

Micronutrientes

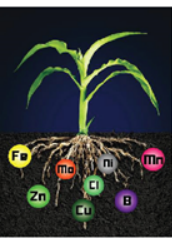
Deficiencias y Requerimientos en Frutales y Berries

Iván Vidal

ividal@udec.cl

Universidad de Concepción

Chile



Factores de producción

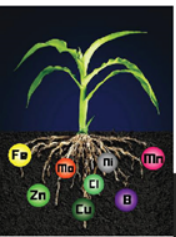
Labores culturales

Nutrición

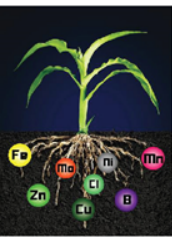
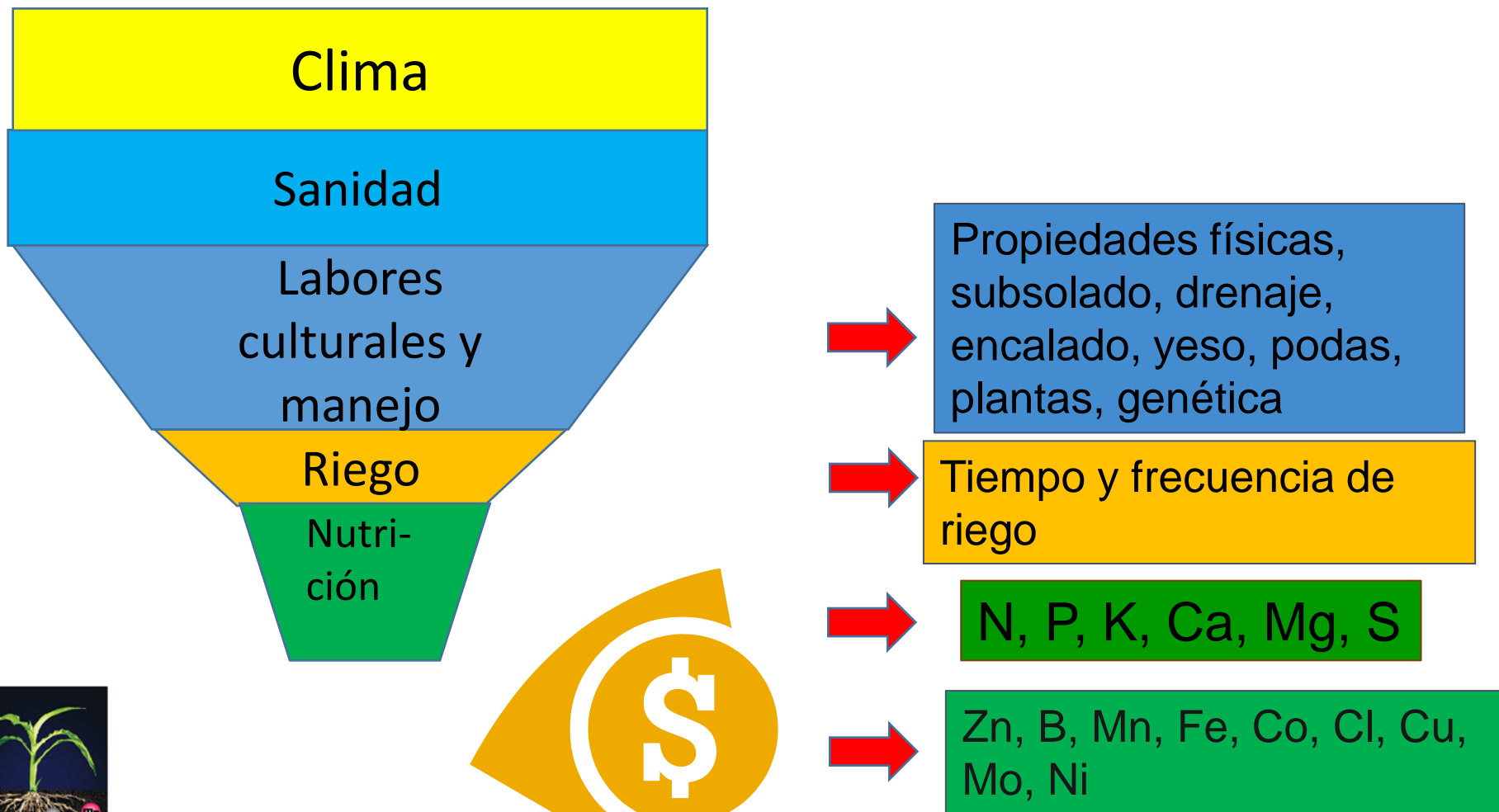
Sanidad

Clima

Riego



ORDEN DE PRIORIDADES EN UNA AGRICULTURA DE MAXIMA ESPECIALIZACION

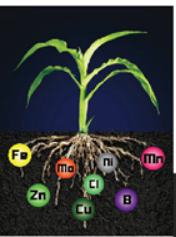


Situación actual

❖ Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Co, Cl, Ni.

¿Porque es más frecuente en los últimos años encontrar deficiencias?:

- Mejoramiento genético que implica mayores potenciales de producción y mayor demanda del suelo.
- Uso de fertilizante NPK más concentrados con menores impurezas.
- Mejores técnicas de diagnóstico y mejor conocimiento de la nutrición vegetal



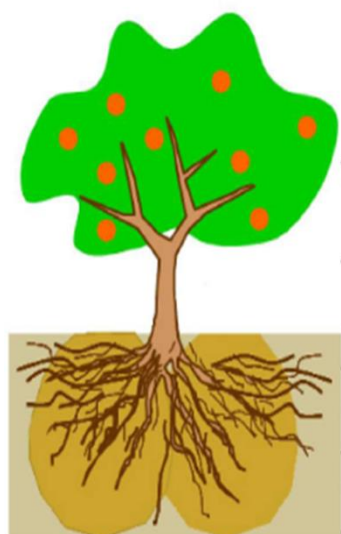
Formas de absorción de los microelementos y el año de su descubrimiento

Micronutriente	Formas de absorción	Descubierto por, año
Hierro	Fe+2	Sachs, 1860
Manganeso	Mn+2	Mellargue, 1922
Boro	H ₂ BO ₃ ⁻	Warington, 1923
Zinc	Zn+2	Lipman, 1926
Cobre	Cu+2	McKinney, 1931
Cobre	Cu+2	McKinney, 1931
Molibdeno	MoO ₄ ⁻²	Arnon, 1938
Cloro	Cl ⁻	Broyer, 1954
Níquel	Ni+2	Brown, 2003



Fuente: Adaptado de Alloway (2008)

