

Sección 4

Ciencia del suelo
78ª continuación

Nº 4 / 1983

Efectos que ejerce la temperatura sobre el intercambio y la selectividad del potasio en los suelos de Delaware*

(Temperature effects on potassium exchange and selectivity in Delaware soils)

D.L. Sparks y W.C. Liebhardt

Departamento de Phytotechnia, Universidad de Delaware,
Newark, Delaware 19711, EE.UU.

De: Soil Science, Vol. 133, Nr. 1, 10-17, Enero 1982, EE.UU.

Resumen

Pretendemos describir en este trabajo las investigaciones que llevamos a cabo para conocer el efecto que ejerce la temperatura sobre la disponibilidad de K utilizando análisis cantidad-intensidad (C/I), y sobre la selectividad de K en horizontes Ap y B21t de un limo arenoso tipo Kalmia (Hapludults), de una arena limosa Evesboro (Quartipsammments), y de un limo esquistoso Matapeake (Hapludults) de la Planicie Costera de Delaware. La sucesión mineral predominante de la fracción de arcilla <2- μ m consistía en vermiculita, mica y vermiculita cloritizada, con menores cantidades de caolinita y cuarzo. Los análisis cantidad-intensidad (C/I) revelaron que mientras la temperatura aumentaba de 0 a 40 °C, la cantidad de K absorbida por los suelos descendía. Para concentraciones electrolíticas iniciales semejantes, ΔK (diferencia de la concentración de K entre las soluciones iniciales y de equilibrio) descendía, mientras que la relación de actividad de K^+ ante $(Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2}$ o RA^k , aumentaba. De este modo, para mantener una cantidad igual de K sobre el suelo en tanto que la temperatura aumentaba, se necesitaba una relación más alta de K ante $(Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2}$ en la solución. La relación de actividad del equilibrio potásico (RA^k), que es una medida del K disponible, aumentaba en los horizontes del suelo a medida que aumentaba la temperatura. El parámetro del K lábil (ΔK^o), cambiaba poco con la temperatura, aunque la capacidad tampón potencial (CTP^h), que se relaciona con el CEC del suelo, descendía al aumentar la temperatura. Los coeficientes de selectividad del potasio (k_s), basados en la ecuación Gapon, descendían al aumentar la temperatura, lo que indicaba que decrecía la sorción de K relacionada con $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, al aumentar la temperatura. A medida que aumentaban las temperaturas desde 0 a 40 °C, la cantidad de K en la solución de equilibrio aumentaba de un promedio de 19,3 a 20,9 moles/litro y desde 14,0 a 17,0 $\times 10^4$ moles/litro en los horizontes Ap y B21t, respectivamente, de los tres suelos. Sin embargo, las cantidades de Ca y Mg en la solución, descendían al aumentar la temperatura.

* Publicado con el consentimiento del director de la Delaware Agricultural Experiment Station como «Miscellaneous Paper No. 924. Contribution No. 124 of the Plant Science Department».

Introducción

Un reciente estudio advertía que los niveles de K en los suelos de los análisis en los que se empleaba como extractor ácido doble diluido (0,05 N HCl y 0,25 N H₂SO₄), variaban considerablemente durante el año en un suelo Kalmia de Delaware (*Liebhardt y Teel*, 1977). Las muestras del suelo recogidas básicamente de forma mensual de las parcelas testigo (0 kg K/ha), de un estudio en el campo (*Liebhardt et al.*, 1976) con maíz (*Zea mays* L.) eran más altas en K a finales de mayo. Los niveles de K en los suelos analizados descendían mientras que el maíz se desarrollaba, lo cual se atribuía a la absorción por el cultivo. Los niveles de K en los suelos analizados permanecían próximos al nivel del muestro de agosto durante los meses de invierno, y después de esto aumentaban de manera sorprendente con el muestreo de mayo.

Las fluctuaciones en los niveles de los suelos analizados podían atribuirse a las reacciones dinámicas del equilibrio de K que existen entre las diversas fases del potasio del suelo (*Sparks*, 1980; *Sparks et al.*, 1980; *Sparks y Liebhardt*, 1981). Puesto que la concentración de K en la solución y en las formas intercambiables de K descendían, debido a la absorción por el cultivo o a la lixiviación de K en los horizontes más bajos, el potasio podía liberarse lentamente desde las fases no intercambiable y mineral (*Cook y Hutcheson*, 1960; *Rich*, 1972; *Sparks*, 1980). Esto parece admisible en el suelo Kalmia, porque contiene feldspatos y micas (*Liebhardt et al.*, 1976; *Sparks y Liebhardt*, 1981).

