

ARTICULO ORIGINAL

## **Aplicación de técnicas analíticas nucleares para determinar aluminio total en suelo**

### **Application of nuclear analytic techniques to determine total aluminum in soil**

**\*Michajluk, J., Gómez, R., Moreno, H., Leguizamón, C., Cabello, J.**

Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Químicas. Laboratorio de Técnicas Analíticas Nucleares. Paraguay

#### **RESUMEN**

**Antecedentes:** El Aluminio es un elemento de interés en las ciencias agrarias pues es uno de los factores responsables de la acidificación de los suelos, su incremento en la solución del suelo limita el crecimiento de las plantas y es un indicativo del estado de desarrollo de un suelo. El análisis por activación neutrónica en fuente isotópica, es una técnica nuclear que permite identificar y cuantificar elementos presentes en diferentes matrices, es un método sensible, que puede ser utilizado en investigaciones de interés científico y tecnológico.

**Objetivo:** la investigación tuvo como objetivo determinar el contenido de aluminio total en muestras de suelo a través de técnicas nucleares.

**Metodología:** Para el estudio se utilizaron ocho muestras de suelos de la Región Oriental del Paraguay. La determinación se realizó según la metodología descrita por Iturbe (2003). Los datos fueron realizados por triplicado, digitalizados en una planilla Excel 2007 ® (USA) y presentados los valores según su media y desvío estándar.

**Resultados:** La técnica utilizada permitió determinar presencia de aluminio total en las ocho muestras de suelo analizadas, siendo el valor de aluminio más bajo de 4,70 g/100g y el más alto 18,1g/100g.

**Conclusiones:** El análisis realizado a través de técnicas nucleares permitió cuantificar el contenido de aluminio total en los suelos en estudio. La técnica utilizada requiere escasa cantidad de muestra y puede ser aplicada al estudio de otros elementos presentes en el suelo.

**Palabras clave:** suelo, aluminio, técnicas analíticas nucleares.

#### **ABSTRACT**

**Background:** The presence of aluminum in the soil solution is one of the main factors that contribute to its acidification. High levels of soluble aluminum are harmful to plants because they limit their growth in strongly acid soils. Neutron activation analysis is a nuclear technique that allows to identify and quantify minerals present in different matrices; it is a very sensitive analytical technique that can be used in research of scientific and technological interest.

**Objective:** the objective of the research was to determine the total aluminum content in soil samples through nuclear techniques.

**Methodology:** Eight soil samples from the Eastern Region of Paraguay were used for the study. The determination was made according to the methodology described by Iturbe (2003). The data were made in triplicate, digitized in an Excel 2007 ® spreadsheet (USA) and

---

**\*Autor Correspondiente: Javier Michajluk, Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Asunción, Paraguay.**

E-mail: [jmichajluk@yahoo.es](mailto:jmichajluk@yahoo.es)

Fecha de recepción: mayo 2018; Fecha de aceptación: julio 2018

presented the values according to their mean and standard deviation. Results: The technique used allowed to determine the presence of total aluminum in the eight soil samples analyzed, with the lowest aluminum value of 4.70 g/100 g and the highest 18.1 g/100 g. **Conclusions:** The analysis carried out through nuclear analytical techniques allowed to quantify the total aluminum content in the soils under study. The technique used requires a small amount of sample and can be applied to the study of other minerals present in soil.

**Key words:** soil, aluminum, nuclear analytical techniques.

## INTRODUCCIÓN

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre, apenas en una concentración inferior al oxígeno y al silicio (Schulze, 1989), se encuentra bajo la forma de óxidos o silicatos de aluminio. La génesis de los suelos, principalmente en regiones tropicales y subtropicales, conducen a la formación de suelos ácidos, siendo el aluminio uno de los factores que contribuyen a este proceso (Navarro, 2013).

La toxicidad producida por aluminio en suelos ácidos, constituye el primer factor limitante para la producción de cultivos (Carreño, 2013), y según Rivera et al. (2016) a nivel mundial, alrededor del 30% de la superficie agrícola y el 50% de la superficie potencialmente arable están conformadas por suelos ácidos. Estos suelos ácidos en un 41% se encuentran en América, 26% en Asia, 17% en África, 10% en Europa y el 6% en Oceanía. Por otro lado, en el continente americano, el 81% de los suelos tropicales presentan alta concentración de aluminio soluble.

