

Evolución del efecto corrector de residuos calizos y yesíferos

Implicaciones sobre las diferentes formas de aluminio presentes en el suelo

La toxicidad debida al aluminio constituye el principal factor limitante para el crecimiento de los cultivos en suelos ácidos.

En España los suelos ácidos representan aproximadamente el 40% de la superficie, y de este porcentaje, en al menos 10 millones de hectáreas es el principal factor limitante en la producción de muchos cultivos. El objeto del presente estudio es analizar el contenido del aluminio en suelos ácidos corregidos con enmiendas calizas.

Dr. E. Villa Bermejo.

Área de Edafología y Química Agrícola.
Departamento de Ingeniería Agraria.
Universidad de León.

El aluminio es el elemento metálico más abundante en las rocas que entran en la composición de la corteza terrestre, y como consecuencia, en los suelos. En ellos se encuentra en diferentes formas y es importante su cuantificación especialmente en suelos ácidos, de cara a explicar propiedades y características de estos suelos, pero sobre todo para intentar minimizar el efecto fitotóxico que presenta para la mayoría de cultivos.

Hay minerales en el suelo que contienen aluminio en cantidades significativas, como los aluminosilicatos; es también el principal componente de otros minerales no silicatados de los suelos, como la gibsita $\text{Al}(\text{OH})_3$ y sulfatos de aluminio como la alunita y la basalunita.

Bajo estas formas, el aluminio no es activo químicamente, y por tanto no presentará ningún problema de toxicidad, pero sí lo será potencialmente el que entre en la solución del suelo según se vayan alterando por hidrólisis esos materiales.

El aluminio químicamente activo puede encontrarse de varias formas en los suelos, controladas fundamentalmente por el pH del suelo.

Este aluminio podrá estar fijado de forma reversible sobre las cargas negativas del complejo arcillo-húmico. Será aluminio de cambio y podrá ser desplazado por cationes como el Ca^{2+} y el Mg^{2+} . También podrá estar formando quelatos con grupos carboxílicos y fenólicos de la mate-

ria orgánica y ser parcialmente cambiante, así como formando óxidos e hidróxidos no cristalinos y complejos hidroxipolinucleares, ocupando posiciones intersticiales en arcillas tipo 2:1. En suelos extremadamente ácidos predomina la especie intercambiable $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_{(6-n)}(\text{OH})_n^{(3-n)+}$, hasta que a valores de pH próximos a la neutralidad el aluminio se encuentra precipitado en la fase mineral del suelo, como trihidróxido, $\text{Al}(\text{OH})_3$, en forma cristalina si es gibsita, o bien en ordenamientos análogos. Con valores

de pH superiores a 8, el aluminio se encuentra como anión aluminato, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$.

La toxicidad debida al aluminio constituye el principal factor limitante para el crecimiento de los cultivos en suelos ácidos cuando el pH es inferior a 5,0. En España los suelos ácidos representan aproximadamente el 40% de la superficie, y de este porcentaje, en al menos 10 millones de hectáreas es el principal factor limitante en la producción de muchos cultivos (Roque-ro, 1964).



El aluminio está presente en todos los suelos pero su toxicidad se manifiesta sólo en los suelos ácidos con pH inferior a 5, en los que predomina la forma libre Al^{3+} , que es la más fitotóxica de todas ellas.

Efectos de la toxicidad debida al aluminio en los cultivos

Efectos en hojas

Los síntomas de la toxicidad por aluminio en hojas se confunden generalmente con los de la deficiencia de fósforo, apareciendo en ellas zonas purpúreas o verde oscuro. Otras veces parece inducir una deficiencia de calcio, expresándose como un enrollado de las hojas jóvenes, y en otras ocasiones induce una carencia de hierro, como en el arroz, el sorgo y el trigo (Clark, 1981). (Foto 1).

Efectos en las raíces

El aluminio no afecta en sí mismo a la germinación de la semilla, pero inhibe el crecimiento de las raíces de las plantas, apareciendo éstas más cortas y más gruesas de lo normal. Las raíces toman un color pardo y su ramificación se reduce. El aluminio absorbido por las plantas tiende a acumularse en las raíces y no se trasloca fácilmente a la parte aérea, quedando retenido en las paredes celulares de la raíz. Los niveles tóxicos del aluminio parecen estar ligados a aumentos en la viscosidad del protoplasma en las células de la raíz y a descensos en la permeabilidad de sus membranas para los restantes iones y para la propia agua. Estos efectos pueden de-



berse a que el aluminio forma enlaces cruzados con moléculas adyacentes de proteína.

