Jornada Técnica 14 de octubre de 2026

Nutrición Sostenible de Cultivos. Diseño de Planes de Fertilización.

Interpretación de Análisis de Suelos

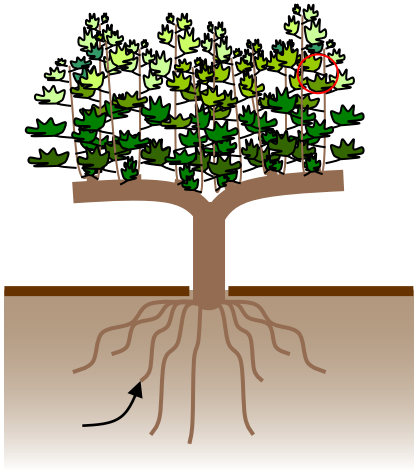
Ignacio Martín Rueda

Servicio de Investigación Agraria (La Rioja)

“Influencers”



Nutrición vegetal



- **Propiedades físico-químicas del suelo**
- Clima
- Material vegetal
  - Portainjerto
  - Variedad
- Objetivos de producción
- Manejo del cultivo
- **Enmiendas Abonado**
- **Disponibilidad y Propiedades Agua**
- Cosecha y otra vez

Etapas

La Rioja

Muestreo

Extracción y determinación

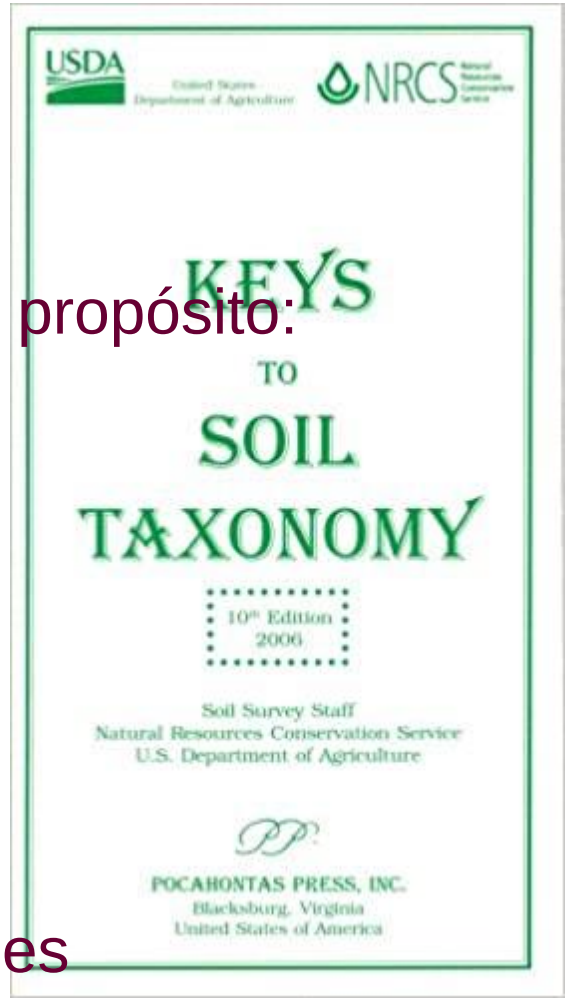
Comparación con índices de referencia

Interpretación de resultados

Recomendaciones

Objetivos de un análisis

- Clasificación y Descripción
- Evaluación y Capacidad para un propósito:
  - Minería y tierras raras
  - Sustentar un cultivo
  - Enmienda
  - Equilibrar
  - Identificar riesgos: toxicidades



Análisis e interpretación

Un análisis químico que se realice sobre una muestra representativa del suelo para determinar su composición y propiedades físico-químicas, parcial o total

Una Evaluación completa que incluye análisis, interpretación, evaluación y recomendación basados en los resultados y otros factores influyentes

Propiedades físico-químicas

- **Procesos que afectan a la disponibilidad:**
  - Capacidad de retención de agua
  - Aireación
  - Densidad aparente
  - pH y CE
  - Intercambio catiónico
  - Adsorción específica
  - Precipitación/disolución
  - Movilización/inmovilización biológica
  - Complejación
  - Volatilización de solutos libres
  - Volatilización de solutos complejados
  - Equilibrio de solutos entre macro y microporos

Elementos esenciales

Macroelementos:

C	**H**	**N**	**K**	**Mg**
O		**P**	**Ca**	**S**

Microelementos:

Fe	**Cu**	**B**	**Cl**
Mn	**Zn**	**Mo**	**(Ni, Co, Se)**

Esenciales para algunos cultivos **y Beneficiosos**

Si	**Va**	Al	Ba
Na	**Co**	Sr	Ru

Elementos esenciales

Criterios de Esenciabilidad (Arnon and Stout, 1939)

Sin el elemento, la planta no puede cumplir el ciclo vegetativo y reproductivo

Deficiencia **específica** para cada elemento, sólo corregida aportando ese elemento concreto

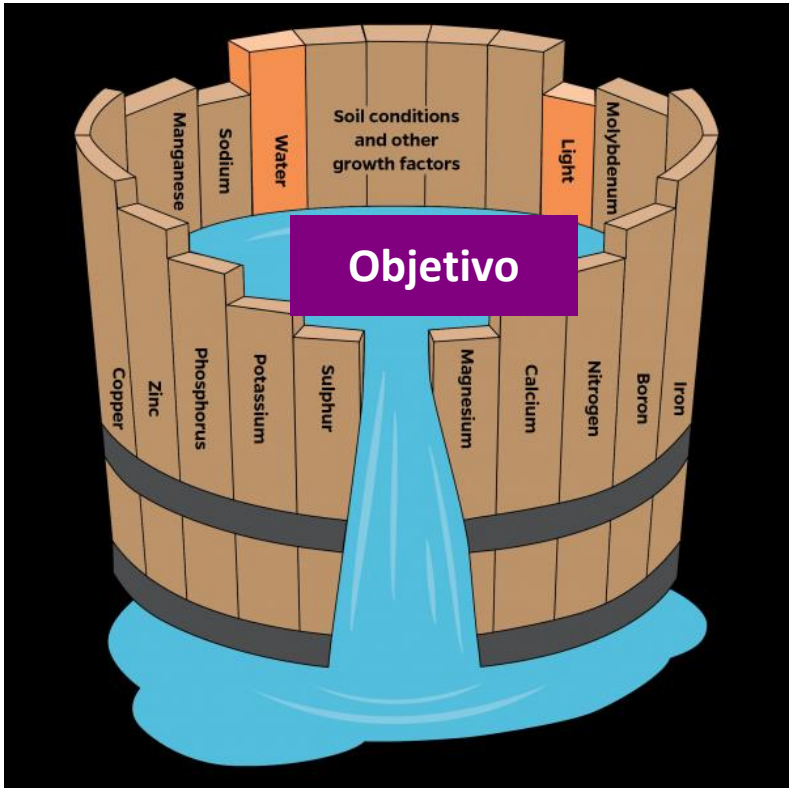
Elemento envuelto directamente en un proceso metabólico de la planta, ya sea:

- **Constituyente** de un metabolito esencial
- Imprescindible en un paso **metabólico** concreto

Disponibilidad

Von Liebig (1840)

Ley del mínimo: El crecimiento o desarrollo está limitado por el elemento o factor con mayor deficiencia (en términos relativos) o más limitante.



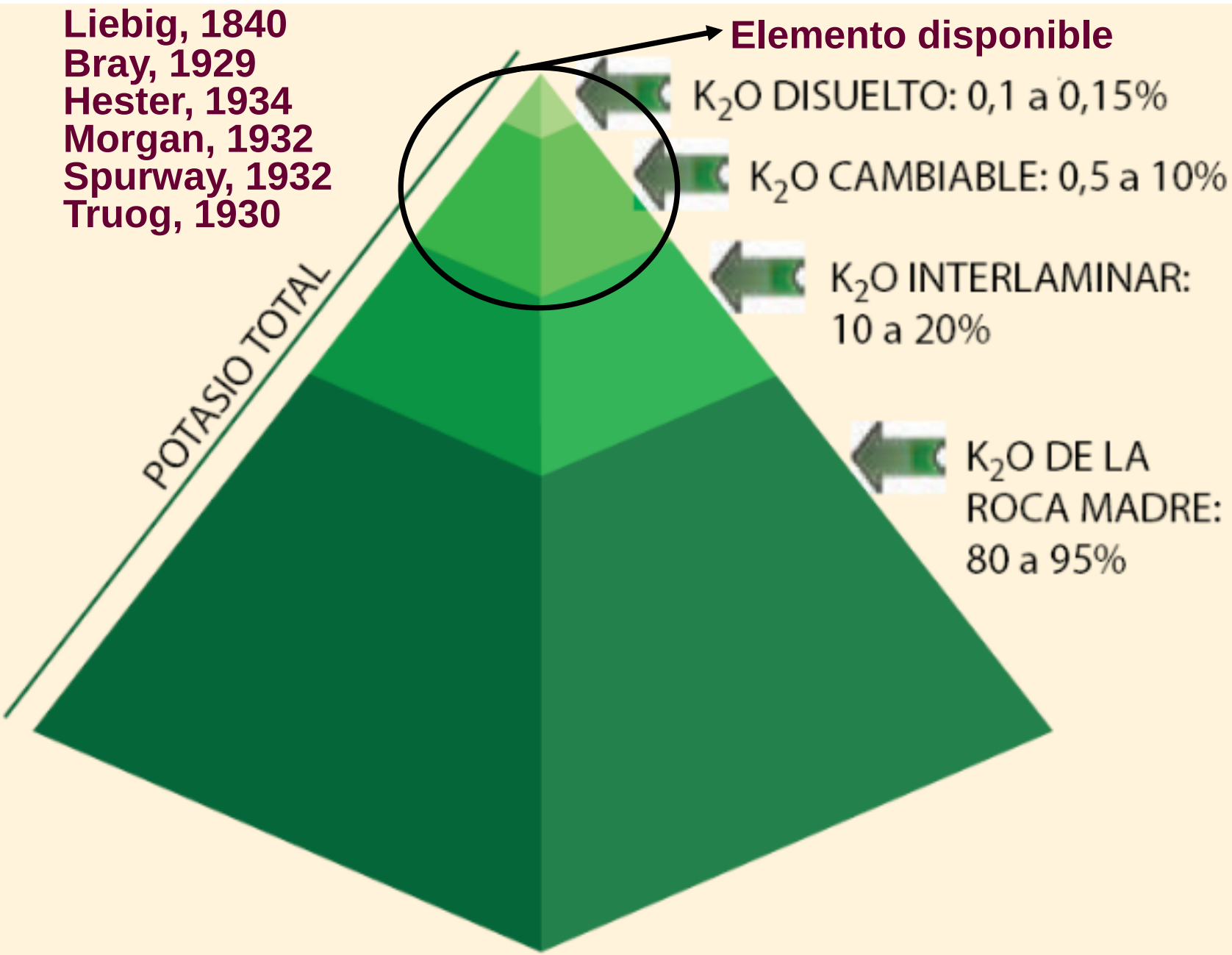
Factor limitante:

Mejorar los demás factores no mejorarán ni ayudará a mejorar el estado de la planta ni a alcanzar los objetivos de producción.