Concepto de fertilización



PLANTA

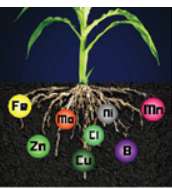


SUELO

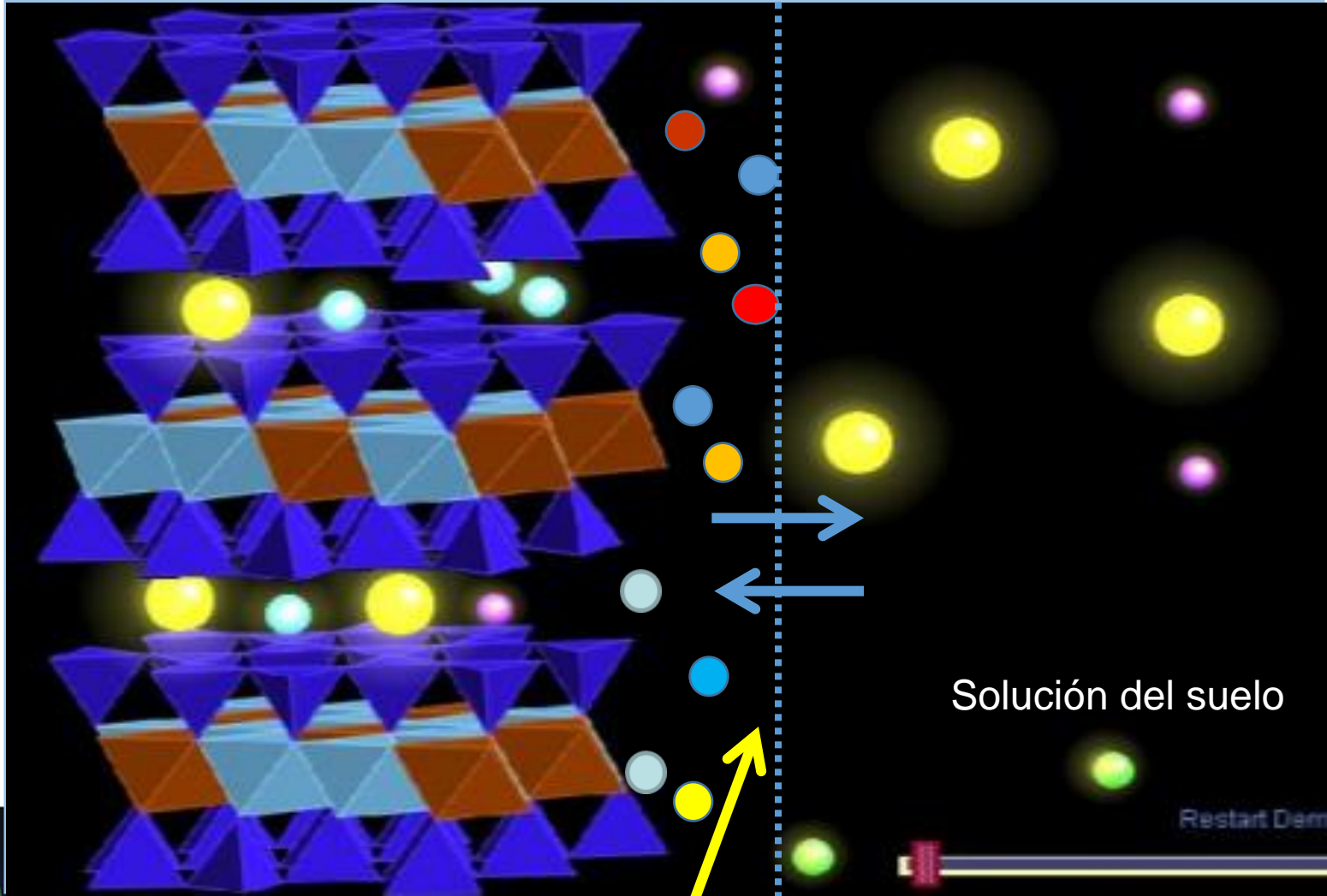


FERTILIZANTE

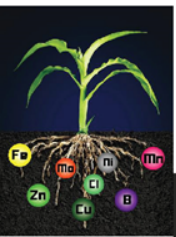
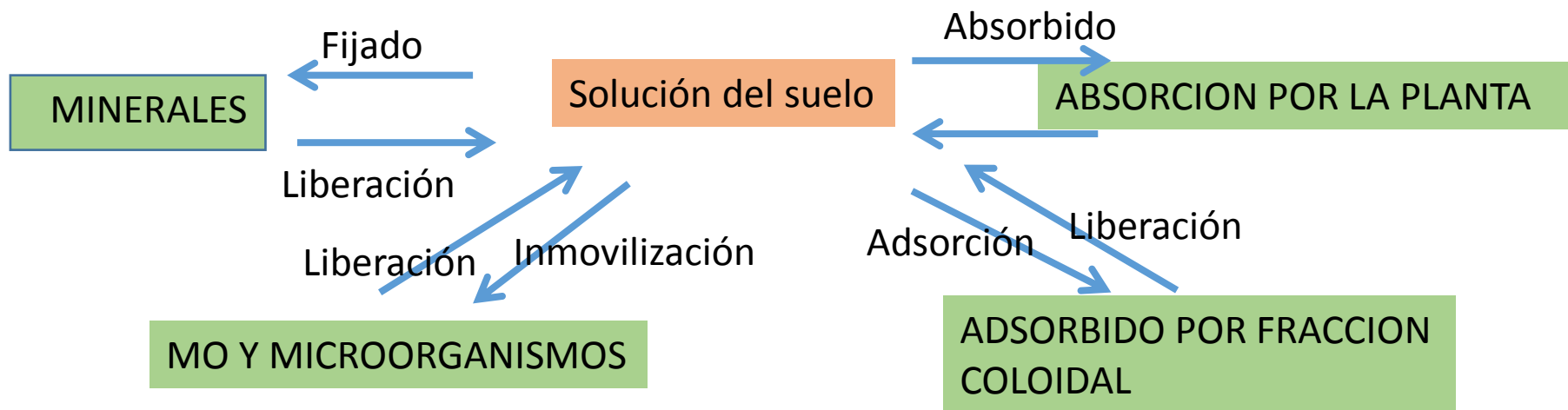
DOSIS = PLANTA - SUELO



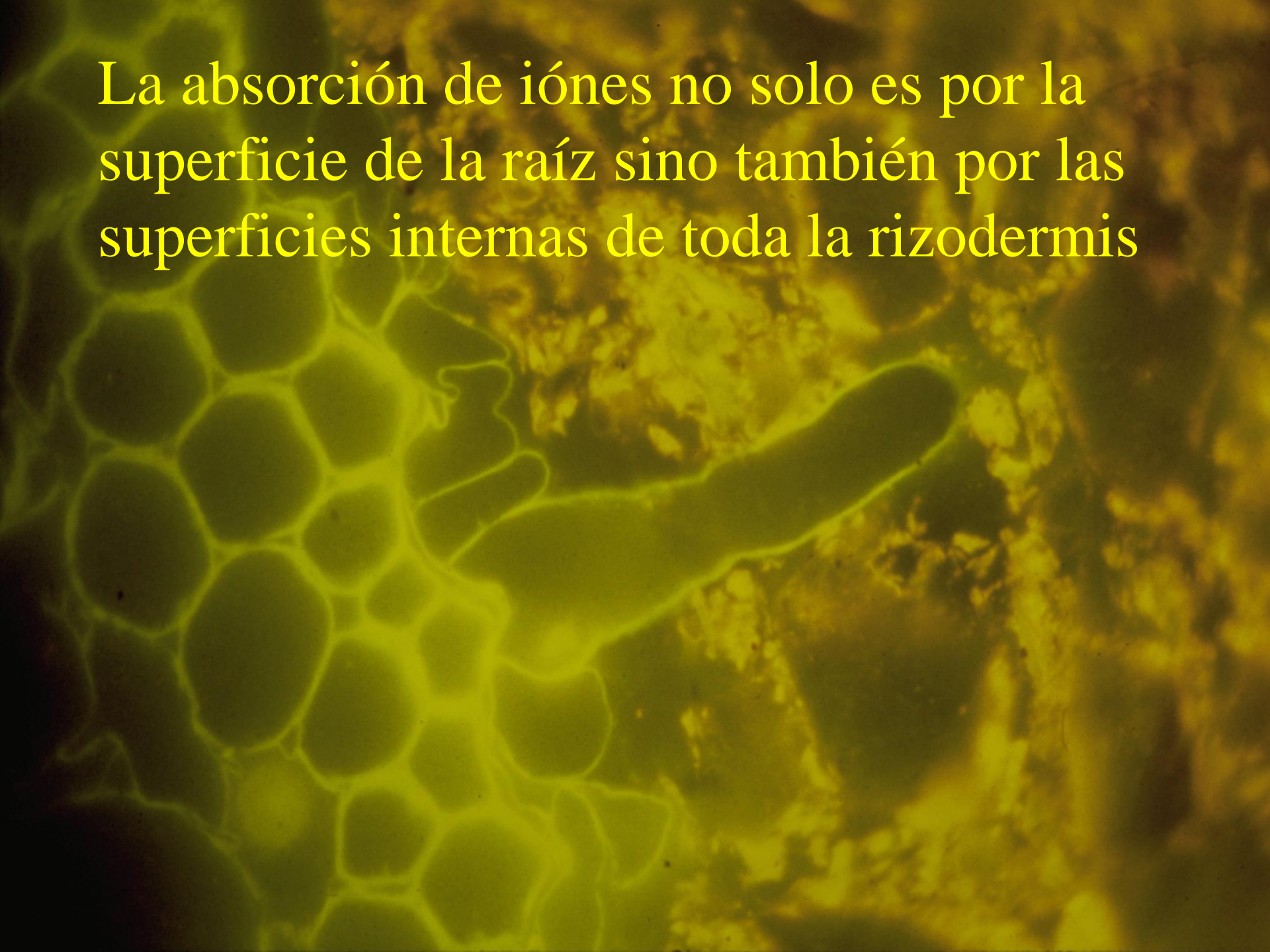
COMPLEJO DE INTERCAMBIO Y SOLUCIÓN DEL SUELO



