

Sección 4

Ciencia del Suelo
72ª continuación

Nº 5/1981

La química del potasio en suelos arenosos*

(On the chemistry of potassium in sandy soils)

D. L. Sparks

Profesor Auxiliar de Química Física del Suelo, Departamento de Ciencia Vegetal,
Universidad de Delaware, Newark, Delaware 19711, EE.UU.

Resumen amplificado de los siguientes trabajos:

Sparks D.L., Martens D.C., Zelazny L.W.: Absorción y lixiviación del potasio aplicado y nativo en suelos Dothan.

Sparks D.L., Zelazny L.W., Martens D.C.: Cinéticas del Intercambio de Potasio en un Suelo Paleudult de las Planicies Costeras de Virginia.

Sparks D.L., Zelazny L.W., Martens D.C.: Cinéticas de la Desorción Potásica en Suelos usando Desplazamientos miscibles.

Sparks D.L.: Química del Pótasio del Suelo en las Tierras de la Planicie Costera Atlántica.

Introducción

El empleo de la fertilización potásica ha descendido al incrementarse los rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) sobre ciertos suelos de la región que comprende la Planicie Costera Atlántica. Estos suelos están caracterizados por horizontes superficiales arenosos y altas concentraciones de K en el subsuelo arcilloso. Normalmente, las recomendaciones que se vienen haciendo sobre la fertilización potásica se basan en muestras recogidas de 18 a 20 cm de profundidad. Con frecuencia, estas muestras contienen bajos niveles del potasio extractable y, por tanto, no existen respuestas de rendimiento ante la fertilización potásica. Esta falta de respuesta podría reflejar la disponibilidad del K del subsuelo. Los objetivos perseguidos por esta fase del estudio fueron los de evaluar la disponibilidad por la planta del K del subsuelo en dos terrenos de limo arenosos finos Dothan de la Planicie Costera de Virginia, y determinar si el K del subsuelo se derivaba de la lixiviación del K aplicado o era de origen genético. La disponibilidad para la planta y el movimiento del K fueron evaluados durante dos estaciones de crecimiento. La selección de los dos suelos se basó en las diferencias existentes en el K total en sus horizontes Ap, A2 y B21t.

Formas de K del suelo

El status del K de los dos suelos se evaluó por los índices de disponibilidad del potasio extractable con HCl-H₂SO₄ diluido e intercambiable (cuadro 1).

* Una contribución al 6º Concurso para Jóvenes Investigadores convocado por el Instituto Internacional de la Potasa, Berna.

El potasio extractable en HCl-H₂SO₄ diluido se emplea en Virginia y otros muchos estados del sureste para determinar las necesidades de fertilización potásica. El horizonte Ap contenía el nivel medio de K extractable en HCl-H₂SO₄ diluido en el suelo del condado de Greenville, y un bajo nivel en el del condado de Nottoway, y todo ello de conformidad con los datos de calibración empleados en el procedimiento (Rich, 1955). La suma del K extractable en HCl-H₂SO₄ diluido o la del K intercambiable era mayor en los tres horizontes del suelo del condado de Greenville que en los del suelo del condado de Nottoway, lo que puede reflejar la aplicación de K durante los muchos años de aplicación en la producción vegetal del primero de los suelos citados, evidenciándose un aumento tanto en el K extractable en HCl-H₂SO₄ diluido como en el K intercambiable de los horizontes A2 a B21t, para ambos suelos.

Cuadro 1 Formas de K en suelos Dothan de los condados de Greenville y Nottoway

Horizonte	Profundidad cm	K extractable en HCl-H ₂ SO ₄ diluido meq/100 g	K inter- cambiable	K no inter- cambiable	Mineral primario de K		K total			
					feld.	mica	Arena	Limo	Ar- cilla	
Condado de Nottoway										
Ap	0-20	0,11	0,11	0,17	5,4	0,8	6,5	0,3	3,7	2,5
A2	20-31	0,06	0,11	0,19	5,7	0,9	6,9	0,4	3,4	3,1
B21t	31-41	0,10	0,22	0,38	5,1	3,6	9,3	0,2	1,4	7,7
Condado de Greenville										
Ap	0-15	0,07	0,10	0,22	11,3	0,4	12,0	2,5	4,1	5,4
A2	15-33	0,03	0,09	0,19	8,2	2,3	10,8	2,0	5,5	3,3
B21t	33-58	0,08	0,13	0,24	5,4	5,6	11,4	1,8	4,7	4,9

Cuadro 2 Efecto que ejerce la aplicación de K sobre el rendimiento, la concentración y la exportación de K del maíz cultivado en suelos Dothan del condado de Greenville durante 1977 y del condado de Nottoway durante 1977/78

Tratamiento** kg K/ha	Rendimiento			K en la hoja de la espiga %	Exportación total de K		
	Grano kg/ha	Tallo	Total		Grano	Tallo	Total
Condado de Greenville							
0	330 a*	5300 a	5 630 a	2,0 b	1 a	70 b	71 b
63	340 a	5240 a	5 580 a	2,1 b	1 a	85 ab	86 ab
249	230 a	4590 a	4 820 a	2,5 a	1 a	113 a	114 a
Condado de Nottoway							
0	4940 a	4890 b	9 830 b	1,0 b	12 a	46 a	58 a
83	5110 a	6060 a	11 170 a	1,5 a	13 a	54 a	67 a
Condado de Nottoway							
0	6430 b	7330 a	13 760 b	0,7 b	11 b	19 b	30 b
83	8380 a	9220 a	17 600 a	1,2 a	14 a	66 a	80 a

* Las medias de las columnas para cada tratamiento son significativamente diferentes al nivel de probabilidad 0,10 si van seguidas por diferentes letras para un año dado.

