

# Potasio

2010

Jorge Hernández  
Mónica Barbazán  
Carlos Perdomo

# Conceptos generales

- Nutriente esencial
- Símbolo químico: "K" del alemán Kali, a su vez del árabe al-qali
- "Potash" proviene de prácticas coloniales de quemar plantas en potes y obtener cenizas

# Absorción de nutrientes por diferentes cultivos

- El K es absorbido por las plantas en cantidades mucho mayores que otros nutrientes (excepto N).

Cultivo Cosecha de	Rend. Ton/Há	N P K Ca Mg S ----- Kgm/Há -----						Cu Mn Zn ----- gm/Há -----		
		Trigo Grano	2.7	56	13	14	1	7	3	33
Trigo restos	3.8	22	3	33	7	4	6	11	180	56
Maiz grano	9.5	150	27	37	2	9	11	66	100	170
Maiz restos	11.0	110	19	135	29	22	16	55	1700	330
Alfalfa Heno	10.0	200	20	170	125	24	31	66	500	470
Trébol rojo Heno	6.0	110	13	95	77	19	8	45	600	400
Caña de azúcar	75.0	110	27	250	31	26	26			
Papa Tubérculo	27.0	90	15	140	3	7	7	44	100	60
Tomate fruto	50.0	130	20	150	8	12	15	80	145	180
Uva	medios	110	15	110						
Naranja	medios	170	23	120						

# Generalidades

- K: uno de los elementos esenciales más abundantes de la corteza terrestre (K = 2.6% Ca= 3.6%).
- K no forma complejos orgánicos: dinámica inorgánica.
- Los suelos tienen grandes cantidades de K (mucho mayor que lo que absorben las plantas) pero sólo un pequeño % está disponible.
- La cantidad de K disponible en un suelo sin fertilizar depende de la cantidad y tipo de minerales potásicos y condiciones ambientales durante la formación del suelo.

# Formas de K en el suelo

- K mineral: 90 - 98% del K total
    - en estructura de minerales primarios (feldespatos micas)
    - no disponible para las plantas en un ciclo
  - K no intercambiable o fijado: 1 - 10% del K total
    - en intercapa de minerales secundarios: arcillas tipo micas
    - lentamente disponible
  - K intercambiable:
    - retenido electrostáticamente
  - K en solución:
    - ión  $K^+$
- } 0.1 – 2% del K total  
rápidamente disponible

# K en minerales primarios

- Feldespatos: microclina y ortoclasa ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ):  
14% K
  - El K se encuentra en la estructura de tetraedros
  - Partículas mayores que las de las micas (limo y arena)
  - Resistentes a la destrucción
  - Liberación de K de su estructura es muy lenta

# K en minerales primarios

- Micas: Muscovita y biotita



- El K estructural en intercapa

- El K es liberado más fácilmente de biotita que de muscovita

- Partículas más pequeñas, con > superficie específica y más fáciles de destruir

Tasa de meteorización:

biotita > muscovita > ortoclasa > microclina

# K en materiales de origen de suelos

■ Materiales de origen en Uruguay que dan lugar a suelos con altos contenidos de K:

- lodolitas de Formación Libertad
- limos de Formación Fray Bentos
- algunos materiales derivados de la alteración del basamento cristalino (granitos, gneisses)



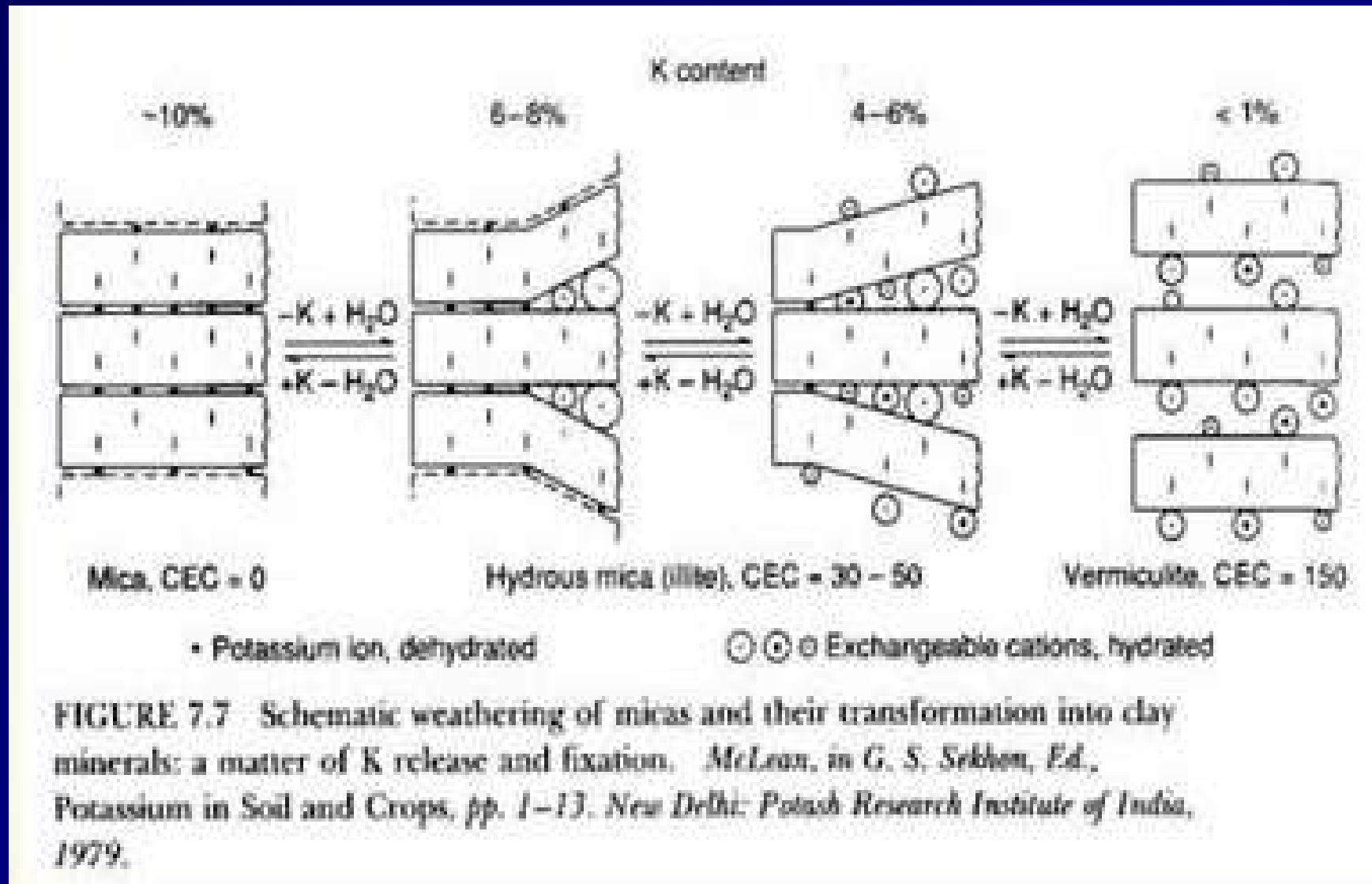
# K en minerales secundarios

- Minerales secundarios con K: algunas arcillas
  - Se formaron a partir de las micas y son llamados minerales “tipo mica” o mica hidratada o Illita -de Illinois (Grim, 1937), vermiculita, clorita, minerales interestratificados
  - Son la reserva más inmediata de K para las plantas
  - Tienen menos K que mica, y más agua

