



SUELOS ECUATORIALES

SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO

MEMORIAS DEL V COLOQUIO DE SUELOS

*** POTASIO Y**

MICRONUTRIENTES EN LA AGRICULTURA COLOMBIANA

VOLUMEN IX

No. 2.

Diciembre 1978

Lloviendo o haciendo sol ABONOS ABOCOL

Así lo atestigua Luis Eduardo Gutiérrez, el más importante productor de papa en Colombia, expresidente de Fedepapa y quien tiene sus cultivos en el municipio de Tausa, Cundinamarca:



"Desde hace 12 años vengo usando en mis cultivos el abono 10-30-10 ABOCOL con el que he obtenido los mejores rendimientos y el cual no cambiaré nunca. Este es un abono que responde bien tanto en invierno como en verano.

En papa, aplicando 1.500 kilos del 10-30-10 ABOCOL por hectárea, obtengo un rendimiento comercial del cuarenta, o sea que obtengo 320 cargas o 40 toneladas de papa por hectárea".

Compre el abono compuesto ABOCOL 10-30-10, el bueno, donde nuestros distribuidores en todo el país:

CAJA AGRARIA Provisión. Agrícola: _____ Cra. 8a. No. 15-43; Piso 3o., Tel. 82 20 66, BOGOTÁ.

CAJA POPULAR COOPERATIVA: _____ Cra. 10 No. 20-50, Tels. 29 36 - 39 05, TUNJA.

CASA AGRICOLA Y GANADERA: _____ Calle 13 No. 2-48, Tels. 821744 - 821929, CALI.

DIABONOS LTDA: _____ Calle 44 No. 54-36, Tels. 42 92 86 - 45 25 37, MEDELLIN.

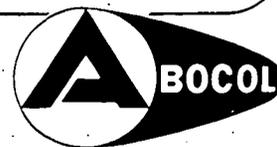
DISANDER: _____ Av. Quebradaseca No. 13 - 63, Tels. 24 183 - 23 920, BUCARAMANGA.

FEDEARROZ: _____ Calle 72 No. 13-23, Piso 12, Tel. 55 59 11, BOGOTÁ.

FEDERALGOODON: _____ Cra. 8a. No. 15-73, Piso 4o. Tel. 34 32 21, BOGOTÁ.

INDUSTRIAS AGRICOLAS EL CARMEN: _____ Cra. 15 No. 23-64 Tel. 81 25 80, BOGOTÁ.

LA TIERRA COLOMBIANA SE ABONA CON



Y por eso yo también repito:



Lloviendo o haciendo sol ABONOS ABOCOL

Scanned from original by ISRIC - World Soil Information, as ICSU World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe depository for endangered documents and to make the accrued information available for consultation, following Fair Use Guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the materials within the archives where the identification of the Copyright holder is clear and, where feasible, to contact the originators. For questions please contact soil.isric@wur.nl indicating the item reference number concerned.



SUELOS ECUATORIALES

SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO

MEMORIAS DEL V COLOQUIO DE SUELOS

EDITOR:

Francisco Silva Mojica.

Dirección: Apartado Aéreo 51791 — Bogotá.

Licencia Número 00316 de Marzo 8 de 1972 del Ministerio de Gobierno.

Tarifa Número 302 de la Administración Postal Nacional.

IMPRESOR:



Calle 17 No. 2-35 — Tel. 241 1379

VOLUMEN IX

No. 2

Diciembre 1978

6517

**SOCIEDAD COLOMBIANA
DE LA CIENCIA DEL SUELO**

JUNTA DIRECTIVA

PRESIDENTE	Servio Tulio Benavides
VICEPRESIDENTE	Jaime Navas
TESORERO	Francisco Silva
SECRETARIO	Luis I. Olarte
VOCALES	Abdon Cortés Carlos Flor Luis Uribe Pedro Sánchez Ricardo Guerrero Jairo Gómez Fabio Garavito
REVISOR FISCAL	Fernando Munevar
Suplente	Guillermo Avella.

COMITE DE PUBLICACIONES

SERVIO TULIO BENAVIDES	Taxonomía
JAIRO GOMEZ	Fertilidad y Manejo de Suelos
ESPERANZA DE ROZO	Química de Suelos
JAIME NAVAS	Física de Suelos
RICARDO GUERRERO	Química, Uso y Manejo de Suelos
GILDARDO MARIN	Fertilidad y Manejo de Suelos

COMITE ORGANIZADOR DEL COLOQUIO

Presidente.	Servio Tulio Benavides
Coordinador Gral:	Francisco Silva Mojica
Fiscal:	Rodrigo Lora
Secretario:	Luis I. Olarte
Relaciones Públicas:	Abdón Cortés Lombana
Académico:	Beatriz de Muñoz, Esperanza de Rozo Franz Hanke
Finanzas:	Raquel de Henao Francis de Meissonier
Propaganda:	Luis Uribe Hernán Cordoba Ma. Cristina Forero
Facilidades	Fernando Munevar Leonidas Mejía Jairo Marulanda
Social:	Judith de Irueta Luz Helena de Del Llano

PATROCINADORES DEL QUINTO COLOQUIO SOBRE SUELOS Bogotá, septiembre 26 a 30 de 1977

MINISTERIO DE AGRICULTURA
COLCIENCIAS
FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS
FEDERACION NACIONAL DE ALGODONEROS
BANCO DE LA REPUBLICA
ABOCOL
COLINAGRO
POTABO
INSTITUTO INTERNACIONAL DE LA POTASA – SUIZA
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE – USA
CENTRO INTERAMERICANO DE FOTOINTERPRETACION
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO
INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTIN CODAZZI"
UNIVERSIDAD NACIONAL FAC. DE AGRONOMIA

En una fertilización **COMPLETA**
y bien **EQUILIBRADA**

LA POTASA

es el elemento de **CALIDAD**
y de **SEGURIDAD**

POTASA Y PRODUCTOS QUIMICOS, POTABO LTDA, BOGOTA
CALLE 19 No. 3-50 Of. 17-03 – Tel. 242 3865 – TELEX 044410



LA EMPRESA DE LOS MICRONUTRIENTES DE COLOMBIA

GUIA DE FUENTES DE ELEMENTOS MENORES PARA APLICACION FOLIAR

ELEMEN TALES	KLIP ZINC	KLIP HIERRO	KLIP MOLIBDENO	KLIP MANGANESO	KLIP MAGNESIO	
	7 ^o /o Zn	5 ^o /o Fe.	55.15 Mo	5 ^o /o Mn.	4 ^o /o Mg.	
MEZCLAS	KLIP CALCIO	KLIP COBRE	KLIP BORO	TOP-SUL		
	6 ^o /o Ca.	5 ^o /o Cu.	20.5 ^o /o B.	52 ^o /o S		
MEZCLAS	KLIP ALGODON	KLIP ARROZ	KLIP CEREALES	KLIP SOYA Fase 1	KLIP SOYA Fase 2	
	0.5 ^o /o Cu	0.5 ^o /o Cu	0.5 ^o /o Cu	0.5 ^o /o B	0.5 ^o /o B	
	0.5 ^o /o Fe	1. ^o /o Fe	1. ^o /o Mg	0.7 ^o /o Mg	0.3 ^o /o Mg	
	1.5 ^o /o Mn	0.5 ^o /o Mn	0.5 ^o /o Mn.	1. ^o /o Mn	1. ^o /o Mn	
	4. ^o /o S	4. ^o /o S	4. ^o /o S	5. ^o /o N	8. ^o /o N	
	3. ^o /o Zn	4. ^o /o Zn	2. ^o /o Zn	4.7 ^o /o S	1.4 ^o /o S	
				0.7 ^o /o Zn	0.7 ^o /o Zn	
	KLIP PAPA-Serie Bermeo	KLIP LLANOS	KLIP CALCIO BORO	NUTRIMINS		
	1. ^o /o B	0.5 ^o /o B	1. ^o /o B	40 ppm. B	20 ppm. Mo	
	1. ^o /o Fe	3. ^o /o Mg	5. ^o /o Ca.	Trazas Cl	20 ^o /o N	
1.5 ^o /o Mn	1. ^o /o Mn.		60 ppm. Cu	Trazas Na		
4. ^o /o S	4. ^o /o S		700 ppm. Fe	0.5 ^o /o P		
3. ^o /o Zn	2. ^o /o Zn		300 ppm. Mg	12 ^o /o S		
			300 ppm. Mn	700 ppm. Zn.	0.4 ^o /o Fitohormonas	
			23.6 ^o /o	Adherente y dispersante.		

APLICACION AL SUELO

ELEMEN TALES	BORATO FERTILIZANTE	21.1 ^o /o B	MEZCLAS	AGRIMINS	MICROMATE
	SULFATO DE ZINC	36. ^o /o Zn		0.9 ^o /o B	0.0015 ^o /o Mo
SULFATO DE COBRE	25. ^o /o Cu	14. ^o /o Ca	8. ^o /o N	7. ^o /o Fe	
SULFATO DE HIERRO	20 ^o /o Fe	0.001 ^o /o Cl	0.001 ^o /o Na	1. ^o /o Mn.	
SULFATO DE MAGNESIO	9.5 ^o /o Mg	1. 1 ^o /o Cu	5. ^o /o P (P ₂ O ₅)	12. ^o /o Zn.	
SULFATO DE MANGANESO	27 ^o /o Mn.	1 ^o /o Fe	1. ^o /o S		
		3.5 ^o /o Mg	0.4 ^o /o Zn.		

CONTENIDO

Primera Parte: Potasio.

Mineralogía del Potasio en el Suelo y en el Material Parental. <i>Leonidas Mejía.</i>	1
The Factors of Quantity, Capacity and Intensity for Soil Potassium. <i>Philip Beckett</i>	18
The Interaction of Potassium with other Ions in Soils and Plants. <i>Noble R. Usherwood</i>	29
El Potasio en Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas. <i>Carlos Luna</i>	37
El Potasio en Suelos de las Zonas Cálidas Secas de Colombia. <i>Alberto Frye.</i>	44
La Fertilización Potásica en Cultivos de Clima Frío. <i>Giraldo Marín</i>	52
Fertilización Potásica en algunos Cultivos de Clima Cálido. <i>R.H. Howeler y J. M. Spain</i>	59
Fertilización Potásica en Café. <i>Eduardo Bravo</i>	68
Fertilización Potásica en Pastos. <i>Jaime Lotero y Javier Bernal</i>	76
Potassium Fertilization in Soils of Tropical America: Campos Cerrados. <i>Ritchey; de Sousa; Goedert; Lobato</i>	80
Dinámica del Potasio en el Suelo. <i>Hans Hobt.</i>	86
Situación Actual de los Fertilizantes Potásicos en el Mundo. <i>Francis Meissonnier</i>	93
Situación Actual de los Fertilizantes en Colombia. <i>Luis Uribe.</i>	94
El Factor Cantidad Intensidad de Potasio en algunos Suelos de la Sabana de Bogotá y de la Amazonía Colombiana. <i>Gloria de Benavides</i>	97
Correlación entre la Capacidad de Suministro de Potasio y Varios Métodos de Extracción Química de este Elemento en Suelos de Seis Regiones de Colombia. <i>Gloria Ortiz R.</i>	109
Capacidad de Restitución de Potasio en Suelos Andinos de Nariño. <i>C. Arteaga y R. Guerrero</i>	120
La Comparación de 5 Métodos Químicos de Análisis del Potasio Asimilable con 2 Métodos Biológicos en 7 Suelos de Series Frecuentes en Boyacá. <i>F. Hanke; Contreras, P.E.; Galvis, R.A.; Amaya, Julio C.</i>	126

Segunda Parte: Micronutrientes.

Occurrence of Micronutrients in Rocks, Soils, Plants, and Fertilizers. <i>J. Mortverdt</i>	134
Funciones de algunos Micronutrientes en las Plantas. <i>Gerardo López Jurado</i>	141
Metodología para la Investigación de Problemas de Micronutrientes. <i>E. Bornemisza.</i>	148
Quelatos Metálicos Importancia como una fuente de Micronutrientes. <i>Jerry H. Stoller</i>	154
El Estado Actual de las Investigaciones sobre Micronutrientes en América Latina. <i>Blasco Lamenca y Soto G.</i>	160
Micronutrient Soil Testing in the United State. <i>J. Mortverdt</i>	165
Estado de los Micronutrientes en Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas. <i>Guerrero Riascos y Burbano O.</i>	171
Respuesta de los Cultivos de Clima Frío a la Aplicación de Micronutrientes. <i>Rodrigo Lora Silva</i>	183
Control de la Fabricación, Comercialización y Uso de Micronutrientes en Colombia. <i>Pablo Clavijo</i>	191
Propiedades del Suelo en Relación con Deficiencias de Boro en el Valle del Cauca. <i>Garavito N. y León S.</i>	195
Disponibilidad de Micronutrientes en varias Series de Suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá. <i>Jorge Ortega y Rodrigo Lora</i>	201
Respuesta de la Aplicación Foliar de los Elementos Menores en Forma de Quelatos y del Boro sobre la Variedad de Cebada Mochaca (<i>Hordeum vulgare</i>). <i>Jaime Fernández Hernández</i>	206
Problemas de Elementos Menores en Suelos del Distrito de Riegos Atlántico III (Santa Lucía – Malambito) <i>Adel González y Colaboradores.</i>	211
Determinación de Selenio en Suelos y Material Vegetal, Estudio de la Inhibición de su Absorción en Raygrass (<i>Lolium multiflorum</i>). <i>Torres M.; Jimenez G.; Lora Silva; Quintero O.</i>	218
Conclusiones y Recomendaciones del V Coloquio Nacional	223

MINERALOGIA DEL POTASIO EN EL SUELO Y EN EL MATERIAL PARENTAL

Leonidas Mejía C.*

INTRODUCCION

El establecer cuantitativamente la capacidad de suministro de K de los suelos reviste una gran complejidad, y demanda el concurso de la mayoría de las disciplinas en que se diversifica la ciencia del suelo. De aquí la aparente contradicción en que comúnmente se incurre al tratar de evaluar esta característica a través de enfoques simplistas y monodisciplinarios, pasando por alto la enorme complejidad de procesos y fenómenos implicados en la nutrición potásica de las plantas.

Posiblemente debido a su mayor rapidez, los métodos químicos son los que con mayor frecuencia se utilizan para diagnosticar la capacidad de suministro de K de los suelos. No existe sin embargo, un completo acuerdo respecto a cual o cuales fracciones del K del suelo constituyen el mejor índice de la disponibilidad inmediata o real de este catión para las plantas. Así, mientras algunos investigadores reportan excelentes correlaciones entre el K intercambiable y las respuestas obtenidas en términos de rendimientos a la fertilización potásica (Rouse y Bertranson, 1949; Pratt, 1951; Schmitz y Pratt, 1953; Pope y Sheney, 1957; Legg y Beacher, 1952); otros han encontrado que el K no intercambiable puede ser una medida tan buena, y en ocasiones mejor, de la capacidad de suministro de K de los suelos (Weber y Caldwell, 1965). Algunos han encontrado incluso correlaciones negativas entre el K intercambiable y el rendimiento, y reportan en cambio correlaciones positivas y altamente significativas entre la concentración del K en la solución del suelo y el rendimiento. Sobre esta base consideran esta fracción como la medida más adecuada y realista de la disponibilidad del K (Mengel, 1972; Schuffelen, 1972; Nye, 1972; Tynker, 1964a; 1964b, 1973).

En franca oposición a los métodos químicos, algunos investigadores opinan que la habilidad de los suelos para proveer un amplio suministro de K, solo puede evaluarse realmente mediante métodos biológicos y en virtud de cultivos intensivos, y que ninguno de los extractantes químicos puede indicar satisfactoriamente la capacidad de suministro de K de los suelos (Reitemeier et al, 1947; Chandler et al, 1945; McLean 1961; Arnold, 1960; Hood et al, 1956).

Tratando de obviar las deficiencias de los métodos químicos más simples, técnicas analíticas más sofisticadas iniciadas por Schofield (1947), y complementadas posteriormente por Woodroff (1955a; 1955b); Woodroff y McIntosh, 1960 y Beckett (1964a; 1964b; 1964c; 1971a; 1972) han tratado de establecer como una medida más exacta de la disponibilidad del K, la relación entre la intensidad del ión K y

la de los iones Ca + Mg, con fundamento en que la disponibilidad de este elemento es determinada no tanto por su cantidad absoluta en la solución del suelo, como por su proporción relativa respecto de los iones calcio y magnesio.

Aunque existe un acuerdo general en cuanto a que esta relación de actividades bajo ciertas condiciones específicas (Beckett, 1972) puede definir con precisión el nivel de K no solamente en la solución del suelo, sino también en el sistema de intercambio, varios investigadores han encontrado que para ciertos suelos este parámetro resulta inadecuado para evaluar la cantidad de K suministrado a las plantas (Wild et al, 1969; Von Braunschweig y Mengel, 1971 citados por Tinker, 1973; Doll y Lucas, 1973).

Muchos otros investigadores, con fundamentos igualmente valederos, han enfocado la evaluación de la capacidad de suministro de K de los suelos a través del estudio de: a) los múltiples fenómenos termodinámicos involucrados en el complicado sistema de intercambio iónico de los suelos (Bolt, 1967; Krishnamoorthy y Overstreet, 1950; Schuffelen, 1952), del comportamiento del K frente a otros cationes (Beckett y Nafady, 1967a; 1967b; Taiibudeen, 1972); c) de la amplia gama de microprocesos —vg. movilidad, liberación, difusión, fijación, etc.— que regulan el transporte del K desde los minerales fuente primarios y secundarios, hasta el sistema radicular de las plantas (Nye, 1968; Frissel et al, 1970; 1972); o d) de la no menos complicada fenomenología que encierra la toma del ión K por las raíces de las plantas (Blanchet et al, 1969; 1972; Stanford y DeMent, 1959).

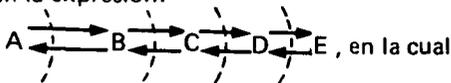
Aunque es innegable la necesidad del concurso de todas estas líneas de investigación para comprender a cabalidad la compleja combinación de factores y procesos implicados en la nutrición potásica de las plantas, lo es también el que la capacidad de suministro de K de los suelos guarda una estrecha relación con la estructura y morfología de los minerales del suelo, y que muchos de los fenómenos que regulan la economía del K (v.g. rata de liberación, fijación, selectividad, rata de intercambio, etc.) dependen en gran extensión de la naturaleza, proporción, propiedades específicas y comportamiento de los minerales primarios y secundarios presentes en el suelo. Igualmente obvio es el hecho de que la meteorización química de las rocas, y específicamente de los minerales fuente de K, constituye un factor fundamental en la evolución de la capacidad de suministro de K de los suelos, por cuanto a través de ella se originan no solo las reservas de K del pedosistema, sino también los minerales cristalinos y/o amorfos secundarios, responsables de las más importantes características de los suelos. De aquí la necesidad de revisar los conceptos fundamentales sobre la mineralogía del K en las rocas y en los suelos.

A. FORMAS DE K EN EL SUELO

El K del suelo ha sido comparado con una gran despensa o "stock", en la cual diferentes "formas" o "fracciones" de

* Químico, MSc. Laboratorio de Suelos, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

este catión se encuentran en equilibrio (W.A. Jackson, citado por Granger, 1973). Tal equilibrio ha sido representado con la expresión:



- A: es el K estructural contenido en los minerales primarios (ej. feldepatos potásicos, micas, otros, etc.);
 B: K contenido en los minerales secundarios (ej. Illita, micas hidratadas, minerales intermedios de transición, vermiculita, montmorillonita, clorita, etc.);
 C: K adsorbido, quelado o acomplejado, susceptible de ser intercambiado con un catión con el cual el K tenga gran afinidad);
 D: K intercambiabile con un ión intercambiador débil (ej. NH_4^+); y
 E: K soluble en agua, o K de la solución del suelo.

Esta concepción del K del suelo compendia el criterio de varios investigadores en relación con la dinámica y la macro y micromineralogía de las diversas fuentes del K del suelo (Bray y Turk, 1939; Jackson et al, 1952; 1963; Mortland, 1961; Gorbunov, 1968; Rich, 1968; 1972).

En la Figura No. 1 Schroeder (1974) representa básicamente las mismas fracciones del K del suelo, y los múltiples procesos e interacciones que afectan las diferentes formas de K del pedosistema, considerado este como un ente abierto y dinámico.

En ambos casos, cada una de las diferentes "formas" o fracciones que constituyen la reserva potásica total, actúan como un "stock" separado, definido y cuantificable, susceptible de transformarse continuamente de una forma a otra, según los factores que afecten el equilibrio. En ambos casos también, la fuente primaria del K del suelo son los minerales potásicos primarios y los minerales secundarios resultantes de su alteración. En algunos casos (suelos orgánicos), la materia orgánica puede contribuir también con un aporte sustantivo, pero dentro del contexto se dará énfasis solamente a su influencia en la descomposición de los minerales potásicos.

B. CONTINUIDAD, DISTRIBUCION Y LIBERACION DEL K EN LAS ROCAS

Por ser un elemento esencialmente "litófilo", el K se encuentra primordialmente en los silicatos que integran las rocas, y en los sedimentos originados por su descomposición. La distribución del K y su subsistencia en ellas, lo mismo que la de otros cationes (Ca, Mg, Na, etc.), guarda una estrecha relación con: la magnitud de su radio iónico, de su polarizabilidad, de su carga y de su energía de hidratación.

En virtud de estas características, la red cristalina de los minerales que lo contienen, actúa como un mecanismo de sorteo o "criba" química, regulando los fenómenos de inter-

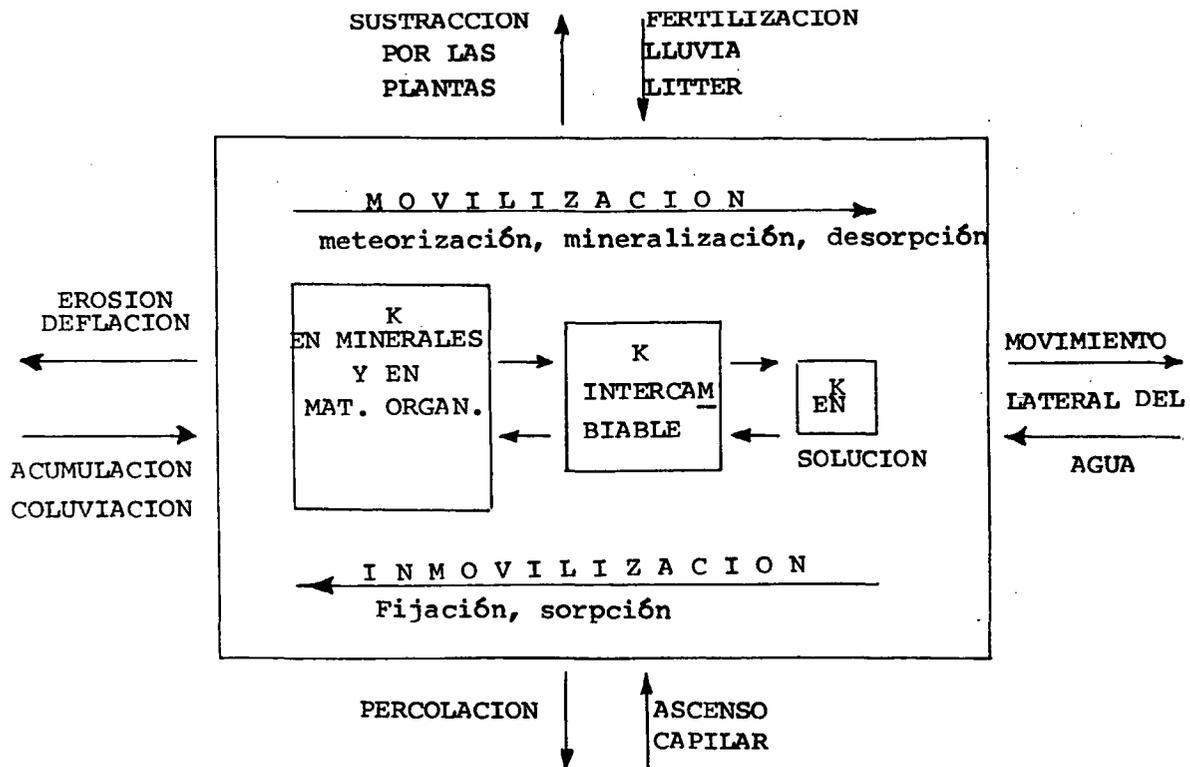


FIGURA 1. Esquema de las fracciones de K, procesos de liberación y retención, ganancias y pérdidas en un pedosistema abierto (Schroeder, 1974)

cambio y movilidad del K, y en general, su comportamiento (Jackson, 1964). En relación con estas características, el ión se caracteriza por:

1. Un radio iónico grande (1.33 \AA), que le confiere una relativa debilidad a sus enlaces con el Oxígeno (enlaces K-O);
2. Una polarizabilidad mayor que la de los iones Ca^{++} , Mg^{++} , y Na^+ , y menor que la de los iones amonio, rubidio, cesio y bario; y por lo mismo, mayor susceptibilidad al intercambio que los 3 primeros, pero menor que la de los 4 últimos; y
3. Una muy baja energía de hidratación (34 kcal/gr. ión, 1er. orbital), como resultado de la cual, su efecto es mínimo en la expansión del espacio interlamina de los filosilicatos que lo contienen, comparado con el de otros cationes que comúnmente compiten con él en estas posiciones (Rich, 1968).

Siendo estas características específicas para cada catión, la composición elemental de las rocas determina en la mayoría de los casos la naturaleza de los minerales secundarios formados, e influye en la composición iónica de las soluciones acuosas en contacto con los granos minerales.

