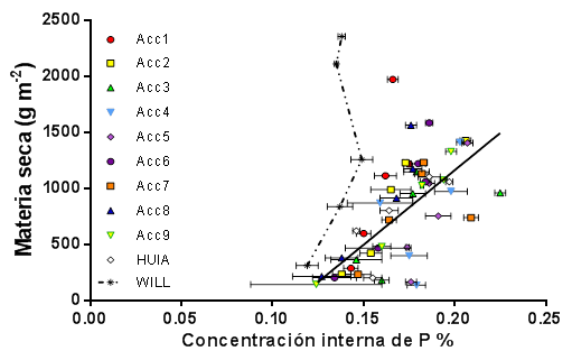
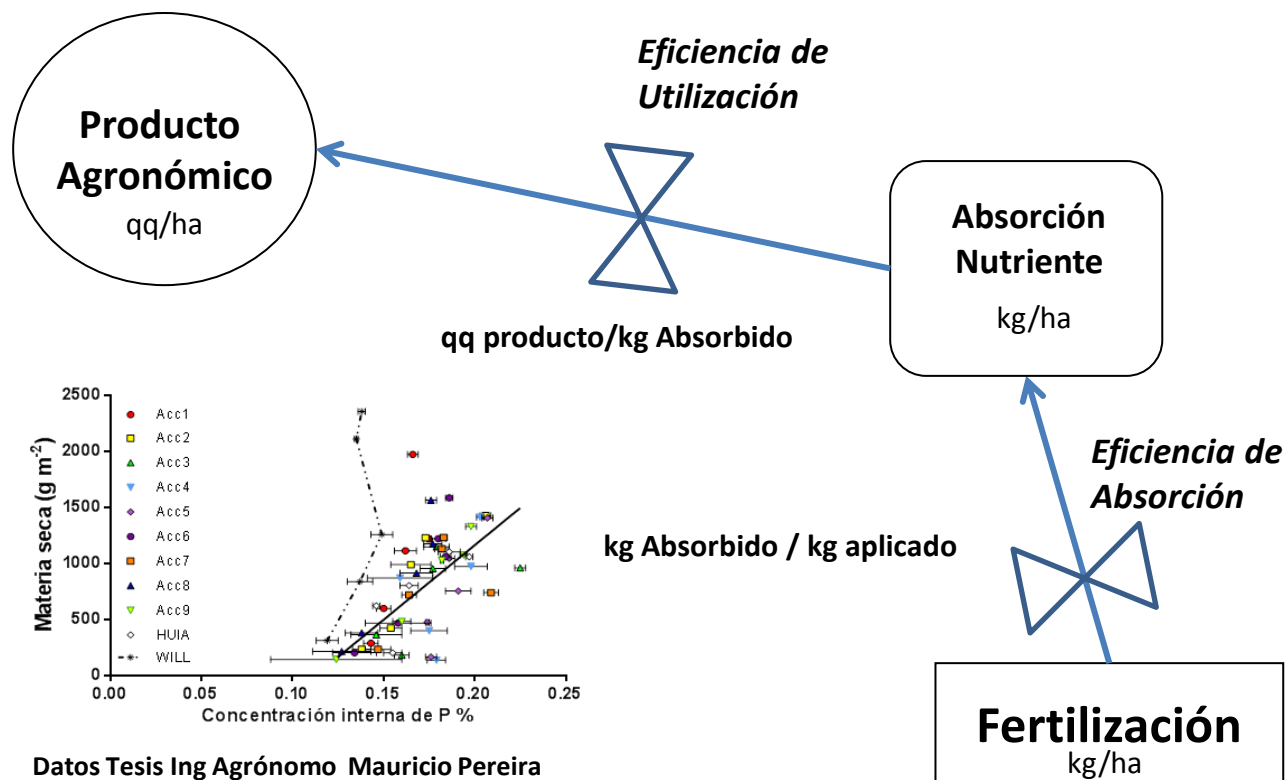
Fertilización



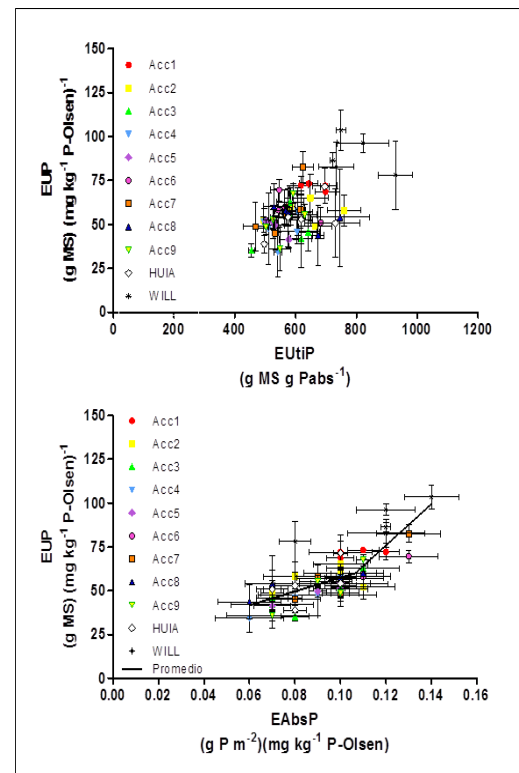
Tesis Sra. Ing. Agrónomo Carolina Cárcamo (2012)



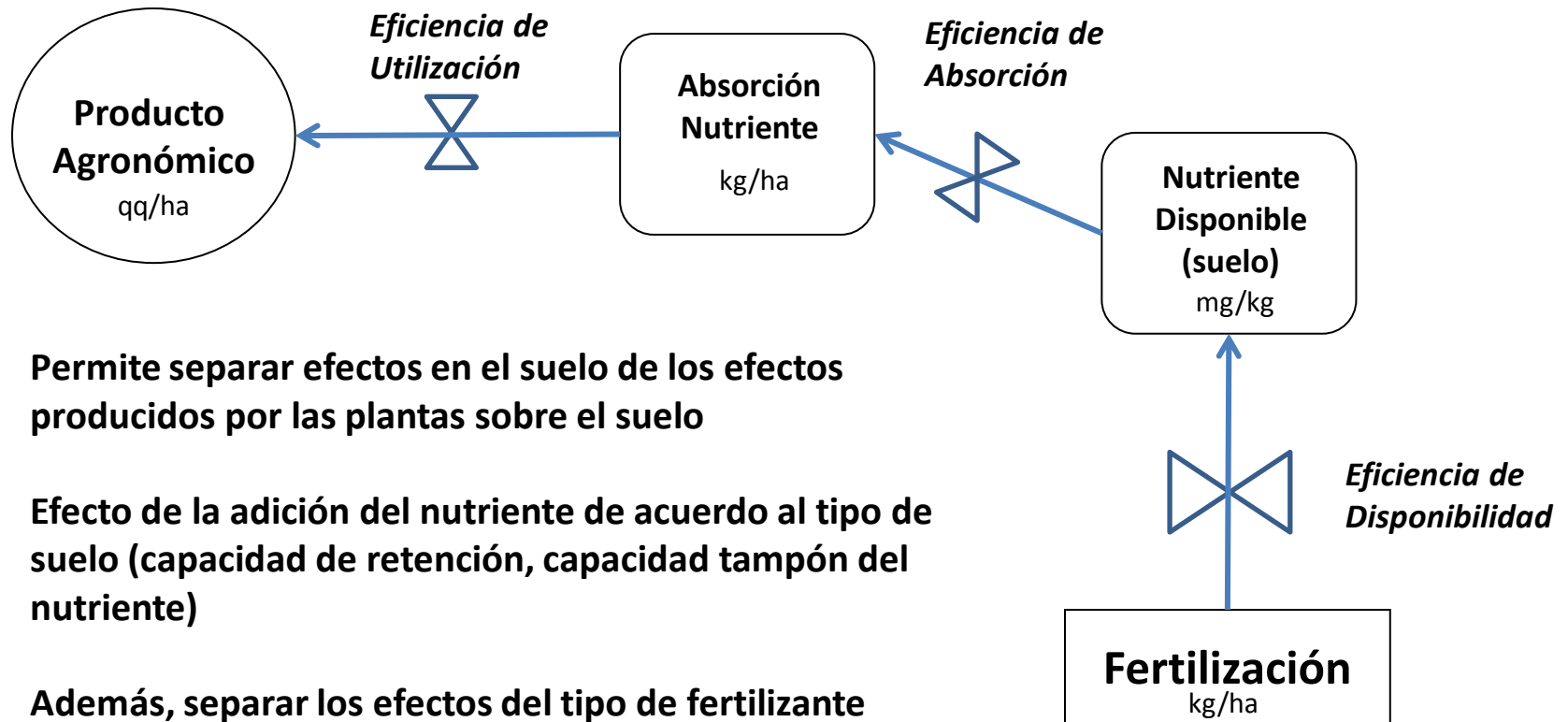
$$\frac{\text{kg MS producto/ha}}{\text{kg Nutriente/ha (suelo + fertilizante)}} \\ (\text{Moll et al., 1982})$$