** K se aplicó anualmente.

Cuadro 3 Efecto que ejerce la aplicación de K y tiempo de muestreo sobre el K intercambiable en tres horizontes de los suelos de los condados de Greenville y Nottoway

Trata- miento**	Hori- zonte	Fecha de muestreo						
		6/77	8/77	11/77	3/78	6/78	9/78	12/78
kg K/ha		meq K intercambiable/100 g						
Condado de Greenville								
0	Ap	0,09 cA*	0,07 cBC	0,08 cAB	0,07 bBC	----	—	0,06 cC
83	Ap	0,12 bA	0,09 bBC	0,09 bBC	0,11 abAB	—	—	0,08 bC
249	Ap	0,19 aA	0,13 aB	0,12 aB	0,12 aB	—	—	0,11 aB
0	A2	0,12 aA	0,09 bB	0,10 bAB	0,10 bAB	—	—	0,08 bB
83	A2	0,13 aA	0,10 bB	0,10 bB	0,12 abAB	—	—	0,12 bAB
249	A2	0,13 aB	0,13 aB	0,13 aB	0,15 aB	—	—	0,19 aA
0	B21t	0,20 aA	0,16 aB	0,16 aB	0,18 aAB	—	—	0,13 bC
83	B21t	0,20 aAB	0,16 aBC	0,19 aABC	0,15 aC	—	—	0,23 aA
249	B21t	0,19 aB	0,16 aB	0,18 aB	0,18 aB	—	—	0,24 aA
Condado de Nottoway								
0	Ap	0,11 bA	0,07 bB	0,08 bB	0,07 bB	0,07 bB	0,05 bC	0,05 bC
83	Ap	0,13 aA	0,09 aCD	0,10 aBC	0,10 aBC	0,11 aB	0,08 aD	0,09 aCD
0	A2	0,08 aA	0,06 aBC	0,07 aAB	0,07 aAB	0,06 bBC	0,06 bBC	0,05 bC
83	A2	0,07 aBC	0,06 aC	0,07 aBC	0,06 aC	0,09 aA	0,08 aAB	0,08 aAB
0	B21t	0,12 aA	0,10 aBC	0,12 aA	0,10 aBC	0,11 aAB	0,11 aAB	0,09 aC
83	B21t	0,10 aBC	0,09 bC	0,10 aBC	0,10 aBC	0,11 aB	0,13 aA	0,10 aBC

* Las medias de las columnas para cada horizonte son significativamente diferentes al nivel de probabilidad 0,10 si van seguidas por diferentes letras minúsculas. Las medias de las filas son significativamente diferentes al nivel de probabilidad de 0,10 si van seguidas por diferentes letras mayúsculas.

** El tratamiento K se aplicó después de realizado el muestreo en 3/77 y en 3/78.

*** No se obtuvieron muestras del suelo.

Los tres horizontes de los dos suelos contenían cantidades relativamente altas del K total que oscilaban desde 6,5 a 12 meq/100 g (cuadro 1). En formas feldespáticas y micas fueron superiores al 90% del K total en cada uno de los horizontes de los dos suelos. La alta cuota del K total en estas formas minerales primarias sugiere que la roca madre era el origen de la mayor parte del K en cada uno de los horizontes de los dos suelos. Se encontraban presentes porciones relativamente grandes del K total en la fracción de limo de ambos suelos e incluso en la fracción arenosa del suelo del condado de Nottoway. La presencia de K en minerales primarios en el volumen de las fracciones de arena y limo apoyan la conclusión de que gran parte del K total en los dos suelos era de origen genético (Barshad, 1964). Las cantidades de K no intercambiable resultaban relativamente bajas en los tres horizontes de los dos suelos (Yuan y colaboradores, 1976), lo que podía esperarse donde gran parte del K total del suelo se encontraba en formas feldespáticas o micáceas.

Efecto que ejerce la aplicación de K sobre los niveles de K en los tejidos y el rendimiento del maíz

