

# **ACIDEZ DE SUELOS Y ENCALADO**

---

**Amabelia del Pino**

# BIBLIOGRAFIA

- **Acidez y encalado en suelos del Uruguay. Omar Casanova. Facultad de Agronomía. Montevideo-Uruguay. 1999**
- **Soil acidity and liming. (2nd. ed) Fred Adams (Ed). ASA-CSSA-SSA. Madison, Wisconsin. 1984.**

# CONCEPTOS BÁSICOS

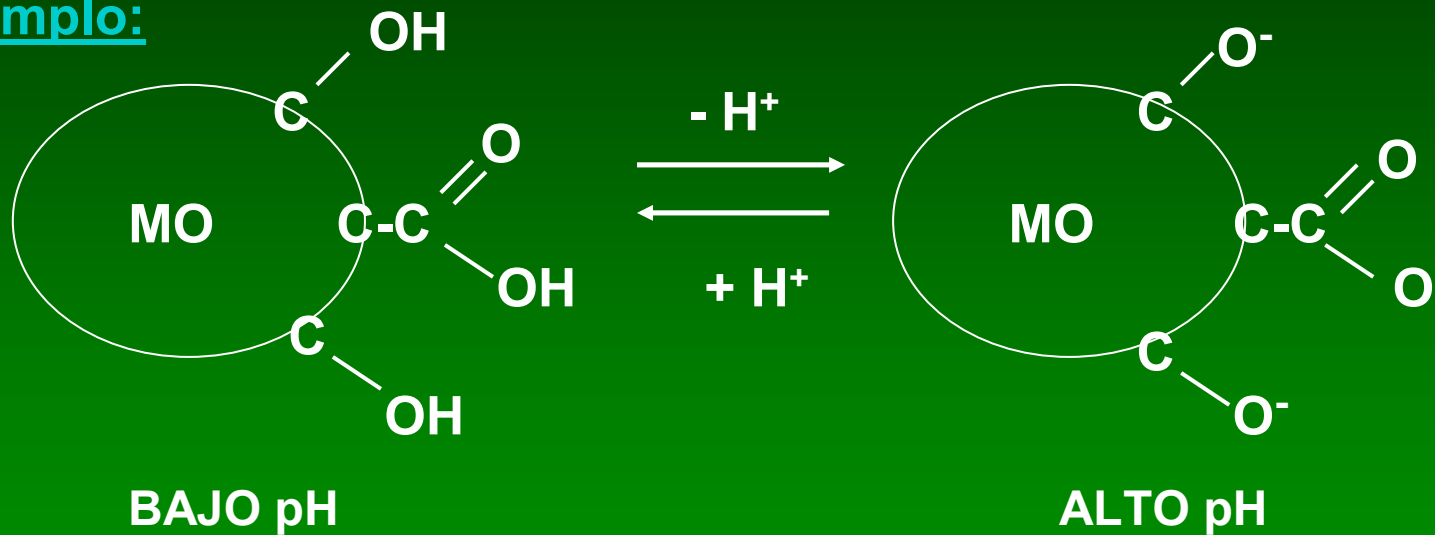
## CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

- Los coloides del suelo (arcilla, materia orgánica, óxidos e hidróxidos de Fe y Al) están cargados eléctricamente
- Estas cargas son: 1) permanentes  
2) dependientes del pH

- Cargas permanentes son debidas a sustituciones isomórficas en minerales arcillosos, la carga neta es negativa

- Cargas dependientes del pH se deben a la disociación de H de grupos funcionales de la materia orgánica así como de óxidos e hidróxidos de Fe y Al.

Ejemplo:



A pH bajo estos compuestos no tienen carga

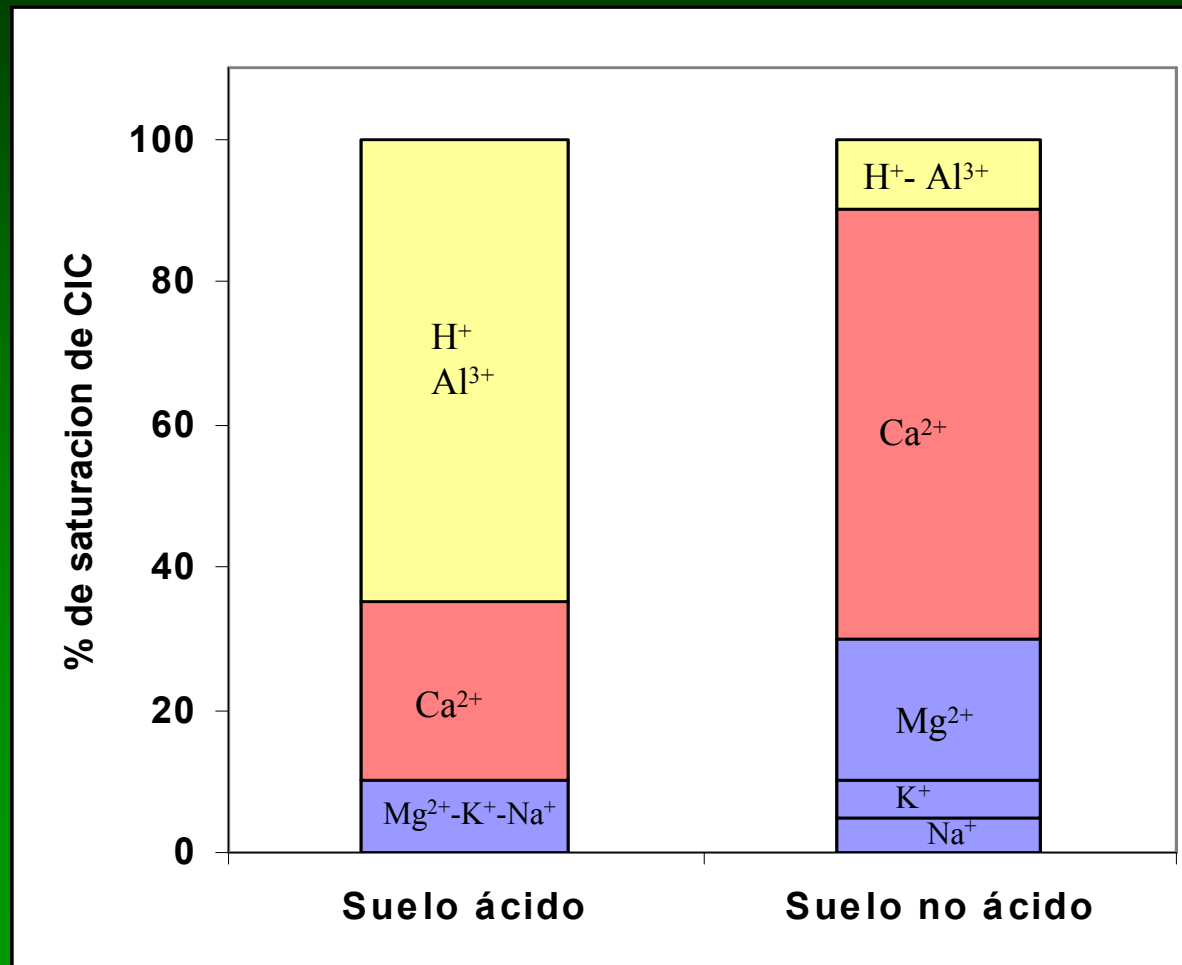
Al subir el pH estos compuestos tienen cargas negativas: Aumenta la CIC