Datos Tesis Ing Agrónomo Mauricio Pereira (2013), variación de P en distintas accesiones de trébol blanco. Pererira et al.(2016)



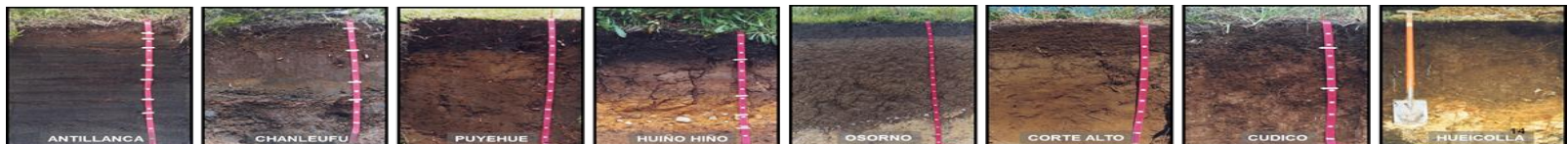
$$\frac{\text{kg MS producto/ha}}{\text{kg Nutriente/ha (suelo + fertilizante)}} \\ (\text{Moll et al., 1982})$$



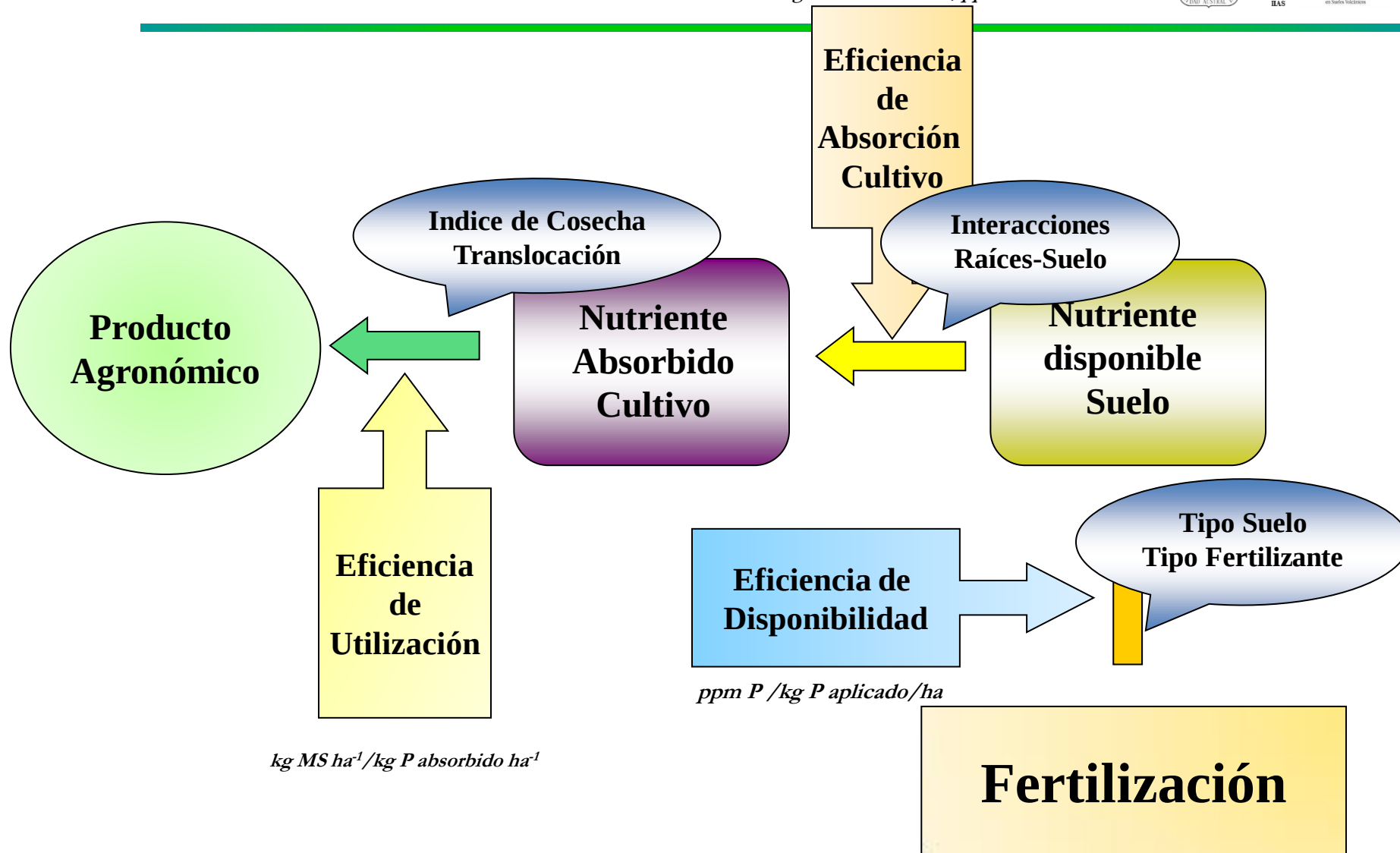
Permite separar efectos en el suelo de los efectos producidos por las plantas sobre el suelo

Efecto de la adición del nutriente de acuerdo al tipo de suelo (capacidad de retención, capacidad tampón del nutriente)

Además, separar los efectos del tipo de fertilizante (solubilidad, presentación)



$kg\ P\ absorbido\ ha^{-1} / ppm$



$kg\ MS\ ha^{-1} / kg\ P\ absorbido\ ha^{-1}$

$ppm\ P / kg\ P\ aplicado/ha$



Evaluación de la disponibilidad de Fósforo en los suelos



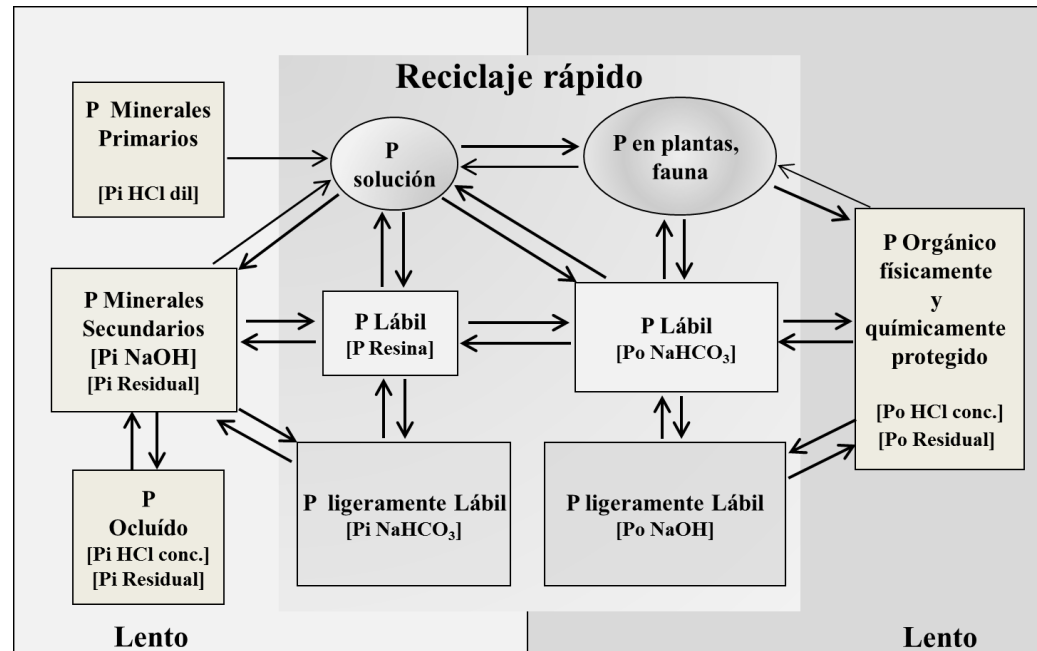
La concentración de P en la solución es muy baja (un suelo de alto nivel de fertilidad tiene menos de 2 kg P/ha en primeros 20 cm (Havlin et al., 2005)

Desde el inicio se determinó que los suelos derivados de materiales volcánicos presentaban bajos niveles de P disponible (Letelier, 1965).