Las aplicaciones de K aumentaban generalmente las concentraciones de este elemento en las hojas de la mazorca de maíz durante el período de crecimiento de

las vilanos en ambos suelos (cuadro 2). Jones (1967) informó que una concentración de K en las hojas de las mazorcas en este estado de crecimiento menor que 1,25%, y de 1,71 al 2,25% indica una aplicación adecuada de K para el logro de rendimientos máximos de maíz. Las relaciones entre la aplicación de K y la producción de maíz fueron compatibles con estos niveles críticos. Es decir, la aplicación de K aumentaba los rendimientos totales de granos y tallos allí donde las hojas de la mazorca de las plantas cultivadas en las parcelas control contenían 1,0% y 0,7% de K en el suelo del condado de Nottoway en 1977 y 1978, respectivamente, mientras que la aplicación de este elemento nutritivo no aumentaba los rendimientos totales en el suelo del condado de Greenville, donde las hojas de las mazorcas de las plantas de las parcelas control contenían el 2,0% de K. Los rendimientos fueron mucho más altos en el suelo del condado de Nottoway en 1978 que en 1977. El inferior rendimiento alcanzado en 1977 refleja la severa sequía que se produjo y que sólo puede superarse parcialmente con el riego. El rendimiento del grano de maíz fue excesivamente bajo en el suelo del condado de Greenville en 1977, debido a una fuerte sequía en el período de llenado del grano. La cantidad de lluvia caída en este lugar fue de 3,5 cm en junio y 6,9 cm en julio.

La suma del K extractable en HCl-H₂SO₄ diluido e intercambiable en los horizontes Ap, A2 y B21t fue más alta en el suelo del condado de Greenville que en el del condado de Nottoway (cuadro 1). Estos datos indican la existencia de un más alto nivel del K disponible para la planta en los tres horizontes de la superficie del primero de los suelos citados. Por consiguiente, la concentración de K en las hojas de la mazorca y la absorción total de este elemento fue más alta en las plantas de maíz cultivadas en 1977 en el suelo del condado de Greenville (cuadro 2) al encontrarse más K presente en los tallos que en los granos. Esto fue más evidente en el suelo del condado de Greenville en 1977, donde el rendimiento del grano era excesivamente bajo como consecuencia de la falta de lluvia, pero también era evidente en el suelo del condado de Nottoway en 1978, donde la lluvia caída fue casi la adecuada. En conjunto, estos datos indican que se produce mucha más exportación de K del suelo en el que el maíz se cultiva para ensilado que cuando se cultiva solamente para grano. Los datos que se refieren a la absorción total demuestran que la aplicación de 83 kg de K/ha no sería adecuada para rellenar el suelo del K exportado cuando las plantas se empleaban para ensilaje.

Absorción de K a partir del subsuelo

Como se suponía, la aplicación de K aumentaba el K intercambiable en los horizontes Ap, de ambos suelos (cuadro 3). Los descensos en el K intercambiable se presentaron en los horizontes Ap de ambos suelos desde junio de 1977 a agosto del mismo año, y desde junio del 77 a diciembre de 1978, en los muestreos realizados en parcelas control y en las tratadas con K. Estas disminuciones en el K intercambiable se atribuyen principalmente a la absorción por el cultivo y la lixiviación del K posiblemente a alguna fijación. Las disminuciones en el K intercambiable aparecieron en los horizontes A2 y B21t de las parcelas control de ambos suelos durante los muestreos llevados a cabo desde junio a agosto de 1977. Estas disminuciones indican que las raíces del maíz, que se detectaban visiblemente en estos horizontes, eran capaces de extraer K del subsuelo incluso aunque los niveles de pH en los horizontes B21t de ambos suelos estuvieran por debajo de 5,0. Las plantas no podían absorber K de los horizontes B donde el crecimiento de la raíz era inhibido por la toxicidad de Al o Mn. Asimismo, la sorción de K por la planta no se presentaría en los horizontes B donde las raíces no crecían debido a la falta de O₂ o a que no alcanzaban el desarrollo.

Lixiviación de K

Aunque las plantas de maíz no pudieron cultivarse en el suelo del condado de Greenville en 1978, se continuó el estudio para determinar el efecto que ejerce el nivel alto de aplicación de K combinado con la exportación relativamente baja de K (cuadro 2) sobre la lixiviación de K. La aplicación de 249 kg de K/ha, aumentó el K intercambiable en el suelo del horizonte A2 en los muestreos que se realizaron desde agosto de 1977 hasta diciembre de 1978 (cuadro 3). El K intercambiable se incrementó en el horizonte B21t en el muestreo de diciembre de 1978, desde la aplicación de 83 y 249 kg de K/ha. Estos incrementos en el K intercambiable indican que se producen movimientos descendientes de K en el suelo, dando por sentado que también se produce una cantidad similar de K liberada en los horizontes A2 y B21t de las parcelas control y de las tratadas con K. Esta conclusión a la que se llega por la lixiviación de K no se alteraría si la liberación de K fuera más alta en los horizontes A2 y B21t de las parcelas tratadas con K debido a una mayor absorción del cultivo de K o sí, la absorción del cultivo del K lixiviado fuera mayor de los horizontes A2 y B21t, de las parcelas tratadas con K.

El movimiento descendente de K en el horizonte A2 del suelo del condado de Nottoway se indicó por incrementos en el K intercambiable de la aplicación de 83 kg de K/ha en este horizonte durante los muestreos realizados desde junio a diciembre de 1978 (cuadro 3). Con el fin de seleccionar áreas experimentales muy uniformes para este estudio se realizó un gran esfuerzo, no obstante haberse presentado una ligera variación en el K intercambiable en el horizonte B21t entre las parcelas control y las tratadas con K. Por ejemplo, el K intercambiable era más alto en el horizonte B21t en las parcelas control que en las tratadas con K en el muestreo realizado en agosto de 1977. Las concentraciones del K intercambiable en este suelo en las fechas de los muestreos comprendidas entre junio y setiembre de 1978 fueron más altas que las obtenidas en el muestreo de agosto de 1977, lo que indicaba la existencia de un movimiento descendente del potasio en el horizonte B21t del suelo.