# CONCEPTOS BÁSICOS

## CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

- Los coloides del suelo (arcilla, materia orgánica, óxidos e hidróxidos de Fe y Al) están cargados eléctricamente
- Estas cargas son:
  - 1) permanentes
  - 2) dependientes del pH
- Generalmente la carga neta es negativa, por lo que los coloides del suelo retienen cationes.
- La CIC es la cuantificación de la capacidad del suelo de retener cationes.
- Las posiciones de intercambio están ocupadas por:
  - Bases:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$
  - $\text{H}^{+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$
- En Uruguay la CIC se expresa como meq/100 g de suelo ó  $\text{cmol}_c/\text{kg}$

- Los suelos no ácidos tienen la mayor parte de las posiciones de intercambio ocupadas por bases
- Cuanto más ácidos son los suelos una mayor proporción de las posiciones de intercambio están ocupadas por  $H^+$  y  $Al^{3+}$



Adaptado de McLaren y Cameron, 1998

# ACIDEZ DE SUELOS

- Se refiere a la concentración de  $H^+$  en la solución del suelo
- Se mide como  $pH = -\log_{10} [H^+]$
- Está inversamente relacionado a la conc. de bases
- El pH de los suelos varía generalmente de 4 a 9
- En Uruguay la mayoría de los suelos son ligeramente ácidos
- Los suelos están buffereados contra los cambios de pH.
- El poder buffer de los suelos está generalmente relacionado al contenido de coloides (CIC)

# Origen de la acidez

- Lixiviación de bases
- Formación de ácidos solubles como ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) y otros ácidos producto de la acción de microorganismos
- Liberación de  $\text{H}^+$  por las raíces de las plantas al absorber bases.
- Disociación de  $\text{H}^+$  por los coloides del suelo
- Hidrólisis del Al durante la meteorización de aluminosilicatos.



# Hidrólisis del aluminio

- El  $\text{Al}^{3+}$  tiene la capacidad de hidrolizarse, produciendo  $\text{H}^+$  según las siguientes reacciones:



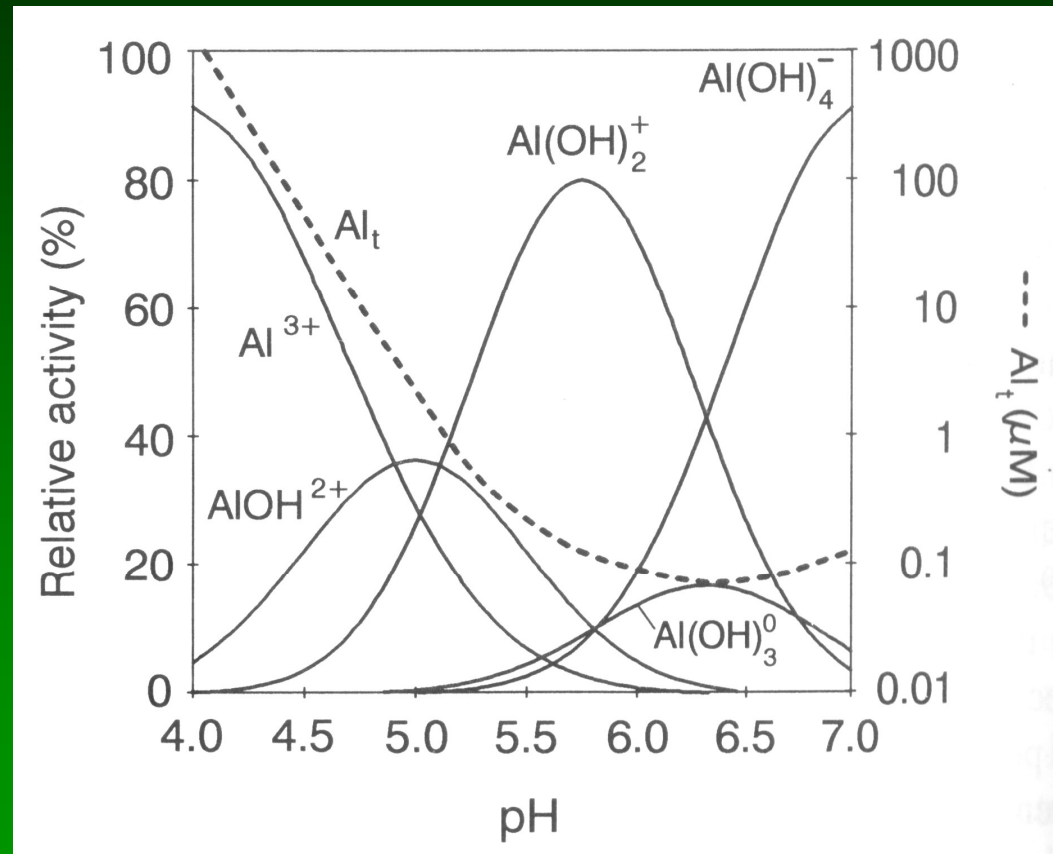
Estas reacciones se producen si existen fuentes de  $\text{OH}^-$  en el suelo que neutralicen los  $\text{H}^+$  liberados.

- $\text{Al}^{3+}$  predomina en suelos con  $\text{pH} < 5$
- $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  y  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  predominan en suelos con  $\text{pH} 5 - 6$
- La forma  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  puede existir en suelos con  $\text{pH} > 8$
- La hidrólisis del Fe es un proceso similar

## ALUMINIO COMO CATION INTERCAMBIABLE

- **En suelos ácidos el Al es el catión predominante**
- **No solo es importante la cantidad absoluta sino la proporción en el total del complejo de intercambio (suma de bases, Al, Mn, Fe)**

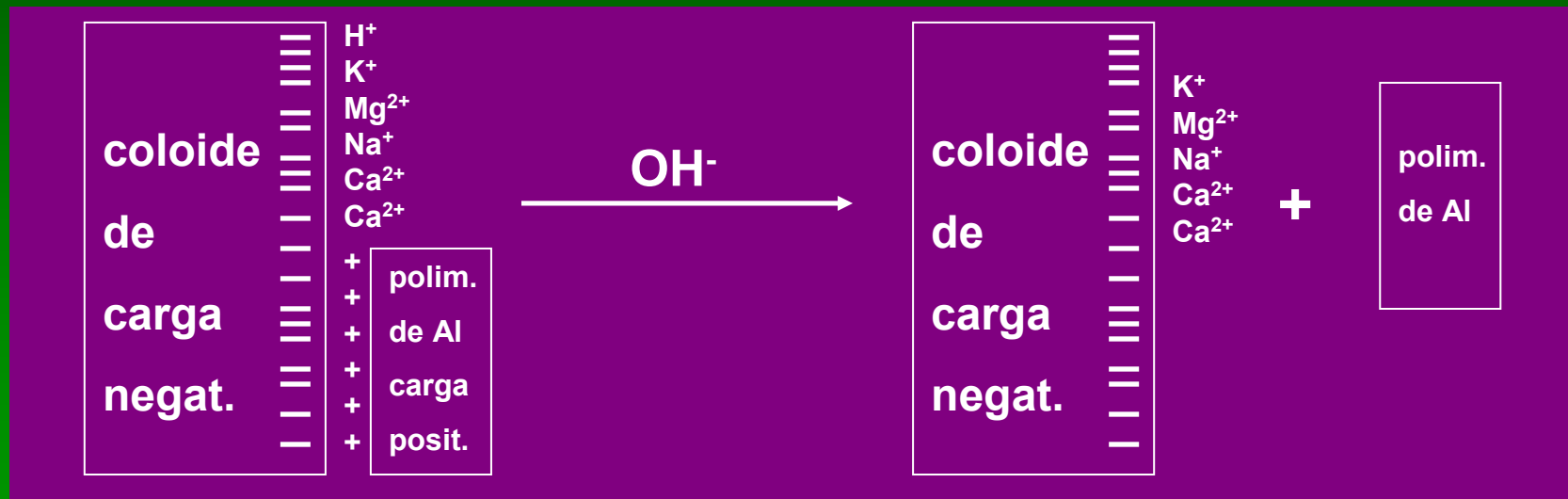
# SOLUBILIDAD DE LAS DIFERENTES FORMAS DE ALUMINIO DE ACUERDO AL pH DEL SUELO



Actividad relativa de especies monomoleculares de Al y concentración total de Al (línea punteada) como función del pH (Kinraide, 1991)