Ley de restitución: Si no se restituyen los elementos consumidos, aparecerán nuevas limitaciones

Evolución histórica

Liebig, 1840
Bray, 1929
Hester, 1934
Morgan, 1932
Spurway, 1932
Truog, 1930



Potasio

19 39,098 1
K
(Ar)4s¹
Potasio

Exceso

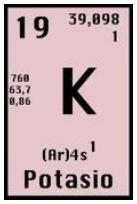
- Relación K/Mg, y K/(Ca+Mg) → Carencias de Mg

Deficiencia

- Menor resistencia a enfermedades y heladas
- Menor resistencia a la sequía
- Descenso de rendimientos
- Dificultades de maduración
- Menos reservas

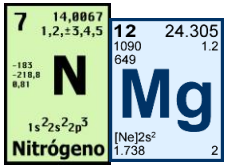


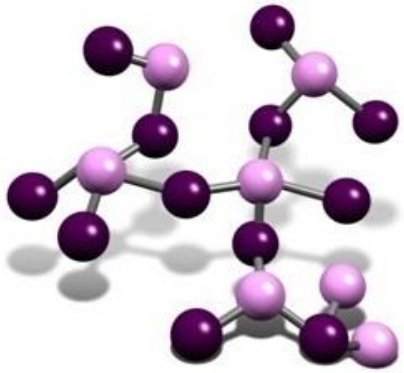
Baja disponibilidad

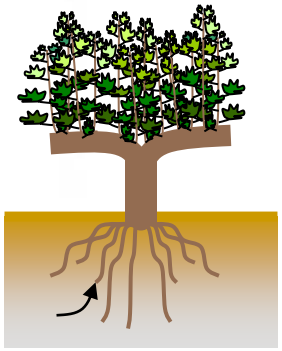


- **Causas:**
  - Bajo nivel en el suelo
  - Suelos arcillosos o arenosos con baja M.O.
  - Sequía
  - Abonado insuficiente
  - Exceso de N y/o de Mg asimilable
  - Combinación de Variedad/portainjerto errónea







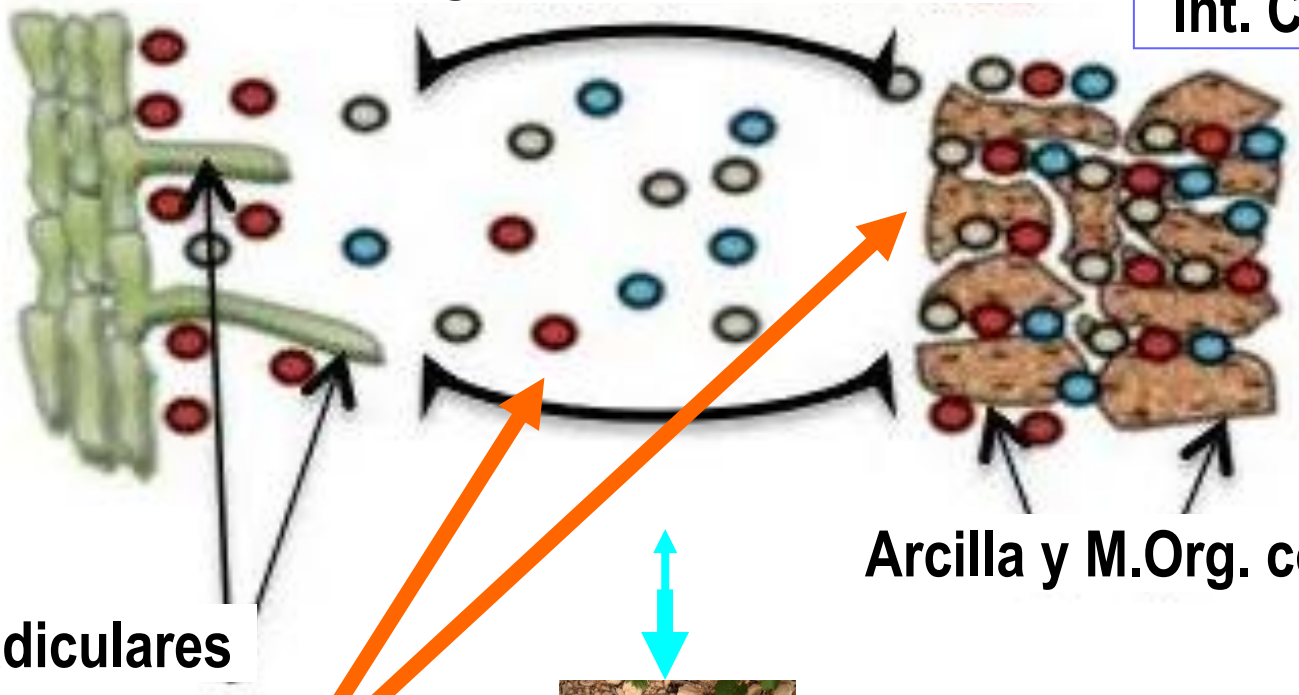


Disolución del suelo

Fracción soluble

Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Al^{3+}, H^{+}, Na^{+}

Int. Catiónico



Arcilla y M.Org. coloidal

Pelos radiculares





Minerales del suelo

Estudio de suelos

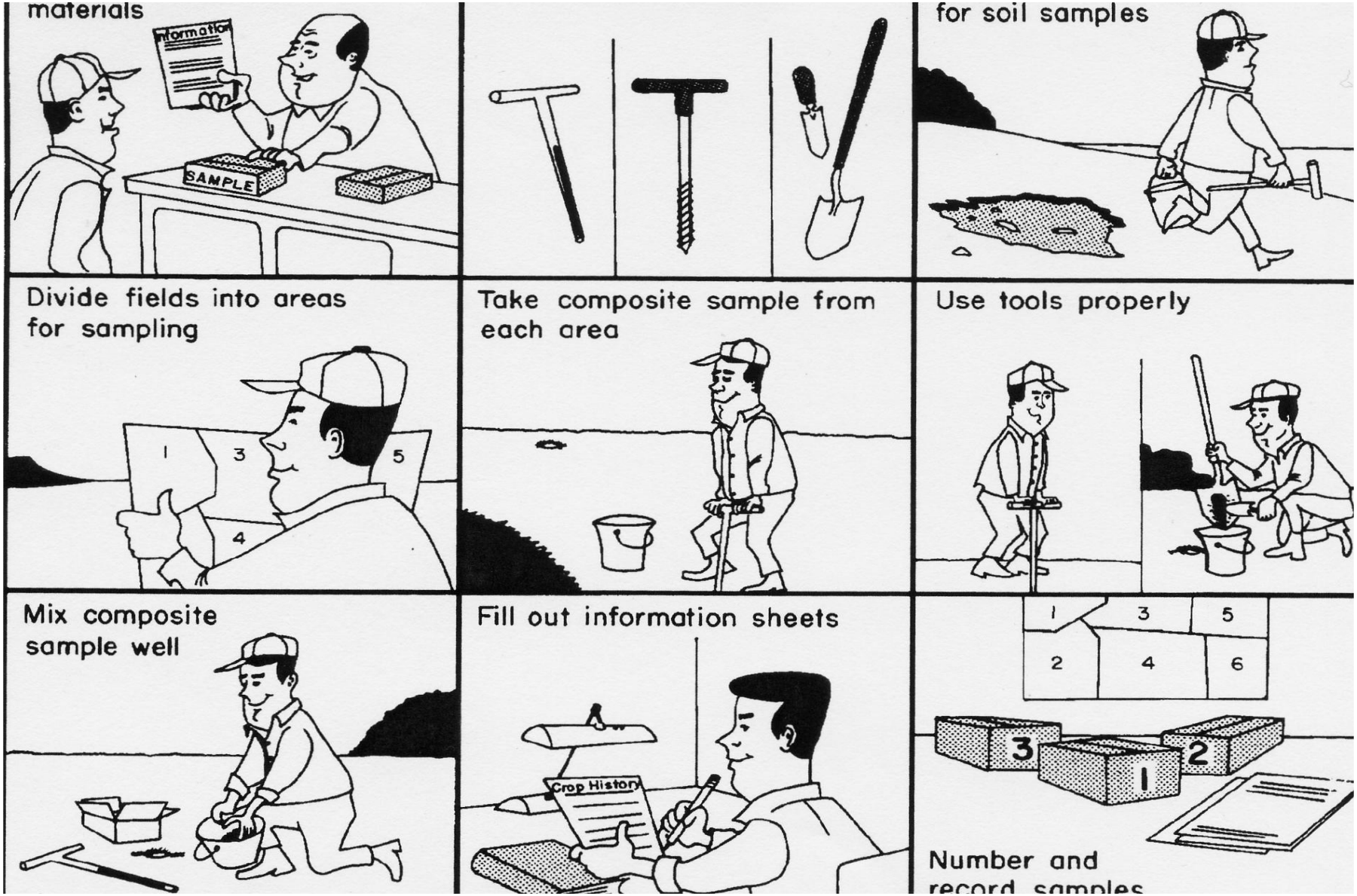
- **En función del objetivo:**
  - Abonado
  - Elección portainjerto o cultivo
  - Enmiendas físico-químicas

- **Prospecciones de campo:**
  - Calicatas
  - Sondeos con barrenas

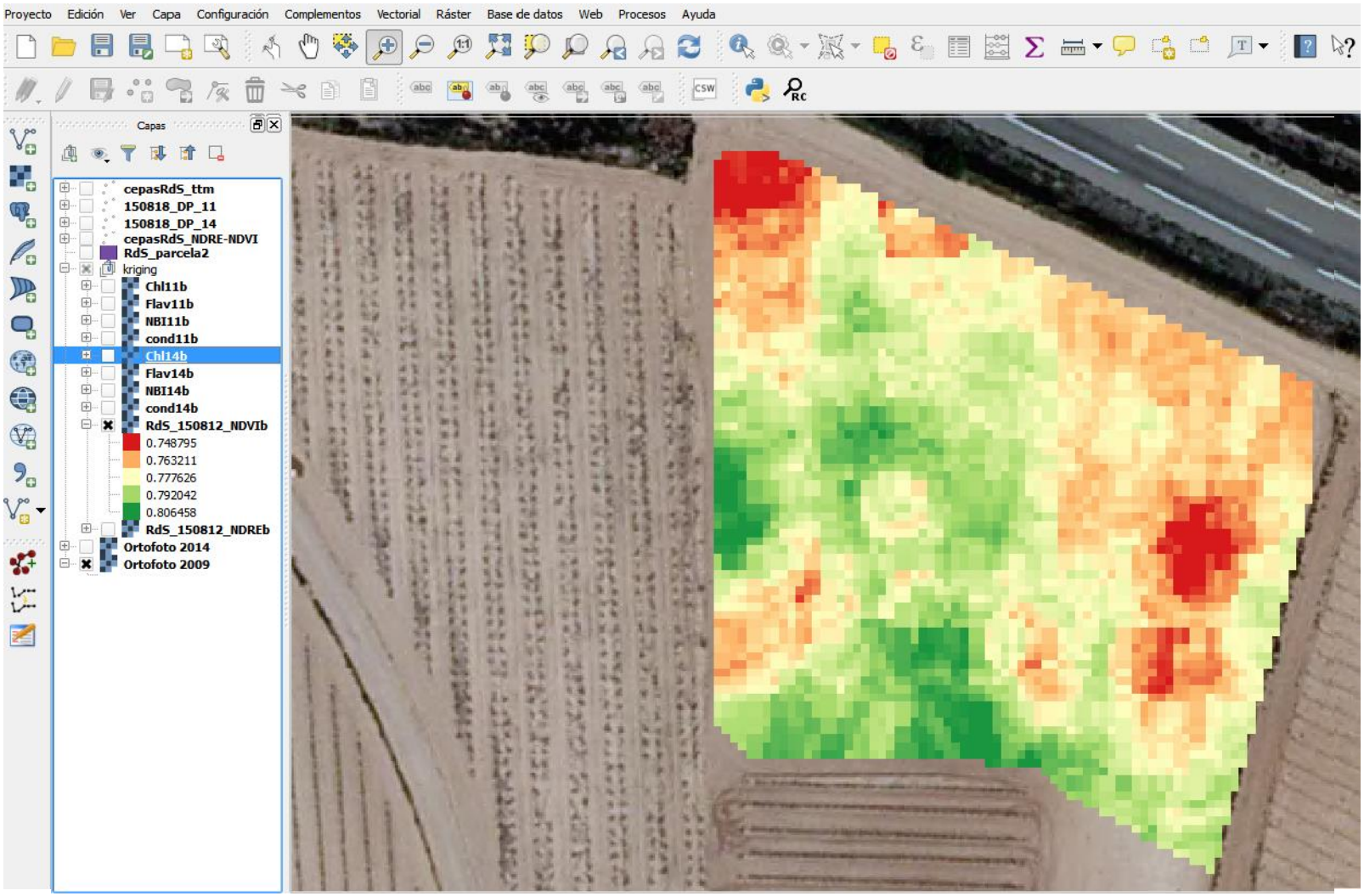


Desviaciones → > 90% error en recomendación de abonado

Procedimiento



División de la parcela - Variabilidad



Parcela – área de muestreo

MUESTRAS SIMPLES:

En cada área homogénea se toman muestras simples o submuestras y se mezclan para formar una muestra compuesta.