Cinéticas de la adsorción y desorción del potasio en el suelo arenoso

Deseamos señalar que hasta ahora se han llevado a cabo una gran cantidad de investigaciones sobre diversos aspectos del intercambio iónico con K, pero en la literatura ha aparecido una cantidad insuficiente sobre la tasa de intercambio de K o de la cinética de la adsorción y desorción en sistemas de suelos. En tanto que las investigaciones se han dirigido hacia la cinética en sistemas arcillosos puros, pocas se han dirigido hacia sistemas de suelos en los que estén presentes las complejas mezclas de minerales arcillosos y materia orgánica. Además, las cinéticas de las reacciones del intercambio del ión no se han comprendido en ningún sistema (Thomas, 1977). El fin perseguido por los trabajos que siguen fue el de investigar la cinética del intercambio de K en los horizontes Ap, A2, B21t y B22t de los suelos Dothan a los que nos hemos referido al principio de este trabajo.

Sorción de K en el tiempo

La sorción de potasio no fue instantánea para las muestras saturadas de Al y Ca de los horizontes Ap y B22t del suelo del condado de Greenville (fig. 1-4). Aunque no se muestre, se presentó una tendencia similar en los otros horizontes de esta localidad y en todos los horizontes ubicados en el condado de Nottoway. La sorción no instantánea difiere de los descubrimientos realizados por otros investigadores (Way, 1950; Malcolm y Kennedy, 1969) con los sistemas puros.

El proceso de sorción se completaba virtualmente en los horizontes Ap tratados con K a 5 y 25 ppm y saturados con Al y Ca en el condado de Greenville en dos horas (fig. 1 y 2). Los suelos tratados con K a 100 ppm sorbían más potasio que cualquiera de los tratados con K a 5 ó 25 ppm, que era lo que se esperaba desde el punto de vista de una concentración (Kelley, 1948), y de lo que resultaba una relación relativamente lineal cuando se trataba logarítmicamente. Sin embargo, el equilibrio no se alcanzaba hasta aproximadamente 24 horas de tiempo de equilibrio. El horizonte Ap del suelo del condado de Greenville saturado de Ca sorbía considerablemente más K que el suelo saturado de Al (fig. 2), lo que puede esperarse sobre la base del desplazamiento más fácil del Ca bivalente que del Al trivalente (Helfferich, 1962). Aunque no se informa de ello en este trabajo, el trazado de las relaciones de la sorción con el tiempo en el horizontes A2 y B21t fueron similares al del horizonte Ap (fig. 1 y 2), lo que podía esperarse toda vez que la mineralogía y los contenidos de arcilla eran similares.

Los suelos saturados de Al y Ca del horizonte B22t sorbían considerablemente más K que los de los otros horizontes (fig. 3 y 4). El contenido arcilloso más alto de este horizonte producía más lugares de intercambio para la sorción de K en las muestras saturadas de Al y Ca. Los suelos tratados con K a 5 y 25 ppm alcanzaron el equilibrio aproximadamente en una hora, mientras que no se alcanzaba en los suelos tratados con 100 ppm de K hasta casi las 24 horas. En los demás horizontes ocurría similarmente: el suelo saturado de Ca sorbía mucho más K que el saturado de Al.

Estos datos que demuestran que el intercambio del ión no es instantáneo para K en suelos saturados de Al y Ca, sugieren un intercambio controlado por la difusión. Estos suelos, que contenían minerales arcillosos de vermiculita y mica, que otros investigadores han demostrado que exhibían un intercambio lento ligado a la difusión (Barshad, 1955; Malcolm y Kennedy, 1970). Un aspecto práctico de esta tasa de sorción lenta es que K podría quedar en la fase de solución del suelo durante más largos períodos de tiempo en los que también podía ser lixiviado o absorbido por las plantas.

Coefficientes de la tasa de adsorción

Las tasas de las reacciones son directamente proporcionales a los valores k_a (Selim y colaboradores, 1976). Los valores k_a medidos descendían al incrementarse la fuerza iónica (cuadro 4), lo que confirma la presencia de una tasa más rápida de intercambio para las concentraciones más bajas del K añadido conforme quedó testimoniado por la teoría de la tasa de actividad de Bronsted (Moore, 1972). También se indicó por estos valores, que la tasa de intercambio en el sistema saturado de Ca tendía a ser más rápida que en el sistema saturado de Al. Los valores k_a del mismo horizonte eran similares en ambas localidades, lo que sugiere que tienen lugar reacciones de intercambio similares conforme podía esperarse, como consecuencia de una mineralogía similar. Aparentemente, la historia del cultivo no ejercía una grande influencia sobre la cinética.