En cuanto al contenido de K en las rocas, datos de Clarke y Washington (citados por Jackson, 1964) reportan un contenido promedio de 3.13o/o de K_2O en rocas ígneas y metamórficas, y de 0.3 a 3.24o/o para una amplia gama de rocas sedimentarias. De acuerdo con los mismos autores, las rocas ígneas constituyen el 95o/o de la corteza terrestre, y la mayor parte del 5o/o restante está representado por rocas sedimentarias a las que se asignan contenidos promedios de 3.24o/o de K_2O para los shales, de 1.32o/o para las areniscas, y de 0.33o/o para las calizas.

La Tabla 1 contiene datos más recientes del contenido promedio de K_2O en rocas relativamente comunes, tomados de diversas fuentes (Nockolds, 1954; Tilley, citado por Wedepohl, 1964; Yoder y Tilley, 1962; Navrot u Singer, 1976; Hendricks y Whittig, 1968; Wedepohl, 1969). La Tabla 2 muestra el contenido máximo de K en algunos minerales potásicos (K como elemento esencial) comunes en las ro-

Tabla 2. Contenido máximo de K_2O (o/o) en Minerales Potásicos, y Contenido promedio en otros Minerales No-Potásicos (Jackson, 1956; Pedro, 1973)

Minerales	Minerales Potásicos (K elemento mayor)	Minerales No-Potásicos (K elemento menor)
Feldepastos Potásicos (Microclina)	16.9	---
Plagioclasas	---	0.3 - 0.4 (Pertitas)
Muscovita	11.8	---
Biotita	10.5	---
Leucita	21.5	---
Acido	5.0	---
Vidrio Volcánico Básico	---	0.5 - 1.0

cas, y el contenido promedio en algunos minerales que aunque no son propiamente potásicos (K elemento accesorio), contribuyen parcialmente en las reservas de este elemento en los suelos (Jackson, 1956; Pedro, 1973).

El análisis de los datos contenidos en las dos Tablas, ponen de manifiesto 2 hechos:

- a) la gran variabilidad del contenido de K en las rocas; y
- b) que dicho contenido depende primordialmente de la proporción en que los minerales potásicos participan en su composición.

Estas rocas fuente de potasio y, en general, todas las rocas que afloran en la corteza terrestre, se encuentran por lo general en desequilibrio con las condiciones del medio superficial, y por lo mismo sufren una evolución forzosa en virtud de la cual pierden progresivamente su cohesión original, y experimentan un cambio más o menos profundo de su composición química y mineralógica. Su evolución final según Pedro (1973) está condicionada principalmente por 3 factores o condiciones:

1. factores litológicos que dependen de la naturaleza de los minerales de partida;
2. factores físico-químicos, que dependen de los agentes

TABLA 1. CONTENIDO PROMEDIO DE K_2O (o/o) EN ALGUNAS ROCAS COMUNES DE LA CORTEZA TERRESTRE

ROCAS IGNEAS					
ROCA:	o/o K_2O	ROCA:	o/o K_2O	ROCA:	o/o K_2O
Granot	5.3	Sienita Nefelinica	5.34	Basalto Alkali-Olivinico	1.2
Granodiorita	3.1	Andesita Hiperst.	1.2	Basalto Toleitico	0.7
Sienita	6.53	Andesita Olivinica	0.6	Peridotita	0.25
		Escoria Volcánica	1.2		
		Toba LaPilar	1.0		
		Basalto Olivinico	1.6		
ROCAS SEDIMENTARIAS					
Gres	1.30	Esquistos	3.60	Calizas	0.57
		Arcillosos			

1/ Nockolds, 1954; 2/ C.E. Tilley, 1950; 3/ Yoder y Tilley, 1962; 4/ Navrot y Singer, 1976; 5/ Hendricks y Whittig, 1968; 6/ Wedepohl, 1969.

y condiciones que presiden el ataque (ej. composición elemental, estado de disociación iónica, pH, concentración, etc.); y

3. factores termo-hídricos, que dependen del valor de los parámetros que regulan el equilibrio termodinámico, tales como: la temperatura, la presión, la rapidez de la circulación de las soluciones, siendo está última a su vez, una función del volumen del suministro de agua (pluviosidad), y de la permeabilidad.

Teniendo en cuenta que las rocas son esencialmente un ensamblaje de minerales cuya composición y estabilidad difieren considerablemente, para comprender la evolución geoquímica de una roca cualquiera, y la forma y proporción en que el K (en las rocas fuente) se incorpora al suelo, sería necesario analizar paralelamente dos aspectos:

1) el comportamiento de los diferentes minerales considerados global y simultáneamente dentro del ensamblaje del cual hacen parte, de forma que los procesos puedan ser examinados tal como suceden en la naturaleza; y

2) el comportamiento específico de los minerales constituyentes considerados independientemente los unos de los otros (Pedro, 1973).

El primer aspecto ha sido profusamente estudiado en rocas tanto de la zona templada como tropical (Navrot y Singer, 1976; Singer y Navrot, 1975; Hendricks y Whittig, 1968; Henin et al, 1968; Pedro, 1964; Robert, 1970). Se han hecho además extensas revisiones sobre la meteorización de las rocas y minerales, con base en las cuales se han propuesto diversas teorías sobre la naturaleza de los procesos implicados (Keller, 1957; 1965; Stephen, citado por Brewer, 1964). Los resultados de este tipo de análisis global suelen ser muy casuísticos y variables en razón de las mutuas interacciones de unos constituyentes con otros, dada la enorme gama de factores que condicionan la evolución geoquímica de las rocas (Henin et al, 1968).

El análisis individual de cada uno de los minerales componentes resulta más pertinente para los objetivos de esta revisión, por cuanto permitirá mostrar con mayor claridad la interrelación entre la disponibilidad del K para las plantas, y la estructura, morfología, y otras características específicas de los minerales primarios y secundarios del suelo.

C. MINERALES FUENTE DE K

Exceptuando los suelos ricos en materia orgánica, la mayor parte del K que se incorpora al suelo proviene de la red cristalina de:

1. aluminosilicatos primarios como los feldespatos potásicos, la muscovita, la biotita, la flogopita, y otros de menor importancia; y

2. minerales secundarios como la Illita, y toda la amplia gama de minerales transicionales formados durante la transformación de la Illita a micas hidratadas, vermiculita, montmorillonita o clorita (Schroeder, 1972; Rich, 1968; Jackson, 1968; Reitemeier, 1951).

En algunos suelos la liberación del K puede provenir de otros minerales primarios como el vidrio volcánico básico, la leucita, o los feldespatos plagioclásicos (Marel, 1947; Walker, citado por Rich, 1972; Fieldes y Swindale, 1954;

Middleburg, 1955); o de minerales que como las zeolitas, o los coloides amorfos (alofano), pueden intervenir directa o indirectamente en las reacciones del K en el suelo (Van Reeuwijk y De Villiers, 1968, Sticher, 1972; Rich, 1968). No obstante, la ocurrencia de algunos de estos minerales es más bien infrecuente, o se conoce muy poco en relación con su aporte real a las reservas de K del suelo (Rich, 1972). En general, los minerales de los dos grupos previamente citados son los que constituyen las principales fuentes del K del suelo.

1. K EN LOS MINERALES PRIMARIOS Y FACTORES DE TRANSFORMACION

De los minerales primarios, a las micas se les confiere generalmente la mayor importancia como fuente natural del K del suelo, en razón de su menor estabilidad frente a los agentes de meteorización. Aunque los feldespatos potásicos son más abundantes y tienen por lo general un contenido mayor de K, se ha comprobado que bajo condiciones idénticas en lo que respecta al tamaño de partículas, la estabilidad relativa de estos minerales fuente decrece en la forma indicada en la fig. 3. Por consiguiente, la liberación de K incrementa de los feldespatos a las micas (Schroeder, 1972; Rich, 1972).

Minerales: Feld. de K >	Muscovita >	Biotita
Energía de activación:	23 Kcal/moi	20 Kcal/moi
	(Muscov. Illita)	14 Kcal/moi.
	(Huang et al, 1968)	(Huang, et al, 1968)
		(Huang, et al, 1968)

FIGURA 3. Estabilidad relativa y energía de activación de algunos minerales potásicos (Schroeder, 1972; Huang et al, 1968)

1.1 FELDESPATOS POTÁSICOS: FACTORES DE TRANSFORMACION

La mayor estabilidad e inercia de los feldespatos potásicos deriva no solamente de la mayor energía de activación del K ligado a su estructura cristalina (microclina: 23 Kcal/mol), sino también de su mayor dureza (H; 6), de su composición, de su estructura, del tamaño de partícula y de las características de su proceso de alteración.

Estos minerales son tectosilicatos con una estructura tridimensional constituida por tetrahedros de alúmina y sílice, que en forma de anillos y cadenas se unen entre sí configurando ensamblajes de gran estabilidad, en los cuales el K ocupa los intersticios formados por la unión de los tetrahedros (Taylor, citado por Rasmussen, 1972; Barth, citado por Wilson, 1975). Poseen generalmente sodio dentro de su estructura, especialmente los formados a altas temperaturas (pertitas); y en algunos casos el Na sustituye parte del K, fenómeno éste que generalmente repercute en la alteración del orden Si/Al dentro del cristal. Se estima que el incremento del grado de desorden del Si/Al y la proporción de

Na, tienden a hacer más susceptibles estos feldespatos a la meteorización, que a los de composición homogénea (Rich, 1972).

Otro factor importante que incide en la mayor estabilidad de los feldespatos potásicos, es el hecho comprobado de que durante la alteración de especies como la adularia, se produce una liberación de K, sílice y alúmina en una proporción que origina una cubierta en torno al grano mineral, cuya composición corresponde a un aluminosilicato hidratado con una relación Si/Al mayor que la de la caolinita. Esta película conserva un espesor constante, y tiende a impedir el ulterior ataque del mineral (Correns y Von Engelhart, citados por Wilson, 1975).

Resultados similares han sido reportados para la alteración de la ortoclasa y otros feldespatos (Wollast, 1967, citado por Wilson, 1975; Helgesen, citado por Wilson, 1975). Se han reportado sin embargo algunos casos de disolución relativamente rápida de feldespatos (Pedro, 1961); pero esta aparente contradicción con el concepto general sobre la inercia de los feldespatos potásicos, ha sido atribuida a la temperatura relativamente alta (65°C) y constante a la cual se realizaron los tratamientos y extracciones (Rasmussen, 1972).

1.2 MICAS: FACTORES DE TRANSFORMACION

Como lo muestra la Fig. 3, la mayor facilidad con que el K es extraído de las micas durante los procesos de hidrólisis o alteración, deriva de la energía mucho menor con que el K está ligado dentro de la estructura interna de la red de estos minerales (Pedro, 1972). Por esta razón existen notables diferencias en la reemplazabilidad del K aun entre diferentes tipos de micas como la muscovita y la biotita. Datos experimentales sobre esta reemplazabilidad expresada en términos de la energía de activación del K dentro de la red cristalina (Huang et al, 1968; Arvieu y Chaussidon, 1964) en feldespatos y micas permiten explicar estas diferencias. La biotita con el valor más bajo para la energía de activación (14 Kcal/mol), permite con mayor facilidad la liberación de este catión aun sin que se produzca la hidrólisis de la estructura 2:1 (Pedro, 1973).

1.2.1 LIBERACION DEL K Y EXPANSION DEL ESPACIO INTERLAMINAR

La liberación del K interlaminar de las micas se produce durante su transformación en minerales de arcilla. Estudios de este proceso "in vitro" y bajo condiciones naturales (Jackson, et al, 1952; Wilson, 1970; Royle et al, 1967; Seddoh y Roberts, citado por Eswaran y Re Hang, 1976; Cook y Rich, 1962) parecen indicar que en zonas templadas húmedas, e incluso en áreas tropicales poco lixiviadas y ricas en bases, la meteorización de las micas sigue en líneas generales la secuencia propuesta por Jackson et al, (1952) y Schroeder (1972) en la Fig. 4. Para zonas tropicales fuertemente ácidas, y sometidas a una lixiviación intensa, con frecuencia las micas pueden transformarse directamente a caolinita (Sanchez y Furtado, 1968; Ojanuga, 1973), a mezclas de caolinita y haloisita (Eswaran y Yew Heng, 1976), o a minerales como la amesita, con o sin arcillas de tipo 2:1 (Sánchez - Furtado, 1968).

El mecanismo mediante el cual se produce la liberación del K interlaminar tanto de las micas como de los minerales de arcilla del grupo de las micas (illita, micas hidratadas, etc.) consiste en una reacción de intercambio entre el K y los iones "competidores" de la solución del suelo. Esta reacción (Fig. 5a.) tiene lugar desde los extremos laterales de la partícula hacia la parte central, o interfase móvil en que se estrangula el espacio interlaminar* —zona en cuña— y que separa la porción más externa "depotasificada" y expandida, y la porción central aun inalterada de la mica (Jackson, 1963). Se establece así un proceso de difusión de los iones K intercambiados desde la interfase (zona en cuña) a través de la zona lateral expandida, hacia la solución; y otro en sentido contrario, de los iones de la solución hacia el interior del espacio interlaminar (Reed y Scott, 1962; Reichenbach, 1972). Con base en este modelo, la proporción en que el K es liberado del espacio interlaminar de las micas y de las arcillas micáceas, depende primordialmente de la energía con la cual el K está ligado tanto en la zona en cuña, como en la porción expandida. Esta energía depende a su vez de las características del espacio interlaminar en que se realiza el intercambio (ej, de su amplitud, longitud, continuidad y

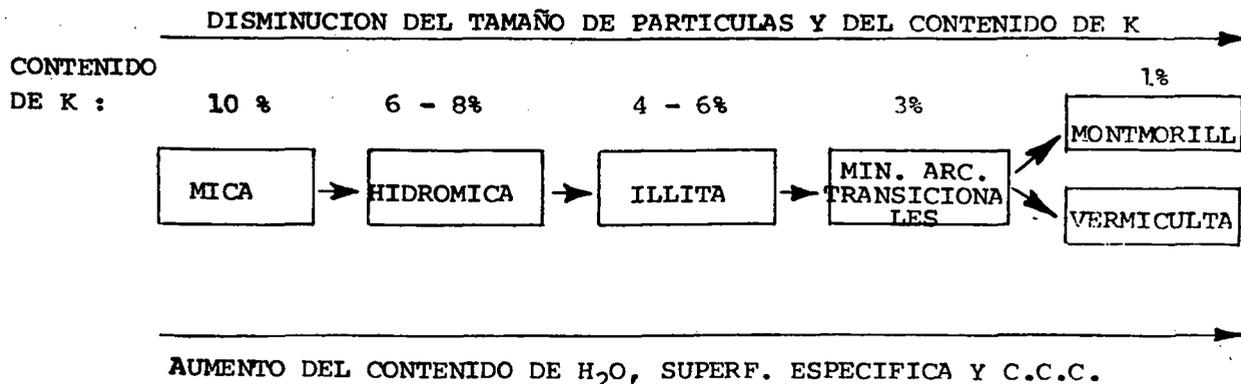


FIGURA 4. Conversión de las micas en minerales de arcilla (Schroeder, 1972; Jackson et al, 1952)

estabilidad), y de los múltiples factores que contribuyen a modificarlo, (Rich, 1968).

Muchas de las modificaciones del espacio interlaminar derivan de la desuniformidad que caracteriza la meteorización de las micas. Durante este proceso se originan por lo general una sucesión de capas superpuestas, que según el grado en que se ha operado el reemplazamiento del K, la naturaleza de los cationes que se introducen al espacio interlaminar (ej, Ca, Mg, Hidroxilalúmina, etc.), y el grado de hidratación y expansión de las láminas, pueden hacer que las micas se transformen alternativa y gradualmente en minerales que por su estructura y composición corresponden a la Illita, a la vermiculita, a la montmorillonita, a la clorita, a estructuras mixtas de mica y vermiculita (Bassett, 1959; Rich, 1968), o a otros minerales (Fig. 5a. y 5b.).

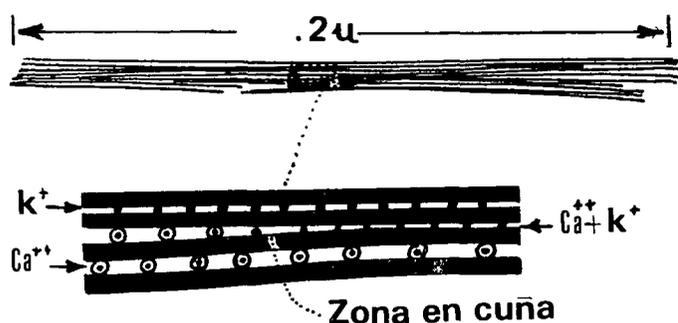


FIGURA 5a. Modelo propuesto por Rich (1968) para el borde de una partícula de arcilla vermiculítica en la cual aun hay zonas con estructura micácea. La porción ampliada muestra la "zona en cuña" y la selectividad iónica.

Obviamente, todas las anteriores alternativas en la transformación de las micas estan condicionadas por la rata de lixiviación, la composición de la solución del suelo, por el pH, o por otras características específicas del medio en que tiene lugar la alteración. Esta combinación de situaciones hace del fenómeno del intercambio del K interlaminar, un proceso que por su complejidad extrema resulta casi imposible de predecir o determinar por medio de coeficientes de intercambio, coeficientes de selectividad, o de ecuaciones de intercambio (Riechenbach, 1972).

1.2.2 FIJACION DEL K

A la complejidad del proceso de intercambio del K se suma la posibilidad de que ocurra el proceso inverso de su fijación, fenómeno que es propiciado precisamente por las condiciones creadas a medida que progresa la liberación del K. Este fenómeno, tan complejo como el de intercambio, ocurre a expensas del K de la solución del suelo, y en ocasiones, puede ser inducido artificialmente con la adición de fertilizantes potásicos (Volk, 1934).

El proceso de fijación consiste esencialmente en que los iones K de la solución del suelo se introducen al espacio interlaminar de los minerales de arcilla, y se fijan nuevamente en los sitios que ocupaba originalmente el K nativo (Chaminade, 1936; Page y Bayer, 1940; Reitemeier, 1951). El proceso es acompañado por el colapso del espacio interlaminar en torno al catión y la consiguiente regeneración de la estructura original del mineral micáceo (Barbier, 1962).

Aunque el K "fijado" deja de ser intercambiable, y al fenómeno en general se le denomina "fijación", en realidad constituye una reserva que aunque lentamente, puede ser nuevamente liberada si la solución externa tiene una baja concentración de K (Wiklander, 1954; Barbier, 1962).

La fijación de K ocurre principalmente en presencia de minerales de tipo Illita, de vermiculita y aun de montmorillonita, que por lo general no son tan comunes en los suelos del trópico húmedo. No obstante, algunos minerales amorfos como el alofano, poseen una gran afinidad por el K (Sticher, 1972), y experiencias realizadas por Wada y Harada (1969) y por Van Reeuyk y De Villiers (1968) con silicatos amorfos, parecen indicar que la fijación del K atribuida generalmente solo a minerales como la vermiculita y la beidellita (Page y Bayer, 1940; Wear y White, 1951; Weir, 1965; Ross y Mortland, 1966), puede ser también protagonizada por minerales amorfos.

En la fijación del K en el espacio interlaminar de los filossilicatos cristalinos, las características y localización de la "zona en cuña" (Fig. 5c.) juegan un importante papel (Rich, 1964; Rich y Black, 1964). En esta zona, la limitación de espacio para la difusión de los iones hidratados hace que el K sea selectivamente fijado en relación con cationes como el Ca^{++} y Mg^{++} de mayor tamaño. Al cerrarse las láminas en torno al K, la zona en cuña puede desplazarse progresiva-

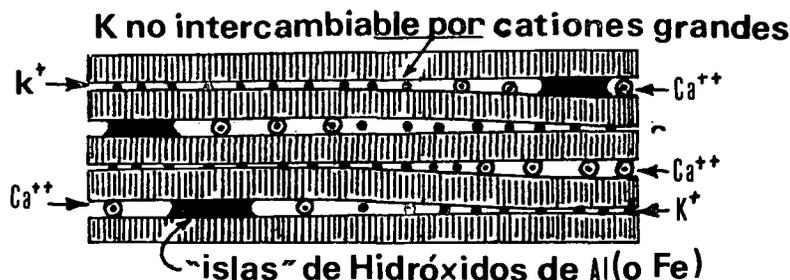


FIGURA 5b. Ejemplo de un silicato laminar expandible con materiales interlaminares, mostrando su efecto en la fijación del K. (Según Rich y Black, 1964)

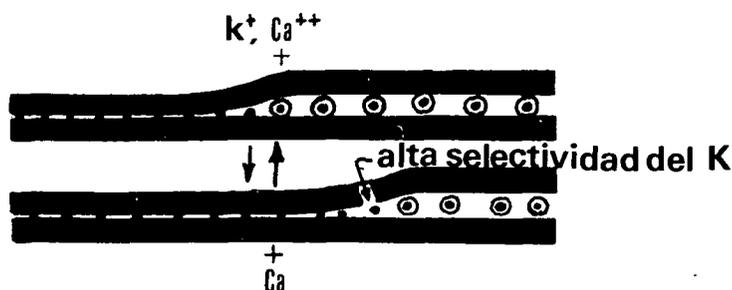


FIGURA 5c. Modelo propuesto por Rich (1968) para ilustrar la zona en forma de "cuffa" en una mica meteorizada, y que muestra la continuidad del sitio en que se presenta una alta selectividad del K.

mente hacia el extremo de la partícula a medida que más K se fija en el espacio interlaminar. Este proceso, y en general la fijación de K es propiciada por:

a) una alta concentración de K en la solución del suelo, en relación con la de otros cationes hidratados de mayor tamaño como el Ca y el Mg (Rich, 1968);

b) una alta densidad de carga en el espacio interlaminar (Barshad, 1954; Weir, 1965);

c) la ausencia de "islotes" o depósitos de hidroxilalúmina, que tienden a mantener abierto el espacio interlaminar y a impedir el colapso de las láminas en torno al K (Rich, 1968b);

d) un pH alto, coincidente con una baja concentración de cationes hidratados grandes, por cuanto estas circunstancias reducen las posibilidades de que los protones, —fácilmente difundibles en la zona en cuffa— compitan con el K por las posiciones de intercambio; y

e) el grado de humedad, o la incidencia de procesos alternos de secamiento y humedecimiento (Attoe, 1947), si bien los resultados obtenidos por otros investigadores sobre el efecto de estos procesos, son en algunos casos contradictorios (Luebs, et al, 1956; Reitemeier, 1951).

Aunque la mayoría de los estudios sobre la influencia de este último aspecto han sido realizados en suelos de clima templado, experiencias realizadas en Oxisoles de Trinidad por Ahmad y Davis (1970), parecen indicar que puede presentarse una fijación continua de K cuando el contenido de humedad de los suelos decrece por debajo de la mitad de la capacidad de campo. También se ha indicado que en suelos tropicales caolíníficos, la fijación interlaminar de K es mínima, y que por consiguiente los procesos alternos de humedecimiento y secamiento no son tan importantes como en los suelos de las zonas templadas (Boyer, 1972).

D. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL INTERCAMBIO DEL K

Los factores que influyen directa o indirectamente en el mecanismo de intercambio y liberación del K a partir de los minerales fuente primarios y secundarios, pueden ser divididos en 2 grupos:

1. Factores dependientes de la naturaleza intrínseca de los minerales fuente de K, tales como:

a) diferencias estructurales (ej. estructuras diocta o trioctahédricas);

b) ordenación de los grupos OH (momentos dipolares);

c) variaciones en la carga y en la C.I.C.;

d) morfología, imperfecciones estructurales y tamaño de partículas;

e) grado de expansión y características del espacio interlaminar, y

2. Factores físico-químicos y termo-hídricos característicos del medio ambiente y de los suelos (ej. grado de humedad, pH, contenido de materia orgánica, etc.), y que en general, afectan por igual la rata de alteración de cualquier mineral.

Del primer grupo se omiten algunos factores ya mencionados, y se destacan sólo aquellos relacionados con la morfología y estructura de los minerales. Del segundo grupo sólo se comenta el papel de la materia orgánica en la alteración de los minerales.

a) EFECTO DE LAS DIFERENCIAS ESTRUCTURALES

La influencia de la estructura en la reemplazabilidad del K fue demostrada por Güven y Radoslovich (citados por Rich, 1972), quienes demostraron que la muscovita, de estructura dioctahédrica, exhibe una selectividad para el K mucho mayor que las micas trioctahédricas biotita y flogopita.

En la muscovita (Fig. 6) dos Al^{+++} ocupan solamente dos de los 3 centros de la capa octahédrica, dejando así un espacio vacante. Debido a esta asimetría de las cargas octahédricas, los Oxígenos de la capa tetrahédrica que rodean por encima y por debajo al K, tienden a adquirir con mayor facilidad que los de las estructuras trioctahédricas una configuración ditrigonal (Fig. 7), mediante una rotación de los tetrahedros. Esto da origen en la muscovita, a un acortamiento del enlace K—O, y por lo mismo, a que el K se ligue con mayor energía a la estructura cristalina.