Liebhardt y Teel (1977) no investigaron el efecto que ejerce la temperatura sobre los niveles de K de los suelos analizados. Aunque la temperatura puede desempeñar un importante papel en las reacciones de K en los suelos, poco se ha publicado en la literatura especializada sobre el efecto que ejerce la temperatura en el intercambio de K y especialmente sobre su selectividad en los sistemas del suelo. En soluciones puras, donde están implicados iones homovalentes, el aumento de la temperatura trae como consecuencia el descenso en la selectividad, mientras que el aumento de la temperatura en sistemas en los que predominan especies heterovalentes da por resultado un aumento en la selectividad (*Coleman*, 1952; *Boner y Pruett*, 1959a y b; *Loven y Thomas*, 1965).

Vanselow (1932) investigó el intercambio de Ca-NH₄⁺ en una arcilla de bentonita a 25 y 75 °C descubriendo que la cantidad de NH₄⁺ en la solución de equilibrio era mayor aun cuando los niveles de NH₄⁺ intercambiable fueran inferiores a los de las temperaturas más altas.

Burns y Barber (1961) estudiaron el efecto que ejerce la temperatura en la liberación de K de formas no intercambiables ante las intercambiables, descubriendo que, a medida que aumentaba la temperatura aumentaba la cantidad y la tasa de liberación del K no intercambiable.

Es sabido que la temperatura del suelo afecta a la absorción del K por la planta. A medida que aumentaba la temperatura del suelo aumentaba la absorción de K en las plántulas de trigo (*Miller y Davey*, 1967), y en la soja (*Wallace*, 1957). Recientemente, *Ching y Barber* (1979) informaron que la longitud de la raíz del maíz era ocho veces mayor y que la concentración de K en el vástago era ≈ 2,2 veces mayor cuando la temperatura de la raíz aumentaba de 15 a 29 °C. *Walker* (1969) señaló que, mientras aumentaba la absorción de K, existía un descenso concomitante en la absorción de Ca por las plántulas de maíz en tanto aumentaba la temperatura. Las plántulas mostraban deficiencia de Ca con temperaturas altas.

La temperatura afecta a muchos de los parámetros químicos. Los coeficientes de actividad (γ) descienden al aumentar la temperatura en soluciones de electrolitos débiles alcanzando un máximo de aumento para descender después al aumentar la temperatura en soluciones de electrolitos fuertes (*Harned y Owen*, 1958). *Deist y Talibudeen* (1967) descubrieron que (γ) del K y Ca adsorbidos descendían al aumentar la temperatura. La hidrólisis de las sales de Al en solucio-

nes acuocas se mejoraba al aumentar la temperatura (*Thorne y Roberts, 1948; Matijevic y Tezak, 1953*). Las soluciones preparadas en fresco, o soluciones a las que se añadió ácido, contenían solamente iones trivalentes, mientras que en el envejecimiento o en el calentamiento la solución resultaba una formación dímera (*Matijevic y Tezak, 1953*). *Turner y Ross (1970)* descubrieron que una solución $AlCl_3$ se convertía en gibbsita cuando se calentaba desde 10 a 40 °C. *Rich (1960)* descubrió que la hidrólisis se retrasaba por calentamiento seco de una vermiculita saturada Al, pero cuando se hervía una suspensión de vermiculita y Al aparecía la hidrólisis conforme quedó evidenciado por la fijación de NH_4^+ reducida y CEC.

Los objetivos perseguidos por este estudio fueron determinar los efectos que ejerce la temperatura en el intercambio de K mediante el empleo de análisis C/I y de la selectividad de K en tres de los principales tipos de suelo de Delaware.

Materiales y métodos empleados

Sueltas muestras del suelo se recogió de los horizontes Ap y B2t de un suelo de arena limosa Evesboro (Quartissamments), de un suelo de limo arenoso Kalmia (Hapludults), y de un suelo de limo esquistoso Matapeake (Hapludults) de Delaware. Estos suelos representan tres de los principales tipos de suelo en el Estado y los de Evesboro y Matapeake constituyen las mayores superficies de la región de la Planicie Costera Atlántica. Los suelos se secaron al aire y fueron triturados para pasar por un cedazo de malla 2 mm en su preparación para los análisis del laboratorio.

