

ADSORCION DE POTASIO EN ANDOSOLES DE LA ZONA CAFETERA 1/

Claudia Gómez de Rivas*
Ignacio Federico Carrillo-Pachón**
Gabriela Estrada-Estrada***

RESUMEN

Con el fin de obtener información que ayude a racionalizar los programas de fertilización potásica en suelos de la zona cafetera, se efectuaron estudios de retención de potasio por adsorción, en suelos y subsuelos de siete unidades de suelos derivados de ceniza volcánica: Unidad Chinchiná, Malabar, Fondesa, Fresno, Líbano, Quindío y Montenegro. Se usó una metodología basada en la ecuación de adsorción de Langmuir, la que mostró ser apropiada dentro de los rangos de concentración usados en el estudio. Las tendencias de retención fueron más altas en los subsuelos que en los suelos de la mayoría de las unidades, sugiriendo que el potasio lixiviado del horizonte superficial no se pierde totalmente para el café, ya que el subsuelo puede retenerlo con más fuerza. Se observó diferencia entre la tendencia de retención del suelo de la Unidad Fresno y la de los demás suelos analizados. Los subsuelos se ordenaron en diferentes grupos, de acuerdo a la magnitud de esta tendencia. Se observaron relaciones lineales simples significativas con algunas características de las muestras. Pudo establecerse por medio de ellas que la arcilla retiene con más fuerza el potasio adsorbido que la alófana y la materia orgánica. Se encontró que el fenómeno puede ser altamente explicado por la materia orgánica y el calcio intercambiable en los suelos ($R^2 = 0,9739$) y por el magnesio y potasio intercambiable en los subsuelos ($R^2 = 0,9635$).

SUMMARY

GOMEZ DE R., C.; CARRILLO P., I. F. and ESTRADA E., G. Adsorption of potassium in andosols of the Colombian coffee zone. *Cenicafé (Colombia)* 33(4):104-128. 1982.

In order to gather information which will help rationalize programs in potassium fertilization in coffee regions, studies of adsorption of potassium were carried out, in soils and subsoils of seven regions of volcanic ash: Chinchiná, Malabar, Fondesa, Fresno, Líbano, Quindío and Montenegro. A method based on the Langmuir equation of adsorption was used, which proved to be appropriate within the concentration ranges of the study. The adsorption tendencies were higher in the subsoils than in the soils of most regions, implying that lixiviated potassium of the superficial horizon is not lost totally for the coffee plant, since the subsoil can retain it with greater strength. A difference was observed between the adsorption capacity of the soil of the Fresno region and the rest of the analyzed soils. The subsoils were ordered into different groups, according to the magnitude of this tendency. Significant, simple linear relations were also observed with some characteristics of the samples. With these relations it was determined that clay retains more adsorbed potassium than allophane and organic material. It was found that this phenomenon can be explained adequately by the organic matter and the interchangeable calcium in the soils ($R^2 = 0,9739$) and by the magnesium and interchangeable potassium in the subsoils ($R^2 = 0,9635$).

Additional Key Words: Fertility. Fertilization.

1/ Adaptación de una parte de la tesis de grado presentada por el autor principal para optar al título de Química en la Universidad Nacional, Bogotá.

* Dirección: Calle 69 No. 28C-55, Apartamento B-302, Manizales, Colombia.

** Asistente de la Sección de Química Agrícola del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Directora de Tesis. Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

INTRODUCCION

El área cafetera reconocida está constituida, en gran parte, por suelos derivados de cenizas volcánicas, por lo cual los estudios encaminados a conocer las características de estos suelos han tenido especial interés. Sin embargo, hay aspectos relacionados con la dinámica del potasio en el suelo, tales como su adsorción, que no han sido evaluados en ellos.

El estudio de la adsorción de nutrientes por el suelo, por medio de la ecuación de adsorción de Langmuir (9), ha sido efectuado por numerosos investigadores. Bower (2) evaluó el fenómeno de adsorción de potasio en diferentes suelos del trópico húmedo, algunos de ellos derivados de ceniza volcánica, con el fin de demostrar que el equilibrio entre el potasio en solución (KS) y el potasio adsorbido (Kad), en suelos sometidos a lavados por la lluvia, podía describirse por la ecuación de adsorción de Langmuir. Encontró que, para un mismo suelo, partiendo de diferentes niveles iniciales de potasio adsorbido, se obtenían rectas cuya pendiente dependía del nivel inicial de Kad, pero cuyos interceptos eran iguales entre sí, es decir, independientes de este valor inicial. El autor afirma que el inverso del intercepto, o sea el producto de las constantes de Langmuir k_1k_2 , es una medida de la tendencia del suelo a retener el potasio adsorbido frente al lavado por la lluvia; mientras mayor sea su valor, mayor será esta tendencia, lo que está de acuerdo con lo expuesto por Guerasimov et al (9), quienes afirmaron que, bajo determinadas condiciones de trabajo, el valor de k_1k_2 depende de la intensidad de la atracción del adsorbente por el adsorbato. Por otro lado, encontró que la constante k_2 era igual, dentro de los límites del error experimental, al contenido inicial de potasio adsorbido.

Los resultados de su estudio indican que un suelo dominado por montmorillonita retiene con más fuerza el potasio adsorbido que aquellos suelos dominados por silicatos amorfos, en los que, además, la retención está influenciada por el grado de intemperización. En dicho estudio, la retención por parte de la materia orgánica fue mayor que la presentada por la alófana, mientras que los suelos dominados por goethita y gibsitita ocuparon un lugar intermedio.

El uso de la forma simple de la ecuación de Langmuir, para este tipo de estudios, ha sido cuestionado por numerosos investigadores (10, 12, 17), quienes han propuesto restricciones o modificaciones basadas en consideraciones fisicoquímicas más profundas. Sin embargo, no se ha llegado a la última palabra, y esta metodología ha ofrecido buenos resultados tanto para el potasio como para el sodio (3), con la ventaja de ser más sencilla y estar orientada específicamente a las pérdidas del nutriente por lixiviación.

El objetivo de este trabajo es evaluar, en suelos y subsuelos de la zona cafetera, el comportamiento del potasio frente al lavado, determinando su tendencia a la retención por adsorción. Teniendo en cuenta que las recomendaciones sobre fertilización potásica son las mis-

mas para todas las unidades de suelos de cenizas volcánicas de la zona cafetera, los resultados serán útiles para lograr una mayor eficiencia de los fertilizantes potásicos, ya que se tendrá información, para cada unidad, sobre la capacidad de retención de potasio por adsorción.

MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con muestras de las dos primeras capas de perfiles modales pertenecientes a siete unidades de suelos derivados de cenizas volcánicas (Inceptisoles) de la zona cafetera de las cordilleras Occidental y Central. Estas unidades fueron: Chinchiná, Malabar, Fondesa, Fresno, Líbano, Quindío y Montenegro, las que se encuentran descritas apropiadamente en la literatura (6,8), proviniendo sus cenizas del complejo volcánico Ruiz-Tolima (Darrel, G. citado por Luna y Suárez (14)). Estos suelos se clasifican como Dystrandeps, de acuerdo a la séptima aproximación del sistema americano, a excepción de las unidades Malabar, Fondesa y Quindío que son Eutrandsols.

La identificación, localización y profundidad de las muestras se hallan en la Tabla 1.

Las muestras frescas fueron homogenizadas y tamizadas por malla de 2 mm para luego almacenarlas en doble bolsa plástica y así mantener el suelo húmedo para los análisis.

Los análisis de caracterización de todas las muestras en las que se evaluó la retención de potasio por adsorción se efectuaron, sobre la muestra seca, por los métodos del laboratorio de Química Agrícola de Cenicafé (4). Los resultados de estos análisis se observan en las Tablas 2 y 3.

TABLA 1.- IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO DE ADSORCIÓN DE POTASIO EN ANDOSOLS.

Unidad	Muestra Nº		Localización Municipio (Departamento)	Profundidad cm.	
	Suelo	Subsuelo		Suelo	Subsuelo
Chinchiná	1	2	Hacienda Naranjal/Chinchiná-Caldas	0-50	50-X
Chinchiná	3	4	Hacienda Paraguaquito/Buenavista-Quindío	0-40	40-60
Malabar	5	6	Hacienda Villa Patricia/Pereira-Risaralda	0-35	35-80
Fondesa	7	8	Albán/El Cairo-Valle	0-60	60-90
Fresno	9	10	Hacienda Soacol/Fresno-Tolima	0-40	40-60
Líbano	11	12	Subestación Trinidad/Líbano-Tolima	0-40	40-70
Quindío	13	14	Hacienda Mario Jaramillo/Calarcá-Quindío	0-30	30-X
Montenegro	15	16	Hacienda Paraguaquito/Buenavista-Quindío	0-20	20-40

TABLA 2.- ALGUNAS CARACTERISTICAS INICIALES DE LOS SUELOS ESTUDIADOS.

Nº	pH		Materia orgánica o/o	K	Ca	Mg	Suma de bases	Arcilla o/o	Textura 1/
	H ₂ O	NaF							
1	4,9	10,40	10,0	0,21	2,0	0,6	3,0	13	FA
2	6,5	10,05	5,6	0,14	0,9	0,3	1,5	11	FA
3	5,3	9,05	4,9	0,37	3,3	0,3	4,2	20	FA
4	6,0	8,80	1,3	0,56	4,0	1,0	5,8	29	FArA
5	5,5	7,65	3,1	0,14	6,0	1,9	8,3	22	F
6	5,9	7,80	1,2	0,32	7,4	2,4	10,6	43	Ar
7	6,4	7,30	2,3	0,61	6,1	1,8	8,7	33	FAr
8	6,4	8,05	1,3	0,47	6,9	3,0	10,7	22	F
9	5,0	10,70	11,8	0,09	0,3	0,1	0,7	7	FA
10	6,4	10,10	1,4	0,04	0,2	0,0	0,4	3	FA
11	5,3	10,95	10,1	0,34	1,7	0,1	2,3	19	F
12	5,7	10,15	2,0	0,24	0,9	0,1	1,4	4	FA
13	6,0	9,20	6,5	0,06	9,4	0,1	9,8	12	FA
14	6,7	9,00	1,2	0,05	2,7	0,1	3,1	5	AF
15	6,0	9,85	6,0	0,27	3,7	0,6	4,8	11	FA
16	6,3	9,80	2,2	0,04	3,8	0,3	4,3	10	FA

Caracterización del potasio:

Las determinaciones finales de potasio se efectuaron, en todos los casos, por espectrofotometría de absorción atómica.

Potasio soluble (KS): Referido al potasio presente en la solución al preparar extractos de equilibrio, suelo (base seca)/agua, en relación 1:2.

Potasio intercambiable (KI): Extracción sobre 5.000 g de suelo en base seca con 25 ml de acetato de amonio (AcONH₄) 1N y neutro, por agitación mecánica durante 10 minutos, posterior adición de 75 ml de AcONH₄. Corresponde también al potasio adsorbido inicial (Kadi).

Potasio soluble en ácido nítrico (K/HNO₃): Efectuado según la técnica de Black (1)

TABLA 3.- ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS PREPARADOS PARA LOS ESTUDIOS DE ADSORCION DE POTASIO.

Muestra No	Nivel	pH/agua	Materia orgánica o/o	Cationes intercambiables			Arcilla o/o
				K	Ca	Mg	
				me/100 g			
1	1	5,6	8,5	0,8	1,4	0,3	11
1	2	5,6	8,3	1,2	1,3	0,3	10
2	1	6,0	4,8	0,3	0,8	0,2	10
2	2	5,2	4,9	0,4	0,7	0,2	10
3	1	5,5	4,6	2,3	2,5	0,2	14
3	2	5,6	4,1	2,8	2,0	0,2	12
4	1	5,9	1,2	2,8	3,0	0,7	28
4	2	6,2	1,2	4,0	2,2	0,5	26
5	1	5,6	3,6	0,7	5,3	1,5	38
5	2	5,8	3,4	1,5	5,1	1,4	36
6	1	5,9	1,4	2,0	6,5	2,0	38
6	2	5,9	1,3	3,7	5,3	1,5	38
7	1	6,3	2,3	1,3	6,2	1,8	35
7	2	6,3	2,1	1,8	5,8	1,6	32
8	1	6,2	1,3	1,8	6,0	2,4	26
8	2	6,2	1,2	3,1	5,0	1,8	27
9	1	5,2	12,0	0,1	0,3	0,0	11
9	2	4,9	12,0	0,1	0,3	0,0	15
10	1	6,0	1,7	0,1	0,3	0,1	9
10	2	5,8	1,7	0,1	0,3	0,0	9
11	1	5,4	10,6	0,7	1,6	0,0	15
11	2	5,5	10,1	1,2	1,3	0,0	16
12	1	5,9	2,1	0,6	0,7	0,0	3
12	2	6,1	2,2	0,6	0,6	0,0	1
13	1	6,4	6,1	1,3	9,0	0,0	13
13	2	6,6	6,3	2,6	7,8	0,0	9
14	1	7,2	1,0	0,7	2,2	0,0	5
14	2	7,2	1,0	0,8	2,0	0,0	5
15	1	5,5	5,5	2,0	3,0	0,3	17
15	2	5,6	6,1	2,6	2,6	0,4	17
16	1	6,8	2,0	1,5	2,8	0,2	10
16	2	6,8	2,1	2,3	2,5	0,2	10

Potasio moderadamente disponible (KMD): Es la diferencia entre K/HNO_3 y KI .

Potasio total (KT): Determinado de acuerdo a la técnica de Chapman y Pratt (5), destruyendo previamente la materia orgánica por calentamiento en mufla durante media hora a $500\text{ }^\circ\text{C}$ (13).

Estudios de adsorción:

Se efectuaron según la técnica de Bower (2) en todos los suelos y subsuelos en tres niveles de potasio: el nivel original (NO) y los niveles 1 (N1) y nivel 2 (N2), los cuales se obtuvieron en columnas de PVC de 30 cm de altura y 5,5 cm de diámetro, provistas de malla No. 18 y tapa rosca inferior, en las que se empacaron las muestras, para adicionar luego 2 me K/100 g de suelo (N1) ó 4 me K/100 g de suelo (N2), en forma de solución de KCl, cuidando de asegurar un contacto uniforme entre el suelo y la solución.

El suelo, en estas condiciones, se incubó durante 16 horas a temperatura ambiente; después se lavó con agua destilada hasta fin de cloruros, para eliminar el exceso de KCl. Se extrajo el suelo de la columna y se eliminó el exceso de agua hasta fácil manejo, se homogenizó, tamizó y almacenó en doble bolsa plástica para luego determinar la humedad y el potasio intercambiable (potasio adsorbido inicial, Kadi).

Las muestras de la capa superior de las unidades Malabar y Fondesa se prepararon de acuerdo con este procedimiento, pero la cantidad de potasio añadida fue de 0,75 y 1,5 me K/100 g de suelo para los niveles 1 y 2 respectivamente.

Se prepararon extractos de equilibrio (por triplicado) con relación suelo (seco)/agua 1:2; 1:4; 1:8; 1:16 y 1:32 a partir de 10 g de suelo (niveles 0, 1 y 2), para todas las muestras, con un tiempo de equilibrio de 16 horas a temperatura ambiente. Se determinó el potasio soluble (KS) en los filtrados de los extractos, y la cantidad de potasio adsorbido (Kad), para cada relación, se calculó restando el KS del potasio intercambiable (Kadi):

$$Kad_{1:n} \text{ (me/g)} = Kadi \text{ (me/g)} - nKS_{1:n} \text{ (me/g)}$$

Donde $n = 2, 4, 8, 16, 32$ ml/g.

Luego de efectuar el cálculo KS/Kad para cada relación, se construyeron las isotermas de Langmuir KS/Kad vs. KS , de acuerdo con la ecuación:

$$\frac{KS}{Kad} = \frac{1}{k_1 k_2} + \frac{1}{k_2} KS$$

Análisis estadístico:

La prueba de homogeneidad de intercepto de las isotermas de Langmuir se hizo para cada suelo y subsuelo, comparando entre sí los valores de intercepto (b) encontrados para cada uno de los niveles y calculando t así (18):

$$t = \frac{b_i - b_j}{(s_p^2 (1/\sum x_i^2 + 1/\sum x_j^2))^{1/2}}$$

con: b_i, b_j = interceptos de diferentes niveles; s_p = desviación media de las regresiones;
G. L. = $n_i + n_j - 4$

Pruebas de rango múltiple de Duncan: Se realizaron para los diferentes suelos y subsuelos.

Correlación lineal simple: Se determinó entre las diferentes fracciones de potasio (KS, KI, K/HNO₃, KMD) y algunas de las características de las muestras con las tendencias de retención de potasio por adsorción. Las muestras se dividieron en suelos y subsuelos.

Correlación lineal múltiple: Se buscaron modelos que relacionaran la variable dependiente (tendencia de retención de potasio por adsorción), con las siguientes variables independientes: pH/NaF, K-intercambiable, ΔK (KI en muestra seca - KI en húmedo), K/HNO₃, Ca-intercambiable, materia orgánica, Mg-intercambiable, % arcilla y suma de bases.

La importancia relativa de estas variables en la explicación de la variable dependiente, se determinó por el método ascendente de selección de variables independientes. Se usaron dos criterios para establecer la ausencia de relación entre las variables independientes: un criterio químico que permite afirmar que aunque dos variables independientes muestran alguna relación entre sí, no existe una condición que indica que esta relación es necesaria; un criterio estadístico que incluye dos aspectos: I) si el r^2 entre las dos variables independientes es menor del 50%, la explicación de la variación es muy baja y no es posible concluir afirmativamente sobre la relación; y II) si este valor es mayor del 50%, se deberá probar ausencia de interacción entre las variables antes de incluirlas en el modelo lineal.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización del potasio:

Con respecto a las diferentes fracciones de potasio que se hallan en la tabla 4, se puede observar lo siguiente:

TABLA 4.- CARACTERIZACION DEL POTASIO Y POTASIO INTERCAMBIABLE DE LAS MUESTRAS PREPARADAS PARA LOS ESTUDIOS DE ADSORCION 1/.

Muestra No.	Nivel	K-soluble	K-S	KI	K/HNO ₃	K.M.D.	KT	KT	$\Delta K^{2/}$
		me/l.			me/100 g			%	me/100 g
1	0	0,172	0,034	0,145	0,266	0,121	18,836	0,74	-0,06
	1			0,803					
	2			1,273					
2	0	0,057	0,011	0,110	0,174	0,064	15,516	0,61	-0,03
	1			0,409					
	2			0,582					
3	0	0,098	0,020	0,376	1,082	0,706	23,600	0,92	0,01
	1			2,038					
	2			2,547					
4	0	0,041	0,008	0,725	1,468	0,743	16,729	0,66	0,17
	1			2,710					
	2			3,970					
5	0	0,025	0,005	0,107	0,381	0,274	14,162	0,55	-0,03
	1			0,840					
	2			1,527					
6	0	0,015	0,005	0,368	0,498	0,130	9,437	0,37	0,05
	1			2,190					
	2			4,030					
7	0	0,069	0,014	0,762	1,899	1,137	17,048	0,67	0,15
	1			1,381					
	2			1,902					
8	0	0,031	0,006	0,824	1,993	1,169	12,540	0,49	0,35
	1			2,300					
	2			3,890					
9	0	0,145	0,029	0,080	0,132	0,052	10,293	0,40	-0,01
	1			0,082					
	2			0,076					
10	0	0,013	0,003	0,036	0,154	0,118	16,486	0,65	0,00
	1			0,102					
	2			0,112					
11	0	0,323	0,065	0,330	0,404	0,074	13,906	0,54	-0,01
	1			0,854					
	2			1,129					
12	0	0,066	0,013	0,276	0,298	0,022	11,302	0,44	0,04
	1			0,710					
	2			0,927					
13	0	0,020	0,004	0,050	0,781	0,731	24,122	0,94	-0,01
	1			1,318					
	2			2,436					
14	0	0,018	0,004	0,049	1,292	1,243	25,694	1,01	0,00
	1			0,742					
	2			0,937					
15	0	0,068	0,014	0,250	0,732	0,482	12,885	0,50	-0,02
	1			1,815					
	2			2,456					
16	0	0,015	0,003	0,041	0,667	0,626	15,031	0,59	0,00
	1			1,594					
	2			2,249					

1/ Cada valor es el promedio de dos repeticiones. Para KS y KI, es el promedio de tres repeticiones.

2/ ΔK = Potasio intercambiable determinado en muestra húmeda menos potasio intercambiable determinado en muestra seca al aire.

- Potasio total (KT): Los valores fueron altos si se comparan con los obtenidos para otros suelos de Colombia derivados de ceniza volcánica (14). Los mayores contenidos se encontraron en las muestras de la zona del Quindío, siendo similares a los obtenidos por Parra (16).
- Potasio soluble en ácido nítrico (K/HNO_3): Los valores más altos se encontraron en todas las muestras de la zona del Quindío y en la Unidad Fondesa; mientras que el valor más bajo se encontró en la Unidad Fresno. Estos valores pueden considerarse bajos al compararlos con los obtenidos por Ortiz (15) en seis diferentes suelos de Colombia.
- Potasio moderadamente disponible (KMD): Las cantidades más altas se encontraron en las mismas unidades en las que el potasio extraído con ácido nítrico fue mayor, pero el menor contenido se halló en la Unidad Líbano. Estos valores comparados con los obtenidos por Frye y Leal (7), permiten decir que las muestras poseen cantidades medias a bajas de potasio moderadamente disponible, predominando los valores bajos, a tal punto que, en las Unidades Chinchiná (Naranjal) y Líbano, en el suelo de la Unidad Fresno y en el subsuelo de la Unidad Malabar, éstos son menores que los niveles de potasio intercambiable, lo que sugiere que se efectúe un manejo apropiado de la fertilización, especialmente en las tres primeras unidades, cuyos valores de potasio intercambiable son muy bajos.
- Potasio intercambiable (KI): Se encontraron los valores más altos en la Unidad Chinchiná (Paraguaicito) y la Unidad Fondesa. Por comparación relativa entre suelos y subsuelos, no puede decirse que los valores tendieran a ser mayores en uno que en otro; sin embargo las cantidades absolutas más altas se encontraron en los subsuelos. No se observó relación apreciable entre el contenido de materia orgánica o de potasio total y el nivel de potasio intercambiable, mientras que la relación con la fracción arcilla en el suelo ($r = 0,8276^*$) fue significativa.
- Potasio soluble: No presentó relación con el potasio intercambiable, mientras que se observó correlación significativa con el cociente $K/(Ca + Mg)$ en los suelos ($r = 0,7552^*$). Los subsuelos no presentaron este tipo de relación.

ADSORCION

Los valores de potasio adsorbido inicial (KI) para cada nivel, tanto en los suelos como en los subsuelos, pueden observarse en la tabla 4.

Como se mencionó en Materiales y Métodos, la preparación de los suelos para obtener distintos niveles iniciales de potasio adsorbido fue diferente en las muestras de suelo de las

unidades Malabar y Fondesa (N^os. 5 y 7). En estas muestras, se observó que con la adición de 2 y 4 me de K/100 g de suelo para los niveles 1 y 2 respectivamente, se presentaba un taponamiento de las columnas al efectuar el lavado para eliminar el exceso de KCl. Con una adición menor de cloruro de potasio, equivalente a 0,75 (N1) v 1,5 (N2) me de K/100 gramos, fue posible efectuar el lavado y obtener la diferenciación que se buscaba.

En la tabla 3, se encuentran los resultados obtenidos al determinar algunas de las características de los suelos preparados para los estudios de adsorción. De acuerdo con el error que presenta cada método de determinación (4), sólo se encuentran variaciones en los contenidos de calcio, magnesio y potasio, por lo cual se puede admitir que el tratamiento no afectó a los suelos apreciablemente.

La determinación del potasio adsorbido inicial (KI) sobre las muestras húmedas (tabla 4) permite observar que las mayores diferencias entre las cantidades correspondientes al nivel 0 y a los niveles 1 y 2, se encontraron en las unidades Chinchiná (Paraguacito), Malabar, Fondesa y Montenegro, y en el suelo de la Unidad Quindío. Las diferencias en las demás unidades fueron más pequeñas y en la Unidad Fresno no hubo diferencia. En este suelo, el lavado disminuyó, levemente, el potasio intercambiable que presentaba la muestra sin tratar.

Isotermas.

Los resultados de las mediciones de potasio soluble (KS) y potasio soluble sobre potasio adsorbido (KS/Kad) en cada relación, para todas las muestras en sus tres niveles, se encuentran en el Apéndice 1. En la Tabla 5 se encuentran los valores para la pendiente, el intercepto y el coeficiente de correlación de cada una de las isotermas. La Figura 1 muestra ejemplos del tipo de isotermas para valores altos, medios y bajos en el intercepto de las rectas.

El análisis estadístico, a través de una prueba de homogeneidad (Apéndice 2), estableció que no existen diferencias significativas entre los distintos valores de intercepto obtenidos para cada muestra en sus tres niveles. Esto hizo posible efectuar un promedio para cada uno de los horizontes. Además, desde un punto de vista metodológico, se puede conseguir información sobre la desorción de potasio al trabajar con la muestra tal como es tomada en el campo; es decir, sin tratamiento.

Los altos coeficientes de correlación lineal de las isotermas, sumados a la igualdad de los interceptos en cada horizonte, indican que para todas las unidades de suelos consideradas, independientemente de la concentración, dentro de los rangos incluidos de potasio inter-

cambiable inicial, la forma simple de la ecuación de Langmuir, sin restricciones ni modificaciones, es aplicable al estudio de la desorción de potasio producida como consecuencia del lavado con agua, resultados que están de acuerdo con los obtenidos por Bower (2).

TABLA 5.- PENDIENTE, INTERCEPTO Y COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL DE LAS ISOTERMAS DE LANGMUIR, EN VARIAS UNIDADES DE SUELOS DE LA ZONA CAFETERA.

Unidad	Nivel	S u e l o			S u b s u e l o		
		Pendiente g/me	Intercepto $\times 10^6$ g/ml	Coefficiente de correlación	Pendiente g/me	Intercepto $\times 10^6$ g/ml	Coefficiente de correlación
Chinchiná (Naranjal)	0	869	6.584	0,9998**	971	2.678	0,9992**
	1	144	1.291	0,9994**	252	4.415	0,9997**
	2	85	174	0,9998**	169	2.644	0,9995**
Chinchiná (Paraguaicito)	0	273	680	0,9997**	139	16	0,9999**
	1	51	268	0,9999**	37	46	0,9999**
	2	41	177	0,9999**	25	39	0,9999**
Malabar	0	989	138	0,9991**	273	12	0,9999**
	1	19	613	0,9999**	46	45	0,9999**
	2	66	420	0,9999**	25	54	0,9999**
Fondesa	0	131	210	0,9999**	122	9	0,9999**
	1	71	328	0,9998**	44	27	0,9999**
	2	52	312	0,9997**	26	29	0,9999**
Fresno	0	1.924	12.499	0,9972**	2.625	4.223	0,9889**
	1	1.576	4.539	0,9989**	1.129	3.686	0,9728**
	2	1.812	10.932	0,9963**	1.163	4.144	0,9765**
Libano	0	356	10.910	0,9955**	354	1.949	0,9991**
	1	127	2.865	0,9990**	136	587	0,9992**
	2	98	1.177	0,9992**	99	491	0,9949**
Quindío	0	1.927	2.102	0,8945**	2.073	2.178	0,9982**
	1	80	1.237	0,9999**	138	2.500	0,9989**
	2	43	311	0,9999**	110	1.797	0,9993**
Montenegro	0	415	574	0,9999**	2.758	830	0,9993**
	1	60	558	0,9999**	58	727	0,9792**
	2	44	316	0,9999**	43	279	0,9998**

** : Significativo al 0,01%.

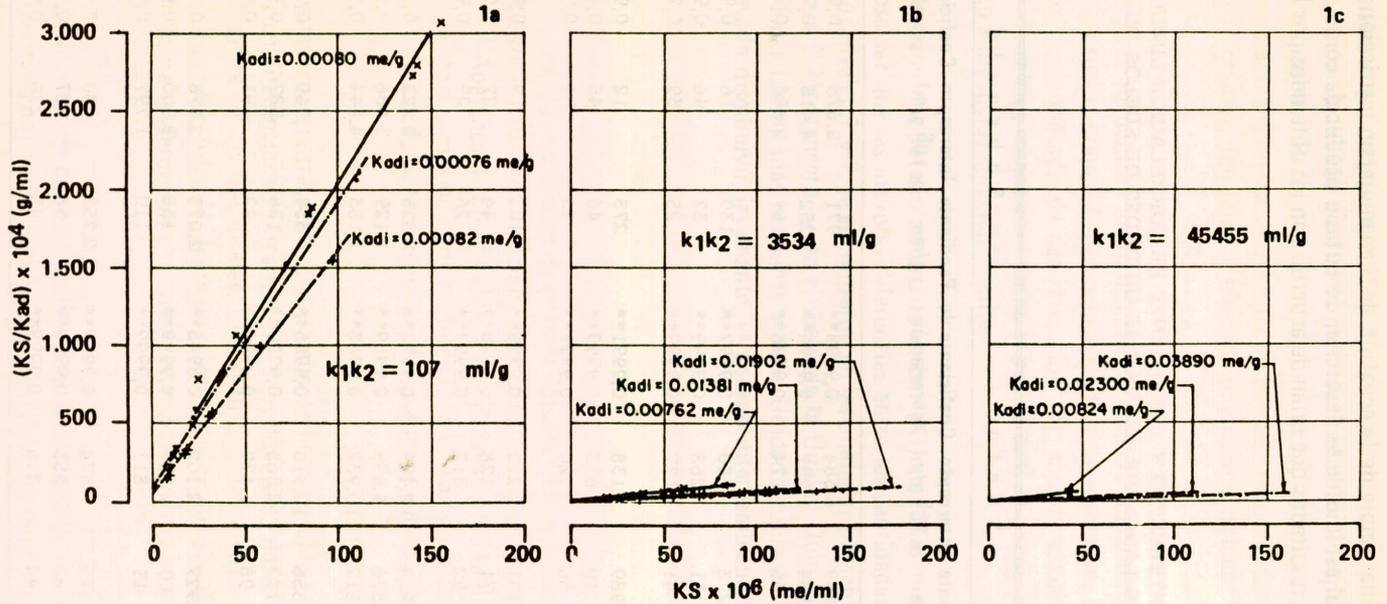


FIGURA 1.- Isothermas de Langmuir con tres niveles iniciales de potasio adsorbido, para valores diferentes de k_1k_2 : 1a) Suelo de la Unidad Fresno (bajo); 1b) Suelo de la Unidad Fondesa (medio); 1c) Subsuelo de la Unidad Fondesa (alto).

En la Tabla 6 se encuentran, para el suelo y el subsuelo de cada unidad, los valores de las constantes de la isoterma de Langmuir k_1 y k_2 de cada muestra en sus tres niveles, y los valores del producto k_1k_2 (1/intercepto promedio) o tendencia a retener el potasio frente al lavado. Bower (2) encontró valores de k_1k_2 más bajos que algunos de los obtenidos en este estudio, aún con suelos dominados por montmorillonita, lo que podría deberse a la calidad del agua de lluvia usada en sus análisis, la que pudiera actuar como

TABLA 6.- CONSTANTES DE LAS ISOTERMAS DE LANGMUIR Y TENDENCIAS DE RETENCIÓN DE POTASIO POR ADSORCIÓN, PARA VARIAS UNIDADES DE SUELOS DE LA ZONA CAFETERA.

Unidad	Nivel	S u e l o			S u b s u e l o		
		k_1 (ml/me)	k_2 (me/g)	k_1k_2 1/ (ml/g)	k_1 (ml/me)	k_2 (me/g)	k_1k_2 (ml/g)
Chinchiná (Naranjal)	0	131.916	0,00115		362.775	0,00103	308
	1	111.243	0,00696	373	57.060	0,00397	
	2	484.192	0,01180		64.077	0,00590	
Chinchiná (Paraguaicito)	0	400.321	0,00367		8.455.894	0,00719	
	1	189.030	0,01968	2.667	798.873	0,02690	29.412
	2	229.414	0,02455		639.281	0,03948	
Malabar	0	7.152.712	0,00101		21.274.601	0,00366	
	1	194.612	0,00838	2.564	1.019.919	0,02175	27.027
	2	156.721	0,01517		464.271	0,03983	
Fondesa	0	620.852	0,00764		12.660.537	0,00819	
	1	215.426	0,01415	3.534	1.581.462	0,02291	45.455
	2	165.668	0,01932		863.281	0,03875	
Fresno	0	153.942	0,00052		621.357	0,00038	
	1	347.198	0,00063	107	306.246	0,00089	249
	2	165.615	0,00055		280.513	0,00086	
Líbano	0	32.639	0,00281		181.465	0,00283	
	1	44.340	0,00787	201	231.960	0,00734	991
	2	83.623	0,01015		201.153	0,01010	
Quindío	0	916.926	0,00052		951.497	0,00048	
	1	64.414	0,01254	822	55.381	0,00722	463
	2	138.098	0,02328		61.282	0,00908	
Montenegro	0	721.704	0,00241		3.322.616	0,00036	
	1	107.955	0,01658	2.070	80.271	0,01712	1.634
	2	138.640	0,02279		155.375	0,02301	

1/ Tendencia de retención de potasio por adsorción: inverso del intercepto, promedio para los tres niveles.

mejor extractante que el agua destilada y llevar a más bajos índices de fuerza de retención.

Los valores de la constante k_2 se asemejan a los valores iniciales de potasio adsorbido; la diferencia puede atribuirse al error experimental. El resultado está de acuerdo con Bower (2) y con la teoría general, ya que al representar k_2 la capacidad de adsorción total, ésta debe ser igual, según la metodología seguida, al nivel inicial de potasio adsorbido.

Por medio de la prueba de Duncan se compararon los valores de intercepto entre las distintas unidades, tanto para los suelos como para los subsuelos (Apéndice 3). Esta diferenciación de interceptos distingue también al producto $k_1 k_2$, por lo cual los resultados de la prueba pueden expresarse en términos de tendencia de retención. Así, en los suelos se hallaron diferencias significativas al 0,05, entre la Unidad Fresno, con la más baja tendencia de retención, y las demás unidades, las que no fueron diferentes entre sí. El suelo de la Unidad Líbano no mostró en este aspecto diferencia con el suelo de la Unidad Fresno, ni con los demás suelos analizados.

Con los subsuelos pudieron establecerse cuatro grupos diferentes, ordenados de mayor a menor tendencia de retención:

- 1) Unidades Fondesa, Chinchiná (Paraguaicito), Malabar y Montenegro.
- 2) Unidad Líbano.
- 3) Unidad Quindío, y
- 4) Unidades Chinchiná (Naranjal) y Fresno.

En el segundo grupo puede incluirse también la Unidad Montenegro.

Relaciones entre la tendencia de retención y algunas características.

En la Tabla 7 se encuentran los coeficientes de correlación lineal simple, obtenidos al relacionar el producto $k_1 k_2$ con algunas características de las muestras.

Los coeficientes de correlación observados con el pH/NaF como índice del contenido de alófana, el porcentaje de arcillas y la materia orgánica, señalan una dependencia estrecha de la fuerza de retención de potasio por adsorción, con estas características de las muestras. Puesto que es bien sabido que la alófana y la materia orgánica retienen potasio por adsorción, las correlaciones negativas con estas fracciones del suelo pueden interpretarse como que ellas poseen menor tendencia de retención relativa a la presentada por la fracción arcilla, la cual muestra una correlación positiva. En los subsuelos, el contenido de limo colaboraría con esta retención.

TABLA 7.- COEFICIENTES DE CORRELACION LINEAL (r) ENTRE LA TENDENCIA DE RETENCION DE POTASIO POR ADSORCION Y ALGUNAS DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.

Características de la muestra	Suelo (r)	Subsuelo (r)
pH/H ₂ O	0.6401	-0.2069
pH/NaF	-0.8800**	-0.8502*
Potasio soluble	-0.5875	-0.1209
Potasio intercambiable	0.6241	0.8735**
K/HNO ₃	0.7855*	0.7293*
K.M.D.	0.7631*	0.4076
Calcio intercambiable	0.4422	0.8332*
Magnesio intercambiable	0.7398*	0.9290**
Suma de bases	0.5956	0.8927**
°/° de saturación de K	-0.4045	-0.2126
Materia orgánica	-0.9445**	-0.4020
°/° Arcilla	0.7506*	0.7581*
°/° (Arcilla + Limo)	0.3591	0.8212*

*: Significativo al 0.05

** : Significativo al 0.01

Esto significa que la fracción del potasio intercambiable asociada con la arcilla, se lixivía con más dificultad que aquellas sostenidas por la alófana y la materia orgánica, resultados similares a los encontrados por Bower (2) y Harada (11).

La influencia de la materia orgánica es evidente en la preparación de los suelos para este estudio: los suelos que tenían mayor contenido de materia orgánica, fueron los que comparativamente alcanzaron un valor más bajo de potasio adsorbido, considerando la igual cantidad de potasio añadido (Tablas 2 y 4). Su participación se manifestó importante, tanto que, en los suelos, explica el 89°/° de los índices de tendencia de retención.

El análisis mineralógico disponible para la Unidad Fresno, corrobora la poca fuerza de retención de la alófana. Así, esta unidad dominada por alófana, fue la que presentó los menores índices, tanto en el suelo como en el subsuelo. La menor fuerza de retención en el primer horizonte de esta unidad, podría deberse a la asociación entre la alófana y el humus, lo que estaría de acuerdo con las observaciones de Harada (11); este valor es tan bajo, que en la preparación de los suelos para los estudios de adsorción, el lavado condujo al mismo nivel de potasio adsorbido que presentaba la muestra sin tratar.

En los subsuelos, la mineralogía de las arcillas de las Unidades Chinchiná (Naranjal), Fresno y Malabar, indica que la naturaleza predominantemente alofánica (Fresno) o caolinítica (Chinchiná-Naranjal) no muestra diferencia respecto al producto $k_1 k_2$, pero éste sí es diferente cuando predomina haloisita como mineral arcilloso (Malabar).

La relación entre la tendencia a mayor retención del potasio y el contenido de las diferentes bases intercambiables (K, Ca, Mg, suma de bases) podría atribuirse a la calidad del material adsorbente, asumiendo que una mayor cantidad inicial de cationes intercambiables, indica una mayor fuerza de retención frente al lavado.

La disminución en el primer horizonte, de los coeficientes de correlación obtenidos al establecer la dependencia de los cationes intercambiables, podría deberse a la mayor participación de la materia orgánica en el proceso de adsorción, unida a su mayor fuerza de retención.

El producto $k_1 k_2$ presentó asimismo relación positiva con el potasio extraído con ácido nítrico, es decir, muestra dependencia con la fracción de potasio inmediata y lentamente disponible. Esto podría significar que una mayor fuerza de retención de potasio está asociada no sólo con la cantidad de potasio intercambiable sino también con algo de potasio no intercambiable, al que pudiera llamarse potasio fuertemente adsorbido. Es decir, aunque en la metodología seguida no se haya tenido en cuenta la totalidad del potasio que puede extraerse con este ácido, una alta tendencia de retención puede indicar que la muestra es capaz de adsorber potasio tan fuertemente, que lo vuelve no intercambiable.

Además de las correlaciones lineales simples, se buscaron correlaciones lineales múltiples. En los suelos se halló que aunque el contenido de materia orgánica explica, en alto grado, el fenómeno de retención por adsorción, la inclusión del calcio intercambiable aumenta significativamente la explicación. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$k_1 k_2 = -464,1068 X_1 - 176,8731 X_2 + 5434,1268$$

con:

$$X_1 = \text{Materia orgánica (}\% \text{)}$$

$$X_2 = \text{Calcio intercambiable (me/100 g)}$$

$$R^2 = 0.9739$$

En este punto es importante recalcar, que a pesar del papel que se le asigna a la arcilla en los fenómenos de adsorción, y aunque se obtuvo un coeficiente de correlación lineal simple significativo, no mostró ser una variable importante en la regresión lineal múltiple.

Al efectuar la regresión lineal múltiple en los subsuelos, se encontró que la inclusión del magnesio y el potasio intercambiables en el modelo, daba la mayor explicación al fenómeno de retención. Se obtuvo la siguiente ecuación:

$$k_1 k_2 = 9644,2109 X_1 + 39195,7980 X_2 - 4600,4379$$

Con:

$$X_1 = \text{Mgl (me/100 g)}$$

$$X_2 = \text{Kl (me/100 g)}$$

$$R^2 = 0.9635$$

Retención y su relación con los programas de fertilización.

En la Figura 2, puede observarse la información relativa de la tendencia de retención, considerando como 100% el mayor valor de $k_1 k_2$ encontrado en los suelos; ésto es el correspondiente al suelo de la unidad Fondesa.

En general, los subsuelos mostraron valores mayores de $k_1 k_2$ que los suelos, con diferencias grandes en las unidades Fondesa, Malabar y Chinchiná (Paraguaicito), mientras que en las unidades Montenegro y Quindío el mayor índice de retención se presentó en los suelos. Es poco probable que el efecto sea debido exclusivamente al contenido actual de materia orgánica. La explicación de este fenómeno posiblemente se halle en la diferencia de la composición mineralógica de los horizontes. Cabe anotar, que el nivel de potasio adsorbido original en el suelo de la Unidad Montenegro fue tan bajo, para su relativamente alta tendencia de retención, que la isoterma de adsorción solo pudo trazarse con los puntos correspondientes a las dos primeras diluciones.

Teniendo en cuenta la diferenciación entre las tendencias de retención, puede decirse en primer lugar, que ésta fue similar en los suelos de las dos muestras de la Unidad Chinchiná, mientras que en los subsuelos la diferencia fue alta, observándose un mayor valor en la muestra de Paraguaicito. Por otro lado, considerando los suelos, la Unidad Fresno, deberá tratarse en forma diferente a las demás unidades respecto a la aplicación de potasio, ya que, si la fertilización con potasio se efectúa de la misma manera en la Unidad Fresno y

en la Unidad Fondesa, en cuanto a cantidad y frecuencia de aplicación, es posible que se esté desperdiciando fertilizante en la Unidad Fresno, al perderse éste por lixiviación, mientras que en la Unidad Fondesa se está sobrefertilizando, lo que en términos económicos también significa desperdicio.

Por otro lado, considerando la magnitud de la tendencia de retención observada en los subsuelos, puede decirse que aunque el potasio aplicado puede ser lixivado del suelo, no se perderá totalmente en la mayoría de las unidades, puesto que el subsuelo es capaz de retenerlo con más fuerza, quedando así disponible para las raíces del cafeto que lleguen hasta este horizonte.

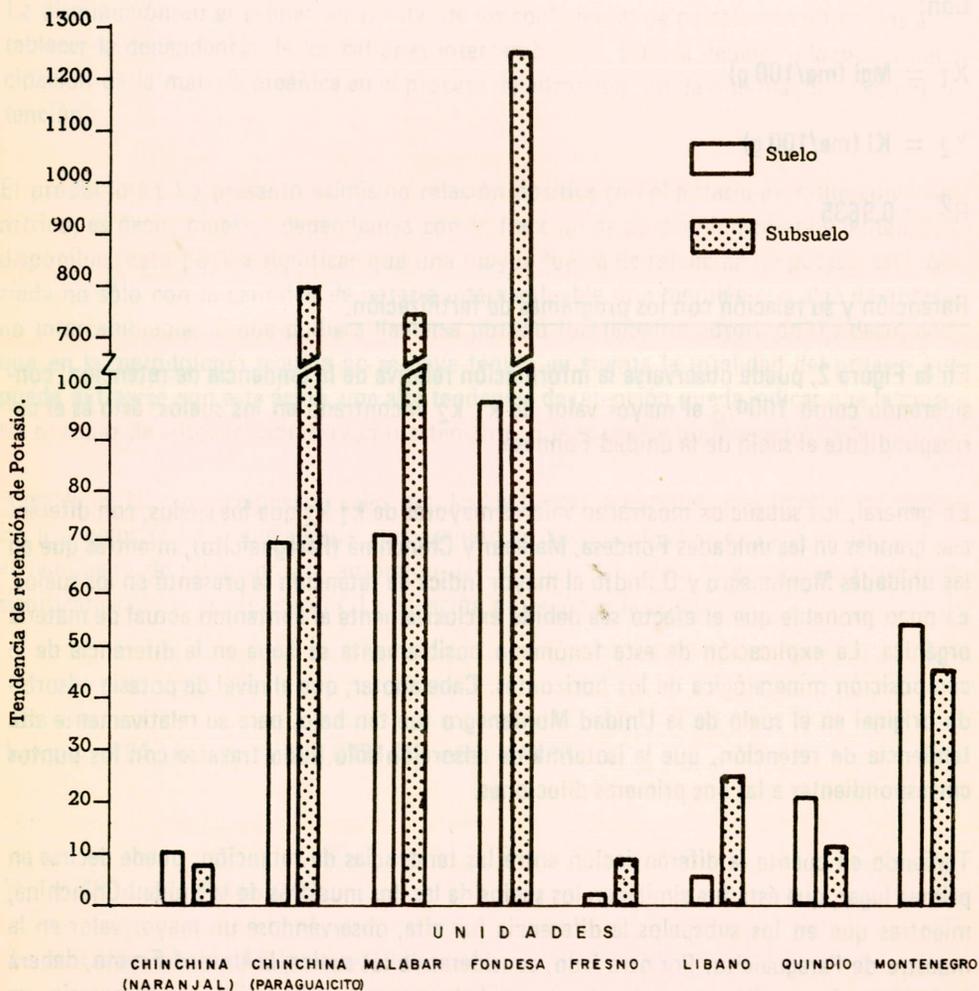


FIGURA 2.- Información relativa de las tendencias de retención de potasio por adsorción.

En general, esta información podrá integrarse a otros factores que se toman en cuenta al diseñar programas de fertilización, tales como clima y régimen de lluvias, aspectos fisiológicos del café, costos de fertilizante y mano de obra. También debe establecerse si vale la pena variar los programas de fertilización potásica, sobre la base del diferente índice de retención de potasio encontrado en el suelo de la Unidad Fresno. En los casos en que la participación del subsuelo sea determinante, la diferenciación en los subsuelos podrá tenerse en cuenta al diseñar estos programas.

BIBLIOGRAFIA

1. BLACK, C. A. et al. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, U. S. A. American Society of Agronomy, 1965. (Series Agronomy N° 9). 2 Tomos.
2. BOWER, C. A. Leaching of adsorbed potassium from humid tropical soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 39(3):594-596. 1975.
3. BOWER, C. A. and GOERTZEN, J. O. Replacement of adsorbed sodium in soil by hydrolysis of calcium carbonate. *Soil Science Society of America Proceedings* 22(1):33-35. 1958.
4. CARRILLO P., I. F. *Manual de laboratorio de suelos*. Chinchiná, Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, 1982. (En prensa).
5. CHAPMAN, H. D. y PRATT, P. F. *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. México, Editorial Trillas, 1973. 195 p.
6. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. PROGRAMA DE DESARROLLO Y DIVERSIFICACION DE ZONAS CAFETERAS. DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION Y PROGRAMACION. Estudio de zonificación y uso potencial del suelo de la zona cafetera del departamento del Tolima. Bogotá, 1973. 93 p.
7. FRYE C., A. y LEAL E., H. Los estados del potasio y su relación con fijación y la fertilización en algunos suelos del Tolima. *Agricultura Tropical (Colombia)* 26(2):57-70. 1970.
8. GRISALES G., A. Fundamentos para el reconocimiento y determinación de la vocación de uso de los suelos en la zona cafetera colombiana. Medellín, Fondo Cultural Cafetero, 1977. 154 p. (Suelos de la zona cafetera Vol. 4).
9. GUERASIMOV, Y. A. et al. *Curso de química física*. Moscú, MIR, 1971. 636 p. (Tomo 1).
10. GUNARY, D. A new adsorption isotherm for phosphate in soil. *Journal of Soil Science* 21(1): 72-77. 1970.
11. HARADA, T. Behavior of NH_4 and K in the soil. Mainly adsorption of NH_4 and K influenced by the kind of cation-exchange material. In: *Japanese Potassium Symposium*, 4º. Sendai, 1961. Tokyo, Potash Research Association, 1961. pp. 6-27.

12. HARTER, R. D. and BAKER, D. E. Applications and misapplications of the Langmuir equation to soil adsorption phenomena. *Soil Science Society of America Journal* 41(6):1077-1080. 1977.
13. LOPEZ-R., J. El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Madrid. Mundi-Prensa, 1967. 267 p.
14. LUNA Z., C. y SUAREZ V., S. El potasio en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 9(2):37-44. 1978
15. ORTIZ R., G. Correlación entre la capacidad de suministro de potasio y varios métodos de extracción química de este elemento en suelos de seis regiones colombianas. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 9(2):109-119. 1978.
16. PARRA H., J. Los suelos del Quindío, sus propiedades físicas, químicas y fertilidad. *Cenicafé (Colombia)* 11(11):323-355. 1960.
17. SPOSITO, G. Derivation of the Langmuir equation for ion exchange reactions in soils. *Soil Science Society of America Journal* 43(1):197-198. 1979.
18. STEEL, R. G. and TORRIE, J. H. eds. Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences. New York, McGraw-Hill, 1960. 481 p.

APENDICE 1.- VALORES DE KS Y KS/Kad PARA LAS ISOTERMAS DE LANGMUIR

Unidad	Nivel	Relación	S u e l o		S u b s u e l o	
			KS x 10 ⁴ me/ml	(KS/Kad) x 10 ³ g/ml	KS x 10 ⁴ me/ml	(KS/Kad) x 10 ³ g/ml
Chinchiná (Naranjal)	0	1:2	1,72	155,91	0,59	57,93
		1:4	0,96	90,06	0,34	35,42
		1:8	0,54	54,46	0,22	23,91
		1:16	0,33	35,23	0,16	18,51
		1:32	0,18	21,25	0,09	11,67
	1	1:2	5,46	78,72	2,07	56,21
		1:4	3,55	53,71	1,45	41,31
		1:8	1,81	27,50	0,95	28,66
		1:16	1,04	16,27	0,64	20,72
		1:32	0,50	7,85	0,39	13,73
	2	1:2	4,90	41,71	1,88	34,21
		1:4	2,20	18,31	1,34	25,29
		1:8	1,30	11,18	0,90	17,73
		1:16	0,70	5,74	0,70	14,80
1:32		0,60	5,55	0,44	9,98	
Chinchiná	0	1:2	0,98	27,22	0,41	5,67
		1:4	0,62	17,76	0,24	3,40
		1:8	0,39	11,19	0,14	1,91
		1:16	0,27	8,00	0,10	1,41
		1:32	0,17	5,29	0,06	0,85
	1	1:2	4,53	23,38	1,78	6,67
		1:4	2,80	14,56	1,26	4,72
		1:8	1,67	8,77	0,80	3,04
		1:16	1,02	5,44	0,52	1,99
		1:32	0,66	3,61	0,33	1,28
	2	1:2	5,44	22,31	2,32	5,91
		1:4	3,24	13,40	1,56	4,00
		1:8	1,86	7,74	1,01	2,60
		1:16	1,19	5,06	0,76	1,98
1:32		0,67	2,87	0,43	1,11	
Malabar	0	1:2	0,25	25,00	0,15	4,01
		1:4	0,14	14,22	0,09	2,47
		1:8	0,06	5,88	0,05	1,46
		1:16	0,08	8,56	0,04	1,20
		1:32	0,03	3,09	0,03	0,74
	1	1:2	1,49	18,43	1,38	6,38
		1:4	1,03	12,89	0,97	4,53
		1:8	0,71	9,11	0,64	3,01
		1:16	0,53	7,02	0,42	2,00
		1:32	0,33	4,55	0,25	1,17
	2	1:2	2,34	15,83	3,40	8,58
		1:4	1,70	11,67	2,27	5,75
		1:8	1,17	8,19	1,45	3,70
		1:16	0,83	5,95	0,92	2,38
1:32		0,49	3,58	0,52	1,35	

Continúa

APENDICE 1.- VALORES DE KS Y KS/Kad PARA LAS ISOTERMAS DE LANGMUIR (Continuación).

Unidad	Nivel	Relación	S u e l o		S u b s u e l o	
			KS x 10 ⁴ me/ml	(KS/Kad) x 10 ³ g/ml	KS x 10 ⁴ me/ml	(KS/Kad) x 10 ³ g/ml
Fondesa	0	1:2	0,69	9,27	0,31	3,83
		1:4	0,54	7,34	0,18	2,24
		1:8	0,35	4,81	0,10	1,27
		1:16	0,29	4,05	0,15	1,41
		1:32	0,18	2,56	0,06	0,74
	1	1:2	1,07	7,87	1,04	4,58
		1:4	0,91	6,74	0,77	3,39
		1:8	0,70	5,28	0,48	2,14
		1:16	0,56	4,36	0,34	1,53
		1:32	0,35	2,79	0,24	1,07
	2	1:2	1,58	8,45	1,77	4,59
		1:4	1,37	7,42	1,32	3,45
		1:8	0,99	5,42	0,84	2,19
1:16		0,80	4,49	0,65	1,72	
1:32		0,50	2,85	0,34	0,91	
Fresno	0	1:2	1,45	285,62	0,13	38,92
		1:4	0,85	186,05	0,08	24,39
		1:8	0,46	106,48	0,06	20,50
		1:16	0,23	54,83	0,04	14,96
		1:32	0,12	30,52	0,04	15,26
	1	1:2	0,97	153,92	0,24	25,08
		1:4	0,58	97,85	0,48	57,43
		1:8	0,32	55,89	0,33	42,98
		1:16	0,18	32,90	0,21	30,04
		1:32	0,08	15,09	0,11	17,20
	2	1:2	1,12	208,08	0,22	20,82
		1:4	0,71	150,29	0,73	87,57
		1:8	0,37	79,78	0,43	56,42
1:16		0,22	55,50	0,28	41,67	
1:32		0,09	20,29	0,16	26,23	
Libano	0	1:2	3,23	122,56	0,66	24,92
		1:4	2,24	93,34	0,52	20,23
		1:8	1,40	64,23	0,37	15,32
		1:16	0,81	40,67	0,28	12,11
		1:32	0,44	23,29	0,17	7,67
	1	1:2	4,64	60,96	0,63	9,04
		1:4	3,35	46,53	0,65	9,45
		1:8	1,89	26,82	0,51	7,67
		1:16	1,28	19,78	0,36	5,52
		1:32	0,63	10,62	0,25	3,91
	2	1:2	6,19	61,57	0,42	4,57
		1:4	4,01	41,40	0,41	4,54
		1:8	2,26	23,83	0,42	4,66
1:16		1,38	14,32	0,36	4,14	
1:32		0,75	8,39	0,25	2,95	

Continúa . . .

APENDICE 1.- VALORES DE KS Y KS/Kad PARA LAS ISOTERMAS DE LANGMUIR (Continuación).

Unidad	Nivel	Relación	S u e l o		S u b s u e l o	
			KS x 10 ⁴ me/ml	(KS/Kad) x 10 ³ g/ml	KS x 10 ⁴ me/ml	(KS/Kad) x 10 ³ g/ml
Quindío	0	1:2	0,22	43,51	0,18	46,87
		1:4	0,07	15,58	0,11	23,85
		1:8	0,05	10,87	0,07	16,16
		1:16	0,04	9,24	0,06	14,22
		1:32	0,03	6,48	0,04	11,05
	1	1:2	4,89	40,11	2,84	41,39
		1:4	3,27	27,58	2,09	31,81
		1:8	1,96	16,99	1,34	21,17
		1:16	1,25	11,18	0,97	16,49
		1:32	0,80	7,53	0,53	9,18
	2	1:2	6,60	28,65	3,22	36,90
		1:4	3,77	16,51	2,41	28,71
		1:8	2,29	10,18	1,51	18,48
		1:16	1,47	6,70	1,07	14,63
1:32		0,82	3,79	0,58	7,68	
Montenegro	0	1:2	0,68	28,78	0,15	40,10
		1:4	0,41	17,70	0,01	3,30
		1:8	0,26	11,34	0,00	
		1:16	0,17	7,46	0,00	
		1:32	0,12	5,49	0,00	
	1	1:2	8,48	51,54	1,06	6,72
		1:4	4,96	30,66	1,16	7,49
		1:8	2,82	17,72	0,97	6,29
		1:16	1,58	10,12	0,78	5,31
		1:32	0,81	5,18	0,54	3,80
	2	1:2	9,87	41,27	1,47	6,62
		1:4	5,51	24,63	1,43	6,54
		1:8	2,99	13,49	1,08	5,01
		1:16	1,72	7,90	0,78	3,69
1:32		0,89	4,08	0,56	2,71	

APENDICE 2.- PRUEBA DE HOMOGENEIDAD PARA LOS INTERCEPTOS DE LAS ISOTERMAS DE LANGMUIR.

Cenicafé/127

Unidades	Niveles	S u e l o s					S u b s u e l o s				
		b - b'	$S_p(1/X_1^2 + 1/X_2^2)$	G.L.	t	Niveles	b - b'	$S_p(1/X_1^2 + 1/X_2^2)$	G.L.	t	
Chinchiná (Naranjal)	0 - 1	0,005293	4,9808	26	0,001063	0 - 1	0,001737	9,2864	26	0,000187	
	0 - 2	0,006410	3,7736	26	0,001699	0 - 2	0,000034	8,7973	26	0,000004	
	1 - 2	0,001117	1,5649	26	0,000714	1 - 2	0,001771	2,3412	26	0,000756	
Chinchiná (Paraguaicito)	0 - 1	0,000412	1,3983	26	0,000295	0 - 1	0,000030	0,1809	26	0,000166	
	0 - 2	0,000503	1,3880	26	0,000312	0 - 2	0,000023	0,1491	26	0,000154	
	1 - 2	0,000091	0,0886	26	0,001027	1 - 2	0,000007	0,0549	26	0,000127	
Malabar	0 - 1	0,000475	8,3095	26	0,000057	0 - 1	0,000033	0,4401	26	0,000075	
	0 - 2	0,000282	8,1983	26	0,000034	0 - 2	0,000042	0,6024	26	0,000070	
	1 - 2	0,000193	0,4289	26	0,000450	1 - 2	0,000009	0,0714	26	0,000126	
Fondesa	0 - 1	0,000118	0,7091	26	0,000166	0 - 1	0,000018	0,2745	26	0,000065	
	0 - 2	0,000102	0,7642	26	0,000133	0 - 2	0,000020	0,2832	26	0,000071	
	1 - 2	0,000016	0,5825	26	0,000027	1 - 2	0,000002	0,0810	26	0,000025	
Fresno	0 - 1	0,007960	58,1706	25	0,000137	0 - 1	0,000537	239,6809	25	0,000002	
	0 - 2	0,001567	60,1545	26	0,000026	0 - 2	0,000079	358,2991	25	0,000002	
	1 - 2	0,006393	54,0716	25	0,000118	1 - 2	0,000458	115,0214	26	0,000004	
Líbano	0 - 1	0,008045	8,3259	26	0,000966	0 - 1	0,001362	4,5521	25	0,000299	
	0 - 2	0,009733	7,6393	26	0,001274	0 - 2	0,001458	7,9109	25	0,000184	
	1 - 2	0,001688	1,9083	26	0,000884	1 - 2	0,000096	3,4673	26	0,000028	
Quindío	0 - 1	0,000865	189,1549	26	0,000004	0 - 1	0,000322	32,1371	26	0,000010	
	0 - 2	0,001791	189,0298	26	0,000009	0 - 2	0,000381	28,9259	26	0,000013	
	1 - 2	0,000926	0,2505	26	0,003696	1 - 2	0,000703	2,1008	26	0,000335	
Montenegro	0 - 1	0,000016	2,1560	16	0,000007	0 - 1	0,000103	38,1093	17	0,000003	
	0 - 2	0,000258	1,7130	26	0,000160	0 - 2	0,000551	36,0805	17	0,000015	
	1 - 2	0,000242	0,2312	26	0,001046	1 - 2	0,000448	2,8143	26	0,000159	

t 25 0.05 = 2,060
0.01 = 2,787

t 26 0.05 = 2,056
0.01 = 2,779