En la biotita y flogopita, de estructura trioctahédrica, ca- da uno de los 3 centros de la capa octahédrica está ocupado

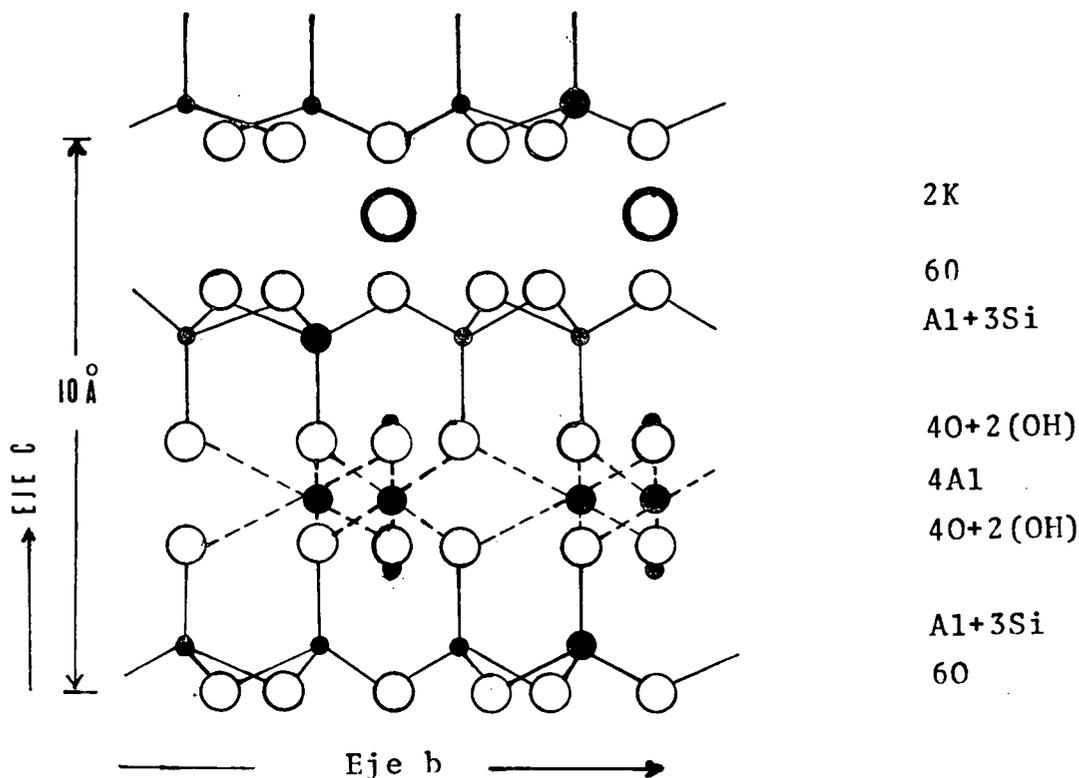


FIGURA 6. Rasgos estructurales de la Muscovita (Mica dioctahédrica). (Jackson, 1967)

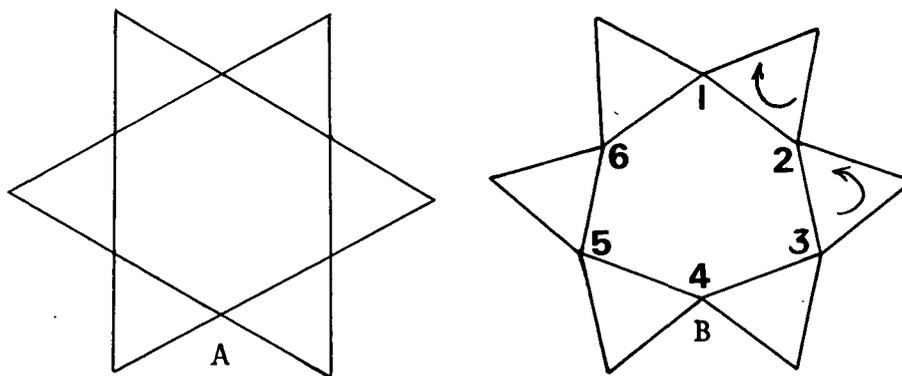


FIGURA 7. A) Ordenamiento hexagonal ideal de los tetrahedros en los filossilicatos; B) Ordenamiento ditrigonal que ocurre en la práctica. El grado de rotación de los tetrahedros es variable, y por lo general mayor en los filossilicatos dioctahédricos que en los trioctahédricos. (Rich, 1968)

por un catión divalente (ej. Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , o $3 Mg^{2+}$), creando así una simetría de cargas en la capa, que dificulta la rotación de los tetrahedros y la adquisición de la configuración ditrigonal. Esto se traduce en una menor fortaleza del enlace K—O, y en una mayor susceptibilidad al reemplazamiento del K.

b) EFECTO DE LA ORIENTACION DE LOS GRUPOS OH

Las diferencias en la reemplazabilidad y selectividad del K en los minerales micáceos ha sido relacionada con la orientación de los grupos OH de la capa octahédrica (Basset, citado por Reichenbach, 1972). En la biotita, de estruc-

tura trioctahédrica (Fig. 8) debido a la simetría de las cargas octahédricas (Mg^{++} , Fe^{++} , Mg^{++} ; o 3 Mg^{++}), el enlace OH apunta verticalmente hacia el plano basal cercano al K, con lo cual se acorta la distancia K—H, y se origina una repulsión entre el H del dipolo, y el K interlamina. Esta repulsión debilita el enlace, e incrementa la reemplazabilidad del K.

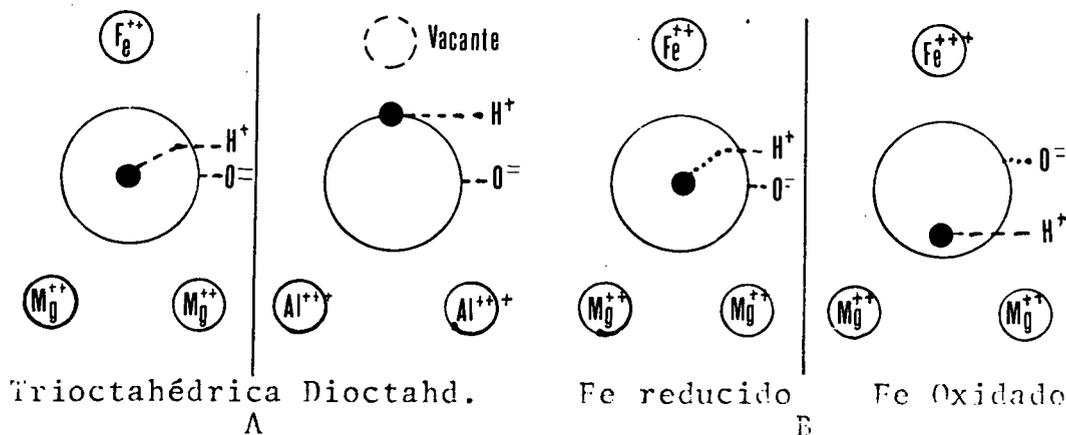


FIGURA 8. Efecto de la composición de la capa octahédrica de las micas en la orientación de los grupos OH.

- a) Micas dioctahédricas Vs. Trioctahédricas
b) Efecto de la oxidación del Fe^{++} a Fe^{+++}
(Rich, 1972)

En la muscovita (dioctahédrica), como resultado de la asimetría de cargas en la capa octahédrica (2 Al^{+++} y un espacio vacante) el dipolo OH se inclina respecto de la vertical hacia el plano de la capa octahédrica, apuntando con el H hacia el espacio vacante. Como resultado, la repulsión hacia el K es menor, e incrementa la estabilidad del K dentro de la estructura cristalina.

C. EFECTO DE LAS VARIACIONES DE CARGA INTERLAMINAR Y DE C.I.C.

Las variaciones de la carga interlamina ejercen una notoria influencia en la reemplazabilidad del K en los minerales micáceos (Juo y White, 1965; Barshad y Kishk, 1968).

Las variaciones de carga se atribuyen a varias reacciones independientes (Reichenbach, 1972). Entre ellas, una de las más comúnmente citadas consiste en la oxidación del Fe ferroso (Fe^{++}) a férrico (Fe^{+++}), que generalmente se presenta en la capa octahédrica (Rich, 1972). Esta oxidación hace que la dirección del OH (Fig. 8) favorezca la retención del K como resultado de la asimetría de cargas que origina.

Reichenbach (1972), basado en teorías planteadas por Basset (1960) y Newman y Brown (1966) en relación con la selectividad en el intercambio del K interlamina, postula que:

1. las pérdidas de los H de los grupos estructurales OH tienden a fortalecer el enlace del K, al ser eliminada por esta

pérdida la repulsión entre el K y el H; y

2. que la distribución asimétrica de las cargas en la capa octahédrica, originada bien por la oxidación del Fe^{++} a Fe^{+++} , o por la liberación de cationes octahédricos, tiende a afectar la orientación del dipolo OH con el consiguiente incremento de la selectividad del K.

Además de la relación directa de la magnitud de la carga interlamina y la selectividad y fijación del K, ratificada por varios investigadores (Barshad, 1954; Weir, 1965), con frecuencia se atribuye también una marcada influencia sobre este fenómeno a la localización de la carga negativa (Schwertmann, citado por Rich, 1972), si bien esta relación no siempre es aparente, o es difícil de demostrar (Rich, 1968; 1972).

d) EFECTO DE LA MORFOLOGIA Y TAMAÑO DE PARTICULAS

El efecto de la morfología (ej. forma, características de las superficies, imperfecciones estructurales, etc.), y especialmente del tamaño de partículas en el mecanismo del intercambio del K y de la expansión interlamina, ha sido investigado con resultados aparentemente contradictorios.

Se acepta en general, que a medida que decrece el tamaño de partícula la rata de intercambio del K, y el grado de expansión interlamina aumenta (Jonas y Roberson, citado por Scott, 1968; Barshad, 1950; 1954; Reed y Scott, 1962), como resultado del acortamiento del trayecto en que se realiza la difusión, y posiblemente también, por el incremento de la superficie específica. Sin embargo, numerosas experiencias han demostrado que aunque esta relación se cumple en muchos casos, no siempre es necesariamente cierta. Aparentemente, el K interlamina puede actuar como un factor

restrictivo de la expansión: en las partículas muy pequeñas de mica, e incluso, bajo condiciones naturales de meteorización, se ha observado que las partículas más pequeñas son menos susceptibles a la alteración (Scott, 1968). También se ha observado, que en algunos casos las fracciones más finas de las arcillas de los suelos han liberado cantidades menores de K en suelos sometidos a cultivo (Doll et al, 1965), o cuando las diferentes fracciones del suelo fueron sometidas a un proceso continuado de extracción de K con Na-tetrafenilbora (Smith et al, 1968). Estos resultados fueron confirmados por Reichenbach y Rich (1969) al someter partículas de muscovita de diferentes tamaños a extracciones de K con $BaCl_2$, experiencia en la cual, obtuvieron una cantidad mayor de K de las partículas más gruesas.

La inconsistencia de las conclusiones en lo tocante al efecto del tamaño de partículas, particularmente en aquellos experimentos realizados con muestras molidas, han sido atribuidas a uno o varios de los siguientes factores:

1) al uso de un criterio incierto respecto al tamaño de las partículas (ej. tipo o grado de molienda) (Scott, 1968);

2) a alteraciones de la muestra, originadas por el método de preparación (McKenzie y Milne, citado por Scott, 1968);

Y

3) a irregularidades en la forma de las partículas, o a imperfecciones estructurales que permiten la entrada de los cationes intercambiables al interior del espacio interlamilar, no sólo a través de los extremos laterales de las partículas, sino también a través de grietas o fisuras del cristal normales al plano a-b (Wells y Norrish, 1968). Estas imperfecciones suelen desarrollarse como resultado de procesos de disolución durante la meteorización del mineral, o por la presencia de minerales no micáceos ocluidos en el cristal de mica, que al expandirse, disturban su estructuralaminar (Reichenbach, 1972).

e) FACTORES DEL MEDIO AMBIENTE O DEL PEDOSISTEMA

Como lo muestra la Fig. 1, un gran número de factores locales (ej, erosión, acumulación, deflación, movimiento lateral del agua, escorrentía, etc.) y fisicoquímicos; y termohídricos de tipo general, ejercen también un papel definido en la economía general del K del suelo.

Los primeros adquieren importancia bajo condiciones muy específicas. Los de tipo general, son relativamente constantes, afectan por igual a la mayoría de los suelos, y su efecto está determinado por las características del ecosistema. Entre estos últimos, se atribuye una especial influencia en la alteración de los minerales primarios: a) al efecto de la lixiviación; b) al efecto del micro-ambiente químico; y c) a la accesibilidad u oportunidad que tienen los constituyentes presentes o liberados para combinarse o interactuar entre sí (Brewer, 1964).

Condiciones óptimas de drenaje tienden a remover los productos resultantes de la meteorización, en tanto que un drenaje impedido, induce su retención favoreciendo la oportunidad de una mutua interacción,

Como el micro-ambiente químico es controlado primordialmente por la naturaleza de los compuestos presentes en

el pedosistema, las condiciones de drenaje en última instancia condicionan en cierto grado la naturaleza de los minerales secundarios que se formen (Crompton, 1960), y una serie de procesos relacionados con las pérdidas o ganancias del K (ej. fijación, retención en la arcilla, etc.).

Datos lisimétricos sobre la lixiviación del K compendiados por Charreau, y citados por Pedro (1962), ponen de manifiesto el que la concentración de K_2O en las aguas, y por consiguiente, la alteración de los minerales potásicos, aumenta a medida que se pasa de los climas templados a los climas tropicales, y en particular, a los tropicales húmedos. En efecto, estudios lisimétricos realizados por Barbier (1962), demostraron que aun bajo climas templados, una apreciable proporción de K puede pasar a las aguas de drenaje a partir de granito molido o fragmentado. En áreas tropicales, este fenómeno es mucho más intenso bajo climas húmedos, tanto en suelos jóvenes desarrollados sobre materiales volcánicos, como en suelos antiguos cubiertos por cenizas (Middelburg, 1955; Segalen, 1967; Van Wambeke, 1970), o desarrollados sobre rocas metamórficas (Aubert, 1958).

Sobre la lixiviación de K en suelos tropicales bajo cultivos, algunos pocos datos reportados por Tourte et al (1964) en suelos de Senegal bajo una precipitación media anual de 800 mm., revelan una pérdida de K por lixiviación del orden de 3.9 a 6 Kg./ha bajo condiciones de barbecho, pero cubiertos por cultivos de abonos verdes; de 3 a 11 Kg/ha bajo cultivos de maní; y de más de 11 kg/ha en suelos completamente desnudos. Sobre este mismo tópico varios investigadores opinan que las pérdidas de K por lixiviación son pequeñas en suelos bajo vegetación natural de bosque o de sabana, pero que pueden ser considerables en suelos cultivados ya sea directamente, o por efecto de procesos de erosión (Boyer, 1972).

Sobre el efecto de otros factores del medio ambiente tales como el grado de humedad, procesos alternos de humedecimiento y secamiento, el pH, la composición y concentración catiónica de la solución del suelo, el clima, etc., se ha hecho alusión directa o indirecta en conexión con los mecanismos de liberación y fijación del K. Merece sin embargo una mención especial el papel de la materia orgánica, no tanto por su aporte directo al suelo, como por su influencia en la descomposición de los minerales potásicos.

f) EFECTO DE LA MATERIA ORGANICA

Numerosas experiencias han demostrado que las sustancias húmicas contienen cantidades relativamente grandes por unidad de peso de grupos funcionales (ej. CO_2H , OH fenólicos y $C=O$), que son capaces de atacar y degradar los minerales del suelo, acomplejando y disolviendo sus metales componentes, transportándolos luego a través del perfil en las aguas de drenaje (Schnitzer y Skinner, 1963; Baker, citado por Schnitzer y Kodama, 1976; Babcock, citados por Schnitzer y Kodama, 1976; Schnitzer y Hansen, 1970).

Especialmente activos por este aspecto son los ácidos fúlvicos, sustancias de peso molecular relativamente bajo, y cuyas soluciones acuosas son capaces de atacar minerales como la clorita (Kodama y Schnitzer, 1972) y las micas

(Schnitzer y Kodama, 1976), solubilizando cantidades sustanciales de sus cationes componentes dependiendo del tipo de mineral de que se trate.

Las Figs. 9 y 10 ilustran la magnitud y el mecanismo del efecto del ácido fúlvico. La primera contiene curvas acumulativas que muestran la liberación de Fe, Mg, K, Al y Si a partir de tres diferentes tipos de micas (Biotita, Flogopita y Muscovita) en función del tiempo, al ser agitadas durante 710 horas con una solución al 0.2o/o de ácido fúlvico.

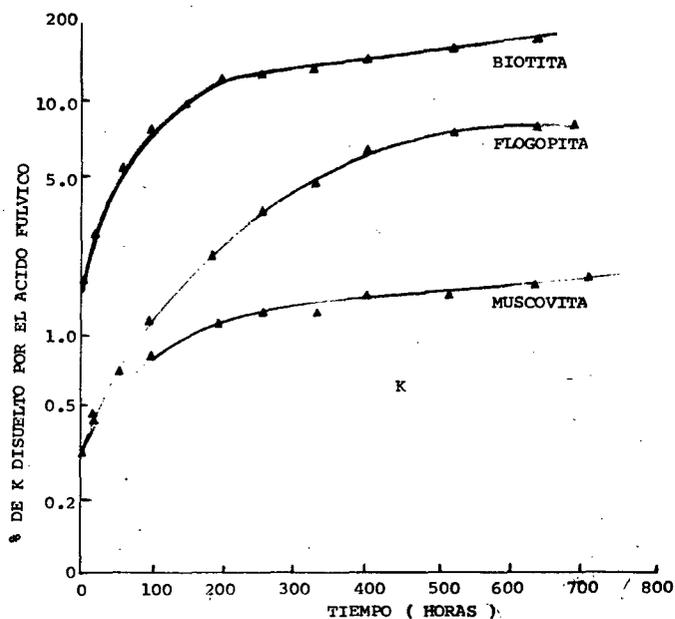


FIGURA 9. Disolución del K por el ácido fúlvico de la Biotita, Flogopita y Muscovita (Schnitzer y Kodama, 1976).

Los resultados demostraron que todos los elementos fueron extraídos más fácilmente de la biotita, y menos eficientemente de la muscovita. Las cantidades máximas de elementos extraídos a partir de 1 gramo de cada mineral fueron: 15.5 mg. de Fe (de la biotita); 14.1 mg. de Mg (de la flogopita); 12.8 mg. de K (de la biotita); y 25.8 mg. de Si (de la biotita).

Los minerales que se mostraron más susceptibles al ataque, contenían las mayores cantidades de Fe. Esta afinidad del ácido fúlvico por el Fe ha sido atribuida por Schnitzer y Kodama (1976) al carácter transicional de este ión metálico, y a sus configuraciones electrónicas específicas.

Los espectros de absorción infraroja (Fig. 10) indican la formación de complejos metal-Acido Fúlvico como el principal mecanismo de reacción en la disolución de las micas. Aunque no se conoce con precisión el número de reacciones envueltas, el hecho fundamental es que el ácido fúlvico puede disolver cantidades sustanciales de K, Fe, Mg, Al y Si de las micas. Estos elementos, y entre ellos el K, al volverse móviles en los suelos, quedan al alcance de las raíces y microorganismos, intervienen en los procesos pedogenéticos, y participan en la síntesis de nuevos minerales (Schnitzer y Kodama, 1976).

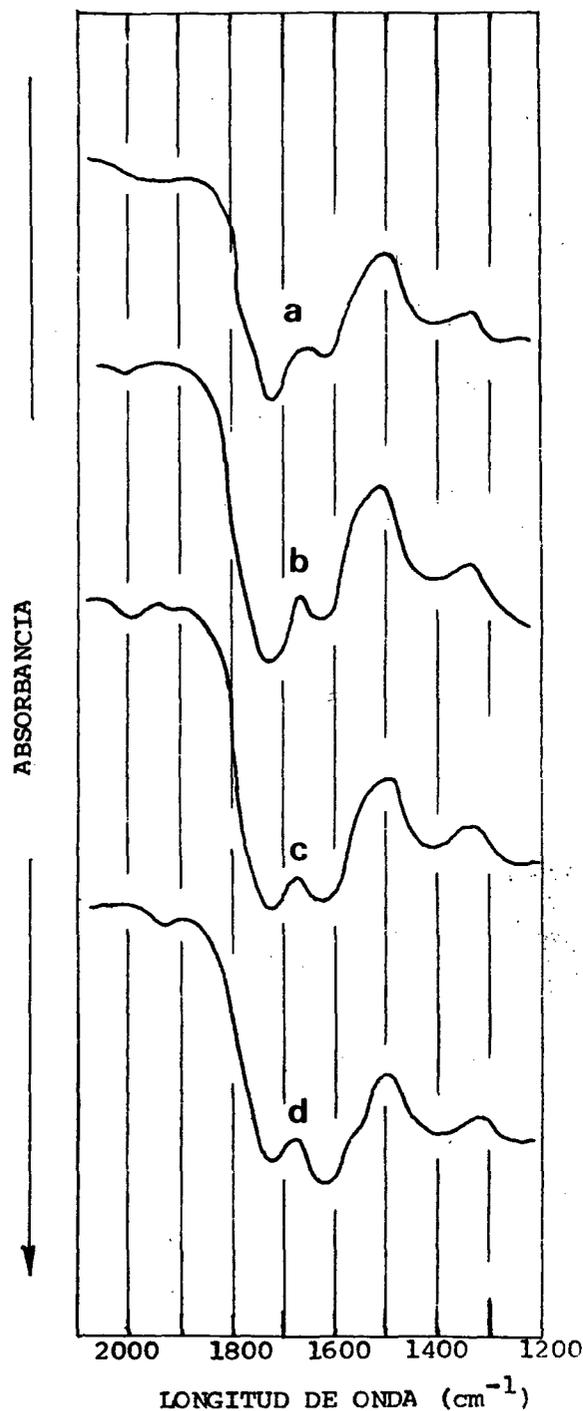


FIGURA 10. Espectros de I.R. de: a) Ac. Fulv. no tratado; b) A.F. Agitado 710 horas con Muscovita; c) A.F. Agitado 710 horas con Flogopita; d) A.F. Agitado 710 horas con Biotita. (Schnitzer y Kodama, 1976)

E. MINERALOGIA DEL K EN COLOMBIA

En lo que concierne estrictamente a la mineralogía del K, es muy poca la información de que se dispone sobre los suelos colombianos, particularmente en el área de la investiga-

ción básica.

En contraste con la escasez de datos mineralógicos, es relativamente grande el volumen de información sobre pruebas regionales de fertilización potásica en los diferentes pisos térmicos del país, en especial en zonas de clima cálido y frío. La mayoría de ensayos sin embargo, suelen planearse tomando como medida de las reservas potásicas originales del suelo el valor del K intercambiable determinado por el método del Acetato de amonio normal y neutro. Con base en este parámetro, y en las respuestas de diversos cultivos a la fertilización con este elemento, se han adoptado en forma muy general para Colombia, los niveles críticos de la Tabla No. 3 (Marín y Gómez, 1966a; Marín, 1971).

Tabla No. 3 Niveles críticos tentativos de K en suelos colombianos

K en el suelo meq./100 g. suelo	Kg de K ₂ O/ha. (Aproximadamente)	Clasificación
Menos de 0.15	Menos de 150	Bajo
de 0.15 a 0.30	de 150 a 300	Medio
más de 0.30	más de 300	Alto

Aunque estos niveles críticos han probado ser de utilidad en algunos casos, diversas experiencias realizadas por el ICA han reducido su vigencia al demostrar que estos límites, y más concretamente el valor del K intercambiable, no siempre representa una medida adecuada de la capacidad de suministro de K de los suelos (Marín y Gómez, 1966a; Marín, 1971). También se ha observado con mucha frecuencia que los suelos contienen más K disponible para las plantas, que el determinado mediante análisis; siendo comunes los casos en que los rendimientos de los cultivos ponen de manifiesto el que las plantas posiblemente utilizan otras formas de K diferentes a la del K intercambiable determinado por el método del NH₄OAc. Algunas experiencias incluso, parecen ratificar los planteamientos de Weber y Caldwell (1965), de que el K no intercambiable puede ser una medida tan buena, y en ocasiones mejor, de la capacidad de suministro y/o restitución de K de los suelos.

Sobre normas para la fertilización potásica en suelos colombianos, Marín y Gómez (1966b) afirman que con pocas excepciones, en la mayoría de los trabajos de fertilidad efectuados por el ICA, se ha encontrado que los suelos contienen suficiente cantidad de K aprovechable. A ello añaden, el que los suelos con cantidades relativamente altas de K aprovechable, contenían también apreciables proporciones de micas y feldespatos. Sobre esta base, al lado de otros factores de tipo agronómico, destacan la necesidad de tomar en cuenta el material parental y la mineralogía de los suelos como un factor básico en la recomendación de fertilizantes potásicos.

La información acumulada en los últimos 15 años en relación con la composición mineralógica de las arenas y arcillas de los suelos colombianos, además de aportar un conocimiento más realista de las reservas potásicas de los suelos, ha permitido explicar para algunas áreas, muchas de las aparentes contradicciones entre las respuestas negativas de los cultivos a la fertilización potásica, y las ínfimas reservas de este elemento diagnosticadas con base en el K intercambiable (IGAC, 1972).