BALANCE DE MICROELEMENTOS EN EL SUELO



La absorción de iones no solo es por la superficie de la raíz sino también por las superficies internas de toda la rizodermis

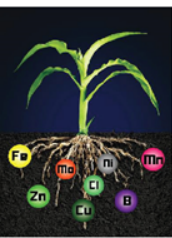


DINAMICA DE LOS MICRONUTRIENTES EN LA SOLUCIÓN DE SUELO

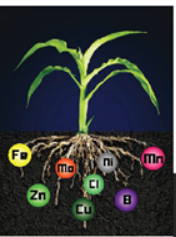
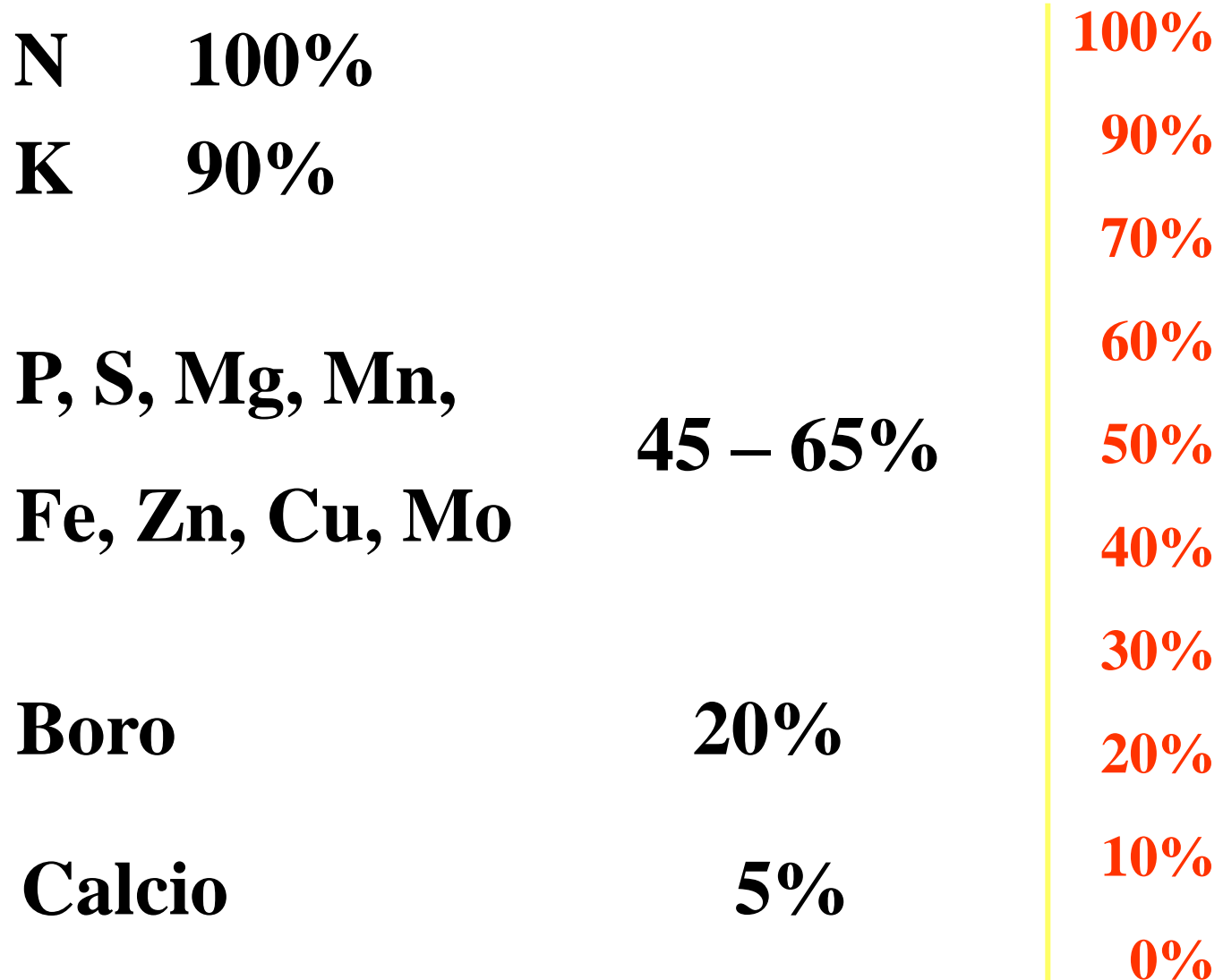
- **Difusión:** Corta distancia (mm/sem), lenta. Zn, Mn, Cu, Fe, Ni.
- **Flujo de masas:** larga distancia (20-30 cm/sem), rápido. B, Cl
- **Intercepción radicular.** No muy relevante

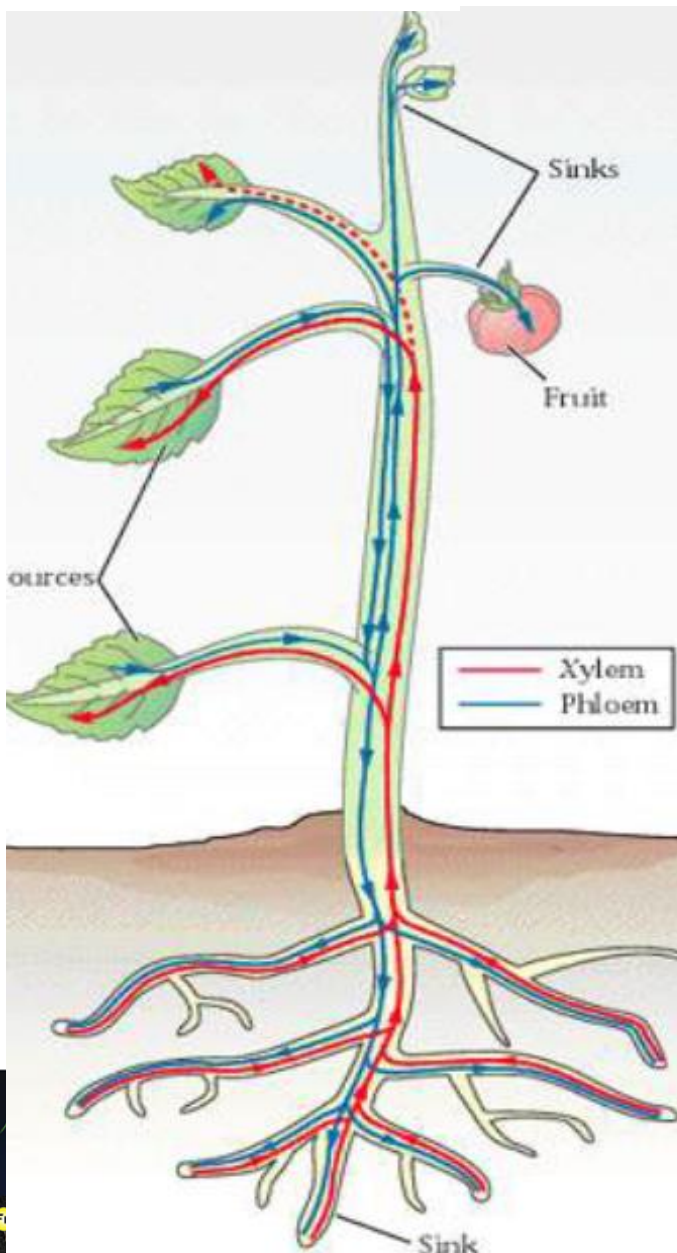
Porcentaje aproximado del acceso nutricional por intercepción, flujo de masas y difusión.