# Liberación de K a partir de una mica

- Eventos:
  - ganancia de agua
  - expansión de la estructura
  - aumento de la CIC
  - liberación de K

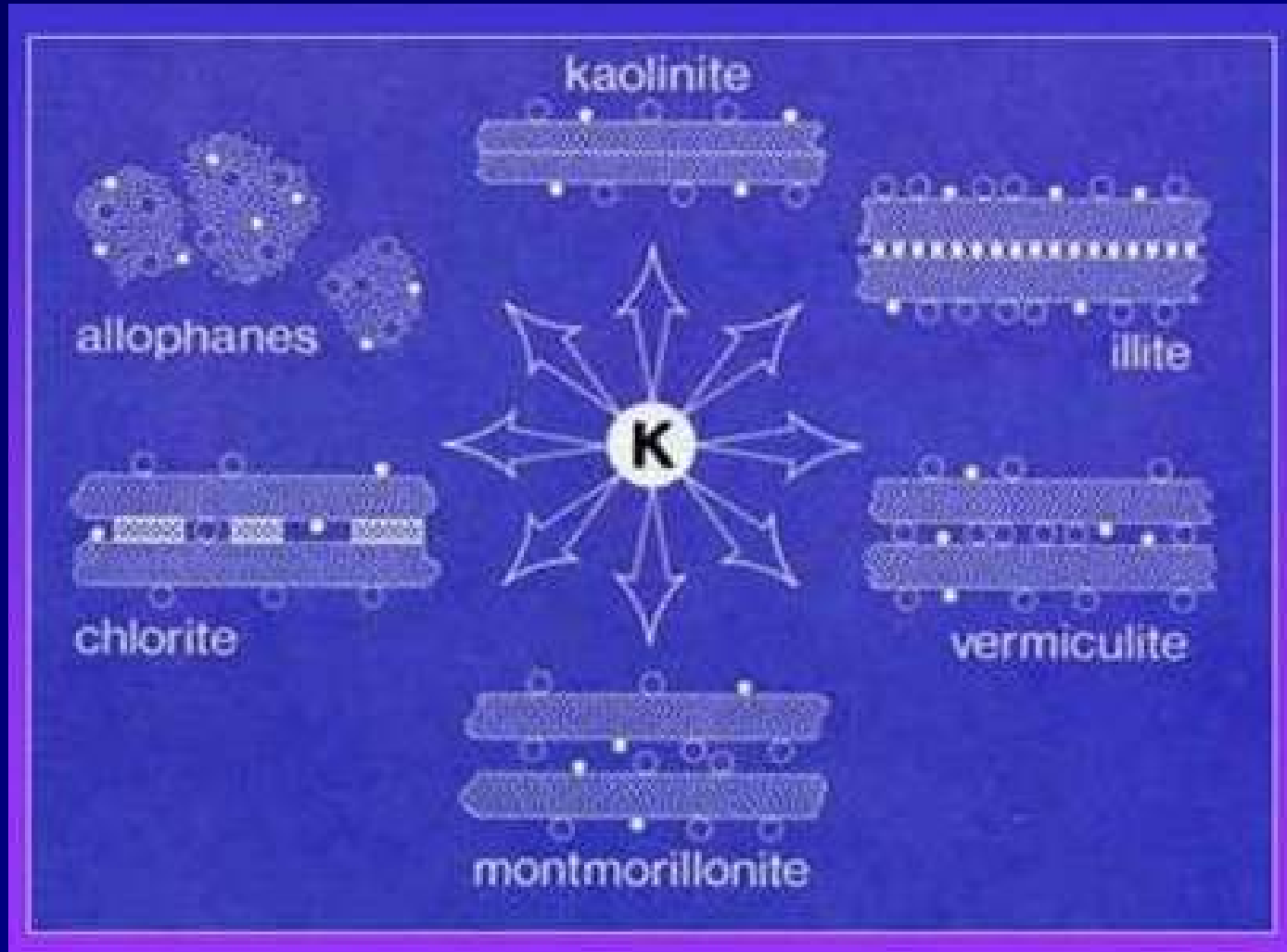
# Alteración de micas y transformación en minerales arcillosos



# Proceso de Fijación de potasio

- Es un proceso reversible y rápido que conserva el K, impide su lavado en regiones muy húmedas
- K agregado: es retenido en la intercapa de las micas hidratadas que perdieron K por meteorización
- Liberación y fijación de K pueden ocurrir simultáneamente en un suelo

# Tipo de minerales arcillosos



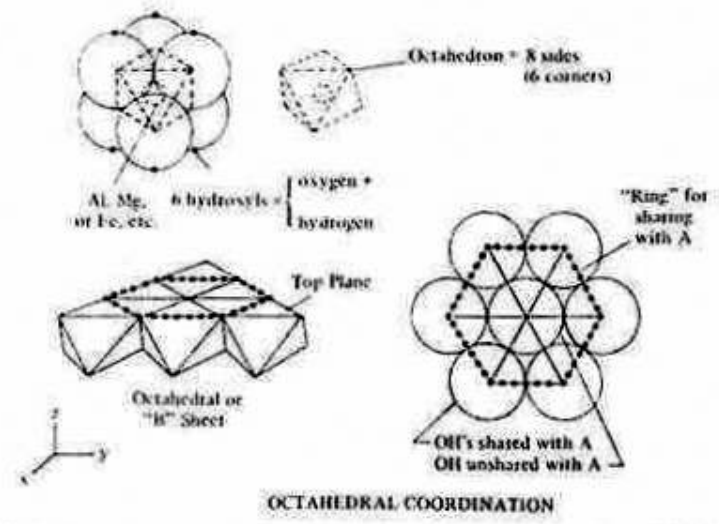
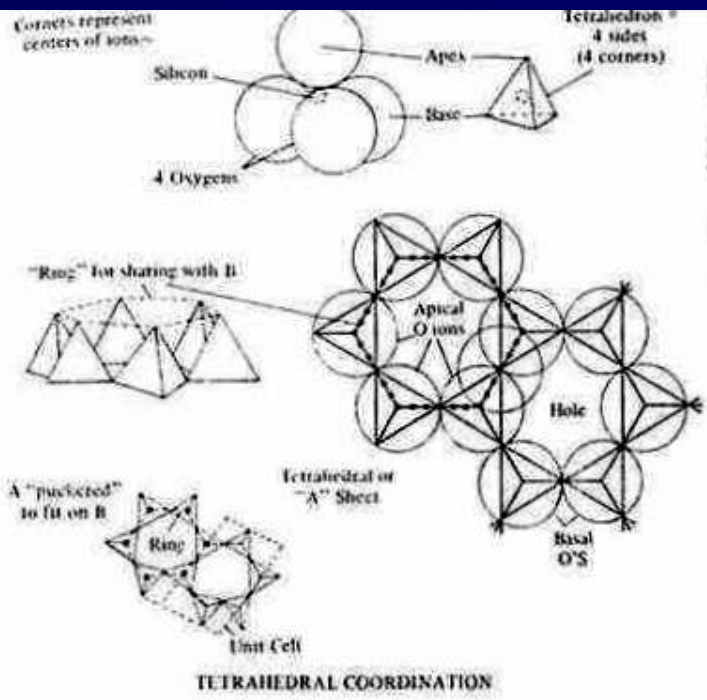


Fig. 4-3. Geometry of the A and B sheets in clays. [After Bradley and Grim in Brown (51)]