## Polímeros de aluminio: $[Al(OH)_n]^{m+}$

- Los hidróxidos de Al forman polímeros cargados (+) que bloquean cargas (-) de los coloides
- Sus cargas son dependientes del pH. Si el pH aumenta liberan posiciones de intercambio
- Por lo tanto los compuestos de Al tienen una gran importancia en relación al poder buffer de los suelos



- Esquema del efecto del aumento de pH en un suelo cuando éste tiene polímeros de Al cargados (+), los que ocupan posiciones de intercambio.
- Es un proceso más lento que el intercambio de cationes

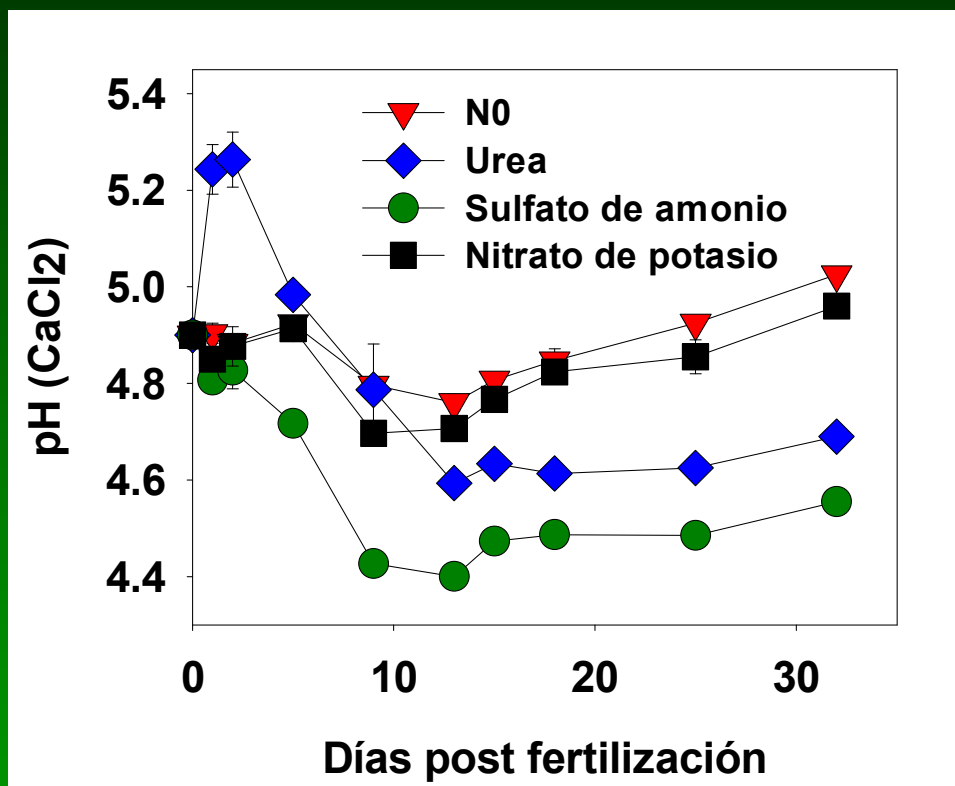
# RETENCIÓN DE ANIONES

- Los polímeros de Fe y de Al cargados positivamente tienen la capacidad de retener aniones ( $\text{HPO}_4^{2-}$  ;  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ;  $\text{SO}_4^{2-}$  ;  $\text{MoO}_4^{2-}$  ;  $\text{Cl}^-$  ;  $\text{NO}_3^-$ )
- Existe una mayor atracción por fosfatos y sulfato que por los aniones monovalentes
- Este efecto determina que en los suelos donde existe abundancia de polímeros de Fe y Al se produce una fuerte retención de P, el cual no se encuentra disponible para las plantas
- También el  $\text{Al}^{3+}$  es capaz de reaccionar con el fosfato formando fosfatos de Al, los cuales no están disponibles para las plantas

# Origen de la acidez (continuación)

- Lixiviación de bases
- Formación de ácidos solubles como ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) y otros ácidos producto de la acción de microorganismos
- Liberación de  $\text{H}^+$  por las raíces de las plantas al absorber bases.
- Disociación de  $\text{H}^+$  por los coloides del suelo
- Hidrólisis del Al durante la meteorización de aluminosilicatos.
- Fertilizantes nitrogenados amoniacales. El pasaje de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  por microorganismos del suelo libera  $\text{H}^+$ . Dosis altas y frecuentes pueden acidificar
- Otros fertilizantes (potásicos, azufrados)

## Acidificación de suelo por agregado de fertilizantes nitrogenados amoniacales en alta dosis (equiv a 200 kg de N/ha)



del Pino et al., 2005

El fertilizante nítrico no difiere del testigo sin fertilizar

El efecto de acidificación tiende a revertirse con el tiempo, esto puede deberse a que el suelo tiene alto poder buffer (34 % de Ac; 5.0 % de MO)

Nota: Los valores de pH en CaCl<sub>2</sub> son menores que los valores en agua

# CLASIFICACIÓN DE LA ACIDEZ

**ACIDEZ ACTIVA:** Abundancia de  $H^+$  en la solución del suelo. Se mide por el pH del suelo

**ACIDEZ INTERCAMBIABLE:** Corresponde a la suma de  $H^+$  y  $Al^{3+}$  ocupando posiciones de intercambio al pH del suelo. Se mide en meq/100 g ó  $cmol_c/kg$

