

## **ADSORCIÓN Y DESORCIÓN DE POTASIO EN SUELOS DE GALICIA (ESPAÑA) DESARROLLADOS SOBRE DISTINTOS MATERIALES DE PARTIDA**

C. LÓPEZ-MATEO, E. ÁLVAREZ, M.L. FERNÁNDEZ-MARCOS\*

Departamento de Edafología e Química Agrícola, Escola Politécnica Superior, Universidade de Santiago de Compostela, 27002 Lugo. España. \*mluisa.fernandez@usc.es

**Abstract.** The potassium sorption capacity of soils is a major factor determining the dynamics of this element in the soil-plant system and the requirements for potassium fertilisation. Low contents of available potassium are often a factor limiting crop yield in Galician soils. Potassium sorption depends on the nature of clay minerals; the hydroxy-aluminium vermiculites, common in surface horizons of Galician soils, bestow on them a capacity to fix potassium. The present paper studies potassium sorption and desorption by samples representative of A and B horizons of Galician (NW Spain) soils, developed from various parent materials. The mineralogical composition of the soil clay was studied by X-ray diffraction analysis; the presence of non-crystalline materials was tested using the pH in NaF and estimated by the aluminium and iron extracted by acid oxalate. Potassium sorption was determined by shaking the soil samples with 0.01 M CaCl<sub>2</sub> containing various K concentrations, until equilibrium is reached. In most cases the experimental data fitted best to the linear or Freundlich models, so that it is not possible to predict a limit for potassium sorption by these soils. The sorption energy is higher in soils richer in non-exchangeable potassium. Soils with high contents of non-crystalline materials show a small potassium sorption capacity. The exchange complex contributes notably to potassium sorption. Potassium desorption was determined by shaking the soil samples, after the sorption experiment, with 0.01 M CaCl<sub>2</sub>. Some of the studied soils showed a pronounced hysteresis.

**Key words:** potassium sorption, sorption isotherms, potassium desorption, potassium fertilisation, potassium fixation, clay mineralogy, parent material, Galician soils.

**Resumen.** La adsorción de potasio por los suelos condiciona la dinámica de este elemento en el sistema suelo-planta y las necesidades de fertilización potásica. La escasez de potasio asimilable es a menudo un factor limitante de la producción agrícola en suelos gallegos. La adsorción de potasio depende de la naturaleza de los minerales de la arcilla; las vermiculitas hidroxialumínicas, comunes en horizontes superficiales de suelos gallegos, les confieren alta capacidad de adsorción de potasio. Se estudian la adsorción y desorción de potasio por muestras representativas de horizontes A y B de suelos de Galicia, desarrollados sobre distintos materiales originales. La mineralogía de la fracción arcilla se estudió por difracción de rayos X; la presencia de materiales no cristalinos se estimó por el pH en NaF y las concentraciones de Al y Fe extraídos con oxalato. Se estudió la adsorción equilibrando el suelo con disoluciones de varias concentraciones de K en CaCl<sub>2</sub> 0,01 M. Las isoterma de adsorción de potasio de la mayoría de los suelos estudiados se ajustan al modelo de Freundlich o a una recta, de modo que estos suelos no muestran un límite máximo para la adsorción de potasio. La mayor energía de adsorción corresponde a suelos con mayores contenidos de potasio no cambiante. La presencia de materiales no cristalinos se relaciona con una menor capacidad de adsorción de potasio. El complejo de cambio contribuye de forma importante a la adsorción de potasio. La desorción se determinó agitando las muestras de suelo, después del experimento de adsorción, con CaCl<sub>2</sub> 0,01 M. Algunos de los suelos estudiados muestran una histéresis pronunciada.

**Palabras clave:** adsorción de potasio, isoterma de adsorción, desorción de potasio, fertilización potásica, fijación de potasio, mineralogía de la arcilla, material original, suelos de Galicia.

## INTRODUCCIÓN

La fijación de potasio se define como la conversión del potasio de la disolución del suelo o cambiante en formas no cambiables (Munson, 1985). La capacidad de fijación de potasio difiere ampliamente de unos suelos a otros y depende mucho del tipo de minerales de la arcilla presentes en el suelo. El conocimiento de las características de fijación y liberación de potasio por los suelos es de interés práctico para la comprensión de la dinámica del potasio en el sistema suelo-planta y como base para desarrollar recomendaciones de fertilización potásica (Sardi y Csitari, 2000).