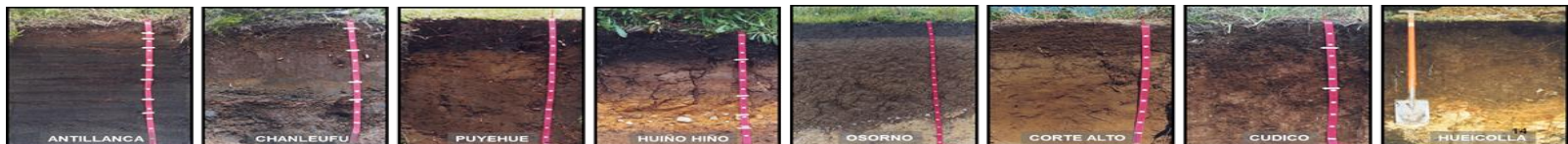
Ello fue explicado por la alta capacidad de retención de P de estos suelos (Besoain, 1985)

Sin embargo, ¿Cuánto P poseen?

Método de fraccionamiento de P en los suelos de Hedley (Tiessen y Moir, 1995)



(adaptado desde Tiessen et al., 1984;)



Cuanto P poseen los suelos volcánicos y otros de la zona sur de Chile?



Variación del Fósforo total en los suelos volcánicos (Pinochet et al., 2001)

Una Toposequencia de Cordillera de los Andes a Cordillera de la Costa, a la altura de Osorno

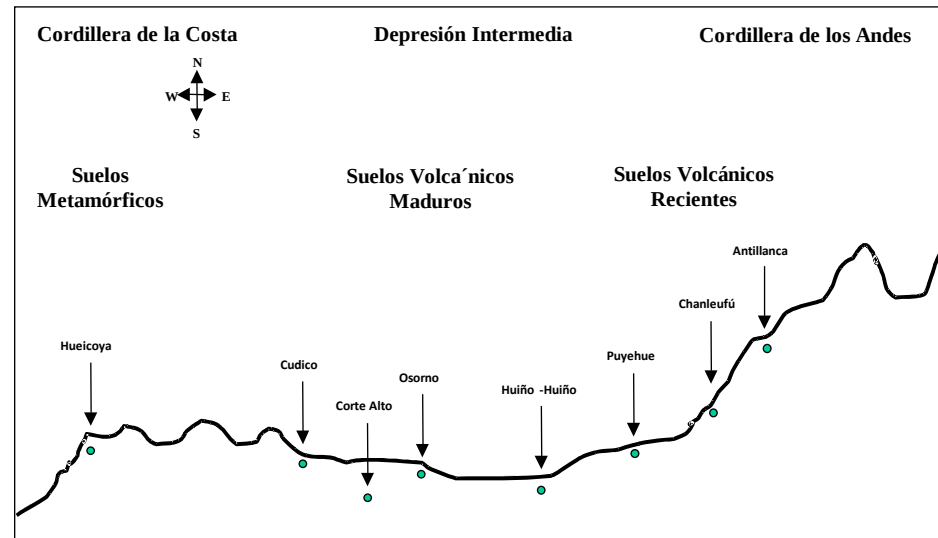
Se muestreó superficialmente
Se presentan resultados de 0-20cm

Condición de muestreo: bosque (renoval) de nativo. Supuesto: se asume no adición de P fertilizante

Hipótesis:

El contenido de P total de los suelos obedece al grado de evolución de los suelos.

A mayor evolución, menor contenido de P total.

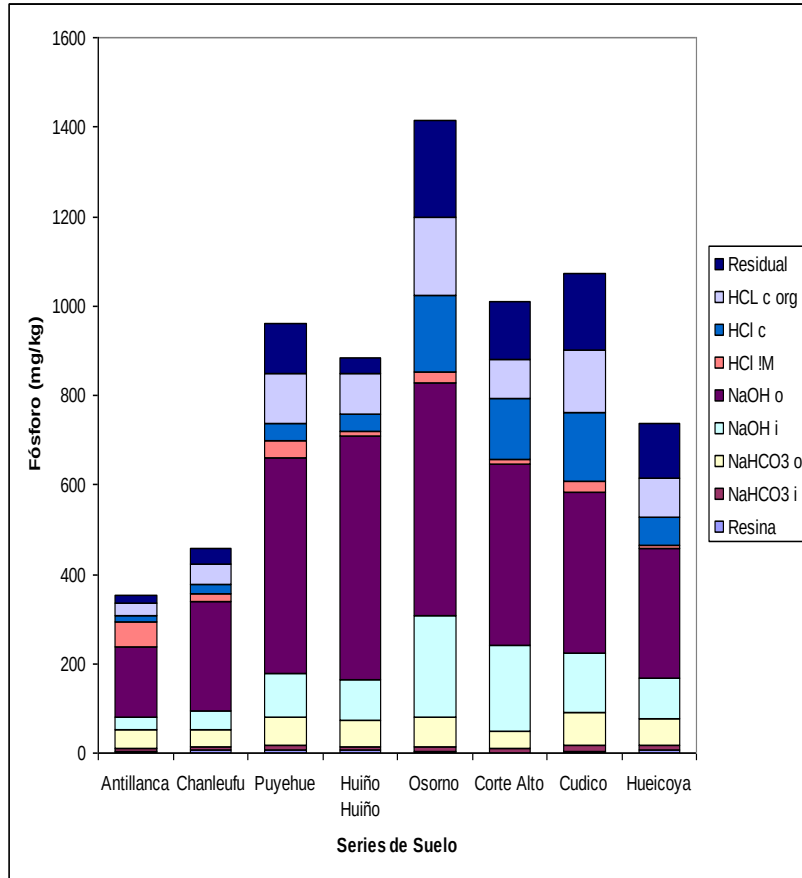


Al interpretar los datos debe tenerse en cuenta, que las plantas reciclan el P desde la profundidad del perfil, hasta la superficie

Que contenido de P orgánico total tienen los suelos?



Contenido de P de los suelos volcánicos



Cordillera de los Andes
Suelos jóvenes

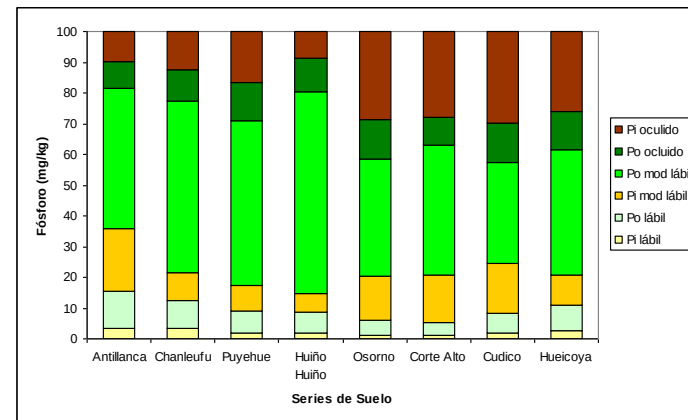
Cordillera de la Costa
Suelos viejos

(Pinochet et al., 2001)

Incremento del P total hacia los suelos volcánicos maduros.

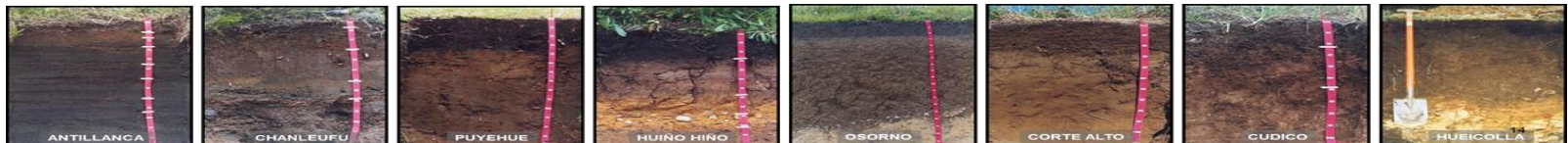
El suelo Heicoya (metamórfico) Ultisol, es el que presenta el menos contenido de P total.