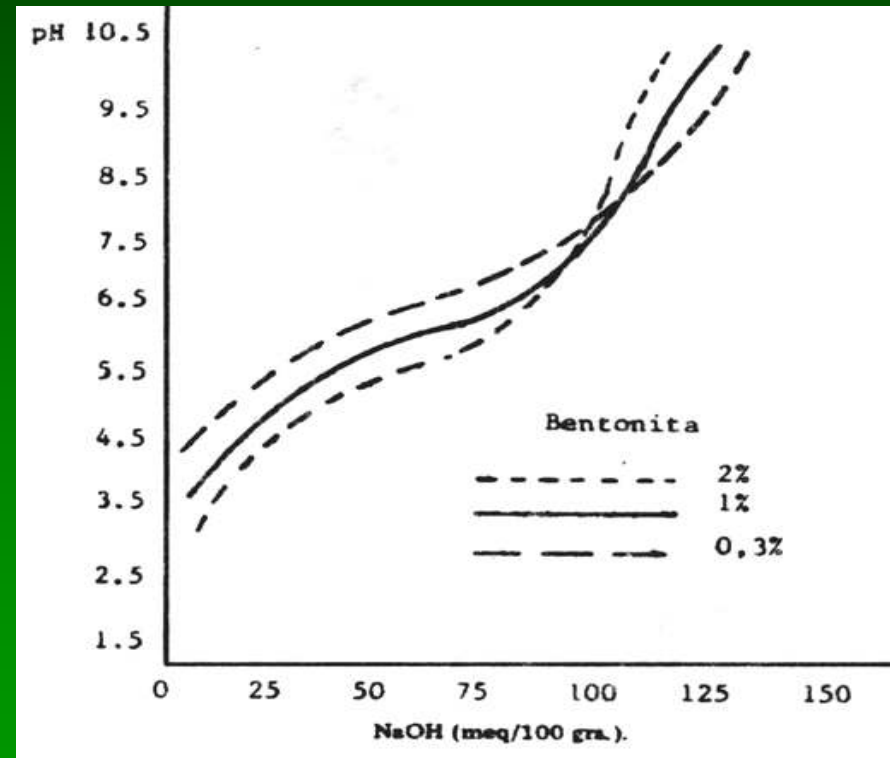
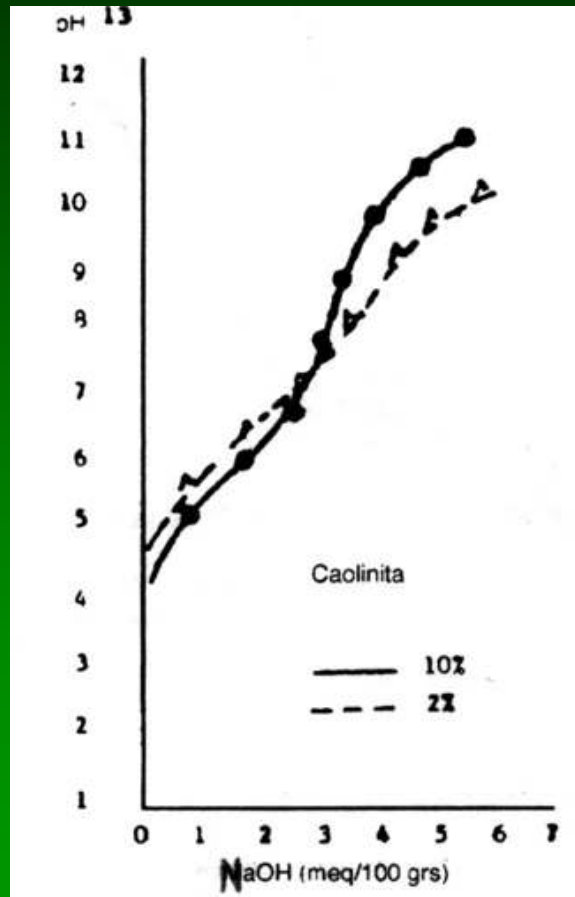
**ACIDEZ NO INTERCAMBIABLE:** Corresponde a las cargas que se disocian al aumentar el pH

**ACIDEZ TITULABLE:** Corresponde a la cantidad de base fuerte requerida para llevar el pH del suelo a un valor determinado (por ejemplo pH 7). Se mide en meq/100 g ó  $cmol_c/kg$

La suma de la acidez intercambiable y la acidez no intercambiable corresponde a la acidez titulable.



# ACIDEZ TITULABLE



Curvas de titulación de pH para 2 concentraciones de caolinita (izq) y 3 concentraciones de Bentonita (tipo de Montmorillonita) electrodiálizada (der). (fracc. < 2  $\mu$ ). Adaptado de Marshall, 1964.

# FACTOR CAPACIDAD Y FACTOR INTENSIDAD DE LA ACIDEZ

- ◉ Existe una clasificación que denomina factor intensidad de la acidez a la presencia de  $H^+$  en la solución. La cual se mide a través del pH
- ◉ Se considera factor capacidad a la reserva de acidez y se mide a través de la titulación

# ACIDEZ EN SUELOS DEL URUGUAY

## Suelos con problemas de acidez:

- Los suelos que en condición natural pueden presentar acidez intercambiable en forma importante son principalmente:
  - Suelos arenosos de Tacuarembó y Rivera
  - Suelos de sierra desarrollados sobre basamento cristalino
- Estos suelos muchas veces presentan condiciones de acidez más severa en el horizonte subsuperficial que en el horizonte A
- Los suelos que en condición natural pueden tener problemas de acidez, relacionados con acidez titulable:
  - Suelos arenosos del litoral
  - Suelos de texturas medias o livianas del sur y este
- Los suelos que se volvieron ácidos por manejo. Problema generalmente asociado a una situación inicial de pH ligeramente ácido y texturas medias o livianas

En todos los casos el análisis de pH del horizonte A de los suelos es la mejor indicación para comprobar la existencia de suelos con problemas de acidez

# EFECTOS DE LA ACIDEZ SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETAL

- Existen grandes diferencias entre especies, y aún variedades respecto a la susceptibilidad frente a la acidez de los suelos
- Las causas por las cuales las plantas son susceptibles a la acidez son variadas
- Incluso puede haber problemas relacionados con otros organismos de la rizósfera que afecten indirectamente a las plantas
- Existen efectos directos (daños por acidez propiamente dicha) y efectos indirectos
- Generalmente los efectos directos son menos importantes ya que las plantas tienen resistencia a condiciones de pH bajo

## EFFECTOS INDIRECTOS DE LA ACIDEZ : TOXICIDAD PRODUCIDA POR ALUMINIO

- Toxicidad producida por el  $\text{Al}^{3+}$  en la solución del suelo (pH menor a 5.0 - 5.3)
- No solo es importante la cantidad total de Al sino también la proporción respecto a las bases. Para plantas susceptibles el Al debe ser  $< 20\%$  de la CIC
- El Al afecta la división celular en el ápice de la raíz, aumenta la rigidez de las membranas celulares, reduce la replicación del ADN, interfiere con los procesos donde interviene ATP, interfiere con la absorción y transporte de otros nutrientes (Ca, Mg, K, P, Fe y otros)
- El síntoma más claro de toxicidad por Al es el limitado desarrollo radicular, con raíces cortas y deformes. Y la consecuencia es menor absorción de nutrientes y agua

## EFFECTOS INDIRECTOS DE LA ACIDEZ : TOXICIDAD PRODUCIDA POR MANGANESO

- Toxicidad producida por el  $Mn^{2+}$  en la solución del suelo (pH menor a 5.3 - 5.5)
- En la toxicidad por  $Mn^{2+}$  influye la aireación del suelo, ya que su solubilidad depende del potencial redox, siendo mayor en ambientes reductores
- A diferencia de lo que ocurre con Al no todos los suelos tienen suficiente Mn como para llegar a ser tóxico
- El exceso de Mn afecta la actividad enzimática y la síntesis de hormonas. También interfiere en la translocación del Ca y el Mg
- A diferencia del Al, los síntomas de toxicidad por Mn son más claros en la parte aérea que en las raíces. Se produce clorosis y necrosis en las hojas, especialmente en las hojas nuevas. Los síntomas de toxicidad por Mn son más claros que los de Al, pero muchas veces son simultáneos

