

NOTA TÉCNICA

FIJACIÓN DE POTASIO Y COMPETENCIA CON AMONIO EN UN SUELO CON ARCILLAS EXPANSIVAS

Danilo López-Hernández¹, Miguelangel Mahia², William Meléndez²
y Ana Y. López-Contreras¹

RESUMEN

En Venezuela existen amplias zonas en donde predominan suelos con arcillas de tipo 2.1 con capacidad para retener iones potasio y amonio en el complejo interlamilar. Como los iones K^+ y NH_4^+ presentan el mismo estado de oxidación (valencia), al igual que similar radio iónico, ambos iones pueden competir en estas arcillas expansivas por los sitios fijos de adsorción, y uno de ellos disminuir la capacidad de fijación del otro. Estudios realizados en suelos de los Valles del Tuy, estado Miranda, señalan el predominio de la arcilla montmorillonita con una alta capacidad de fijación del potasio (Kf), ya que el 54,5 % del K originalmente añadido al suelo es fijado en el complejo interlamilar. El Kf descendió drásticamente cuando se añadieron al suelo simultáneamente dosis similares de cloruro de potasio y de amonio ($2,0 \text{ meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), mientras que al aplicar dosis más elevadas de NH_4Cl en el medio de experimentación, la fijación de K alcanzó valores de sólo 6 %. Lo anterior sugiere que, en este tipo de suelo, una fertilización amoniacal moderadamente baja favorecería la fijación de potasio el cual podrá permanecer protegido a las pérdidas por lixiviación, sirviendo por tanto, como potencial de reserva para uso futuro por las plantas.

Palabras clave adicionales: Arcillas 2:1, competencia iónica, requerimientos de potasio

ABSTRACT**Potassium fixation and ammonium competition on a soil with expansive clays**

In Venezuela there are large areas of soils with the dominance of 2.1 clays with a strong capacity to retain potassium and ammonium ions in the interlamilar clay complex. As the ion K^+ and NH_4^+ have the same oxidation state (valence), as well as a similar ionic radius, both ions can compete in these expansive clays for fixed adsorption sites, and one of them may decrease the binding capacity of the other. Studies carried out on a clay located in Valles del Tuy, Miranda State, indicate the predominance of montmorillonite (bentonite) with a high capacity to fix potassium (Kf), since 54.5 % of K originally added to the soil it was fixed in the interlamilar soil complex. Kf dropped drastically when similar doses of K and ammonium salts ($2.0 \text{ meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ of NH_4Cl and KCl) were simultaneously added to the clay, while at higher doses of NH_4Cl in the experimental medium, Kf reached very low values (6 %). These results may indicate that in this kind of soil, a moderately low application of ammonia fertilization may favor the fixation of potassium, which can remain protected from losses due to leaching, therefore, acting as a potential reserve for future plant use.

Additional keywords: 2:1 clays, potassium requirements, ion competition

INTRODUCCIÓN

El potasio (K) es un elemento con una gran movilidad en los ecosistemas terrestres. Si bien las cantidades de K en la solución del suelo suelen ser bajas y, por tanto, rápidamente absorbidas por las raíces y microorganismos localizados en la

rizósfera, los niveles del nutriente en los órganos de las plantas son altos, lo que permite ejecutar de manera apropiada las múltiples funciones que este elemento desempeña en los órganos vegetales. El K en las células vegetales interviene en la activación de múltiples enzimas (más de 60 enzimas son activadas por este catión), facilitando

Recibido: Feb. 4, 2021

Aceptado: Julio 17, 2021

¹ Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Universidad Central de Venezuela. Centro de Ecología Aplicada, Apdo. 47058, Caracas, Venezuela. e-mail: danilo.lopez@ciens.ucv.ve (autor de correspondencia); aylopezc@gmail.com

² Instituto de Ciencias de la Tierra. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Apdo. 3895. Caracas, Venezuela. e-mail: miguelangelmahiasip@gmail.com; william.melendez@ciens.ucv.ve

diversos procesos metabólicos tales como la fotosíntesis y la síntesis de proteínas y de carbohidratos. El elemento también presenta un rol protagónico en el balance de agua y en el crecimiento meristemático (Mengel y Kirby, 1987; Conti, 2004). Al interactuar en todos esos procesos metabólicos el K favorece el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos (Weil y Brady, 2017).

