

## CAPITULO V

### EL POTASIO

Después del nitrógeno (N) y el calcio (Ca), el potasio (K) es el nutrimento esencial de las plantas absorbido en mayores cantidades. Algunas plantas acumulan en sus tejidos cantidades apreciables. Las hojas de tabaco pueden contener hasta el 8 por ciento en base seca, y la planta puede mostrar síntomas de deficiencia si el contenido es menor del 3 por ciento (4).

A pesar de que las plantas absorben relativamente grandes cantidades de potasio, la mayoría de los trabajos de fertilidad de suelos efectuados en Colombia con cultivos anuales, han demostrado que los suelos contienen suficiente cantidad de potasio aprovechable para abastecer varias cosechas. Sin embargo, los experimentos conducidos con cultivos permanentes o semipermanentes como el café, cacao, caña de azúcar y plátano han indicado la necesidad de aplicación de fertilizantes potásicos, para obtener rendimientos normales.

En general los resultados obtenidos con potasio en Colombia, son similares a aquellos encontrados en otras áreas agrícolas desarrolladas del mundo. Es bastante común encontrar poca respuesta inicial al potasio, pero cuando se continúa el cultivo, el potasio del suelo disminuye y si la producción se aumenta a través de otros fertilizantes, especialmente nitrogenados la necesidad del potasio usualmente llega a ser más pronunciada, como es el caso de los Llanos Orientales y de la zona cafetera.

#### 5.1 CONTENIDO Y FORMAS MINERALES EN LOS SUELOS.

##### 5.1.1 Contenido en los Suelos.

El contenido de K en el suelo varía ampliamente de acuerdo con el tipo de roca madre y su grado de descomposición. En general, suelos deri-

vados de rocas básicas y suelos muy meteorizados son los que tienen menores contenidos. El K total en los suelos es muy variable. Puede ser desde unos pocos centenares de kilogramos por hectárea en la capa arable en suelos de textura gruesa, hasta 50.000 kilogramos o más en suelos de textura fina, formados a partir de minerales ricos en potasio como feldespatos potásicos y micas (4).

En la Tabla 15 se presenta la distribución de los niveles críticos para K en un total de 11.042 muestras de suelos de diferentes regiones naturales del país. Se ve claramente que con excepción de los Llanos Orientales, los porcentajes de K correspondiente al nivel alto está por encima del 80 por ciento, lo cual indica también que el porcentaje de muestras con niveles bajos de potasio es inferior al 20 por ciento. Los contenidos de potasio intercambiable frecuentemente bajos en los Llanos Orientales, probablemente estén asociados al material parental de los suelos y a intensivos procesos de meteorización estimulados por temperaturas altas y precipitación abundante.

TABLA 15. Distribución en porcentaje de los niveles críticos de potasio en varias regiones del país (19).

Región Natural	Nivel crítico		No. de muestras analizadas
	Bajo	Alto	
Cordilleras Andinas	16	84	3.423
Sabana de Bogotá	5	95	521
Valle del Alto Magdalena	13	87	1.005
Valle del Cauca	10	90	2.639
Costa del Pacífico	20	80	400
Costa Atlántica	4	96	1.976
Valle del Bajo Magdalena	12	88	635
Llanos Orientales	39	61	393

Marín y Manzano (18) agruparon los resultados del análisis para potasio, de 868 muestras de suelos provenientes de la región algodonera de los departamentos del Magdalena, Cesar y Guajira, tal como se observa en la Tabla 16. El 45 por ciento de las muestras contenían más de 0.60 meq/ de K/100 g de suelo; el 38 por ciento contenía entre 0.30 y 0.60 meq de K/100 g; el 14 por ciento entre 0.15 y 0.30 solamente el 3 por ciento de las muestras analizadas dieron valores de menos de 0.15 meq de K.

TABLA 16. Distribución de los valores de K en 868 muestras de suelos de la región algodonera del Magdalena. Cesar y Guajira (18).

Valores de K meq/100 g	Niveles críticos de potasio	Porcentaje de muestras anali- zadas.
Menos de 0.15	Bajo	3
De 0.15 a 0.30	Medio	14
De 0.30 a 0.60	Alto	38
Mayor de 0.60	Muy alto	45

\* Potasio extraído con acetato de amonio normal y neutro.

### 5.1.2 Formas Minerales del Potasio en los Suelos.

La mayor parte del potasio de los suelos se halla en los minerales clasificados como feldespatos y micas, y entre ellos, los más importantes son los feldespatos ortoclasa y microclina, las micas biotita y moscovita y las arcillas micáceas conocidas como ilitas. Los feldespatos, cuya fórmula general es  $K, Al, Si_3O_8$ , existen casi exclusivamente en las fracciones de limo y arena de los suelos pero se encuentran a veces en la arcilla gruesa. Las micas biotita y moscovita, cuya fórmula general es  $K Al_3 Si_3 O_{10} (OH)_2$ , son las que actúan como fuente de potasio en los suelos. Se hallan principalmente en las fracciones de limo y arena, y pueden ser, tanto de origen primario como secundario.

La illita, que es un mineral de arcilla del tipo 2:1, es el principal mineral de este tipo portador de potasio. La muscovita pierde K por alteración para formar primeramente illita. La illita es pues un mineral de origen secundario.

## 5.2 FORMAS DEL POTASIO APROVECHABLES POR LAS PLANTAS.

### 5.2.1 El Equilibrio en los Suelos.

La agrupación de las distintas formas, de acuerdo con su aprovechamiento por las plantas, es más bien arbitraria, pero sirve en forma general para caracterizar el potasio en el suelo y conocer las relaciones entre sus distintas formas.

Según Granger (11), el potasio total del suelo puede considerarse como un conjunto de estados en el cual el ión  $K^+$  existe, en distintas formas de combinación, todas en equilibrio, usualmente representadas como sigue :



En donde :

- A = potasio estructural en minerales primarios.
- B = potasio en minerales secundarios por ejemplo illita.
- C = potasio adsorbido, quelatado o en el complejo de intercambio, que puede intercambiarse solamente con otro catión altamente afín.
- D = potasio intercambiable con un intercambiador débil, como por ejemplo el ión  $NH_4^+$
- E = potasio soluble en agua o  $K^+$  en solución.

Todos estos estados del potasio del suelo están en equilibrio, pero solamente el que existe como intercambiable sobre la superficie de los minerales de arcilla, es considerado como la principal fuente de potasio aprovechable para las plantas.

Las varias formas del potasio del suelo generalmente están relacionadas y comprenden un sistema en el cual, un aumento en una forma ocurre a expensas de una o más de las otras formas, como resultado de un movimiento neto de los estados menos aprovechables a los estados más aprovechables. La aprovechabilidad del potasio para las plantas depende de la cantidad y de la movilidad relativa de los diferentes estados, incluyendo la tasa de provisión de las formas aprovechables inmediatamente agotados.

### 5.2.2 La Forma Soluble.

La forma soluble del potasio del suelo, es la forma iónica  $K^+$  que se encuentra en la solución del suelo. Se presume que todo el potasio tomado por las plantas proviene de esta forma, si se exceptúa el concepto de la absorción de nutrimentos por contacto entre las raíces y los cationes intercambiables del suelo.

En la mayoría de los trabajos experimentales no se mide separadamente el  $K^+$  de la solución del suelo, se lo incluye en el potasio intercambiable pues las dos fracciones se extraen simultáneamente por medio de soluciones salinas que se usan con el fin de remover el potasio intercambiable. El contenido de  $K^+$  en la solución del suelo es por lo general tan bajo con respecto al potasio intercambiable y con el  $K$  absorbido por las plantas, que resulta cuantitativamente de escasa importancia (4).

### 5.2.3 La Forma Intercambiable.

El potasio intercambiable del suelo es difícil de definirlo teóricamente y determinarlo experimentalmente, al menos por tres razones:

- 1) la dificultad de establecer un límite preciso entre las fracciones solubles e intercambiables, 2) la existencia en algunos suelos de potasio difícilmente intercambiable, el cual no es extractable inmediatamente por los reactivos usuales, y 3) la disolución del potasio mineral por el extractante de intercambio. En la práctica el valor del potasio intercambiable es casi seguro que está afectado por uno o más de esos factores.

Aunque se puede definir el potasio intercambiable en los mismos términos utilizados para definir las bases intercambiables, los investigadores han aceptado dos convenciones especiales en la determinación de potasio intercambiable de los suelos, ambas de importancia en cuanto a la relación entre el potasio intercambiable y la absorción de K por las plantas (4).

La primera convención se refiere al uso de una sal de amonio para desplazar el K. Esto se basa en que las sales de amonio suelen utilizarse para desplazar todas las bases intercambiables.

La segunda convención es que el potasio intercambiable se debe determinar en suelos húmedos. El uso de muestras secadas al aire es conveniente desde el punto de vista técnico, pero no refleja exactamente el potasio intercambiable del suelo como se explicará más adelante.

La tendencia a considerar potasio intercambiable y potasio aprovechable como sinónimos o prácticamente idénticos está sujeta a duda. No es difícil llegar a la conclusión opuesta. El potasio intercambiable nunca corresponde exactamente con el potasio aprovechable por las siguientes razones : 1. La inhabilidad de la planta para remover completamente el potasio intercambiable. 2. La inclusión usual de potasio soluble en la extracción de intercambio, 3. La liberación de potasio no intercambiable de minerales primarios y de los minerales de la arcilla, 4. Fijación en formas difícilmente intercambiables durante el período de cosecha y 5. Diferencias específicas entre las plantas para utilizar potasio intercambiable o potasio no intercambiable, ó ambos.(4).

#### 5.2.4 Forma no Intercambiable.

Por definición, todo el potasio del suelo, excepto las formas soluble e inmediatamente intercambiable se incluye en el término "no intercambiable".

La capacidad de los suelos para suministrar potasio a las plantas de la forma no intercambiable, ha sido estudiada por numerosos investigadores

y la coincidencia más común, es que esta depende principalmente del contenido de arcilla de los suelos, dentro de la cual es muy importante considerar el tipo de arcilla, y la "capacidad alimentadora" de las varias especies de plantas.

Marín y colaboradores (17) estudiaron la capacidad para suministrar potasio de 40 suelos de las áreas agrícolas más importantes de Colombia, mediante cosechas intensivas de trébol blanco en condiciones de invernadero. Los suelos variaron ampliamente en su capacidad para suministrar potasio a las plantas. Concluyeron que el contenido de potasio intercambiable en el suelo no siempre es una buena medida para pronosticar las deficiencias de potasio en el suelo para una cosecha determinada. Al hacer recomendaciones de fertilizantes potásicos no solamente debe tenerse en cuenta el análisis de suelos para potasio, sino también la tasa de liberación del potasio del suelo. Ya que el tipo de arcilla es muy importante para definir la capacidad de los suelos para suministrar potasio, sería conveniente investigar la naturaleza de la arcilla en los suelos colombianos.

La figura 14 muestra las tendencias generales de los resultados obtenidos en tres suelos que presentaron alto contraste. El franco-limoso de La Esmeralda inició el período de cosecha con 0.38 meq de K intercambiable y disminuyó a 0,26 meq al finalizar el 5º corte, cantidad que permaneció constante hasta después de 10 cortes. El franco-arenoso de providencia inició el experimento con un contenido de 0.98 meq de K intercambiable, cayendo bruscamente a 0.46 meq en el 5º corte, luego del cual permaneció constante hasta el final del experimento. El suelo franco de Montería tenía inicialmente cantidades muy altas de potasio intercambiable, 1.30 meq y su contenido cayó bruscamente hasta 0.29 meq después del 10º corte.

En condiciones de campo también ha sido estudiada la capacidad de los suelos para suministrar potasio a las plantas. En la figura 15 se registran datos que ilustran el comportamiento de la alfalfa en un suelo franco-arcilloso de la Serie Tibaitatá sin y con aplicaciones de K. El comportamiento de la alfalfa en el tratamiento sin K fue relativamente igual al tratamiento

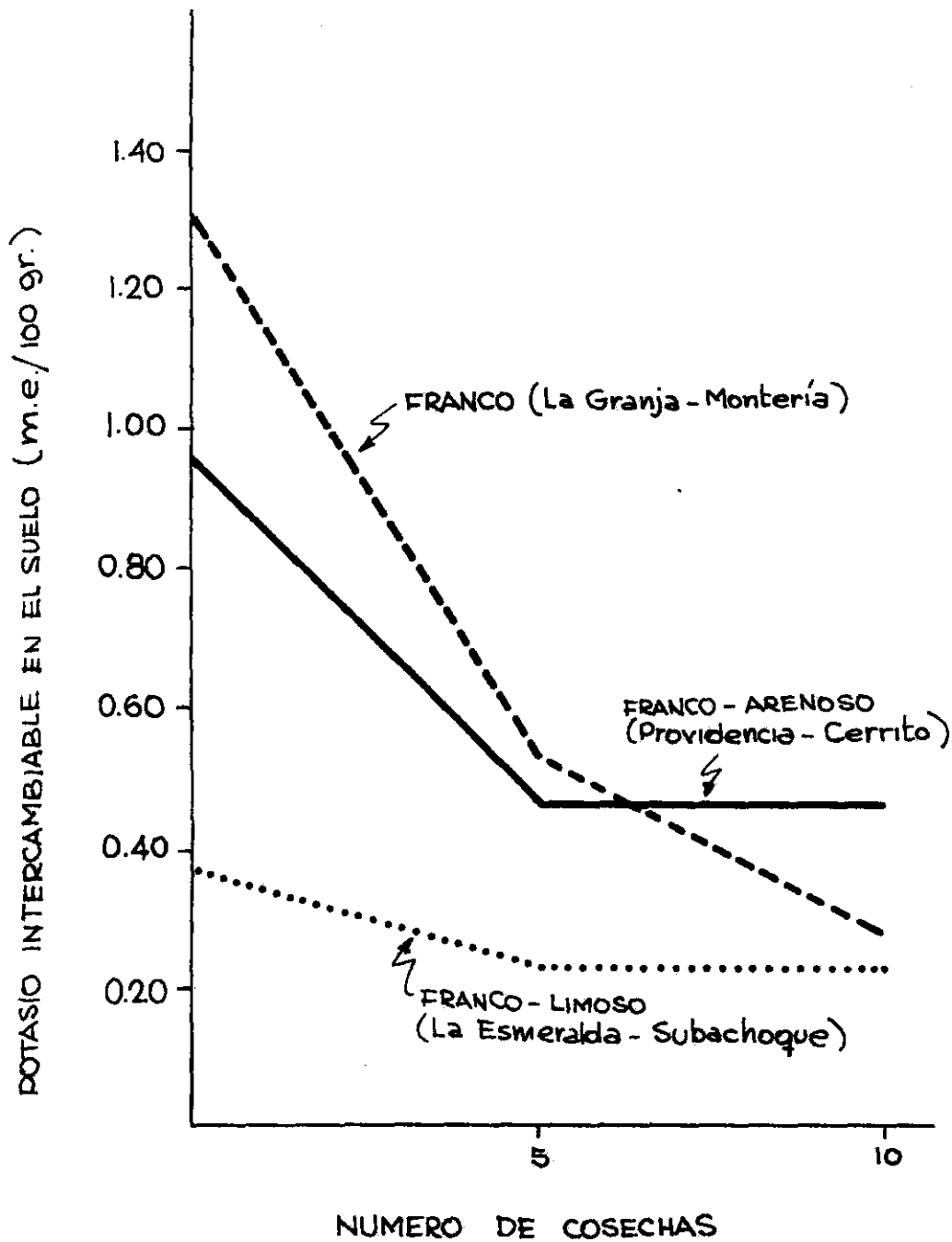


Figura 14. Disminución del potasio intercambiable en varios suelos de Colombia después de varias cosechas de trébol blanco (*Trifolium album* L.) (17).

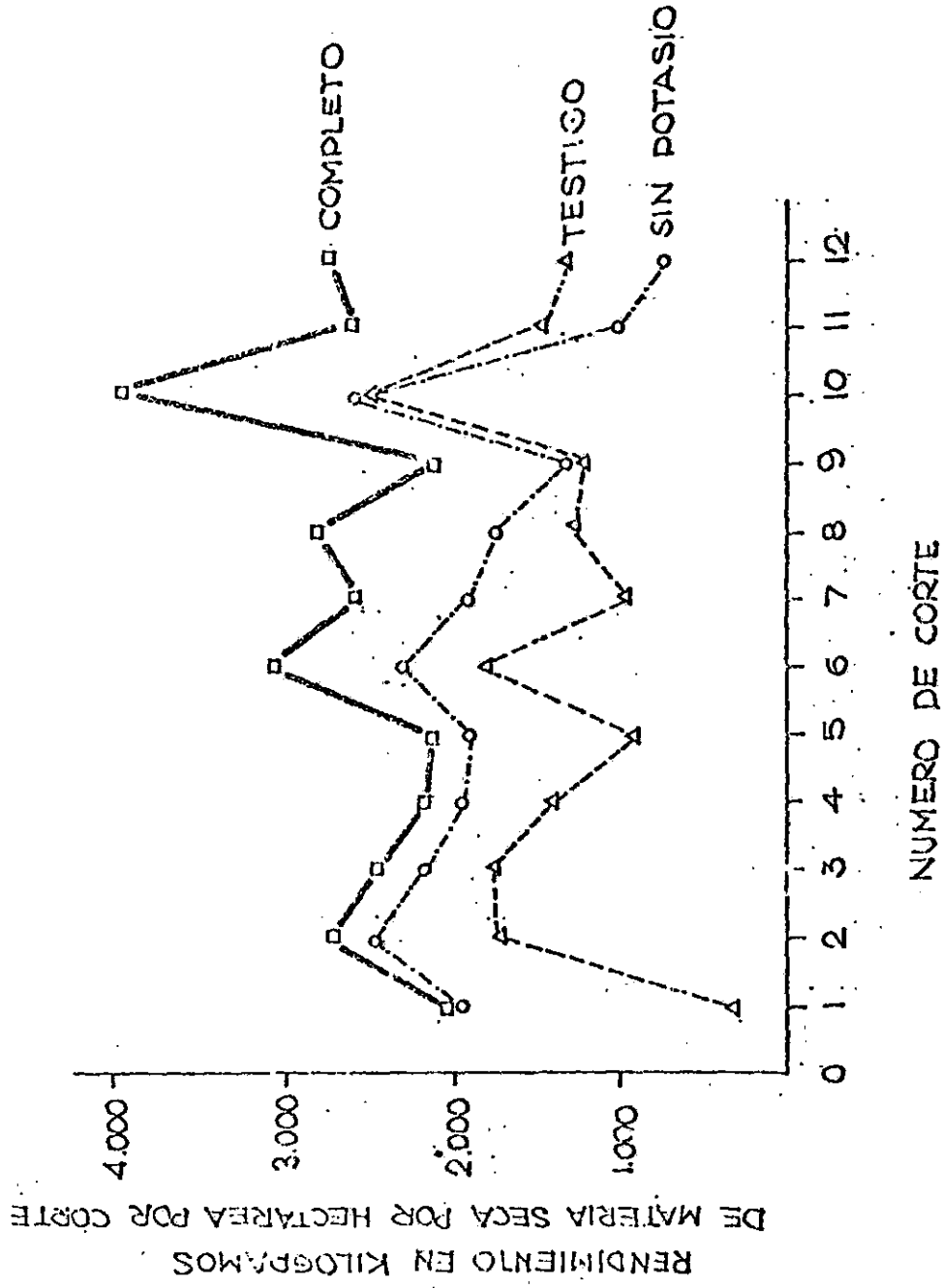


Figura 15. La capacidad de un suelo franco-arcilloso de la serie Iibatitá, para suministrar potasio a un cultivo de alfalfa (Medicago sativa L.) (16).

con K durante los primeros cortes, pero el rendimiento en el primer tratamiento, presentó un descenso progresivo a partir del 6º corte en comparación con el segundo tratamiento. Estos resultados permiten concluir que el K puede llegar a ser un nutriente limitante cuando los suelos se someten a cosechas intensivas de plantas con alto requerimiento en potasio.