Las Fracciones de P siguen una dinámica que tiene que ver con la edad de los suelos

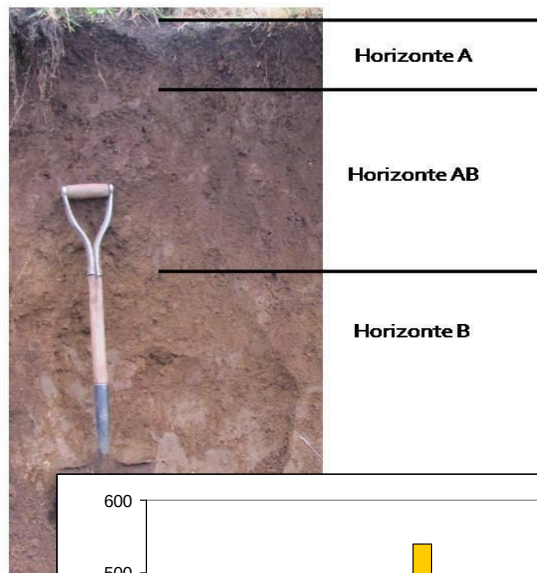


El P ocluido aumenta con la edad geológica

El P orgánico disminuye



Contenido de P de los suelos



Distribución del P en un suelo volcánico en distintas profundidades de suelo (Tesis Ing. Agrónomo Sr. Julián Valenzuela, 2007)

Suelo: Terraza fluvio-glacial (Andisol de Chiloé)
Condición: Renoval de bosque nativo (> 80 años)

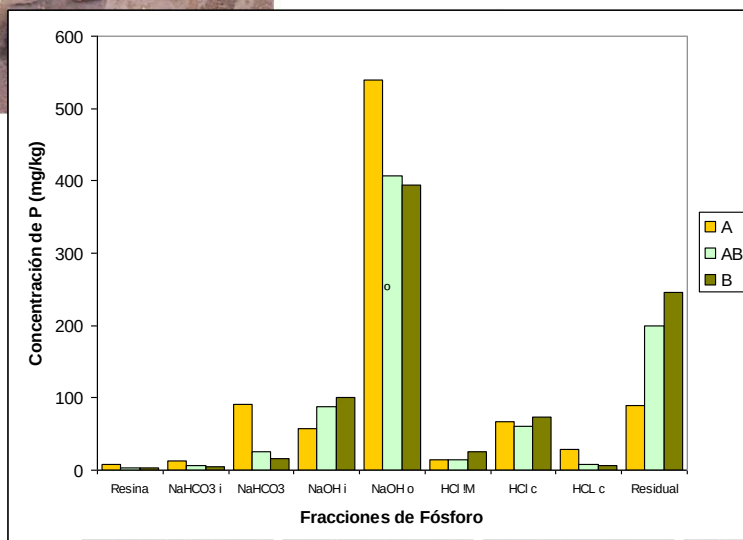
Evaluación de tres profundidades

Nivel de P disponible:

Horizonte A = 4,6 ppm P-Olsen

Horizonte AB = 1,0 ppm P-Olsen

Horizonte B = 0,8 ppm P-Olsen



La mayor acumulación en los suelos volcánicos se produce en la fracción NaOH

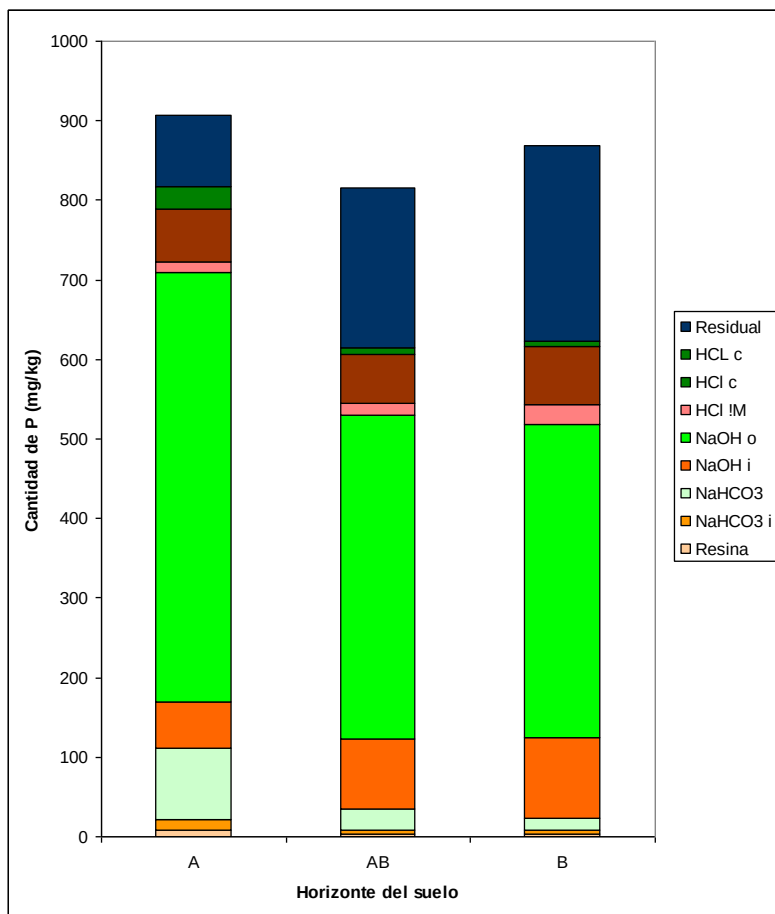
En condición nativa, la mayor fracción

En el horizonte A, el P en bicarbonato aumenta

El P residual, aumenta hacia las fracciones menos intemperizadas



Contenido de P de los suelos volcánicos



El contenido de P total es alto: > 810 mg/kg y similar en todo el perfil, aunque con un valor superior en el horizonte superficial

La mayor parte del P en condición nativa se encuentra en forma orgánica (> 70% en el horizonte superficial y cerca del 50% en profundidad)

Los contenidos de P lábil son una fracción pequeña del P total del suelo

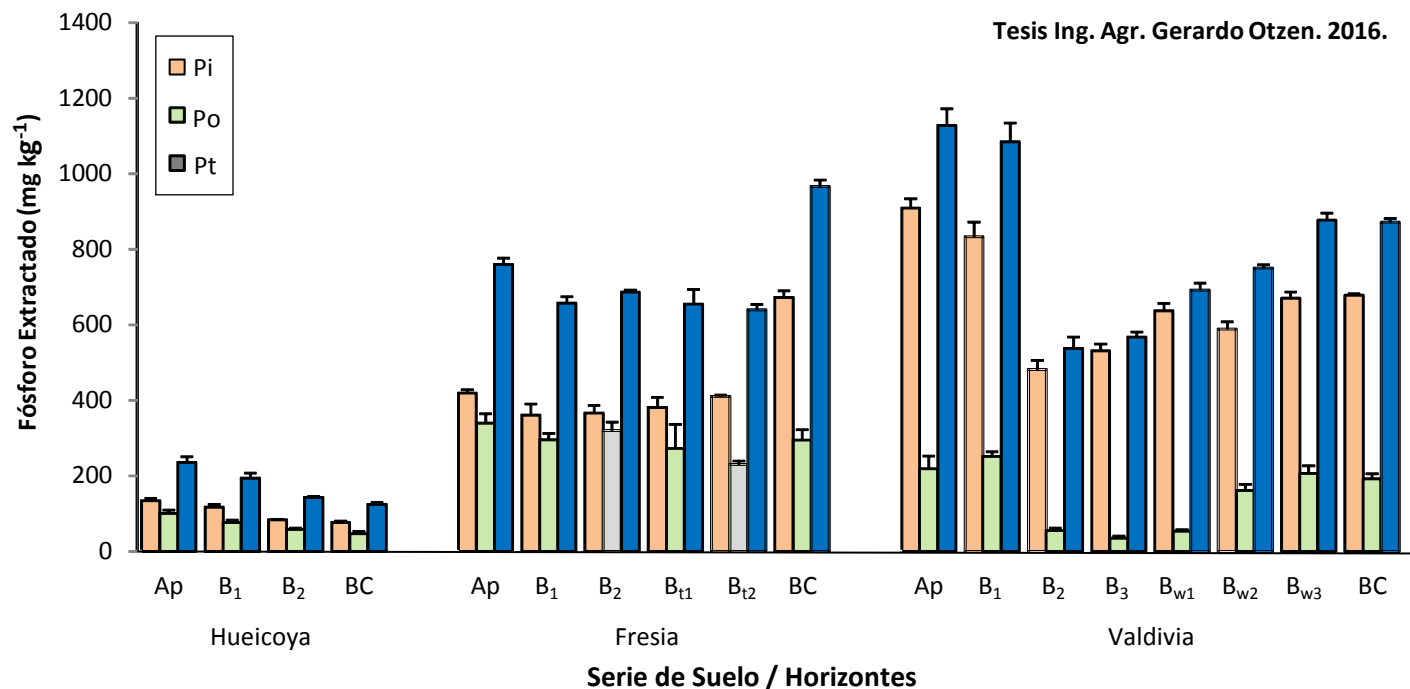
Surgen preguntas:

¿Como varían dependiendo del tipo de Suelo?