Cuando el pH en la solución de suelo es inferior a 5,0 se produce el aumento de la concentración de  $H^+$ , se reduce el contenido de cationes macronutrientes, disminuye la solubilidad del fósforo y molibdeno, y la concentración del aluminio puede alcanzar rangos de 10 a 100  $\mu M$  y hasta incluso 1.000  $\mu M$  en suelos minerales de ecosistemas forestales. Alta concentración de aluminio en el suelo actúa como ión fitotóxico, reduce la absorción de cationes básicos como el calcio y magnesio, causa la inhibición del crecimiento de raíces, ocasionando la reducción de absorción de agua y nutrientes, afectando negativamente los sistemas agrarios (Casierra et al., 2007; Forero et al., 2009; Van Raij, 2011; Sequel et al., 2012).

En los últimos años, numerosas investigaciones se han encaminado al manejo de suelos ácidos, atendiendo al proceso de acidificación por la intensificación del uso del suelo y a la incorporación de suelos ácidos al proceso productivo con la ampliación de las fronteras agrícola y pecuaria. La incorporación de especies tolerantes a suelos ácidos, el uso de plantas de cobertura para el mantenimiento de un nivel adecuado de materia orgánica, labranza cero o mínima, entre otras, tienden a minimizar los efectos producidos por la acidez del suelo y la toxicidad del aluminio (Vázquez, 2014; Bernal, 2015)

A partir del análisis de Al total ( $Al_2O_3$ ), Silicio ( $SiO_2$ ) y Hierro ( $Fe_2O_3$ ) y de sus relaciones moleculares se obtienen informaciones del estadio del desarrollo de los suelos. Así, a medida que los suelos son más intemperizados o lixivados, menores son los valores de las relaciones  $SiO_2/Al_2O_3$ , así como de,  $SiO_2/Al_2O_3 + Fe_2O_3$ . Inclusive en algunos suelos, estas relaciones han mostrado relación con el sistema mineralógico caolinita-gibbsita y caolinita-óxidos. Análisis de formas totales de estos elementos se realizan usando ataque triácido ( $HF+HClO_4+HNO_3$ ) o la digestión sulfúrica ( $H_2SO_4$ ) (Ker et al., 2015).

Por otro lado, el análisis por activación neutrónica es una técnica nuclear rápida y eficaz que permite identificar y cuantificar elementos presentes en

diferentes matrices; constituye una técnica analítica muy sensible que puede ser utilizada en amplios campos de investigación (Iturbe, 2003).

Uno de los logros más importantes del siglo XX, fue llegar a comprender la estructura atómica de la materia es así que con el descubrimiento del neutrón en 1932 y considerando su particularidad de materia pesada sin carga, lo ha convertido en un instrumento de investigación, siendo posible su utilización en técnicas como la de análisis por activación neutrónica (Chatt et al., 1988).

Para la realización de un análisis por activación neutrónica, se necesitan básicamente una fuente de neutrones, instrumentos para detección de radiación gamma y además el conocimiento detallado de todas las reacciones que ocurren cuando los neutrones son bombardeados e interactúan con un núcleo blanco. Los límites de detección del análisis son muy variables pues difieren de un elemento a otro, siendo un factor determinante la radioactividad que presenta el elemento; existen algunos que resultan extremadamente radiactivos peso por peso y su determinación puede ser realizada a muy bajas concentraciones, sin embargo otros, presentan una menor actividad radiactiva y vida media muy corta (inclusive menores a 10 segundos) que limitan la medición de su concentración. El análisis por activación neutrónica es un método analítico que puede ser aplicado en varias áreas de la ciencia, puede utilizarse en materiales nucleares, ciencias del ambiente, medicina, geología, arqueología, entre otras (Iturbe, 2003).

En el Paraguay no se registra información acerca del contenido de aluminio total en muestras de suelo y tejido vegetal, así como no se verifica que laboratorios del sector agrario ofrezcan este servicio. En este sentido es un desafío iniciar un proceso de caracterización de nuestros suelos en relación a su contenido de aluminio, pues constituye el principal factor limitante del crecimiento y la productividad de los cultivos en suelos ácidos del mundo, así como también, puede ser utilizado para estimar estadio de intemperización de algunos suelos.