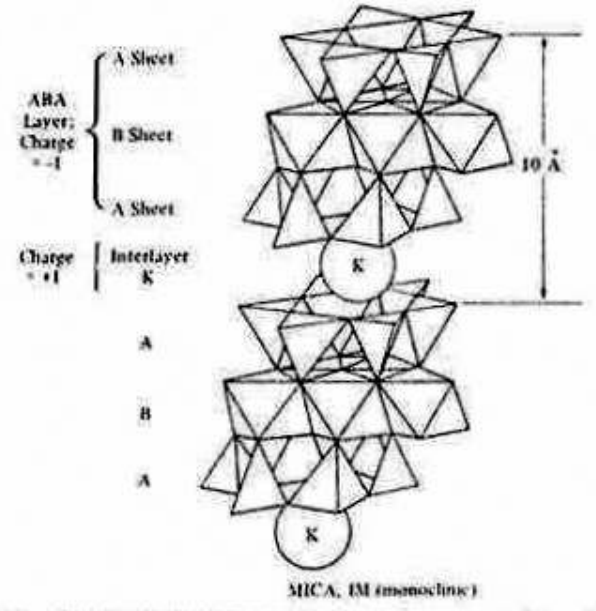
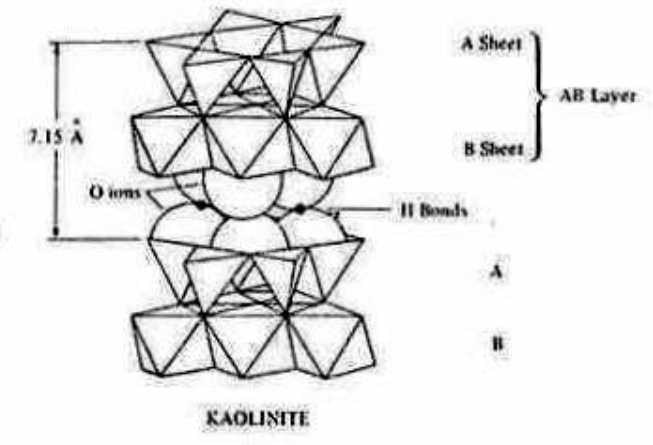


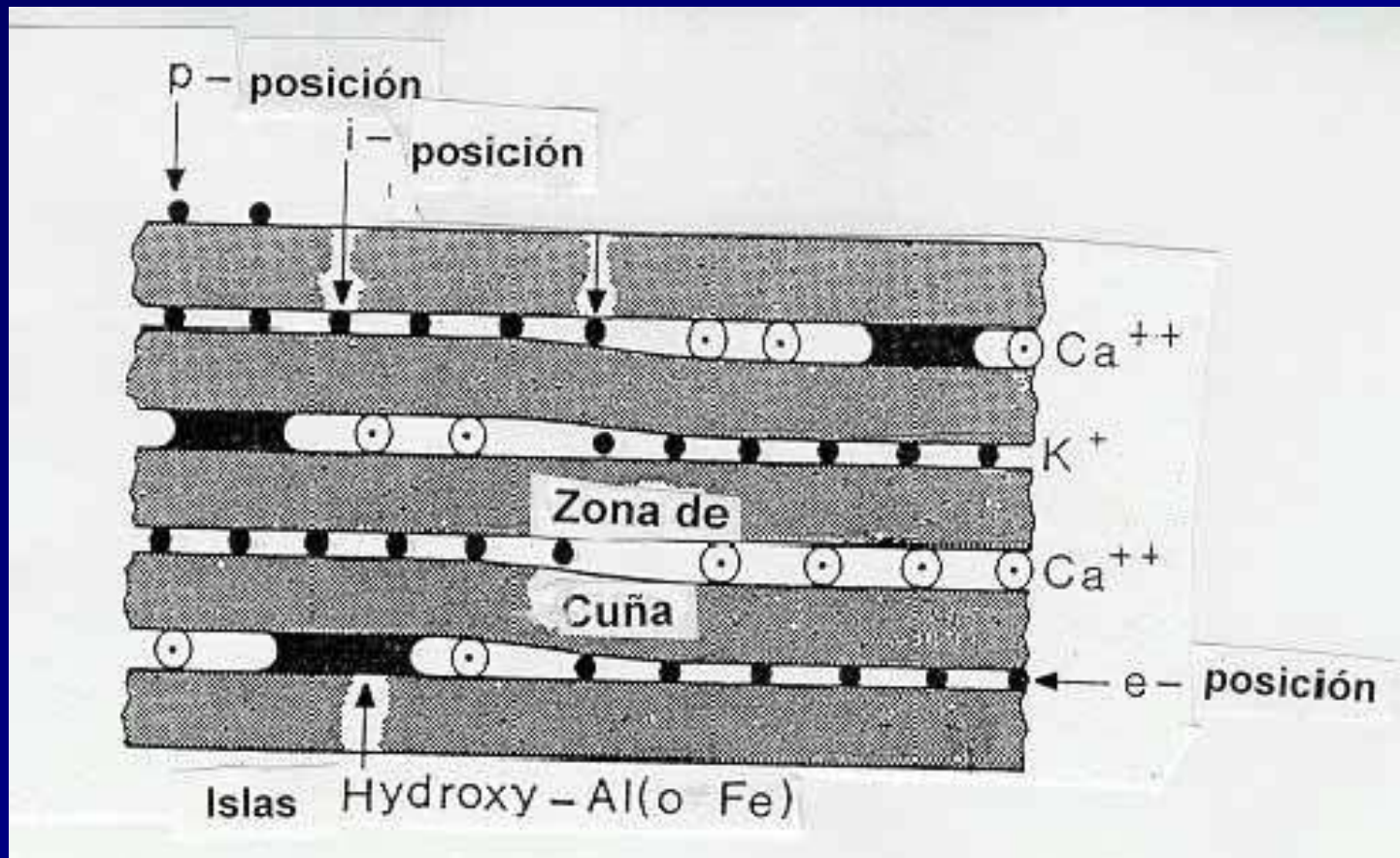
Fig. 4-4. (Top) An AB or 1:1 layer silicate, and (bottom), an ABA or 2:1 layer silicate. Note: Corners of polyhedra represent centers of ions.

# K intercambiable

- Es retenido por atracción electrostática
- Selección por el coloide:  $Al^{+3} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^{+} = NH_4^{+} > Na^{+}$
- Constituye menos del 1% del K total
- Mantiene en equilibrio con el K de la solución rápidamente
- K intercambiable y K en solución: son el K disponible
- Es lo que se determina por Análisis de suelo: índice de disponibilidad para plantas

# Sitios de retención bajo forma intercambiable

- K intercambiable: mantenido en el coloide por 3 tipos de sitios: planar, de borde e interior





# K en la solución

- K en solución: es de 1 - 3% del K intercambiable.
- La concentración de K en la solución varía según la absorción por los cultivos y a procesos de concentración y dilución de la solución (evaporación y lluvias)

Cación	Intercambiable -----cmol kg <sup>-1</sup> -----	Solución	% en solución respecto al contenido intercambiable
Calcio	34.4	0,175	0,5
Magnesio	7.8	0,074	0,9
Potasio	0.9	0,011	1,2
Sodio	0.5	0,016	3,1

# Disponibilidad del K en solución

- La planta absorbe K como  $K^+$  desde la solución
- La efectividad de K en solución para la absorción depende de la presencia de otros cationes:  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$ , (suelos muy ácidos  $Al^{+3}$  y suelos salinos  $Na^+$ )
- La disponibilidad instantánea de K está determinada por la relación entre su actividad y la de otros cationes en la solución

$$AR^K = \text{actividad de } K^+ / \sqrt{(\text{actividad de } Ca^{+2} + Mg^{+2})}$$