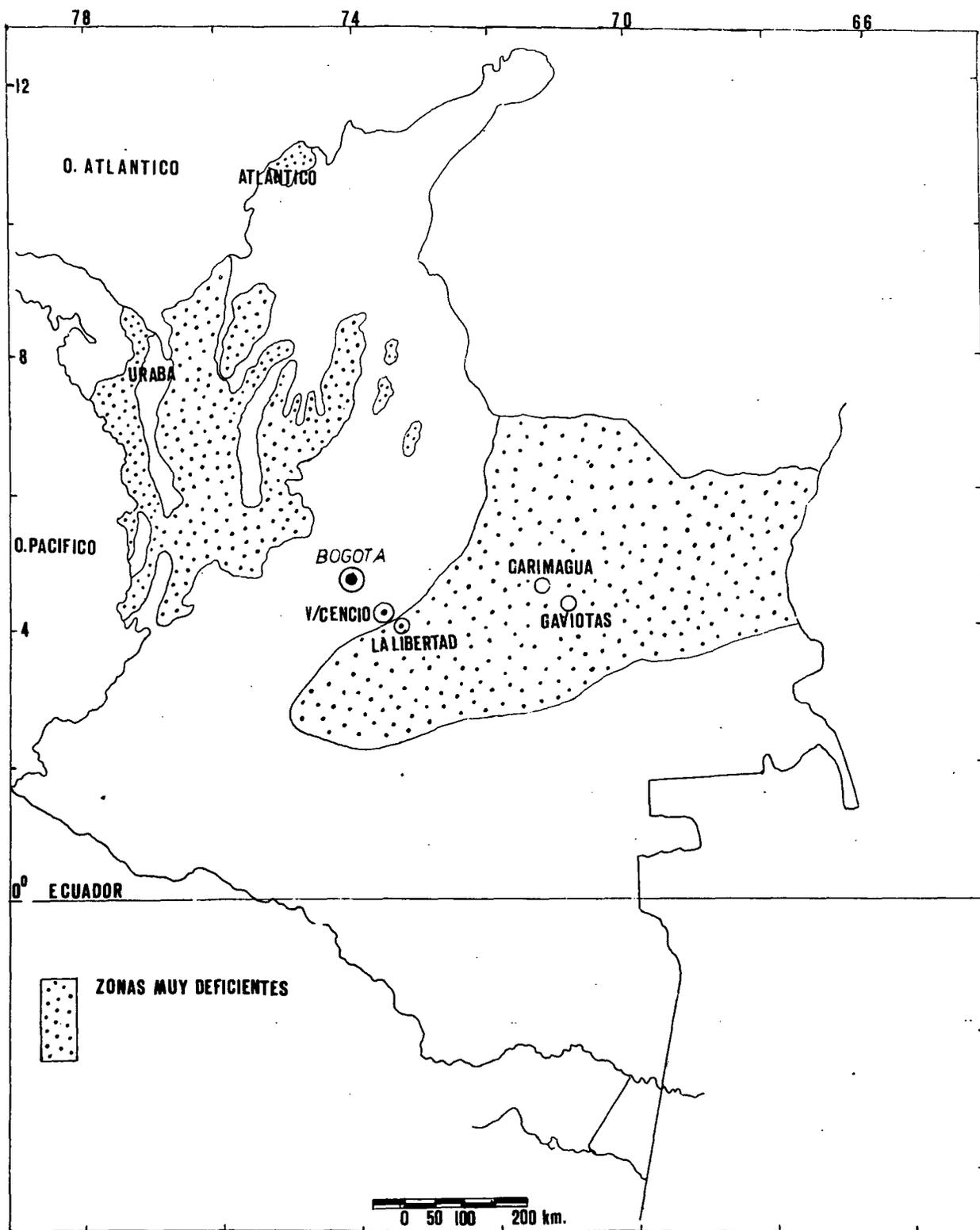
Este tipo de incongruencia, relativamente común en suelos de los Llanos Orientales y de las sabanas brasileñas, ha sido atribuido por Oliveira et al (1971) y por Mejía (1975) a la naturaleza y comportamiento muy peculiares de la fracción arcilla de estos suelos. En ambos casos se trata de suelos con una elevada proporción de clorita aluminica, que aparentemente contienen "corazones o núcleos residuales de micas", parcialmente preservadas por coberturas de coloides, pero cuyo contenido de K podría ser accequible a las plantas. Este hecho determina el que la cantidad de K disponible sea apreciablemente mayor que la extraída por métodos químicos que se basan en períodos de contacto relativamente cortos entre los suelos y las soluciones extractantes.

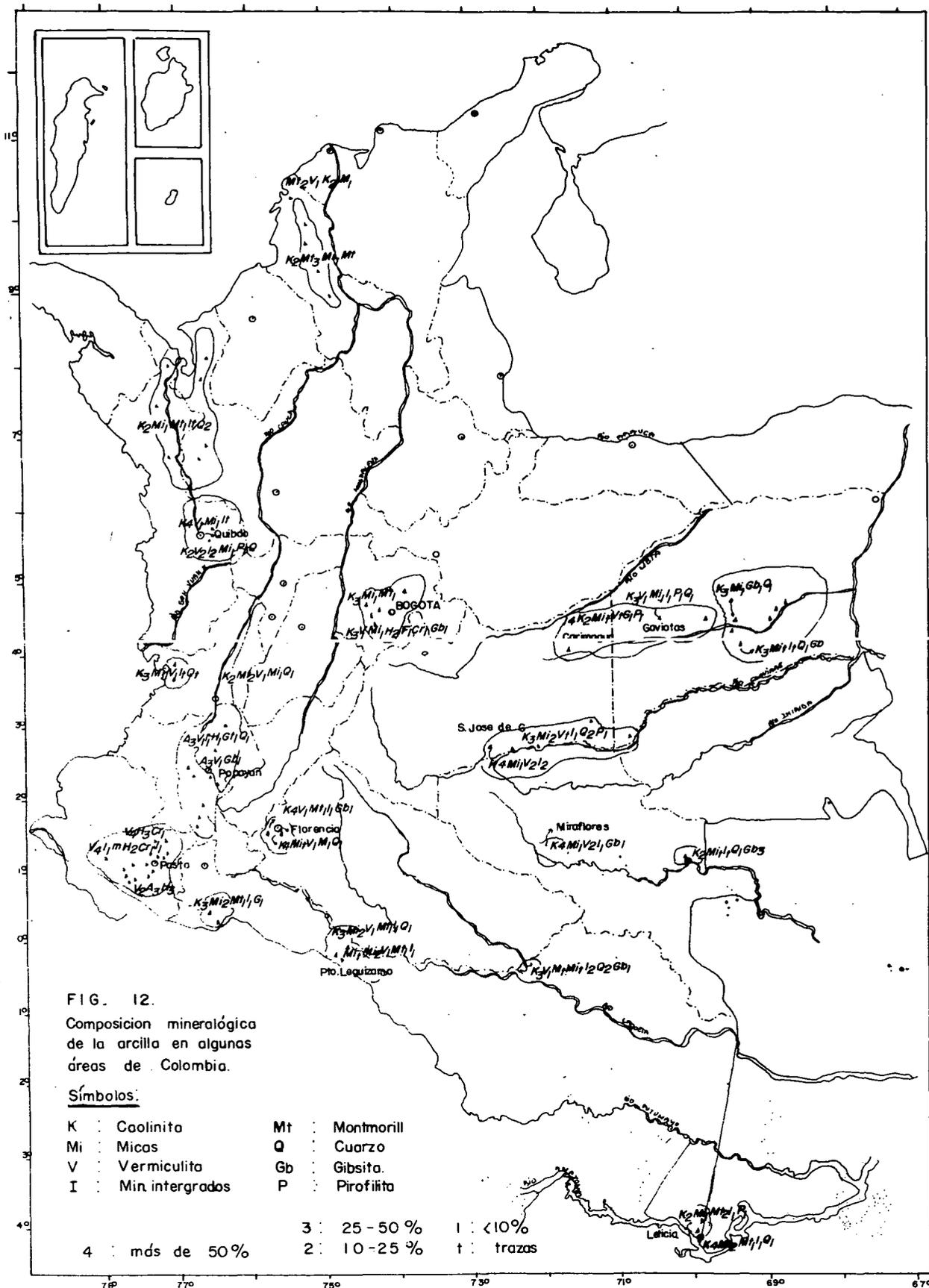
De ser apreciable la explicación anterior, muchas de las inconsistencias a que se ha hecho referencia en suelos del país que poseen proporciones relativamente altas de minerales integrados (2:1 - 2:2), podrían ser explicables con idénticos razonamientos. Las Figs. 11 y 12 ilustran una aparente inconsistencia entre el contenido de minerales fuente de K en la arcilla, y el nivel de K diagnosticado mediante métodos químicos y experiencias de campo. La Fig. 11 muestra áreas del país que de acuerdo con el ICA acusan niveles muy bajos de K disponible (ICA, 1971). La Fig. 12 presenta datos de la composición mineralógica de suelos de las mismas áreas, tomados de diferentes fuentes (Alexander, 1969; Guerrero, 1971; Benavides, 1972; León, 1968; Cortés et al, 1973; Mejía, 1967; 1970; 1974; 1975; Mejía y Camacho, 1976; Luna, 1968; 1973; 1975).

Particularmente en el área de los Llanos Orientales y en el sector noroccidental del país (zona de Urabá y Dpto. del Atlántico y Bolívar), los datos mineralógicos ponen de manifiesto proporciones de minerales que como las micas (Mi), la vermiculita (V), los minerales intergrados (I), o la montmorillonita (Mt), permiten asumir una disponibilidad de K que discrepa notoriamente con los niveles de deficiencia extrema indicados en la Fig. 1

Independientemente de la explicación que pueda darse a estas inconsistencias, de todo lo expuesto hasta aquí resulta evidente el que no solamente en Colombia, sino también a nivel internacional, existen aún muchas incógnitas respecto al papel real de los minerales primarios y secundarios del suelo en la nutrición potásica de las plantas. Sería por tanto deseable que en el futuro se de una mayor aplicación a los adelantos logrados hasta hoy en materia de identificación y cuantificación mineralógica, y que se le reconozca a estas técnicas su valor práctico como medio para incrementar el margen de seguridad en la recomendación de fertilizantes potásicos.

Figura 11. Zonas muy deficientes en Potasio en Colombia. (ICA, 1971).





BIBLIOGRAFIA

- Ahmad, N., and C.E. Davis. 1970. Forms of K fertilizers and soil moisture content on potassium status of a Trinidad soil. *Soil Sci.* 109:121-126.
- Alexander, E.B. 1969. Suelos del Departamento de Bolívar, p. 57-153. In: *Investigaciones de reconocimientos de suelos. Informe al Gobierno de Colombia, FAO, No. AT-2474.*
- Arnold, P.W. 1960. Potassium supplying power of some British soils. *Nature* 187:436-437.
- Arvieu, J.C., et J. Chaussidon. 1964. Etude de la solubilisation acide d'une illite: extraction du potassium et évolution du résidu. *Ann. Agronomique* 15:207-229.
- Attoe, O.J. 1947. Potassium fixation and release in soils occurring under moist and drying conditions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 11:145-149.
- Aubert, G. 1958. La fumure potassique dans les régions subtropiques et tropicales, 351-353p. In: *Compte rendu des discussions. Potassium Symposium, 1958. Intern. Potash Inst., Bern, Switzerland.*
- Barbier, G. 1962. La dynamique du potassium dans le sol., 231-258p. In: *Potassium Symposium, Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.*
- Barshad, I. 1954. Cation exchange in micaceous minerals. II. Replaceability of ammonium and potassium from vermiculite, biotite and montmorillonite. *Soil Sci.* 78:15-30.
- Barshad, I., and F.M. Kishk. 1968. Oxidation of ferrous iron in vermiculite and biotite alters fixation and replaceability of potassium. *Science* 162:1401-1402.
- Basset, W.A. 1959. The origin of the vermiculite deposits at Libby, Montana. *Amer. Mineralogist*, 44:282-289.
- Beckett, P.H.T. 1964a. Studies on soil potassium. I. Confirmation of the ratio law: measurement of potassium potential. *J. Soil. Sci.* 15:1-8.
- Beckett, P.H.T. 1964b. Studies on soil potassium. II. The immediate Q/I relation of labile potassium in the soil. *J. Soil. Sci.* 15:9-23.
- Beckett, P.H.T. 1964c. Specific adsorption sites for K. *Soil Sci.* 97:376-383.
- Beckett, P.H.T. 1971. Potassium potentials. A review. *Potash review* 5: 1-47.
- Beckett, P.H.T. 1972. Critical cation activity ratios. *Adv. Agr.* 24:379-412.
- Beckett, P.H.T., and M.H.M. Nafady. 1967a. The effect of K fixation and release on the form of K: (Ca + Mg) exchange isotherm. *J. Soil Sci.* 18:244-262.
- _____. 1967b. Potassium-calcium exchange equilibria in soils: the location of non-specific (Gapon) and specific exchange sites. *J. Soil Sci.* 18:263-281.
- Benavides, S.T. 1972. Mineralogical and chemical characteristics of some soils of the Amazonia of Colombia. Unpublished Ph.D. Thesis, Department of soil Science, North Carolina State university, Raleigh, N. C.
- Blanchet, R.M. Bosc, and C. Maertens. 1969. Some interactions of cation nutrition and the water supply of plants. Transition from extensive to intensive agriculture with fertilizers. *Int. Potash. Inst. Bern, Switzerland.*
- Bolt, G.H. 1967. Cation exchange equations used in soil science. A review. *Neth. J. Agr. Sci.* 15:31.
- Boyle, J.R., B.L. Sawhney, and G.K. Voight. 1967. Biotite flakes: alteration by chemical and biological treatment. *Science* 155:193-195.
- Boyer, J. 1972. Soil Potassium, 102-135p. In: *Soils of the humid Tropics. Nat. Acad. of Sciences, Washington, D.C.*
- Bray, R.H., and E.E. De Turk. 1939. The release of potassium from non-replaceable forms in Illinois soils. *Soil Sci. Amer. Proc.* 3:101-106.
- Brewer, R. 1964. Fabric and mineral analyser of Soils. *Jalus Wiley & Sons, Inc. New York.*
- Cook, M.G., and C.I. Rich. 1962. Weathering of sodium-potassium mica in soils of the Virginia Piedmont. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26:591-595.
- Cortes, L.A., J. Jiménez, and J.A. Rey. 1973. Genesis, clasificación y aptitud de explotación de algunos suelos de la Orinoquia y la Amazonia colombianas. *Univ. de Bogotá, J.T.L., Bogotá, p. 185.*
- Crompton, E. 1960. The significance of the weathering/leaching ratio in the differentiation of major soil groups, with particular reference to some very strongly leached brown earths of the hills of Britain. *Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci., Madison, V: 406-412.*
- Chaminade, R. 1936. Le rétrogradation du potassium dans les sols. *Ann. Agronomiques*, 5:818-830.
- Chandler, R.F. Jr., M. Peech, and C.W. Chang. 1945. The release of exchangeable and non-exchangeable potassium from different soils upon cropping. *Agron. Jour.* 37:709-721.
- Doll, E.C., and R.E. Lucas. 1973. Testing soils for potassium, calcium, and magnesium, 133-151p. In: *Soil testing and plant analysis. Walsh, L.M. and J.M. Beaton (ed.). Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisc., 491 p.*
- Doll, E.C., M.M. Mortland, K. Lawton, and B.G. Ellis. 1965. Release of potassium from soil fractions during cropping. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29:699-702.
- Eswaran, H., and Y. Yew Heng. 1976. The weathering of biotite in a profile on gneiss in Malaysia. *Geoderma* 16:9-20.
- Fieldes, M., and L.D. Swindale. 1954. Chemical weathering of silicates in soil formation. *N.Z. Jour. Sci. Tech.* 36B:140-154.
- Frissel, M.J., P. Pielstra, and P. Reiniger. 1970. Chromatographic transport through soils; a simulation model for the evaluation of the apparent diffusion coefficient in undisturbed soils with titrated water. *Plant and soil* 33:161-176.
- Frissel, M.J. 1972. Model calculations on the vertical transport of potassium ions in soils, 157-169p. In: *Potassium in soil. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.*
- Gholston, L.E., and C.D. Hoover. 1949. The release of exchangeable and non-exchangeable potassium from several Mississippi and Alabama soils upon continuous cropping. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13:116p.
- Gorbunov, N.I. 1968. Occurrence of clay minerals in soils as related to fertility. 9th. Int. Congr. Soil Sci. *Trans.* III:65-61p. Adelaide, Australia.
- Granger, M.A. 1973. Potassium characteristics, solution, composition and mineral equilibria of selected soils from North Carolina and Guyana. Unpublished Ph.D. Thesis, Department of soil Science, North Carolina State University, Raleigh, N.C.
- Guerrero, R. 1971. Soils of the Colombian Llanos Orientales. Composition and classification of selected profiles. Unpublished Ph.D. Thesis, Department of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh, N.C.
- Hendricks, D.M., and L.D. Whittig. 1968. Andesite weathering. II. Geochemical changes from andesite to saprolite. *J. Soil Sci.* 19:147-153.
- Henin, S., G. Pedro, et M. Robert. 1968. Considerations sur les notions de stabilité et d'instabilité des minéraux en fonction des conditions du milieu. *Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci., Adelaide, III:79-90.*

- Hood, J.T., N.C. Brady; and O.J. Lathwell. 1956. The relationships of water soluble and exchangeable potassium to yield and potassium uptake by ladino clover. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20:228-231.
- Huang, P.M., L.S. Crosson, and D.A. Rennie. 1968. Chemical dynamics of potassium release from potassium minerals common in soils. *Trans. 9th Intern. Congr. Soil Sci.*, Adelaide, 11:705-712.
- Instituto Geográfico "A. Codazzi". 1972. Resultados de ensayos de invernadero en suelos de Gaviotas. Informe interno de Laboratorio de suelos sobre pruebas biológicas, Bogotá, p. 6
- Jackson, M.L. 1956. Soil chemical analysis. Advanced Course, Mimeo published by the Author, Dept. Soil Sci., University of Wisconsin, Madison.
- Jackson, M.L. 1963. Interlayering of expansible layer silicates in soils by chemical weathering. *Proc. 11th Conf. on clays and Clay minerals*. Pergamon Press, 29-46p.
- Jackson, M.L. 1964. Soil clay mineralogical analysis, 245-294p. In: *Soil clay mineralogy*. A symposium. Rich, C.I. and G.W. Kunze (ed.), The University of North Carolina Press, Chapel Hill.
- Jackson, M.L. 1968. Chemical composition of soils, 71-141 p. In: *Chemistry of the soil*. F.E. Bear (ed.), Am. Chem. Soc. Monographs Series, Reinhold Publ. Corp., New York.
- Jackson, M.L., Y. Hseung, R.B. Corey, E.J. Evans, and R.C. Vanden Heuvel. 1952. Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments. II. Chemical weathering of layer silicates. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 16:3-6p.
- Juo, A.S.R., and J.L. White. 1969. Orientation of the dipole moments of hydroxyl groups in oxidized and unoxidized biotite. *Science* 165:804-805.
- Keller, W.D. 1957. Principles of chemical weathering. Lucas Bros. Publ., Columbia, Mo., 111p.
- Kojima, H., and M. Schmitzer. 1972. Dissolution of chlorite minerals by fulvic acid. *Can. Jour. Soil Sci.* 53:240-243.
- Krishnamoorthy, C., and R. Overstreet. 1950. An experimental evaluation of ion exchange relationships. *Soil Sci.* 69:41-53.
- Legg, J.O., and R.L. Beacher. 1952. The potassium supplying power of representative Arkansas soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 16:210-214.
- Leon, A. 1968. Chemistry of some tropical acid soils of Colombia, S.A. Unpublished Ph.D. Thesis, University of California, Riverside, California, University microfilms. Ann. Arbor, Michigan.
- Luebs, R.E., G. Stanford, and A.D. Scott. 1956. Relation of available potassium to soil moisture. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20:45-50.
- Luna, C. 1968. Anotaciones pedológicas sobre algunos andosoles de Antioquia. Instituto Geográfico "A. Codazzi", Dpto. Agrológico, IV(9):153p.
- MacLean, A.J. 1961. Potassium supplying power of some Canadian soils. *Can. Jour. Soil Sci.* 41:196-206.
- Marín, G.M., y J.A. Gómez. 1966a. La interpretación del análisis, 33-44p. In: *Algunos aspectos del análisis de suelos*. Instituto Colombiano Agropecuario. Separata Agr. Tropical XXII (4-8):51p.
- Marín, G.M., y J.A. Gómez. 1966b. Factores que deben tenerse en cuenta al hacer recomendaciones de fertilizantes y cal, 45-51p. In: *Algunos aspectos del análisis de suelos*. Separata de Agr. Tropical XXII (4-8): 51p.
- Marín, G. 1971. La capacidad de intercambio catiónico y las bases de cambio, 71-86p; In: *Interpretación del análisis de suelos y recomendaciones de fertilizantes*. Instituto Colombiano Agropecuario, Programa de suelos, Bogotá, 182p.
- Mejía, L. 1967. Caracterización de una Rendzina y una Terra-rossa de la Costa Atlántica mediante sus características químicas, mineralógicas y micromorfológicas. *Agr. Trop.* XXIII (12):787-804.
- Mejía, L. 1967. Características químicas, físicas, mineralógicas y micromorfológicas de algunos suelos de la Cuenca Alta del Río Bogotá. Clasificación tentativa en la Séptima Aproximación. Informe no publicado, Subdirección Agrológica, Instituto Geográfico "A. Codazzi", Bogotá.
- Mejía, L., J. Köbzi, y J. Pichott. 1970. Clasificación taxonómica de los suelos del Departamento del Atlántico. Informe no publicado, Subdirección Agrológica, Instituto Geográfico "A. Codazzi", Bogotá.
- Mejía, L. 1974. Soils of the Guaviare River flood-plain. A transitional zone between the Amazonia and the Llanos Orientales of Colombia. Unpublished Report, Department of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh, N.C., p.56.
- Mejía, L. 1975. Characteristics of a common soil toposequence of the Llanos Orientales of Colombia. Unpublished M. Sc. Thesis, Department of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh, N.C.
- Mejía, L. y J. Camacho. 1976. Informe preliminar sobre los suelos de la región del Darién. Proyecto Darién Colombia-O.E.A., Medellín, p.174.
- Mengel, K. 1972. Concluding report: Implications and conclusions of recent findings on K nutrition of plants, 201-203p. In: "Potassium in soil". Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Middleburg, H.A. 1955. Potassium in Tropical soils; Indonesian Archipelago. Potassium Symposium, 221-257p. In: *Potassium Symposium, 1955*. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Mortland, M. M. 1961. The dynamic character of potassium release and fixation. *Soil Sci.* 91:11-13.
- Navrot, J., and A. Singer. 1976. Geochemical changes accompanying basic igneous rocks. Clay transition in a humid Mediterranean climate. *Soil Sci.* 121:337-345.
- Newman, A.C.D., and G. Brown. 1966. Chemical changes during the alteration of micas. *Clay minerals*, 6:297-310.
- Nockolds, S.R. 1954. Average chemical composition of some igneous rocks. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 65:1006p.
- Nye, P.H. 1968. Processes in the root environment. *J. Soil Sci.* 19:205-215.
- Nye, P.H. 1972. Localised movement of potassium ions in soil, 75-88p. In: *Potassium in soil*. Intern. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Ojanuga, A.G. 1973. Weathering of biotite in soils of a humid tropical climate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37:644-646.
- Oliveira, V., A.E. Ludwick, and M.T. Beatty. 1971. Potassium removed from some Southern Brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:763-767.
- Page, J.B., and L.D. Bayer. 1940. Ionic size in relation to fixation for cations by colloidal clay. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 4:150-155.
- Pedro, G. 1961. An experimental study on the geochemical weathering of crystalline rocks by water. *Clay Min. Bull.* 26:266-281.
- Pedro, G. 1964. Principes geochimiques de la pedogénes; incidences mineralogiques. *Trans. 8th. Congr. Int. Soil Sci.*, Bucarest, III: 1087-1094.
- Pedro, G. 1973. La pedogénes sous les tropiques humides et la dynamique du potassium, 23-49p. In: *Potassium in tropical tropics and soils*. Proc. 10th Colloquium, Int. Potash Inst., Abidjan.
- Pope, A., and H.B. Cheney. 1957. The potassium supplying power of several Western Oregon soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21:75-79.
- Pratt, P.F. 1951. Potassium removal from Iowa soils by greenhouse and laboratory procedures. *Soil Sci.* 72:107-117.