Debido a los altos requerimientos de K por las plantas, los niveles de K contenidos en la solución del suelo son rápidamente incorporados mediante la absorción activa por los organismos (Epstein y Bloom, 2005); así, una vez que estos niveles son agotados en los espacios cercanos a los pelos radicales, el K en solución es repuesto mediante reacciones de adsorción-desorción con el K adsorbido en el complejo de cambio (Epstein y Bloom, 2005; Weil y Brady, 2017). Sin embargo, en suelos con abundancia de arcillas 2:1, cuando los niveles de K en la solución del suelo y en el complejo de adsorción son agotados, la renovación del K a la solución también puede ocurrir a partir de las formas de K, normalmente no intercambiable, fijadas en el espacio interlaminar del complejo arcilloso (Nommik y Vahtras, 1982; Scherer et al., 2014). Esta forma de K adsorbida en ese espacio interlaminar se conoce como K fijado (Kf) o no intercambiable (Intagri, 2017). El proceso de fijación de potasio es común en suelos que en su constitución mineralógica contienen principalmente arcillas del tipo illita y esmectita (montmorillonitas).

El Kf juega un papel fundamental en la nutrición potásica en este tipo de suelos una vez que se deprimen los niveles de la forma intercambiable ante la fuerte extracción del nutriente por algunos cultivos; en esta situación, cuando se agregan fertilizantes potásicos, el K liberado del abono ocupa rápidamente los sitios fijos de adsorción ubicado en los espacios interlaminares de las arcillas. Así, cuando estos espacios se encuentran poco saturados, el ingreso del K al sistema de fijación conlleva a una disminución de la disponibilidad real del nutriente ya que este potasio no intercambiable pasará a la solución con mucha menor velocidad que el K intercambiable. El Kf representa una forma del potasio, que cuando se acumula en el suelo sólo es potencialmente aprovechable y se constituye en una fuente de reserva futura para la planta (Intagri,

2017; Weil y Brady, 2017).

Dado que el ion potasio (K^+) y el ion amonio (NH_4^+) presentan el mismo estado de oxidación (valencia), al igual que un radio iónico similar (0,133 y 0,143 Å para el K y el amonio, respectivamente) pueden competir en las arcillas expansivas por los sitios fijos de adsorción en el complejo del suelo, y uno de ellos disminuir la capacidad de fijación del otro (Nommik y Vahtras, 1982; Scherer et al., 2014; López e Infante, 2017).

Las arcillas expansivas con esa naturaleza son capaces de inmovilizar cantidades significativas de K con la fertilización nitrogenada y potásica (López e Infante, 2017; 2020); como el K es un elemento que se requiere en altas concentraciones en muchos cultivos, un conocimiento adecuado de los procesos de competencias entre el K^+ y el NH_4^+ es de importancia para la ejecución de prácticas agrícolas.

El objetivo de esta investigación fue el estudio del proceso de competencia entre los iones potasio y amonio por los sitios de adsorción en una arcilla expansiva de un suelo ubicado en Ocumare del Tuy, estado Miranda, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo analizado pertenece al orden Inceptisol y provino de la sub-región de los Valles del Tuy, estado Miranda. A fin de obtener muestras representativas con poca influencia de la materia orgánica, éstas se tomaron del horizonte profundo (B). La determinación de granulometría fue realizada por triplicado. La caracterización mineralógica de las muestras fue realizada mediante difracción de rayos X (DRX) mediante el método del polvo, de acuerdo al procedimiento descrito por Moore y Reynolds (1989).