# Destino del K en solución

- K de la solución tiene varios caminos:
  - fijación en la intercapa
  - adsorción al complejo de intercambio
  - absorción por las plantas y microorganismos
  - retorno desde follaje a la solución del suelo
  - en regiones muy húmedas K se pierde por lavado

# Ciclo del K en el sistema suelo-planta

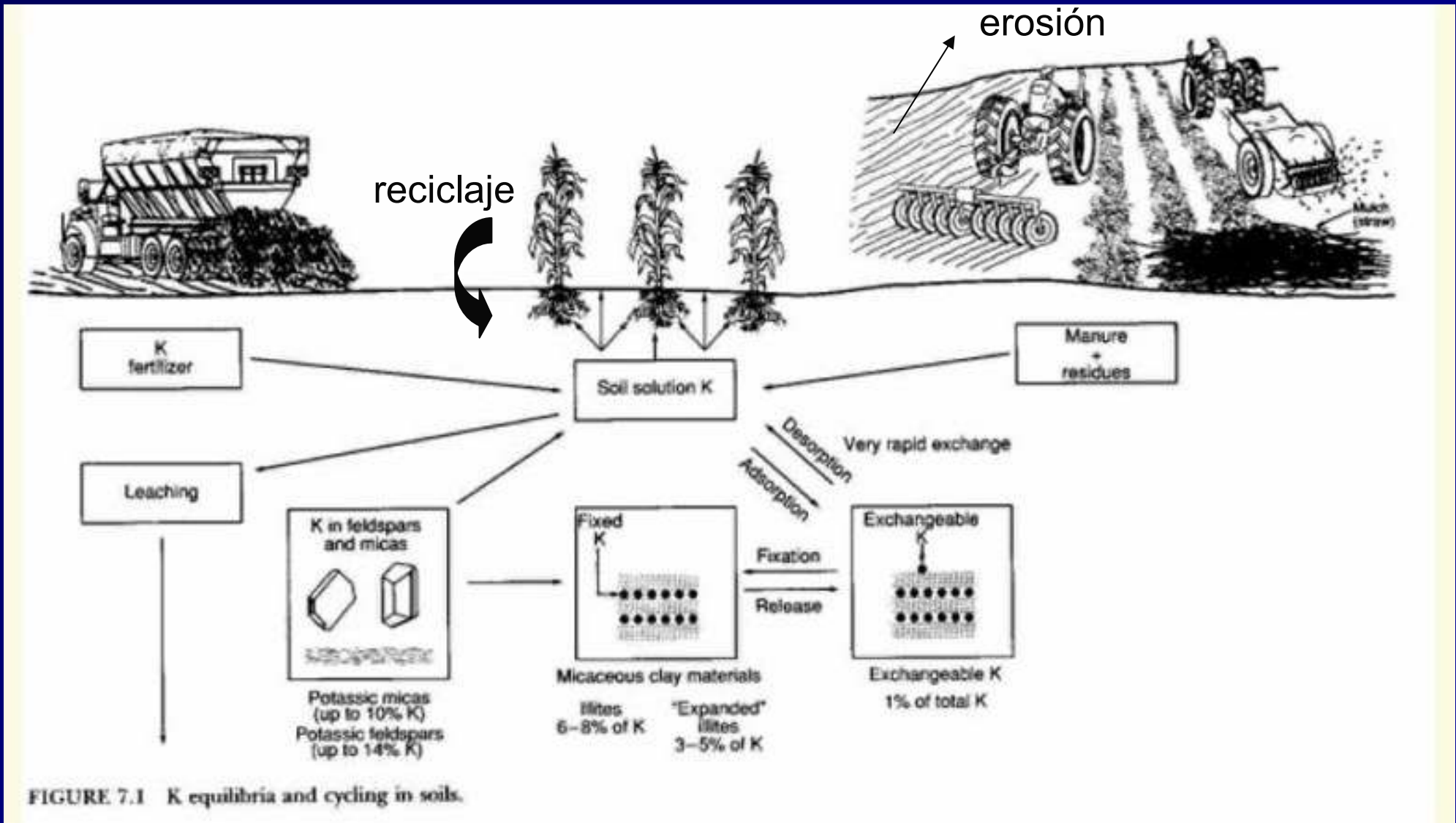


FIGURE 7.1 K equilibria and cycling in soils.

# Concentración de K en suelos de Uruguay

	K Int.	K no int.	K total	Textura	Miner. Fracc. Arcilla
	--- meq/100 g ---				
Brunosol C. Palma	0,11	0,13	1,47	FAcAr	s
Acrisol Tacuarembó	0,16	0,22	2,11	ArF	c
Argisol Salto	0,19	0,29	1,60	ArF	s - c
Vertisol Itapebí-T.A.	0,36	0,52	4,54	AcL	s
Argisol Algorta	0,39	0,21	1,85	ArF	s
Brunosol S.Gabriel-G	0,45	3,35	15,99	F	m
Brunosol Toledo	0,87	2,19	15,35	FAcL	m
Brunosol Bequeló	1,50	2,50	17,58	FAcL	s - m

Mineralogía Fr. Arcilla: s: smectita; m: mica; c: caolinita

Smectita: montmorillonita, mica: illita

Hernández, 1988

# Factores que afectan la disponibilidad de K

- Tipo de arcilla y cantidad de arcilla
- CIC
- Cantidad de K intercambiable
- Capacidad de fijar K
- K en subsuelo y desarrollo radicular
- Humedad del suelo
- Temperatura del suelo
- Aireación del suelo
- pH suelo
- Ca y Mg
- Otros

# Contenido y tipo de arcilla

## ■ Contenido de arcilla

- Altos contenidos de arcilla: mayores posiciones de intercambio

## ■ Tipo de mineral arcilloso: 2:1

- mayores posiciones de intercambio
- mayor energía de retención del ión  $K^+$
- pueden presentar sitios específicos de retención de K
- equilibrio más fuertemente desplazado hacia la fase intercambiable

# Capacidad de Intercambio Catiónico

- en gral, más contenido de arcilla implica mayor CIC
- no siempre mayor CIC implica mayor contenido de K. Depende del tipo de arcilla.



# Contenido y tipo de arcilla

Suelo	Arcilla	Mineral arcilloso dominante	CIC	K int	K sol
Unidad	%			meq/100g	meq L <sup>-1</sup>
<b>Acrisol</b>					
Tacuarembó	10,3	Caolinita	4,5	0,16	2,07
<b>Brunosol</b>					
Toledo	32,7	Illita	17,5	0,89	0,60
<b>Vertisol</b>					
Itapebí	38,9	Montmor.	33,2	0,36	0,24
<b>Argisol</b>					
Salto	8,6	Montmor. Caolinita	3,7	0,19	0,31