Pero no todas las plantas

presentan la misma sensibilidad al estrés provocado por el aluminio de la solución del suelo. Esto hace que podamos diferenciar entre especies sensibles y tolerantes, siendo esta sensibilidad o tolerancia diferente incluso para distintas variedades de la misma especie.

La forma tradicional para evitar la toxicidad provocada por el aluminio en el suelo es su enmienda con materiales calizos. Por ello, hemos comparado el efecto que sobre un suelo extraácido (pH en agua ≤ 5) tienen las enmiendas con caliza, dolomita, yeso y espumas de azucarería, tanto referido al aumento del pH, como al contenido en las diversas formas de aluminio presentes en el suelo (foto 2).

Aplicación de productos fitosanitarios y minimización del impacto ambiental

CURSO DE ESPECIALIZACIÓN - 10ª EDICIÓN

LLEIDA 27, 28 DE FEBRERO - 1, 2, 3 DE MARZO DE 2006

Matrícula

Derechos de inscripción: 560 €

Plazo de inscripción: Hasta el día 10 de febrero de 2006.

Secretaría del curso

Centre de Mecanització Agrària
Sra. Maite Melé

Avda. Alcalde Rovira Roure, 191
25198 Lleida

Tel. 973 249 846

Fax 973 249 403

www.gencat.net/darp/cma/curs.htm

mmele@gencat.net

Horario:

Días 27 y 28 de febrero - 1 y 2 de marzo

De 9.00 a 19.00 horas.

Día 3 de marzo:

De 9.00 a 14.00 horas.

Número de plazas 30 (realización del curso sujeta a un mínimo de alumnos)

Objetivos

Adquirir conocimientos teóricos y prácticos sobre:

- La interrelación existente entre la técnica de distribución y la eficacia de los tratamientos fitosanitarios en cultivos extensivos, arboricultura, viticultura y horticultura.
- Buenas prácticas fitosanitarias. Sostenibilidad del medio y seguridad personal y alimentaria.
- Normas técnicas, programas de inspección y legislación relativa a la maquinaria de aplicación de productos fitosanitarios.
- Nuevas tecnologías en la aplicación de fitosanitarios.

Destinatarios

Curso dirigido a docentes de cursos de carnet aplicador, a profesionales de la sanidad vegetal, de la maquinaria de aplicación, de entidades auditoras y de certificación, técnicos de ADV, ATRIAS y administración, formadores y asesores técnicos.

CUADRO I.

VALORES MEDIOS OBSERVADOS Y MÍNIMAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS. LETRAS COMUNES INDICAN DIFERENCIAS NO SIGNIFICATIVAS ($p=0,05$).

Tratamiento	pH-agua	pH-KCl	Al-BaCl ₂	Al-CaCl ₂	Al-KCl	Al-CuCl ₂	Al-acetato	Al-amorfo
Testigo	4,65 a	3,88 a	2,18 a	0,16 a	1,16 a	1,34 a	1,15 a	7,97 a
Caliza	6,39 b	5,81 b	1,62 b	0,03 b	0,06 b	1,03 b	1,55 b	8,25 a
Dolomita	6,95 c	6,45 c	1,21 c	0,03 b	0,06 b	0,84 c	1,79 c	8,15 a
Espuma	6,87 c	6,52 c	1,27 c	0,03 b	0,08 b	0,93 bc	1,53 b	7,71 a
Yeso	4,89 d	4,23 d	1,89 d	0,04 c	0,48 c	1,42 a	1,19 a	7,82 a

Las concentraciones de las formas de aluminio se expresan en $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$.

Al-BaCl₂: Aluminio extraído con BaCl₂

Al-CaCl₂: Aluminio extraído con CaCl₂

Al-KCl: Aluminio extraído con KCl

Al-CuCl₂: Aluminio extraído con CuCl₂

Al-acetato: Aluminio adsorbido sobre la componente mineral del suelo

Al-amorfo: Transformación del aluminio es Al-amorfo.

Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en una parcela de la junta vecinal de Rioseco de Tapia (León) situada en la raña de Camposagrado.

Métodos de campo

Para la realización del trabajo se diseñaron tres bloques al azar y en cada uno de ellos se distribuyeron veinte parcelas rectangulares de 3 x 5 m² dejando pasillos de 2 m entre ellas. La separación entre los bloques fue de 5 m.

En cada bloque y también al azar, se enmendaron cuatro parcelas con espumas de azucarera, cuatro con dolomita, cuatro con caliza y cuatro con yeso, quedando las otras cuatro como testigos o control.