Los valores k_a de estos suelos variaban desde casi 1 a 20 horas⁻¹, lo que indica bajas tasas de reacción (fig. 1-4), según se comparó con los valores de 81 a 216 horas⁻¹ calculadas para los suelos de Florida (Selim y colaboradores, 1976). Este hecho puede explicarse sobre la base del predominio de la caolinita en los suelos de Florida al compararse con los minerales de vermiculita en los suelos de Virginia.

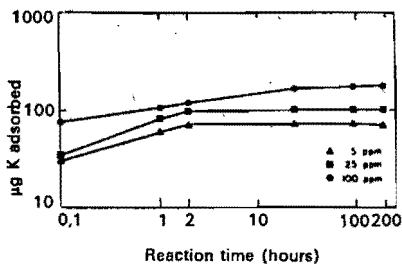


Fig. 1. Adsorción de K por el suelo del horizonte Ap del condado de Greenville (saturado de Al), en función del tiempo, trazado sobre una escala logarítmica a 25 °C.

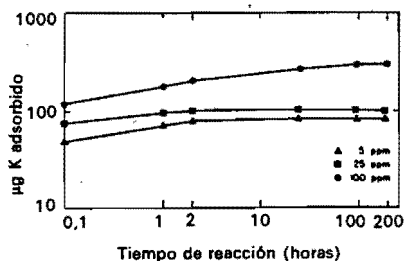


Fig. 2. Adsorción de K por el suelo del horizonte Ap del condado de Greenville (saturado de Ca), en función del tiempo, trazado sobre una escala logarítmica a 25 °C.

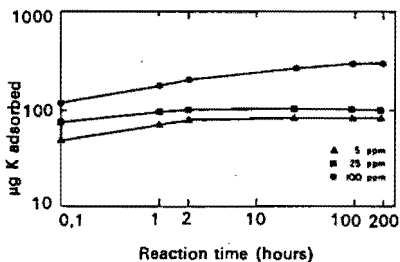


Fig. 3. Adsorción de K por el suelo del horizonte B22t del condado de Greenville (saturado de Al) en función del tiempo, trazado sobre una escala logarítmica a 25 °C.

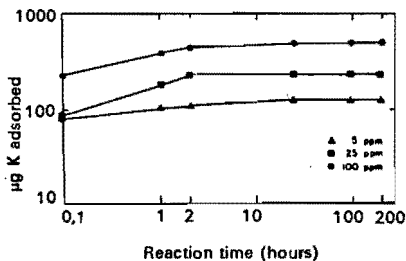


Fig. 4. Adsorción del K por el suelo del horizonte B22t del condado de Greenville (saturado de Ca), en función del tiempo, trazado sobre una escala logarítmica a 25 °C.

Cuadro 4 Coeficientes de la tasa de adsorción para el suelo Dothan de los condados de Greenville y Nottoway

Horizonte	Tratamiento saturado de	K _c	k _a Greenville	k _a Nottoway
		ppm	hora ⁻¹	
Ap	Al	5	10,23	12,07
		25	3,13	3,26
		100	1,08	0,95
Ap	Ca	5	14,23	12,93
		25	3,75	4,36
		100	1,84	2,07
A2	Al	5	12,79	10,00
		25	2,85	2,30
		100	1,60	0,75
A2	Ca	5	11,74	11,12
		25	4,54	3,92
		100	2,20	2,19
B21t	Al	5	13,22	10,85
		25	3,47	3,93
		100	1,92	1,55
B21t	Ca	5	15,75	14,26
		25	4,66	4,31
		100	2,46	2,30
B22t	Al	5	12,26	14,38
		25	3,64	4,64
		100	2,02	2,17
B22t	Ca	5	20,01	21,91
		25	4,53	8,45
		100	3,84	5,67

Cinéticas de la desorción de K en suelo arenoso

La desorción potásica en los suelos Dothan se conformaba como cinética de primer grado (fig. 5). La ecuación de la tasa de primer grado describía la desorción de K durante un promedio de tiempo de 165 y 173 minutos para las muestras saturadas de Al y Ca, respectivamente, en los horizontes Ap, A2 y B21t, y con un promedio de tiempo de 439 y 505 minutos para las muestras saturadas de Al y Ca en el horizonte B22t (cuadro 5). Esto representa las veces que la desorción de K se completaba virtualmente en los respectivos horizontes del suelo. La ecuación de la tasa de primer grado describía bien la desorción de K con valores *r* que oscilaban desde -0,993 a -0,998 (fig. 5). El descubrimiento de que las cinéticas de la desorción de K son de primer grado apoya la proposición hecha por *Selim y colaboradores* (1976).

Los valores *k/d* a una velocidad de flujo de 1,0 ml min⁻¹ descendieron en los suelos de los horizontes Ap a B22t de Greenville y Nottoway mientras aumentaba el contenido de arcilla (cuadro 5). Se esperaba que la desorción fuera más lenta allí donde están presentes más altos contenidos de arcilla debido al incremento del transporte intrapartícula y a la difusión. Allí tiende a ser un valor más alto de *k/d* en el sistema saturado de Al que en saturado de Ca (cuadro 5). La variación en los valores *k/d* en los cuatro horizontes fue menor que la que se observó para los coeficientes de la tasa de adsorción (*Sparks y colaboradores*, 1980). La pequeña variación en los valores *k/d* sugiere que las reacciones de desorción similares se presentaron a través de los perfiles del suelo a esta velocidad de flujo (*Evans y Jurinak*, 1976).