## EFECTOS INDIRECTOS DE LA ACIDEZ: Disponibilidad de nutrientes

- Retención de P por compuestos de Fe y Al cargados (+).
- Efecto del  $\text{Al}^{3+}$  no solo sobre disponibilidad de P en el suelo, sino también sobre capacidad de absorción de las raíces y de utilización del P por la planta.
- Inhibición de absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  debido a competencia con  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$
- Retención de molibdeno. Está como anión ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) y es retenido como el P. Además su absorción tiene interacción (+) con la disponibilidad de P. Por lo tanto en suelos ácidos se ve doblemente afectado.
- Inhibición de actividad de biomasa microbiana. Como consecuencia, enlentecimiento en mineralización de materia orgánica y menor disponibilidad de nutrientes
- Inhibición de la nitrificación (pasaje de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  realizado por microorganismos del suelo)

## EFFECTOS INDIRECTOS DE LA ACIDEZ: Fijación simbiótica de N

- La acidez afecta las bacterias del género *Rhizobium*, y por esto la fijación simbiótica de N por leguminosas
- Afecta más la nodulación que la fijación de N
- Es muy difícil separar los efectos directos de toxicidad de  $Al^{3+}$  y  $Mn^{2+}$  sobre las bacterias y los efectos debidos a escasez de nutrientes (P, Ca, Mo)
- Existen diferencias entre especies

pH del suelo	Saturac de Al (%)	Peso de plantas (g)	Nodulación		N (mg/pl)
			Nod/pl	Peso nod (mg)	
4.55	81	2.4	21	79	65
5.20	28	3.2	65	95	86
5.90	4	3.6	77	99	93

Efecto de encalado de un suelo de alta saturación de Al sobre el crecimiento y nodulación de soja.

Adaptado de Sartain y Kamprath, 1975

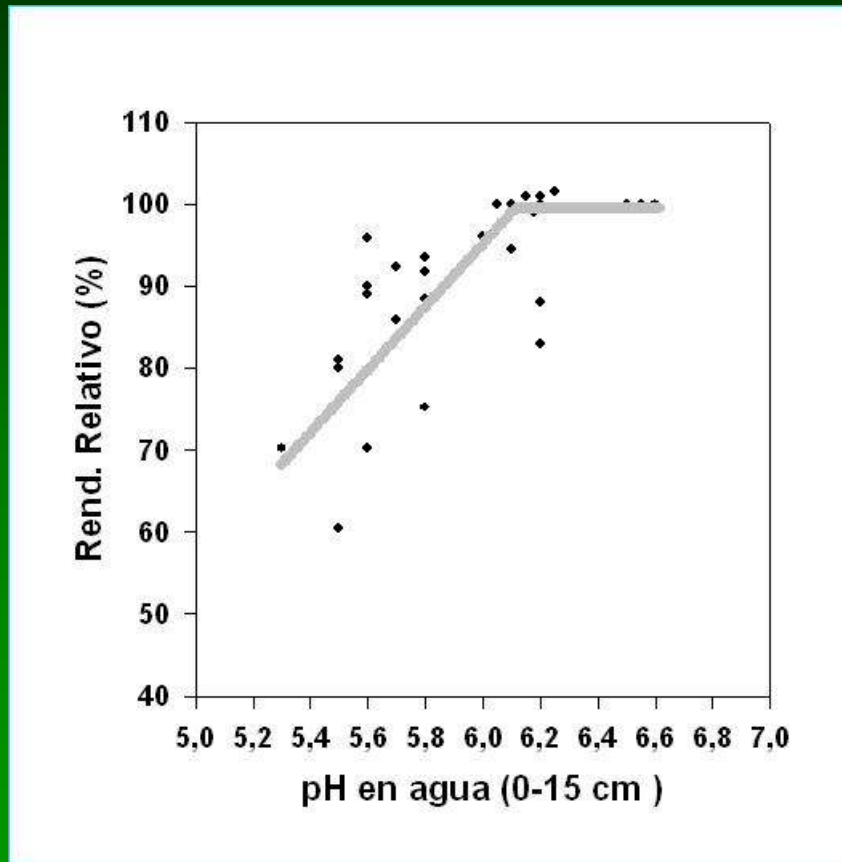


## Rango óptimo de pH para algunas especies

<b>PLANTA</b>	<b>pH</b>	<b>PLANTA</b>	<b>pH</b>
Trigo	5.5-6.5	Zanahoria	5.5-7.0
Cebada	5.8-6.5	Coliflor	6.0-7.5
Raigrás	5.5-6.5	Lechuga	6.0-7.0
Avena	5.0-6.5	Papa	4.8-6.5
Trébol blanco	5.6-7.0	Tomate	5.5-7.5
Trébol rojo	6.0-7.5	Manzana	5.5-6.5
Alfalfa	6.0-7.8	Frutilla	5.0-6.5
Soja	5.0-6.5	Arándano	4.0-5.0
Lotus cornic.	5.5-6.5		
Maíz	5.5-6.5		

Estos valores son útiles para orientación, pero existen importantes diferencias entre variedades

# Rango óptimo de pH para alfalfa



Bordoli, 2005

- Se realizaron experimentos de encalado de alfalfa en suelos de la cuenca lechera sur del Uruguay
- Suelos de textura media a pesada (Brunosoles, Vertisoles y Argisoles)
- Se midió el rendimiento relativo de alfalfa con respecto al rendimiento máximo y se relacionó con el pH del suelo (0-15 cm)
- Se estableció a partir de estos datos un valor crítico de pH = 6.0 - 6.1

# SOLUCIONES AL PROBLEMA DE LA ACIDEZ

---

- 1) **Uso de especies o variedades resistentes**
- 2) **Agregado de los nutrientes limitantes (especialmente P)**
- 3) **Encalado**

## MECANISMOS DE LAS PLANTAS PARA SU ADAPTACIÓN A LA ACIDEZ DE SUELOS

- Tolerancia al Al mediante inclusión y acumulación (algunas sps. de pinos, té)
- Aumentos en el pH de la rizósfera provocados por las raíces de las plantas
- Exudados radiculares (Ej ác. oxálico) forman complejos con Al. Este decrece su toxicidad y libera P retenido. Estas plantas son más eficientes en absorber P y pueden crecer en suelos muy pobres (algunas sps. de eucaliptos, CN?)
- Asociación con micorrizas que aumentan exploración y absorción de nutrientes (algunas sps. de pinos)
- Crecimiento de raíces en zonas de suelos menos ácidas, o con mayores concentraciones de nutrientes
- Capacidad de utilizar mejor los nutrientes (eficiencia)
- Lotus Rincón (*L. subiflorus*): un caso a estudiar