Análisis para la caracterización del terreno

El análisis del tamaño de las partículas se determinó por el método del hidrómetro (*Day, 1965*). El análisis mineralógico, por difracción a los rayos-X, se realizó en la fracción de arcilla < 2- μ m. Con anterioridad al fraccionamiento de la partícula del mineral del suelo, según el tamaño las submuestras se trataron con H_2O_2 al 30% para extraer la materia orgánica (*Kunze, 1965*) y con Na-ditionitrato-bicarbonato para extraer los óxidos de Fe. (*Mehra y Jackson, 1960*). La arena se separó del esquisto y la arcilla por tamizado húmedo, y la arcilla separada del esquisto por centrifugación y decantación. Los difractogramas a los rayos-X se obtuvieron por medio de un aparato Diano XRD 8300 AD, empleando una fuente de radiación $CuK\alpha$ y un monocromatógrafo de grafito de discos de arcillas orientados, preparados de acuerdo con los procedimientos establecidos por *Rich y Barnhisel (1977)*.

La materia orgánica se determinó por el método *Walkley-Black* según que fue modificado por *Allison (1965)*, y la capacidad de intercambio del catión por una saturación $MgCl_2$ con el subsecuente desplazamiento por $CaCl_2$ (*Rich, 1962; Okazaki et al., 1963*). Los Ca, K y Mg intercambiables se extrajeron con 1 N NH_4OAc (*Jackson, 1958*) y analizados por espectrofotometría de absorción atómica. Las mediciones del pH se obtuvieron de una mezcla suelo-agua 1:1.

Determinaciones cantidad-intensidad (C/I)

Las muestras del suelo (0,2 a 7,0 g) se pesaron por duplicado en pequeñas cantidades en una serie de tubos contrífugos de polipropileno de 80-ml. A las muestras se añadieron 50 ml de solución, que fue de 0,002 M $CaCl_2$ y de 0 a 0,002 M KCl. Los tubos fueron cerrados con tapones y equilibrados en un vibrador alternativo durante 20 horas a 0, 25 y 40 °C. La temperatura se limitó a

0,3 °C en cámaras de crecimiento de temperatura controlada. Las muestras se centrifugaron y el flotante fue filtrado y analizado para Ca, K y Mg por espectrofotometría de absorción atómica.

Las concentraciones de Ca y K se corrigieron a sus actividades químicas. Los coeficientes de actividad media se calcularon por medio de la ecuación extendida *Debye-Hückel* (*Moore*, 1972).

$$\log \Phi_{\pm} = \frac{-az^{+} z^{-} |^{1/2}}{1 + \alpha\beta |^{1/2}} \quad (1)$$

donde

Φ_{\pm} = coeficiente de actividad media del electrolito

z^{+} = valencia del catión

z^{-} = valencia del anión

$$a = \frac{e^3}{2,303 (DkT)^{3/2}} \frac{2 nN^{1/2}}{1000} \quad (2)$$

$$l = \text{fuerza iónica de la solución} = \frac{1}{2} \sum_i C_i Z_i^2 \quad (3)$$

donde

C_i = concentración del ion i

Z_i = valencia del ion i

$$\alpha = \frac{.008 ne^2 N^{1/2}}{DkT} \quad (4)$$

β = distancia de aproximación más cercana

donde

N = número de Avogadro = $6,024 \times 10^{23}$ moléculas mol^{-1}

e = carga electrónica = $4,802 \times 10^{-10}$ asu

D = constante dieléctrica del medium (80 para el agua)

k = constante de Boltzmann = $1,380 \times 10^{-16}$ erg mole^{-1} y

T = temperatura absoluta

Los valores a y α son dependientes de la temperatura (*Harned y Owen*, 1958), y los valores empleados en las tres temperaturas fueron: 0 °C ($a=0,4883$; $\alpha=0,3241 \times 10^{-8}$); 20 °C ($a=0,5042$; $\alpha=0,3276 \times 10^{-8}$); 40 °C ($a=0,524$; $\alpha=0,3315 \times 10^{-8}$). Los valores β para K y para Ca fueron tomados como 3×10^{-8} y 6×10^{-8} cm, respectivamente, para las tres temperaturas (*Klotz*, 1964).

La relación de actividad (RA^k) se calculó como sigue: (*Beckett*, 1964).

$$RA^k = \frac{C_K (\Phi KCl)^2}{(C_{Ca} + C_{Mg})^{1/2} (\Phi CaCl_2)^{3/2}} \quad (5)$$

donde C_{Ca} , C_K , C_{Mg} = concentraciones de equilibrio de Ca, K, y Mg; ΦKCl = coeficiente de actividad de KCl; y $\Phi CaCl_2$ = coeficiente de actividad de $CaCl_2$.