Nutriente	Intercepción	Flujo de masas	Difusión
Boro	3	65	32
Cobre	70	20	10
Hierro	50	10	40
Manganeso	15	5	80
Molibdeno	5	95	-
Cinc	30	30	40



velocidad de Movimiento

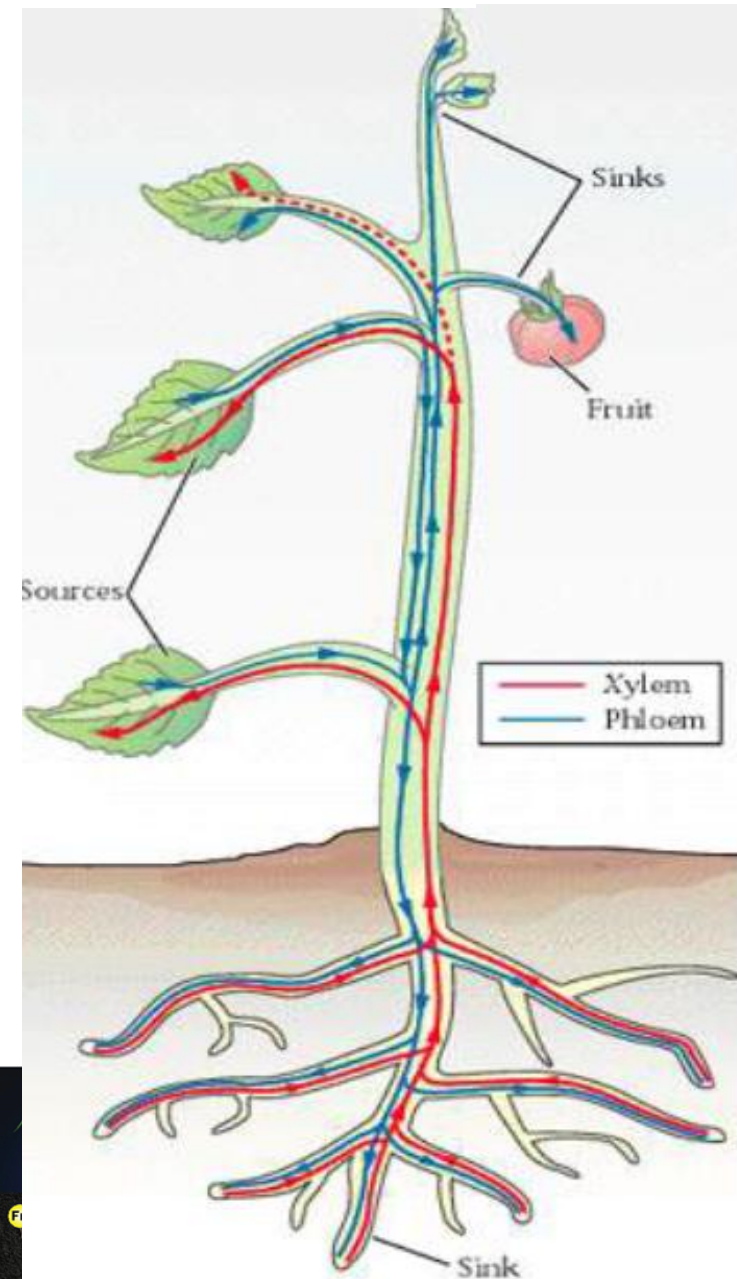




- Los elementos inmóviles (**Ca, B, Zn, Mn, Fe**) se mueven principalmente por el xilema en una sola dirección.
- Son transportados por la corriente de transpiración
- Tejidos que pierden poca agua (fruto) son más sensibles

Implicaciones de manejo:

- Suministro permanente en toda la etapa de desarrollo y reproducción
- Las aplicaciones foliares solamente tienen beneficio en tejido asperjado. Crecimiento nuevo, posterior a aplicación no se beneficia.
- No pueden ser almacenados en la planta para uso posterior.



- Elementos móviles (N, P, K, Mg, S) se mueven por el Xilema (una vía) y por floema (doble vía).
- Su movimiento en la planta esta determinado por la fotosíntesis y crecimiento.
- La fertilización tiene un efecto más prolongado y pueden ser almacenados como reservas.
- Las hojas más viejas desarrollan primero la deficiencia.

Sin sulfato de Zn

Aplicación Foliar
de Sulfato de Zn



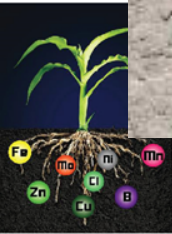
Aplicación de Zn foliar:
efecto tópico





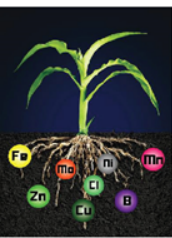
Sin B

B foliar



ROL DE LO MICRONUTRIENTES

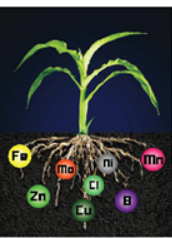
Micro	Funciones
Cu, Fe, Mo	Actúan en el transporte de electrones de sistemas enzimáticos y participan en reacciones de óxido reducción.
Fe	Formación de clorofila, degradación y síntesis de proteínas. Componente de la enzima nitrogenasa.
Mo, Mn	Transformación del N en microorganismos y plantas.
Mo	Componente de la enzima nitrogenasa y nitrato reductasa.
Zn	Síntesis de proteínas, hormonas del crecimiento.
Cu	Fotosíntesis, respiración y metabolismo del Fe.



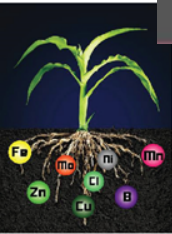
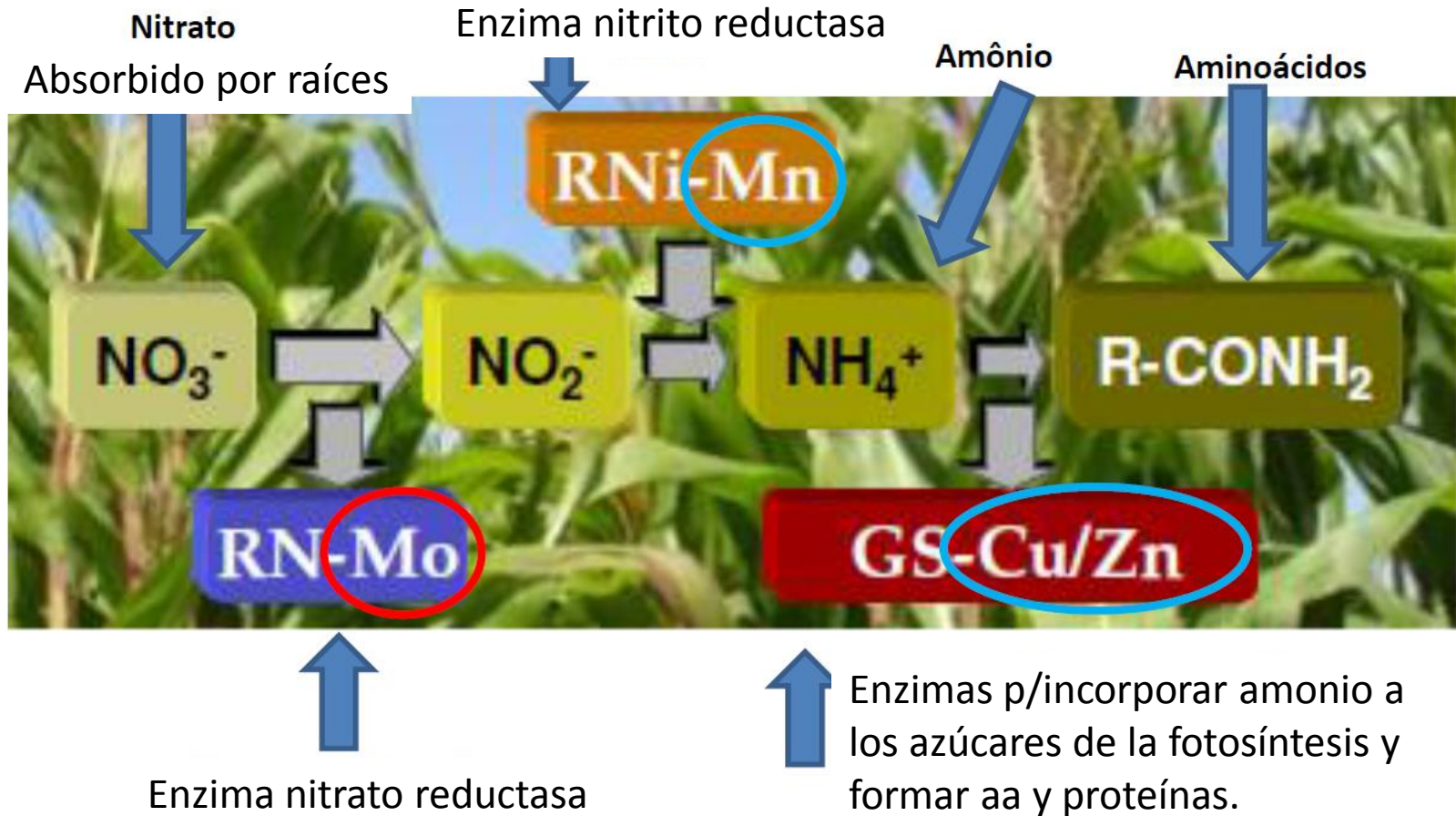
ROL DE LO MICRONUTRIENTES