La cinética de desorción de K en los dos suelos Dothan fue de 2 a 8 horas más lenta que la cinética de adsorción de K (*Sparks y colaboradores, 1980*). Se esperaba que sucediera esto debido a la dificultad de desorber K de las posiciones intracapas parcialmente colapsadas (*Sawhney, 1966*). Una vez que K es adsorbido en las posiciones intracapas, la atracción coulombiana entre los iones K y las capas de arcilla sería mayor que las fuerzas de hidratación del ión, produciendo un colapso parcial de la capa (*Sawhney, 1966*). La observación de la adsorción más lenta que la adsorción coincide con los descubrimientos hechos por otros investigadores (*Kuo y Lotse, 1973*) y sugieren que las reacciones cinéticas de K en los suelos Dothan no eran singulares o que podría presentarse la histéresis (*Ardakani y McLaren, 1977; Rao y Davidson, 1978*).

Cuadro 5 Los coeficientes de la tasa de desorción aparente (k/d) calculados a $1,0 \text{ ml min}^{-1}$ de velocidad de flujo, valores de K_0 y la suma del tiempo de la ecuación de la tasa de primer grado describían la desorción de K para los suelos Dothan de los condados de Greenville y Nottoway.

Horizonte	Tratamiento de saturación	K_0^*		Tiempo de la conformidad de primer grado** k/d			
		Greenville	Nottoway	Greenville	Nottoway	Greenville	Nottoway
		$\mu\text{g/g de suelo}$		minutos		hora ⁻¹	
Ap	Al	220	225	152	160	0,90	0,87
	Ca	251	259	163	170	1,30	1,23
A2	Al	238	242	161	175	0,96	0,92
	Ca	259	264	166	183	0,81	0,79
B21t	Al	249	251	162	177	0,84	0,80
	Ca	265	273	169	186	0,70	0,64
B22t	Al	310	312	438	440	0,44	0,40
	Ca	351	362	500	510	0,36	0,30

* Representa la cantidad de K en los lugares de intercambio en el momento cero de desorción de K.

** Representa el tiempo para el que la ecuación de la tasa de primer grado describe la desorción de K.

Cuadro 6 Efecto que ejerce la velocidad de flujo sobre la magnitud del valor k/d de los horizontes Ap y B22t del suelo del condado de Nottoway

Horizonte	Velocidad de flujo ml min^{-1}	k/d (hora ⁻¹)	
		Saturado de Al	Saturado de Ca
Ap	0,0	0,83*	1,11*
	0,5	0,85	1,18
	1,0	0,87	1,23
	1,5	0,91	1,32
B22t	0,0	0,33*	0,26*
	0,5	0,37	0,28
	1,0	0,41	0,30
	1,5	0,48	0,34

* Estos valores se obtuvieron trazando una línea de regresión de los valores k/d triplicados en relación con la velocidad del flujo. Los valores r fueron 0,970 y 0,973, para los horizontes Ap y B22t, respectivamente, que fueron significativos al nivel de probabilidad del 1%.

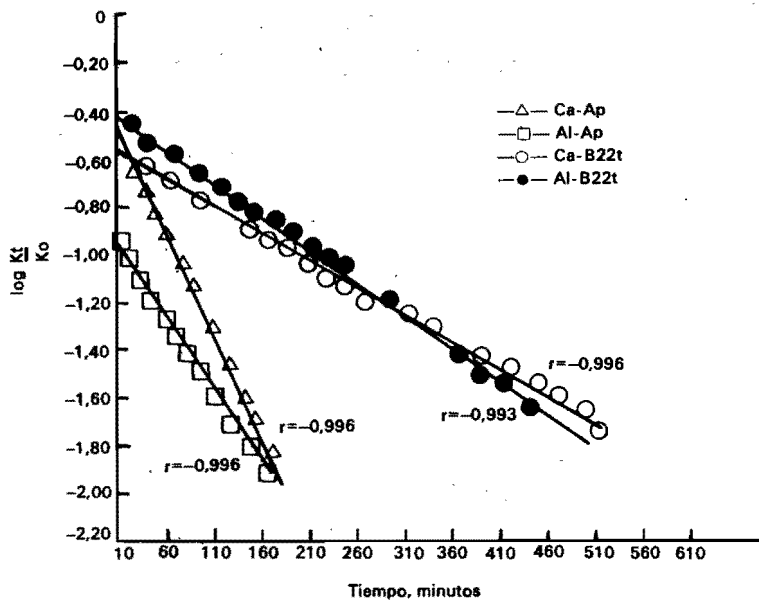


Fig. 5. Log (K_t/K_0) en relación al tiempo de lixiviación con 0,01 M CaCl_2 .