A partir de las graficas de ΔK (diferencia de concentración entre las soluciones iniciales y las de equilibrio, o el factor de cantidad) en las ordenadas y el de RA^k (relación de actividad para K, o el factor de intensidad) en las abscisas, RA^k se determinó al valor RA^k cuando $\Delta K = 0$. El parámetro ΔK^0 fue el valor ΔK obtenido cuando la porción lineal de la grafica C/l se extendió para intersectar la ordenada. El valor CTP^k fue el valor de la pendiente de la porción lineal de la parcela.

Coeficiente de selectividad de K

El coeficiente de selectividad de K, basado en la ecuación *Gapon* (*Kelley*, 1948), se determinó por el método diseñado por *Rich y Black* (1964).

El coeficiente de selectividad k_K/Ca^{2+} , Mg^{2+} , se calculó como sigue:

$$k_{K^+} / Ca^{2+}, Mg^{2+} = \frac{K^+ (\text{sorbido})}{Ca^{++} + Mg^{++} (\text{sorbido})} \div \frac{K^+ (\text{solución})}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2} (\text{solución})} \quad (6)$$

La concentración del catión sorbido se expresó en meq/ 100 g de suelo, y los cationes en la solución como moles/litro.

Discusión de los resultados

Los suelos de Kalmia y Evesboro contenían un promedio del 70 al 74% de arena en los horizontes Ap y B21t, respectivamente (cuadro 1). El suelo Matapeake contenía mayores cantidades de esquistos y arcilla que los otros dos suelos. Al aumentar la profundidad aumentaba el contenido en arcilla y el CEC, en tanto que decrecía la materia orgánica en los tres suelos. La sequencia mineral predominante de la fracción de arcilla <2- μ m de los tres suelos era vermiculita cloritzada, mica y vermiculita, con menores cantidades de caolinita y cuarzo (cuadro 1). La presencia de mica y vermiculita indicaría los posibles lugares específicos para K (Rich y Black, 1964; Sparks y Liebhardt, 1981).

Efectos que ejerce la temperatura sobre los parámetros C/I

Entre K y RA^k existen excelentes relaciones en cada una de las temperaturas y para cada uno de los suelos con coeficientes de correlación simples oscilando desde 0,983 a 0,990 (cuadro 3, fig. 1 y 2). Mientras la temperatura aumentaba, la cantidad de K adsorbido por el suelo de Kalmia descendía (fig. 1 y 2). Aunque no se muestran, se apreciaban las mismas tendencias para los suelos Evesboro y Matapeake. Para concentraciones iniciales del electrolito similares ΔK disminuía en tanto que RA^k aumentaba, ya que la temperatura aumentaba desde 0 a 40 °C. De esta manera, para mantener una cantidad igual de K en el suelo mientras aumentaba la temperatura, se necesitaba una relación más alta de K ante $(Ca + Mg)^{1/2}$ en la solución.

Cuadro 1 Propiedades químicas, mineralógicas y físicas seleccionadas de los suelos empleados

Horizonte	Análisis tamaño partícula, %		Materia orgánica, %	CEC mg/100	Sequencia mineral de la fracción de arcilla <2 μ m	
	Arena	Limo				Arcilla
Limo arenoso Kalmia						
Ap	72,3	17,8	9,9	1,7	4,1	VC ₁ ^b , VR ₂ , MI ₃ , KK ₄ , OZ ₅
B21t	68,0	17,0	15,0	0,3	4,8	MI ₁ , VR ₂ , VC ₃ , KK ₄ , OZ ₅
Limo arenoso Evesboro						
Ap	76,5	15,0	8,5	1,5	4,0	VC ₁ , MI ₂ , CL ₃ , KK ₄ , OZ ₅
B21t	72,2	14,4	13,4	0,6	4,2	VC ₁ , MI ₂ , VR ₃ , KK ₄ , CL ₅ , OZ ₆
Limo esquistoso Matapeake						
Ap	14,5	70,0	15,5	2,3	8,9	VC ₁ , VR ₂ , MI ₃ , OZ ₄
B21t	7,0	71,0	22,0	1,9	10,5	VR ₁ , VC ₂ , MI ₃ , OZ ₄

a) VC = Vermiculita cloritzada; VR = Vermiculita; MI = Mica; KK = Caolinita; Cl = Clorita; OZ = Cuarzo.

b) Reseñado 1 = más abundante; 6 = lo menos abundante.