Determinación del potasio intercambiable y del potasio fijado. Esta determinación se realizó mediante una modificación del método usado por Zhan et al. (2014). En dos fiolas se agregaron 5 g de suelo, en una se añadió 5 mL de una solución de cloruro de potasio a razón de 2 meq·100 g⁻¹ suelo, y en la otra, 5 mL de agua desionizada. Seguido a esto, fueron añadidas 4 gotas de tolueno, y las muestras fueron tapadas y dejadas incubar en el laboratorio por 48 h; una vez culminado el equilibrio, a ambas muestras se le extrajo el potasio disponible (muestras tratadas

con KCl) y el K intercambiable original (muestras sin adición de KCl) mediante una solución de acetato de sodio 1M de acuerdo a Pansu y Guatheyrou (2006). El K en solución se analizó por espectrofotometría de llama. La determinación se realizó por triplicado.

El K fijado se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$K^+ (\text{fijo}) = K^+ \text{añadido} - K^+ (\text{disponible}) + K^+ (\text{Intercambiable original})$$

Competencia entre el K y el amonio. Esta evaluación se realizó mediante un experimento análogo al anteriormente descrito, pero bajo la adición de sales de potasio y amonio simultáneamente, en un esquema similar al presentado por Ajazi et al. (2013).

Fijación de potasio con adición simultánea de potasio y amonio. En cada una de cinco fiolas con 5 g de suelo esterilizado a 120 °C y 1 atm de presión se añadieron simultáneamente, 5 mL de una solución de NH₄Cl correspondientes a 0, 2, 5, 10 y 20 meq de NH₄⁺·100 g⁻¹ de suelo y 5 mL de una solución de KCl que contenía 2 meq de K⁺·100 g⁻¹ de suelo. A continuación, fueron añadidas 4 gotas de tolueno, y la muestras fueron tapadas, y dejadas incubar en el laboratorio por 48 h; una vez culminado el tiempo de equilibrio se realizó la extracción con acetato de amonio (1M), tanto del potasio disponible (muestra tratamiento con KCl y diferentes dosis de NH₄⁺) como del K intercambiable original (muestra sin adición de sales de NH₄, ni de K). El K en solución se analizó por espectrofotometría de llama. La determinación se realizó por triplicado. El K fijado en cada punto de la isoterma de adsorción se calculó mediante la ecuación anterior. Los valores obtenidos en todos los ensayos fueron reportados como la media aritmética de los triplicados y su dispersión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis granulométrico demostró la predominancia del componente fino, con 81 % de arcilla más limo, y el mineralógico la presencia de cuarzo, albita, montmorillonita y caolinitas (Cuadro 1).

El valor de K intercambiable (original) del suelo es bajo (0,075 ± 0,008 meq·100 g⁻¹), lo cual puede considerarse normal, por tratarse de un horizonte profundo de muy escasa actividad radicular y sin presencia de materia orgánica, la

cual hubiese podido influenciar los valores (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de K intercambiable y caracterización textural y mineralógica del sedimento proveniente de suelos de los Valles del Tuy, estado Miranda

Características del sedimento	
Limo (%)	39,1 ±0,7
Arcilla (%)	41,9 ±0,0
Textura	Arcilloso
K intercambiable (meq·100 g ⁻¹)	0,075 ± 0,008
Minerales	Cuarzo, Albita, Montmorillonita, Caolinita

En ausencia de iones competitivos, más de la mitad del K añadido al suelo en forma de KCl fue fijado (54,5 %, Cuadro 2), lo cual es una probable consecuencia de la presencia de arcillas montmorilloníticas y que, a su vez, podría señalar la importancia de este proceso en la nutrición potásica para los cultivos de la zona. Bajo esa fuerte fijación, el K no es aprovechable inmediatamente por los cultivos, pero permanece protegido a las pérdidas por lixiviación. Altos niveles de fijación de K han sido reportados en experimentos similares (Barber, 1979; Shaimukhametov y Petrofanov, 2008 y Zhan et al., 2014).