Las posiciones de adsorción de la materia orgánica y minerales de la arcilla de tipo caolinita presentan baja selectividad para el  $K^+$ . El potasio adsorbido en estos lugares alcanza rápidamente el equilibrio con una concentración relativamente alta de potasio en disolución (Ehlers *et al.*, 1968). Por el contrario, algunos minerales de la arcilla tipo 2:1 poseen lugares de adsorción que tienen mayor selectividad por el potasio y lo retienen muy fuertemente. Esto ocurre especialmente en las vermiculitas hidroxialumínicas.

Los datos de adsorción de los suelos se representan comúnmente en isotermas de adsorción. En estas isotermas se representa la concentración de la especie adsorbida (en nuestro caso el potasio) frente a la concentración en la disolución en equilibrio a una temperatura determinada. Las isotermas pueden ajustarse a diferentes modelos matemáticos. Entre los modelos más usados cabe citar la isoterma de Langmuir y la isoterma de Freundlich (Giles *et al.*, 1960).

La isoterma de Langmuir responde a la ecuación  $C/X = C/X_m + 1/KX_m$ , donde  $C$  es la concentración de adsorbato en la disolución en equilibrio ( $\text{mmol L}^{-1}$ ),  $X$  es la cantidad de adsorbato en la fase adsorbida ( $\text{mmol kg}^{-1}$ ),  $X_m$  es la adsorción máxima ( $\text{mmol kg}^{-1}$ ) y  $K$  es una constante relacionada con la energía de enlace.

La isoterma de Freundlich responde a la ecuación  $X = kC^{1/n}$ , donde  $X$  es la concentración de adsorbato en la fase adsorbida ( $\text{mmol kg}^{-1}$ ),  $C$  es la concentración de adsorbato en la disolución de equilibrio ( $\text{mmol L}^{-1}$ ),  $n$  y  $k$  son constantes;  $k$  es una medida del área superficial (abundancia de posiciones de adsorción) y  $1/n$  un indicador de la energía de adsorción. Cuando los datos se ajustan a una isoterma de este tipo, no es posible predecir un máximo para la adsorción.

Los bajos contenidos de potasio asimilable son con frecuencia un factor limitante de la producción agrícola en suelos gallegos (Calvo *et al.*, 1992), particularmente en aquellos que presentan alta capacidad de fijación de potasio. La presencia de vermiculitas hidroxialumínicas e intergradados mica-vermiculita es común en horizontes superficiales de estos suelos (Macías *et al.*, 1981); estos minerales son característicos de la alteración de las micas en medios ácidos. En presencia de este tipo de minerales, la eficacia de la fertilización potásica es baja mientras no se haya saturado la capacidad de fijación de potasio de estas arcillas (Calvo *et al.*, 1992).

El objetivo del presente trabajo es el estudio de los procesos de adsorción y desorción de potasio por muestras representativas de los suelos comunes en Galicia, desarrollados a partir de diversos materiales originales.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este ensayo se tomaron muestras de horizontes A y B de suelos de Galicia desarrollados sobre distintos materiales de partida: granito, esquistos, esquistos básicos, pizarras, anfíbolitas y serpentinitas. La localización, materiales de partida, profundidad, horizontes, clasificación y uso de estos suelos se presentan en la Tabla 1. Las características generales de los horizontes empleados en los ensayos se resumen en la Tabla 2. Se trata de suelos ácidos, que presentan frecuen-

temente carácter álico (>60% Al en el complejo de cambio). La textura es en la mayoría de los casos franca o franco-arenosa y los contenidos de arcilla presentan un amplio rango de variación. La capacidad de intercambio catiónico efectiva es frecuentemente baja.