¿Varían con el manejo?



Contenido de P de los suelos volcánicos y metamórficos



Serie Hueicoya.

Haplohumult, 65 cm,
bajo bosque nativo

Serie Fresia.

Paleohumult, > 145 cm,
bajo pradera

Serie Valdivia. Duric

Hapludand, > 203 cm,
bajo cultivo en rotación
(instalado el lisímetro)

Contenido de P total es dependiente del tipo de suelo y del manejo

La fracción orgánica, también varía con el manejo y la acumulación del P se realiza en las fracciones inorgánicas bajo manejo de fertilización mineral



Distribución del P en suelo volcánicos después de la adición de fertilizantes de distinta solubilidad (Pinochet et al., no publicado)



Suelos: 1 Utisol y 2 Andisoles

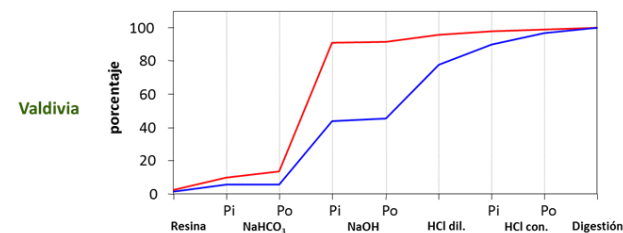
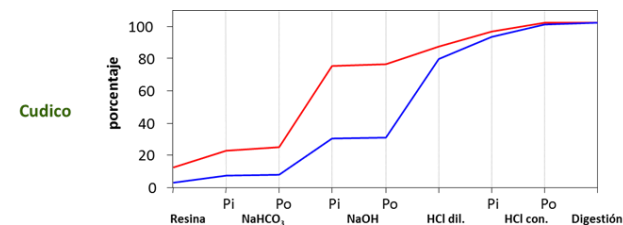
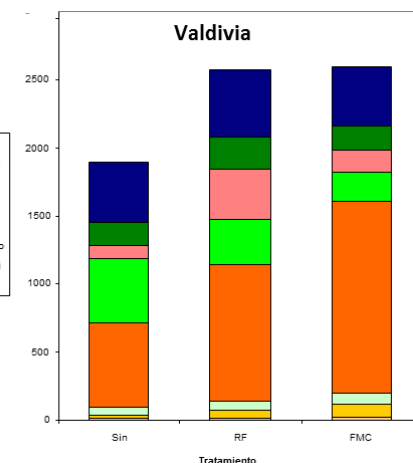
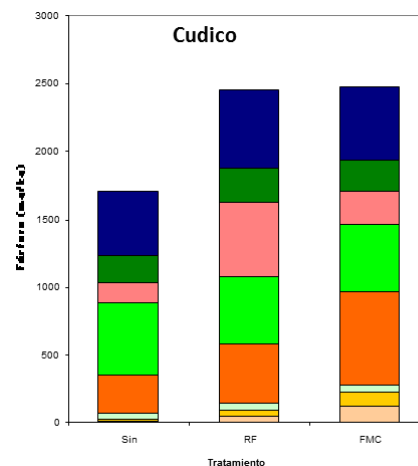
Condición: Incubación por 1 año a 25 °C y 70% MCRH

Tratamientos: Sin P, 700 mg/kg de RP y FMC

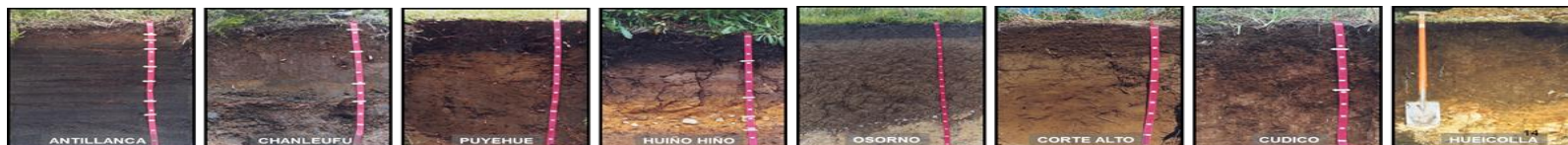
Evaluación:

Fraccionamiento de P aplicado en las distintas fracciones

	pH (CaCl ₂)	Carbono (%)	Al Extractable (mg/kg)	P-Olsen (mg/kg)	Factor DP (mg kg ⁻¹ /mg kg ⁻¹)
Ultisol (Suelo Cudico)					
Sin fertilización	4,8	4,3	229	5,4	0,258
RocaP	5,4	4,3	271	21,5	0,258
FMC	5,1	4,3	277	47,9	0,284
Andisol (Suelo Valdivia)					
Sin fertilización	4,5	8,1	1051	3,8	0,138
RocaP	4,7	8,1	1173	16,4	0,152
FMC	4,6	8,1	1057	29,6	0,143
Andisol (Suelo Malihue)					
Sin fertilización	4,7	10,5	1255	5,5	0,118
RocaP	4,9	10,5	1131	14,8	0,120
FMC	4,6	10,5	1157	28,9	0,123



Tesis Ing Agrónomo Sr. Germán Epple (2001), Sr. Jermán Carrasco (2000)



Distribución del P aplicado de acuerdo a la Fuente



Evaluación en condiciones agronómicas

Objetivo:

Evaluar si el patrón detectado en condiciones controladas, se cumple en campo?

Condiciones:

Suelos con historiales de fertilización conocidos en cuanto a fertilizantes usados en los últimos 8 años

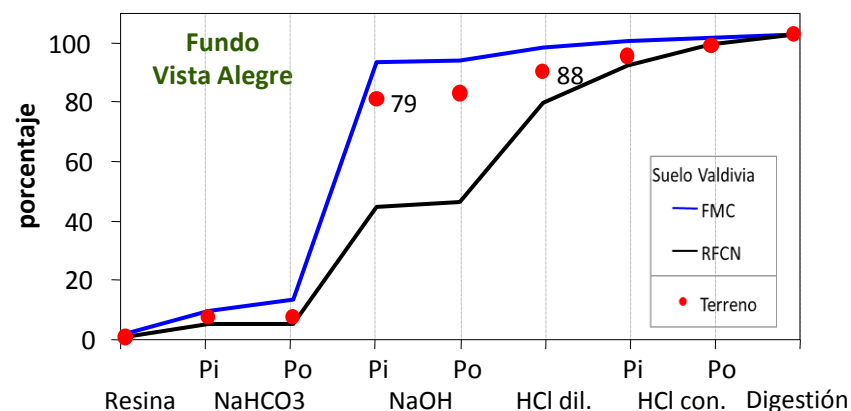
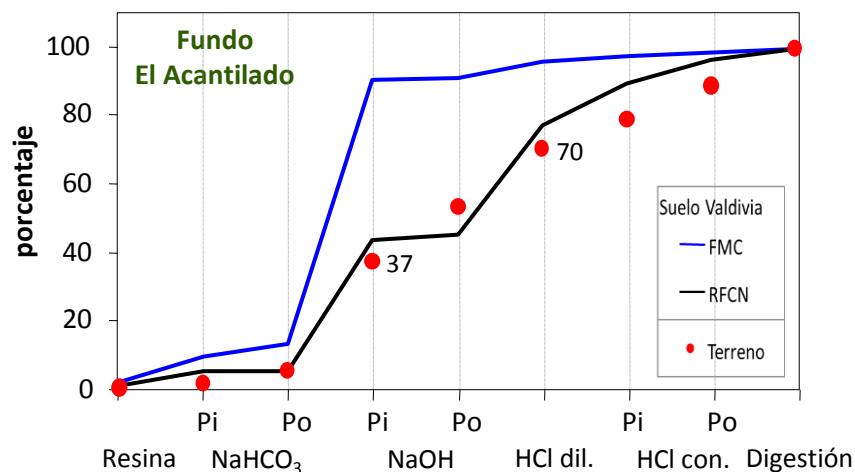
Se muestreó suelos de 0-10 cm, 10-20 cm

Se evaluaron 5 predios. Diferentes potreros.

