

# La Fitotoxicidad del Aluminio

## Introducción

Más del 15 % de la corteza terrestre está compuesta por  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , pero es muy poco soluble en suelos neutros y alcalinos que la cantidad no llega a ser tóxica para las plantas. Pero en suelos ácidos su solubilidad se incrementa hasta llegar a ocupar más de la mitad de los sitios de intercambio iónico del suelo. Con pH inferiores a 5.0 las concentraciones de  $\text{Al}^{3+}$  en la solución del suelo están en el orden de 10-100  $\mu\text{M}$ , siendo así el factor más limitante de la producción agrícola en suelos ácidos.

## El aluminio en el suelo

Cuando el pH del suelo se reduce paralelamente sucede una destrucción de los minerales de las arcillas y de otros silicatos, así como la solubilización de óxidos de aluminio, lo que conduce a la degradación irreversible del suelo; el aluminio aparece en estos casos como  $\text{Al}^{3+}$ . En el siguiente cuadro puede observarse el contenido de aluminio de algunos de los principales minerales encontrados en los suelos. La destrucción de estos minerales ocasiona la liberación de grandes cantidades de aluminio.

**Cuadro 1. Rango de variación de la composición química en algunos minerales del suelo (%), según Scheffer y Schachstabel (1995).**

Mineral	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Ti}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$
Caolinita	45 - 48	38 - 40	0 - 0,2	0 - 0,3	-	-	-	-
Smectita	42 - 55	0 - 28	0 - 30	0 - 0,5	0 - 0,3	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 3
Illita	50 - 56	18 - 31	2 - 5	0 - 0,8	0 - 2	1 - 4	4 - 7	0 - 1
Vermiculita	33 - 37	7 - 18	3 - 12	0 - 0,6	0 - 2	20 - 28	0 - 2	0 - 0,4
Clorita	22 - 35	12 - 24	0 - 15	-	0 - 2	12 - 34	0 - 1	0 - 1

Como consecuencia de la intensidad del intercambio de iones de aluminio, los cationes de los elementos nutritivos son desplazados de los sitios de intercambio y lavados posteriormente. Con pH extremadamente ácidos (<3.0 con  $\text{CaCl}_2$ ) se inicia la solubilización del óxido de hierro cristalino Ferrihidrita, que conduce a la liberación de iones  $\text{Fe}^{3+}$ . A estos valores de pH prácticamente el  $\text{Al}^{3+}$  domina cerca del 100 % de los sitios de intercambio, solo una pequeña parte lo ocupan el  $\text{H}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  y

Mn<sup>2+</sup>. Ante estas situaciones, las plantas sufren severas deficiencias nutritivas y graves efectos tóxicos por aluminio y manganeso. La magnitud de la toxicidad por aluminio depende del contenido de nutrientes en el suelo, especialmente calcio y magnesio, por tanto, la relación Ca/Al, Mg/Al y (Ca+Mg+K)/Al en la solución del suelo resultan ser parámetros de gran importancia para determinar la posibilidad de toxicidad por aluminio.

### Como toma la planta al aluminio

Las plantas toman rápidamente al aluminio bajo condiciones de acidez del suelo. Las reacciones químicas del aluminio en el suelo son extraordinariamente complejas y diversas, y comprenden principalmente hidrólisis, polimerización y reemplazo de elementos. Así por ejemplo, en trigo el compuesto  $\text{Al}(\text{OH})_2 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  es el más nocivo, y en café son el  $\text{Al}^{3+} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{Al}(\text{OH})^{2+} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ . Es posible que la membrana plasmática, por su composición química, sea poco permeable a las formas ionizadas del aluminio, mientras que los compuestos de aluminio electrónicamente neutros o los complejos de aluminio, como  $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  o  $\text{AlCl}_3$  sean más móviles. Además, el aluminio puede atravesar la membrana plasmática a través de los poros hidrófilos o por los canales de proteína y alcanzar el interior de la célula.

### Síntomas de toxicidad por aluminio

Las raíces son los órganos más afectados por las altas concentraciones de aluminio en el suelo, más que los tejidos aéreos. En general se observa una reducción del crecimiento radicular en longitud. En cultivos como el trigo los daños son inmediatos, el ápice de las raíces incrementan en diámetro, las raíces laterales resultan seriamente afectadas y de esta manera se reduce significativamente el volumen radicular. Como consecuencia, los cultivos afectados por aluminio exploran muy poco volumen de suelo y su capacidad de absorber, transportar y utilizar nutrientes y agua es limitada.

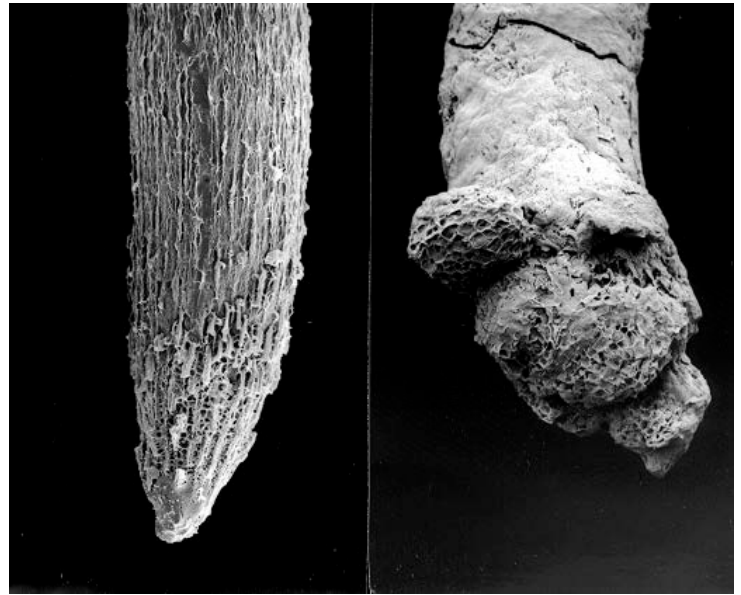


**Figura 1. Los efectos tóxicos del aluminio se observan claramente como un pobre desarrollo radicular del cultivo.**  
Foto: CSIRO.

La flora y fauna del suelo también sufren las consecuencias del aluminio. Es así como en un pH en el rango 3.5–4.0, se encuentran por lo general pocas poblaciones de anélidos en el suelo y la cantidad de micorrizas es muy reducida; además, muchos grupos de bacterias y actinomicetos reducen su actividad y desarrollo cuando el pH del suelo está por debajo de 5.5.

#### Fuente consultada

Casierra, P. F.; Aguilar, A. O. E. 2007. Estrés por Aluminio en Plantas: Reacciones en el Suelo, Síntomas en Vegetales y Posibilidades de Corrección. Una Revisión. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas - Vol. 1 - No.2 - pp. 246-257.



**Figura 2. A la izquierda se observa un ápice radicular de desarrollo normal, y a la derecha el desarrollo de uno expuesto al aluminio.**