K no intercambiable: 0.13 - 3.35 meq/100g

K intercambiable: 0.11-1.5 meq/100g

K solución: 0.0038-0.311 meq/100g

# Otros factores

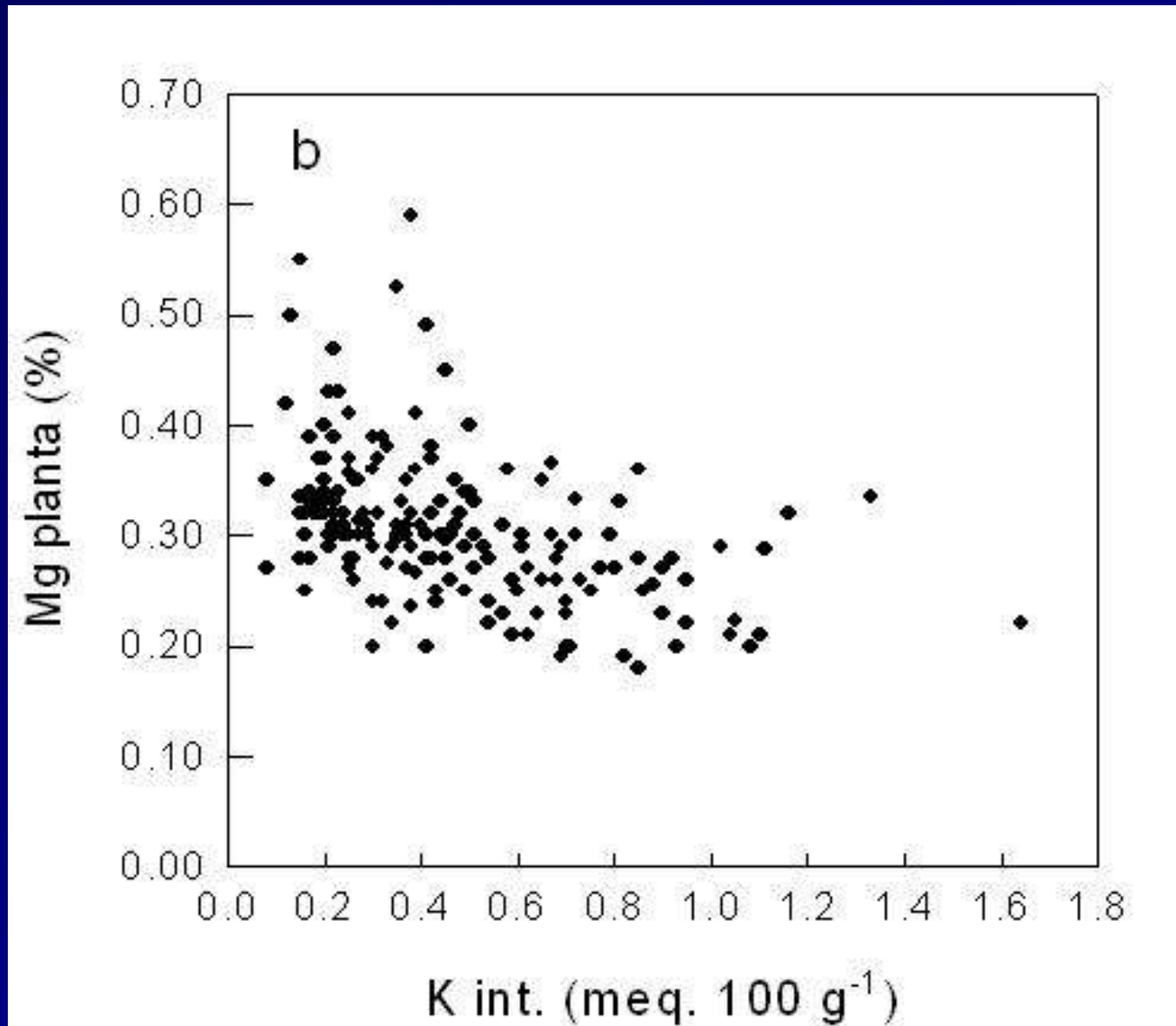
- Capacidad de fijar K
- K en subsuelo y profundidad de enraizamiento
- Humedad del suelo: afecta difusión
- Temperatura del suelo: afecta actividad de raíces y difusión del K en el suelo
- Aireación del suelo: porosidad y compactación vs abs. K

# Efecto del pH del suelo

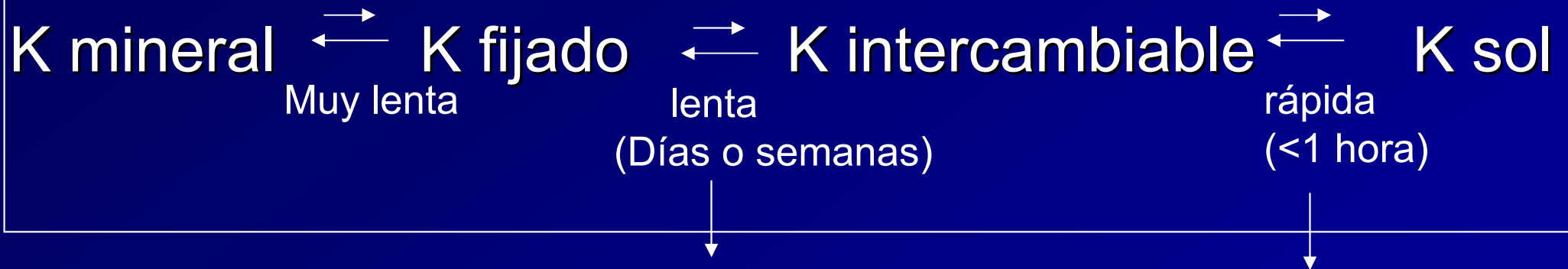
Encalado de suelos: efecto poco claro en los cambios del K intercambiable:

- Aumentos pueden ser explicadas por:
  - aumento de las posiciones de intercambio
  - mejor competencia con el Ca que con el Al
- Disminuciones pueden ser explicadas por:
  - precipitación de polímeros de Al, impidiendo salida del K de la estructura
  - por efecto del ión complementario, tendería a salir K del complejo