- Rasmussen, K. 1972. Potash in feldspars, 57-60p. In: Potassium in soil. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Reed, M.G., and R.D. Scott. 1962. Kinetics of potassium release from biotite and muscovite in sodium tetraphenylboron solutions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26:437-440.
- Reichenbach, H. Graf. v. 1972. Factors of mica transformation, 33-42p. In: Potassium in soils. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Reichenbach, H. Graf. v., and C.I. Rich. 1969. Potassium release from muscovite as influenced by particle size. Clays and clay minerals, 17:23-29.
- Reitemeier, R.S. 1951. The chemistry of soil potassium. Adv. Agr. 3:113-159.
- Reitemeier, R.F. et al. 1947. Release of non-exchangeable potassium by greenhouse, Neubauer, and laboratory methods. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12:158-162.
- Rich, C.I. 1964. Effect of cation size and pH on potassium exchange in Nason soils. Soil Sci. 98:100-106.
- Rich, C.I. 1968a. Mineralogy of soil potassium, 79-108p. In: The role of potassium in agriculture, Younts, S.E. and N.C. Brady (ed.), Am. Soc. of Agronomy, Madison, Wisc.
- Rich, C.I. 1968b. Hydroxy interlayers in expandable layer silicates. Clays and clay minerals, 16:15-30.
- Rich, C.I. 1972. Potassium in soil minerals, 15-31p. In: Potassium in soil. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Rich, C.I., and W.R. Black. 1964. Potassium exchange as affected by cation size, pH, and mineral structure. Soil Sci. 97:384-390.
- Robert, M. 1970. Etude experimentale de la désagrégation du granite et de la evolution des micas. Ann. Agron. 21:777-817.
- Ross, G.J., and M. M. Mortland. 1966. A soil beidellite. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:337-343.
- Rouse, R.D., and Bertramson, B.R. 1949. Potassium availability in several Indiana soils: Its nature and methods of evaluation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14:113-122.
- Sanchez Furtado, A. F. A. 1968. Alterations des granites dans les regions intertropicales sous differentes climats. Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci. (Adelaide), Australia, IV:403-409.
- Scott, A.D. 1968. Effect of particle size on interlayer potassium exchange in micas. Trans. 9th Intern. Soil Sci. Soc. Congr. (Adelaide), Australia, II:649-660.
- Schmitz, G.W., and P.F. Pratt. 1953. Exchangeable and non-exchangeable K as indexes to yield increases and K absorption by corn in the greenhouse. Soil Sci. 76:345.
- Schnitzer, M., and S.I.M. Skinner. 1963. Organometallic interactions in soils. 2. Reactions between different forms of iron and aluminum and the organic matter of a podzol Bh horizon. Soil Sci. 96:181-186.
- Schnitzer, M., and E.H. Hansen. 1970. Organometallic interactions in soils. 8. An evaluation of methods for the determination of the stability constants for metal-fulvic acid complexes. Soil Sci. 199:333-340.
- Schnitzer, M., and H. Kodama. 1976. The dissolution of micas by fulvic acid. Geoderma, 15(5):381-391.
- Schofield, R. K. 1947. A ratio law governing the equilibrium of cations in the soil solution. Proc. 11th Int. Congr. Pure Appl. Chem. 3:257-261.
- Schroeder, D. 1974. Relationships between soil potassium and the potassium nutrition of the plant, 53-63p. IN Potassium research and agricultural production. Proc. 10th Int. Congr. Int. Potash Inst., 1974, Budapest Hungary.
- Schuffelen, A.C. 1952. Soil fertility, ion intake, ion activity and ion exchange. Trans. I, Int. Congr. Soil Sci. Soc., Comm. II and IV: 180p.
- Schuffelen, A. C. 1972. The cation exchange system of the soil, 75-88p. In: Potassium in soil. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Segalen, P. 1967. Les sols de la vallée du Noun. Cahiers de l'ORSTOM, Serie Pédologie 5:287-349.
- Singer, A., and T. Navrot. 1970. Diffusion rings in altered basalt. Chem. Geol. 6:31-41.
- Stanford, C., and J.D. DeMent. 1959. A method for measuring short term nutrient absorption by plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23:47-50.
- Sticher, H. 1972. Potassium in allophane and in zeolites., 43-51 p. In: Potassium in soil. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Talibudeen, O. 1972. Exchange of potassium in soils in relation to other cations, 97-110p. In: Potassium in soil. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Taylor, W.H. 1965. Framework silicate: the feldspars, 293-339 p. In: Crystal structure of minerals., Sir Lawrence Bragg, G. Bell & Sons. Ltd., London.
- Torte, R., P. Vidal, L. Jacquimat, J. Fauche, and R. Nicon. 1964. Bilan d'une rotation quadriennale sur sals de régénération au Senegal. Agron. Trap. 29:1033-1072.
- Tynker, P.B. 1964a. Studies on soil potassium. III. Cation activity ratios in acid Nigerian soils. J. Soil Sci. 15:24-34.
- Tynker, P.B. 1964b. Studies on soil potassium. IV. Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertilizer of Nigerian oil palms. J. Soil Sci. 15:35-41.
- Tynker, P.B. 1973. Potassium uptake rates in tropical crops. 117-122p. In: Potassium in tropical crops and soils. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Van Wambecke, A. 1970. Soils studies in tropical Latin America. Part II. Soil fertility. Committee on Tropical Soils, U. S. National Research Council, Washington, D.C., 50p (Multigr.).
- Van Reewijk, L. P., and J. M. de Villiers. 1968. Potassium fixation by amorphous aluminosilica gels. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:238-240.
- Volk, N. J. 1934. The fixation of potash in difficulty available forms in soils. Soil Sci. 37:267-287.
- Wada, K., and Y. Harada. 1969. Effect of salt concentration and cation species on the measured cation exchange capacity of soils and clays. Int. Clay Conf., Japan, 1:561-571.
- Weir, J.I., and J.L. White. 1951. Potassium fixation in clay minerals as related to crystal structure. Soil Sci. 77:1-14.
- Weber, J.B., and A.C. Caldwell. 1965. Potassium supplying power of several Minnesota surface soils and subsoils. Soil Sci. 100:34-43.
- Wedepohl, K.H. 1971. Geochemistry. E. Althans (trad.), Halt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 321p.
- Weir, A.H. 1965. Potassium retention in montmorillonites. Clay minerals, 6:17-22p.
- Wells, C.B., and K. Norrish. 1968. Accelerated rate of release of interlayer potassium from micas. Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci., Adelaide, II: 683-694.
- Wiklander, L. 1954. Forms of potassium in the soil, 109-121p. In: Potassium Symposium, Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Wild, A., D.L. Rowell, and M.A. Ogunfowora. 1969. The activity ratio as a measure of the intensity factor in potassium supply to plants. Soil Sci. 108:432-439.
- Wilson, M.J. 1970. A study of weathering in a soil derived from a biotite hornblende rock. I. Weathering of biotite. Clay minerals, 8:291-303.

Wilson, M.J. 1975. Chemical weathering of some primary rock forming minerals. *Soil Sci.* 119:349-355.

Woodruff, C.M. 1955a. Ionic equilibria between clay and dilute salt solutions. *Soil Soc. Amer. Proc.* 19:36-40.

Woodruff, C.M. 1955b. The energies of replacement of calcium by potassium in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19:167-171.

Woodruff, C.M., and T.L. McIntosh. 1960. Testing soil for potassium. *Proc. 7th Int. Congr. Soil Sci.* 111:80-85.

THE FACTORS OF QUANTITY, CAPACITY AND INTENSITY FOR SOIL POTASSIUM

*Philip Beckett. **

SUMMARY

Once a crop has removed enough K from a soil to reduce the electrochemical potential of potassium (U_K) below a critical value, relative to that (U) of the cation that is most antagonistic to it in that soil, the crop begins to experience potassium deficiency. This difference in electrochemical potentials is measured by $RT \ln \frac{a_K}{x \sqrt{a_x}}$ in the soil

solution. The critical value of $a_K/\sqrt{a_{Ca+Mg}}$ in the solution round plant roots is approx. .00001 - .00002 (M/l)^{1/2}. In a bulked soil sample comprising both depleted and undepleted soil, its critical value is .0005 - .002, and for $a_K/\sqrt{a_{Mg}}$ it is .002 - .005 (M/l)^{1/2}, with an upper critical value of .015 that marks the onset of magnesium deficiency.

The amount of K available before this threshold is reached may be estimated from the "immediate" Q/I relation of a soil of low releasing-power, or from the "prolonged" Q/I relation of a soil of high releasing-power. In a depleted soil fixed K is released at a rate that increases with the difference between the current $a_K/\sqrt{a_{Ca+Mg}}$ of the pool of labile K in the soil and the equilibrium value of $a_K/\sqrt{a_{Ca+Mg}}$ for its pool of fixed K. The value of the latter reflects the prevailing potassium balance in the soil. The pool of fixed K appears to lie in the weathered fringes of the clay crystals.

INTRODUCTION

Once soil physicists had shown that "order was brought into the study of the uptake of water by plants from the soil when the significance of the chemical potential or free energy was recognised" (Schofield, 1955) it was inevitable that soil chemists should look for free energy properties corresponding to pF or suction, quantity/intensity relations corresponding to "moisture characteristic curves", and cut-off points corresponding to "wilting point", for other inorganic plant nutrients. Schofield and Taylor (1955)

re-examined pH, Aslyng (1950, 1954) examined soil phosphate, and Woodruff (1955 a, b, c), Beckett (1958) and Arnold (1962) examined soil potassium. This paper discusses "available" potassium in terms of electrochemical potentials or free energy.

ELECTROCHEMICAL POTENTIALS

The electrochemical potential (U_K) of soil potassium at any locus in the soil represents its free energy per mole, under the conditions prevailing there. It will have the same value in every other locus with which the first is at equilibrium. So far it is exactly analogous to water potential. However, there is the considerable difference that, unlike water, the electrochemical potential of an ionic species such as potassium includes an electrostatic component (U_ϵ), and the magnitude of this depends on the strength (U) of the electrical field in that locus, which is unknown.

Obviously the electrochemical potential or ease of removal labile K ions, all at equilibrium with each other, must be determined by their environment and their form of combination in the part of the soil which holds most of them, which is the inner part of the diffuse layer surrounding the exchange surfaces. But the only relevant property of labile K that is directly measurable (by selective electrodes, or by analysis and correction by activity coefficients (Beckett 1965) is $RTL \ln a_K$ in the free soil solution (e.g. Moss 1969) or in a larger volume of solution in equilibrium with this (e.g. Beckett 1964 a; Tinker 1964 a; Moss and Beckett 1971). This differs from the electrochemical potential of potassium in the free solution by an unknown electrostatic component, which itself differs from the corresponding component for potassium ions in the innermost part of the diffuse layer by an amount ΔU_ϵ which changes whenever irrigation, fertilisation, or leaching by rain alter the electrical potential (ΔU) across the diffuse layer. The difficulty is not avoided by defining the zero of electrical potential to lie in the free solution: this ensures that $RTL \ln a_K$ is an electrochemical potential, but it also ensures that its value changes every time ΔU changes, even if the quantity and form of combination of the majority of the labile potassium ions remain unaltered.

* Soil Science Laboratory, Oxford University.

These problems have been discussed elsewhere (Beckett 1971, 1972) and in short, since the free energy of a single ionic species must contain "a factor depending on the, usually accidentally determined, electrical state of the system" (Guggenheim, 1950; ch.X) we cannot, for soil potassium alone, define a property that corresponds to pF for soil water.

However, "all such indeterminacy disappears in formulae relating to electrically neutral combinations of ions" (Guggenheim, loc. cit.), or to pairs of ions of like charge. Thus the difference between the electrochemical potentials of equivalent quantities of two cations, A and B of valencies a and b, is given by:

$$\frac{1}{a^{u_A}} - \frac{1}{b^{u_B}} = RT \ln \frac{a \sqrt{a} A}{b \sqrt{b} B} + \frac{u^0 A}{a} - \frac{u^0 B}{b} \dots\dots\dots(1)$$

and since this includes no electrostatic terms its value is the same in every part of the soil that is at equilibrium with the labile pool of A and B, regardless of its electrical potential. The u^0 terms represent the electrochemical potentials of A and B in solutions of unit activity and zero electrical potential. So the function (where c and f are concentrations

$$RT \ln \frac{a \sqrt{a} A}{b \sqrt{b} B} = RT \ln \frac{a \sqrt{c} A \cdot f A}{b \sqrt{c} B \cdot f B} = RT \ln AR_{A-B} \dots\dots\dots(2)$$

and activity coefficients) is a definable propertie of a soil in a particular state, that may be determined in the free solution, and measures the difference between two electrochemical potentials relative to the constant difference Δu^0 , where

$$\Delta u^0 = \frac{u^0 A}{a} - \frac{u^0 B}{b} \dots\dots\dots(3)$$

Equation (1) is straight thermodynamics, relating only to free energies; it makes no reference to quantities of A or B, and refers to the concentrations of A and B in solution only insofar as $RT \ln \frac{a \sqrt{c} A}{b \sqrt{c} B}$ is an approximation to the

free energy difference $RT \ln AR_{A-B}$. It clearly indicates that the solution term in any statement of the equilibrium between ions in solution and ions on an exchange surface must be in the form of an activity ratio of the form of $\frac{a \sqrt{a} A}{b \sqrt{b} B}$, as in (2) above.

If we introduce further assumptions, to relate the energy and entropy of exchange of labile A and B ions to the fractions of the charge on the exchange surface that they may be said to balance, then thermodynamics can lead to relations between the relative quantities of the two ions and the difference in their free energy;

$$\epsilon (A_{ex}, B_{ex}) = \frac{1}{a^{u_A}} - \frac{1}{b^{u_B}} \dots\dots\dots(4)$$

(where A_{ex} and B_{ex} are the fractions of the surface charge balanced by each species, or simple functions of these).

Most derivations of this kind assume implicitly that the environments of the "exchangeable ions" they describe are adequately described by their relative amounts, and make no allowance for the possibility that a change in the thickness of the diffuse layer might so alter the densities of

cations and anions round them that $(\frac{1}{a} u_A - \frac{1}{b} u_B)$

might be altered even while $\epsilon (A_{ex}, B_{ex})$ remained constant. Fortunately, Schofield (1947) inferred that the ionic environment of most of the pool of exchangeable cations would be unaffected by considerable changes in the total concentration of the free solution, provided the exchange surface carried a comfortable excess of negative charges, and Bolt's (1955 a) expression predicts that the effects will be small over the usual range of concentrations. This has proved to be so for concentrations up to .05 M (Beckett 1964 a; 1971, pp 9-10), or up to .005 - .01 for soils with a significant proportion of positive charges (e.g. Sumner and Marques, 1968). So we may usually assume a particular soil with a particular complement of exchangeable A and B, will show a unique value of AR_{A-B} .

Combinations of equation (1) and (4) produce exchange equations (e.g. Thomas 1977) which vary mainly in the form of the exchange term (4) and in the extent to which their proponents failed to exclude from A_{ex} and B_{ex} ions that, though exchangeable to strong solutions of ammonium acetate, were not in equilibrium with the soil solution. Gapon's equation (6), in its simplest form,

$$\frac{A_{ex}}{B_{ex}} = K \frac{a \sqrt{a} A}{b \sqrt{b} B} \dots\dots\dots(6)$$

corresponds to Bolt's (1955 a) derivation from double-layer theory. The exchange constant K comprises $RT \ln \Delta u^0$, as well as various expressions of non-ideal (Bolt 1955 b) or specific affinities (Bolt et al. 1963; Beckett 1964 c).

In many circumstances the rate of uptake of K or other cations, or their concentrations in the xylem sap (e.g. Bowling and Weatherley 1964), stand in simple relation to their concentrations or activities in the solution round the roots. But;

- i) $RT \ln AR_{A-B}$ only measures the electrochemical potential of A relative to that of B which is also variable;
- ii) some cations are taken up (or excluded) by active and some taken up by passive processes;
- iii) the plasmalemma between solution and cytoplasm shows marked selectivity for some cations (notably K) against others;
- iv) this selectivity varies with the concentrations and proportions of the ions passing (e.g. Pitman 1965 a, b; Johansen, Edwards and Loneragan 1968; Laties 1969) and the total ionic flux;
- v) the total flux is affected by many other factors, etc.

In view of these and of other complex interactions it seems unlikely that we can assume any generally applicable relation between the tissue concentration or yield of a plant and any activity ratios in the solution round its roots, though such relations will describe particular circumstances, (e.g. Arnold, Tunney and Hunter 1968).

CRITICAL OR CUT-OFF POINTS

However, it is well established that plant deficiencies in one element are often associated with excesses of another. It is likely that the critical situation, where the antagonism

of X is just sufficient to cause the uptake and translocation of C to be insufficient, may correspond to a critical value of AR_{C-X} , and *vice versa*. X, the cation in the denominator of the most critical activity ratio will depend on the environment. In Britain it is likely to be Mg, or perhaps Ca on calcareous soils (we have found it convenient to treat (Ca + Mg) as one element, called D) but it may prove to be (Al)⁺⁺⁺ in leached tropical soils (e.g. Tinker 1964 b, Beckett and Nafady 1969 a).

To explore this possibility I collected all the information then available on extension trials in Britain involving potassium or magnesium (Beckett 1972). This produced two sets of data, one for potassium and magnesium on a range of crops, and the second for potassium on grass. Both sets of trials covered several districts in England and Wales. After harvest, soil samples were collected from the control treatments and $AR_{K-Mg} = \frac{aK}{\sqrt{Mg}}$ was determined in each.

While the values of this ratio did not divide the trials exactly according to their potassium or magnesium responses, they did so better than the potassium or magnesium concentrations in the soil solutions of the control soils, and revealed the general pattern:

if AR_{K-Mg} in the soil of the control treatment had risen above .015 by harvest then the control crop had shown symptoms of magnesium deficiency and/or parallel treatments with added magnesium had shown increased yields;

if AR_{K-Mg} in the soil of the control treatment had fallen below .003 by harvest then the corresponding potassium treatments had given increased yields;

if $.015 > AR_{K-Mg} > .003$ then the potassium or magnesium treatments had produced small or insignificant effects.

Note that the activity ratios were determined at the end of the growing period – the critical values must not be passed if the growing crop is not to experience deficiencies.

I also collected published work on trials in solution, pot or field, (Beckett 1972) for which it was possible to calculate AR_{K-Mg} , or $AR_{K-D} = \frac{aK}{\sqrt{Ca + Mg}}$, for soil

or solution at the end of the growth period. I divided them into groups according to how far K additions in parallel pots or plots had increased yield and/or reduced symptoms of K deficiency. This brief description oversimplifies many inconsistencies in the data. Nevertheless, there was a rough consensus over many species and circumstances, that if the activity ratios of a bulked soil sample from pot or field had fallen below $AR_{K-D} = .0005 - .002$ or $AR_{K-Mg} = .002 - .005 (M/l)^{1/2}$ by the end of the growth period, the crop would have responded to added K. Subsequently, Fergus et al. (1972) reported a corresponding value of .002 for setaria in Queensland soils. The activity ratio of a bulked soil sample is inflated by the undepleted soil in it, and the corresponding critical ratios for solution trials were smaller, e.g. $AR_{K-D} = .00003$ and perhaps $AR_{K-Mg} = .00001$.

In a different context Nye (1977) has collected values of the lowest potassium concentration at which plant

growth is not reduced by an insufficiency of potassium. His median value is $3 \times 10^{-6} M$, which, in the $10^{-4} M$ concentration of calcium and magnesium normal to the soil solution, gives an AR_{K-D} of .00003.

These are very tentative results, but I believe it will be more useful to ascertain critical values of AR_{K-X} , where X is the cation most appropriate to particular environments, than to seek complex relations between plant tissue concentrations and activity ratios in the soil solution that are likely to have only limited applicability.

Q/I RELATIONS

If then a crop begins to experience potassium stress once it has to acquire its potassium from a solution with AR_{K-D} below its critical value (AR_U in Fig. 1), where AR_0 is AR_{K-D} for the undepleted soil, then Q_U represents the amount of labile potassium that is available to the plant (Fergus et al. 1972; Beckett 1972). Its magnitude depends on the form of the Q/I relation between AR_{K-D} and Q_K the quantity of labile potassium in the soil.

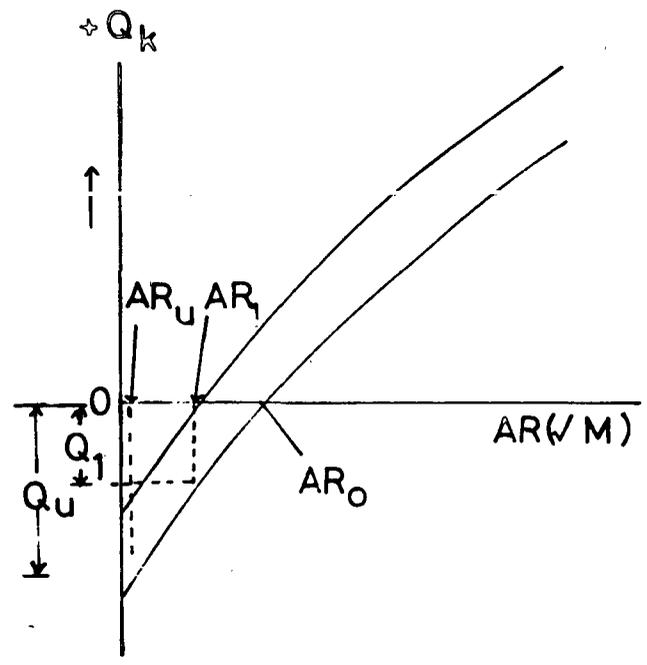


FIGURA 1. Q/I relation between Q_K , the quantity of labile potassium, and AR_{K-X} , where X is the cation most nearly antagonistic to potassium. AR_0 is its initial value, AR_1 its value after removal of a quantity Q_1 of labile K, and AR_U its lower critical value. Q_U therefore is the quantity of "available" potassium in the labile pool.

Fig. 2 presents this relation for a set of four soils. Fig. 2 (a) relates AR_{K-D} to the quantities of labile potassium and labile (calcium + magnesium) as in the basic exchange equation (6). Since this presents a ratio of quantities ($K_{ex}/(Ca + Mg)_{ex}$) and not the quantities themselves its form is independent of the extent of the exchange surfaces,

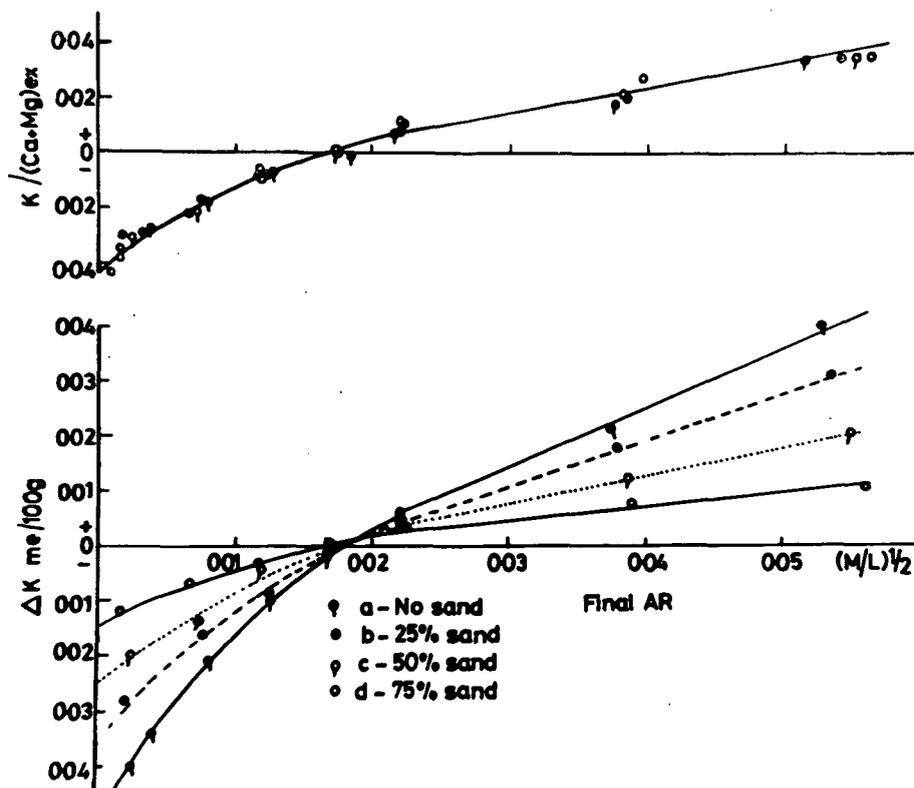


FIGURE 2. Immediate exchange equilibria of potassium against (Ca and Mg) in an Upper Greensand soil, diluted with 0, 25, 50 and 75% sand, (a) expressed as in the Gapon equation, (b) expressed as a Q/I relation. (Soil Sci. 103, 413).

even over a 4:1 range, though it does depend on their nature (e.g. Moss 1967; Beckett and Nafady 1968) in the same way as the exchange constant in the Gapon equation.

$Q_{Cu + Mg}$ considerably exceeds Q_K in most British soils, so it is relatively little changed by the gains and losses of labile potassium that commonly occur in field soils, and a graph of Q_K against AR_{K-D} differs from Fig. 2a only by a nearly constant factor.

It is difficult to bring a field soil to a state of $Q_K = 0$, and it usually leads to the release of potassium from non-labile forms, so instead of measuring $Q_K = 0$ for that soil it is easier to measure it relative to the amount present in the soil sample as collected. $\pm \Delta K$ is then the amount by which Q_K is greater or less than in the soil sample. Q_K and ΔK are quantities, not ratios, so when the data of Fig. 2a is replotted against ΔK in Fig. 2b, the forms of the Q/I relations and their gradients depend directly on the extent of the exchange surfaces. As expected the soil with the least extensive exchange surface is the most weakly buffered and shows large changes in AR_{K-D} for small changes in Q_K .

Equilibrium is achieved very rapidly within the labile pool of exchangeable and solution potassium (Beckett and Craig, 1964) so the graphs of Figs. 2, 3, 4 and 6 were all determined after very short (approx. 30 minutes) periods of equilibration and they describe the immediate adjustments of these soils to small gains and losses of labile

potassium. The procedures have been described elsewhere (Beckett 1964 b; Beckett and Craig 1964; Moss 1969): they involve nothing more than shaking replicate samples of the soil in solutions of KCl and $CaCl_2$, that produce a range of values of AR_{K-D} , in order to ascertain by interpolation the value of AR_{K-D} with which the soil is in equilibrium.

Nearly all the Q/I relations so far published have the general form of Fig. 3, with a curved lower part and a nearly linear upper part. The upper part is well described by the Gapon equation (Beckett 1964 c). Its gradient, as above, depends on the extent and nature of the exchange surfaces and, for soils of equal clay content, increases with their Cec (Beckett and Nafady 1968). It is reduced when part of the charge on the exchange surfaces is blocked by tightly held cations such as CTAB (Fig. 4c) and usually increases on the removal of organic matter by peroxide treatment (Beckett and Nafady 1968). Provided the exchange surfaces are free of amphoteric cations the gradient of the upper part is independent of pH (Fig. 4 a), but it decreases as increases in exchangeable aluminium (Beckett and Nafady, 1967 b) neutralise part of the fixed charge on the exchange surfaces, and increases with a rise in pH (Fig. 5) that reduces the number of positive charges carried by the aluminium (Beckett 1964 b).