(Continuación)

Micro	Funciones
B	Translocación de azúcares, absorción del agua, crecimiento radicular.
Mn	Fotosíntesis, respiración y metabolismo del N.
Mn, Co	Fijación biológica del N ₂ .
Cl	Fotosíntesis y crecimiento radicular.
Ni	Esencial para acción enzimática de ureasa, hidrogenasas, metilreductasa. Necesario en el llenado del grano (deficiencia de Ni produce semillas que no germinan).

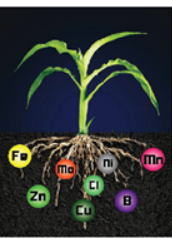


Metabolismo del N



Remoción de micronutrientes en la porción cosechada

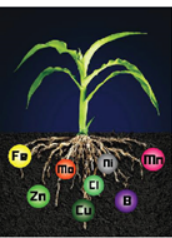
Cultivo, rendimiento	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	----- g/ton -----					
Manzanos	4	0,89	2,8	0,98	0,01	1,25
Naranja	2,8	0,6	3	0,8	0,002-0,01	1,4
Mandarina	1,3	0,6	2,6	0,4	0,01	0,8
Limón	0,5	0,3	2,1	0,4	<0,01	0,7



El estado nutricional de una planta está íntimamente ligado a la absorción

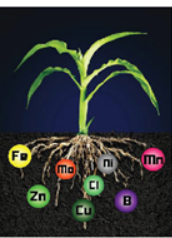
Factores que afectan la absorción

Internos	Externos
Potencial genético	Disponibilidad en la solución de suelo
Estado iónico interno	pH
Intensidad del crecimiento	Temperatura
Intensidad del metabolismo (fotosíntesis, translocación, respiración)	Aireación
Intensidad transpiración	Interacciones iónicas
Morfología de raíces	



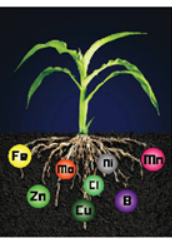
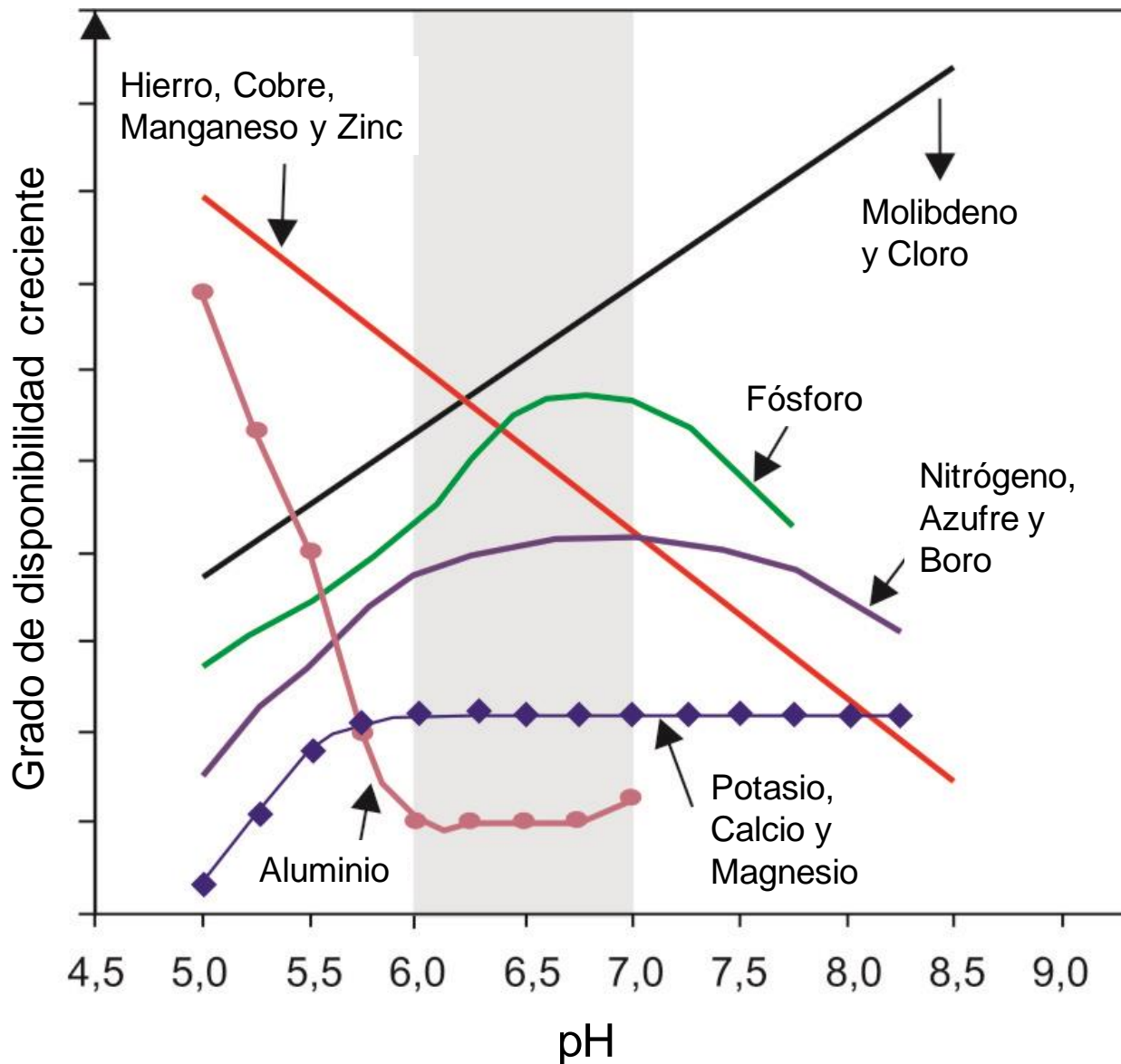
Tipos de suelos y propiedades asociadas con deficiencias de micronutrientes

Tipo/propiedades de los suelos	Deficiencia de micronutrientes
Suelos arenosos y fuertemente lavados	B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn
Altas concentraciones de MO (>10%)	Cu, Mn, Zn
Alto pH (>7)	B, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn
Alto CaCO ₃ (>15%), suelos calcáreos	B, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn
Suelos recientemente encalados	B, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn
Alto contenido de sales	Cu, Fe, Mn, Zn
Suelos ácidos	Cu, Mo, Zn
Alto contenido de arcillas	Cu, Mn, Zn



Fuente: Adaptado de Alloway (2008)

Efecto del pH en la disponibilidad



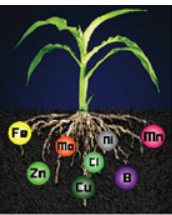
Aeración del suelo

Manganeso:



Cultivos anuales: Fe > Mn (Deficiencia de Mn)

Cultivos perennes: Mn > Fe (Deficiencia de Fe)