# Competencia de otros iones



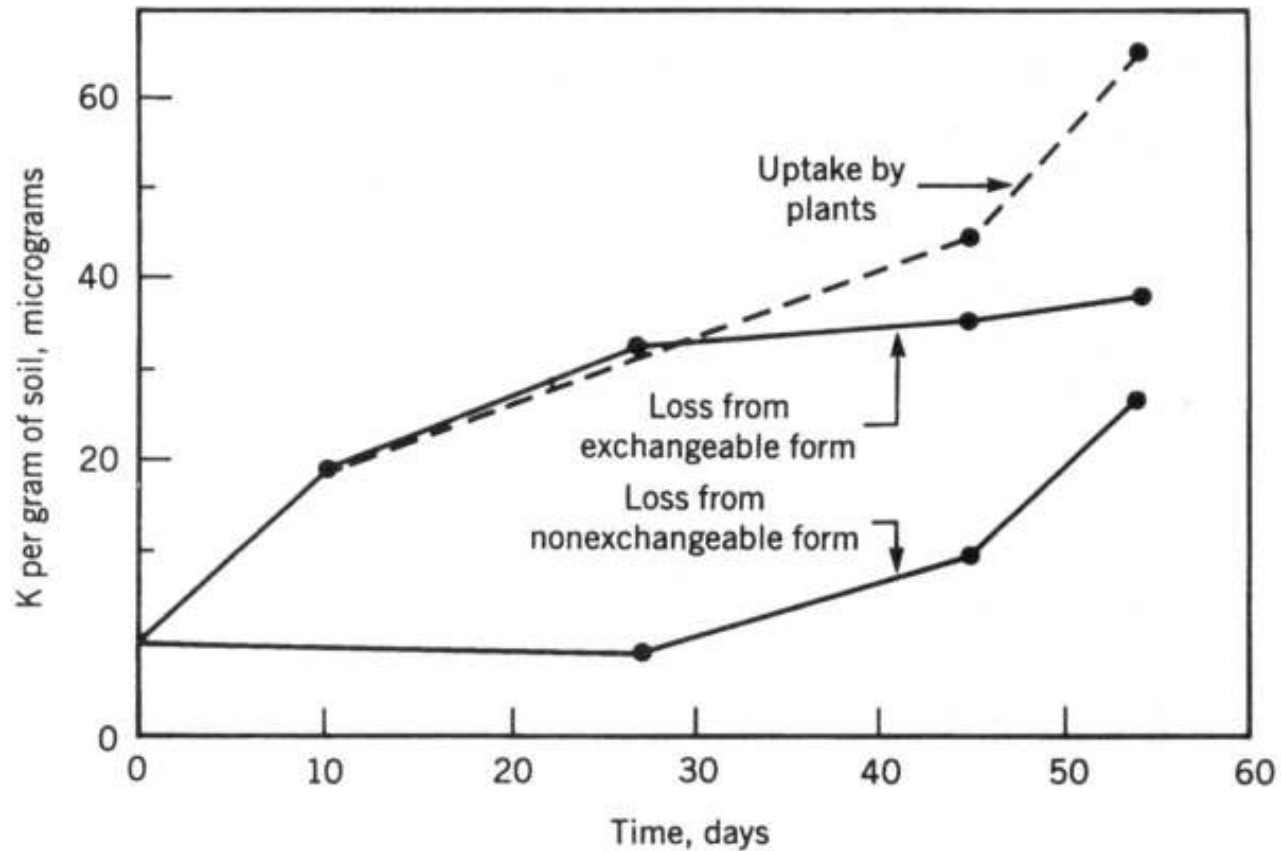
# Tiempo de equilibrio



- Altos contenidos de Arcillas
- Arcillas expansivas
- $\text{NH}_4^+$
- Polímeros de Al
- Humedecimiento y secado

- Actividad de cationes en sol  
 $AR_K = \text{act K}^+ / \sqrt{(\text{act Ca} + \text{Mg})}$
- Suelos con similares  $AR_K$  pueden tener distinta capacidad de mantener esa relación: capacidad buffer

# Absorción de K vs. K del suelo



**Figure 8.7** Uptake of potassium from 1 kg of loam soil by six corn plants in the greenhouse and loss of potassium from exchangeable and nonexchangeable forms in the soil. (From *Soil-Plant Relationships*, 2nd ed., C. A. Black, © 1968. Reprinted by permission of John Wiley & Sons.)

# Poder buffer

- El poder buffer es una medida de capacidad del suelo de mantener la intensidad del K (K en solución).
- Alto PB: buen suministro de K a lo largo del tiempo
- Bajo PB: pequeños cambios en K intercambiable producen grandes cambios de K en solución: suelos de textura arenosa

# Relaciones K intercambiable – K solución

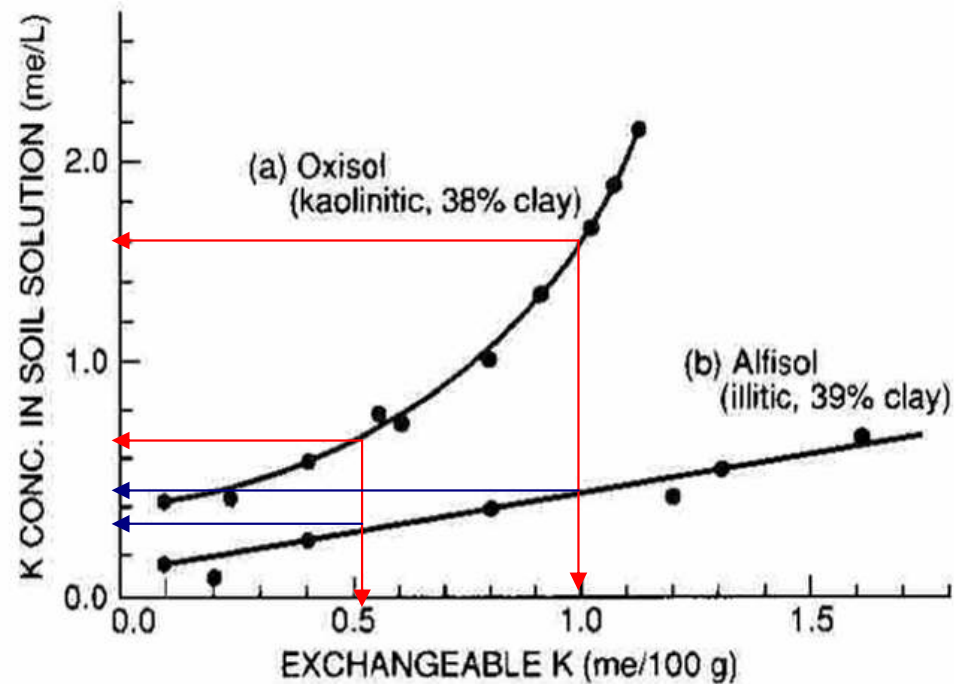


FIGURE 7.4 Relationship between exchangeable K and K concentration in the soil solution of two soils with the same clay content but different clay mineralogy. The steeper slope of the kaolinitic soil indicates less buffer capacity. *Nemeth, unpublished.*

- Para igual contenido de arcilla, caolinita presenta menor energía de retención y no tiene sitios específicos de retención, por lo cual la concentración de K en solución es mayor.



# Factores de planta afectando la disponibilidad de K

- Tipo de cultivo y nivel de extracción
- Rendimiento
- Sistema de producción
- Sistema radicular y cultivo
- Híbrido o variedad: parcialmente genético
- Población y espaciamiento
- Tiempo: número de cultivos, intensidad

# Cultivo y extracción de K

Cultivo	Rendimiento ton/ha	Extracción kg/há
Campo Natural	2,5	(32)
Alfalfa (3 años)	15	322
Sorgo Forrajero	10	208
Maíz Silo	20	288
Grano	10	33
Trigo	3	12
Caña de azúcar	100	280
Papa	20	150

# Nivel de rendimiento

Rend. papa Kg/Há	K Extraído Kg/Há
20.000	180
25.000	200
30.000	270

# Sistema de producción

- Exportación del sistema:
  - en cultivos: parte cosechada (ej. Maíz para ensilar o para producción de grano)
  - en pasturas: para pastoreo o para enfardar
- Transferencia dentro del sistema:
  - deyecciones dentro del potrero
  - deyecciones fuera del potrero (cerca de salas de ordeño)