Cuadro 2. Fijación de K⁺ cuando fue añadido al suelo en dosis de 2 meq·100 g⁻¹ de forma simultánea con diferentes dosis de NH₄⁺

NH ₄ ⁺ añadido (meq·100 g ⁻¹)	Fijación K ⁺ (%)
0	54,5
2	13,0
5	7,5
10	6,0
20	5,5

Competencia entre el K⁺ y el NH₄ por sitios fijos de adsorción. La alta fijación del K, se vio fuertemente afectada ante la presencia del amonio, el cual compite en la arcilla por ocupar los sitios fijos de adsorción. Como se observa, la cantidad de K retenido en un ambiente sin ion competitivo (sin adición de amonio) decayó drásticamente cuando se suministraron dosis similares de K y

amonio (Cuadro 2). La Figura 1 ilustra como el proceso de fijación decrece de manera exponencial ante dosis crecientes de amonio en solución, alcanzándose niveles muy bajos de fijación después de una dosis de amonio de 5 meq·100 g⁻¹ (Figura 1, Cuadro 2). Cuando ambos iones fueron añadidos simultáneamente, a partir de 5 meq NH₄⁺·100 g⁻¹, la fijación de potasio fue muy baja, por lo que prácticamente todas las posiciones o los sitios fijos de adsorción en las arcillas fueron ocupados por amonio, lo cual indica la alta competencia en la fijación del potasio con el amonio en el suelo estudiado.

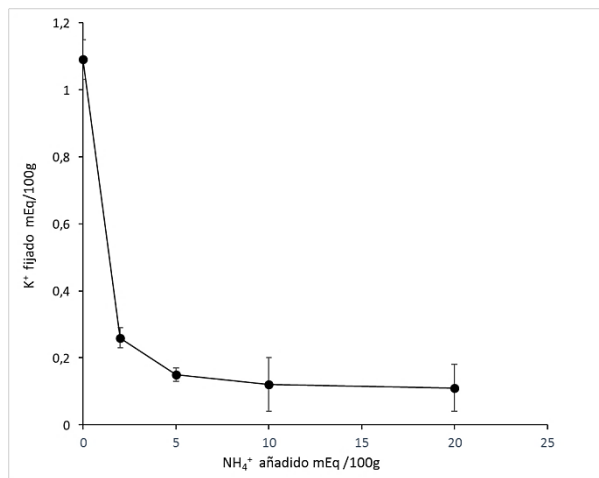


Figura 1. Variación del potasio fijado ante diferentes dosis de amonio (NH₄Cl). El potasio (KCl) fue aplicado en dosis constantes de 2 meq·100 g⁻¹

La tendencia obtenida en el experimento de competencia NH₄-K fue, de manera general, similar a la encontrada por Ajazi et al. (2013) en suelos con arcillas 2:1 en Albania y por Aikpokpodion (2017) en experimentos con suelos de Nigeria cultivados con cacao. Estudios sobre la competencia K-NH₄ son importantes en el caso de la fertilización de suelos agrícolas con altos niveles de sulfato de amonio que pueden inducir un problema de toxicidad en las plantas (Gerendás et al., 1997) debido principalmente a una reducción en la incorporación de K (Hoopen et al., 2010). De manera que, si a expensas del Kf, se incrementan los niveles de K en la concentración externa se podrían disminuir la toxicidad del amonio al causar un descenso en las concentraciones de N en el tejido de la planta

(Szczerba et al., 2008).

Por su parte, una fertilización amoniaca moderadamente baja favorecería la fijación de potasio, sirviendo por tanto, como potencial de reserva de este nutriente para uso futuro por las plantas.

CONCLUSIÓN

El tipo de suelo estudiado, proveniente de los Valles del Tuy, estado Miranda presenta una alta capacidad de fijación de potasio.