Nº MUESTRAS SIMPLES:

Dependerá de la uniformidad y tamaño de la unidad. En áreas de menos de 1 ha mínimo 6 muestras simples en cada compuesta.

- **Áreas de 1 ha de 10 a 12**
- **Áreas de 2 ha unas: 15**
- **Áreas de 2 a 4 ha: 18**
- **Áreas de 4 a 10 ha: 20**
- **Recorrido aleatorio o en zig-zag**



Parcela – profundidad de muestreo

Capa superficial:

- Cultivos de poco porte, anuales y limitado desarrollo radicular.
- Alta actividad biológica, > [ ] nutrientes

Capas más profundas:

Cultivos permanentes y desarrollo radicular en profundidad.

Cambios en las características.

2.2. Profundidad del muestreo

Viene determinado por la zona de enraizamiento. Como cifras orientativas se suelen dar:

Cultivo	Suelo	Subsuelo
Praderas	0-10 cm	Ninguno
Herbáceos, frutales y viña en no laboreo.....	0-20	20-40
Frutales y viña labrados	0-30	30-50

2.3. Toma de muestras

El sitio de donde se toma cada muestra debe limpiarse de ramas y residuos.



Época de muestreo

Recomendación general:

- En frutales y viña, de noviembre a enero.
- En cultivos anuales o nueva plantación: antes de la aplicación del abonado de fondo, normalmente en otoño-invierno.

Precauciones:

- Muestras de suelos muy secas, saturadas de agua o congeladas, no afectan a los resultados, pero es más difícil.
- En condiciones óptimas, 2-3 días después de precipitación moderada.






La Rioja

Análisis de suelo

Análisis nº	0
Fecha de entrada:	0/1/00
Cultivo:	0
Sistema de riego:	0

Localización:	0

Análisis de caracterización		
Textura del suelo:	Arcilloso fino	
	% Arena	100
Granulometría	% Limo	0
	% Arcilla	0

Determinaciones	**Método**	**Resultado**
pH	pasta sat.	0.0
Materia orgánica (%	oxidación	#¡DIV/0!
Caliza total (%)	calcímetro	#¡DIV/0!
C.E. (mS/cm)	extr. sat.	0.00
Fósforo (ppm)	Olsen	0
Potasio (mg/100 g)	$AcNH_4$	0
Calcio (Kg/Ha)	$AcNH_4$	0
Magnesio (Kg/Ha)	$AcNH_4$	0
Sodio (mg/100 g)	$AcNH_4$	0.00
Boro (ppm)	Agua caliente	0.00

Representacion gráfica	muy bajo	bajo	normal	alto	muy alto
pH			■		
Materia orgánica			■		
Carbonatos			■		
Caliza activa			■		
C.E.			■		
Fósforo (P)			■		
Potasio (K)			■		
Cálcio (Ca)			■		
Magnesio (Mg)			■		
Boro (B)			■		
N total			■		
Relación C/N			■		
R.A.S.			■		
P.S.I.			■		

Determinaciones especiales

C.I.C. (me/100 g)	AcNa	0.00
Nitrógeno total (%)	Kjeldahl	0.00
Caliza activa (%)	Drouneau	0.0
Relación C/N		#¡DIV/0!
Fe (mg/Kg)	Lindsay Norvell	0.0
Mn (mg/Kg)	Lindsay Norvell	0.0
Cu (mg/Kg)	Lindsay Norvell	0.0
Zn (mg/Kg)	Lindsay Norvell	0.0

Salinidad	**Método**	**Resultado**
Cloruros (me/l)	ext.saturación	0.00
Sulfatos (me/l)	"	0.00
Sodio (me/l)	"	0.00
Potasio (me/l)	"	0.00
Calcio (me/l)	"	0.00
Magnesio (me/l)	"	0.00
R.A.S.		#######
P.S.I. (%)		#######

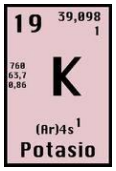
Métodos comunes de análisis

Textura (método Boyoucos)
CIC (AcNa)
pH y CE (extracto saturado, dilución 1:X, H_2O o KCl)
Carbonatos totales (Drouneau)
Caliza activa (Calcímetro)
Materia orgánica oxidable ($K_2Cr_2O_7$)
Nitrógeno orgánico + amoniacal (Kjeldahl)
Cationes de cambio (NH_4Ac)
Relación C/N, PSI y RAS
Fósforo
- Método Bray-Kurtz (suelos con menos de 5% de $CaCO_3$)
- Método de Olsen (suelos con pH > 6)
- Método de Burriel-Hernando (pH > 7 y CaCO3 > 10%)

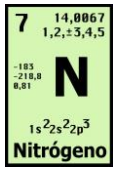
Micronutrientes (Lindsay y Norvell)

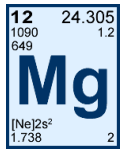
Propiedades químicas

Disponibilidad de nutrientes (métodos de extracción)



Bases científicas y experimentales:





- Formas químicas asimilables
- Metodologías extractivas y analíticas
- Niveles permisibles y tóxicos por cultivos
- Efectos de la aplicación: fertilizante o contaminante

Consideraciones sobre Métodos de extracción

Bases científicas y experimentales:

- Asimilabilidad ← → Disponibilidad
- Disponibilidad ← → Producción

Disponibilidad de elementos

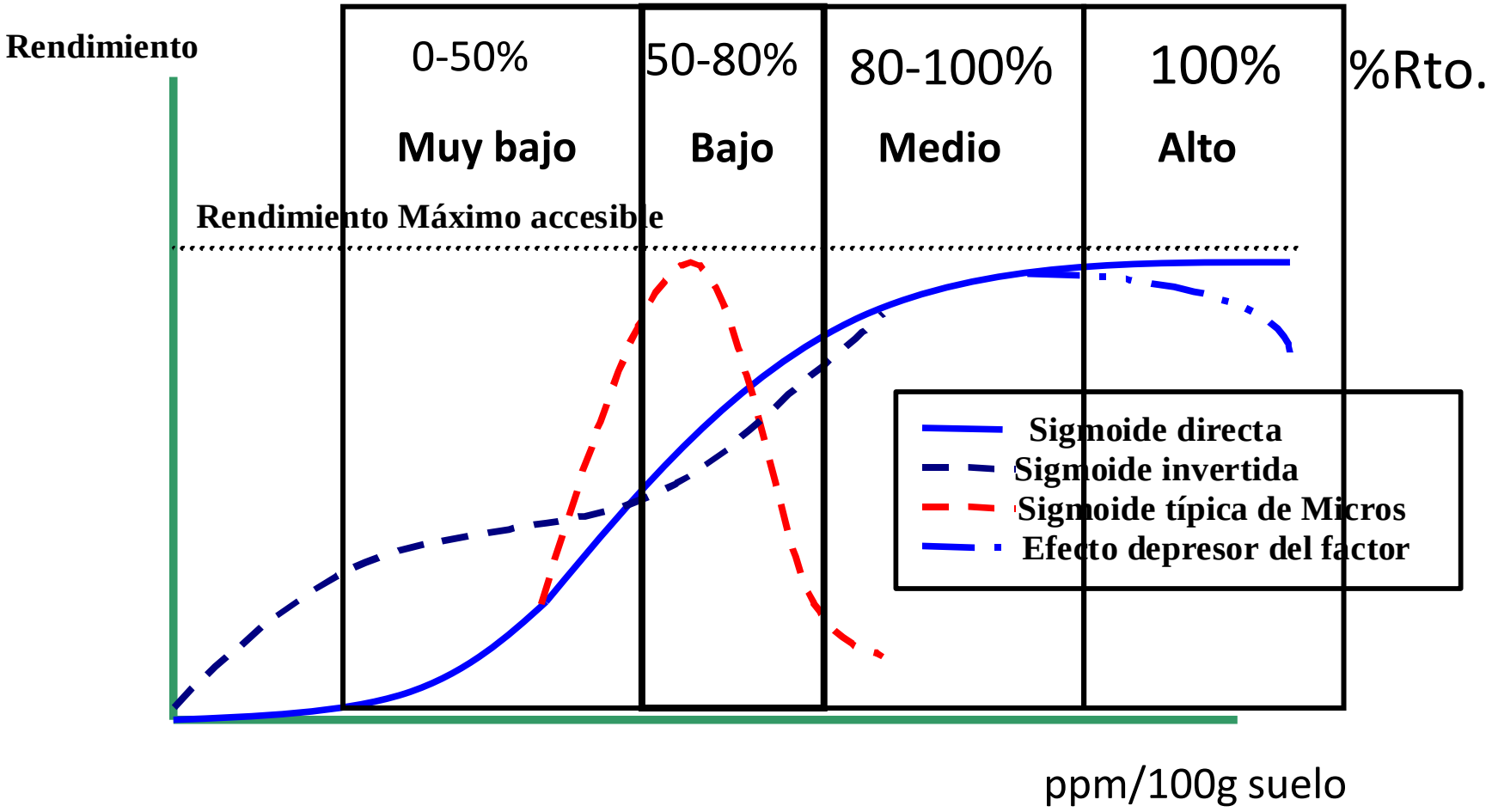
$[X]_{Abs} = f ([X]disponible])$

Función lineal - Nye y Tinker, 1977

Función Michaelis-Menten (asintótica) - Barber, 1984

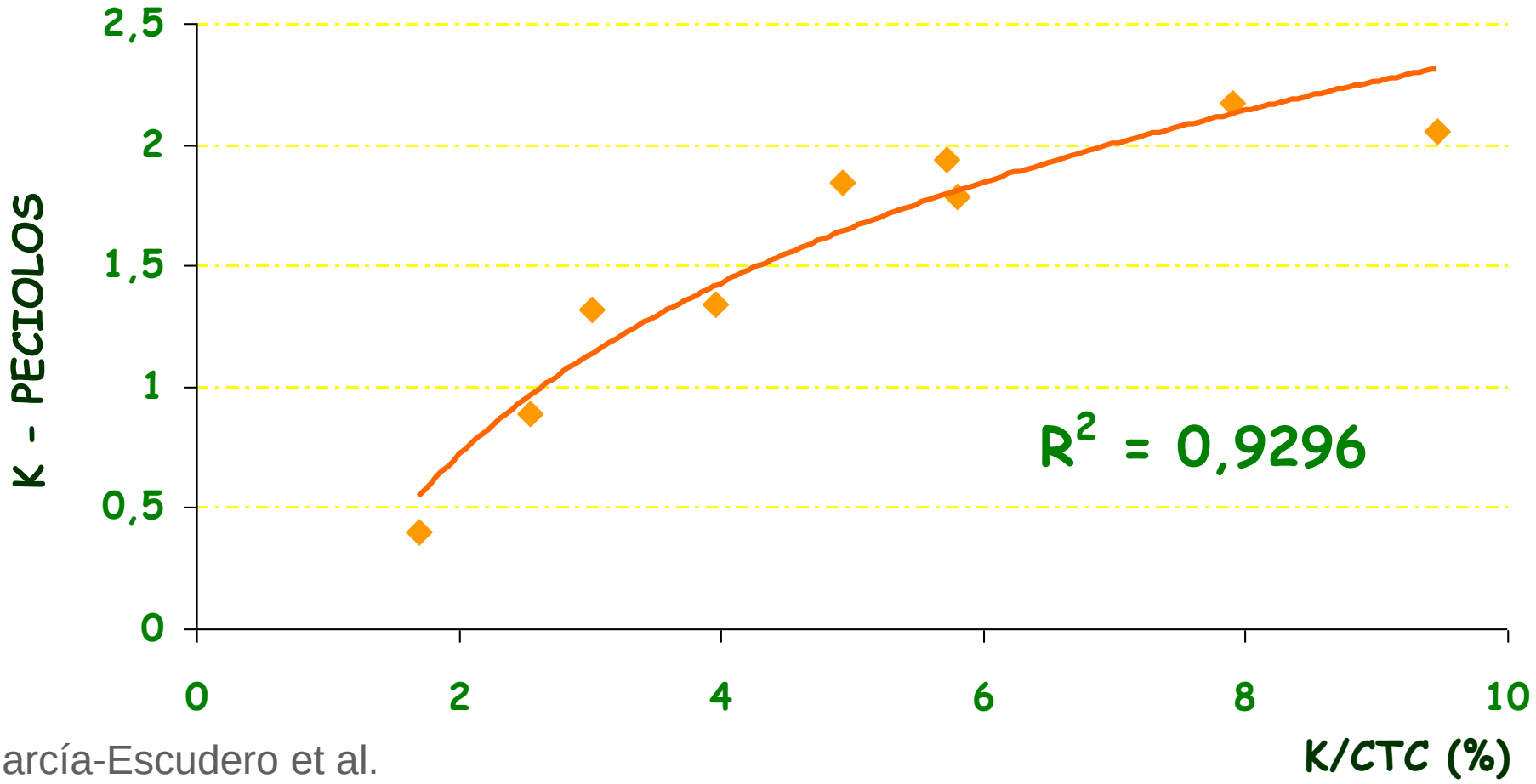
Consideraciones sobre Métodos de extracción

Obtención de Tablas de referencia



Disponibilidad y absorción

- **Ensayo en la Rioja:**
  - Tempranillo / R-110
  - Año: 2000



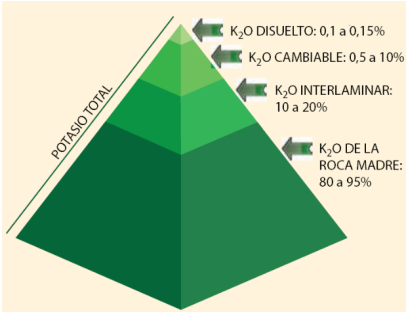
García-Escudero et al.

Consideraciones sobre Métodos de extracción

Validez del método:

- Extractantes: cantidades similares a las del cultivo
- Procedimiento de análisis reproducible exactamente
- Tablas de referencia para ese procedimiento
- Niveles de normalidad, deficiencia y exceso comprobados en campo.

Validez del extractante:



- H2O y sales → débiles, para [ ] elevadas
- Ácidos fuertes: Cambian las condiciones del suelo
- Quelatos: Extraen más que el cultivo, adecuados junto con otros parámetros

Consideraciones sobre Métodos de extracción

Ventajas e inconvenientes:

- Las referencias no son locales
- Se suele desconocer el cultivo y criterio de producción

Métodos generales:

- Más inexactos
- Mismo problema con las Referencias locales
- ¿Validez para todos los nutrientes?
- ¿Correlaciones con otros métodos de extracción?
- Ensayos

Fósforo asimilable

Interpretación

P Olsen (ppm)	Muy bajo	Ópt. Vld	Optimo	Alto	Muy alto
Secano					
Arenoso	0 - 4	5 - 8	9 - 12	13 -20	21 - 32
Franco	0 - 6	7 - 12	13 - 18	19 -30	31 - 48
Arcilloso	0 - 8	9 - 16	17 - 24	25 - 40	41 - 64
Riego					
Arenoso	0 - 6	7 - 12	13 - 18	19 -30	31 - 48
Franco	0 - 8	9 - 16	17 - 24	25 - 40	41 - 64
Arcilloso	0 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 50	51 - 80
Riego intensivo					
Arenoso	0 - 8	9 - 16	17 - 24	25 - 40	41 - 64
Franco	0 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 50	51 - 80
Arcilloso	0 - 12	12 - 24	25 - 36	36 - 60	61 - 96

Fósforo asimilable

Evaluación del suelo

P Olsen (ppm)	Muy bajo	Bajo	Óptimo	Alto	Muy alto
Yánez, (1989)			Secano		
Arenoso	0 - 4	5 - 8	9 - 12	13 -20	21 - 32
Franco	0 - 6	7 - 12	13 - 18	19 -30	31 - 48
Arcilla	0 - 8	9 - 16	17 - 24	25 - 40	41 - 64

P Olsen (ppm)	Muy bajo	Bajo	Óptimo	Alto	Muy alto
López y López, (1978)			Cereal, forraje, Maíz, Patata tardía		
Areno/franco	0 - 5	5 - 15	15 - 25	25 -35	> 35
Arcilla	0 - 3	3 - 8	8- 13	13 -18	> 18
			Remolacha, frutales, patata temprana		
Areno/franco	0 - 9	9 - 19	19 - 37	37 -72	> 72
Arcilla	0 - 6	6 - 11	11 - 21	21 -41	> 41
			Hortícolas y ornamentales		
Areno/franco	0 – 17	17 - 35	35 - 71	71 - 142	> 142
Arcilla	0 - 11	11 - 21	21 - 41	41 - 80	> 80

Fósforo en el suelo

- **P asimilable:**
- Existen un gran número de métodos y disoluciones de extracción que cubren prácticamente toda la gama de suelos.
- Se optimizan en base a pH y contenido en carbonato cálcico:
- Método de Bray-Kurtz (suelos con menos de 5% de $CaCO_3$)
- Método de Olsen (suelos con pH > 6)
- Método de Burriel-Hernando (pH > 7 y $CaCO_3$ > 10%)

Fósforo asimilable

1. Exportar criterios de interpretación fuera del ámbito para el que fue contrastado garantiza importantes errores.

2. Los distintos métodos extraen muy diferentes cantidades de P, por lo que se debe considerar como un índice de fertilidad más que la cantidad realmente disponible.

3. Demuestra la necesidad de obtener referencias locales.

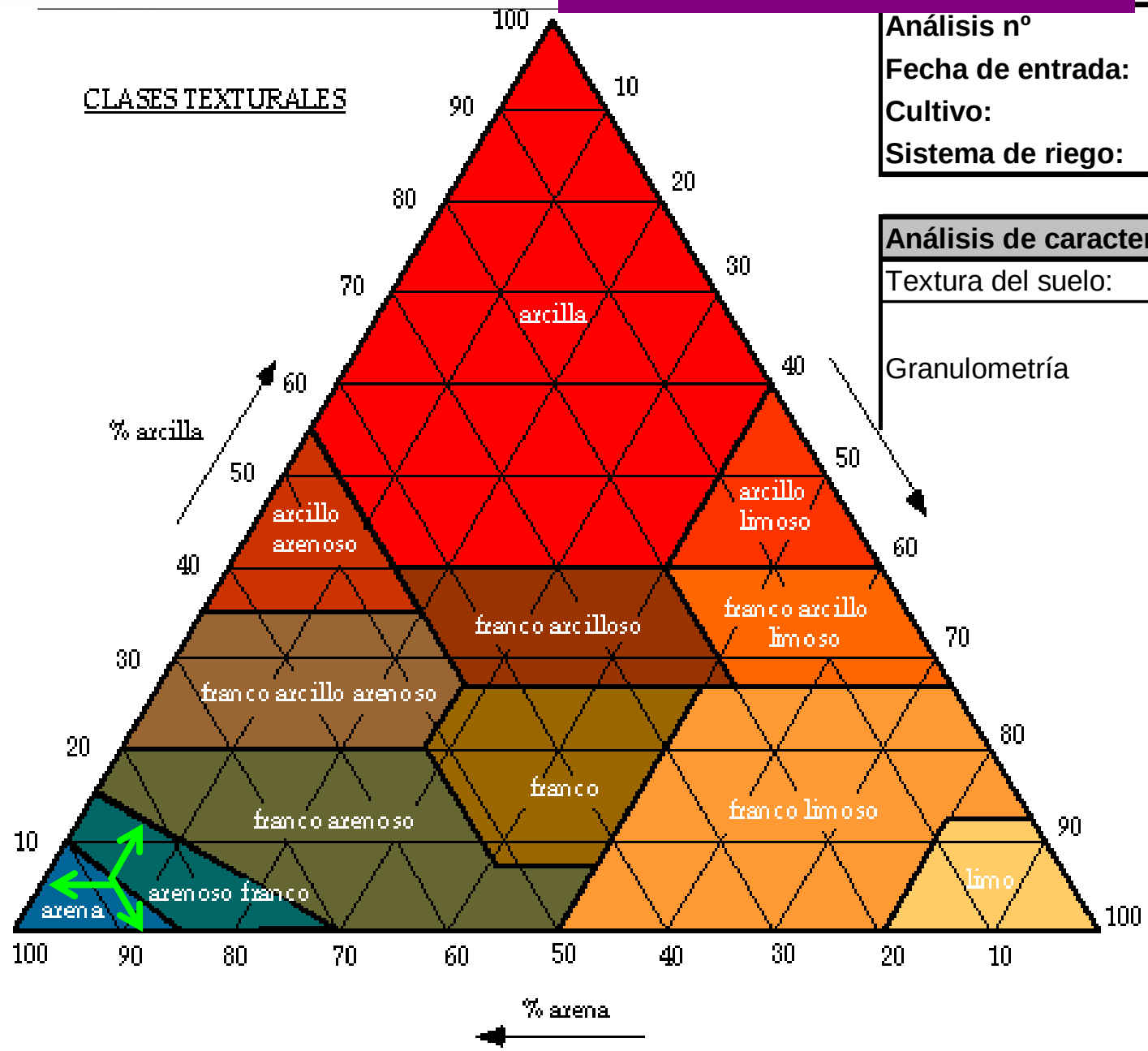
La Rioja

Textura (USDA)

ANÁLIS

Análisis nº	1
Fecha de entrada:	30 de diciembre 2004
Cultivo:	Trigo
Sistema de riego:	0