Deficiencia de Mn en trigo

Compactación por
rueda tractor

Menos O₂
Más Mn⁺²

Secuencia corrección deficiencia de Mn



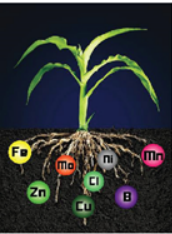
DIA 1



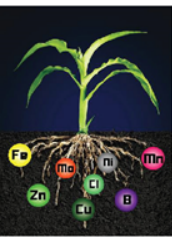
DIA 10



DIA 20



Deficiencia Fe arándanos

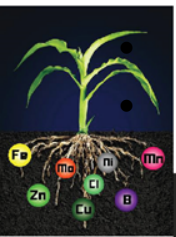


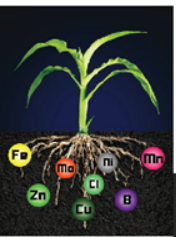
COLORSIS FERRICA EN ARANDANOS



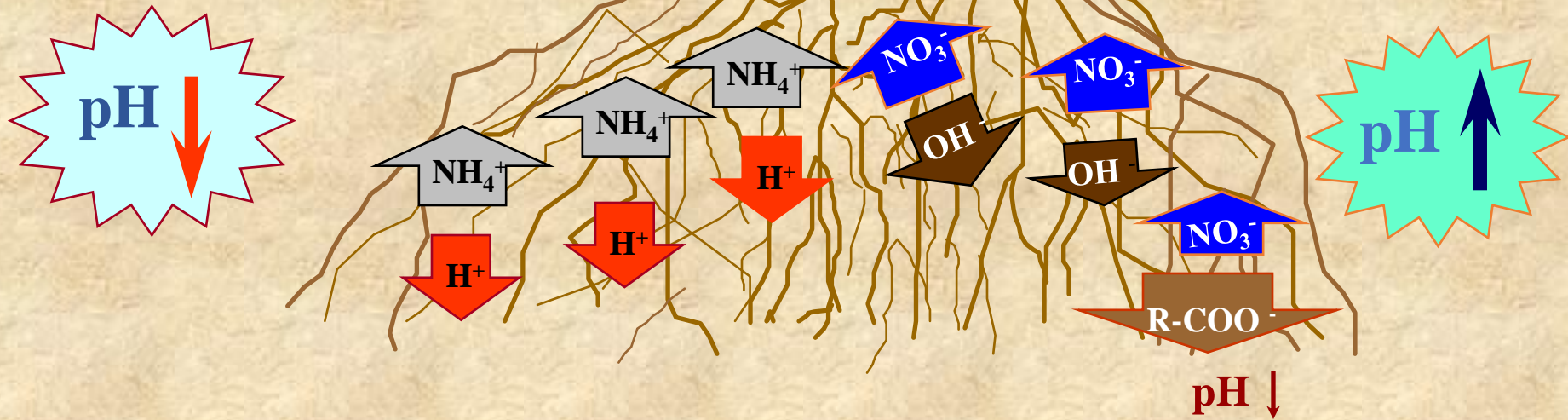
Causas:

- Bajo nivel de O₂ (aireación reducida): suelos con anegamiento o compactación.
- pH alto: La solubilidad del Fe desciende 1000 veces por cada unidad de pH, llegando a niveles mínimos a pH 7,5.
- Suelos ácidos ricos en fosfatos soluble: precipitación de Fe.
- Antagonismo con Mn: Relación óptima Fe/Mn en la planta entre 1,5-2,6. Bajo 1,5 deficiencia de Fe.





Cambio de pH de la rizósfera
y la relación Amonio/nitrato



APLICACIÓN DE UNA DOSIS DE 100 KG N/HA

Como nitrato de Ca

Como Sulfato de Amonio



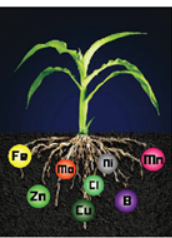
Fertilización Nitrogenada

Efecto de la forma de N (sulfato de amonio y nitrato de calcio) sobre el pH del suelo y de la rizosfera

pH inicial del suelo	Valor del pH 3 semanas después de la aplicación del fertilizante			
	Suelo		Rizosfera	
	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-
5,2	5,0	5,4	4,7	6,6
6,3	5,9	7,0	5,6	7,1
6,7	6,6	7,0	6,3	7,2

Adaptado de Riley y Barber (1971), citados por Marschner (1986)

La absorción de NH_4^+ y NO_3^- es un de los factores que determinan el pH al nivel de la rizosfera. Sin duda, este efecto es muy condicionado por la especie y la variedad de las plantas



Fertilización Nitrogenada

Efecto de la forma de suministrar N en suelos franco-arenosos (pH6,8) en la absorción de micronutrientes.

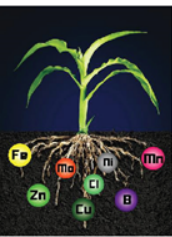
Fuentes de Nitrógeno	Absorción en mg/m de raíz			
	Fe	Mn	Zn	Cu
Nitrato de Calcio	68	23	11	2,7
Sulfato de amonio*	184	37	21	3,7



*Con inhibidor de nitrificación

Rhizotron

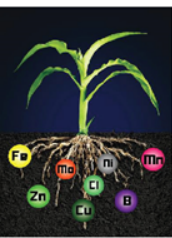
Adaptado de Thompson et. al. 1993, citado por Marschner and Römheld, 1996



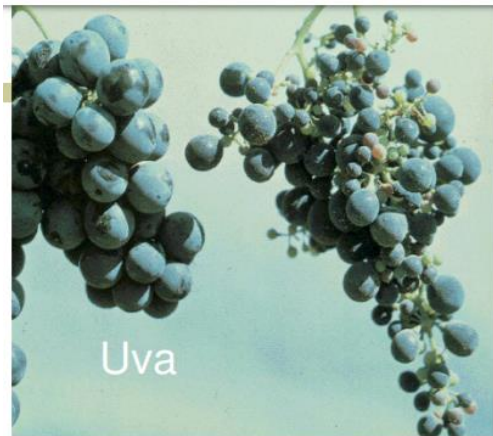
Efecto del Glifosato en los organismos reductores de Mn de la rizosfera, 3 semanas después de su aplicación en soja RR

Tratamiento	Organismos reductores de Mn*	Organismos oxidantes de Mn*
Sin Glifosato	7.250	750
Con Glifosato	740	13.250

* *Numero colonias por g de suelo*



Deficiencia de zinc



Deficiencia de Ni

Pecã

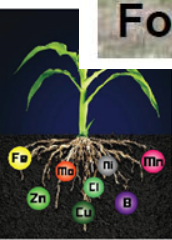


Fonte: WOOD et al. (2004 a,b,c)

Bétula



Fonte: RUTER (2004)



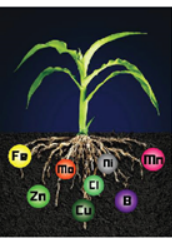
Arándanos



Deficiencia de Mn



Deficiencia de Zn

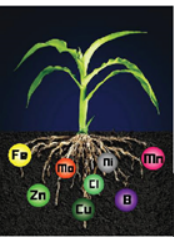




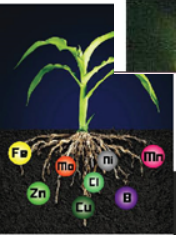
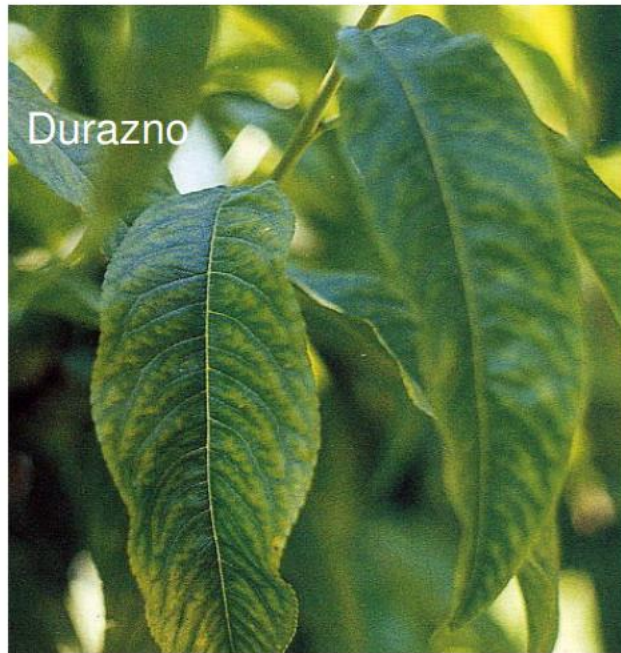
Hierro en citrus