# ENCALADO DE SUELOS

## MATERIALES PARA EL ENCALADO DE SUELOS

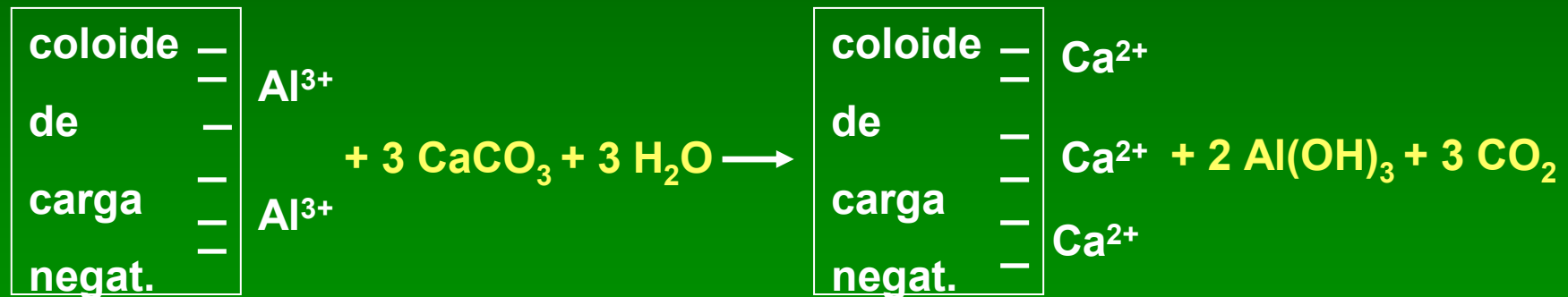
- Encalar significa neutralizar la acidez de los suelos

### Materiales de encalado

- $\text{CaCO}_3$  (calcita)
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- $\text{CaO}$
- $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  (dolomita)
- Los materiales más comunes son mezclas de carbonatos de Ca y Mg en diferentes proporciones- Se utiliza dolomita cuando además de neutralizar la acidez se desea aumentar el nivel de Mg

# ENCALADO DE SUELOS

- Encalar significa neutralizar la acidez de los suelos, no fertilizar con Ca, ya que las deficiencias de Ca para las plantas no son frecuentes
- La reacción de encalado con carbonato de Ca para un suelo con Al intercambiable es:



- El Ca sustituye al Al como intercambiable
- El hidróxido de Al precipita y el  $CO_2$  se desprende como gas
- Si hay  $H^+$  la reacción es similar y la resultante  $CO_2$  y  $H_2O$
- En ambos casos se produce un aumento en el pH del suelo

## EFEECTO DEL ENCALADO SOBRE LOS COMPUESTOS DE ALUMINIO

- El  $\text{Al}^{3+}$  tiene la capacidad de hidrolizarse, produciendo  $\text{H}^+$  según las siguientes reacciones:



Estas reacciones se producen si existen fuentes de  $\text{OH}^-$  en el suelo que neutralicen los  $\text{H}^+$  liberados.

- Cuando se encala un suelo los compuestos de Al van pasando por las etapas del esquema. Este proceso actúa como buffer respecto al aumento de pH del suelo
- Al perder carga positiva se libera el fosfato que estaba retenido en la superficie de los polímeros de Al

## **PORQUÉ ES BENEFICIOSO EL ENCALADO**

- **Se neutraliza la acidez y eleva el pH**
- **Elimina el  $Al^{3+}$  que limita el crecimiento radicular**
- **Aumenta disponibilidad de Ca y Mg agregados**
- **Aumenta disponibilidad de P debido a la liberación de P retenido por compuestos de Al**
- **Aumenta disponibilidad de S y Mo por la misma razón**
- **Aumenta la CIC y la retención de cationes**
- **Aumenta exploración radicular y por lo tanto:**
  - 1) Aumenta absorción de todos los nutrientes**
  - 2) Aumenta absorción de agua**
- **Aumenta mineralización de MO y por lo tanto disponibilidad de N, S, P y otros nutrientes**



## CONDICIONES PARA QUE SE NEUTRALICE LA ACIDEZ

- Esta reacción necesita agua. No se produce en suelos secos
- El material debe estar finamente molido para poder solubilizarse fácilmente
- El material debe mezclarse con el suelo para que la reacción sea lo más homogénea posible. Esto se debe a que la distancia que difunde el Ca en el suelo es muy pequeña (1-2 cm)
- Los hechos mencionados llevan a que la reacción de neutralización no sea instantánea, requiere un cierto tiempo para producirse

## CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL: PUREZA Y PODER NEUTRALIZANTE

- Dado que la caliza se obtiene de molienda de rocas calcáreas, generalmente no es una sustancia pura. La pureza es el porcentaje en peso de material neutralizante respecto al total
- Poder neutralizante. Por convención el  $\text{CaCO}_3$  puro tiene 100% de poder neutralizante
- Debido a que el Mg tiene la misma carga que el Ca pero menor masa atómica el poder neutralizante de una determinada masa de  $\text{MgCO}_3$  es 19 % mayor que el de la misma masa de  $\text{CaCO}_3$ . Por lo tanto se dice que el  $\text{MgCO}_3$  tiene un poder neutralizante de 119.
- La dolomita es generalmente menos reactiva que el  $\text{CaCO}_3$
- Debe recordarse que en los materiales utilizados las proporciones de ambos carbonatos varían y el  $\text{MgCO}_3$  es generalmente minoritario respecto al  $\text{CaCO}_3$

## CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL: FINURA

- La finura del material es importante porque determina la capacidad de reacción en el suelo
- Materiales poco molidos tardan en reaccionar e incluso pueden reaccionar solo parcialmente por no disolverse
- Por otro lado cuanto más fino es el material más se dificulta su aplicación
- Generalmente cuanto más finamente molido más caro es el material
- Se considera adecuado un material cuando más del 80 % del mismo pase la malla No. 60

# CÁLCULO DE DOSIS DE MATERIAL DE ENCALADO

## Ejemplo:

Deseamos neutralizar un suelo cuyo análisis indica que la acidez titulable a pH 7 es 1.0 meq/100 g de suelo.

Se incorporará la caliza en los primeros 20 cm de un suelo de densidad aparente = 1.25 kg/dm<sup>3</sup>.

1 hectarea del suelo pesa:  $10000 \text{ m}^2 * 1250 \text{ kg/m}^3 * 0.2\text{m} = 2500000 \text{ kg}$

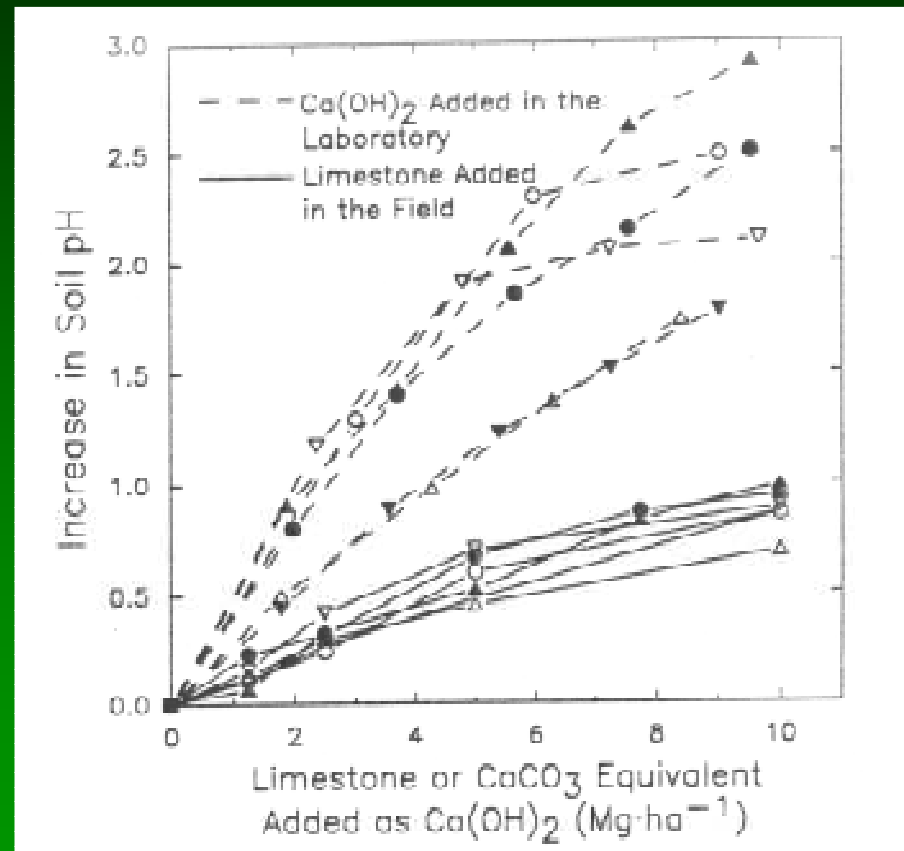
- Masa molecular de  $\text{CaCO}_3 = 100$  – Masa atómica del Ca = 40
- % de Ca del  $\text{CaCO}_3 = 40$
- Carga del Ca = 2
- Peso equivalente del Ca =  $40 / 2 = 20 \text{ g} \Rightarrow 1 \text{ meq pesa } 0.020 \text{ g}$
- Si el suelo tiene de acidez 1.0 meq/100 g para neutralizar 100 g de suelo necesitamos 0.020 g de Ca
- Para neutralizar 2500 000 kg de suelo necesitamos 500 kg de Ca
- Esta cantidad corresponde a  $500/0.4 = 1250 \text{ kg de } \text{CaCO}_3 / \text{ha}$  necesarios para neutralizar una acidez de 1 meq/100 g de suelo