TABLA 1. Situación y clasificación de los suelos

Perfil	Material original	Horizontes	Profundidad, cm	Uso del suelo	Coordenadas (Latitud - Longitud)	Localización	Clasificación FAO (1998)
G1	Granito	A Bw C	0-21 21-50 >50	Robledal	43°2'24"N - 7°19'58"W	Castroverde (Lugo)	Umbrisol húmico
G2	Granito	A C	0-25 >25	Prado	43°40'43"N - 7°24'37"W	Cervo (Lugo)	Umbrisol léptico
A1	Anfibolita	A Bw Bt C	0-35 35-60 60-120 >120	Prado	42°55'49"N - 8°10'01"W	Arzúa (A Coruña)	Lixisol húmico
A2	Anfibolita	A Bw C	0-25 25-55 >55	Pinar	42°55'49"N - 8°10'01"W	Arzúa (A Coruña)	Umbrisol húmico
E1	Esquisto	A Bw C	0-50 50-105 >105	Prado	42°59'16"N - 7°35'W	O Picato (Lugo)	Cambisol húmico
E2	Esquisto	A Bw C	0-20 20-65	Matorral	42°59'16"N - 7°35'W	O Picato (Lugo)	Cambisol háptico
EO1	Esquisto básico	A Bw C	0-45 45-90 >90	Robledal	42°56'21"N - 8°20'14"W	O Pino (A Coruña)	Umbrisol háptico
P1	Pizarra	A R	0-20 >20	Matorral	42°53'20"N - 7°41'33"W	Guntín (Lugo)	Leptosol úmbrico
P2	Pizarra	A R	0-25 >25	Matorral	42°53'40"N - 7°42'41"W	Montecalvo (Lugo)	Leptosol úmbrico
S1	Serpentinita	A R	0-25 >25	Matorral	42°54'55"N - 8°01'11"W	Melide (A Coruña)	Leptosol mólico
S2	Serpentinita	A R	0-100 >100	Prado	42°54'55"N - 8°01'11"W	Melide (A Coruña)	Umbrisol húmico

TABLA 2. Propiedades generales de los suelos: valores medios para cada material original y tipo de horizonte (A ó B)

Material de partida	Horizonte	pH agua	pH KCl	pH NaF	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Limo %	Arcilla %	Textura	CIC <sub>e</sub> , cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	C %	N %
Granito G	A	4,71	3,96	9,72	0,99	0,52	16,4	12,8	Francoarenoso	4,8	3,60	0,25
Granito G	B	4,87	4,37	10,73	1,69	0,69	17,5	8,2	Francoarenoso	2,2	1,85	0,11
Anfibolita A	A	5,05	4,20	10,64	1,36	0,71	38,1	16,4	Franco	4,7	4,78	0,36
Anfibolita A	B	4,94	4,12	9,08	0,28	0,31	33,6	25,3	Franco	3,9	1,28	0,10
Esquisto E	A	5,82	4,74	9,49	0,58	0,55	19,6	15,6	Francoarenoso	9,3	3,19	0,18
Esquisto E	B	5,21	4,05	8,71	0,09	0,10	10,6	10,9	Francoarenoso	4,4	0,35	0,03
Esquisto básico EO	A	4,81	4,23	8,89	0,91	0,83	33,8	17,3	Franco	5,3	3,36	0,38
Esquisto básico EO	B	4,86	4,12	9,08	0,19	0,26	28,3	25,7	Franco	5,6	0,73	0,06
Pizarra P	A	4,77	3,98	9,92	0,82	0,61	36,1	17,7	Franco	8,3	6,73	0,38
Serpentinita S	A	5,70	4,84	9,26	0,62	0,73	36,5	16,7	Franco	12,9	2,18	0,25

### Estudios mineralógicos

Separada la fracción arcilla del suelo, se sometió a un análisis de difracción de rayos X (difractómetro Philips modelo PW 1710/30), usando radiación  $K\alpha$  del cobre y filtro de níquel. Para cada muestra de arcilla se registró un diagrama de rayos X de polvo cristalino y diagramas de agregado orientado de la muestra natural, de la muestra saturada en K y de la muestra saturada en potasio calentada a 300 y 500°C (Douglas, 1989). Los máximos de difracción se asignan a diferentes minerales de la arcilla, según Brindley y Brown (1980).

La presencia de materiales no cristalinos se estimó mediante el pH en NaF (Fieldes y Perrot, 1966) y por determinación de aluminio y hierro extraídos con oxalato ácido (Blakemore, 1978).

### Ensayo de adsorción

Para la realización del ensayo de adsorción, se agitaron 3 g de suelo durante 12 horas con 30 ml de disoluciones de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M que tienen concentraciones de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100, 200 y 300 mg de  $\text{K L}^{-1}$ , en relación suelo: disolución 1:10, siguiendo el método propuesto por Singh y Jones (1975). El  $\text{CaCl}_2$  fue usado para mantener la fuerza iónica constante. Las concentraciones de potasio utilizadas llegaron a valores considerablemente más altos que los propuestos por Singh y Jones (1975), porque un ensayo previo puso de manifiesto la existencia de adsorción a concentraciones más altas que las propuestas por estos autores. Las suspensiones fueron centrifugadas a 1500 r.p.m. durante 10 minutos y filtradas. En las disoluciones de equilibrio se determinó potasio por espectrofotometría de emisión de llama. Todos los ensayos de adsorción se realizaron por duplicado.