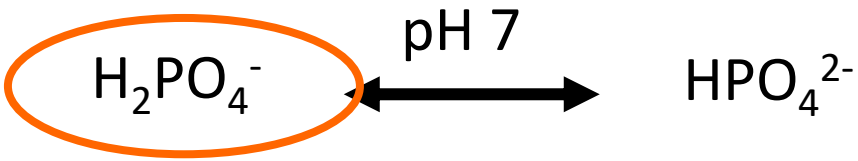
Análisis de caracterización		
Textura del suelo:	Arenosa	
Granulometría	% Arena	88
	% Limo	7
	% Arcilla	5



Enmiendas:
Añadir M.O.

pH

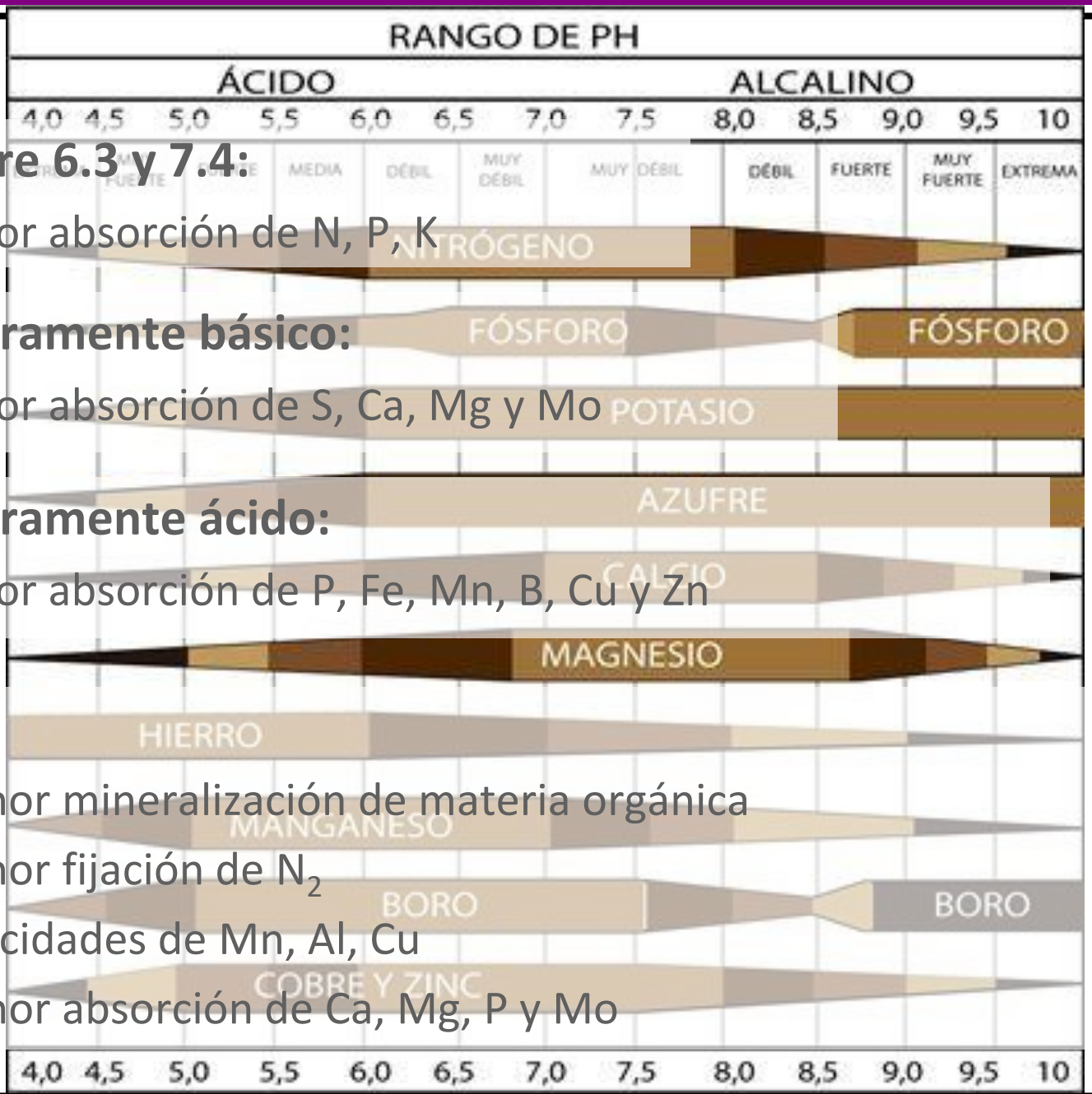
- El pH es muy variable y con alta capacidad tampón
- Determinará la especie predominante de cada nutriente



pH en agua > pH (KCl)
pH en extracto saturado

Disponibilidad f(pH)

- **pH entre 6.3 y 7.4:**
  - Mejor absorción de N, P, K
- **pH ligeramente básico:**
  - Mejor absorción de S, Ca, Mg y Mo
- **pH ligeramente ácido:**
  - Mejor absorción de P, Fe, Mn, B, Cu y Zn
- **pH < 5:**
  - Menor mineralización de materia orgánica
  - Menor fijación de N_2
  - Toxicidades de Mn, Al, Cu
  - Menor absorción de Ca, Mg, P y Mo



Diagnóstico de pH

Compromiso entre características fisico-químicas y las exigencias del cultivo (Guigou et al., 1989)

H_2O relación 1 / 2.5	Bajo	Óptimo	Alto
Arenoso (<15% arcilla)	<5,8	5,8-6,6	>6,6
Franco (15-25% arcilla)	<6,0	6,0-7,3	>7,3
Arcilloso (>25% arcilla)	<7,0	7,0-7,4	>7,4

Modificado de Guigou et al., 1989; Magny y Baur, 1962)

Muy ácido	Ácido	Neutro	Básico	Alcalino
<4,5	4,5-6,0	6,0-7,3	7,3-8,5	>8,5

Modificado de USDA (Cesca, 1978; Porta et al., 1986)

pH

- **Suelos ácidos**: → descalcificación → acidificación coloidal

Desaturación progresiva → dispersión → pérdida de estructura del suelo, baja porosidad y permeabilidad, mala aireación, erosión, menor desarrollo radicular.

- **Suelos básicos**: exceso de Na^+

Nuevas plantaciones: comprobar compatibilidad de pH y portainjerto

Carbonatos totales

Presencia de Carbonatos de Ca y Mg:

- Asegura una buena estructura (si no hay exceso de Na)
- Saturan el complejo de cambio y producen antagonismos.

Escala para suelos Españoles. Yanez (1989)

Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
<5,0%	5,0-10%	10-20%	20-40%	>40%

Enmiendas y abonados:

- Carbonatos de Ca y Mg (Caliza Dolomítica) o sólo de Ca
- Si es bajo: Fuente alternativa de Ca y Mg, y corregir pH si es necesario.

La Rioja

Enmienda de pH, Ca, Mg

	pH 4,5 a 5,5	pH 5,5 a 6,5
Tipo de suelo	**T/ha**	
Arenoso- Arenoso Franco	0,7	0,9
Franco arenoso	1,1	1,6
Franco	1,8	2,3
Franco Limoso	2,7	3,2
Franco Arcilloso	3,40	4,5
Orgánico	7,4	8,5
Material	Composición media	
Dolomita	52% $CaCO_3$ y 42% $MgCO_3$	
Caliza comercial	86-95% $CaCO_3$	

El Δ de pH apenas afecta a suelos pH > 7

Caliza activa

Escala para suelos Españoles. Yanez (1989)

Bajo	Normal	Alto
<6,0%	6,0 - 9,0%	>9,0%

- **Fracción de $CaCO_3$ susceptible de solubilizarse (<50 μm) en agua con CO_2**
- **Demasiado alto: Saturación de CIC y antagonismos por HCO_3^-**
- **Importante previo a nuevas plantaciones (elección del portainjerto).**

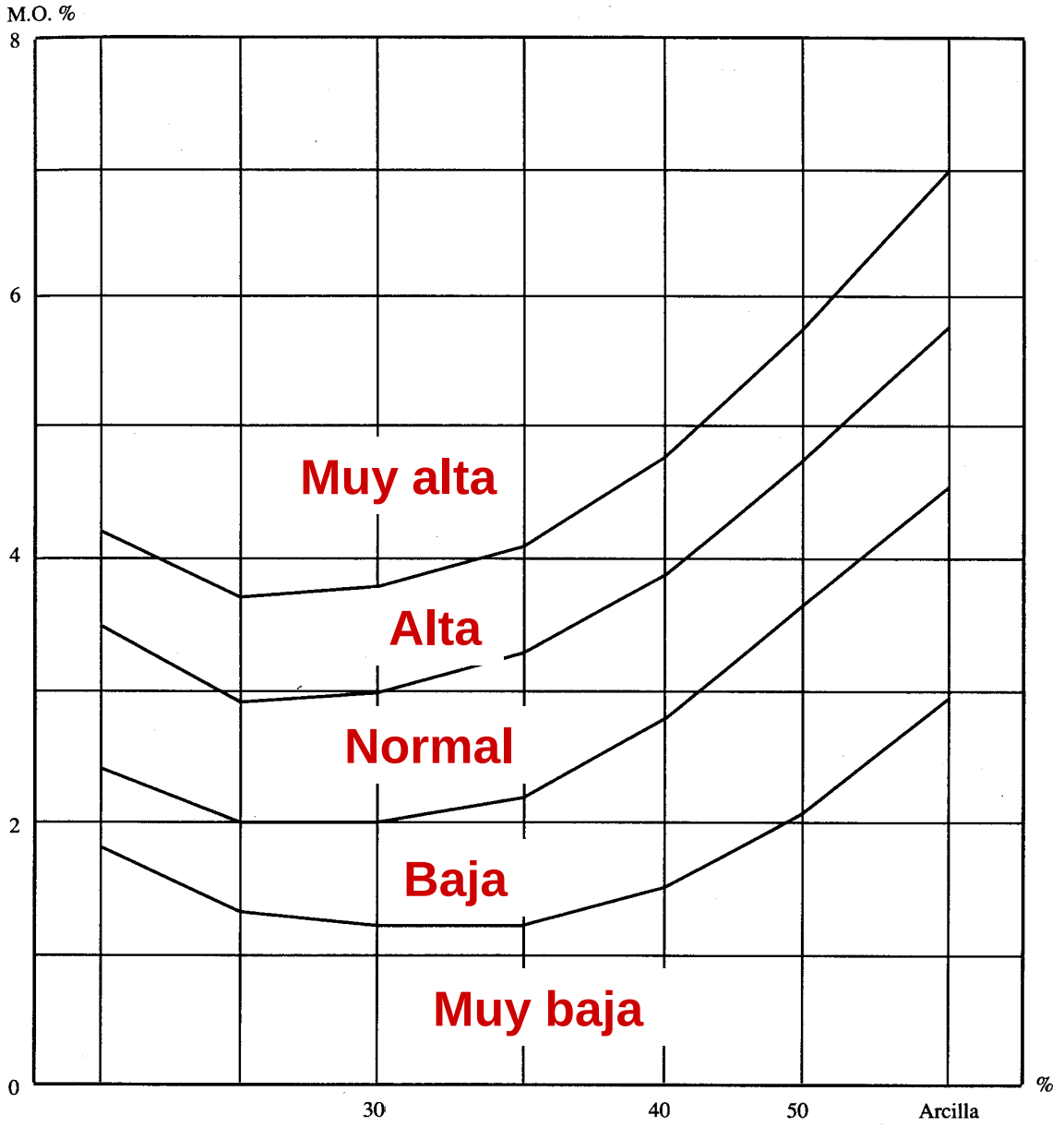
Propiedades químicas y físicas

Materia orgánica:

- Aporta nutrientes f(tasa de mineralización)
- Puede inmovilizar nutrientes y luego liberarlos
- Mejorante de propiedades físicas
- Determina la fertilidad del suelo, junto con pH, CE, CIC

Materia Orgánica

- Enmienda comodí
- Mejora la textura.
- Ayuda a retener a
  y aumenta la airea
- Aumenta CIC
- Aporta nutrientes



Nitrógeno en el suelo

- El N es mayoritariamente orgánico y por tanto, no disponible inmediatamente.
- Se determina mediante el método kjeldahl: Norg+ N-NH_4^+
  - NH_4^+ se determina a partir de los cationes de cambio
  - NO_3^- a partir del extracto saturado o disoluciones acuosas.
- Tasa mineralización de la M.O.
- La disponibilidad no se suele hacer rutinariamente.