Muestras de 0-10 y 10 a 20 cm. Se buscó un control de condición nativa (usualmente bosque o pradera permanente, sin fertilización)

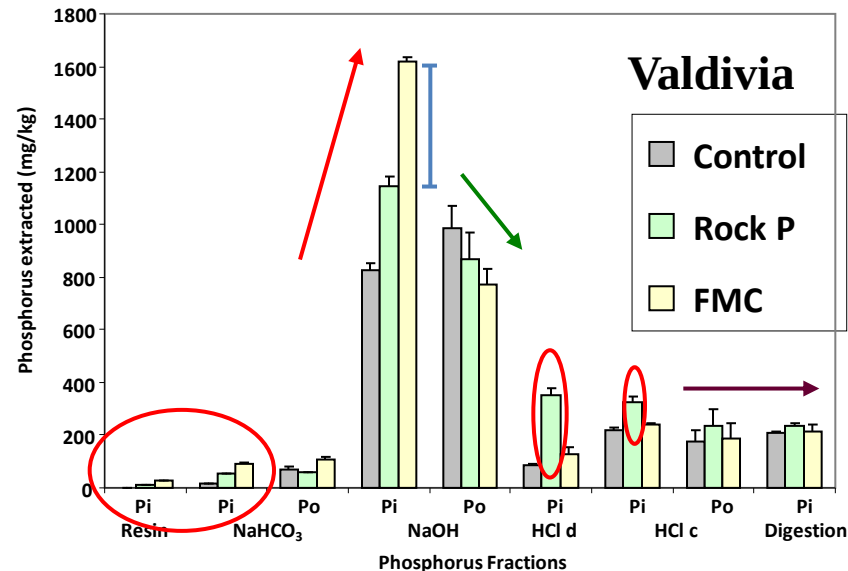
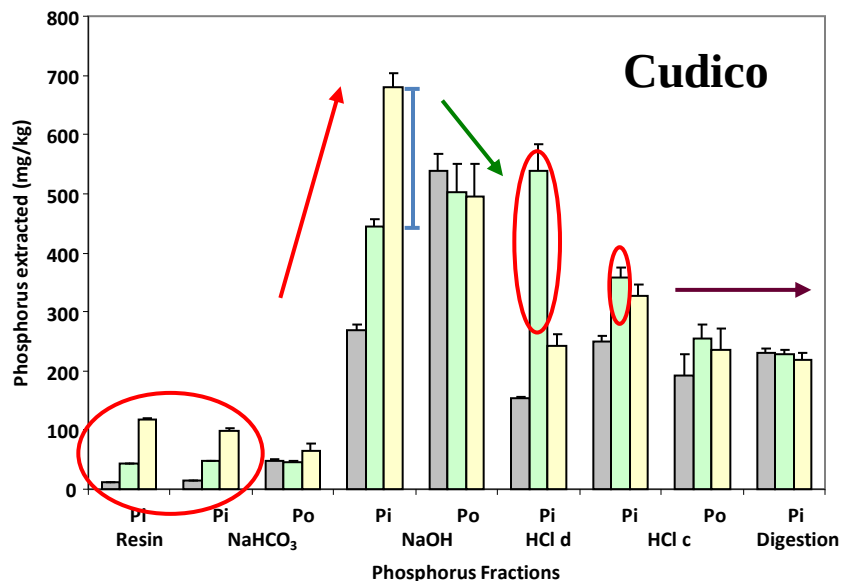
Fundo el Acantilado: 65 kg P/ha como RFCN; últimos 6 años

Fundo Vista Alegre: 52 kg P/ha últimos 8 años



Patrones de cambios en la distribución del P en el suelo

Datos desde Pinochet y Valenzuela (2008)

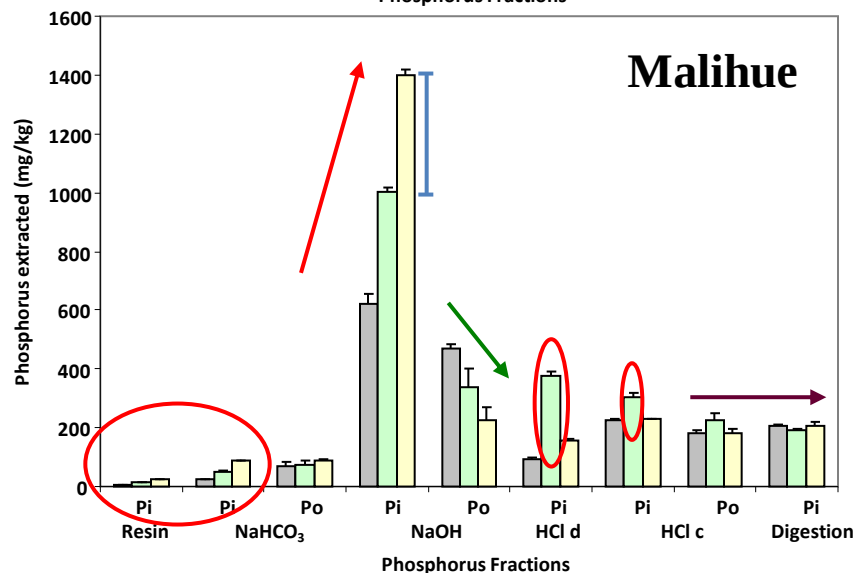


Dosis aplicada 700 mg/kg. FMC y RF

La distribución está afectada por el tipo de suelo.

La adición de P mineral se acumula principalmente en la fracción NaOH cuando el P adicionado es soluble.

Cuando no es soluble en fertilizantes con calcio se acumula en la fracciones HCl

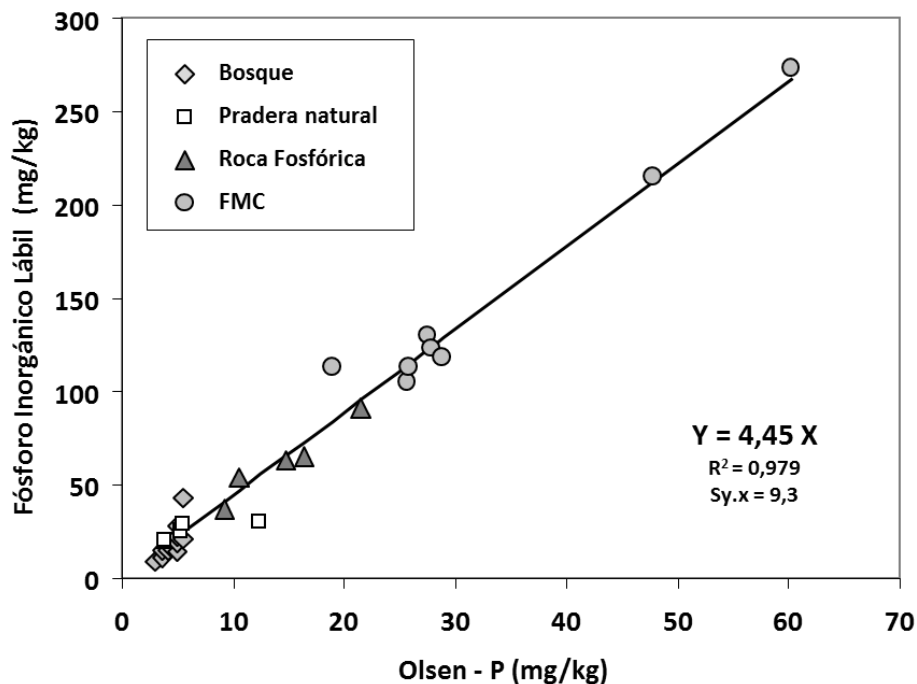


Relación del P del suelo con los índices de disponibilidad



¿Qué relación tiene con el indicador de P-Olsen?

¿Que mide este indicador?



La relación del P inorgánico lábil del método de fraccionamiento de P es prácticamente lineal.

Esta información ha sido ratificada en diferentes suelos (tesis de Vásquez, 2015) y condiciones de manejo (tesis de Epple y de Valenzuela) y diferentes fertilizantes (tesis de Cárcamo)

Parecería que el P-Olsen es aproximadamente 4,5 veces el P inorgánico lábil.