A partir de la concentración de potasio inicial, la concentración de potasio en el equilibrio y el peso de suelo utilizado, se determinó la cantidad de K adsorbido por la fase sólida. Este valor se corrigió, sumándole el potasio de

cambio presente inicialmente en el suelo, para evitar la aparición de valores negativos de adsorción en el caso de disoluciones con bajas concentraciones de K. Los datos se ajustaron a los modelos matemáticos de Langmuir o Freundlich o a una recta, buscando el modelo que proporcionó un mejor ajuste. Una vez conocido el mejor ajuste para cada suelo, se calcularon los parámetros significativos de éste y se relacionaron con las propiedades del suelo. Si los datos se ajustan a una recta, el parámetro significativo es la pendiente de ésta. Si se ajustan al modelo de Langmuir, son  $X_m$  (adsorción máxima) y K, que es una constante relacionada con la energía de enlace. En el caso de que los datos se ajusten al modelo de Freundlich, los parámetros significativos son las constantes  $\log k$  y  $1/n$ . El análisis de regresión entre estos parámetros de las isothermas y las propiedades del suelo se realizó utilizando el programa SPSS 11.0 para Windows.

### Desorción de K

Después del ensayo de adsorción, se añadieron a cada muestra de suelo húmeda 30 mL de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, se agitaron las muestras durante una hora, se centrifugó y filtró en las mismas condiciones que en el ensayo de adsorción (Singh y Jones, 1975). En las disoluciones de equilibrio se determinó potasio, de la misma forma que en el caso anterior.

A partir de la concentración de potasio en la disolución de equilibrio se calculó la cantidad de potasio desorbido y la cantidad de potasio que queda en la fase adsorbida en el equilibrio. Se realizó una corrección para tener en cuenta el potasio contenido en la disolución embebida en el suelo húmedo, tanto antes como después de la desorción. Con estos datos de concentración de potasio en la fase adsorbida y en disolución en el equilibrio se construyen las isothermas de desorción.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Mineralogía de la fracción arcilla**

El análisis de difracción de rayos X revela la presencia en casi todos los suelos estudiados de vermiculitas hidroxialumínicas y/o interestratificados ilita-vermiculita, que se ponen de manifiesto por la presencia de picos o bandas de difracción entre 10 y 14Å (Figura

1). Estos minerales proporcionan presumiblemente al suelo la capacidad de retener potasio en forma fijada (no cambiante).

Cabe destacar también la presencia de serpentina y clorita en los horizontes de suelos desarrollados sobre serpentinitas. En el suelo S1, un suelo poco evolucionado sobre serpentinita, se detecta la presencia de trazas de un interestratificado de tipo magnésico.

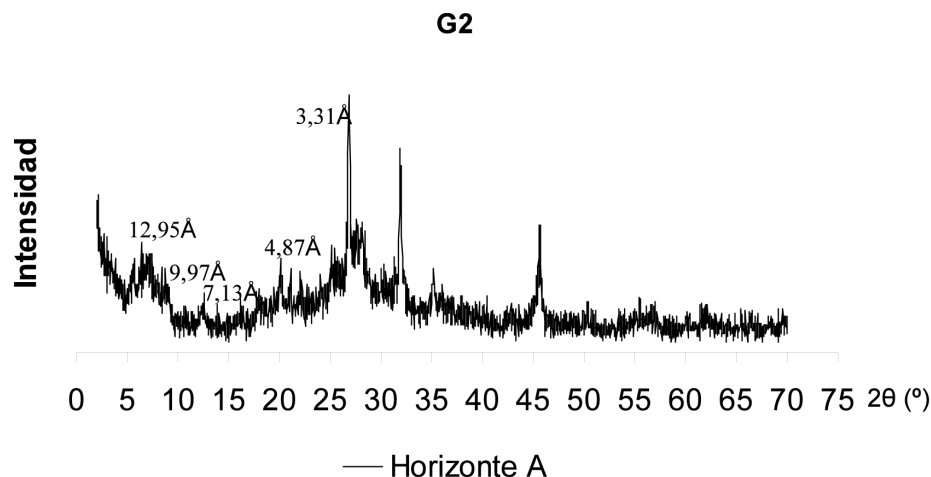


FIGURA 1. Diagrama de difracción de rayos X de polvo cristalino del horizonte A del suelo G2, desarrollado sobre granito

En los casos en que se han analizado varios horizontes del mismo perfil, se suele observar hacia la superficie una disminución de la cristalinidad y un aumento de la presencia de vermiculitas hidroxialumínicas e interestratificados. En la Figura 2 se presentan los diagramas de agregado orientado de los horizontes A y B del suelo EO1, desarrollado sobre esquistos básicos.