# Población y espaciamiento

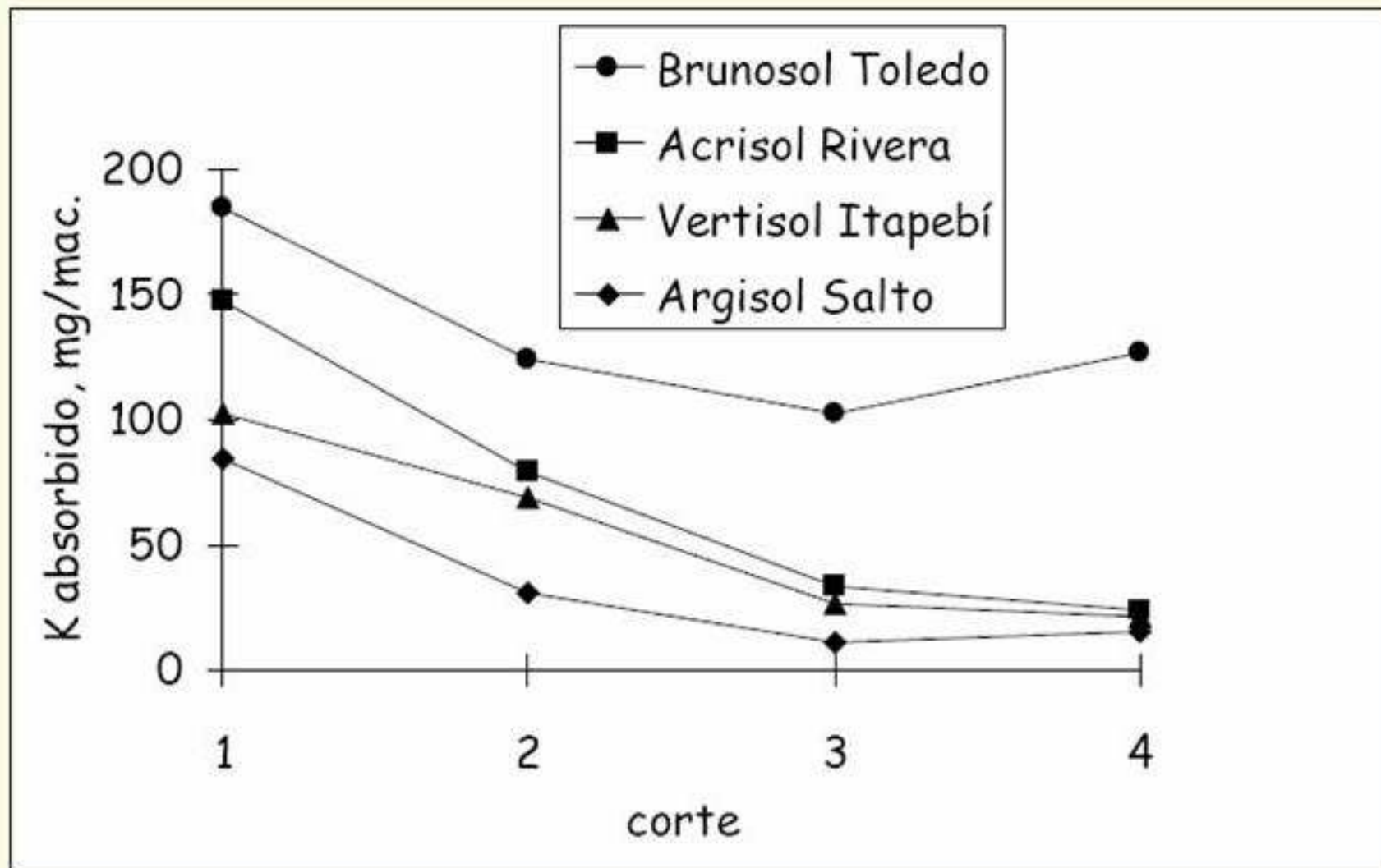
## ■ Densidad de plantas y espaciado vs dosis

A mayor densidad de raíces mayor exploración de suelo y utilización del K del suelo

Si la mayor población se traduce en mayor rendimiento hay mayor extracción

En esas condiciones va a ser necesario incrementar la dosis

# Factor tiempo: Sucesión de ciclos con alta extracción



# Sistema radicular y cultivo

## Especie

TABLE 7.9 K Absorption Properties of Corn, Onion, and Wheat

<i>Parameter</i>	<i>Maize</i> <i>(16 days)</i>	<i>Onion</i> <i>(20 days)</i>	<i>Wheat</i> <i>(15 days)</i>
Maximum influx, $I_{\max}$ [pmol/(cm · sec)]	4.07	3.97	2.93
Average influx, $I_n$ [pmol/(cm · sec)]	1.42	0.53	0.33
Absorption cylinder (mm <sup>2</sup> )	2.00	0.18	1.50
Depletion zone (mm)	11.00	7.00	7.00

SOURCE: Baligar and Barber, *11th Congr. Int. Soc. Soil Sci. Abstr.*, 1:309 (1978).

# Diferencias entre especies

## ■ CIC de la raíz

- A mayor CIC menor absorción de  $K^+$  (mas de  $Ca^{2+}$ )
  - (gramíneas vs leguminosas)
- Cuanto más ramificada la raíz más absorción de K
  - (gramíneas vs leguminosas)
- leer



# Híbrido o variedad

## ■ parcialmente genético

TABLE 7.10 Capacities of Barley Cultivars to Respond to K

<i>Cultivar</i>	<i>Fresh Weight in Grams of Plant with a Nutrient Solution of K Concentration (<math>\mu\text{M}</math>):</i>				
	<i>0.1</i>	<i>1.0</i>	<i>10</i>	<i>100</i>	<i>500</i>
Herta	0.256	0.294	0.287	0.474	1.121
Fergus	0.227	0.278	0.256	0.494	1.116
Carlsberg	0.236	0.209	0.227	0.379	0.987
Olli	0.130	0.189	0.208	0.547	0.946
Conquest	0.143	0.139	0.180	0.408	0.820

SOURCE: Glass and Perley, *Plant Physiol.*, **65**:160 (1980).

# Factor tiempo: absorción durante un ciclo de crecimiento

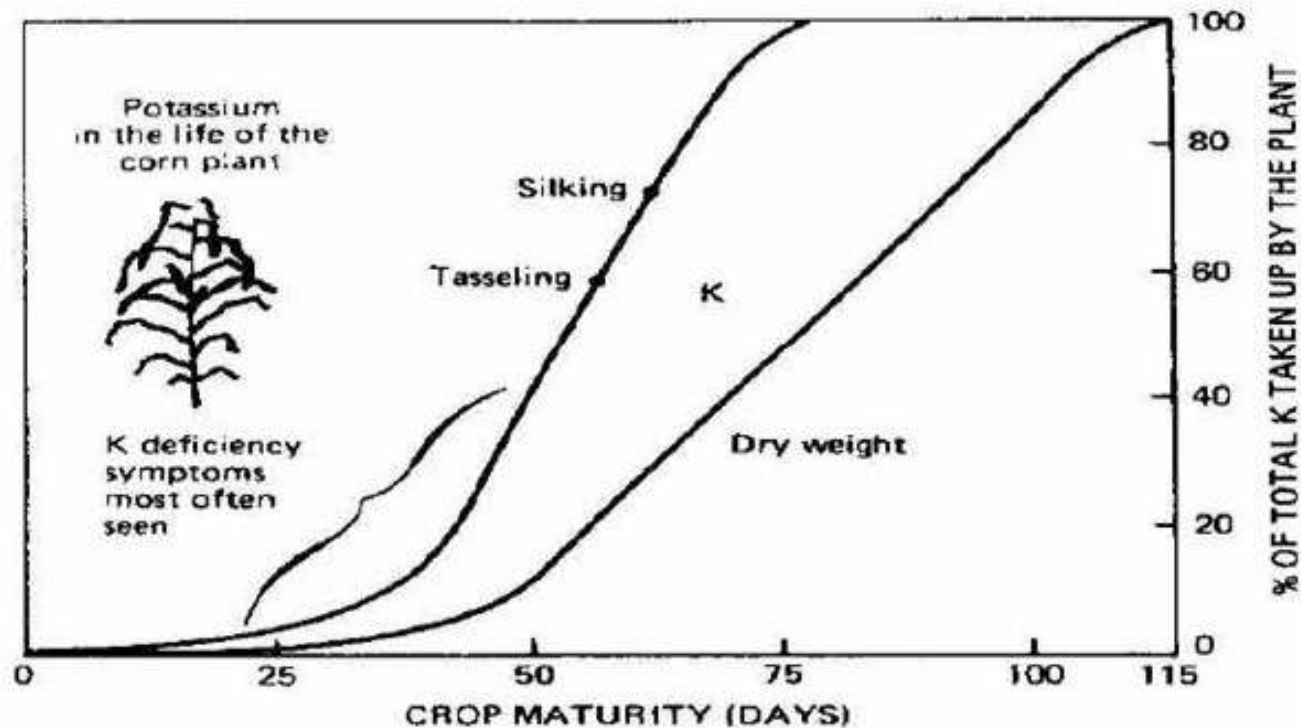


FIGURE 7.21 K is taken up rapidly early in the life of the corn plant. Aldrich et al., *Modern Corn Production*, 2nd ed. A. & L. Publications, Champaign, Ill., 1975.