El cálculo es útil para orientar, pero tiene limitaciones

## LIMITACIONES AL CÁLCULO TEÓRICO DE LA DOSIS DE ENCALADO

- La acidez titulable no mide con exactitud la acidez del suelo. Existen reacciones lentas que van disociando cargas (por ejemplo de polímeros de Fe y Al) que no están contabilizadas en el análisis
- La mayoría de los cultivos no requiere una neutralización total. Frecuentemente la respuesta al encalado se manifiesta con dosis menores de caliza que las calculadas teóricamente
- La reacción de la caliza con el suelo es lenta. No es posible asegurar que la acidez se neutralice completamente con la cantidad calculada
- Como soluciones a estos problemas de diagnóstico se han propuesto otras metodologías:
  - 1) Incubación del suelo con materiales encaladores
  - 2) Basar la recomendación de dosis en resultados de experimentos con diferentes dosis de caliza

# Cálculo de dosis de caliza: Dosis teórica vs. efecto en el suelo



Aumentos de pH en suelos con diferentes cantidades de caliza aplicadas en cobertura en 6 pasturas de Nueva Zelandia (linea entera) y el equivalente en caliza agregado como Ca(OH)<sub>2</sub> a muestras de los mismos suelos en el laboratorio (linea punteada)- Edmeades et al. 1985

## ENCALADO: MOMENTO DE APLICACIÓN

- El encalado debe realizarse con anticipación a la siembra del cultivo. Si las condiciones de reacción son buenas es suficiente con 2-3 meses antes
- El efecto del encalado se mantiene durante varios años. No es necesario repetirlo en cada cultivo
- Si el sistema de producción implica una rotación de cultivos, se debe encalar previo al cultivo más sensible
- La residualidad dependerá de la dosis y de las características del suelo. Si la primera aplicación fue efectiva la residualidad será de 3-5 años. Puede ser monitoreada a través del análisis de pH.
- Luego de una aplicación se logra generalmente mantener un nivel bajo de acidez con dosis menores de caliza

## ENCALADO: FORMA DE APLICACIÓN

- Se necesita lograr el mayor contacto de la caliza con el suelo
- Es conveniente que la caliza se mezcle lo más profundo posible en el perfil, a fin de asegurar la exploración radicular profunda. (¿Lixiviación?)
- Por lo tanto el ideal será la aplicación al voleo seguida por la incorporación mediante el laboreo del suelo
- En caso de pasturas y cultivos sembrados con siembra directa la eficiencia será menor



## ENCALADO EN SUELOS DEL URUGUAY

En Uruguay existen fundamentalmente dos situaciones que justifican el encalado:

- 1) Necesidad de eliminar el  $Al^{3+}$  en suelos muy ácidos para realizar cultivos o sembrar pasturas. Esta situación es más común en los suelos ácidos de Tacuarembó y Rivera, así como los de sierra sobre Basamento Cristalino
  - 2) Necesidad de elevar el pH de suelos ácidos para mejorar la disponibilidad de P, o para cultivar especies muy sensibles a la acidez. Esta situación es más común en los suelos ácidos de las zonas sur y este de Uruguay
- Los suelos arenosos del litoral en general son de fertilidad baja pero no presentan  $Al^{3+}$ , aunque hay excepciones (manejo)

## ENCALADO EN SUELOS DEL URUGUAY

- Para el caso 1) las dosis requeridas son relativamente bajas (entre 1000 y 3000 kg /ha). Son suelos de fertilidad baja, y un exceso de caliza podría provocar desbalances de nutrientes (deficiencias de otros cationes y micronutrientes).
- En estos suelos puede necesitarse el encalado para implantar praderas con tréboles ¿soja?
- Para el caso 2), por tratarse de suelos con mayor poder buffer se necesitan generalmente dosis mayores (2000-5000 kg /ha). Hay menor riesgo de desbalances, salvo Ca-Mg

En estos suelos puede necesitarse el encalado para la producción de alfalfa y otros cultivos sensibles

---

# **ENCALADO EN SUELOS DEL URUGUAY : RESULTADOS EXPERIMENTALES**

## Encalado en suelos de Tacuarembó (graf. Inferior) y del sur de Uruguay (graf. Superior): Efecto sobre el pH, Al y Ca intercambiables

Prof. (cm)	Caliza = 0			Caliza = 2500 kg/ha		
	pH (H <sub>2</sub> O)	Al (meq/100g)	Ca	pH (H <sub>2</sub> O)	Al (meq/100g)	Ca
0-10				5.3	0	2
10-15	4.8	0.27	1.3	5.1	0.4	1.5
15-20				4.9	0.9	1.1
20-25	4.7	S/D	S/D	4.9	1.1	1.1