El pH en NaF y la extracción con oxalato ácido ponen de manifiesto la presencia de materiales no cristalinos en la mayoría de los horizontes superficiales (Tabla 2).

**Adsorción de potasio**

La máxima adsorción de potasio ocurrida para cada uno de los suelos estudiados (alcan-

zada cuando se equilibra una muestra de suelo con una disolución de 300 mg L<sup>-1</sup> de potasio) se presenta en la Tabla 3.

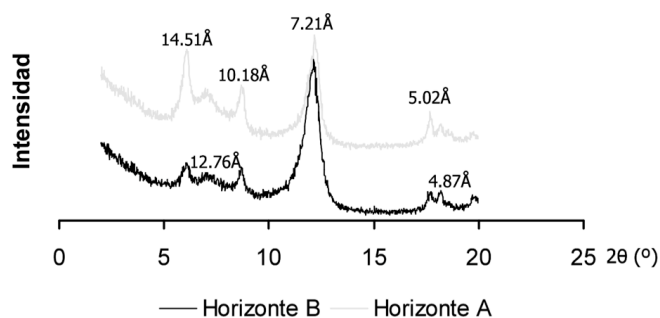


FIGURA 2. Diagrama de difracción de rayos X de agregado orientado de los horizontes A y B del suelo EO1, desarrollado sobre esquistos básicos

TABLA 3. Potasio adsorbido y desorbido al añadir 300 mg L<sup>-1</sup> de K

Horizonte A			Horizonte B		
ID SUELO	K adsorbido (mmoles/kg)	K desorbido (mmoles/kg)	ID SUELO	K adsorbido (mmoles/kg)	K desorbido (mmoles/kg)
G1A	10,62	9,41	G1Bw	11,65	10,15
G2A	7,98	4,99			
A1A	6,13	4,06	A1Bw	7,62	4,81
			A1Bt	8,21	4,66
A2A	12,80	9,32	A2Bw	9,95	5,32
E1A	6,15	5,22	E1Bw	10,25	8,39
E2A	12,79	12,10	E2Bw	11,64	10,07
EO1A	10,23	9,65	EO1Bw	15,26	7,13
P1A	9,21	6,59			
P2A	6,92	6,23			
S1A	18,44	8,46			
S2A	10,34	7,13			

La secuencia de adsorción máxima en los horizontes A es la siguiente: serpentinitas > anfíbolitas > esquistos > esquistos básicos > granitos > pizarras. En el caso de los horizontes B la secuencia es la siguiente: esquistos básicos > granito > esquistos > anfíbolitas.

La elevada adsorción de potasio por el suelo S1 va acompañada por una fuerte liberación de magnesio (128 mmolec/kg), lo que nos lleva a pensar que el K se fija en un interstratificado con intercapas magnésicas presente en este suelo.

En todos los suelos estudiados, la adsorción se ajusta razonablemente bien al modelo lineal. Los suelos sobre granitos se ajustan mejor al modelo de Freundlich o a una recta (Tabla 4, Figura 3a). Estos suelos no presentan, dentro del intervalo de concentraciones ensayado, un máximo de adsorción de potasio, lo que significa que el suelo podría adsorber potasio sin un límite predecible; la saturación, en caso de producirse, lo haría a una concentración muy elevada de potasio añadido.

TABLA 4. Coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de las isotermas de adsorción de potasio ajustadas a los modelos lineal, de Freundlich y de Langmuir.

Horizonte A				Horizonte B			
Muestra	Lineal	Freundlich	Langmuir	Muestra	Lineal	Freundlich	Langmuir
G1A	0,961	0,924	n.s.	G1Bw	0,973	0,955	0,926
G2A	0,961	n.s.	n.s.	A1Bw	0,988	0,981	0,975
A1A	0,944	0,939	n.s.	A1Bt	0,954	n.s.	n.s.
A2A	0,960	0,929	n.s.	A2Bw	0,939	0,922	n.s.
E1A	0,958	n.s.	n.s.	E1Bw	0,970	n.s.	n.s.
E2A	0,975	0,951	n.s.	E2Bw	0,946	0,943	n.s.
EO1A	0,963	0,951	0,921	EO1Bw	0,911	0,937	0,876
P1A	0,968	0,928	n.s.				
P2A	0,927	0,895	n.s.				
S1A	0,984	0,975	0,940				
S2A	0,955	n.s.	n.s.				