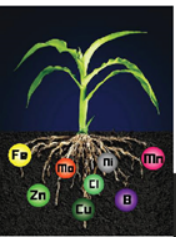
Cobre en citrus



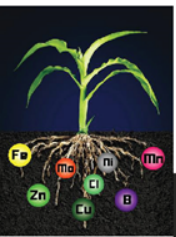
Manganeso



.Deficiencia de Boro



Deficiencia de Hierro

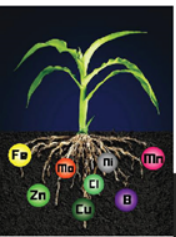


MUCHOS METODOS PARA VALIDAR LA BIODISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES PARA LAS PLANTAS

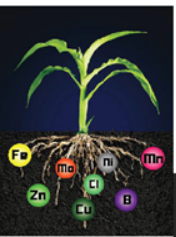
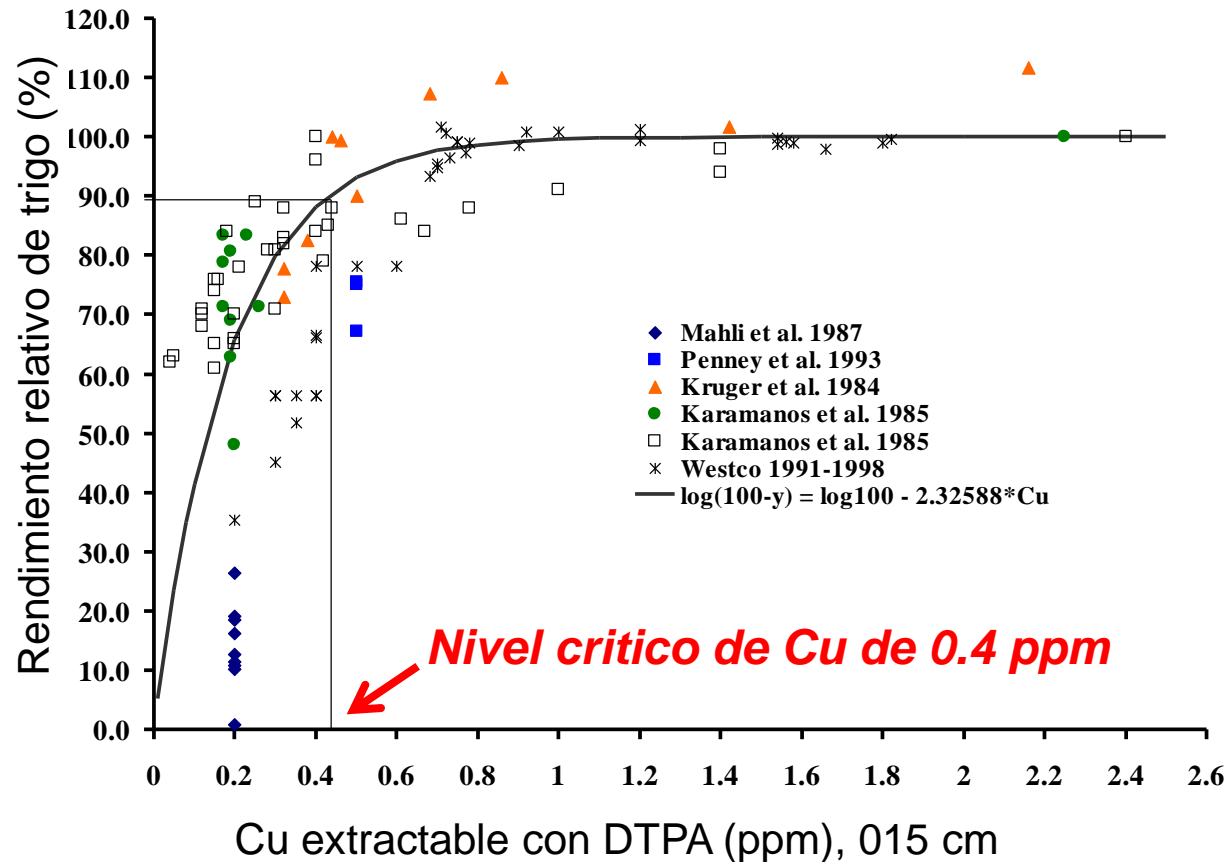
VENTAJAS DEL ANALISIS QUIMICO

- ✓ Posibilidad de anticipar el manejo de la fertilidad de suelo
- ✓ Confiable cuando es propiamente ajustado
- ✓ Fácilmente utilizado en rutina
- ✓ Generalmente de bajo costo

✓ ***El problema es que hay pocos estudios de correlación, calibración y curvas de respuesta para micronutrientes en frutales***



Calibración de Análisis de Cobre en Suelo y Rendimiento Relativo de Trigo en Canadá



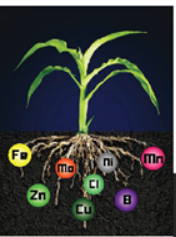
Karamanos (2000)



intagri

Concentración Crítica de Micronutrientes en Suelo

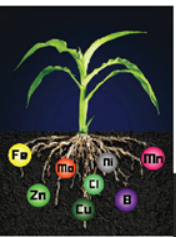
Micronutriente	Factores de importancia	Método	Rango de nivel crítico
			mg/kg
Boro	Rendimiento, pH, humedad de suelo, textura, MO, tipo de suelo	Soluble en agua caliente	0.1-2.0
Cobre	Cultivo, MO, pH, presencia de CaCO_3	Mehlich 1 Mehlich 3 DTPA	0.1-10.0 0.1-2.5
Hierro	pH, presencia de CaCO_3 , aireación, humedad de suelo, MO, CIC	DTPA Olsen modificado	2.5-5.0 10.0-16.0
Manganeso	pH, textura, MO, presencia de CaCO_3	Mehlich 1 Mehlich 3 DTPA	5.0-10.0 4.0-8.0 1.0-5.0
Molibdeno	pH, cultivo	Oxalato de amonio pH 3.3	0.1-0.3
Zinc	pH, presencia de CaCO_3 , P, MO, porcentaje de arcilla, CIC	Mehlich 1 Mehlich 3 DTPA	0.5-3.0 1.0-2.0 0.2-2.0



Interpretación de análisis de suelos para el estado de San Pablo (Brasil)

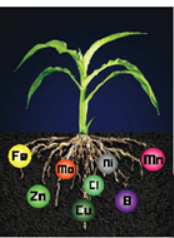
Nivel	B ¹	Cu ²	Fe ²	Mn ²	Zn ²
	----- (mg dm ⁻³) -----				
Bajo	0-0,2	0-0,2	0-4	0-1,2	0-0,5
Medio	0,21- 0,6	0,3-0,8	5-12	1,3-5,0	0,6-1,2
Alto	> 0,6	> 0,8	> 12	> 5,0	> 1,2

Fuente: Van Raij et al. (1997); ¹B en agua caliente; ²DTPA



Categorías de nivel de disponibilidad de micronutrientes en suelos en Chile

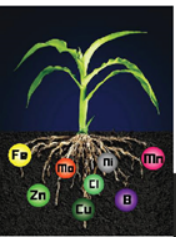
Nivel	B ¹	Cu ²	Fe ²	Mn ²	Zn ²
	----- (mg kg ⁻¹) -----				
Bajo	< 0,5	< 0,3	< 3	< 3	< 0,5
Medio	0,5- 1,0	0,3-0,5	3-5	3-5	0,5-1,0
Alto	> 1,0	> 0,5	> 5	> 5	> 1,0



Valores de referencia para análisis foliar de algunos frutales.