Cuadro 2 Efecto que ejerce la temperatura sobre los parámetros C/I en los suelos de Delaware

Horizonte	Temperatura, °C	ΔK° meq/100 g	RA^k moles/l ^{1/2}	CTP^k meq/100 g
Limo arenoso Kalmia				
Ap	0	-0.31	0.036	8.86
	25	-0.35	0.043	8.79
	40	-0.39	0.047	8.20
B21t	0	-0.02	0.001	6.82
	25	-0.05	0.007	6.10
	40	-0.08	0.011	5.49
Limo arenoso Evesboro				
Ap	0	-0.20	0.021	5.62
	25	-0.23	0.025	4.84
	40	-0.25	0.028	4.20
B21t	0	-0.02	0.001	4.80
	25	-0.04	0.003	4.30
	40	-0.05	0.007	3.90
Limo esquistoso Matapeake				
Ap	0	-0.40	0.058	9.20
	25	-0.42	0.063	9.10
	40	-0.46	0.065	8.98
B21t	0	-0.09	0.003	8.91
	25	-0.10	0.004	8.54
	40	-0.12	0.005	8.42

El proceso de adsorción de K en estos tres suelos pudiera parecer exotérmico (ΔH es negativo), porque la extensión de la adsorción de K descendía al aumentar la temperatura (fig. 1 y 2). Para que la adsorción de K fuera exotérmica tendría que estar de acuerdo con los descubrimientos hechos por otros investigadores (*Deist y Talibudeen, 1967; Filep y Khargitan, 1977*).

El parámetro RA^k , que es una medida del K disponible, aumentó en los horizontes Ap y B21t de los tres suelos al aumentar la temperatura. El RA^k más bajo en los horizontes B21t se debió probablemente a la mayor fijación de K del subsuelo, ya que existía más arcilla en este horizonte (*Sparks y Liebhardt, 1981*) que contenía vermiculita y mica como los minerales arcillosos más dominantes (cuadro 1). Se demostró que el último era el responsable de la fijación de K en los suelos (*Rich y Black, 1964; Sparks et al., 1979; Sparks, 1980*). Estos datos podrían sugerir que las temperaturas de los suelos del campo afectarían significativamente a la disponibilidad de K en estos suelos durante un año.

El ΔK , o parámetro de K lábil, cambiaba poco, y el CTP^k ($\Delta K / RA^k$), o parámetro de capacidad tampón potencial, que se relaciona con el CEC de los suelos, desciende al aumentar la temperatura (cuadro 2, fig. 1 y 2). *Deist y Talibudeen (1967)* descubrieron que el CEC descendía al aumentar la temperatura en algunos suelos británicos.

Cuadro 3 Coeficientes de correlación simple y ecuaciones de predicción de ΔK versus RA^k como una función de la temperatura en los horizontes AP y B21t de los suelos de Delaware

Horizonte	Temperatura, °C	Valor r^1	Ecuación de predicción
Limo arenoso Kalmia Ap	0	0,992	$\Delta K = 8,86 RA^k - 0,31$
	25	0,990	$\Delta K = 8,79 RA^k - 0,35$
	40	0,990	$\Delta K = 8,20 RA^k - 0,39$
B21t	0	0,988	$\Delta K = 6,82 RA^k - 0,02$
	25	0,997	$\Delta K = 6,10 RA^k - 0,05$
	40	0,980	$\Delta K = 5,49 RA^k - 0,08$
Limo arenoso Evesboro Ap	0	0,994	$\Delta K = 5,62 RA^k - 0,20$
	25	0,987	$\Delta K = 4,84 RA^k - 0,23$
	40	0,996	$\Delta K = 4,20 RA^k - 0,25$
B21t	0	0,995	$\Delta K = 4,80 RA^k - 0,02$
	25	0,998	$\Delta K = 4,30 RA^k - 0,04$
	40	0,996	$\Delta K = 3,90 RA^k - 0,05$
Limo esquistoso Matapeake Ap	0	0,990	$\Delta K = 9,20 RA^k - 0,40$
	25	0,989	$\Delta K = 9,10 RA^k - 0,42$
	40	0,991	$\Delta K = 8,98 RA^k - 0,46$
B21t	0	0,980	$\Delta K = 8,91 RA^k - 0,09$
	25	0,983	$\Delta K = 8,54 RA^k - 0,10$
	40	0,984	$\Delta K = 8,42 RA^k - 0,12$

¹ Estos valores r y las ecuaciones de predicción representan la relación entre ΔK versus RA^k para la parte lineal de la curva C/I. La inclinación se empleó para calcular CTP^k .