# Sistema radicular y cultivo

Cultivo	Días necesarios para absorber el 50% del K
Sorgo	45
Maíz	50
Soja	80

# Funciones de K en las plantas

- K en plantas: 1- 4% de K (10 – 40 g kg<sup>-1</sup>)
- Absorción de K: Flujo masal y difusión (88-96%).
- No forma compuestos orgánicos dentro de la planta
- Activador de enzimas.
  - **Metabolismo energético: Enzimas activadas por K participan en la producción de ATP (fuente de energía de la planta)**
  - **Degradación de azúcares**
  - **Síntesis de almidón**
  - **Reducción de NO<sub>3</sub> y Síntesis de proteínas**
  - **Fotosíntesis (> asimilación de CO<sub>2</sub> con > K)**
- Transporte de fosfatos, nitratos, Ca y Mg a través del xilema y de azúcares a través del floema
- Regula la apertura y cerrado de los estomas
- En las raíces produce una gradiente de presión osmótica que lleva el agua dentro de la planta
- La deficiencia de K restringe el crecimiento de las raíces, particularmente las laterales
- El K prolonga el período de llenado de grano o fruta

# La adecuada nutrición con K mejora la calidad de los cultivos

- *Mejora la calidad física*
- *Incrementa la resistencia a enfermedades*
- *Duración en poscosecha de frutas y hortalizas*
- *Incremento de proteína en los cultivos*

• Síntomas de deficiencia: Hojas viejas: K es móvil dentro de la planta.



Síntomas clorosis y necrosis en bordes de hojas (maíz).



**Quemado de los filos y puntas de las hojas viejas**

# Deficiencias de K en soja y maíz



*Barbazán, 2007*

# Deficiencias de K en cebada y maíz



*Bautes et al, 2008*



# Fertilizantes potásicos

- Depósitos de sales en el mundo: como KCl (muriato de K) y se encuentran en Canadá, Rusia y Bielorrusia, Europa Occidental, Israel y Jordania
- Característica general de las fuentes: solubilidad
- Expresión del contenido de K en fertilizantes:  
 $\%K_2O$
- $\% K = 0.83 \times \%K_2O$
- $\%K_2O = 1.2 \times \%K$

# Fertilizantes potásicos

Fertilizante potásico	Contenido de $K_2O$ (%)	Otros nutrientes	Características
KCl* (Muriato de potasio, de ácido muriático ó HCl)	60		Soluble, + usado, efecto salino. Color naranja o blanco
$K_2SO_4$	50	17% S	Uso en cultivos sensibles a $Cl^-$
$K_2SO_4 \cdot MgSO_4$	22	11%Mg, 22%S	Menos soluble que KCl en fertirriego
$KNO_3$	44	13%N	Alto costo Fertirrigación
Fosfato de K	30-58	30-60% $P_2O_5$	No tiene efecto salino, solubilidad controlada

# K en enmiendas: estiércol

- Estiércol: según tipo y manejo del estiércol
  - Bovino: 0.45%  $K_2O$  (orina)
  - Ave: 2%  $K_2O$

# Usos de K en Uruguay

- **Históricamente se fertilizó con N y P**
  - sistemas eran poco demandantes en K (por bajos rendimientos)
  - suelos tenían altos niveles naturales de K
- **Actualmente:**
  - agricultura más intensiva
  - cultivos más extractivos
  - expansión de agricultura a suelos marginales

# Respuesta de cultivos al agregado de K en Uruguay

- Situaciones de clara respuesta a la fertilización con K: invernáculo, citrus, caña de azúcar, tabaco
- Alguna respuesta: papa, viña
- Alfalfa para fardos, maíz para silo: monitorear

# Dosis de fertilizante a agregar

## ■ Criterios:

- tipo de cultivo
- nivel de extracción
- sistema de producción

## ■ Herramientas a usar:

- Análisis de suelos: K int (acetato de  $\text{NH}_4^+$ )
- Textura, tipo de arcilla
- Análisis de planta

# Criterios para decidir la dosis

- Cultivos extensivos

  - Análisis de suelo

- Cultivos intensivos (invernáculo)

  - Extracciones por cosecha

- Frutales

  - Análisis foliar

  - Análisis de suelo?

# Recomendaciones para cultivos intensivos: cebolla

K intercamb. meq/100 g	Textura Liviana	Textura Pesada	
	Kg K <sub>2</sub> O/Há		
< 0,10	140 - 160	-	
0,10 - 0,15	120 - 140	-	
0,15 - 0,20	80 - 100	100	- 120
0,20 - 0,25	40 - 60	80	- 100
0,25 - 0,30	0 - 0	40	- 60
> 0,30	0 - 0	0	- 0

**Moltini, Zamalvide, Genta (1997)**



# Niveles críticos tentativos para cultivos extensivos

- texturas livianas: 0.15 meq/100 g suelo
- texturas medias a pesadas: 0.25 meq/100 g suelo
- No se han establecido diferencias de N.C. entre cultivos anuales ?

# Aumento del valor de análisis de suelo por fertilización

- Para aumentar 0.10 meq K/100g en los primeros 20 cm de suelo se requiere 117 kg K<sub>2</sub>O/ ha
- Este sería el valor del “equivalente fertilizante” ó Eq.K

0.1 meq K/100 g: 1 meq K/ 1kg suelo: 39 mg K / 1 kg suelo  
1 ha de suelo de 0 a 20 cm pesa 2.500.000 kg  
 $0,000039 \text{ kg K} \times 2.500.000 \text{ kg} = 97,5 \text{ kg K / ha}$   
 $97,5 \text{ kg K} \times 1,2 \text{ kg K}_2\text{O} = 117 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$

- Limitantes de este criterio:
  - no considera capacidad de fijar K
  - Profundidad de aplicación y localización

# Dosis a agregar

- Dosis (kg/ha  $K_2O$ ) = (K suelo-Niv. Critico) \* Eq. K
- Unidades:
  - K suelo y Niv. Critico: meq K/100 g
  - Eq. K: kg/ha  $K_2O$ /meq K/100 g
  - EL valor de Eq. K debe determinarse para cada suelo
- Luego pasar a dosis de Fertilizante
  - Ej.: kg/ha KCl = kg/ha  $K_2O$  / 0,60

# Análisis de planta

## ■ HORTICULTURA

- Utilidad: restringida, por ser cultivos de ciclo corto

## ■ FRUTICULTURA

- principal herramienta de diagnóstico de deficiencia

# Decisiones a tomar después de ajustar la dosis de K a aplicar

- Forma de aplicación
- Momento de aplicación
- Frecuencia de aplicación
- Fuente a utilizar

FIN