Cuando se incluye el P orgánico lábil, la relación desmejora, sugiriendo que no mide el P orgánico lábil de los suelos



Relación del P del suelo con los índices de disponibilidad



Efecto Residual del P aplicado desde los fertilizantes

Dosis de Fósforo = 700 mg P/kg. Tesis J. Carrasco (2000)

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 (Valdivia y Malihue)

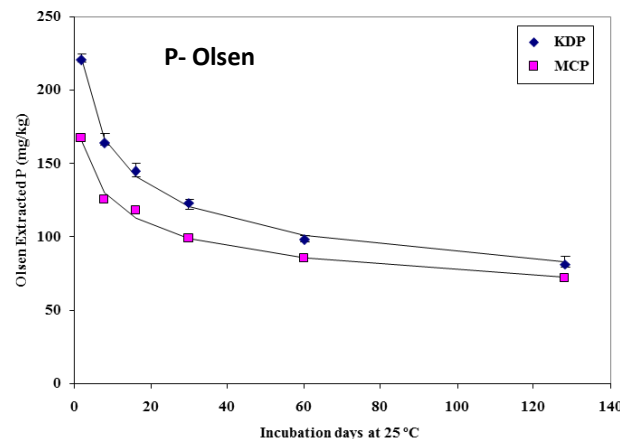
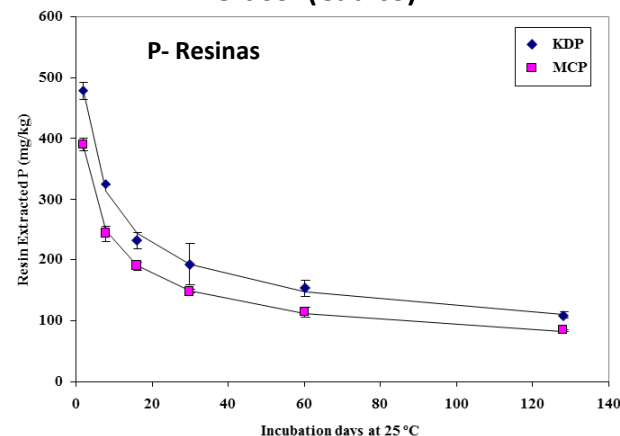
Incubación suelo fertilizante

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

Ultisol (Cudico)

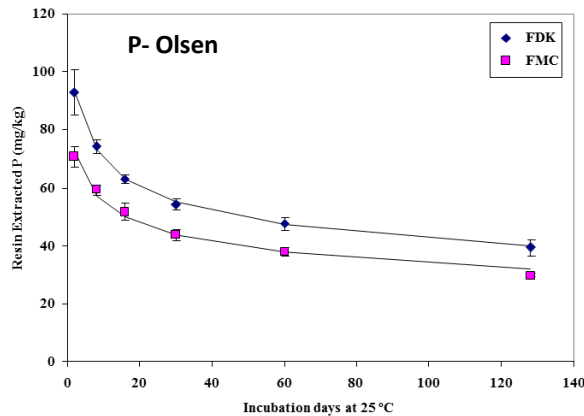
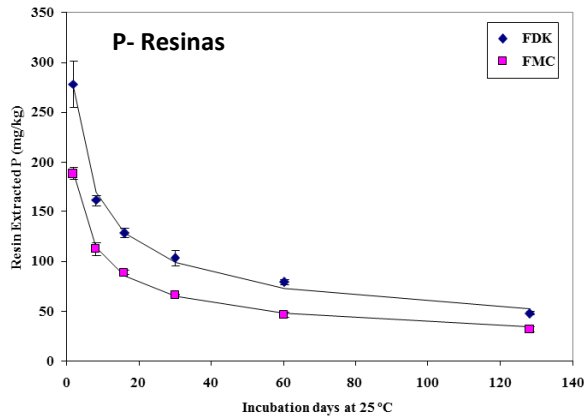


Diferentes magnitudes. Efecto similar. Fuente y Método

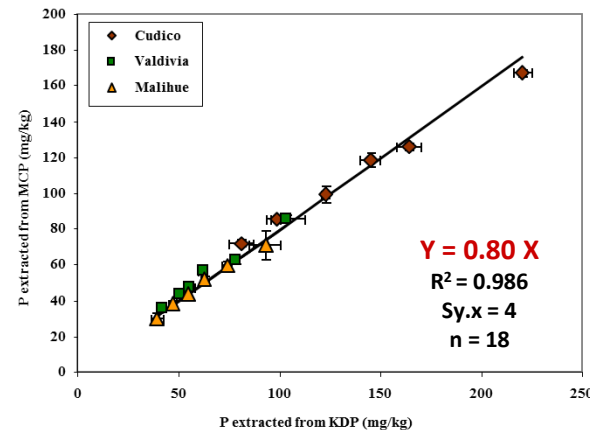
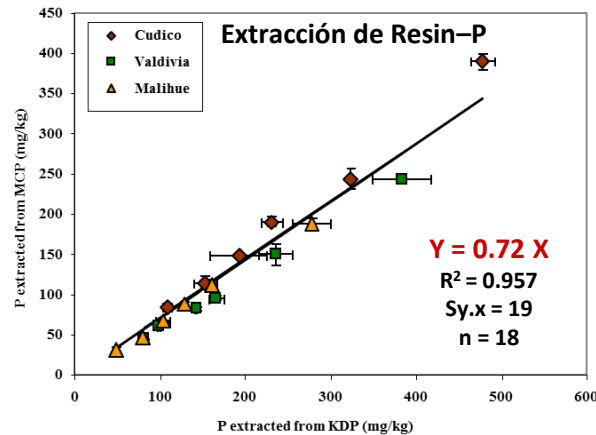


Relación del P del suelo con los índices de disponibilidad

Andisol (Malihue)



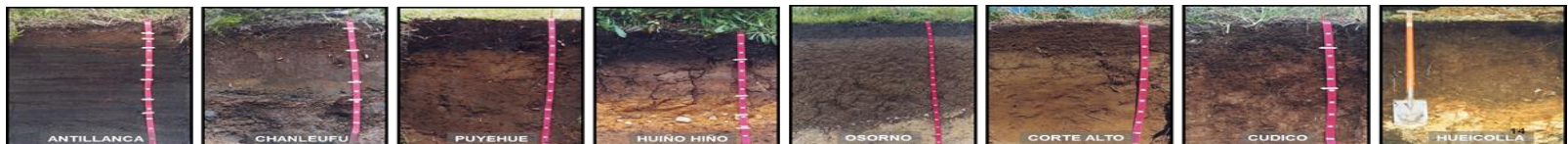
Diferentes magnitudes. Efecto similar. Fuente fertilizante usada y Método de determinación



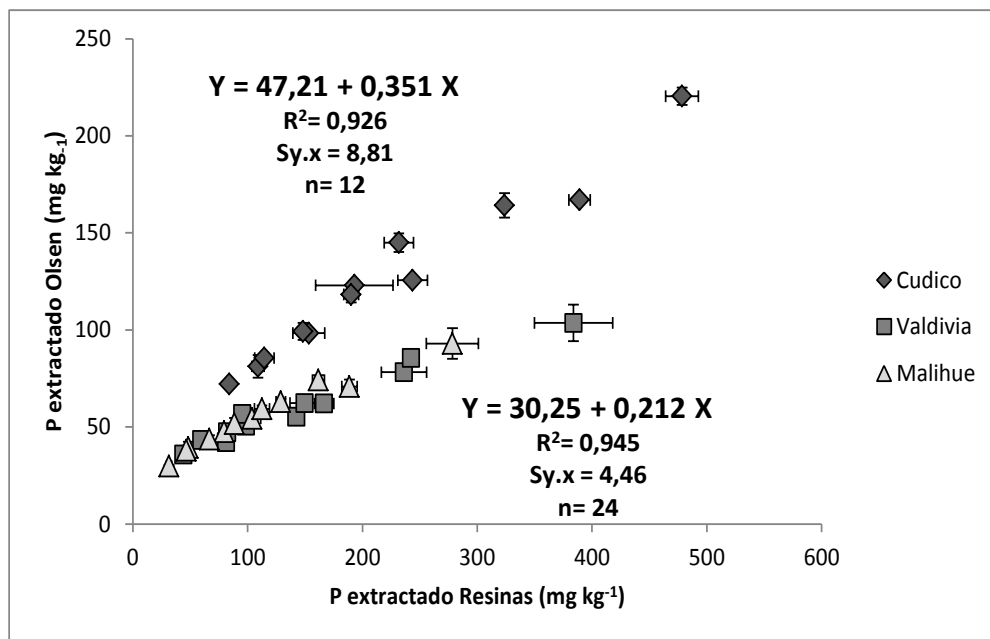
La diferencia de la evaluación de la reacción de los fertilizantes en el suelo fue similar a su diferencia en solubilidad

Ambos métodos mostraron efectos similares

Datos tesis Ing. Agrónomo J. Carrasco (2000)



Son los índices de disponibilidad correlacionables entre si?



Tesis J. Carrasco (2000). UACH.

Relaciones entre métodos de estimación de la disponibilidad

La relación varía con el tipo de suelo (similar de acuerdo al gran grupo de suelos?)