Relación C/N

- Determinación indirecta de actividad microbiana.

$$C/N = \frac{\text{C orgánico}}{\text{N-Kj}}$$

- **Cálculo C orgánico:** Laboratorio Regional

$$M.O. = \frac{\text{C orgánico} \cdot 100}{58} = \text{C orgánico} \cdot 1{,}724$$

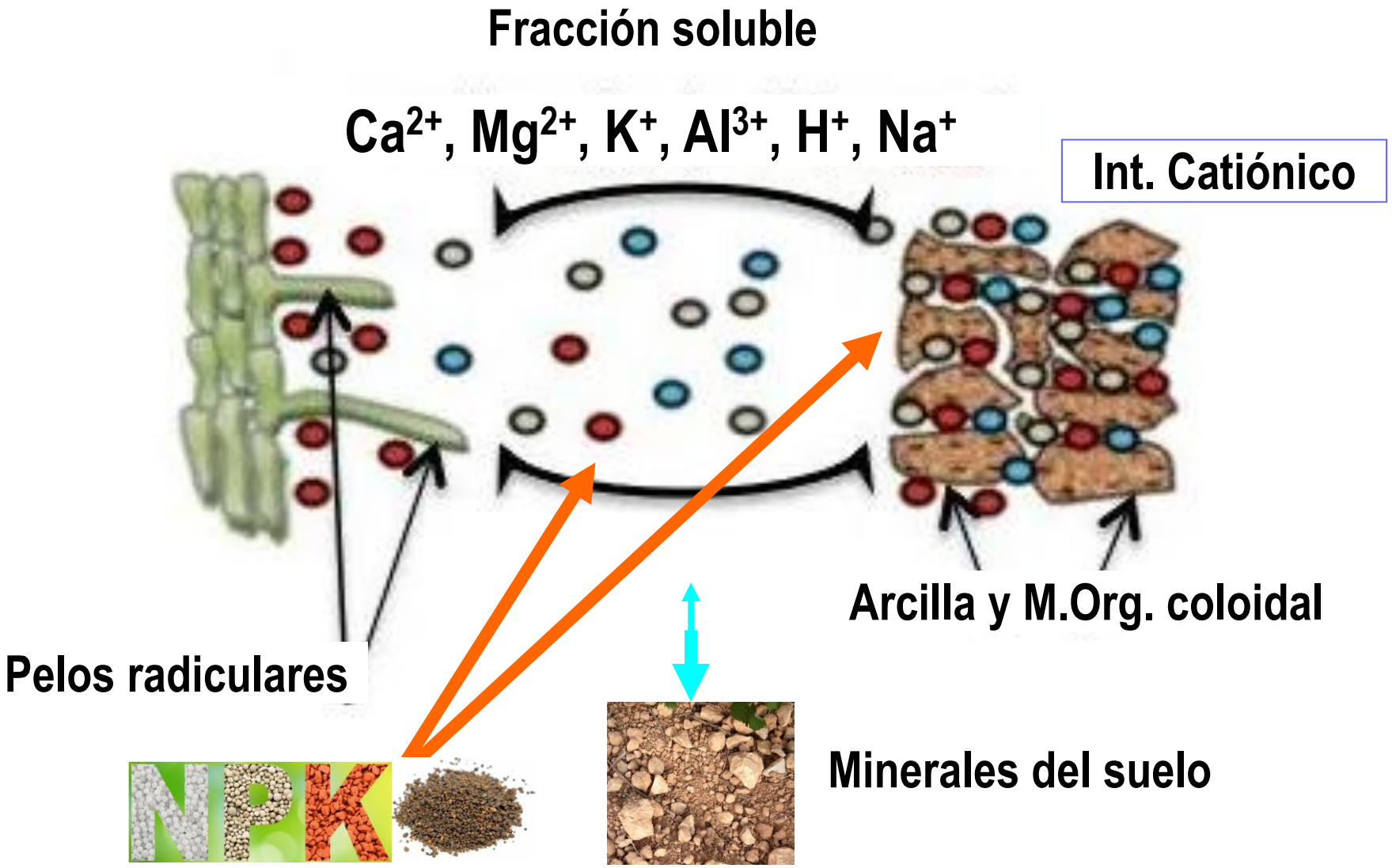
$$M.O.ox = \frac{MO \cdot 77}{100}$$

Relación C/N

- **Interpretación Relación C/N:**

- Relación C/N > 15. Mineralización muy lenta y muy escasa liberación de N → deficiente actividad de los microorganismos.
- 15 > C/N > 12. Mineralización lenta. Poco N para la actividad de los microorganismos.
- 12 > C/N > 8 : Adecuado.
- C/N < 8 : Relación baja. Mineralización excesiva.

Capacidad de Intercambio Catiónico



Fertiberia, 2005

Capacidad de Intercambio catiónico

CIC total:

- Cargas negativas de cambio (M.O. + arcillas)
    - Sustituciones isomórficas 5-100 $cmol_c\ Kg^{-1}$
    - Grupos COO- y 0- en ácidos Fúlvicos y Húmicos
- Capacidad tampón del suelo (reservas)
- Capacidad de recargarse

Capacidad de Intercambio catiónico

Suelos agrícolas

<50 meq/100g

A mayor CIC: mayor necesidad de cationes de cambio

Diagnóstico de la CIC (meq/100g)

< 6	Muy débil
6 - 10	Débil
10 - 20	Media o normal
20 - 30	Elevada
> 30	Muy elevada

(Balland, 1984; Gagnard et al., 1988)

Capacidad de Intercambio catiónico

CIC (T):

Suma total de todos los cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso (o volumen) del sustrato en meq/100 g ($cmol^+/Kg$) o meq/L sustrato

Suma de cationes de cambio (S):

- Suma los cationes $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + NH_4^+$
- meq/100 g ($cmol^+/Kg$) o meq/L sustrato

Porcentaje de saturación de bases (V): (S/T) * 100

Insaturación: T-S (H^+ fijados sobre el complejo)

Cationes de cambio

- **Cationes:** Extracción con NH_4Ac, pH 7; NaAc, pH 8,5

- Buena relación entre absorción por la planta y proporción de cationes respecto a la CIC (Eckert, 1987).
- . K^+: basado en criterios de nutrición vegetal.
- Mg^{2+}: > 10% asegura las necesidades de Mg^{2+} del ganado.
- Ca^{2+}: más barato como estructurante que el Mg^{2+}.

Cationes de cambio

- **Interpretación:**

%CIC	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
Eckert, 1987	2 - 5	6 – 12	65 - 85
Yanez, 1989	2 - 6	10 – 20	60 - 80
Gagnard et al., 1988	3 - 4	7 – 9	60 - 80

Relaciones entre nutrientes:

- K/Mg = 0,2-0,35.
- Ca/Mg = 7-9 correcto; >10, antagonismo Mg

Junta de Extremadura (1992), y otros…

La Rioja

Cationes de cambio

Potasio intercambiable (acetato amónico, pH 7)

K (meq/100g)	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Excesivo
Secano					
Arenoso	0 – 0,15	0,15 – 0,30	0,30 – 0,45	0,45 – 0,75	> 0,75
Medio	0 – 0,20	0,20 – 0,40	0,40 – 0,60	0,60 – 1,00	> 1,00
Arcilloso	0 – 0,25	0,25 – 0,50	0,50 – 0,75	0,75 – 1,25	> 1,25
Regadío Extensivo					
Arenoso	0 – 0,20	0,20 – 0,40	0,40 – 0,60	0,60 – 1,00	> 1,00
Medio	0 – 0,25	0,25 – 0,50	0,50 – 0,75	0,75 – 1,25	> 1,25
Arcilloso	0 – 0,30	0,30 – 0,60	0,60 – 0,90	0,90 – 1,50	> 1,50
Regadío Intensivo					
Arenoso	0 – 0,30	0,30 – 0,55	0,55 – 0,85	0,85 – 1,35	> 1,35
Medio	0 – 0,35	0,35 – 0,65	0,65 – 1,00	1,00 – 1,60	> 1,60
Arcilloso	0 – 0,40	0,40 – 0,75	0,75 – 1,15	1,15 – 1,85	> 1,85

(Yanez, 1989)

A mayor CIC, mayor retención

La Rioja

Cationes de cambio

Interpretación de Calcio y Magnesio asimilable (NH4Ac, pH 7)

Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Excesivo
		Ca (mg/100g)		
0 - 7	7 - 200	200 - 280	280 - 400	> 400
		Ca (meq/100g)		Peq=20,04 mg/meq
0 – 0,35	0,35 – 10	10 – 14	14 - 20	> 20
		Mg (mg/100g)		
0 - 7	7 - 18	18 - 30	30 - 48	> 48
		Mg (meq/100g)		Peq=12,16 mg/meq
0 – 0,58	0,58 – 1,48	1,48 – 2,47	2,47 – 3,95	> 3,95

Salinidad y Sodificación

- **Salinización:** Exceso de sales. Afectará al potencial Hídrico ($\psi h = \psi m + \psi o$) y se mide a partir de la CE (recomendable <0.35 en extracto 1:5)

- **Sodificación:** Proporción excesiva de Na respecto al resto de cationes (Ca, Mg, K). Afecta a la estructura del suelo. (recomendable PSI<15%)

$$P.S.I. = \frac{[Na^+] \text{ (meq/100g)}}{C.I.C. \text{ (meq/100g)}}$$

- **Alcalinización:** Sodificación agravada por pH>8,5.

Sodificación (Na intercamiable)

- **Dos posibles determinaciones:**
- **Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) en el complejo de cambio.**
- **Relación de Absorción de Sodio (RAS) en pasta saturada.**

P.S.I.