NUTRIENTE		ARANDANO Highbush	AVELLANO europeo	BANANA	CEREZOS	CHIRIMOYO	CIRUELO
Hierro (Fe)	ppm	60-200	50-400	70-200	60-250	40-200	60-250
Manganeso (Mn)	ppm	50-400	25-800	100-2200	40-200	50-150	40-160
Cinc (Zn)	ppm	7-25	16-80	18-35	15-50	20-40	20-50
Cobre (Cu)	ppm	3-15	3-50	7-20	4-30	8-22	6-16
Boro (B)	ppm	25-80	30-80	20-80	20-80	50-100	25-60

NUTRIENTE		DAMASCO	ESPARRAGO	FRAMBUESO	FRUTILLA	GRANADO	HIGO
Hierro (Fe)	ppm	100-200	40-250	50-150	100-200	50-250	50-250
Manganeso (Mn)	ppm	50-150	72-170	50-300	200-500	25-350	25-300
Cinc (Zn)	ppm	20-50	16-30	20-80	30-80	15-50	20-50
Cobre (Cu)	ppm	5-20	6-11	2-50	5-12	4-15	4-50
Boro (B)	ppm	40-80	25-200	25-80	30-100	25-80	45-100



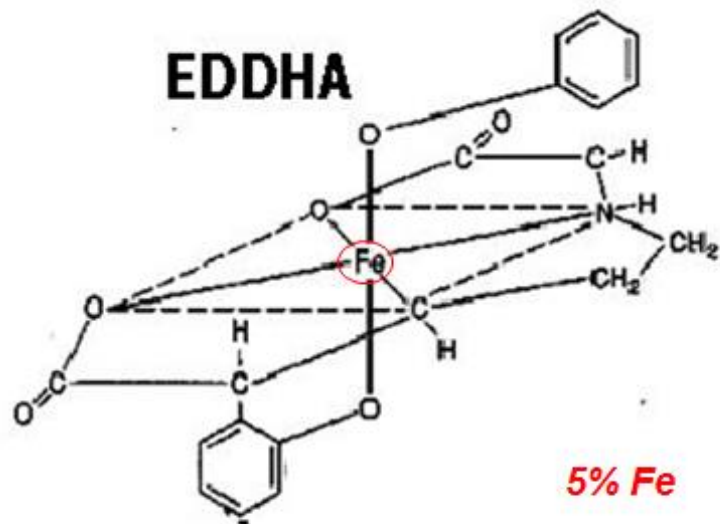


FUENTES DE MICROELEMENTOS

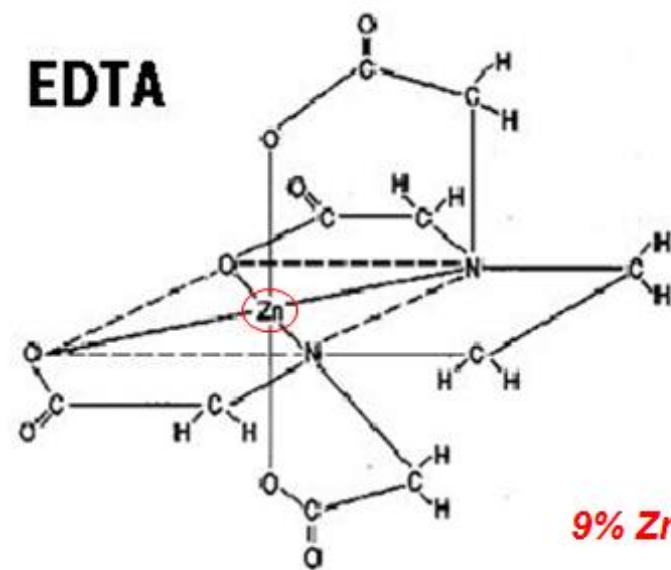
Producto	%
Borax	10 B
Ac. Bórico	17B
Solubor	20 B
Sulfato de Cu (pentahidratado)	25 Cu
Sulfato de Cu (monohidratado)	35 Cu
Quelato de Cu EDTA	13 Cu
Quelato de Cu HEDTA	9 Cu
Sulfato ferroso	19 Fe
Sulfato férrico	23 Fe
Quelato Fe NaFeEDTA	5-14 Fe
Quelato Fe NaFeHEDTA	5-9 Fe
Quelato Fe NaFeEDDHA	6 Fe
Quelato Fe NaFeDTPA	10 Fe
Sulfato de Mn	26-28 Mn
Quelato Mn EDTA	12 Mn
Molibdato de sodio	39 Mo
Sulfato de Zinc (monohidratado)	35 Zn
Sulfato de Zinc (heptahidratado)	23 Zn
Quelato Zn EDTA	14 Zn
Quelato Zn HEDTA	9 Zn



Quelatos



Fe - Ethylene Diamine Dihydroxyphenyl Acetic Acid



Zn - Ethylene Diamine Tetracetic Acid



Importancia relativa (escala 0 a 10) de la quelación para la nutrición vegetal vía suelo y foliar.

Lucena y otros, 2004

	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
<i>Uso suelo</i>							
Para que el elemento no se precipite en el suelo	2	2	10	6	8	6	0
Para que el elemento sea más asimilable por la planta	1	1	8	4	8	6	0
<i>Uso Foliar</i>							
Para agregar una dosis importante sin que cause toxicidad	0	0	4	4	3	4	0
Para que no se precipite en el medio extracelular	0	0	8	6	3	2	0



Intervalos de pH al cual son estables algunos quelatos.

	EDTA	EDDHA	Aminoácidos y ácidos orgánicos
Fe	1-6,5	3-10	1-6,5
Ca	6-10		1-6,5
Mg	6-10		1-6,5
Mn	4-10		1-6,5
Zn	5-10		1-6,5
Cu	1-10		1-6,5



Concentración óptima de microelementos en una solución nutritiva

Microelemento	Concentración (mg/L)
Mn	0,8
Cu	0,05
B	0,4
Fe	1,5-2,0
Zn	0,15-0,3
Mo	0,05



Peso de fertilizantes para preparar soluciones nutritivas

<i>Micronutrientes</i>			Peso del producto a disolver (g m ⁻³) para preparar 0.1mg L ⁻¹ del nutriente
Quelatos de Hierro	FeEDTA	Fe 13	0.77
	FeEDDHA	Fe 6	1.67
	FeEDDHMA	Fe 6	1.67
	FeDTPA	Fe 11	0.91
Sulfato Ferroso	FeSO ₄ 7H ₂ O	Fe 19	0.53
Acido Bórico	H ₃ BO ₃	B 17	0.59
Borax	Na ₂ B ₄ O ₇ 10 H ₂ O	B 11	0.91
Sulfato de Cobre	CuSO ₄ 5 H ₂ O	Cu 23	0.43
Quelato de cobre	CuEDTA	Cu 14,5	0.69
Sulfato de Manganeso	MnSO ₄ 3 H ₂ O	Mn 26	0.38
Cloruro de Manganeso	MnCl ₂	Mn 17	0.58
Quelato de manganeso	MnEDTA	Mn 14	0.71
Sulfato de zinc (monoh.)	ZnSO ₄ H ₂ O	Zn 35	0.29
Sulfato de zinc (pentahidratado)	ZnSO ₄ 7H ₂ O	Zn 22	0.45
Cloruro de zinc	ZnCl	Zn 45	0.22
Quelato de Zinc	ZnEDTA	Zn 14	0.71
Molibdato de sodio	Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O	Mo 39	0.25
Molibdato de amonio	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ 4H ₂ O.	Mo 54	0.19



Dosis de corrección microelementos aplicados en frutales (General)

Micro	Frutales g/m lineal
Boro(B)	0,5
Cobre(Cu)	0,5
Manganeso(Mn)	1,0
Zinc (Zn)	3,0
Molibdeno(Mo)	0,05

Hemos aprendido...

- Porque actualmente son más frecuentes la deficiencia de microelementos
- Dinámica en el suelo
- Movilidad dentro de la planta e implicancias prácticas
- Roles fisiológicos
- Condiciones de suelo asociadas a déficit
- Síntomas visuales de deficiencias
- Concentración crítica en el suelo y planta
- Fuentes y dosis en frutales