Esta alta fijación de K, decae drásticamente cuando se añaden al suelo, simultáneamente dosis similares de sales de K y de NH₄ (2,0 meq·100 g⁻¹). Bajo dosis más elevadas de NH₄Cl la fijación de K alcanza niveles muy bajos (6 %).

LITERATURA CITADA

1. Ajazi, A., L. Miho, A. Bani y A. Maçi. 2013. Effect of potassium on fixation of ammonium by clay minerals in different soil layers. *Albanian Journal of Agricultural Sciences* 4: 675-681.
2. Aikpokpodion, P.E. 2017. Agronomic implication of the competitive adsorption between NH₄⁺ and K⁺ in a selected cocoa growing soil in Nigeria. *FUTA Journal of Research in Sciences* 13: 236-245.
3. Barber, R.G. 1979. Potassium fixation in some Kenyan soils. *Journal of Soil Science* 30: 785-792.
4. Conti, M.E. 2004. Dinámica de liberación y fijación de potasio en el suelo. *International Plant Nutrition Institute (IPNI)*. Universidad de Buenos Aires. 14 p.
5. Epstein, E. y A.J. Bloom. 2005. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA, USA.
6. Gerendás, J., Z. Zhu, R. Bendixen, R.G. Ratcliffe y B. Sattelnacher. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 160: 239-251.
7. Hoopen, F., T.A. Cuin, P. Pedas, J.N. Hegelund, S. Shabala, J.K. Schjoerring y T.P. Jahn. 2010. Competition between uptake of

- ammonium and potassium in barley and *Arabidopsis* roots: molecular mechanisms and physiological consequences. *Journal of Experimental Botany* 61(9): 2303-2315.
8. Intagri. 2017. Fijación de potasio en el suelo. Serie Suelos. Artículos Técnicos de Intagri. Núm. 31. 3 p. <https://n9.cl/g1o30>. (consulta de julio 17, 2021).
 9. López-Hernández D. y C. Infante. 2017. Fijación de amonio en el perfil de un suelo molisol cultivado con caña de azúcar en el valle del río Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical* 67: 152-160.
 10. López-Hernández D. y C. Infante. 2020. Ammonium fixation and microbial immobilisation-mineralisation processes can quench N losses in a Mollisols located in a sugarcane plantation in Central Venezuela. *Annals of Agriculture and Crop Sciences* 5: 1055.
 11. Mengel, K. y E.A. Kirkby. 1987. Potassium. *In: Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute. Bern, Switzerland. Chapter 10: 427-453.
 12. Moore, D. M y R. C. Reynolds. 1989. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. 2nd. edition. Oxford University Press. Oxford, England.
 13. Nommik, H. y K. Vahtras. 1982. Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. *In: F.J. Stevenson (ed.) Nitrogen in agricultural soils*. *Agronomy* 22: 123-171.
 14. Pansu, M. y J. Gautheyrou. 2006. *Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. Springer, Paris.
 15. Scherer, H. W., E. Feils y P. Beuters. 2014. Ammonium fixation and release by clay minerals as influenced by potassium. *Plant Soil Environment* 60: 325-331.
 16. Shaimukhametov, M.Sh. y V.L. Petrofanov. 2008. Effect of long-term fertilization on the K fixing capacity of soils. *Agricultural Chemistry and Soil Fertility* 41: 441-451.
 17. Szczerba, M.W., D.T. Britto, K. Balkos y H.J. Kronzucker. 2008. Alleviation of rapid, futile ammonium cycling at the plasma membrane by potassium reveals K⁺-sensitive and -insensitive components of NH₄⁺ transport. *Journal of Experimental Botany* 59: 303-313.
 18. Weil R.R. y N.C. Brady. 2017. *The Nature and Properties of Soil*. Pearson Press, New York.
 19. Zhan, L., L. Xiaokun, L. Jianwei, L. Zhiwen, R. Tao y R. Cong. 2014. Potassium fixation and release characteristics of several normal and K-exhausted soils in the middle and lower reaches of the Yangtse River, China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45: 2921-2931.