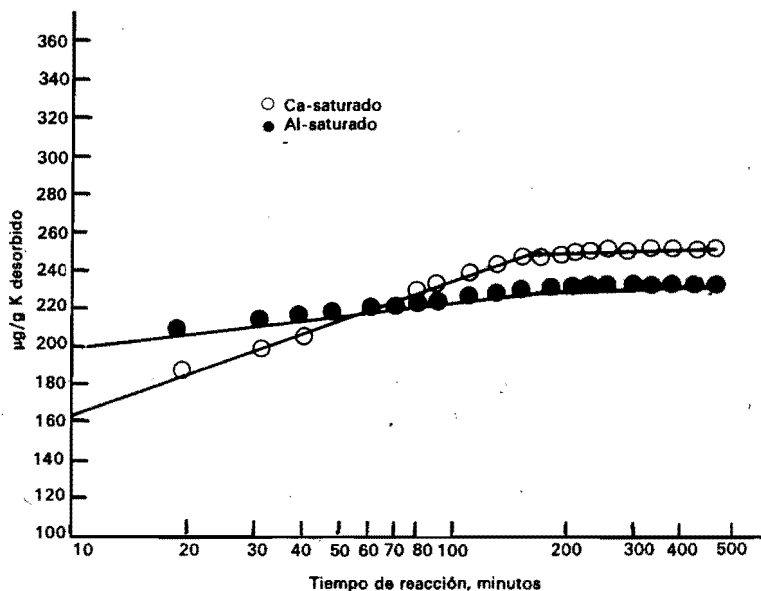


Fig. 6. Desorción potásica a 25°C empleando CaCl_2 0,01 M, a una velocidad de flujo de $1,0 \text{ ml min}^{-1}$ en el horizonte Ap.

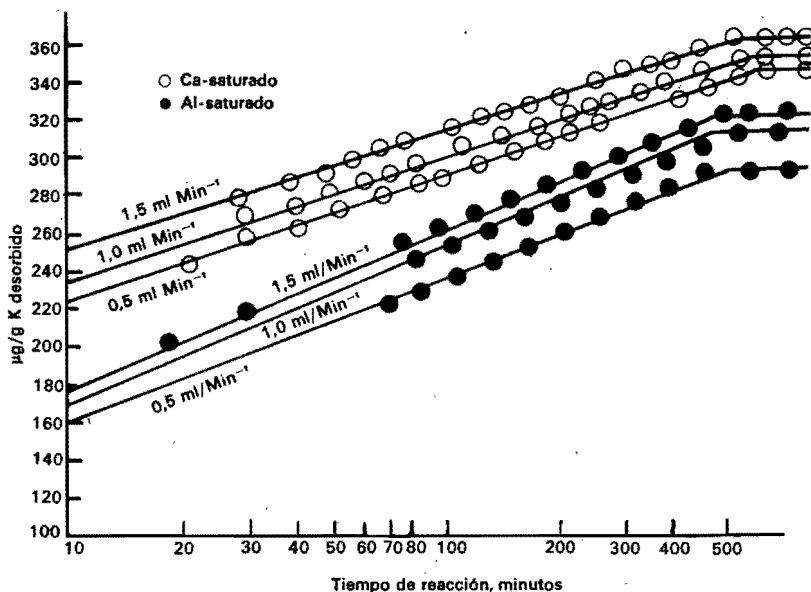


Fig. 7. Desorción potásica a 25°C empleando CaCl_2 0,01 M a velocidades de flujo de 0,5, 1,0 y 1,5 ml min^{-1} en el horizonte B22t.

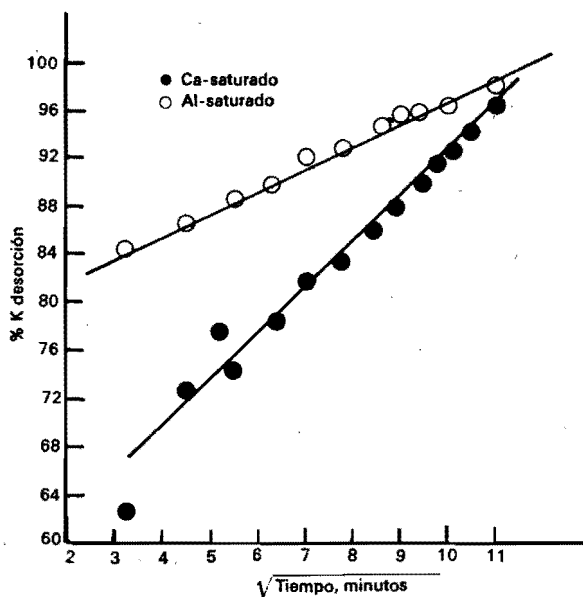


Fig. 8. Porcentaje de desorción en relación al tiempo $\frac{1}{2}$ para suelo Dothan.