El objetivo de la presente investigación fue determinar el contenido de aluminio total en muestras de suelo a través de una técnica analítica nuclear, utilizando una fuente isotópica de neutrones de baja intensidad y determinando la actividad generada en un detector de centelleo.

## **MATERIALES Y METODOS**

Para el estudio se utilizaron muestras de suelos de los departamentos de Canindeyú, San Pedro, Central, Caaguazú, Paraguarí, Caazapá e Itapúa.

Las muestras se obtuvieron de una profundidad de 0 a 20 cm, fueron secadas al aire, molidas, homogeneizadas, pasadas a través de un tamiz de 2 mm y conservadas en recipientes herméticos.

Para la determinación de aluminio total se pesaron alrededor de 15 g en viales de plástico herméticos y se colocaron en un porta muestras de cadmio el cual se irradió por diez minutos en una fuente isotópica de neutrones. Esta irradiación produce la conversión del nucleído no radioactivo en estudio, en radioactivo por interacción con neutrones formados en la fuente, luego estos nucleídos emiten radiación gamma al desexcitarse nuevamente y esta emisión se visualiza en un detector de centelleo donde se mide su actividad por diez minutos. Cada radio nucleído posee una señal característica que permite su identificación (Iturbe, 2003; Moranchel et al., 2012).

Los equipos utilizados fueron balanza analítica Mettler AE 200, porta muestras de cadmio, fuente isotópica de neutrones (Amersham International),  $^{241}\text{Am}$  (95 Ci) y  $^9\text{Be}$  (150 g). El flujo de neutrones de  $5,0 \cdot 10^7 \text{ ns}^{-1} \text{ cm}^{-2}$

doblemente encapsulado en un diseño anular contenido en un contenedor cilíndrico blindado de 104 cm de longitud y 127 cm de diámetro.

El detector de centelleo utilizado fue de NaI de 3"x3" y PC tarjeta multicanal Accuspec. Se utilizó como estándar  $Al_2O_3$  de la marca Merck con 98,8% de pureza.

Los datos fueron digitalizados en una planilla Excel 2007 ® (USA) y presentados los valores según su media y desvío estándar.

## RESULTADOS

El aluminio total se encontró en concentraciones variables en los suelos analizados como puede observarse en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Contenido de aluminio total expresados eng/100 gen muestras de suelo de la región Oriental del Paraguay determinado por técnicas nucleares

Muestra	Departamento	Distrito	Promedio <sup>1</sup> ±Desvío estándar
<b>M1</b>	Canindeyú	Katuete	18,1 ± 0,67
<b>M2</b>	Itapúa	Obligado	11,0 ± 1,81
<b>M3</b>	Central	Nueva Italia	9,99 ± 1,01
<b>M4</b>	Itapúa	Fram	8,67 ± 1,21
<b>M5</b>	Caaguazú	Raúl Arsenio Oviedo	7,94 ± 2,33
<b>M6</b>	Paraguari	Quiindy	7,51 ± 0,98
<b>M7</b>	San Pedro	25 de Diciembre	6,01 ± 0,67
<b>M8</b>	Caazapá	San Juan Nepomuceno	4,70 ± 0,54

<sup>1</sup> Promedio de tres repeticiones

## DISCUSIÓN

Las mayores concentraciones de Al total se encontraron en suelos de Katuete y Obligado, 18,1 g/100 g y 11,0 g/100 g. Estos suelos son derivados de rocas basálticas, clasificados como Oxisoles o Ultisoles de alta concentración en arcilla, que presentan en las condiciones tropicales subtropicales predominio de los minerales caolinita, óxidos de hierro y aluminio, presentando en su estructura elevado contenido de aluminio y hierro. La menor concentración de Al total se determinó en suelo de San Juan Nepomuceno, 4,70 g/100 g, estos suelos derivan predominantemente de arenisca cuya base estructural es el óxido de silicio.

El análisis de aluminio en suelo a través de técnicas analíticas nucleares permitió cuantificar el contenido de aluminio total en los suelos en estudio.