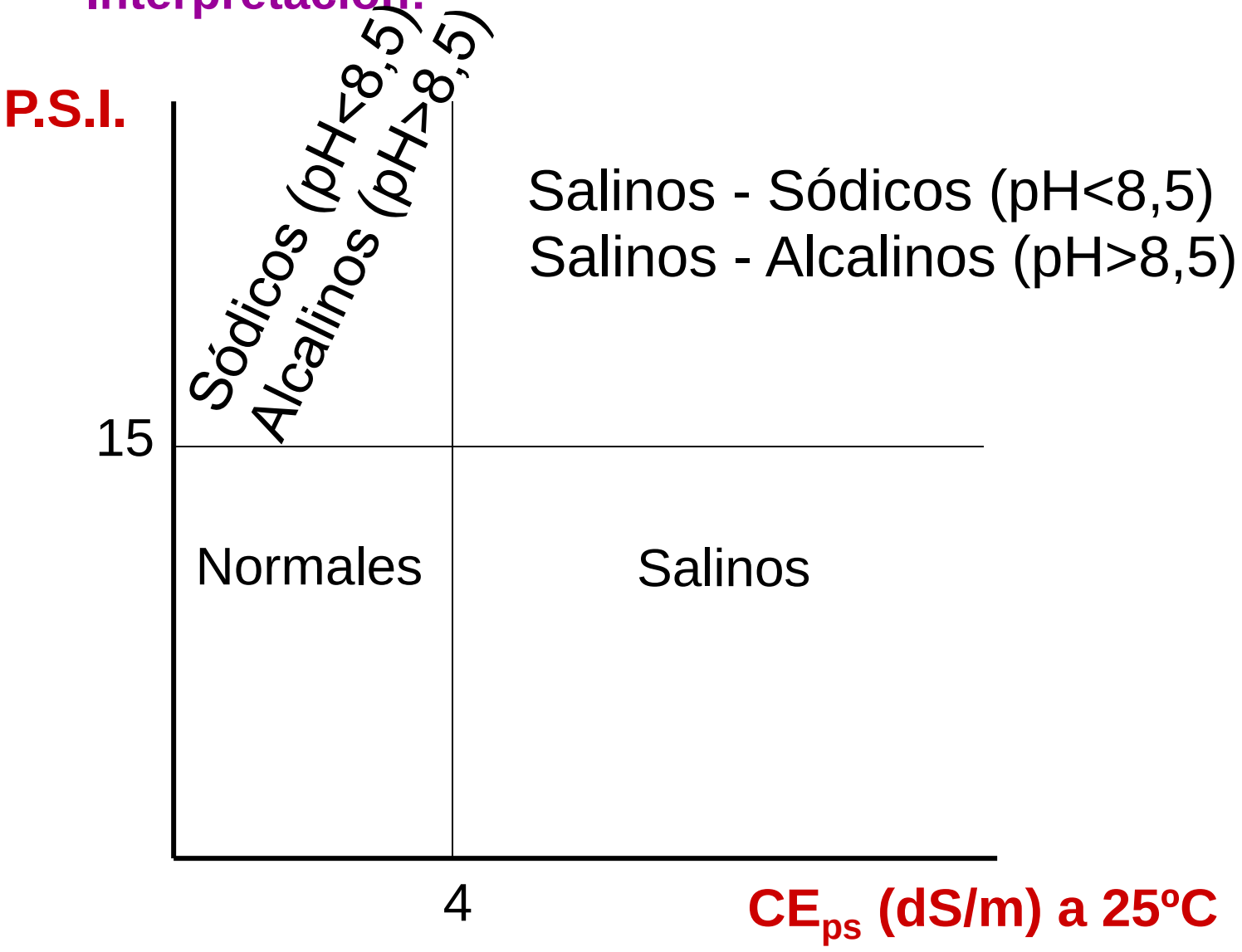
$$P.S.I. = \frac{[Na^+]\ (meq/100g)}{C.I.C.\ (meq/100g)}$$

R.A.S.

$$R.A.S. = \frac{[Na^+]\ (meq/L\ pasta\ saturada)}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]\ (meq/L)}{2}}}$$

Salinidad y Sodificación

- **Interpretación:**



Correcciones de suelos sódicos

Mejorador	Peso equivalente
Yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)	86
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	73
Azufre (S)	16
Polisulfuro de calcio (CaS_5)	100
Ácido sulfúrico (H_2SO_4)	49
Sulfato de Hierro $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	139
Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	111
$CaCO_3$	50
Espuma de azucarería	17-23
Piritas (FeS_2)	60

$$\text{Mejorante (T/ha)} = \frac{[Na^+]\ (\text{meq}/100\text{g})\ \rho_{ap} \cdot h \cdot \text{Peq (mejorante)}}{10}$$

Correcciones de suelos sódicos

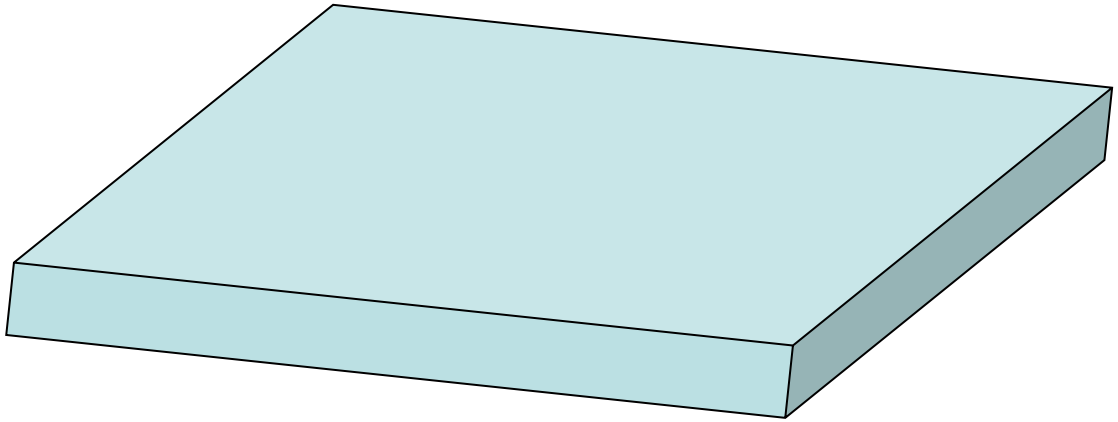
Corrección de suelos Sódicos (unión explosivos Río tinto, 1993)

Sodio Cambiable (meq100g)	Yeso	Azufre	Ácido sulfúrico
1	1,91	0,36	0,30
2	3,82	0,72	0,61
3	5,86	1,08	0,93
4	7,75	1,44	1,24
5	8,65	1,80	1,38
6	11,6	2,20	1,85
7	13,5	2,50	2,16
8	15,5	2,90	2,48
9	17,5	3,20	2,80
10	19,4	3,60	3,11

Cálculo para 15 cm de profundidad y densidad aparente de 1,48 del suelo.

Cálculo típico de correcciones

1ha = 10.000 m^2 x 0.3 m x 1,2 T/m^3 = 3600 T/ha



Enmiendas calizas, orgánicas: 1% ha = 36.000 kg

Enmiendas de micronutrientes: Δ de 1 mg/kg = 3,6 kg/ha

Enmiendas de macronutrientes: Δ de 10 mg/100g = 360 kg/ha

Micronutrientes

Lindsay y Norvell: 0,005 M DTPA + 0,01 M $CaCl_2$ + 0,1 M TEA (pH = 7,3)

Importancia

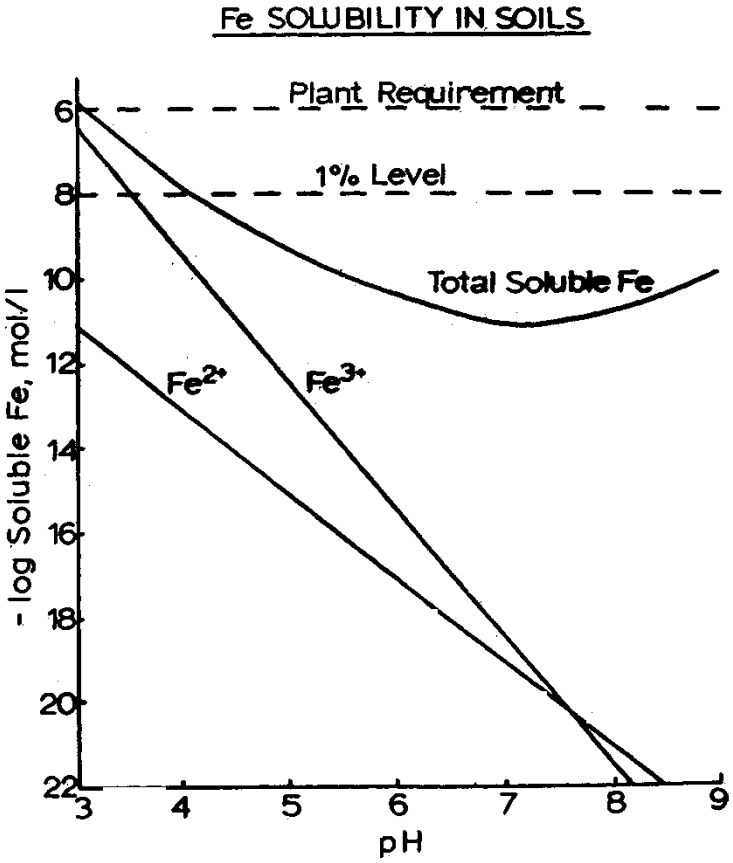


Fig. 17.1. Solubility of Fe^{2+}, Fe^{3+}, and total Fe in equilibrium with iron oxide and 0.2 atm O_2 showing the levels of soluble Fe required for mass-flow to supply plants with adequate Fe

El mejor indicador es la planta

$$IPC = \frac{\%\ \text{Caliza activa} \cdot 10^4}{\text{mg Fe/kg suelo (oxalato o EDTA)}}$$

IPC > 60 Riesgo de carencia

Micronutrientes

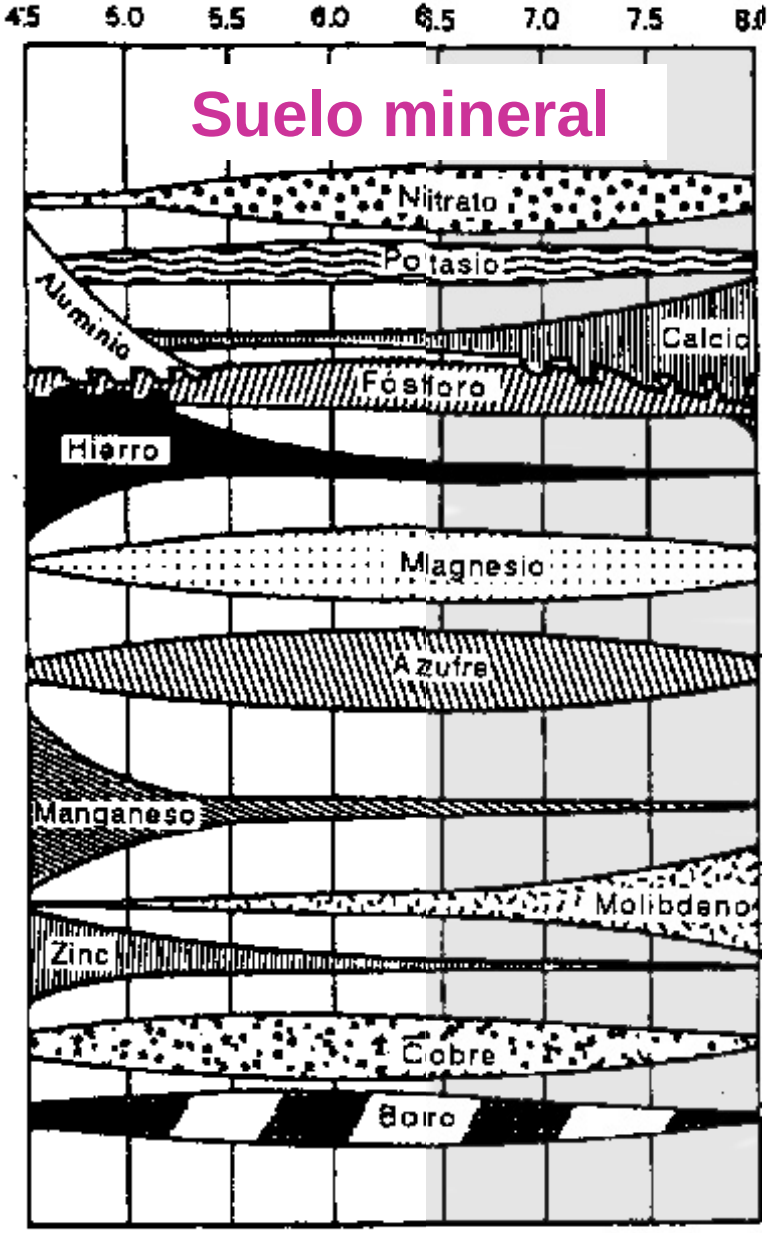
Escalas absolutas para el diagnóstico de microelementos