Efectos que ejerce la temperatura sobre la selectividad de K y sobre los cationes en la solución

Los coeficientes de selectividad del potasio (k_K), basados en la ecuación *Gapon* (Kelley, 1948), decrecían al aumentar la temperatura (cuadro 4). Por ello, el k_K indicaría la sorción decreciente de K por cada uno de los suelos con temperatura creciente (Rich y Black, 1964). La cantidad de K en la solución de equilibrio como una función de la temperatura (cuadro 4) probaba esta conclusión. Por ejemplo, en el limo arenoso de Kalmia, mientras que la temperatura aumentaba desde 0 a 40 °C, la cantidad de K en la solución de equilibrio aumentaba desde 19,5 a 21,2 y desde 14,8 a 18,7 moles/litro $\times 10^{-4}$ en los horizontes Ap y B21t, respectivamente. Sin embargo, la cantidad de Ca y Mg en la solución eran decrecientes en ambos horizontes a medida que aumentaba la temperatura.

En la actualidad, solamente podemos especular sobre el mecanismo(s) para explicar la decreciente selectividad de K al aumentar la temperatura en estos suelos, por lo que será preciso llevar a cabo nuevos trabajos de investigación. La presencia de mica y vermiculita en estos suelos (cuadro 1) podría indicar la existencia de lugares específicos para K (Rich, 1964; Rich y Black, 1964). Estos lugares, o «zona en caña» encubrirían selectivamente grandes cationes hidratados tales como Ca^{2+} y Mg^{2+} y favorecería la selección de iones más pequeños tales como NH_4^+ y K^+ . Sin embargo, con temperatura aumentaba, la hidratación de Ca^{2+} descende relativamente a la de K^+ . Por ello, el tamaño no es tan importante en la selectividad de K. Estos suelos también contenían vermiculita clorit-

zada, la que probablemente contenía $Al(OH)_x$ entrecapas (Rich, 1960). Las «islas» $Al(OH)_x$ servían como apoyo para mejorar la selectividad de K. Sin embargo, con temperaturas aumentadas, la hidrólisis del material $Al(OH)_x$ aumentaría (Rich, 1960), lo que produciría un polímero más largo. Esto podía producir el colapso de la intercapa y de esta manera disminuir la selectividad de K.

Los valores k_K fueron menores en el horizonte Ap que en el B21t de estos tres suelos (cuadro 4). Esto podía esperarse, ya que había más arcilla en el horizonte B21t que podía producir más lugares para la sorción de K. La selectividad más alta de K en este horizonte podía atribuirse también a la mica del subsuelo generalmente más alta y a los contenidos de vermiculita presentes (cuadro 1). El último generalmente tiene valores más altos k_K (Rich y Black, 1964). Como consecuencia de que los valores k_K eran más altos en el horizonte B21t que en el Ap, se sorbía más K y aparecía menos K en la solución en el equilibrio del horizonte B21t (cuadro 4). Adicionalmente, aparecía una cantidad más alta de Ca y Mg en la solución en el horizonte B21t que en el Ap en cualquiera de las temperaturas. Los valores k_K tendían a ser más altos en el suelo de limo esquistoso de Matapeake que en los otros dos suelos. Esto es probablemente reflejo de los contenidos arcillosos considerablemente altos en este suelo, que fueron altos en vermiculita y mica (cuadro 1).

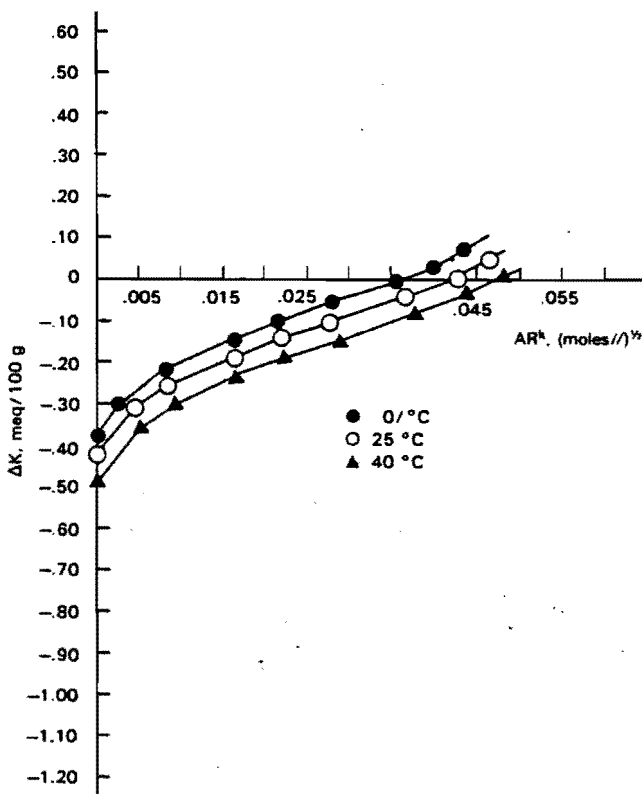


Fig. 1 Efecto que ejerce la temperatura sobre los parámetros de Q/I en el horizonte Ap del suelo Kalmia.

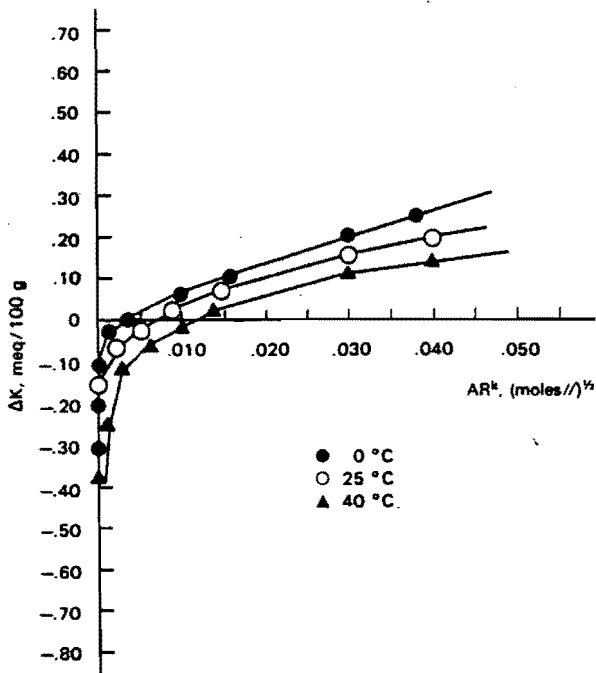


Fig. 2 Efecto que ejerce la temperatura sobre los parámetros de Q/I en el horizonte B21t del suelo Kalmia.

Cuadro 4. Efectos que ejerce la temperatura sobre los coeficientes de selectividad de K (k_K) y sobre la cantidad de Ca, Mg y K en soluciones en equilibrio de los suelos de Delaware

Horizonte	Temperatura, °C	k_K , litro/mole ^{1/2}	moles/1X 10 ⁻⁴		
			Ca	Mg	K
Limo arenoso Kalmia					
Ap	0	0,72	30,5	3,21	19,5
	25	0,12	28,5	1,73	20,0
	40	0,03	19,1	0,99	21,2
B21t	0	5,72	41,6	2,80	14,8
	25	4,60	34,0	1,64	15,4
	40	4,17	19,1	1,36	18,7
Limo arenoso Evesboro					
Ap	0	0,65	26,8	3,40	20,3
	25	0,08	22,4	1,91	21,2
	40	0,02	16,5	1,20	22,2
B21t	0	4,71	37,2	3,00	15,2
	25	4,20	31,0	1,81	16,3
	40	4,11	20,0	1,54	17,1
Limo esquistoso Matapeake					
Ap	0	0,97	39,7	2,50	18,2
	25	0,24	30,2	2,20	19,1
	40	0,12	24,3	2,00	19,4
B21t	0	7,21	50,7	2,21	12,1
	25	6,65	40,2	2,10	13,4
	40	5,80	29,6	1,98	15,2

Bibliografía

- Allison L.E.: Total carbon. In Methods of soil analysis. C.A. Black (ed.). Agronomy 9: 1346-1365. Am. Soc. Agron., Madison, Wis. (1965).
- Beckett P.H.T.: Studies on soil potassium: 2. The "immediate" Q/I relations of labile potassium in the soil. J. Soil Sci. 15:9-23 (1964).
- Bonner O.D., Pruett R.R.: The effect of temperature on ion-exchange equilibria: 2. The ammonium-hydrogen and thalious-hydrogen exchanges. J. Phys. Chem. 63: 1417-1420 (1959a).
- Bonner O.D., Pruett R.R.: The effect of temperature on ion-exchange equilibria: 3. Exchanges involving some divalent ions. J. Phys. Chem. 63: 1420-1423 (1959b).
- Burns A.F., Barber S.A.: The effect of temperature and moisture on exchangeable potassium. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 349-352 (1961).
- Ching P.C., Barber S.A.: Evaluation of temperature effects on K uptake by corn. Agron. J. 71: 1040-1044 (1979).
- Coleman N.T.: A thermochemical approach to the study of ion exchange. Soil Sci. 74: 115-125 (1952).
- Cook M.G., Hutcheson T.B. Jr.: Soil potassium reactions as related to clay mineralogy of selected Kentucky soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 252-256 (1960).
- Day P.R.: Particle fractionation and particle-size analysis. In Methods of soil analysis. C.A. Black (ed.). Agronomy 9: 545-567. Am. Soc. Agron., Madison, Wis. (1965).
- Deist J., Talibudeen O.: Thermodynamics of K-Ca ion exchange in soils. J. Soil Sci. 18: 138-148 (1967).
- Filep D., Khargitan I.: Thermodynamic analysis of cation exchange processes in the soil-solution system. Soviet Soil Sci. 9: 599-609 (1977).
- Harned H.S., Owen B.B.: The physical chemistry of electrolytic solutions, 3rd ed. Reinhold, New York (1958).