La técnica de activación neutrónica en fuente isotópica es una técnica analítica no destructiva, rápida y eficaz para la determinación del aluminio total, el ahorro de tiempo es significativo pues se requiere menos de una hora para su realización.

Los resultados obtenidos permiten considerar futuras investigaciones aplicando esta técnica nuclear para caracterizar suelos del país en cuanto a Aluminio e inclusive la cuantificación del elemento en tejidos vegetales.

Como conclusión, podemos decir que la información adquirida es de suma importancia debido a que en el país no existen datos acerca de investigaciones similares realizadas en suelo, y este es, de acuerdo a nuestro conocimiento, el primer trabajo de detección de aluminio en suelos a través de técnicas analíticas nucleares en fuente isotópica de neutrones.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al Dr. Boris Michajluk Strobl por la traducción del resumen al idioma inglés

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

**Fuente de financiación:**

Financiado con fondos propios de la institución.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bernal, A., Forero, F., Almanza-Merchán, P. (2015). Contenido de azufre, aluminio, hierro y manganeso foliar en especies vegetales cultivadas en suelo sulfatado ácido. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, Vol. 9. N° 2, 279-289. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcc>
- Carreño, A., Chaparro-Giraldo, A. (2013). Tolerancia al aluminio en especies vegetales: mecanismos y genes. *Universitas Scientiarum*, Vol. 2 N° 3, 283 -310. Disponible en: <http://revistas.Javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/5468/6507>
- Casierra, F., Aguilar, O. (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. 2 N°2, 246-257. Disponible en: <http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/Vol1/vol.1no.2/Vol.1.No.2.Art.11.pdf>
- Chatt, A., Dang, H. S., et al. (1988). "Determination of trace elements in food by neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*, Vol.1 N.º1, 65-77.
- Forero, F., Serrano, P., Balaguera, W. (2009). El aluminio en el suelo y algunas estrategias de manejo. *Ciencia y Agricultura*, Vol. 7 N° 1, 19-28. Disponible en: <file:///C:/Users/pchome/Downloads/Dialnet-ElAluminioEnElSueloYAlgunasEstrategiasDeManejo-4986485.pdf>
- Iturbe, J. (2003). Análisis por activación neutrónica. Memorias, Congreso Nacional de Educación Química. Departamento de Química. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. México D.F.
- Ker, J., Curi, N., Schaefer, C., Vidal-Torrado, P. (2015). Fundamentos de Pedología. 1ª Edición. Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo. Vicosa-Minas Gerais. p. 343.
- Moranchel, M., García, A., Longoria, L. (2012). Análisis de activación neutrónica y actividad en el acero de la vasija de un reactor nuclear tipo BWR para su estudio sin riesgos radiológicos en microscopía y espectrometría. *Rev. Mex. Fis.*, N° 58, 488-496. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmf/v58n6/v58>.
- Navarro, G., Navarro S. (2013). *Química Agrícola*. 3ª Edición. Madrid. Mundi Prensa. p. 461-464.
- Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., Romero, H. (2016). La toxicidad del aluminio Al<sup>+3</sup> como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. *Palmas*, Vol 37 N.º1, 11-23. Disponible en: <file:///C:/Users/pchome/Downloads/11696-Texto%20del%20art%3ADculo-12949-1-10-20160503.pdf>
- Sequel, A., Medina, J., Rubio, R., Cornejo, P. (2012). Effects of soil aluminium on early arbuscular mycorrhizal colonisation of wheat and barley cultivars growing in an andisol. *Chilean Journal of Agricultural Research*, Vol 7 N.º3, 45-49. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/chiljar/v72n3/at22.pdf>
- Schulze, D.G. (1989). An introduction to soil mineralogy. In: Dixon, J.B.; Weed, S.B. (Eds.) *Minerals in soil environments*. 2<sup>nd</sup> Edition. Madison: SSSA, 1244p.
- Van Raij, B. (2011). *Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute.
- Vásquez Polo, J.R., Macías Vásquez, F., & Menjivar Flores, J.C. (2014). Formas de hierro y aluminio en suelos con diferentes usos en la zona norte del departamento del Magdalena, Colombia. *Acta Agronómica*, 63(4), 352-360. 10.15446/acag.v63n4.42038