Removal of relatively large quantities of interlayer potassium (equivalent to 100 years cropping by an arable-ley rotation) from an illite by treatment with sodium

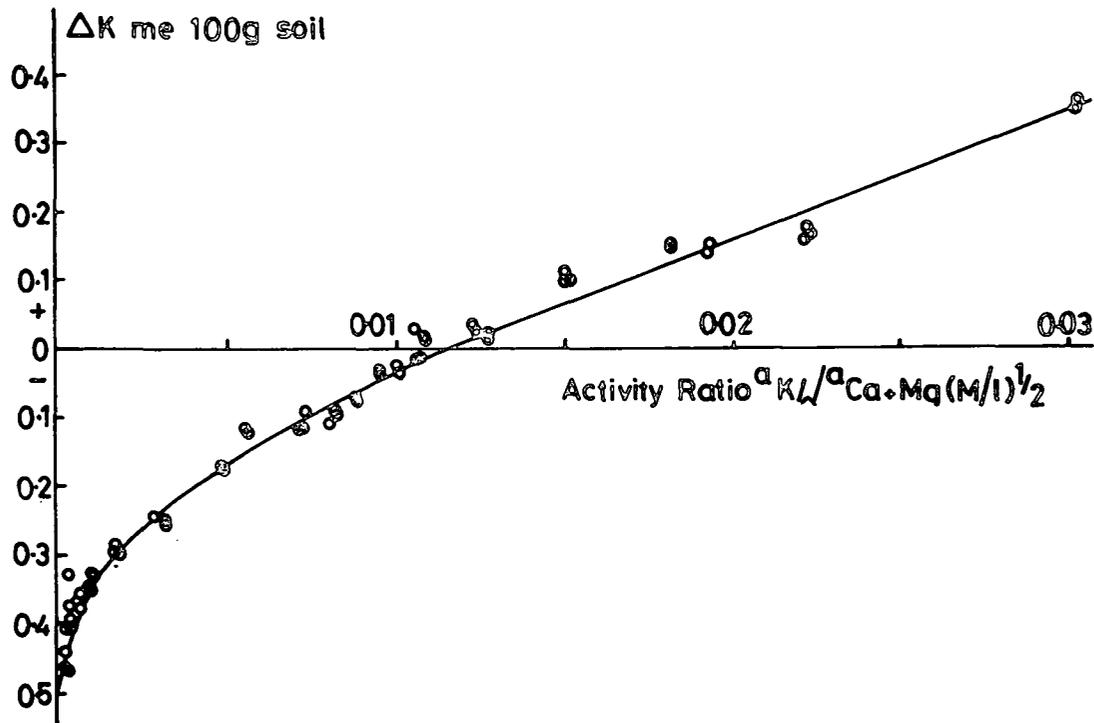


FIGURE 3. The "immediate" Q/I relation of potassium against (Ca and Mg) for a Lower Greensand soil. (J. Soil Sci. 15, 11).

tetraphenylboron caused a substantial increase in the gradient of the upper part of its immediate Q/I relation (Fig. 6: Beckett and Nafady 1967 c), presumably became of the exposure of new surfaces. The Q/I relations of the expanded and the unexpanded clays were unaffected by small additions of labile potassium. Similarly the release or fixation of potassium induced in soils from Broadbalk field at Rothamsted by long term (over 100 years) cropping or fertilisation has increased or decreased the gradients of their immediate Q/I relations (Beckett and Nafady 1969). Some of the increased surfaces became re-occluded on treatment with $M. CaCl_2$.

On the other hand, marked fixation of potassium from added KCl , or release of potassium into $M. CaCl_2$ solutions (equivalent to 5–20 years cropping), in several soil caused no change in their immediate Q/I relations (Beckett and Nafady 1967 a) nor did the shaking of the soils of Fig. 9 in solutions with AR_{K-D} ten to one hundred times greater than their own (Matthews and Beckett 1962).

The curved lower portions of Q/I relations may also be described by Gapon equations in which relatively higher exchange constants denote higher and more specific affinities for potassium (e.g. Bolt et al. 1963; Beckett 1964 c). The sites holding this part of the labile pool of the exchangeable potassium have been attributed to the expanded interlayers on the weathering edges of clay crystals on which, perhaps, freshly exposed surfaces show a higher charge density than those exposed for longer. K_x , the quantity of potassium necessary to saturate these sites, increases on treatment of the soil with sodium

hexametaphosphate to block positive edge-charges on clay crystals (Fig. 4 b), or on a rise in pH to increase negative edge-charges (Fig. 4 a), and it is unaffected by adsorption of CTAB on the main exchange surfaces (Fig. 4 c), (Beckett and Nafady 1967 b). It is fair to add that Ross, Fergus and Martin (1972) challenge some of this data, while agreeing with the conclusion.

The presentation of Q_K as ΔK has a purely geometrical result that can cause confusion. Imagine that a quantity Q_1 of potassium has been removed from the soil of Fig. 1, to reduce AR_{K-D} from AR_0 to AR_1 . When the immediate Q/I relation of the depleted soil is determined, its reference state $\Delta K = 0$ will have been lowered by Q_1 so, if the new Q/I relation is now plotted on the same axes as the old, the new Q/I relation will appear to have been raised by Q_1 relative to the old. This can be seen in Fig. 6 (compare curve a with b, and c with d). Numerous trials have demonstrated that enrichment or depletion, and fertilisation or cropping of separate samples of the same soil, produces series of parallel Q/I relations (e.g. Beckett and Craig 1966; Beckett, Craig, Nafady and Watson 1966; Moss 1967; Beckett and Nafady 1967 a, c; Le Roux and Sumner 1968 a, b; Beckett and Clement 1973).

All these comments relate to an immediate Q/I relation measured over a short period of equilibration, in order to describe the immediate response of the electrochemical potential of labile potassium, in the soil as it now is, to small changes in its content of labile potassium. As indicated, the immediate Q/I relation of a cropped soil is usually similar if not identical to its immediate Q/I relation

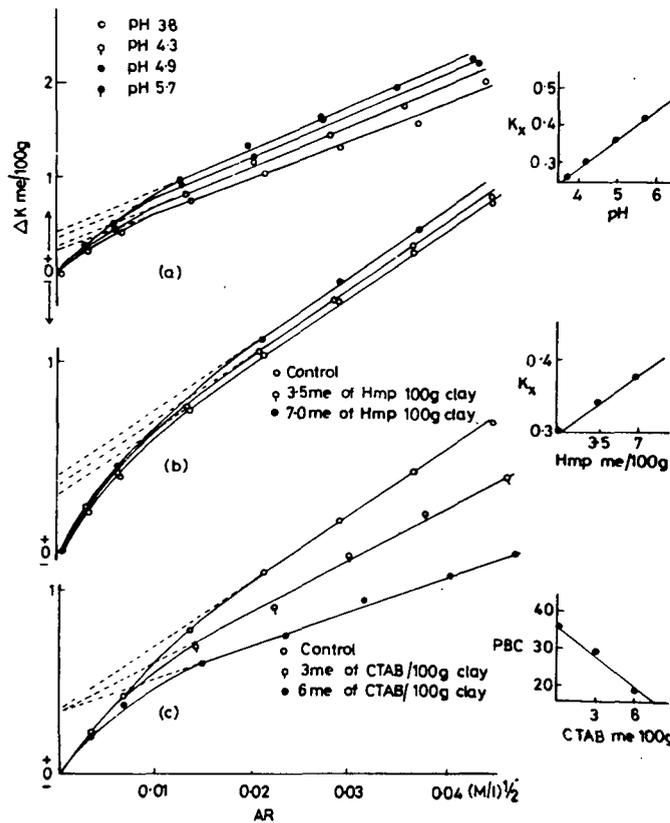


FIGURE 4. Immediate Q/I relations of an Upper Lias soil washed free of exchangeable aluminium by $M. CaCl_2$ at pH 3.5:

- (a) at different pH.
 (b) with added hexametaphosphate to block positive edge-charges.
 (c) with added CTAB, equivalent to 7 1/2 and 15.0% of CEC, to block parts of the exchange surfaces.

K_x is the quantity of exchangeable potassium to saturate the sites described by the curved portions of the Q/I relation: PBC is the gradient of its linear part. (J. Soil Sci. 18, 272).

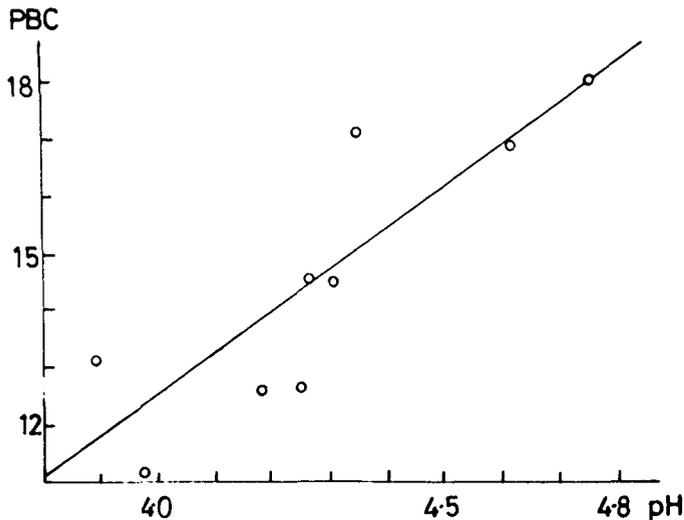


FIGURE 5. For an acid soil, on Beaufort shale in Notal, the gradient of the linear part of the immediate Q/I relation (in (me/100 g soil) / (M/l)^{1/2}) increases with pH. (J. Soil. Sci. 15, 21).

before cropping. We infer from this that the nature and extent of its exchange surfaces have been unaffected by cropping, or by any release of interlayer potassium. Conversely, when the form of the immediate Q/I relation is modified by cropping we infer that the character or the extent of the exchange surfaces have been altered. Thus, when Le Roux and Sumner (1968 b) and Ross, Fergus and Martin (1972) report a steepening of immediate Q/I relations, or an increase in their K_x , on the intense cropping of soils with a capacity for releasing interlayer potassium, we infer that new exchange surfaces have been made accessible as a result of potassium release.

POTASSIUM RELEASE AND FIXATION

If samples of a soil are shaken for extended periods in solutions with AR_{K-D} greater or less than their own, the "prolonged" Q/I relation produced will differ from the immediate Q/I relation of the same soil to the extent that the samples have fixed or released potassium (Fig. 7: Matthews and Beckett 1962). Fig. 8a compares the Q/I relations determined after 30 minutes and 30 days equilibration of two samples of each of four soil series (Beckett and Nafady, 1968) and Fig. 8b estimates the quantities of potassium fixed or released during the 30 days.

The change in the Q/I relation on prolonged equilibration is the geometric result of transfers of potassium to and from the pool of labile potassium. It does not imply that the exchange surfaces of the soil have been altered. Indeed the immediate Q/I relations of samples of the soils of Fig. 9 (below) that had undergone their prolonged leaching were the same as those of the original soils.

The soils of Fig. 8 had been brought to a nearly homoionic Ca form by prolonged leaching with $M. CaCl_2$ at pH 3.5, and stored for 30 days in distilled water before their Q/I relations were determined, so that their equilibrium AR_{K-D} values (AR_0) had been reduced to zero or nearly so, but had risen by the start of this experiment in proportion to their capacities for releasing potassium (Table 1). The quantities of potassium released during the prolonged Q/I determination are in proportion to the rise in AR_0 during the preceding 30 days storage. Soils of the Harwell series are well known for high potassium release, which is apparent in Fig. 8b. The Wantage soils have released less, and the others have released none. The immediate and prolonged Q/I relations for each soil intersect at a value of AR_{K-D} , which we may call AR_0^F , at which it neither releases nor fixes potassium. The rate of their fixation or release increases in proportion as the AR_{K-D} of the solution is more or less than AR_0^F . Fig. 9 shows the same effect, that the rate of fixation or release by a soil depends on how far the AR_{K-D} in the solution differs from AR_0^F for the soil. We may visualise a process of slow equilibration between a pool of fixed potassium, in which the electrochemical potentials of potassium and its complementary cations (U_K^F and U_C^F) are determined by their proportions and their immediate environment, and a pool of labile cations (Beckett 1963). The driving force of this slow equilibration is the difference

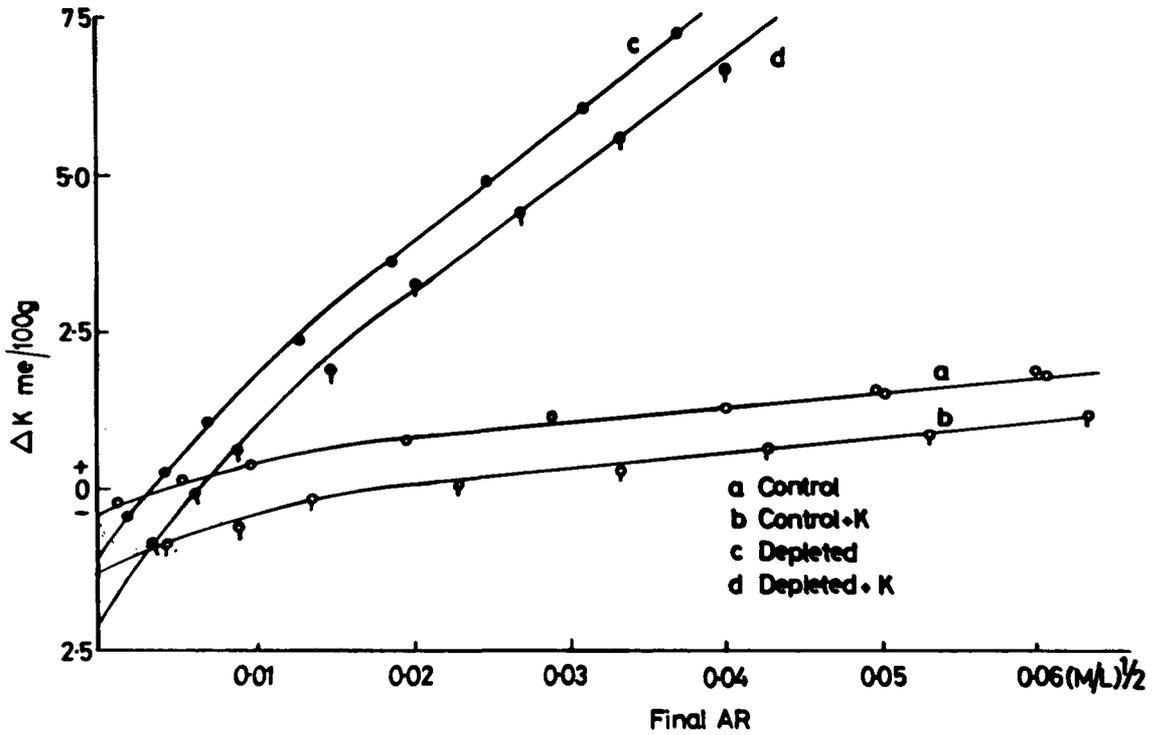
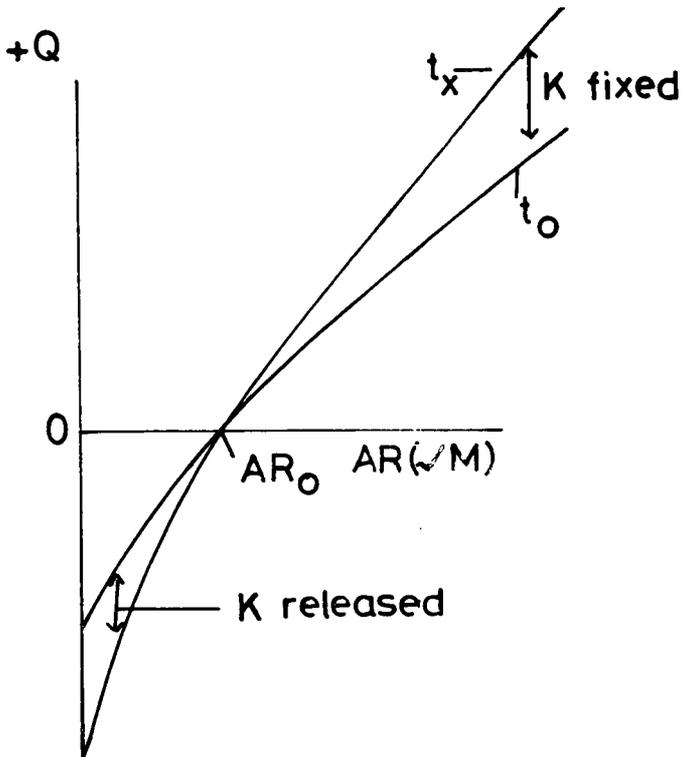


FIGURE 6. Immediate Q/I relations of Morris illite:
 a) Control, washed with M. CaCl₂ at pH 3.5
 b) Control, with addition of 1 me K/100 g clay
 c) Control, depleted of 24.5 me interlayer K/100 g clay, by treatment with N. Sodium tetraphenyl boron in M. CaCl₂
 d) Depleted clay with addition of 1 me K/100 g clay. (Soil Sci. 103. 412).



$$i_K^F - \frac{1}{2}u_D^F - (u_K - \frac{1}{2}u_D) = RT \ln \frac{AR_0^F}{AR_0} \dots\dots\dots(6)$$

Each of the soils in Fig. 9 had been stored for several years, presumably long enough for its pools of fixed and abile potassium to have achieved internal equilibrium, so it is hardly surprising that their AR_0^F and AR_0 values are equal. This is also the case in Fig. 10.

We need not assume that all the interlayer cations in the clay fraction of any soil are included in its pool of fixed potassium. The fixed pool probably occupies only a small part of the partially expanded, and perhaps re-occluded, fringes of weathering clay crystals, or a small number of preferentially expanded interlayers. Thus Fig. 10 presents the quantities of potassium released or fixed over 60 days by soil samples of identical mineralogy from potassium-depleted and potassium-enriched plots on Broadbalk field.

FIGURE 7. Q/I relations determined over short (t_0) and long (t_x) periods. The difference represents the extra potassium that the soil has taken up (fixed) or lost (released) during the period $t_x - t_0$ at each value of AR. The immediate and "prolonged" Q/I relations intersect in a solution of activity ratio AR_0^F with which the soil neither fixes nor releases potassium. In this case $AR_0^F = AR_0$.

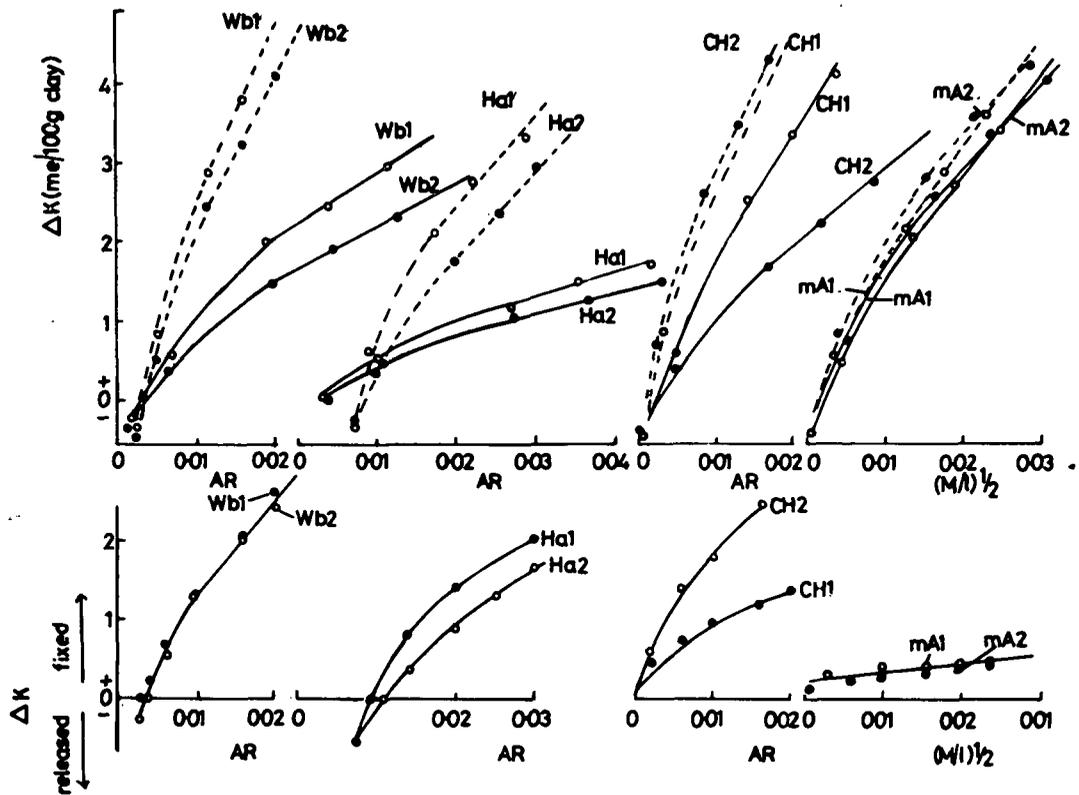
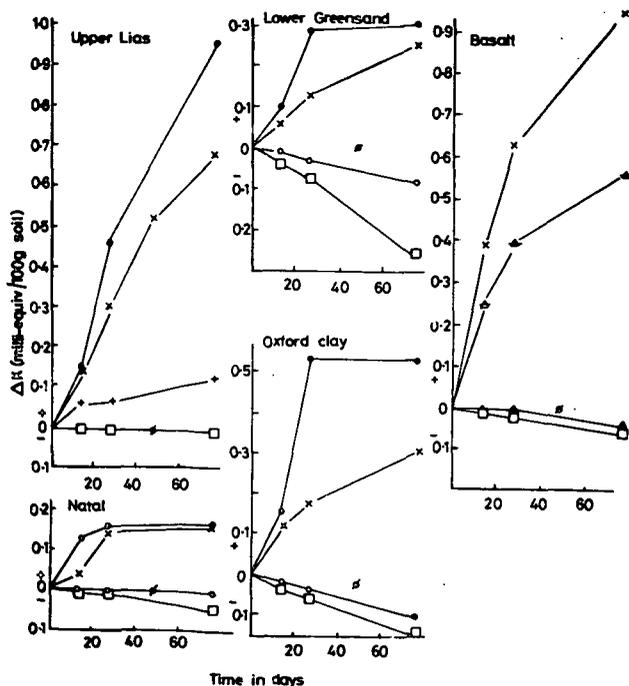


FIGURE 8. (a) A/I relations determined over 30 minutes () and 30 days () on samples of Wantage (Wb), Harwell (Ha), Challow (CH) and Marcham (MA) series. The samples had been converted to the homo-ionic Ca form and stored in distilled water for one month before hand. (b) The quantities of potassium fixed or released over 30 days. (J. Soil Sci. 19, 228).



Their widely different AR_0^F values clearly reflect the potassium history of the plots, but there is no change in their clay mineralogy. Similarly for soil samples from adjacent plots in a grassland trial at Hurley there was a strong correlation between the AR_{K-D} to which each soil was buffered by its fixed pool and its total gain or loss of potassium by cropping and fertilisation in the four previous years (Beckett and Clement 1973). Interlayers and edges that have only just weathered enough to expand, must be liable to recurrent expansion and contraction during the few years after first expansion, and the proportions of potassium and other ions that become entrapped and control into AR_0^F must reflect the prevailing levels in the soil. Certainly, in soils of low releasing-power, the pool of fixed potassium is finite; after repeated leaching with M.

FIGURE 9. Release and fixation over 76 days (ΔK + or -) of potassium from soils that had achieved internal equilibrium during prolonged storage in to solutions of AR_{K-D} : .10; X 0.5; - .03; O .006; + .005; Δ .001; □ 0 (M/l) $^{1/2}$. The AR_0^F for each soil are: Lower Greensand .012; Oxford Clay .0105; Natal (Beaufort shade) .007; Upper Lias .004; "Basalt" ("intra-basaltic laterite, Ulster") .0025. (J. Agric. Sci. 58, 62).

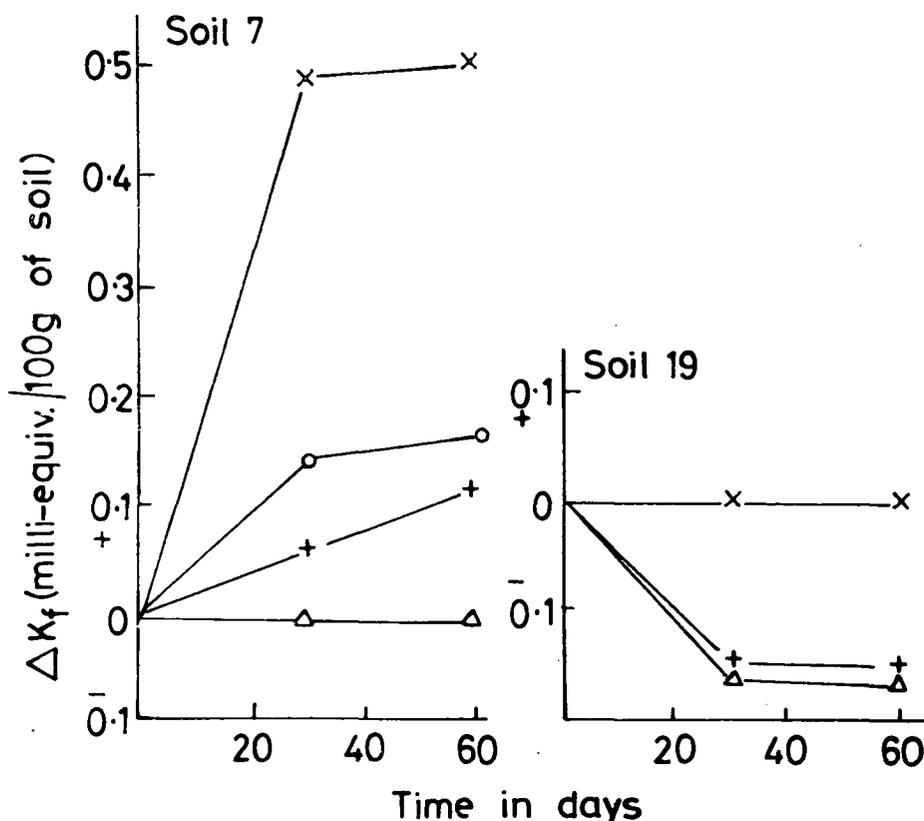


FIGURE 10. Release and fixation (ΔK + or -) by samples from heavily depleted (soil 7; AR_Q .0015) and heavily enriched (soil 19; AR_Q .0145) soils from Broadbalk field, Rothamsted, into solutions of AR_{K-D} , X .05; + .008; Δ .001 (M/l)^{1/2} (J. Agric. Sci. 58, 64).

$CaCl_2$ the low-release Challow and Marcham soils had lost any capacity to release potassium though (Table 1; Fig. 8b) the fixing capacity of the Challow soils remained as great or greater than that of the Harwell soils. Presumably the contrast between Marcham and Challow soils reflects a difference in their clay mineralogy.

It is not easy to produce more direct evidence than this for the existence or nature of pools of fixed potassium. I have summarised the available evidence elsewhere (Beckett 1968, 1970). It is likely that the magnitude of the fixed pool will be greatest in soils with a high content of illite/vermiculite clays that have been strongly weathered, or have undergone many cycles of weathering and replenishment: the AR_Q^F of the fixed pool (large or small) will be lowest where the average accretions of potassium by weathering or other means least nearly equals the annual demands on the labile soil potassium.

POTASSIUM UPTAKE

In a soil with a limited capacity for potassium release, or with a low AR_Q^F we can predict the potassium "available" to a crop from the initial AR_{K-D} for the soil and its Q/I relation as in Fig. 1 (e.g. Le Roux and Sumner, 1968; Fergus et al. 1972). We may expect that AR_{K-D} for the exhausted soil will be least where the intensity of cropping is greatest or the volume of soil cropped is least. If it falls below its lower critical value before the end of the growth

period, then the crop will suffer from potassium deficiency (Beckett 1972).

If the soil is capable of potassium release, then AR_{K-D} in the cropped soil will not be pulled down to such a low value, and the crop will contain more potassium than is predicted from its immediate Q/I relation. Potassium release is likely to be greatest where the depletion is most intense. In principle this extra uptake may be determined from a "prolonged" Q/I relation, determined over a period comparable to the average duration of the depletion of each volume in the soil (which will be shorter than the duration of cropping) as in Fig. 11 which shows the quantities of labile and fixed potassium taken up from the soil of Fig. 1 on depletion to AR_1 and AR_U . This approach is illustrated by Beckett and Clement (1973), but their data was insufficient to prove or disprove it.

ACKNOWLEDGEMENT

This short paper attempts to synthesise the work of friends and collaborators over many years: I am grateful to them for their cooperation. I am extremely grateful to the Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo for the invitation to present it, and for financial support, and to the editors of the Journal of Soil Science, Soil Science, and the Journal of Agricultural Science for permission to reproduce figures.

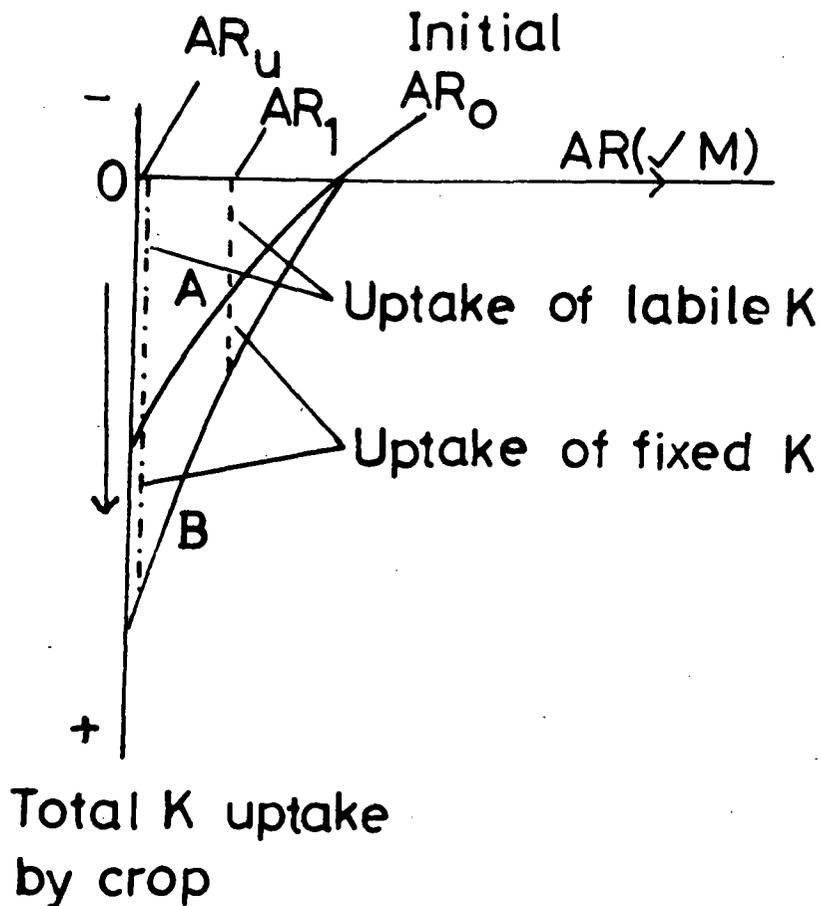


FIGURE 11. Total potassium uptake from a potassium-releasing soil by a crop on reducing the activity ratio of a bulked soil sample first to AR_1 and then to AR_U , is given by the prolonged Q/I relation. The proportions of the potassium removed from labile and fixed forms depends on the relative gradients of the immediate (A) and prolonged (B) Q/I relations).

Table 1
EQUILIBRIUM ACTIVITY RATIOS, AR_{K-D} IN $(M/1)^{1/2}$

Series	Challow (CH)	Marcham (MA)	Wantage (Wb)	Harwell (Ha)
AR_0 of field samples	.0001	.003	.009	.016
AR_0 of samples immediately after repeated leaching with M. CaC ₁₂	0	0	0	0
AR_0 of same samples after 30 days storage	0	0	.0015	.003
AR_0^F of same samples, 30 days later	0	0	.003	.01

(Beckett and Nafady, 1968).

REFERENCES

- Arnold, P.W. 1962. The potassium status of some English soils considered as a problem of energy relationships. Proc. No. 72. Fertiliser Soc., London.
- Arnold, P.W., H. Tunney, F. Hunter. 1968. Potassium status: soil measurements and crop performance. Trans. 9th Int. Cong. Soil Sci., 2 613-20.
- Aslyng, H.C. 1950. The lime and phosphoric acid potentials of soils, their determination and practical application. Ph.D. thesis, London University.
- 1954. The lime and phosphate potentials of soils. Roy. Vet. Agr. Coll., Copenhagen, 1.
- Beckett, P.H.T. 1958. Studies on mobile ions in the soil. D.Phil. thesis. Oxford University.
- 1964a. Confirmation of the ratio law: measurement of potassium potential. J. Soil Sci. 15, 1-B.
- 1964b. The "immediate" Q/I relations of labile potassium in the soil. J. Soil Sci. 15, 9-23.
- 1964c. Potassium-calcium exchange equilibria in soils: specific adsorption sites for potassium. Soil Sci. 97, 376-83.
- 1965. Activity coefficients for studies on soil potassium. Agrochimica, 9, 150-4.
- 1968. Residual potassium and magnesium. in Tech. Bull. No. 20, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London.
- 1970. Fixed potassium and the residual effects of potassium fertilisers. Potash Rev. 52nd. suite.
- 1971. Potassium potentials: a review. Potash Rev. 30th suite.
- 1972. Critical cation activity ratios. Adv. in Agron. 24, 379-412.
- 1963. Potassium potentials. In Tech. Bull. No. 14, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London.
- Beckett, P.H.T. & C.R. Clement. 1973. Potassium activity ratios and the uptake of potassium by rye grass in the field. J. Soil Sci. 24, 82-93.
- Beckett, P.H.T. & J.B. Craig. 1964. The determination of potassium potentials. Trans. 8th Int. Congr. Soil Sci. 3, 249-56.
- Beckett, P.H.T., J.B. Craig, M.H.M. Nafady & J.O. Watson, 1966. The stability of Q/I relations. P1. Soil, 25, 435-55.
- & M.H. Nafady. 1967a. The effect of potassium fixation and release on the form of the K: Ca + Mg exchange isotherm. J. Soil Sci. 18, 244-62.
- 1967b. Potassium-calcium exchange equilibria in soils: the location of non-specific (Gapon) and specific exchange sites. J. Soil Sci. 18, 263-81.
- 1967c. The effect of potassium release and fixation on the ion-exchange properties of illite. Soil Sci. 103, 410-6.
- 1968. A study of soil series: their correlation with the intensity and capacity factors of soil potassium. J. Soil Sci. 19, 216-36.
- 1969a. The significance of cation activity ratios. Agrochimica 13, 469-77.
- 1969b. The effects of prolonged cropping on the exchange surfaces of the clays of Broadbalk field. J. Soil Sci., 20, 1-10.
- Bolt, G.H. 1955a. Ion adsorption by clays. Soil Sci. 79, 267-76.
- 1955b. Analysis of the validity of the Gouy-Chapman theory of the electric double layer. J. Coll. Sci. 10, 200.
- Bolt, G.H., R.E. Sumner, A. Kamphorst. 1963. A study of the equilibria between three categories of potassium in an illitic soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27, 294-99.
- Bowling, D.J.F. & P.E. Weatherley. 1964. Potassium uptake and transport in roots of *Ricinus communis*. J. exp. Bot. 15, 413-21.
- Fergus, I.F., A.E. Martin, I.P. Little, & K.P. Haydock. 1972. The Q/I relation and other parameters compared with plant uptake of potassium. Aust. J. Soil Res. 10, 95-111.
- Guggenheim, E.A. 1950. Thermodynamics: an advanced treatment for chemists and physicists. North-Holland Publishing Co., Amsterdam.
- Johansen, C., D.G. Edwards & J.F. Loneragen. 1968. Effects of calcium and potassium concentrations on potassium absorption. P1 Physiol. 43, 1722-6.
- Laties, G.G. 1969. Dual mechanisms of salt uptake in relation to compartmentation and long distance transport. Ann. Rev. pl. Physiol. 20, 89-116.
- Le Roux, J. & M.E. Sumner. 1968a. Labile potassium in soils: factors affecting the Q/I parameters. Soil Sci. 106, 35-41.
- 1968b. Effect of fertilisation and nutrient uptake on the potassium status of soils. Soil Sci. 106 331-3.
- Matthews, N.B. & P.H.T. Beckett. 1962. A new procedure for studying the release and fixation of potassium ion in soil. J. agric. Sci. (Cam.) 58 59-64.
- Moss P. 1967. Independence of soil Q/I relationships of changes in exchangeable potassium: similar potassium exchange constants for soils within a soil type. Soil Sci. 103, 196-201.
- 1969. A comparison of potassium activity ratios derived from equilibration procedures and from measurements on displaced soil solution. J. Soil Sci. 20, 297-306.
- Moss, P. & P.H.T. Beckett. 1971. Sources of errors in the determination of soil potassium activity ratios by the Q/I procedure. J. Soil Sci. 22, 514-36.
- Nye, P.H. 1977. The rate-limiting stage in nutrient absorption from the soil. Soil Sci. 123, 292-6.
- Pitman, M.G. 1965a. Sodium and potassium uptake by seedlings of *Hordeum vulgare*. Aust. J. Biol. Sci. 18, 10-24.
- 1965b. Transpiration and the selective uptake of potassium by barley seedlings (*Hordeum vulgare*). Aust. J. Biol. Sci. 18, 987-98.
- Ross, P.J., I.F. Fergus & A.E. Martin. 1972. Studies in soil potassium: theoretical model of the Q/I relationship. Aust. J. soil Res. 10, 81-93.
- Schofield, R.K. 1947. A ratio law governing the equilibrium of cations in the soil solution. Proc. 11th Int. Congr. Pure Appl. Chem. 3, 257-61.
- 1955. Can a precise meaning be give to "available" soil-phosphorus? Soils Fertil. 18, 363-5.
- Schofield, R.K. & A.W. Taylor. 1955. Measurements of the activities of bases in soils. J. Soil Sci. 6, 135-46.
- Sumner, M.E., & J.M. Marques, 1968. Applicability of Schofield's Ratio Law to a ferralitic clay. Agrochimica 12, 191-5.
- Thomas, G.W. 1977. Historical developments in soil chemistry: ion exchange. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 41, 230-38.
- Tinker, P.B. 1964a. Cation activity ratios in acid Nigerian soils. J. Soil Sci. 15, 24-34.
- 1965b. Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertiliser of Nigerian oil palms. J. Soil Sci. 15, 35.
- Woodruff, C.M. 1955a. Ionic equilibria between clay and dilute salt solutions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19, 36-40.
- 1955b. Cation activity in the soil solution and energies of cation exchanges. *ibid.* 19, 98-99.
- 1955c. The energies of replacement of calcium by potassium in soils. *ibid.* 19, 167-71.

THE INTERACTION OF POTASSIUM WITH OTHER IONS IN SOILS AND PLANTS

Noble R. Usherwood, Ph.D.¹

I. INTRODUCTION

The interaction of potassium with other ions has been the subject of many research programs and several literature reviews. From such work has evolved a better understanding of the complex nature of cation interactions and the importance of nutrient balance to crop production.

Several reviewers have developed manuscripts which differ in approach and vary in depth of specialized subject matter. The review by Munson (28) identifies major interactions and their relevance to plant development. Research findings by Coic and Lesaint (8) provide an understanding of the equilibrium between potassium and other cations in higher plants. The review by Evans and Sorger (14) deals with the role of univalent cations and provides some insight on physiological interactions. Talibudeen (32) presents a thermodynamic assessment of potassium exchange in relation to other cations within the soil system. Grimme, Nemeth and Braunschweig (18) identify factors which regulate potassium availability in soils. Boyer (4) provides an understanding of the fundamental equilibria among cations in tropical soils. And, in addition, many other workers report on selected interactions of potassium with magnesium, calcium, ammonium, sodium, zinc, aluminum, phosphorus, etc.

It would seem that with such a vast reservoir of information the answers to nearly all problems should be available. Unfortunately such a level of agronomic understanding is yet in the future.

It is the intent of this paper to focus attention upon those interactions which are believed significant to potassium for tropical soils.

II. INTERACTIONS AMONG IONS

Interactions among cations in soils and crops have been recognized for decades. Webster (35) provides a very simple definition of an interaction. This time-honored reference states simply that an interaction is the "mutual or reciprocal action or influence". For purposes of this paper, a definition might be considered, such as, a mutual or reciprocal influence of one or more ions upon the chemical and/or physiological function of another ion.

Element concentrations utilized in the study of interactions are most often expressed in terms of chemical equivalents. This is understandable since ion absorption and translocation by plants is on a chemical equivalent basis. The following factors convert percentage concentrations to milliequivalents of the ion per 100 grams (28).

Magnesium (Mg)	82.24	Aluminum (Al)	111.23
Calcium (ca)	49.90	Manganese (Mn)	36.42
Sodium (Na)	43.50	Iron (fe)	35.81
Potassium (K)	25.57	Zinc (Zn)	30.59

(i.e. 20/o X 25.57 = 51.14 meq. 100 g)

Nineteen elements are believed to be associated with interactions influencing plant growth (28). However, all are not directly associated with potassium nutrition. Those ions interacting with potassium include potassium with nitrogen (both NH_4^+ and NO_3^-), calcium, magnesium, sodium, aluminum and zinc. Other ions such as boron, manganese, cesium, rubidium and iron are involved to a lesser extent.

Evaluation of interactions has been accomplished using many different techniques and parameters. Crop yield measurements are standard. Crop quality parameters evaluating nutrition and disease, protein composition, etc. could be used on a wider scale. Soil and plant tissue analysis are widely utilized by research workers in the measure of nutrient interactions in plant systems.

Interpretation of nutrient interaction research data is sometimes difficult. A part of this difficulty can be traced to uncontrollable factors. For example, Table 1 illustrates the variation in elemental analysis of a coffee tree during a one year period (30). When compared with critical levels for each nutrient, one finds that for many of the elements the concentration ranges from inadequate to adequate. Such experimental results illustrate that factors other than moisture stress and macronutrient applications can also be responsible for fluctuations in plant nutrient composition.

Table 1. VARIATION IN NUTRIENT CONTENT OF COFFEE LEAVES DURING A ONE YEAR PERIOD (30)

	FERTILIZED	FERTILIZED & IRRIGATED (meq. / 100 g.)	CRIT. LEVEL
N	2.48 - 3.20	2.30 - 3.30	2.80
P	0.08 - 0.14	0.08 - 0.14	0.08
K	2.60 - 2.95	2.59 - 3.02	2.20
Ca	1.18 - 1.85	1.20 - 1.86	1.40
Mg	0.45 - 0.66	0.49 - 0.60	0.55

III. POTASSIUM INTERACTIONS IN SOILS AND PLANTS

Potassium interactions with other ions reflect changes in nutrient availability to plants and/or alterations in the function of ions in the physiological development of plants. One key function of potassium is that of enzyme activation.

Evans and Sorger (14) have listed many enzyme systems

1. Director, Latin American program for Potash/Phosphate Institute. Prepared for presentation at Fifth Soil Colloquium, Colombian Soil Science Society, Bogotá, September 26-30, 1977.

or enzymes for which potassium serves as the univalent cation affecting enzyme activity. Other univalent cations such as rubidium (Rb), ammonium (NH_4), sodium (Na), cesium (Cs) and lithium (Li) also serve as co-factors for specific enzyme systems. In most instances, however, potassium serves as either the sole cation involved or as the cation with the highest effectiveness of activation. Univalent cation interactions involving potassium would either inhibit or lower the effectiveness of enzyme system activation.

NITROGEN interacts with potassium as the ammonium ion (NH_4^+) and as the nitrate ion (NO_3^-). Since one is a cation and the other an anion, quite different modes of action would be expected.

Welch and Scott (37) studied the effect of the ammonium form of nitrogen on absorption of non-exchangeable potassium by corn. The reduced absorption of potassium was attributed to the action of ammonium in preventing the release of potassium located between the clay lattice layers.

Table 2. The effect of ammonium on the absorption of non-exchangeable potassium by corn (37).

$\text{NH}_4\text{-N}$	Applied per 100 g. of soil	Non-exchangeable K absorbed	
		Marshall Soil	Clarion Soil
		(mg. of K/100 g. soil)	
0		21.8	5.2
10		16.4	4.7
25		11.6	3.5
50		4.9	0.9
100		0.1	0.0

Blair, Miller and Mitchell (2) reported no significant reduction in potassium or sodium content of 14-day-old corn plants due to the application of ammonium form of nitrogen. However, both magnesium and calcium content were significantly changed.

Table 3. The influence of N source on cation content of 14-day-old corn grown in constant flow culture solution.

Plant Part	N Source	K	Ca (meq./100 h. D.M.)	Mg	Na
Tops	NH_4	188.5	15.0	39.7	3.0
	NO_3	211.4	25.0	33.5	3.2
Roots	NH_4	142.3	3.8	23.8	14.8
	NO_3	136.7	16.3	51.1	13.3

Claassen and Wilcox (6) studied the influence of potassium, ammonium and nitrate on the absorption of magnesium and calcium by corn. As shown in Table 4, potassium

fertilization decreased the calcium and magnesium level for plants receiving nitrate nitrogen. Under conditions of ammonium nitrogen fertilization, potassium had no effect upon the calcium and magnesium content of corn.

Table 4. EFFECT OF NITROGEN AND POTASSIUM ON THE CATION CONTENT OF 33-DAY-OLD CORN (6).

		SAND			SILT LOAM		
		K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
		-----o/o-----			-----o/o-----		
0	$\text{NO}_3\text{-N}$	3.79	0.86	0.32	1.83	0.78	0.71
50		4.51	0.79	0.27	2.62	0.66	0.57
100		4.99	0.71	0.24	3.48	0.62	0.44
0	$\text{NH}_4\text{-N}$	2.98	0.67	0.20	1.95	0.50	0.33
50		3.43	0.63	0.19	2.54	0.45	0.33
100		3.66	0.69	0.18	3.13	0.47	0.30

Some anions, such as nitrates, are subject to transformations in plants which significantly influence the balance between anions and cations. As Coic and Lesaint (8) point out in Table 5, the large difference in cation content of corn and tomato plants is due in part to the site of nitrate reduction. For tomatoes a large part of nitrate reduction occurs in the leaves while the major site for reduction in corn is in the roots.

As anions are transported to leaves, an equivalent concentration of cations is also transported. For tomatoes, anion-cation transport to the leaves is non-specific for calcium, magnesium or potassium. In the case of corn, nitrate reduction occurrence in the root results in translocation of organic nitrogen compound which, according to Coic and Lesaint (8), show some selectivity for potassium more so than for magnesium and calcium. Consequently, potassium transport interactions develop as a result of site of nitrate reduction.

Table 5. EFFECT OF AMMONIUM AND NITRATE NITROGEN ON THE NUTRIENT CONTENT OF CORN AND TOMATO (8).

		K	Ca	Mg	Total
		---- (meq. /100 g. - leaf) ----			
CORN	$\text{NO}_3\text{-N}$	13.1	6.2	5.2	24.5
TOMATO	"	10.8	33.0	11.4	55.2
CORN	$\text{NH}_4\text{-N}$	13.1	4.0	3.3	20.4
TOMATO	"	8.3	5.3	3.9	17.5

A study of the effect of nitrogen on potassium and total cation content of various plant parts is presented in Table 6.

Nitrate nitrogen deficiency resulted in both a lower concentration of potassium and a lower total cation content in leaves of tobacco. This is in agreement with the tomato and corn findings since much of the nitrate is reduced in the leaves of tobacco.

Table 6. EFFECT OF NITROGEN DEFICIENCY ON THE CATION CONTENT OF TOBACCO LEAVES. (8)

	YOUNG LEAVES		OLD LEAVES	
	K	Total Cations (meg./100 g. D.M.)	K	T. Cations
ADEQUATE N	104.5	239.9	145.0	416.9
DEFICIENT N	75.2	160.8	89.2	264.2

The interaction of nitrogen and potassium has been evaluated with respect to grain yield, dry matter production, as well as with parameters such as disease resistance or crop quality. For example, lodging of corn as a result of the nutritional interaction between nitrogen and potassium is well documented (22, 31). As illustrated in Table 7, both the incidence of lodging and yield increased with the application of nitrogen. With the application of potassium, lodging declined and grain yield was advanced to a higher level. In this instance, nitrogen fertilization stimulated production to the level where potassium became a limiting factor. Under conditions of adequate nitrogen and inadequate potassium the

plants were more susceptible to stalk rot organisms and subsequent lodging.

Table 7. EFFECT OF NITROGEN AND POTASSIUM ON YIELD AND STALK BREAKAGE OF CORN.

K APPLIED (Kg. / Ha.)	NITROGEN (Kg. / ha.)		
	0	90	180
	YIELD (Kg./ha)		
0	3,010	2,070	2,385
75	4,580	7,280	7,470
150	3,705	7,660	8,100
	STALK BREAKAGE (o/o)		
0	9	57	59
75	4	3	8
150	4	4	4

Nitrogen and potassium interactions are of importance with respect to efficiency of fertilizer use. Figure 1 shows why balanced nitrogen and potassium fertilization is so important. Corn yield response to applied nitrogen is reflected in the response curves as potassium requirements were provided (33).

Nitrogen fertilization of non-leguminous plants stimulates vegetative growth and boosts the total plant requirement for potassium (3, 15). Gomez (16) published nutrient absorption and grain yield data for corn treated with different rates of nitrogen. (Table 8) In this instance nitrogen fertilization increased plant uptake of potassium by 62 percent.

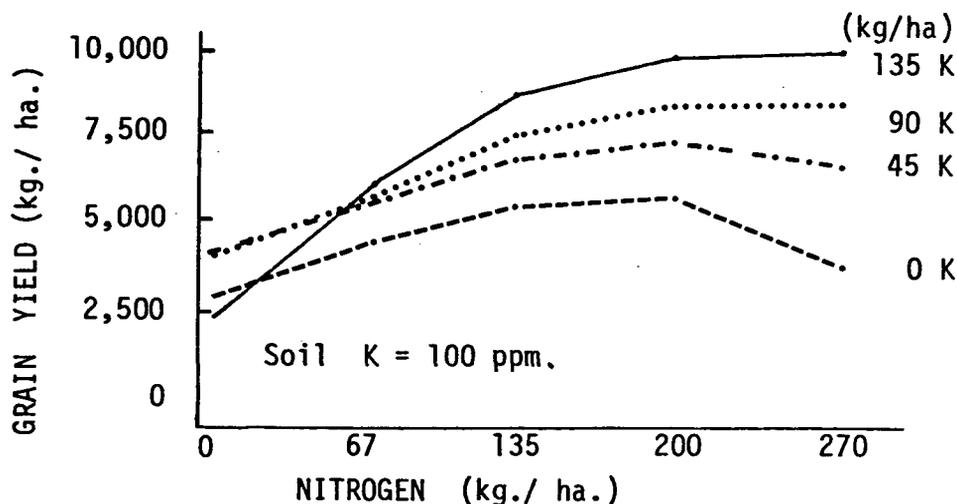


Figure 1.
EFFECT OF POTASSIUM FERTILIZATION ON
CORN RESPONSE TO NITROGEN.