En trabajos previos, mediante incubación de muestras de tierra con CaCO₃ puro en el laboratorio, se había determinado la idoneidad de una dosis de 6.000 kg ha⁻¹ de ese compuesto como necesaria para reducir el aluminio de cambio a niveles inferiores al 20% (Vidal *et al.*, 2004 a y b).

Una vez establecida la dosis, la corrección del suelo se realizó con el criterio de incorporar la misma cantidad de Ca²⁺ en todas las enmiendas, por lo que utilizamos las siguientes dosis: de caliza 7.692 kg ha⁻¹, de dolomita 10.909 kg ha⁻¹, de yeso

10.169 kg ha⁻¹ y de espumas 14.880 kg ha⁻¹.

En el caso de las espumas, la superioridad de esta dosis se debe a que el contenido en Ca²⁺ del análisis está expresado sobre materia seca y al hecho de que este producto presentaba una humedad del 44% en el momento de su utilización.

Toma de muestras de suelo

Se realizaron muestreos de suelo en los meses de marzo y septiembre de los años agrícolas 2001/02 y 2002/03. En cada parcela se tomaron en cada uno de ellos tres muestras: una correspondiente a los 12 cm superficiales, otra de 12 a 24 cm de profundidad y otra de 24 a 36

cm. Las dos primeras se corresponden, en la mayoría de las parcelas, con la totalidad del horizonte A, y las hemos denominado A1 y A2 respectivamente. La tercera corresponde al horizonte de transición AB, de 12 cm de espesor aproximadamente.

Las muestras se tomaron con una barrena Riverside, de 6 cm de diámetro interior.

Resultados y discusión

Exponemos en el **cuadro I** los resultados obtenidos, tanto de la variación de pH como de las diferentes formas de aluminio, como media de los cuatro muestreos realizados en los dos años que ha durado el trabajo, para el subhorizonte A1, ya que fue el más afectado por los diferentes tratamientos correctores.

En la **figura 1** se representa la variación en los contenidos de las diversas formas de aluminio según las diferentes enmiendas utilizadas para el horizonte A1.

Conclusiones

Tanto las espumas de azucarera como la dolomita y la caliza muestran una eficacia similar para corregir el pH del suelo hasta valores próximos a la neutralidad con las do-

sis reseñadas. El yeso se muestra muy poco eficaz, dejando prácticamente invariable el pH del suelo.

Durante los dos años posteriores a la realización de las enmiendas, las espumas de azucarera, la caliza y la dolomita muestran una eficacia similar para eliminar las formas más tóxicas de este aluminio (soluble y de cambio), siendo la eficacia del yeso mucho más baja. Otras formas menos tóxicas, como el aluminio quelado sobre la componente orgánica del suelo, se ven poco afectadas por las enmiendas.

Prácticamente la totalidad del aluminio eliminado de las formas anteriores se transforma en aluminio adsorbido sobre la componente mineral del suelo (Al-acetato), siendo muy escasa su transformación en Al-amorfo. ■

Agradecimientos

A la Consejería de Educación y a las Universidades de la Junta de Castilla y León por la concesión del proyecto de investigación LE-04/01, gracias al cual hemos podido realizar este trabajo.

A la junta vecinal de Rioseco de Tapia (León) por la cesión de la superficie para la realización de los ensayos.

Bibliografía

Clark, R.B.; Pier, H.A.; Knudsen, D. y Maranville, S.W. (1981). Effect of trace element deficiencies and excesses on mineral nutrients in shorgum. *J. Plant Nutr.* 3: 357-374.

Hoyt, P.B. y Nyborg, M. (1972). Use of dilute calcium chloride for the extraction of plant-available aluminum and manganese from acid soil. *Can. J. Soil Sci.* 52: 163-167.

Mc Keague, J.A. y Day, J.H. (1966). Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.* 46: 13-22.

Oates, K. M. y Kamprath, E.J. (1983 a). Soil acidity and liming: I. The effect of extracting solution cation and pH on the removal of aluminum from acid soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 47: 686-689.

Peech, M.; Alexander, L.T.; Dean, L.A. y Reed, J.F. (1947). Methods of soil analysis for soil fertility investigations. U.S. Dept. Agr. C. 757, 25 pp.

Reeve, N.G. y Summer, M.E. (1971). Cation exchange capacity and exchangeable aluminum in Natal Oxisols. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35: 38-42.

Existen más datos bibliográficos a disposición de los lectores en nuestra redacción.

FIGURA 1

Contenidos medios de las formas de Al en la capa A1 del suelo.