La desorción potásica, conforme fue trazada por la ecuación de *Elovich* (*Chien y Clayton*, 1980) en sistemas originales saturados de Ca y Al fue rápida al principio y nivelada con el transcurso del tiempo en los horizontes Ap (fig. 6) y en el B22t (fig. 7) del suelo del condado de Nottoway sugiriendo facilidad en la desorción inicialmente seguida por reacciones de desorción más difíciles. También se observó esta tendencia en la cinética de la adsorción de K en estos suelos (*Sparks y colaboradores*, 1980). El porcentaje de K desorbido a 10 minutos en el horizonte Ap en los tratamientos saturados de Al y Ca era aproximadamente de 84,4 y 62,4%. En los sistemas saturados de Al y Ca del horizonte B22t, el 56,0 y el 64,0% del K era desorbido en 10 minutos. La tasa de desorción para la saturación de un catión dado estaba relacionada exponencialmente con el porcentaje de saturación de K hasta que casi todo el potasio era desorbido, en cuyo momento descendía. La reacción casi se completaba en un período de aproximadamente 3 a 4 horas en los tratamientos saturados de Al y Ca, respectivamente, del horizonte Ap. La desorción se completaba esencialmente en este tiempo ya que poco era el K que se detectaba en las soluciones lixiviadas. Aproximadamente del 95 al 98% del K adsorbido en estos suelos era desorbido posteriormente. Tal hecho sugería que la relación adsorción-desorción de K empleando desplazamientos miscibles es un proceso reversible. Sin embargo, aproximadamente del 2 al 5% del potasio adsorbido no podía ser desorbido por Ca, lo que podría resultar de la adsorción de K en lugares específicos. El horizonte Ap saturado de Al, inicialmente desorbía más K que el suelo saturado de Ca, pero al final de la reacción de desorción la cantidad total de K desorbido era mayor para el suelo saturado de Ca. La última observación pone en paralelo los datos de la adsorción obtenidos primeramente (*Sparks y colaboradores*, 1980). Esto era esperado, ya que el sistema saturado de Ca adsorbía más K inicialmente.

El efecto que ejercen diferentes velocidades de flujo en el horizonte B22t del suelo de Nottoway se muestra en la figura 7. En un tiempo dado, la cantidad de K desorbido aumentaba tanto como la velocidad de flujo. Estos datos están de acuerdo con los descubrimientos hechos por *Sivasubramaniam y Talibudeen* (1972) y son el resultado de un mayor desplazamiento de Ca que pasa a través de la columna a una velocidad de flujo más rápida. El aparente equilibrio entre el intercambio K-Ca favorecía la adsorción de Ca y la desorción de K a las velocidades del flujo más altas. La velocidad del flujo más lenta aprovecharía un mayor tiempo de contacto entre la solución que desorbía K y el suelo. En los suelos Dothan, la tasa de desorción de K aumentaba ligeramente con la velocidad del flujo, ya que la tasa es dependiente de la concentración (fig. 7). Sin embargo, los valores k/d aumentaron poco con la velocidad del flujo (cuadro 6).

Otros investigadores apreciaron una baja tasa de desorción de K (*Talibudeen y Dey*, 1968; *Feigenbaum y Levy*, 1977). La lenta desorción de K indica probablemente el intercambio controlado de la difusión debida a las arcillas de vermiculita presentes en los suelos Dothan (*Barshad*, 1954; *Reed y Scott*, 1962; *Chute y Quirk*, 1967; *Sawhney*, 1966; *Sparks y colaboradores*, 1980). Los diferentes tipos de lugares de intercambio en la vermiculita tienen diferentes tasas de desorción. Mientras que los lugares de la superficie externa plana en los bordes desorben K rápidamente, la desorción de K de los lugares de intercapa implica una baja tasa de difusión (*Sawhney*, 1966). En la figura 8 se ilustra que la difusión fue el mecanismo predominante de la desorción potásica en los suelos Dothan por la relación lineal entre el tiempo^{1/2} y el porcentaje de desorción de K en el horizonte Ap del suelo de Nottoway. *Barshad* (1954) atribuye una relación lineal entre el tiempo^{1/2} y el porcentaje de desorción de K al intercambio controlado por la difusión. En la linealidad de la difusión del trazado existe alguna desviación durante el período inicial de desorción (fig. 8). *Chute y Quirk* (1975) apreciaron que el intercambio controlado por la difusión no podía ser obedecido estrictamente durante el período inicial de la

desorción de K, lo que podría deberse al intercambio de la acción de la masa en lugares en la superficie externa (*Chute y Quirk, 1967*).

Aunque no se demuestra, se observó una cinética de desorción de K similar en los horizontes A2 y B21t del suelo de Nottoway, y en los horizontes Ap, A2 y B21t, de los de Greenville. Tal hecho podía esperarse debido a las series similares de minerales arcillosos y a los contenidos de arcilla, en estos horizontes (*Sparks y colaboradores, 1980*).

Ambos suelos desorbían considerablemente más K en el horizonte B22t (331 μg K/g suelo, que representa la media de los horizontes B22t saturados de Al y Ca a tres velocidades de flujo) que en los otros tres horizontes (media de 243 μg K/g de suelo). La mayor cantidad de K desorbido en este horizonte (fig.7) se atribuye al más alto contenido arcilloso presente. La mayor cantidad de arcilla ofrecería más lugares de intercambio para absorber K y, subsiguientemente, para desorber potasio. La pérdida de este elemento nutritivo fue completa en casi 8 y 9 horas para los sistemas saturados de Al y Ca, respectivamente.

La tasa de la liberación del K intercambiable, el no intercambiable y las formas minerales en estos suelos necesita ser investigada más ampliamente. Con los datos cinéticos, los modelos predictivos podían desarrollarse para estos suelos lo que ayudaría a hacer justas recomendaciones sobre el fertilizante.