- Jackson M.L.*: Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (1958).
- Kelley W.P.*: Cation exchange in soils. Reinhold, New York (1948).
- Klotz J.M.*: Chemical thermodynamics, rev. ed. Benjamin, New York (1964).
- Kunze G.W.*: Pretreatment for mineralogical analysis. In *Methods of soil analysis*, C.A. Black (ed.), *Agronomy* 9: 310-321. Am. Soc. Agron., Madison, Wis. (1965).
- Liebhardt W.C., Svec L.V., Teel M.R.*: Yield of corn as affected by potassium on a Coastal Plain soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 7: 265-277 (1976).
- Liebhardt W.C., Teel M.R.*: Fluctuations in soil test values for potassium as influenced by time of sampling. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8: 591-597 (1977).
- Loven A.W., Thomas H.C.*: Adsorption studies on clay minerals: 9. Ion exchange properties of natural and thermally altered montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 250-254 (1965).
- Matijevic E., Tazak B.*: Coagulation effects of aluminium nitrate and aluminium sulfate on aqueous soils of silver halides *in situ nascendi*: Detection of polynuclear complex aluminium ions by means of coagulation measurements. *J. Phys. Chem.* 57: 951-954 (1953).
- Mehra O.P., Jackson M.L.*: Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.* 7: 317-327 (1960).
- Miller R.J., Davey C.B.*: The apparent effect of water structure on K uptake by plants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 286-287 (1967).
- Moore W.J.*: Physical chemistry, 4th ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (1972).
- Okazaki R., Smith H.W., Moodie C.D.*: Hydrolysis and salt-retention errors in conventional cation-exchange capacity procedures. *Soil Sci.* 96: 205-209 (1963).
- Rich C.I.*: Aluminum in interlayers of vermiculite. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24: 26-32 (1960).
- Rich C.I.*: Removal of excess salt in cation-exchange capacity determinations. *Soil Sci.* 93: 87-94 (1962).
- Rich C.I.*: Effect of cation size and pH on potassium exchange in Nason soil. *Soil Sci.* 98: 100-106 (1964).
- Rich C.I., Black W.R.*: Potassium exchange as affected by cation size, pH, and mineral structure. *Soil Sci.* 97: 384-390 (1964).
- Rich C.I.*: Potassium in soil minerals. In *Proceedings of the 9th Colloquium of the International Potassium Institute*. Landshut, Federal Republic of Germany, pp. 3-19 (1972).
- Rich C.I., Barnhisel R.I.*: Preparation of clay samples for x-ray diffraction analysis. In *Minerals in soil environments*. J.B. Dixon and S.B. Weed (eds.). *Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis.*, pp. 797-808 (1977).
- Sparks D.L.*: Chemistry of soil potassium in Atlantic Coastal Plain soils: A review. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 11: 435-449 (1980).
- Sparks D.L., Blevins R.L., Bailey H.H., Barnhisel R.I.*: Relationship of ammonium nitrogen distribution to mineralogy in a Hapludalf soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 786-789 (1979).
- Sparks D.L., Martens D.C., Zelazny L.W.*: Plant uptake and leaching of applied and indigenous potassium in Dothan soils. *Agron. J.* 72: 551-555 (1980).
- Sparks D.L., Liebhardt W.C.*: Effects of long-term lime and potassium applications on quantity-intensity (Q/I) relationships in sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: (in press) (1981).
- Thorne P.C.L., Roberts E.R.*: Inorganic chemistry, 5th ed. Interscience, New York (1948).
- Turner R.C., Ross G.J.*: Conditions in solution during the formation of gibbsite in dilute Al salt solutions. Effect of Cl concentration and temperature and a proposed mechanism for gibbsite formation. *Can. J. Chem.* 48: 723-729 (1970).
- Vanselow A.P.*: Equilibria of the base-exchange reactions of bentonite, permutites, soil colloids, and zeolites. *J. Soil Sci.* 33: 95-113 (1932).
- Walker J.M.*: One-degree increments in soil temperatures affect maize seedling behavior. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33: 729-736 (1969).
- Wallace A.*: Influence of soil temperature on cation uptake in barley and soybeans. *Soil Sci.* 63: 407-411 (1957).