Los suelos sobre pizarras y anfibolitas y el perfil E2 (sobre esquistos), similarmente a los suelos sobre granitos, se ajustan bien al mo-

delo de Freundlich (Figura 3b). Muy pocos suelos se ajustan al modelo de Langmuir (Figura 3c).

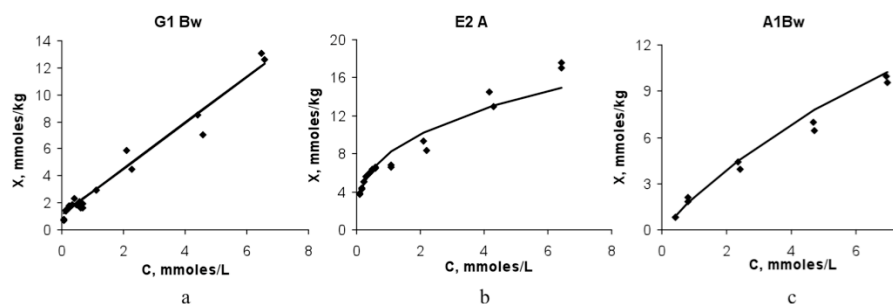


FIGURA 3. Ejemplos de ajustes de las isotermas de adsorción a) al modelo lineal, b) al modelo de Freundlich y c) al modelo de Langmuir.

De los suelos desarrollados sobre serpentinitas, S1 se ajusta mejor al modelo lineal, siendo ligeramente más bajos los coeficientes de correlación de los modelos de Freundlich y Langmuir; por el contrario, el suelo S2 sólo se ajusta al modelo lineal (Figura 4). Este comportamiento diferente se debe presumiblemente

a la heterogeneidad del material de partida y al distinto grado de evolución de estos dos suelos. El suelo S1, menos evolucionado y con un pH próximo a la neutralidad, tiene un comportamiento de adsorción similar al de los horizontes subsuperficiales de los suelos desarrollados sobre esquistos básicos. Por el contrario, el

suelo S2, más evolucionado, ácido y rico en materiales no cristalinos, presenta un comportamiento de adsorción comparable al del suelo G2 desarrollado sobre granito; estos dos suelos

tienen condiciones parecidas de pH y los dos se dedican a prado (Tablas 1 y 2).

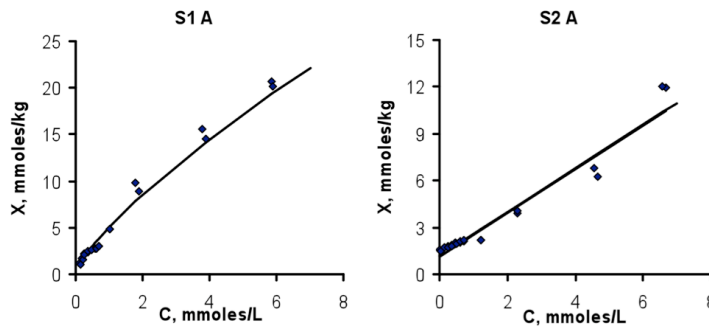


FIGURA 4. Ajustes de las isothermas de adsorción de los suelos sobre serpentinitas.

La correlación de los parámetros de las ecuaciones representativas de las isothermas de adsorción de potasio con distintas propiedades del suelo conduce a los resultados que se comentan a continuación.

La pendiente del modelo lineal se correlaciona significativa y positivamente ( $P < 0,01$ ) con el pH del suelo en agua y en cloruro potásico y con la capacidad de intercambio catiónico efectiva. Asimismo se correlaciona significativa y positivamente con el potasio adsorbido cuando el suelo se equilibra con la disolución de mayor concentración de potasio (300 mg L<sup>-1</sup>). Los coeficientes de correlación son los siguientes:

pH agua	pH KCl	CICe	K ads. de la disol. 300 mg K L <sup>-1</sup>
$r = 0,600$	$r = 0,700$	$r = 0,688$	$r = 0,936$

Un mayor pH se traduce en una mayor adsorción de potasio para un valor dado del potasio en la disolución de equilibrio. Lo mismo puede decirse de la capacidad de cambio efectiva. Estos dos parámetros (pH y CICe) a su vez están significativamente correlacionados entre sí, dado el carácter de carga variable de los suelos gallegos. Esta correlación de la pendiente con la capacidad de cambio parece indicar una contribución importante del complejo de cambio a la adsorción de potasio.

En el modelo de Freundlich, la constante  $1/n$  se correlaciona significativa y positivamente ( $P < 0,01$ ) con el potasio soluble en ácido nítrico 1M y con el potasio no cambiante (diferencia entre potasio soluble en ácido nítrico 1M y potasio cambiante) y negativamente con el pH en NaF. Los coeficientes de correlación son los siguientes:

$1/n$	K no cambiante	K soluble en HNO <sub>3</sub>	pH NaF
	$r = 0,781$	$r = 0,778$	$r = -0,618$

La correlación negativa de la constante  $1/n$  con pHNaF (indicador de la presencia de materiales no cristalinos) revela que estos materiales dificultan la adsorción de K por el suelo, presumiblemente bloqueando cargas negativas.

La inversa de  $1/n$  ( $n$ ) se correlaciona significativamente ( $P < 0,01$ ) con  $\log k$  y, con menor nivel de significación ( $P < 0,05$ ), con el potasio cambiante. Los coeficientes de correlación son los siguientes;

$\log k$	K cambiante
$n \quad r = 0,707 (P < 0,01)$	$r = 0,570 (P < 0,05)$

La correlación positiva entre  $n$  y  $\log k$  parece indicar que cuanto mayor es la abundancia de lugares de adsorción menor es la energía de enlace. La correlación positiva con el potasio



de cambio refleja la baja energía de retención de éste.

La constante log k se correlaciona significativa ( $P < 0,05$ ) y positivamente con el potasio cambiante, con el potasio no cambiante, con el logaritmo de la capacidad de intercambio catiónica efectiva y con el pH en  $H_2O$ . Los coeficientes de correlación son los siguientes:

	<b>K cambiante</b>	<b>K no cambiante</b>	<b>log CICE</b>	<b>pH H<sub>2</sub>O</b>
log k	r = 0,637	r = 0,569	r = 0,639	r = 0,615

Esta mejor correlación con el potasio cambiante que con el potasio no cambiante podría indicar que k es una medida de los lugares de adsorción preferentemente de baja energía. La correlación con log CICE (que a su vez se correlaciona significativamente con el pH en  $H_2O$ ) refleja la importante contribución del complejo de cambio a los lugares de adsorción para el potasio.

Pal *et al.* (1999) también encontraron correlaciones significativas de log k con pH en agua ( $r = 0,53$ ), CICE ( $r = 0,82$ ), log CICE ( $r = 0,916$ ), potasio cambiante ( $r = 0,59$ ) y potasio no cambiante ( $r = 0,59$ ) en algunos suelos vírgenes del suroeste de Australia. En cuanto a  $1/n$ , estos autores encontraron correlaciones significativas con la CICE ( $r = 0,64$ ), con el potasio cambiante ( $r = 0,71$ ) y no cambiante ( $r = 0,64$ ).

En el modelo de Langmuir apenas se pudieron establecer correlaciones significativas con parámetros característicos del suelo, dado el escaso número de muestras que se ajustan a este tipo de isoterma. La constante K se correlaciona negativamente ( $P < 0,01$ ) con la suma de los porcentajes de arcilla y limo fino y positivamente con el aluminio extraíble en oxalato ácido. Los coeficientes de correlación son los siguientes:

	<b>% arcilla + % limo fino</b>	<b>Alo</b>
K	r = - 0,962	r = 0,852

Asimismo K muestra una tendencia (no significativa estadísticamente) a disminuir al aumentar  $X_m$ .

La correlación negativa entre K y (%ar-

cilla + %limo fino) parece indicar que cuanto mayor es el contenido de limo fino y arcilla, es decir las posiciones de adsorción, menor es la energía de enlace. Esto está de acuerdo con la tendencia inversa entre K y  $X_m$ .

### Desorción de potasio

Tan importante como conocer la adsorción de potasio por un suelo es conocer la desorción, de manera que se pueda estimar cómo se libera el potasio que ha quedado retenido en el suelo. El proceso de desorción está relacionado en gran medida con la disponibilidad de K para las plantas.

Las isothermas correspondientes a la desorción de dos de los suelos estudiados se muestran, junto con las de adsorción, en la Figura 5. Se representa en ellas el potasio que queda en la fase adsorbida, después de alcanzado el equilibrio de adsorción o desorción, frente a la concentración de K en disolución.

Los perfiles sobre granitos, los horizontes P2, S2, A1-B1, A2-A, E1-B, EO1-A y el perfil E2 presentan una fuerte histéresis, mientras que en el resto de las muestras prácticamente coinciden la desorción y la adsorción. El potasio desorbido de los suelos que habían alcanzado el equilibrio con la disolución de 300 mg K  $L^{-1}$  se correlaciona positivamente ( $P < 0,01$ ) con el potasio no cambiante ( $r = 0,653$ ).

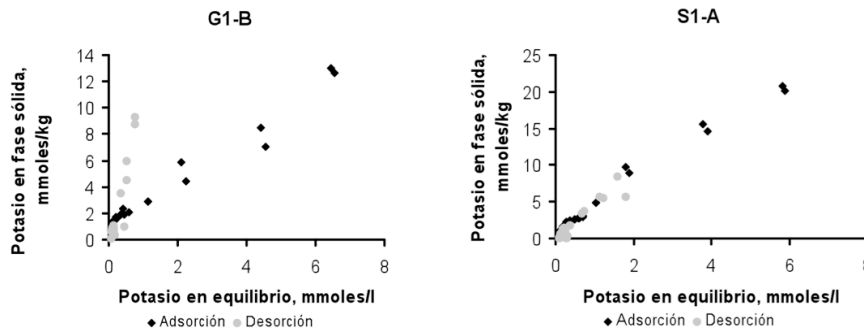


FIGURA 5. Ejemplos de isothermas de adsorción y desorción que muestran diferentes grados de histéresis.

## CONCLUSIONES

Los suelos que presentan mayor adsorción de potasio son los desarrollados sobre serpentinitas, anfibolitas y esquistos de Órdenes; la menor adsorción se obtiene en los suelos desarrollados sobre pizarras. Para un mismo perfil los horizontes B, en general, adsorben mayores cantidades de potasio que los horizontes A.

Las isothermas de adsorción de potasio de la mayor parte de los suelos estudiados se ajustan al modelo de Freundlich o a una recta, por tanto para estos suelos no es posible predecir un valor máximo de adsorción de potasio.

El complejo de cambio contribuye de forma importante a la adsorción de potasio.

La mayor energía de adsorción (mayor valor de la constante  $1/n$  de la isoterma de Freundlich) corresponde a suelos con mayores contenidos de potasio no cambiante.

La presencia en el suelo de materiales no cristalinos parece disminuir la tendencia a fijar potasio.

Un mayor número de posiciones de adsorción parece estar relacionado con una menor energía de enlace.

La desorción de potasio en estos suelos es generalmente menor que la adsorción, indicando un cierto grado de irreversibilidad del proceso.

## REFERENCIAS

- Blakemore, L.C. (1978): Exchange complex dominated by amorphous material (ECDAM). En: *The Andisol Proposal*, G.D. Smith (Ed). *Soil Bureau*, DSIR, New Zealand, 21-22.
- Brindley, G.W. y Brown, G. (1980): Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. *Mineralogical Society Monograph* no. 5, Londres, 495 p.
- Calvo, R., Macías, F., Riveiro, A. (1992): Aptitud agronómica de los suelos de la provincia de La Coruña. *Diputación Provincial de La Coruña*, La Coruña, España.
- Douglas, L.A. (1989): Vermiculites. En: *Minerals in soil environments* (2nd edition), J.B. Dixon y S.B. Weed (Ed). *Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin, USA, 635-674.
- Ehlers, W., Gebhardt, H., Meyer, B. (1968): Untersuchungen über die positions-spezifische Bindung des Kaliums an Illit, Kaolinit, Montmorillonit und Humus. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 119, 173-186.
- FAO, ISRIC, ISSS. (1998): World Reference Base for Soil Resources. 84 World Soil Resources Reports. *FAO*, Roma.
- Fieldes, M y Perrot, K.W. (1966): The nature of allophane in soils. I. Significance of randomness in pedogenesis. *New Zealand*

*J. Sci.* 9, 622-632.

- Giles, C.H., Macewan, T.H., Nakhwa, S.N., Smith, D. (1960): Studies in adsorption, part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. *J. Chem. Soc.* 786, 3973-3993.
- Macías Vázquez, F., García Paz, C., García-Rodeja Gayoso, E. (1981): Mineralogía de las arcillas en suelos y alteraciones sobre materiales graníticos de Galicia. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 3, 387-414.
- Munson, R.D. (1985): Potassium in agriculture. *American Society of Agronomy*. Madison, WI, USA, 131-183.
- Pal, Y., Wong, M.T.F., Gilkes, R.J. (1999): The forms of potassium and potassium adsorption in some virgin soils from South-Western Australia. *Aust. J. Soil Res.* 37, 695-709.
- Sardi, K. y Csitari, G. (2000): Studies on the potassium fixation of soils at different temperatures. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31, 2359-2365.
- Singh, B.B. y Jones, J.P. (1975): Soil fertility and plant nutrients. Use of sorption-isotherms for evaluating potassium requirements of plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39, 881-886.