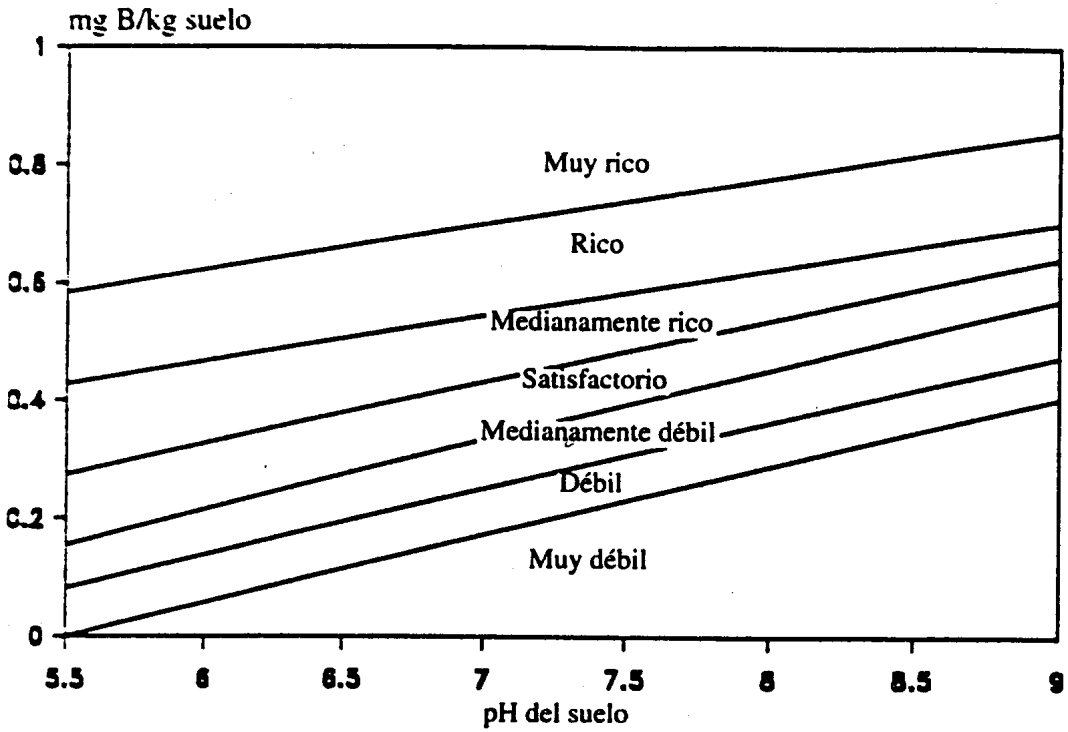
ppm	Método	Carencia	Toxicidad (si está definido)	referencia
B	Agua caliente	< 0,5 < 0,6 < 0,7 < 0,25	> 2 > 2 > 1,5 > 4 - 5	Gagnard et al, 1988 Spring et al., 1993 Porta et al., 1986 Magny y Baur, 1962
Fe	Norvell y Lindsay	< 2,5 - 4,5*	-	Hernández, 1975 Cros, 1983
Mn	Norvell y Lindsay	< 1,0	-	Cros, 1983
Zn	Norvell y Lindsay EDTA	< 0,5 - 1,0* < 2,0	-	Hernández, 1975 Cros, 1983 Drouin, 1989
Cu	Norvell y Lindsay EDTA	< 0,2 < 2,0	-	Cros, 1983 Quéméner, 1985
Mo	Oxalato amónico	< 0,04 - 0,12*	-	Chapman, 1966

*** Según cultivo**

L y N: 0,005 M DTPA + 0,01 M $CaCl_2$ + 0,1 M TEA (pH = 7,3)

Micronutrientes - B disponible





Correlaciones Mehlich 3

Rodríguez et al. (2005)

P Olsen (mg/kg) = 1,44·[M-3] + 6,19 R^2 = 0,76

K NH_4Cl (meq/100g) = 0,93·[M-3] + 0,13 R^2 = 0,85

Ca NH_4Cl (meq/100g) = 0,91·[M-3] + 1,07 R^2 = 0,94

Mg NH_4Cl (meq/100g) = 1,10·[M-3] + 0,04 R^2 = 0,94

Na NH_4Cl (meq/100g) = 1,24·[M-3] + 0,00 R^2 = 0,74

Mn DTPA (mg/kg) = 0,38·[M-3] + 1,53 R^2 = 0,73

Cu DTPA (mg/kg) = 0,53·[M-3] + 0,43 R^2 = 0,97

Zn DTPA (mg/kg) = 0,60·[M-3] + 0,34 R^2 = 0,91

Mehlich 3: Bibliografía

- **K:** similar al método del acetato amónico.
- **P:** M-3 lo sobrestima en muchos suelos con carbonato cálcico altos.
- **P:** M-3 y Olsen están bien correlacionados **POlsen=66-56%M3** (Sawyer y Mallarino, 1999) (suelos ácidos)
- **P:** Baker et al (2002) sugieren cambiar 1:10 a 1:7 la dilución de extracción para adecuarlo a otros métodos (suelos ácidos)
- **CIC, Ca** y **Mg** con el M-3 son similares a las extraídas por NH_4Ac en suelos ácidos. Sin embargo, no vale para suelos calizos al solubilizar carbonatos.
- **Micronutrientes**: No es un buen método en cualquier suelo, excepto para el Zn.

Mehlich 3: Bibliografía

K NH_4Ac (meq/100g) = K-M3

Ca NH_4Cl (meq/100g) = ¿?

Mg NH_4Cl (meq/100g) = ¿?

Na NH_4Ac (meq/100g) = Na-M3

- Extracción M3 es a pH 2,5…
- Redisolución de carbonatos de Ca y Mg.
- El Ca y el Mg estarán correlacionados con la Caliza activa (¿?) pero no con la fracción asimilable.
- K y Na no precipitan, por lo que sí pueden estar correlacionados con el M3

Mehlich 3: Bibliografía

P Olsen (mg/kg) = ¿?

- **A pH 2,5 se redisuelve el precipitado con el Ca en suelos básicos.**
- **Imposible correlacionar P Olsen con Ca en suelos básicos (estamos valorando la caliza activa, no el Ca en coloides)**
- **Difícilmente se puede calcular la CIC a partir de los cationes debido a la redisolución de Ca y Mg.**

La **determinación de P** por ICP no es recomendable dado que, a veces, da como resultado un 40% más P que la técnica colorimétrica habitual. Además, un simple factor de corrección no parece ser efectivo para transformar niveles Olsen en niveles Mehlich (Mallarino, 2000).

Mehlich 3: Bibliografía

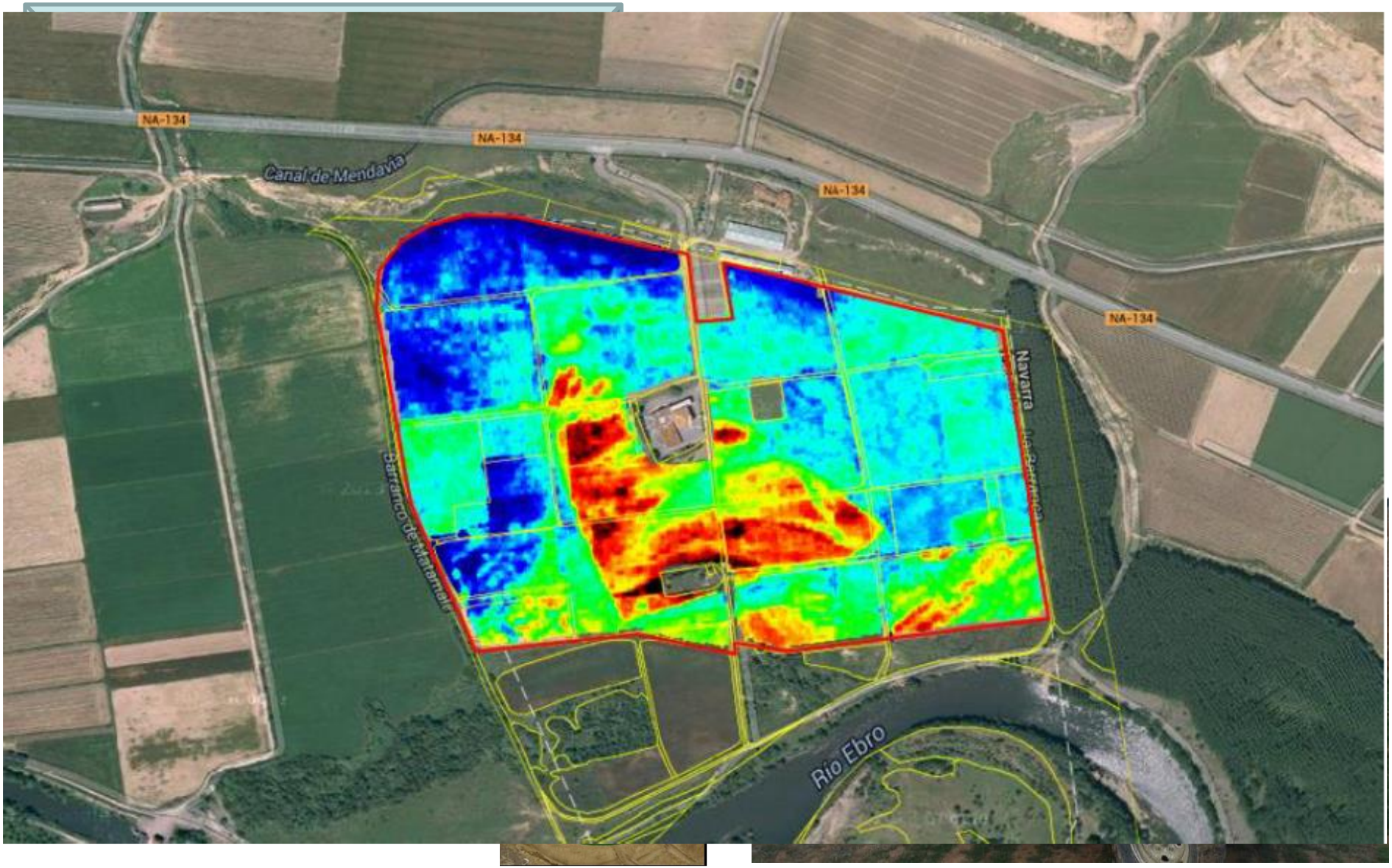
Fe DTPA (mg/kg) ≠Fe-M3¿?
Mn DTPA (mg/kg) ≠ Mn-M3¿?

Cu DTPA (mg/kg) ≠ Cu-M3¿?

Zn DTPA (mg/kg) ≠ Zn-M3¿?

- A pH 2,5 se redisuelven hidróxidos deFe, Mn, Cu y Zn.
- Es muy difícil correlacionar la disponibilidad a pH 7,5 (DTPA) con lo extraído a pH 2,5

Medidas *in situ* – Resistividad del suelo



Gracias por su atención

Ignacio Martín Rueda **imartinr@larioja.org**

Servicio de Investigación Agraria (La Rioja)

Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino

Gobierno de La Rioja

CSIC

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA