

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE POTASIO POR SUELOS CITRÍCOLAS EN LA REGIÓN DE CAICEDONIA (VALLE DEL CAUCA) CON EL USO DE LOS CICLOS ALTERNOS DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO.

(Artículo técnico)

Andrés Felipe Silva Carvajal
Gustavo Adolfo Dávila Páramo
Argemiro Domínguez Villafañe

RESUMEN

Con el propósito de evaluar la capacidad de fijación de potasio en algunos suelos cultivados con naranja Valencia en la región de Caicedonia (Valle del Cauca), ubicada al nordeste del departamento, a 1167 m.s.n.m. con una temperatura media de 22.1°C y una precipitación anual promedia de 1686 mm; se realizó un estudio en el año 99 - B empleándose la metodología de los ciclos alternos de humedecimiento y secado (seis ciclos por 120 días y tres dosis de K como KCl). La etapa de laboratorio se desarrolló en el Centro de Investigaciones Corpoica de Palmira (V). Los suelos analizados pertenecen principalmente a las unidades Malabar y Limones; donde los primeros poseen un horizonte argílico desarrollado sobre cenizas volcánicas; mientras que los segundos están formados por materiales de diferente tamaño y composición. El muestreo edáfico se realizó en forma aleatoria, tomando tres muestras compuestas por plantación (0 - 0.20m. profundidad). El mayor responsable de la fijación de K por estos suelos fue la Illita, la cual se encontró en la gran mayoría de los suelos (contenidos trazas hasta altos); mientras que la Vermiculita sólo se detectó en tres de ellos (contenidos desde bajos hasta medios). Aunque algunos suelos fijaron cantidades considerables de K, buena parte de él, fue liberado nuevamente (reversibilidad del fenómeno) y en periodos de incubación relativamente cortos (30 días). El hecho de que algunos suelos con contenidos nulos o trazas de minerales con capacidad fijadora de K, hayan fijado altas cantidades del elemento, sugiere que posiblemente fracciones más gruesas de los suelos, como los limos y otros materiales alofánicos, juegan un papel importante en el fenómeno de la fijación.

Palabras claves : Fijación de K; liberación de K; ciclos de humedecimiento - secado; unidad Malabar y Limones; Illita; Vermiculita; cítricos.

ASSESSMENT OF THE POTASSIUM FIXING CAPACITY OF CITRUS CROP SOILS IN THE CAICEDONIA REGION (CAUCA VALLEY) BY USING ALTERNATE WET AND DRY CYCLES

ABSTRACT

In order to evaluate the potassium fixing capacity in citrus crop soils (Valencia orange) in the Caicedonia region (Cauca Valley), located to the north - east of the departament, 1167 m altitude, 22.1°C mean temperature and 1686 mm annual mean rain; was carried out a study in the period 99 - B, using the methodology of alternate wetting and drying cycles (six cycles and three dosage of K as KCl), whose phase of lab was made at the Corpoica - Palmira Research Center. The soils analized belong mostly to the Malabar and Lemon unities; where those of the first unity present argillic horizon developed upon volcanic ashes and those of the second one are constituted by different size and composition materials. Three compossed soil samples were taken in random way by

plantation (0 - 0.20m. depth). The major responsive factor of K fixation by soils was the Illite, which was encountered in most of the soils (traces up to high contents); while Vermiculite only was detected in three soils (low up to middle contents). Although some soils fixed great amount of potassium, part of this was released again (phenomenum reversibility) in relatively short incubation periods (30 days). Since some soils with nil or trace contents of minerals with K fixation capacity, fixed also great amounts of potassium, it suggest the soil coarse fractions such as silt or allophanic material are playing important role in the fixation phenomenum.

Key words: K fixation; K releasing; wet and dry cycles; Malabar and Lemons unities; Illite; Vermiculite; citrus.

¹ I.A Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. E-mail : anfelsicar@hotmail.com.

² I.A Director lab. Suelos, aguas y tejidos vegetales del C.I Corpoica, Palmira (V). E-mail : gadp@telesat.net.co.

³ Eco. Biometría Corpoica, Palmira (V). E-mail : ardominguez@telesat.net.co.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con datos de URPA (2001) el departamento del Valle del Cauca es uno de los principales productores de cítricos en el país, con 4195 ha.; siendo la región de Caicedonia la que posee el mayor número de hectáreas cultivadas (936 Ha), que representan un 22.3% del área total del departamento establecida con dicho cultivo. Si bien el área se ha incrementado en un 51.7% en el último decenio, el diseño de estudios encaminados a evaluar aquellos factores que condicionan la dinámica de un nutrimento en el suelo, como la fijación de potasio, no existen en la zona estudiada. También, el notable papel del potasio sobre calidad y rendimiento del fruto; así como, las altas demandas del elemento por el cultivo de los cítricos, ameritan la ejecución de estudios conducentes a evaluar el potencial de estos suelos para fijar potasio y, a partir de allí, definir prácticas de fertilización potásica más eficientes que garanticen un mejor y oportuno aprovechamiento del elemento por el cultivo.

Los objetivos del trabajo fueron : a) Evaluar el potencial que tienen los suelos cítricos de Caicedonia, Valle del Cauca, para fijar potasio, bajo condiciones de laboratorio, contribuyendo en el perfilamiento de estrategias que hagan más eficientes las prácticas de fertilización potásica y b) Realizar la identificación mineralógica de los componentes de la fracción arcilla de los suelos (< 2.0 μm .) más relacionados con los procesos dinámicos y de fijación de potasio por estos suelos.

El potasio (K) es un catión monovalente con un radio iónico hidratado de 0.331nm y una energía de hidratación de 314Jmol⁻¹ (Marschner, 1995) y representa un 2.35% de la

corteza terrestre. En general suelos derivados de rocas básicas y muy intemperizados son los que poseen los menores contenidos (Garavito, 1979). Exceptuando los suelos ricos en materia orgánica, la mayor parte del K que se incorpora al suelo proviene de la red cristalina de aluminosilicatos 2:1 como son las micas Muscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$), Biotita ($\text{K}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Mn})_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$), Flogopita ($\text{K}(\text{Mg})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) y Lepidolita ($\text{K}(\text{Mg},\text{Li},\text{Al})_3(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$); feldespatos como la Ortoclase y Microclina (ambas con fórmula KAlSi_3O_8), y feldespatoides como la Leucita (KAlSi_2O_6) y Kalsilita (KAlSiO_4); representando, los dos primeros grupos, la principal fuente de K indispensable para la nutrición de las plantas (Besoain, 1985; Mejía, 1978). La fijación es el proceso por el cual el K⁺ en solución pasa a ocupar las posiciones interlaminares de cierto tipo de filosilicatos 2:1, ubicándose en los espacios donde inicialmente se encontraba como K estructural, mineral o nativo. Entre los aspectos que favorecen la fijación de K se encuentra su baja energía de hidratación y su radio iónico. La fijación además puede depender de : a) el pH del suelo, b) la presencia de polímeros de hidróxido de aluminio, c) de su contenido de humedad, d) porcentaje de M.O, e) del estado de oxidación del Fe octaédrico y f) del tipo y proporción de minerales presentes en el suelo. La fijación es nula en micas, como la Caolinita, Gibsita, Hematita, Goetita, débil en el caso de la Montmorillonita, variable en la Illita y fuerte en la Vermiculita. Aunque el material alofánico puede llegar a fijar cantidades considerables de K (Cassman et al, 1995; Henríquez et al, 1994; Liu et al, 1997; Sharpley, 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

El municipio de Caicedonia (Valle del Cauca), se encuentra ubicado a 04° 20' de latitud norte y 75° 50' de longitud oeste, a 1187 m.s.n.m; posee una temperatura mensual promedio de 22.1°C, una precipitación promedio anual de 1686 m.m., y un brillo solar entre 1400 - 1800 horas luz. año⁻¹. El trabajo involucró dos etapas : campo y laboratorio. La primera se desarrolló en el año 1999 B, sobre diez plantaciones cítricas de naranja Valencia/mandarina Cleopatra (con edades entre 8 - 18 años) del municipio de Caicedonia y la segunda en el laboratorio de suelos, aguas y tejidos vegetales del Centro de Investigación Corpoica de Palmira (V).

De acuerdo con FEDERACAFE (1990) los suelos muestreados corresponden mayormente a las unidades Malabar y en menor proporción a la unidad Limones. La unidad Malabar se formó a partir de la unidad Chinchiná (formada a partir de cenizas volcánicas muy evolucionadas del pleistoceno) por alternancia marcada de periodos húmedos y secos y mayores temperaturas. Se caracteriza por la presencia de un horizonte de eluviación arcilloso en

forma de cuña que alcanza su máximo espesor a los 900 m.s.n.m y el mínimo a los 1300 m.s.n.m, que se interpone en el horizonte Bw de la unidad Chinchiná. Por su parte la unidad Limones posee una serie de materiales diversos en cuanto a tamaño y composición, y un buen porcentaje de ellos se encuentran recubiertos por capas de cenizas volcánicas.

El muestreo edáfico se realizó a una profundidad de 0 - 0.20m, tomando tres muestras compuestas por plantación en forma aleatoria.

La caracterización físico-química de los suelos se realizó con base en el Manual de Asistencia Técnica No. 47 del ICA (1989) y el Manual del IGAC (1990), considerando los siguientes parámetros: pH (H₂O, relación 1:2.5 p/v), M.O (Walkley - Black modificado), P (Bray II), bases intercambiables (CH₃COONH₄ 1M, pH 7.0), CIC (CH₃COONH₄ 1M, pH 7.0 y valoración con NaOH 0.1M), acidez intercambiable (KCl 1M; titulación con NaOH 0.01M), Al intercambiable (retrotitulación con HCl

0.01M). Sobre el componente físico de los suelos se consideraron los siguientes parámetros: textural cuantitativa (Bouyucos), densidad aparente (método del cilindro) y real (método del picnómetro), porosidad total $[(1 - \rho_a/\rho_r) \times 100]$ y color del suelo de acuerdo con carta Munsell.

Para evaluar la fijación de K por los suelos se adoptó y adaptó la metodología de Khan et al (1994) que utiliza los ciclos alternos de humedecimiento y secado (h - s). En el presente estudio se emplearon seis ciclos: primer ciclo (0 - 8 días), segundo ciclo (8 - 15 días), tercer ciclo (15 - 30 días), cuarto ciclo (30 - 60 días), quinto ciclo (60 - 90 días) y sexto ciclo (90 - 120 días); cuantificando el K fijado al final de cada ciclo.

Con base en la dosis promedio de K aplicada en el área estudiada (385 Kg K₂O Ha⁻¹) se emplearon las siguientes dosis de K (como KCl grado reactivo) en el laboratorio: K₀

(0 cmol Kg⁻¹), K₁ (0.23 cmol Kg⁻¹) y K₂ (0.46 cmol Kg⁻¹), que en términos de Kg K₂O Ha⁻¹ corresponden a 0, 269.1 y 538.2 (para una profundidad de 0.20 m y una ρ_s de 1.25 Mg m⁻³). El K fijado se calculó de la siguiente manera: $K \text{ fijado} = [(K_{\text{extractable}} + K_{\text{dicionado}}) - K_{\text{recuperado}}]$. La proporción de K fijado se calculó como $(K_{\text{fijado}}/K_{\text{dicionado}}) \times 100$. El K extractable se obtuvo por centrifugación y extracción con CH₃COONH₄ 1M a pH neutro; valorándose por espectrofotometría de absorción atómica (A.A.E).

Se realizó un análisis mineralógico de los componentes de la fracción arcilla de los suelos (< 2.0 μ m) por difracción de rayos X, principalmente de aquellos minerales más relacionados con los procesos dinámicos y de fijación de K. Los análisis estadísticos se realizaron con la ayuda del programa S.A.S, (Statistical Analysis System) con el cual se realizaron análisis de correlación lineal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO - QUÍMICA DE LOS SUELOS

En la Tabla 1 se condensan en forma resumida y cuantitativa algunos parámetros considerados en la caracterización físico-química de los suelos; en ella se muestra el promedio general de los diez suelos muestreados con el respectivo rango de variación.

Tabla 1. Características físico - químicas de los suelos involucrados en el estudio (0 - 0.20m. prof.).

Valor	pH	P (mg Kg ⁻¹)	M.O (%)	Al int	(Al+H)	Ca	Mg	K	Na	CIC	Textura	Densidades		Porosidad total (%)	Color Munsell	
												ρ_a	ρ_r		H	S
												(Mg m ⁻³)				
Min.	5.1	4.1	2.4	0.00	0.20	3.56	0.62	0.17	0.14	11.44	F	1.14	2.31	40.1	10YR 4/4,3/4	10YR 5/4
Prom	5.5	15.7	4.1	0.06	0.30	6.53	1.69	0.37	0.15	16.00	FArA FAr	1.25	2.47	49.5	hasta	hasta
Máx.	6.1	42.6	6.1	0.16	0.43	8.90	3.20	0.71	0.17	18.73	Ar	1.53	2.56	53.3	10YR 2/1	10YR 3/2

De acuerdo con los niveles críticos establecidos por el ICA (1992) y según la reacción de los suelos medida por sus valores de pH, estos se pueden considerar como muy ácidos (pH < 5.5), con contenidos de bajos a altos de P (con predominancia de los primeros); porcentajes de M.O desde bajos hasta altos; contenidos nulos y bajos de Al int (representada la acidez intercambiable principalmente por el H⁺ int.); tenores desde medios a altos de Ca, bajos hasta altos de Mg y K y bajos de Na intercambiable. Los valores de CIC se consideran adecuados.

Con relación a los parámetros físicos y de acuerdo con Montenegro y Malagón (1990), los suelos presentaron texturas desde F (textura media), pasando por FArA, FAr (medianamente finas) hasta Ar (textura fina); con valores desde medios (1.1 - 1.3 Mg m⁻³) hasta altos (> 1.3 Mg m⁻³) de densidad aparente (ρ_a), y normales (2.3 - 2.5 Mg m⁻³) de densidad real (ρ_r). La porosidad total de los suelos fue alta (40.0 - 55.0%). De acuerdo con la carta Munsell, el espectro de colores de los suelos va desde pardo amarillento oscuro hasta negro, en húmedo y desde pardo amarillento hasta pardo grisáceo muy oscuro, en seco.

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LA FRACCIÓN DE TAMAÑO < 2.0 μ m DE LOS SUELOS ESTUDIADOS.

La Tabla 2, muestra, con relación a los minerales de tipo 2:1, que el suelo donde se detectó presencia de Muscovita fue el de "Maracaibo 1", con contenidos medios. La Illita se detectó en la gran mayoría de los suelos, desde trazas (suelo "La Selva") hasta altos (suelos "Maracaibo 2", "Jamaica", "Río Grande" y "El Lago"). La presencia de Vermiculita sólo se confinó a tres suelos; con contenidos bajos ("La

Cabaña" y "La Arboleda") y medios ("Venecia"). La Caolinita como mineral de relación 1:1, por su parte, se encontró en todos los suelos y en contenidos desde bajos ("La Selva", "La Cabaña", "Maracaibo 1" y "2", "Jamaica", "Río Grande" y "El Carare") hasta medios (suelos restantes).

Tabla 2. Identificación de algunos minerales (< 2.0 μm) relacionados con los procesos dinámicos y de fijación de K por los suelos estudiados (0 - 0.20m. profundidad).

Suelo	Muscovita (KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂)	Illita K(Al,Fe,Mg) ₃ (SiAl) ₂ O ₁₀ (OH) ₂ (2:1)	Vermiculita (Mg,Fe) ₂ (SiAl) ₄ O ₁₀ OH H ₂ O	Caolinita Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ (1:1)
	Semicuantificación (% aproximado)			
La Selva	***	3.0	***	10.0
La Cabaña	***	19.0	8.0	13.0
Venecia	***	17.0	23.0	31.0
Maracaibo 1	38.0	***	***	11.0
La Arboleda	***	14.0	12.0	19.0
Maracaibo 2	***	46.0	***	22.0
Jamaica	***	56.0	***	18.0
Río Grande	***	56.0	***	19.0
El Carare	***	32.0	***	15.0
El Lago	***	41.0	***	28.0

Ausente (***); trazas (< 5.0%); nivel bajo (5.0 - 20.0%); medio (20.0 - 40.0%); alto (40.0 - 60.0%).

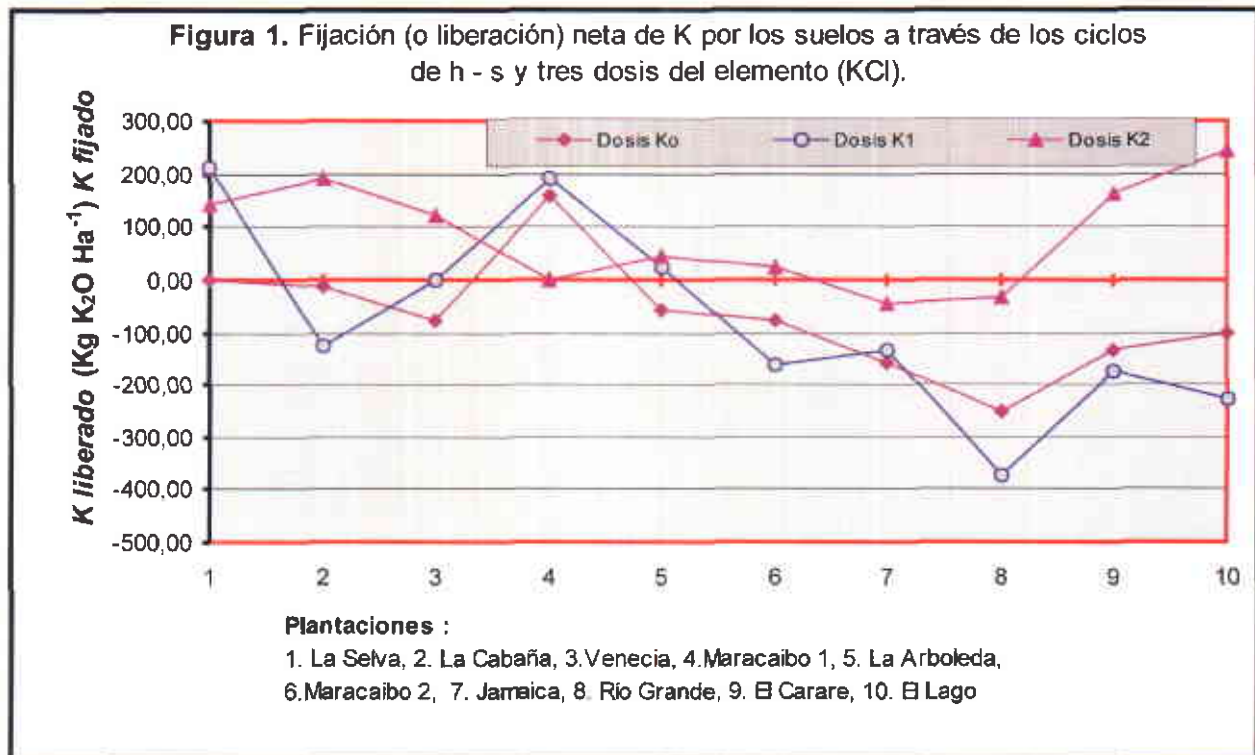
La presencia de Illita en la gran mayoría de los suelos estudiados, hace suponer que su material precursor pueda ser la Biotita; mineral que de acuerdo con Bohn et al (1993) es altamente susceptible a la meteorización en comparación con la Muscovita, detectada únicamente en un suelo. Con relación a la Vermiculita, es posible que la génesis de este mineral provenga vía Illita. En la Tabla 2 se puede

apreciar que aquellos suelos con contenidos bajos de Illita poseen simultáneamente Vermiculita, lo que hace suponer que ello ha implicado meteorización de parte de la fracción Illítica de los suelos, y consecuentemente una reducción en los contenidos de la misma. En contraste, aquellos suelos con contenidos elevados de Illita, no presentaron indicios de material vermiculítico.

FIJACIÓN DE POTASIO POR LOS SUELOS ESTUDIADOS

La figura 1 muestra la fijación (o liberación) neta de K por los suelos, es decir la cantidad fijada (o liberada) al final de los ciclos alternos de H - S (120 días de incubación de las muestras). En este caso al valor más alto de K fijado por

cada suelo y para cada dosis, se le sustrae el valor más alto de K liberado respectivo, y el valor resultante es lo que se denomina fijación o liberación neta, dependiendo de si el signo es (+) o (-) respectivamente.



En la figura 1 se puede ver que la tendencia de los suelos fue liberar K a las dosis más bajas (K_0 y K_1) y fijarlo a la más alta (K_2). Los suelos más proclives a retener por más tiempo el K fijado inicialmente fueron "La Selva", "La Cabaña" y "Venecia" (estos dos últimos con presencia de Vermiculita).

El suelo que presentó la mayor fijación neta de K a la dosis K_1 fue "La Selva" ($209.8 \text{ Kg K}_2\text{O Ha}^{-1}$; un 82.6% respecto al adicionado), y a K_2 la mayor fijación se presentó en el suelo de "El Lago" ($243.5 \text{ Kg K}_2\text{O Ha}^{-1}$; un 37.0% respecto al adicionado). Respecto al fenómeno inverso o de liberación neta de K, las mayores desorciones interlaminares se observaron en el suelo de "Río Grande" a K_0 y K_1 (251.8 y $372.3 \text{ Kg K}_2\text{O Ha}^{-1}$ respectivamente).

Aparentemente resulta un poco incoherente, el hecho de que el suelo de La Selva con contenidos trazas de Illita y nulos de Vermiculita (Tabla 2), fijara cantidades considerables de K. Sin embargo no es descartable la presencia de minerales con capacidad fijadora de K en fracciones más gruesas, e.g limos o coloides amorfos tipo alófana o imogolita, provenientes de cenizas volcánicas, jugando un papel importante en la capacidad fijadora de K por este suelo. Según Besoain (1985) la alófana puede retener una cantidad elevada de potasio. Igual interpretación podría atribuirse al suelo de "Maracaibo 1" que presentó el valor más alto de K fijado en el primer ciclo de H - S y a la dosis K_1 ($247.1 \text{ Kg K}_2\text{O Ha}^{-1}$). En el caso del suelo de "Río Grande" - por el hecho de presentar los

mayores valores de liberación neta de K a K_0 y a K_1 , y que junto con los suelos "Maracaibo 2" y "Jamaica" volvieron a liberar gran parte del K fijado inicialmente (en el tercer ciclo de H - S; es decir en sólo 30 días de incubación de las muestras) se puede inferir que el tipo de Illita predominante de estos suelos es trioctaédrica. Las arcillas de este tipo liberan K interlaminar y se meteorizan mucho más rápido que las del tipo dioctaédrica (Mengel y Rahmatullah, 1994; McBride, 1994).

En la Tabla 3 se muestran los coeficientes de correlación lineal del K fijado a través de los ciclos de H - S con otras variables edáficas. Los valores más altos de correlación (correlaciones altamente significativas; $p < 0.01$) se dieron entre el Kint (K intercambiable) de los suelos con el K fijado a la dosis más alta de K exógeno y 8 días de incubación ($K_{2,8}$) y con el K fijado a la misma dosis y 60 días de incubación ($K_{2,60}$). El valor negativo de la primera correlación puede indicar una disminución en la capacidad de fijación de K con dosis crecientes del mismo. El K adicionado junto con el Kint original de los suelos podría llegar a saturar aquellos sitios interlaminares periféricos, a los cuales debe llegar el elemento para fijarse posteriormente. El hecho de que la correlación pasó de ser inversa a positiva, puede indicar un aumento con el tiempo en la accesibilidad del K a esos sitios de adsorción de mayor selectividad, para finalmente ser fijado en las interláminas de las arcillas.

Tabla 3. Coeficientes de correlación lineal de las mejores asociaciones entre fijación de K con otros parámetros de los suelos (prob. $> |R|$ bajo $H_0 = 0 / N = 30$).

Parámetro	$K_{0,15}$	$K_{1,15}$	$K_{1,90}$	$K_{2,8}$	$K_{2,15}$	$K_{2,30}$	$K_{2,60}$	$K_{2,120}$
Kint	NS	NS	NS	0.72729**	NS	NS	0.83199**	NS
Kno int	NS	NS	0.72555**	NS	0.70693**	0.66818**	NS	-0.63181**
%Ar	0.52507**	NS	0.64903**	NS	NS	0.52332**	NS	NS

NS : No Significativa; ** : correlación altamente significativa ($p < 0.01$).
K (dosis, días de incubación).

Las correlaciones negativas y altamente significativas entre K fijado con el K no int (K no intercambiable interlaminar) se pueden explicar por las reposiciones (liberación de K en lugar de fijación) del K fijado (en ciclos previos) a la dosis K_1 (90 días de incubación) y K_2 (15,30 y 120 días de incubación). El K exógeno después de haber sido fijado y al sumarse al K no int. pudo implicar mayores cantidades de K liberado posteriormente y, en consecuencia, fijaciones

nulas o ínfimas de K. Dicha liberación se explica en términos de gradientes de concentración de K extractable e interlaminar. Con referencia a las altas correlaciones encontradas entre %Ar (porcentaje de arcillas) con K fijado, es posible que ello se deba a la alta ocurrencia de la Illita (como mineral con alta capacidad de fijar K) en los suelos muestreados; siendo reforzada la capacidad fijadora de algunos de ellos por la Vermiculita.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La mayoría de los suelos mostraron un alto potencial para fijar K, en gran parte debido a la presencia de Illita, en contenidos de medios a altos, en la fracción de arcilla de algunos de ellos.
- Sin embargo, en algunos suelos, al parecer la fracción limo y los coloides amorfos tipo alófana e imogolita puede jugar un papel importante en el fenómeno de la fijación. Suelos con contenidos nulos o trazas de minerales fijadores de K, registraron valores considerables de K fijado.

- En los suelos estudiados se corroboró que la fijación es un fenómeno que puede ser reversible; siendo observada, con mayor frecuencia, en suelos con predominancia de Illita. No obstante, en aquellos suelos que presentaron además de Illita, Vermiculita, la liberación del K fijado inicialmente fue más retardada.
- Con base en el criterio de que los suelos tienen un alto potencial para fijar K, es conveniente el diseño de ensayos en campo con base en la metodología empleada en el presente trabajo, e.g visualizando con cual estado de desarrollo reproductivo de la planta coincide la reposición

del K fijado inicialmente; lo cual ayudaría a reducir la aplicación de fertilizantes potásicos y, al mismo tiempo, a estimar la cantidad adicional que habría que aplicar para reponer la cantidad fijada.

- Considerando que algunos de los suelos involucrados en el presente estudio poseen un horizonte subsuperficial desarrollado a partir de cenizas volcánicas, y que este tipo de materiales poseen minerales con alta capacidad de fijar K, sería pertinente que para estudios de este tipo se consideren profundidades de muestreo edáfico mayores a las exploradas en este trabajo (0 - 0.20m.).

BIBLIOGRAFÍA

- BESOAIN, E. 1985.** Mineralogía de arcillas de suelos. Costa Rica : IICA. 1205p.
- BOHN, H.L. et al. 1993.** Química del suelo, 2^{da} edición. México : Editora Limusa. 370p.
- CASSMAN, K.G et al. 1995.** Kinetics of potassium fixation in vermiculitic soils under different moisture regimes. In : Soil Sci. Soc. Am. J. Vol 59; pp. 423-429.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. 1990.** Estudio de zonificación y uso potencial del suelo en la zona cafetera del departamento del Valle del Cauca. Bogotá : FEDERACAFE. 215p.
- GARAVITO N, F. 1979.** Propiedades químicas de los suelos, 2^{da} edición. Bogotá : Andes. 321p.
- HENRÍQUEZ, C et al. 1994.** Fijación de potasio en vertisoles, inceptisoles, andisoles y ultisoles de Costa Rica. En : CONGRESO MUNDIAL DE SUELOS. (Acapulco). Memorias Congreso Mundial de Suelos. México.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1992.** Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Bogotá : ICA, Manual de asistencia técnica No.25. 64p.
- . 1989. El análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Manual de asistencia técnica No. 47. Bogotá : ICA. 253 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 1990.** Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 5 ed. Bogotá : IGAC. 501p.
- KHAN, H.R et al. 1994.** Soil characteristics and behavior of potassium under various moisture regimes. In : Soil Science and Plant Nutrition. Vol 40, No.2; pp. 243-254.
- LIU, Y.J et al. 1997.** Release and fixation of ammonium and potassium under long-term fertility management. In : Soil Sci. Soc. Am. J. Vol 61; pp. 310-314.
- MARSCHNER, H. 1995.** Mineral nutrition of higher plants, 2^{da} edición. New York : Academic press. 889p.
- MCBRIDE, M.B. 1994.** Environmental chemistry of soils. New York : Oxford University. 406p. (No aparece citado)
- MEJÍA C, L. 1978.** Mineralogía del potasio en el suelo y en el material parental. En : Suelos Ecuatoriales. Vol 9, No.2; pp. 1-18.
- MENGEL, K and RAHMATULLAH. 1994.** Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soil rich in micas. In : Potash Review. Vol. 18, No.02; pp.1 - 11.
- MONTENEGRO G,H y MALAGÓN C, D. 1990.** Propiedades físicas de los suelos. Bogotá : IGAC. 813p.
- SHARPLEY, A.N. 1990.** Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. In : Soil Science. Vol 149, No. 1; pp. 44-52.
- URPA. 2001.** Evaluaciones y costos agropecuarios 2001 B. Cali : Gobernación del Valle del cauca. Secretaría de Agricultura y Pesca. 127p.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus más sinceros agradecimientos a :

Ricardo Guerrero R. I.A, M.Sc. Profesional Consejero de Monómeros Colombo Venezolanos, por su apoyo económico a este proyecto. A I.A., M.Sc. Horacio Carmen C. de Corpoica, Palmira (V), por su orientación y apoyo. A los auxiliares del laboratorio de Suelos, aguas y tejidos vegetales del C.I Corpoica de Palmira (V), y a los propietarios y/o asistentes técnicos de las plantaciones La Selva, La Cabaña, Venecia, Maracaibo, La Arboleda, Jamaica, Río Grande , El Carare y El Lago del municipio de Caicedonia, quienes con su apoyo, concurso y colaboración permitieron desarrollar este trabajo.