Los estudios realizados en Colombia sobre la capacidad de liberación de K de varios suelos sometidos a cosechas intensivas de trebol blanco y con alfalfa, en condiciones de invernadero, han mostrado una gran variación entre los distintos suelos para suministrar potasio aprovechable a las plantas, aunque en general ha sido alta. La falta de respuesta de las cosechas a la aplicación de fertilizantes potásicos, puede explicarse en parte por la liberación de K en los suelos si éstos tienen cantidades adecuadas de minerales de arcilla ricos en potasio.

La liberación de potasio por varios suelos de Colombia sometidos a un cultivo de alfalfa, fue estudiado por Piedrahita y Benavides. (22), en condiciones de invernadero. El potasio liberado fue muy variable en los distintos suelos, siendo alta en general la capacidad de liberación de potasio (Tabla 18). De este y los otros estudios realizados en Colombia, se deduce que es necesario tener en cuenta regiones y cultivos para determinar la capacidad de los suelos para liberar potasio y por ende definir los medios más adecuados de fertilización potásica en las diferentes cosechas.

Gómez(10) , estudió la respuesta de un monocultivo, de maíz a la fertilización con N, P y K en un suelo franco perteneciente a la serie 40 del Valle del Cauca y encontró que no fue necesario aplicar potasio sino después de 23 cosechas de maíz las cuales abarcaron un período de once y medio años. Después de este tiempo se consideró que el suelo aún contenía suficientes cantidades de K aprovechable para obtener adecuada producción de maíz. Los datos se presentan en la Tabla 19.

Las pruebas de fertilización en cultivos de algodón, realizadas por el Instituto de Fomento Algodonero y por la Federación de Algodoneros en

TABLA 18. Potasio liberado de algunos suelos de Colombia bajo cosechas intensivas de alfalfa en condiciones de invernadero (22).

Localidad	Textura	K de cambio	K liberado*
		meq por 100 g de suelo	
María La Baja (Bolívar)	F	0.39	0.66
María La Baja (Bolívar)	FAr	0.56	0.74
Arjona (Bolívar)	FAr	0.62	0.34
Cartagena (Asociación)	F	0.30	0.40
Sopó (Cundinamarca)	FAr	0.40	0.25
La Toscana (Cundinam.)	F	0.22	0.19
Tolima S-30-E-6	F	0.40	0.25
Coello S-130	F	0.45	0.35
Pueblo nuevo - Saldaña	F1	0.32	0.72
Codazzi	F1	0.65	0.74

\* Durante 6 cosechas de alfalfa.

TABLA 19. Efecto de la fertilización potásica en el rendimiento del maíz en un suelo franco de la serie 40 en el Valle del Cauca (10).

Dosis de K-20 <sup>1/</sup> Kg/Ha	55 B - 59 B	60 A - 62 B	63 A - 66 B
0	4.8	4.7	5.2
40	4.9	4.7	5.5

<sup>1/</sup> Se aplicó en cada siembra N y P a razón de 120 y 80 kg/Ha de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivamente.

suelos de la zona suoriental del Tolima, no han mostrado una respuesta positiva a la aplicación de fertilizantes potásicos. En otros cultivos de importancia económica, de la misma región, tales como arroz, maíz y ajonjolí tampoco se ha encontrado una respuesta definida a tal elemento.

Varias hipótesis han surgido para explicar la falta de respuesta de los cultivos a las aplicaciones de potasio en suelos del Valle del Alto Magdalena. Entre estas merecen destacarse las siguientes :

1. Que estos suelos fijan el potasio aplicado
2. Que por el contrario liberan suficiente potasio y satisfacen los requerimientos de los cultivos.
3. Que por efecto del ión complementario, otros cationes como el Ca y el Mg están restringiendo la aprovechabilidad del potasio.

Para tratar de explicar en parte éstas hipótesis, Frye y Leal (8) caracterizan el potasio en varias muestras de suelos del Valle del Alto Magdalena y encontraron en casi todos los suelos un porcentaje bajo de potasio intercambiable con relación al potasio total y cantidades altas de potasio lentamente aprovechable por las plantas (Tabla 20) lo cual coincidió con la presencia de la illita como arcilla predominante, en una textura abundante en arcilla.

Lo anterior, complementado con la interpretación de los resultados del potasio soluble, pone de manifiesto algunos hechos importantes relacionados con el manejo de la fertilidad de los suelos en cuanto al potasio se refiere. En primer lugar, al disponer de una buena cantidad de potasio, rápida y lentamente aprovechable, los suelos no requieren de fertilizaciones con este elemento para obtener aumentos en el rendimiento, por lo menos durante varios años. En segundo lugar, como la mayor proporción del potasio de los suelos corresponde a formas no aprovechables retenidas muy fuertemente por minerales de difícil descomposición al agotarse las reservas lentamente aprovechables la capacidad de suministro de potasio de estos suelos será muy baja y es entonces indispensable hacer fertilizaciones altas

TABLA 20. Formas de potasio del suelo en algunos suelos del Tolima (8).

Municipio	Serie o (región)	K Total <sup>1/</sup> (kg)	K- difícilmente interc. <sup>3/</sup> miliequivalentes por 100 g	
			K. interc. <sup>2/</sup>	
Espinal	Serrezuela	45	0.27	2.06
Espinal	Talura	41	0.30	2.05
Espinal	Talura	32	0.43	1.60
Girardot	(Portachuelo)	51	1.92	2.56
Espinal	Talura	43	0.20	1.35
Flandes	Camalá	54	0.56	4.02
Espinal	Bambú	29	0.49	2.47
Promedio		42	0.59	2.30

<sup>1/</sup> Potasio extraído con ácido fluorhídrico y ácido sulfúrico concentrado.

<sup>2/</sup> Potasio extraído con acetato de amonio normal y neutro.

<sup>3/</sup> Al potasio extraído con ácido normal se le resta el extraído con acetato de amonio normal y neutro.

con tal elemento para obtener cosechas rentables. Por lo tanto, es conveniente hacer fertilizaciones potásicas moderadas con el fin de restituir las pérdidas de potasio del suelo y conservar el equilibrio que actualmente poseen tales suelos entre sus formas de potasio más asequibles por las plantas. El tipo de minerales del suelo tiene mucha influencia en la capacidad de los suelos para suministrar potasio a las plantas. Numerosos investigadores han demostrado que la illita, las micas y los feldespatos potásicos proporcionen K no intercambiable que puede ser utilizado por las plantas siendo más importantes los dos primeros minerales (8).

### 5.3 FACTORES QUE AFECTAN LA APROVECHABILIDAD DEL POTASIO POR LAS PLANTAS.

Es bien sabido que ciertos factores afectan la aprovechabilidad del potasio del suelo y del agregado en los fertilizantes. Algunos de estos factores son: 1. El tipo de arcilla, 2. El ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), 3. El encalamiento de los suelos. 4. Los microorganismos del suelo, 5. Factores físicos, como la humedad, la temperatura y el aire del suelo y 6. La clase de planta. A continuación se discutirán algunos de estos factores.

#### 5.3.1 El Tipo de Arcilla.

El tipo de coloide mineral tiene gran importancia en los mecanismos de fijación y liberación de potasio de formas no intercambiables. El coloide orgánico aunque tiene una gran capacidad para retener  $\text{K}^+$  y otros cationes en la forma intercambiable, no tiene capacidad para fijar potasio.

La fijación del potasio, que es la consecuencia - ó la causa - de la contracción de las arcillas expandidas del suelo a 10A - 11A se ha atribuido sin equívoco a las "ilitas" en curso de degradación" mas bien que a las illitas o vermiculitas del suelo.

Wiklander (32), encontró que la fijación de  $\text{K}^+$  fue muy baja en arcillas saturadas con  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$  o  $\text{NH}_4^+$  y muy alta en arcillas saturadas con  $\text{Ca}^{++}$  y mucho más en arcillas saturadas con  $\text{Na}^+$ . De acuerdo con Levine y Joffe

(13) el aumento en la fijación que generalmente sigue al encalamiento es debido, no al  $\text{Ca}^{++}$  sino al aumento en la alcalinidad del sistema suelo y al efecto consiguiente de la saturación de bases del complejo de intercambio. Cuando el potasio es forzado a competir con otros cationes por porciones de intercambio se reduce la fijación cuya magnitud depende de la magnitud de la competencia. Independientemente de la cantidad de K aplicada, la porción fijada es siempre menos que la capacidad de intercambio.

### 5.3.2 El Efecto del Ion $\text{NH}_4^+$ .

Puesto que el ion amonio puede ser fijado por las arcillas en una forma similar a la fijación de  $\text{K}^+$ , su presencia en el suelo alterará tanto la fijación como la liberación del potasio del suelo.

Los iones  $\text{NH}_4^+$  son retenidos en las aperturas de la red de oxígenos de las láminas del silicio, cerrando en esta forma las láminas adyacentes y atrapando el potasio ya presente. Mientras mayor sea la cantidad del amonio será mayor la cantidad de potasio atrapado. Este fenómeno puede tener alguna importancia en suelos de textura fina que tenga alta capacidad para fijar tanto iones  $\text{NH}_4^+$  como iones  $\text{K}^+$ . El mecanismo de la fijación de iones  $\text{K}^+$ , ó  $\text{NH}_4^+$ , por las arcillas, es idéntico ya que poseen el mismo radio iónico y las mismas fuerzas electrostáticas. Cationes como el  $\text{Ca}^{++}$  y el  $\text{Na}^+$  tienen diferente radio iónico y de allí que no están sujetos al atrapamiento por arcillas expandibles.

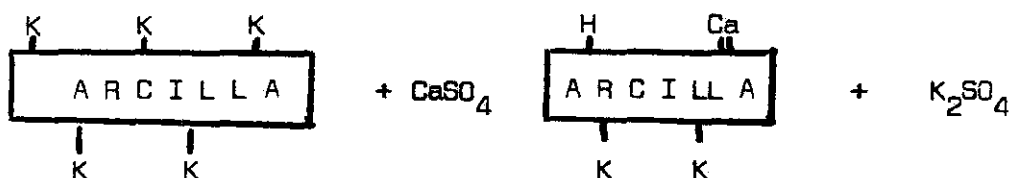
### 5.3.3 El Encalamiento de los Suelos.

Muchos autores han demostrado que la adición de calcio al suelo disminuye la absorción de potasio por las plantas, y algunos de los mismos ponen en correlación este fenómeno con el tipo de arcilla dominante en el suelo.

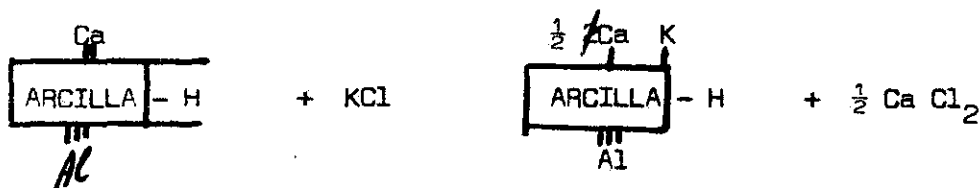
El calcio puede provocar el fenómeno de "fijación" o de "retrogradación" del K asimilable, o inhibe la absorción de K por las plantas, o aún bloquear la acción del mismo en los procesos metabólicos (28). Este aspecto

es extremadamente importante en Colombia, ya que existen áreas agrícolas muy extensas que requieren del encalamiento para producir buenas cosechas.

Los resultados de numerosos experimentos para determinar la relación entre el encalamiento y la fijación de K, a menudo, han sido contradictorios. Un breve resumen de algunos de los principios enunciados por Tisdale y Nelson (28) contribuirán al esclarecimiento del problema. Consideremos primero la siguiente reacción :



Si a la arcilla saturada con K se le añade una sal neutra, tal como el sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), habrá un reemplazamiento de algunos de los iones  $\text{K}^+$  por iones  $\text{Ca}^{++}$ . Si la arcilla no está saturada con K, sino que retiene además los iones  $\text{Ca}^{++}$ , iones  $\text{H}^+$  y iones  $\text{Al}^{+++}$ , y se le añade el fertilizante KCl, el K añadido reemplazará algunos de los iones  $\text{Ca}^{++}$  y será adsorbido en la superficie de la arcilla tal como se ilustra en la siguiente ecuación :



Esta reacción aclara un punto importante; mientras mayor sea el grado de saturación con Ca, mayor será la adsorción del K por la arcilla. El encalamiento es el medio común por el cual se aumenta la saturación con Ca y de allí se sigue de que encalamiento disminuya las pérdidas del K intercambiable. Si este K intercambiable, a su vez, revierte a formas menos aprovechables dependerá de factores tales como: la naturaleza y cantidad

de arcilla y del grado de saturación con K.

De acuerdo a Black (4) la adición de cal a los suelos ácidos puede disminuir mucho la pérdida de potasio por lixiviación. Este efecto se puede explicar por las propiedades de intercambio catiónico. La cal ejerce dos efectos sobre las propiedades de intercambio que retardan el descenso del potasio en el perfil. En primer lugar provoca la substitución de aluminio intercambiable por calcio. En soluciones diluídas, el potasio desplaza al calcio intercambiable con más facilidad que al aluminio intercambiable. En segundo lugar, el tratamiento con cal aumenta la capacidad del intercambio catiónico y por ende aumenta la retención de potasio en forma intercambiable por efecto de una acción masiva.

Sería extremadamente difícil generalizar en que forma la cal influye en el suministro de potasio en el suelo. La adición de cal a un suelo podría resultar en un incremento o en una disminución de la habilidad de un suelo para fijar K. El resultado neto del encalamiento debe considerar también la habilidad de las diferentes especies de plantas, para tolerar relaciones amplias de Ca:K.

León (12) estudió en invernadero la influencia de varias relaciones Ca:Mg:K en un suelo franco, clasificado como Umbramdept de la Meseta de Popayán, sobre la producción de alfalfa. Cuando la relación Ca:Mg fue de 2:1, la aplicación de 100 kg/Ha de  $K_2O$  tuvo un efecto depresivo sobre la producción, sucediendo lo contrario cuando se aplicaron 200 kg/Ha. Esto indica que no solamente es importante la relación Ca:Mg, sino también la relación Mg:K (tabla 21).

Peech y Bradfield (21), acometieron la clasificación de la confusa situación concerniente al efecto de la cal y el calcio sobre el potasio, intercambiable y soluble y la aprovechabilidad del potasio por las plantas. La adición de cal puede que no tenga efecto, puede disminuir, o puede aumentar la concentración de K en la solución del suelo, dependiendo el grado inicial de saturación de bases. Los iones  $H^+$  son adsorbidos más fuertemente

TABLA 21. Efecto del potasio en la producción de alfalfa bajo diferentes relaciones Ca:Mg en un suelo de la Meseta de Popayán (12).

Relaciones Ca:Mg	Sin K	100 kg/Ha K <sub>2</sub> O	200 kg/Ha K <sub>2</sub> O
	Rendimiento en gramos de materia seca por materia		
2:1	3,50	3,28	3,80
4:1	1,83	4,09	4,33
8:1	2,62	3,58	3,74

que los iones Ca<sup>++</sup>, sobre la base del principio del catión complementario. Por lo tanto, el reemplazamiento de H<sup>+</sup> por Ca<sup>++</sup>, al encalar los suelos, aumentaría el K intercambiable a expensas del K soluble. Sin embargo, este efecto de la cal, requiere la presencia de sales neutras de ácidos fuertes. En su ausencia el K soluble aumentará con el encalamiento porque en sistemas libres de sales la arcilla se hidroliza, especialmente a alta saturación de bases. Aún en la presencia de tales sales, la adición de un exceso de CaCO<sub>3</sub> y el resultante incremento abrupto de la concentración de calcio soluble liberará potasio adsorbido. En presencia de sales neutras, al aumentar la saturación de calcio, disminuye el contenido de potasio de la solución del suelo y aumentan la relación Ca:K y a la alta saturación de Ca se puede reducir la absorción de potasio por las plantas. En la ausencia de sales neutras las aplicaciones moderadas de cal aumentarían la concentración de K en la solución del suelo pero tiene solamente un efecto ligero sobre la relación Ca:K en la solución. En este caso, la absorción de K permanecería inafectada o aún se aumentaría con las adiciones de cal. Las conclusiones con respecto a la aprovechabilidad del K por las plantas se basaron en el concepto de que las plantas absorben la mayor parte de sus nutrientes catiónicos de la solución del suelo.

En resumen, las evidencias refutan la importancia de la ley cal-potasio como un principio general. En adición, aún cuando el contenido de K intercambiable sea bajo, las plantas pueden obtener cantidades moderadas o adecuadas de K, por liberación de las formas no intercambiables. Actualmente, el efecto contrario, del K sobre el Ca, parece ser más importante.

#### 5.3.4 La Humedad del Suelo y la Temperatura.

El efecto de la humedad del suelo y de la temperatura sobre el potasio aprovechable no ha sido estudiado muy profundamente, por lo cual su influencia es aún confusa. La Tabla 22 da los resultados de un experimento conducido por Attoe (1), en el cual se hicieron tres cosechas consecutivas de avena. El K intercambiable se determinó en muestras de suelos húmedos tomadas antes de la siembra y en el mismo suelo que se dejó secar a temperatura ambiente.

TABLA 22. Efecto del secamiento del suelo en el contenido de potasio intercambiable del suelo, después de varias cosechas de avena (1).

Cosecha de avena	K-intercambiable (Kg/Ha)	
	Sin secar	Secado
Primera	153	280
Segunda	89	205
Tercera	68	130

En las arcillas que contienen K fijado la hidratación puede resultar en una expansión de las capas cristalinas de la estructura de la arcilla. Este proceso repetido varias veces con humedecimiento y secamiento alternados puede conducir a la liberación lenta de los iones  $K^+$ .

En la Tabla 23 se presentan resultados sobre la cantidad de potasio

TABLA 23. Fijación de potasio en varios suelos del Valle del Alto Magdalena (8).

Suelos	<u>K-fijado sin tratamiento</u>		<u>K-fijado con tratamiento *</u>		<u>Aumento fijación por efecto tratamiento</u>	
	meq/100 g	respecto al K agregado %	meq/100 g	respecto al K agregado %	meq/100 g	respecto al K fijado %
1	0.19	14.18	0.51	38.06	0.32	62.74
2	0.09	6.72	0.49	36.57	0.40	81.63
3	0.22	16.42	0.53	39.55	0.31	58.49
4	0.71	52.98	0.20	14.92	0.00	0.00
5	0.13	9.70	0.12	8.95	0.00	0.00
6	0.01	0.75	0.32	23.88	0.31	96.87
7	0.04	2.99	0.33	24.63	0.29	87.80

\* El tratamiento consiste en humedecer y secar alternadamente las muestras por diez veces.

fijado en varios suelos del Valle del Alto Magdalena al secar y humedecer alternadamente las muestras de suelos. La fijación de potasio agregado al suelo sin tratamiento fue faja, a excepción de la muestra No.4. En la mayoría de los suelos aumentó la cantidad de potasio fijado por efecto del secamiento y humedecimiento alternados.

Se exceptúa la muestra 4 en la cual disminuyó notoriamente la fijación y la muestra 5, en la cual prácticamente no hubo variación. En condiciones naturales y sin aplicar fertilizantes potásicos, éstos suelos deben tender a liberar potasio.

Bohorquez y Blasco (5) en estudios realizados con dos suelos del Valle del Cauca, con 31 y 51 por ciento de arcilla, predominante illita y vermiculita, encontraron cambios en el contenido de potasio aprovechable después de 3 semanas de incubación a un pF de 2.7 (Tabla 24).

TABLA 24. Cambios en el potasio aprovechable en dos suelos del Valle del Cauca sometidos a incubación durante 3 semanas en temperatura ambiente (5).

Suelos	pF (1)	Aumentos en $K^+$ aprovechable ppm (2)
Facultad	0	17,1
Facultad	2,7	131,0
Buitrera	0	2,2
Buitrera	2,7	6,6

(1) pF 0 = 125 máxima capacidad de retención de agua (anegamiento).

(2) = Aumentos en relación con los valores originales en muestras sin incubar.

#### 5.4 REQUERIMIENTOS DE POTASIO POR LAS PLANTAS.

El K es esencial para que puedan actuar las enzimas que catalizan ciertas reacciones, tanto en el metabolismo de los carbohidratos como en el del N. Cuando las plantas son deficientes en K, las formas solubles del N se suelen acumular en los tejidos y hay pruebas de que por lo menos dos de estos compuestos son tóxicos.

Buen número de los efectos de la diferencia del K en el comportamiento vegetal parece causado por una deficiencia de carbohidratos. Una consecuencia práctica directa de las relaciones potasio-carbohidratos se observa en los cultivos azucareros. La aplicación de fertilizantes potásicos a suelos de bajo contenido de K, puede incrementar no solo el porcentaje de sacarosa en la caña de azúcar y en la remolacha azucarera, sino también el rendimiento total de estos cultivos. En esta forma las plantas que elaboran grandes cantidades de carbohidratos, como la yuca, tienen altos requerimientos de este elemento.

Por otra parte hay que mencionar también las diferencias que existen entre especies en cuanto a su habilidad para utilizar el potasio nativo o fijado. Esta característica parece que está relacionada con la capacidad de intercambio catiónico de las raíces. Se considera que aquellas plantas con raíces de relativamente bajos valores de capacidad de intercambio catiónico son más eficientes para utilizar el potasio nativo del suelo, lo cual está asociada con un requerimiento bajo de calcio. También es importante considerar la extensión del sistema radical, la tasa de crecimiento de la planta y la competencia entre especies en cultivos asociados, especialmente gramíneas y leguminosas en praderas.

La capacidad de las plantas para tomar K de formas difícilmente aprovechables parece ser dependiente, principalmente, de su tasa de crecimiento. Por otra parte, debe recordarse que la tasa de absorción de un nutrimento catiónico por una cierta especie de planta está determinada no solamente por las características fisiológicas de la planta sino también por la con-



Figura 16. Sintomatología de deficiencia de potasio en un cultivo de trébol blanco (*Trifolium album* L.) sembrado en la Sabana de Bogotá (fotografía cortesía del Programa de Pastos y Forrajes del ICA).

centración o actividad de otros cationes en la solución del suelo.

#### 5.5 RESUMEN.

Este capítulo trata de la importancia del K del suelo como un nutri-mento esencial para el desarrollo de las plantas. Se dan cifras sobre su contenido en los suelos y se definen las formas aprovechables. Se discuten ampliamente los factores del suelo que afectan la aprovechabilidad del K, y se presenta información sobre los requerimientos de este nutriente por los diferentes cultivos haciendo algunas distinciones entre especies. El material revisado permite concluir que las respuestas de las plantas a la fertilización potásica, varían de acuerdo al suelo, al clima y al sistema de agricultura que se practique.

#### 5.6 PREGUNTAS.

1. Escriba los nombres de 5 minerales de K en el suelo. Dé la fórmula química empírica para uno de ellos.
2. Qué se entiende por "equilibrio del potasio" en los suelos. Trace un diagrama sobre las relaciones entre los distintos estados del K en los suelos.
3. Cuales son las formas aprovechables de K en el suelo ? Porqué el K intercambiable no se puede considerar como sinónimo del K aprovechable para las plantas ?
4. En Colombia tiene alguna importancia, para el crecimiento de las plantas, la forma de K no intercambiable en el suelo ? Discuta brevemente.
5. Porqué cree usted que la medida del K intercambiable del suelo no es una buena indicación de la cantidad de K aprovechable para las plantas. Enuncie por lo menos 4 razones.

6. El peso atómico del potasio (K) es 39. Usted aplica 39 kilogramos de K por hectárea. Cuántos miliequivalentes de K por 100 gramos de suelos está usted aplicando? Indique los cálculos claramente.
7. Un análisis de suelos dió 0,10 miliequivalentes de K por 100 gramos de suelo. A cuántas partes por millón equivale esta cantidad? A cuántos kilogramos de  $K_2O$  por hectárea capa arable corresponden ?
8. Enumere los factores que afectan la aprovechabilidad del K por las plantas.
9. Que se entiende por fijación de K?. Es este fenómeno importante en los suelos de Colombia? En qué tipos de suelos podría presentarse la fijación de K ?
10. En qué tipo de arcillas ocurre fijación de K?. Cuales son los mecanismos de la fijación de K por las arcillas ?
11. Explique brevemente porqué en suelos de baja capacidad de intercambio catiónico, las aplicaciones de cantidades altas de K al suelo es mejor hacerlas al voleo que localizadas.
12. Explique brevemente como afecta el enclamiento la provechabilidad del K por las plantas.
13. Explique brevemente porque una fertilización con sulfato de amonio  $(NH_4)_2SO_4$  puede provocar deficiencias de K en las plantas.
14. Explique brevemente porque razones las plantas tienen requerimientos diferentes de fertilización potásica. Considera usted que el K es un elemento limitante para la producción de cultivos en Colombia ?

15. Explique brevemente como se diferencian, en términos generales las plantas gramíneas de las leguminosas en cuanto a los requerimientos de K.
  
16. Discuta brevemente porqué en la zona cafetera colombiana se encuentran respuestas a la fertilización potásica, mientras que en el Valle del Alto Magdalena las aplicaciones de K al suelo pueden tener un efecto depresivo en las cosechas.

## BIBLIOGRAFIA

1. ATTOE, O.J. 1947. Potassium fixation and release in soils occurring under moist and drying conditions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 11:145-149.
2. BAIRD, G.B., M. RODRIGUEZ, B. MARTINEZ and C. SANCHEZ. 1957. The fertility status of soils in important agricultural areas of Colombia. Soil Sci. Soc. Amer. Proc.
3. BECKETT, P.H. 1964. Studies on soil potassium. Jour of Soil Sci. 15:1-23.
4. BLACK, C.A. 1968. Soil-Plant Relationship. Second Ed. New York, John Wiley and Sons, Inc. 792. p.
5. BOHORQUEZ, N. y M. BLASCO. 1969. Transformaciones microbiológicas del potasio en dos suelos del Valle del Cauca. Acta Agronómica (Colombia) 19:1-15.
6. BOHORQUEZ, N. 1969. Lixiviación del potasio en dos suelos del Valle del Cauca. Revista Ciencias Agrícolas. (Colombia). 1(1):57-75.
7. CAICEDO, A.; R. ROMO; O. BASTIDAS y otros. 1971. El potasio en los suelos volcánicos del Valle de Sibundoy, Putumayo. Colombia. Turrialba (Costa Rica) 21:176-180.
8. FRYE, A. y H. LEAL. 1970. Los estados del potasio y su relación con la fijación y la fertilización en algunos suelos del Tolima. Agric. Trop. (Colombia) 26:57-70.

9. GALIANO, F. 1966. Efecto de la fertilización nitrogenada en la absorción de potasio por arroz según el análisis foliar. *Tecnología (Colombia)* 8(40):9-19.
10. GOMEZ, J.A. 1968. Respuesta de un monocultivo de maíz a la fertilización con N, P y K. *Agric. Trop. (Colombia)* 24:157-161.
11. GRANGER, M.A. 1973. Potassium characteristics, solution composition and mineral equilibria of selected soils from North Carolina and Guyana. Ph.D. Tesis. Department of Soil Science, N.C. State University at Raleigh. 162. p.
12. LEON, L.A. 1968. Relaciones de calcio, magnesio y potasio en suelos de "La Florida" Popayán. *Agric, Trop. (Colombia)* 24:335-345.
13. LEVINE, A.K. and J.S. JOFFE. 1947. Fixation of potassium in relation to exchange capacity of soils. V. Mechanism of fixation. *Soil. Sci.* 63:407-416.
14. LOPEZ, M. 1969. Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. *Cenicafé (Colombia)* 20:55-67.
15. McLEAN, E.O. and C.E. MARSHAL. 1948. Reciprocal effects of calcium and potassium as shown by their cationic activities in montmorillonita. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13:179-182.
16. MARIN, G.; H. CHAVERRA; L.V. CROWDER y G.B. BAIRD. 1960. Fertilización de alfalfa en suelos de clima frío de Colombia. Bogotá, Ministerio de Agricultura, DIA. Boletín Técnico No. 7. 47 p.
17. MARIN, G.; A.C. McCLUNG y A. LUENGAS. 1967. La capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio. *Agric. Trop. (Colombia)* 23:88-101.

18. MARIN, G. y H. MANZANO. 1970. Algunas propiedades químicas de los suelos de la región algodonera de los departamentos de Magdalena, Cesar y Guajira. *Agric. Trop. (Colombia)* 26:49-56.
19. MARIN, G. y L.A. LEON. 1971. Generalidades sobre la fertilidad de los suelos Colombianos. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario. Boletín Técnico No.11 24 p.
20. PAGE, A.L. et al. 1967. Potassium and ammonium fixation by vermiculite soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31:337-341.
21. PEACH, M. and R. BRADFIELD. 1943. The effect of lime and magnesia on the soil potassium and on the absorption of potassium by plants. *Soil Sci.* 55:37-48.
22. PIEDRAHITA, S. y G. DE BENAVIDES. 1966. Distribución y formas de potasio en algunos suelos de Colombia. *Agric. Trop. (Colombia)* 22:183-189.
23. PRATT, P.F.; R.G. SIMON y G.W. VOLK. 1956. Release of potassium from non-exchangeable formas in relation to soil reaction. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20:190-192.
24. REITTEMEIER, R.F. 1951. The chemistry of soil potassium. pp.113-159. *advances in Agronomy. Vol. 3. Academic Press, New York.*
25. ROGERS, H.T. and E.T. YORK. 1947. Influence of lime on the solubility of potassium in soils and on its availability to plants. *Soil Sci.* 63:467-477.
26. TAFUR, N. y M. BLASCO. 1970. Potasio en los suelos de Valledupar. *Revista ICA* 5(3):327-336.
27. TINKER, P.B. 1964. Studies on soil potassium. IV. *Jour of Soil Sci.* 15:24-41.

28. TISDALE, S.L. and W.L. NELSON. 1971. Soil Fertility and fertilizers. Second Edition. New York, The MacMilan Company 694 p.
29. TYNER, E.H. 1935. The feeding power of plants for the potassium in feldspar, exchangeable form, and dilute solution. Soil. Sci. 39:405.
30. VOLK, N.J. 1934. The fixation of potassium in difficultly available forms in soils. Soil Sci. 37:267-287.
31. WEED, S.B.; C.B. DAVELY and M.G. COOCK. 1969. Weathering of mica by fungi. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:702-706.
32. WIKLANDER, L. 1950. Fixation of potassium by clays saturated with different cations. Soil Sci. 69:261-268.
33. WOODRUFF, C.M. 1955. The energies of replacement of calcium by potassium in soils.. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19:167-171.
34. YORK, E.T. and H.T. ROGERS. 1947. Influence of lime on the solubility of potassium in soils and on its availability to plants. Soil Sci. 63:467-477.