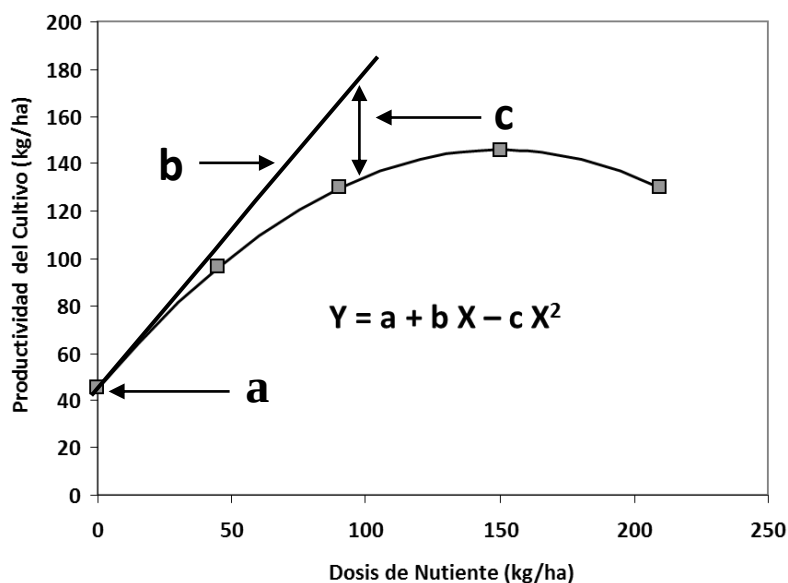
La relación parece no exactamente lineal, pero una línea recta se ajusta bien en el rango evaluado



Cambiando de escala, que pasa en condiciones agronómicas?

Como usar estas evidencias al analizar experimentos de campo en la eficiencia de fertilización fosforada de los cultivos usando distintos fertilizantes?

¿se manifiesta en condiciones de campo?



Ensayos 2010 a 2015

Cultivos evaluados:

Trigo

Ballicas anuales

Papas

Nabos

Diferentes suelos

Fertilizantes con solubilidad diferente (FMA versus FMC)



Evaluación de un Factor de Eficiencia de Disponibilidad



Factor de Eficiencia de Disponibilidad (fE_{ficD})

Varía la eficiencia de disponibilidad con los diferentes fertilizantes usados?

Balance del Fósforo en el suelo

Fósforo aplicado por el fertilizante (P_a)

P exportado en el cultivo (P_e)

Valor de P-Olsen en la parcela control (OIP_c)

Valor de P-Olsen en la parcela fertilizada (OIP_f)

$$fE_{ficD} = \frac{(P_a - P_e)}{(OIP_f - OIP_c)}$$

$$fE_{ficD} = \frac{kg\ P / ha}{mg / kg\ (Olsen - P)}$$

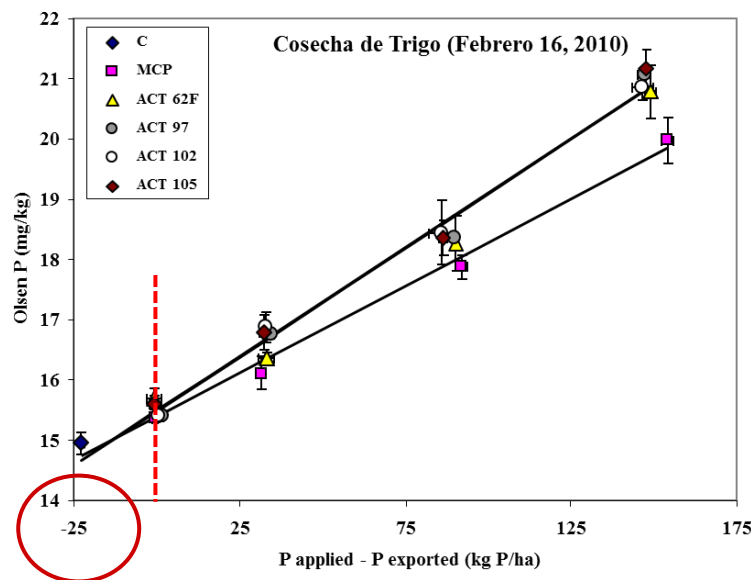
Supuestos

No hay pérdidas por escurrimiento superficial

No hay pérdidas por erosión



Evaluación de un Factor de Eficiencia de Disponibilidad



Fertilizante	Parámetros de ecuación lineal				<i>fEficD</i>
	a	b	R ²	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%

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

Balance de P en el indicador de disponibilidad se muestra en comportamiento lineal

Suelo Serie Valdivia, cultivo trigo, rendimiento de 93 qq/ha.

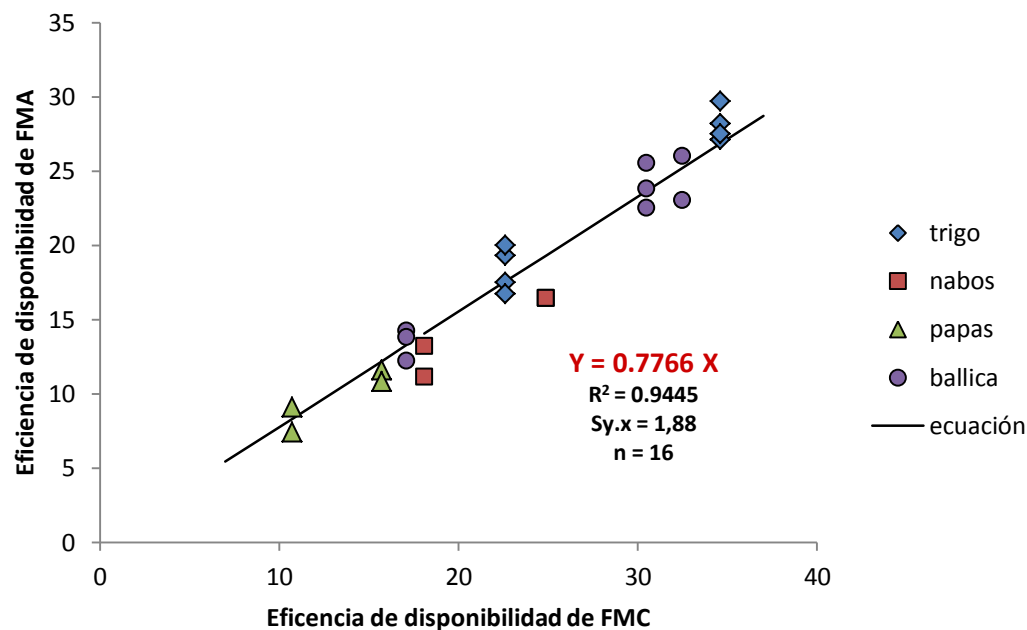
El P-Olsen disminuyó después de una extracción sin reposición

Se incrementó cuando la adición fue mayor que la exportación



Evaluación de un Factor de Eficiencia de Disponibilidad

Juntando todos los experimentos realizados hasta ahora



La relación de f_{EficD} parece relativamente constante a través de los tipo de suelos

Sin embargo, parece haber cierta variación por cultivos de acuerdo con su eficiencia de absorción de P



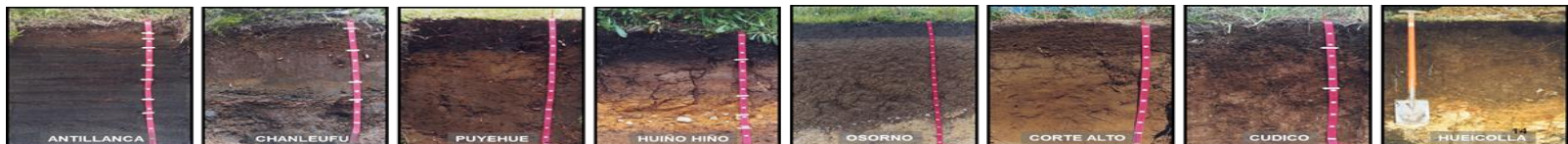
Consideraciones Finales / Conclusiones



Es posible definir una eficiencia de disponibilidad de P en los suelos referida a la cantidad de P necesaria para incrementar 1 nivel de P (mg kg^{-1}) de acuerdo al indicador de disponibilidad P-Olsen.

Esta se manifiesta en forma equivalente a las diseñadas a partir de incubaciones de laboratorio entre el P aplicado y el nivel de P-Olsen obtenido después de la aplicación.

Los métodos de disponibilidad de P usuales en la literatura son equivalentes unos a otros, siempre que se considere el mismo tipo de suelo. Existe variación entre suelos, con respecto al valor de equivalencia.



Agradecimientos



A la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas

A mis ex estudiantes tesisistas y hoy colegas

Sr. Germán Epple

Sr. Julián Valenzuela

Sra. Carolina Cárcamo

Sr. Gerardo Otzen

Sr. Mauricio Pereira

Dr. Gregorio Vásquez

A mis colegas en la Universidad

Sr. Germán Carrasco

Dr. Eduardo Valenzuela

Gracias!

A mi Técnico de Laboratorio

Sra. Ruth Espinoza