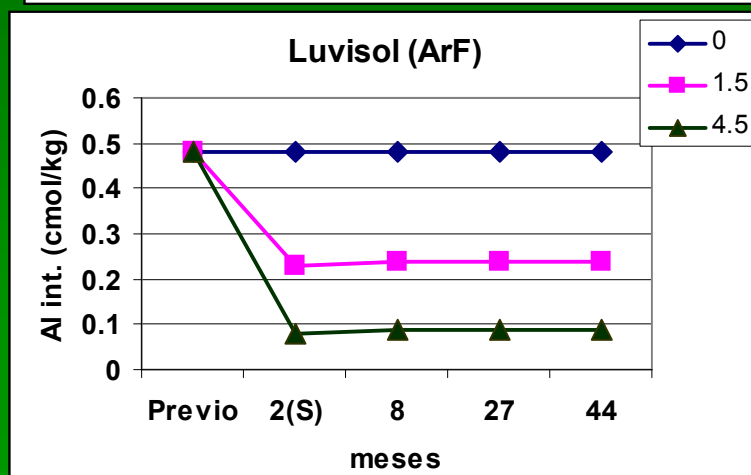
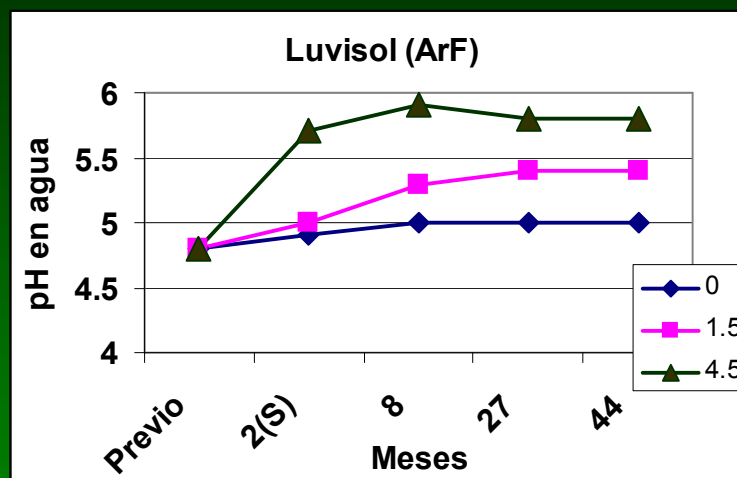
  

Prof. (cm)	Caliza = 0			Caliza = 2500 kg/ha		
	pH (H <sub>2</sub> O)	Al (meq/100g)	Ca	pH (H <sub>2</sub> O)	Al (meq/100g)	Ca
0-10	5.1	0	8.4	5.3	0	9.6
10-15	5.1	0.06	8.6	5.4	0	9.7
15-20	5.2	0.06	8.6	5.3	0	9.4
20-25	5.2	0	8.6	5.3	0	9.2

Las mediciones se realizaron 2 años después de aplicada la caliza, la cual fue incorporada con una herramienta liviana (aprox 15 cm)

del Pino-Ruiz, 1986

# Encalado en suelos del Uruguay: Efecto sobre el pH y Al intercambiables



En un Luvisol arenoso franco de Tacuarembó se agregaron diferentes dosis de caliza (0; 1.5 y 4.5 toneladas/ha)

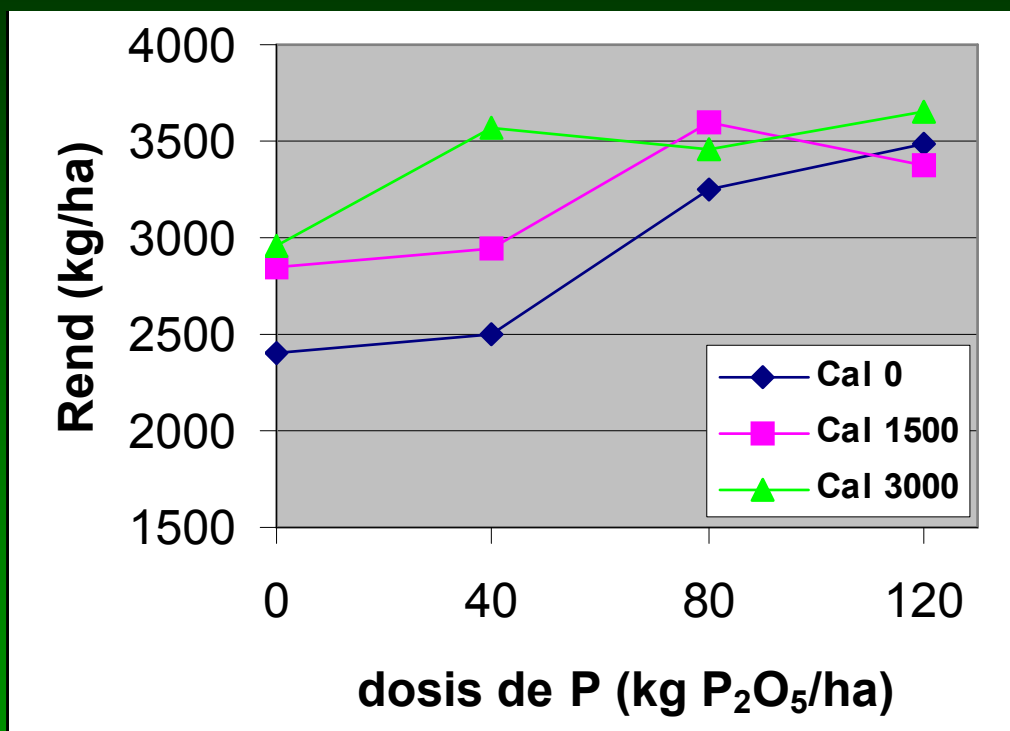
Se midió la evolución del pH en agua (gráfica superior) y Al<sup>3+</sup> intercambiable (gráfica inferior) durante 44 meses

El pH del suelo mostró aumentos varios meses después de aplicado el material

El efecto del encalado sobre el pH y el Al intercambiable se mantuvo durante todo el período de estudio

Bordoli y Casanova, 2004

## Encalado en suelos de Tacuarembó: Efecto del encalado y respuesta al P agregado



Rendimiento de grano de soja. Respuesta a la fertilización fosfatada y encalado en un suelo ácido de Tacuarembó de bajo nivel de P disponible (pH 4.9 Al=0.79 meq/100g)

Pereira, Teixeira y Vercellino, 1983

Se obtuvo una respuesta importante a la aplicación de P, pero esta respuesta fue menor cuando se aplicó caliza.

Se puede deducir que el encalado produjo liberación del P retenido.

El máximo rendimiento fue similar para los tres niveles de caliza, aunque las combinaciones cal-P para llegar al máximo son diferentes

## DOSIS DE ENCALADO BASADO EN LA EXPERIENCIA EN SUELOS DEL URUGUAY

- En los suelos fuertemente ácidos del Uruguay (Tbó y Rivera, sierra sobre B. Cristalino) se ha encontrado que con una dosis de caliza de 1000 kg/ha se puede eliminar 0.3 meq de  $Al^{+3}$  /100 g de suelo.
- En los suelos ácidos con menor incidencia de acidez intercambiable (suelos arenosos del litoral y de texturas medias a livianas del sur y este) se observó que con una dosis de caliza de 1000 kg/ha se puede aumentar 0.1 – 0.2 unidades de pH.
- La dosis requerida será mayor cuanto mayor sea el poder buffer del suelo, lo que está directamente relacionado a su contenido de arcilla y MO

## **ENCALADO EN SUELOS DEL URUGUAY: EVALUACIÓN ECONÓMICA**

**A diferencia de otros insumos en este caso el costo debe considerar además del producto:**

- 1) El transporte desde el lugar de compra hasta la chacra. Debido a las grandes cantidades aplicadas éste constituye una parte muy importante del costo**
- 2) Costo de aplicación. Tanto la distribución como la incorporación requieren combustible y tiempo**
  - Por otro lado debe considerarse que la amortización del costo se hará en varios años**
  - Son materiales de producción nacional, lo cual puede redundar en ahorro de divisas, al sustituir además fertilizantes fosfatados importados**



# BIBLIOGRAFIA

- **Acidez y encalado en suelos del Uruguay. Omar Casanova. Facultad de Agronomía. Montevideo-Uruguay. 1999**
- **Soil acidity and liming. (2nd. ed) Fred Adams (Ed). ASA-CSSA-SSA. Madison, Wisconsin. 1984.**