Table 8. THE INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZATION UPON YIELD AND NUTRIENT UPTAKE BY CORN (DIACOL H-205).

	120 Kg. N/ha.	No Nitrogen
N	155 Kg/ha.	80 Kg/ha.
P ₂ O ₅	54	35
K ₂ O	73	45
Ca	7.7	4.9
Mg	15.6	11.6
Grain Yield (Kg/ha)	10,000	6,000

CALCIUM interactions with potassium would appear likely for those soils deficient in both nutrients. Minotti, Williams, and Jackson (27) found that calcium deficiency in wheat seedlings curtailed the absorption of both potassium and nitrate nitrogen.

Results from a survey of the relationship between type of native vegetation in central Brazil and the native soil fertility level are presented in Table 9. In this study Lopez (25) found that exchangeable calcium, magnesium and potassium were below the accepted critical levels for each of the four "cerrado" type vegetation groups. The percent aluminum saturation exceeded the desired level for all vegetation groupings. Consequently, liming programs designed to neutralize exchangeable aluminum would also contribute to yield through supplying calcium as required nutrient. Kamprath (20) determined that caliza rates required to neutralize exchangeable aluminum would at the same time provide the calcium requirements for corn, cotton and soybeans.

Table 9. RELATIONSHIP BETWEEN NATURAL SOIL FERTILITY AND NATIVE VEGETATION IN THE "CERRADO" OF BRAZIL, (25)

SOIL TEST (Meq./100 g.)	CAMPO				
	Limpio	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Forest
CALCIUM (1.5)*	0.20a	0.33ab	0.45b	0.69c	1.50d
MAGNESIUM (0.5)*	0.06	0.13a	0.21b	0.38c	0.55d
POTASSIUM (0.15)*	0.08a	0.10ab	0.11b	0.13b	0.17c
ALUMINUM	0.74a	0.63a	0.66a	0.61a	0.78a
Eff. CEC	1.08a	1.19a	1.43b	1.81c	3.00d
Al SATURATION (o/o)	66	58b	54b	44c	40c
Ca + Mg/K (native)	3.2	4.6	6.0	8.3	12.0
Ca + Mg/K (limed)	25.0	20.0	18.2	15.4	12.0

* Accepted critical level of soil test service, Minas Gerais.

The desired Ca/K and Ca+Mg/K ratios in soils and crops are not well correlated. Studies with corn showed that the K/Ca ratio varied with source and rate of applied nitrogen (34). As grain yield increased the K/Ca ratio increased while the Ca+Mg/K ratio of the plant tissue decreased. For this study, the ratio of Ca+Mg/K in the soil was 9.3.

Table 10. THE EFFECT OF N SOURCES AND RATES ON CORN YIELD AND CATION RELATIONS. (34)

Nitrogen rate	Corn grain yield kg/ha	N/K(o/o)	Cation sum			Ca+Mg K
			meq/100g	K/Ca	K/Mg	
Control	4,782	.50	88.1	2.34	3.53	0.71
Ammonium Sulfate						
45	6,972	.42	108.4	2.87	5.95	0.52
90	9,024	.69	99.7	3.47	5.90	0.46
180	10,028	.78	98.9	3.87	5.92	0.43
Ammonium Nitrate						
45	6,721	.53	101.7	2.51	4.47	0.62
90	8,334	.67	101.1	2.83	4.84	0.56
180	9,758	.80	96.4	3.01	4.42	0.56
Calcium Nitrate						
45	6,376	.51	99.6	2.13	3.72	0.74
90	7,066	.62	96.2	1.98	3.86	0.76
180	8,691	.78	103.7	2.46	3.60	0.68

* Soil test results: pH 7, CEC 13 meq/100g, Ca 7.78 meq, Mg 2.80 meq, Na 0.10 meq, and K 1.14 meq/100g.

As presented in Table 9, a Ca+Mg/K ratio of 13.3 would be needed if the critical levels of each cation were achieved. The ratio under native conditions, however, reflects the deficient levels of these cations, especially for calcium and magnesium. Liming these soils to neutralize exchangeable aluminum and to raise the exchangeable calcium and magnesium to the respective critical levels would develop Ca+Mg/K ratios as high as 25 for the Campo Limpo soils to 15.4 in the Cerradao. Such liming practices would appear to establish an unfavorable Ca+Mg/K ratio and develop a potassium deficient status in the soil.

MAGNESIUM interactions with potassium are typically represented in Figure 2. When potassium is applied to a responsive crop the magnesium content of the plant tissue often declines to a level slightly above the level required for optimum yield (18, 34). For corn this level would be about 0.15 percent magnesium.

Dabin (12), Dugain (13) and Ochs (29) reported magnesium deficiency in cotton, bananas and oil palm with a 3:1 soil magnesium to potassium ratio. From Table 9 the Mg/K ratios for Campo Limpo, Campo Cerrado and Cerrado soil groups are 0.8:1, 1.3:1 and 2:1, respectively. Such ratios suggest these soils to be deficient in magnesium under native vegetation even though potassium soil test levels are below the established critical level. Using the accepted soil test critical levels for magnesium and potassium, the Mg/K ratio would be 3.3:1.

For crops grown on low magnesium soils or requiring large quantities of potassium for yield and crop quality, magnesium fertilization might avoid potential interactions resulting in the development of magnesium deficiency. Tobacco and potatoes are two such crops. As potassium nutri-

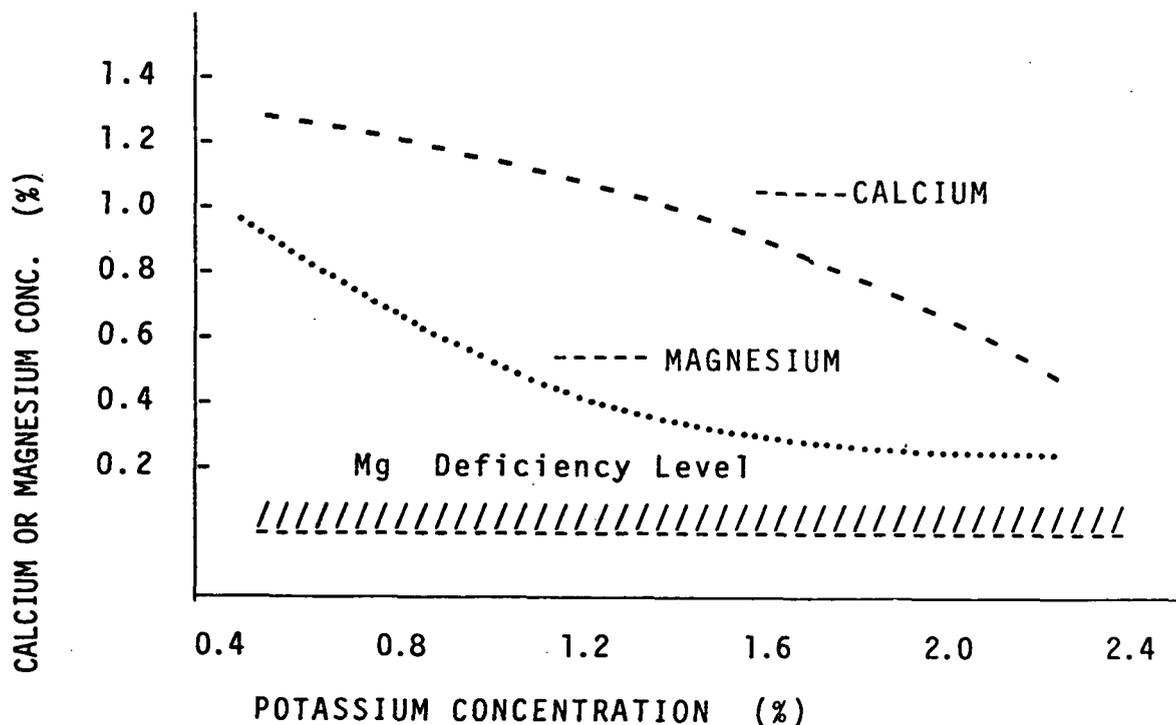


Figure 2.

EFFECT OF POTASSIUM ON THE CONCENTRATION OF CALCIUM AND MAGNESIUM IN CORN LEAVES

tional requirements were applied, the content of magnesium in the plant tissue declined to a responsive level (5)

(TOBACCO)		(POTATOES)		
Fertilizer Treatment	o/o Mg in Leaves	Lbs. K ₂ O/Acre	Mg in Foliage o/o	Yield Tons/Acre
Low K	.31	0	.85	3.35
Medium K	.09	50	.72	7.10
High K	.06	100	.62	7.95
		200	.41	10.10
		500	.30	8.60

SODIUM inhibition of potassium activated enzyme systems is documented in the literature (14). In so doing, sodium partially replaces potassium as the essential univalent cation. This replacement normally occurs when the potassium supply is limiting.

Kahalil, Amer and Elgabaly (21) measured nutrient uptake by corn grown at different salinity levels. It was reported that plants growing under conditions of salinity might be expected to contain a higher percentage of nitrogen, a similar content of phosphorus and a lower content of potassium. Consequently, fertilizer phosphorus and potassium would serve to help compensate for the reduced root system and competing ions, respectively.

Sodium accumulation by some crops and not others has been reported (8, 28). The mechanism for such selective

accumulation has not been clearly elucidated.

ALUMINUM dominates other exchangeable cations in many of the strongly leached tropical soils. Talibudeen (32) reports the ionic concentration of aluminum in soil solution and on the exchange complex of the soil diminishes rapidly as soil acidity approaches pH 5.5 (M Kc1 or 0.01 M CaCl₂). Under soil conditions of high Al saturation, however, Al would be expected to exert considerable control over the exchange characteristics of potassium ions (10). This is due in part as a result of aluminum being more strongly held on the exchange complex than is calcium or hydrogen ions (9, 10). In strongly acid soils aluminum ion displacement of K from the exchange sites would increase K susceptibility to leaching.

Lee (23) found that increasing concentration of aluminum inhibited absorption of calcium, magnesium and zinc by potato roots. Aluminum was found to stimulate K absorption by plant roots at low levels (1 to 2 ppm Al) but inhibited absorption of K at high levels of Al (5 to 100 ppm). Aluminum tolerance, noted among varieties of potatoes, was suggested to be related to the ability of roots to absorb magnesium and potassium.

ZINC deficiency has been reported for a number of crops in the humid tropics and temperate regions (7, 24, 38). Of special interest is the influence of zinc deficiency upon the concentration of potassium, magnesium and calcium in the plant.

Coffman and Miller reported that correcting zinc deficiency in corn resulted in an increase in dry matter yield but also a significant reduction in the concentration of K, Mg

and Ca in the plant tissue.

The significance of this interaction relates to the interpretation of plant analysis results from field investigations. The University of Georgia Plant Analysis Laboratory has established the potassium sufficiency range for potassium in corn plants less than 12 inches high as 2.5 to 4.0 percent K (19). As shown in Table 11, correction of zinc deficiency resulted in a 37 percent reduction in the K concentration. Interpretation of such results would lead to an understanding that the potassium status of the corn was adequate where no zinc was applied. Where zinc deficiency was corrected, an interpretation of the results would show that potassium was inadequate for desirable crop production.

Table 11. THE EFFECT OF SEVERAL RATES OF APPLIED ZN ON THE CA, MG, K AND P CONTENT OF CORN. (7)

Zinc applied	Nutrient content of tissue				D.M. g./pot
	Ca	Mg	K	P	
ppm	o/o				
0	0.85 a*	0.59 a	3.2	0.17 a	7.2 a
1 25	0.65 b	0.31 b	2.0	0.20 b	14.0 b
2.5	0.65 b	0.41 b	2.3	0.21 b	18.8 b
5	0.60 bc	0.41 b	2.3	0.22 b	19.9 b
10	0.47 c	0.32 b	2.0	0.20 b	16.2 b
20	0.55 bc	0.39 b	2.2	0.21 b	17.4 b
40	0.50 bc	0.32 b	2.1	0.23 b	10.1 b

* Any two means within elements which are not followed by the same letter are significantly different at the 5o/o level.

Table 12. EFFECT OF RESIDUAL ZINC ON NUTRIENT CONCENTRATION OF CORN LEAVES AT SILKING STAGE (BRAZIL). (38)

ZINC APPLIED	YIELD (tons/ha)	Ca Mg K P			
		-----o/o-----			
0 Kg/ha	2.1	0.55	0.18	2.4	0.36
1	3.8	0.66	0.17	2.1	0.24
3	5.2	0.64	0.16	2.0	0.19
9	5.5	0.66	0.13	2.1	0.20
27	5.6	0.65	0.13	1.8	0.19

Similar findings were reported by Lingle (24) using tomatoes and by Yost (38) with corn grown on the dark red latosol soils of central Brazil. The findings of Yost are of special importance as a result of the measure of residual zinc fertility on potassium concentration in the ear leaf at silking time. The ear leaf concentration of K declined from 2.4 to 1.8 percent as the rate of applied zinc increased, Figure 3.

IV. OTHER CONDITIONS INFLUENCING POTASSIUM INTERACTIONS

The emphasis to produce more food encourages not only higher yields but changes in production practices. Potassium interactions with other ions are sometimes influenced by such changes. In addition, climatic factors, such as temperature, moisture, etc. along with soil chemical and physical properties, and plant nutrient absorption-accumulation characteristics are associated with nutrient interactions.

The cation exchange capacity of plant roots is known to vary widely from one species of plant to another (26). Gray,

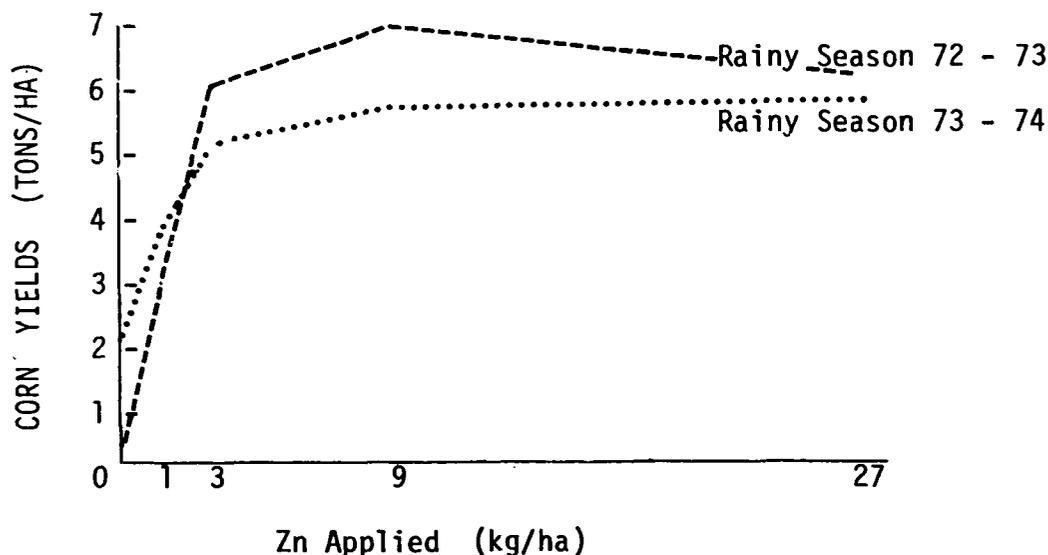


Figure 2.

ORIGINAL AND RESIDUAL EFFECT OF ZINC APPLIED IN 1972 ON AN OXISOL LIMED TO pH 6.4 IN BRASILIA. 1972 ON AN OXISOL LIMED TO pH 6.4 IN BRASILIA.

Drake and Colby (17) found that the lower CEC of grass roots exhibited a greater affinity for the absorption of potassium than did legumes. McLean (26) also found that improved nitrogen nutrition of young corn, cotton, and soybean plants not only increased the CEC of the roots but increased the absorption of calcium and magnesium, and tended to reduce potassium absorption by corn and cotton.

Table 13. The influence of nitrogen level on CEC and cation composition of corn, cotton and soybean plants grown in nutrient solutions. (26)

	N Level	Root	Ca o/o	Mg o/o	K o/o	Na o/o
		CEC meq/100 g				
Corn (15 days)	Low	21.6	.18	.38	2.63	.05
	Medium	24.6	.22	.43	2.47	.05
	High	27.4	.34	.49	2.10	.04
Cotton (25 days)	Low	44.7	.64	.51	1.67	.04
	Medium	45.9	1.26	.59	1.72	.04
	High	50.0	1.80	.60	1.57	.04
Soybeans	Low	54.6	0.85	.42	2.25	.04
	Medium	56.3	1.05	.43	2.18	.04
	High	60.9	1.20	.44	2.76	.04

Soil physical and chemical characteristics exert a marked influence upon crop response to applied fertilizer and the absorption of nutrients. Weir (36) studied the effect of potassium fertilization on the yield and nutrient content of citrus trees. For a light textured, acidic soil both yield and K leaf content increased. For a heavy textured, calcareous soil neither yield nor leaf K reflected the treatment.

Table 14. EFFECT OF POTASSIUM ON LEAF COMPOSITION AND YIELD OF CITRUS (BELIZE). (36)

KCl kg./tree	YIELD boxes/tree	LEAF COMPOSITION N	COMPOSITION K	(o/o) Ca
LIGHT TEXTURED, ACIDIC SOIL				
0	4.5	2.45	0.42	3.11
0.9	6.5	2.43	0.94	3.01
HEAVY TEXTURED, CALCAREOUS SOIL				
0	4.25	2.09	0.45	5.36
0.9	4.75	2.02	0.55	5.27

Improvement in production practices often results in more plants per unit area, increased use of chemical fertilizers, new hybrids or varieties, increased use of pesticides

and herbicides, etc. Such changes usually increase the plant stress for absorbing nutrients from the soil. Crahet (11) suggests that under intensive cropping conditions, the level of exchangeable potassium should be 4o/o of total exchangeable bases. . . double the level for average crop production. For fruit crops, a level of 5o/o is suggested.

Moisture and temperature relations in soils are known to regulate cation absorption by plant roots (8). Absorption of potassium and magnesium are influenced to a lesser degree by drought than sodium and calcium.

Compac zones within a soil profile develop as a result of chemical processes, natural relocation of soil particles, as well as from tillage practices. Soil compaction resulting from excessive tillage restricts root development, reduces water and nutrient use efficiency, and increases plant susceptibility to moisture stress. Consequently, soil environmental conditions exist which influence nutrient absorption by plants. Soil compaction resulting from tillage practices has been shown to reduce the potassium content of corn while increasing the calcium and magnesium content.

SUMMARY

Potassium and fifteen other elements are known to be essential for plant growth. These and other ions are absorbed by plants in accordance with ion quantity-intensity relationships in the soil medium, plant root absorption-translocation characteristics, and cation-anion chemical equivalency. Such absorption regulators are altered somewhat as evidenced by nutrient interaction studies.

It is well documented that potassium, magnesium, calcium, ammonium, aluminum, zinc, sodium, nitrate and other ions interact with one another. Interactions would be expected to reflect a change in nutrient availability to plants and/or alter the effectiveness of an element in the physiological development of the plant. Such changes have been reported to influence nutrient availability to the plant, absorption by plant roots, translocation within the plant, and most important crop yield and quality.

Little doubt exists that world food needs will continue to increase at an increasing rate. This need encourages the development of new lands for cultivation. It encourages higher levels of production from existing producing lands. As the Food and Agriculture Organization of the United Nations has demonstrated so many times, the use of fertilizer offers the greatest single opportunity to boost food production with a minimum input of capital and technology. The development of plant nutrient requirements must be evaluated in a manner which recognizes nutrient interactions.

Developing crop production recommendations which provide the greatest opportunities for both large and small farmers will be difficult. It will require a continuing flow of information from research. It will require the continuation of colloquiums and specialized meetings for the exchange of information and experiences so vital to agricultural

LITERATURE CITED

1. Amarasiri, S.L. and S.R. Olsen. 1973. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37: 716-721.
2. Blair, G.J., M.H. Miller, and W.A. Mitchell. 1970. Nitrate and ammonium as sources of nitrogen for corn and their influence on the uptake of other ions. *Agron. Jour.* 62:530-532.
3. Borget, M., J. Deuss, and J. Forestier. 1963. Quelques resultata des essais d'engrais sur *Coffea robusta* au Centre de Recherches de Boukojo (Republique Centrafricaine). *Cafe, Cacao, The*, 7: 22-32.
4. Boyer, J. 1972. Soil Potassium. *Soils of the Humid Tropics*. National Academy of Sciences, Washington, D.C. pp.102-135.
5. Bullock, R. 1968. Potassium and magnesium an important relationship in plants and soils. 1: No.2. Duval Corporation, 300 The Main Building, Houston, TX 77002.
6. Claassen, M.E. and G.E. Wilcox. 1974. Comparative reduction of calcium and manganese composition of corn tissue by NH_4-N and K fertilization. *Agron. Jour* 66:521-522.
7. Coffman, C.B. and J.R. Miller. 1973. Response of corn in the greenhouse to soil applied zinc and a comparison of three chemical extractions for determining available zinc. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37: 721-724.
8. Coic, Y. and M.C. Lesaint. 1971. The equilibrium between potassium and other cations in the organs of higher plants. IPI Colloquium, Potassium in Biochemistry and Physiology. International Potash Institute, CH-3000, Berne 14/Switzerland.
9. Coulter, B.S. 1969. The equilibria of K:Al exchange in clay mineral minerals and acid soils. *J. Soil Sci.* 20: 72-83.
10. Coulter, B.S. and O. Talibudeen, 1968. Calcium-aluminum exchange equilibrium in clay minerals and acid soils. *J. Soil Sci.* 19: 237-250.
11. Crahet, M. 1968. Compte-rendu d'une enquete sur l'interpretation des analyses de sols. Ecole Nationale Superieure Agronomique, Grignon. 35 p.
12. Dabin, B. 1956. Consideration sur l'interpretation agronomique des analyses de sols en pays tropicaux. 6th Int. Congr. *Soil Sci.* 6: 403-409.
13. Dugain, F. 1960. Les analyses de sol et le "Bleu" dur bananier. First FAO/CCTA International Meeting on Banana production. Abidjan.
14. Evans, H.J., and G.J. Sorger. 1966. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. *Annual Review of Plant Physiology* 17: 47-76.
15. Fremond, Y. and G. Villemain. 1964. Fumure minerale sur cocoteaie agee en Cote d'Ivoire. *Oleagineux* 19: 403-409.
16. Gomez, J.A. 1967. *Agro, Tropical Vo. XXIII, No. 3, Marzo 1967.*
17. Gray, B., M. Drake, and W.G. Colby. 1953. Potassium competition in grasslegume association as a function of root cation-exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 17: 235-239.
18. Grimme, H.L.C. von Braunschweig, and K. Nemeth. 1974. Beziehungen swischen Kalium, Calcium und magnesium bei aufnahme und ertragsbildung. *Sonderh. landw. Forsch.* 30: 93-100.
19. Jones, J. Benton, Kr., 1976. Plant analysis handbook for Georgia. Cooperative Extension Service Bulletin, University of Georgia, Athens. pp. 43.
20. Kamprath, E.J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 34: 252-254.
21. Khalil, M.A., F. Amer, and M.M. Elgabaly. 1967. A salinity-fertility interaction stduy on corn and cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31: 683-686.
22. Koch, K. and K. Mengel. 1977. Effect of K on N utilization by spring wheat during grain protein formation. *Agron. Jour.* 69: 477-480.
23. Lee, C.R. 1971. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. *Agron. Jour.* 63: 604-608.
24. Lingle, J.C., D.M. Holmberg, and M.B. Zobel, 1958. The correction of zinc deficiency of tomatoes in California. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 72: 397-402.
25. Lopes, A.S. 1975. A survey of the fertility status of soils under cerrado vegetation in Brazil. M.S. Thesis, North Carolina State University, 138 pp.
26. McLean, E.O. 1957. Plant growth and uptake of nutrients as influenced by levels of nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21: 219-222.
27. Minotti, P.L., D.C. Williams and W.A. Jackson. 1968. Nitrate uptake and reduction as affected by calcium and potassium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 692-698.
28. Munson, R.D. 1969. Interaction of potassium and other ions. The Role of Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
29. Ochs, R. 1965. Contributions a l'etude de la fumure potassique de palmier a huile. *Oleagineux* 20: 365-371.
30. Omotoso, T.I. 1974. The effects of fertilizer and irrigation on the leaf micronutrient composition of *Coffea canephora* Pierre during a year. *Turrialba*. 24: 315-318.
31. Schulte, E.E. 1975. Fertility-disease-tillage interaction in corn. Wisconsin Fertilizer and Aglime Conference Proceedings. *Soil Sci. Dept., Univ. of Wisconsin, Madison.*
32. Talibudeen, O. 1972. Exchange of potassium in soils in relation to other cations. Proceedings of the 9th Colloquium, IPI, Potassium in Soil. Landshut/ Federal Republic of Germany. IPI. pp. 97-112.
33. Usherwood, N.R. 1968. Potassium adds muscle to nitrogen use. *Potash Institute Newsletter*. M-149.
34. Viets, F.G. Jr., C.E. Nelson, and C.L. Crawford. 1954. The relationships among corn yields, leaf composition and fertilizer applied. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 18: 297-301.
35. Webster, M.A. 1975. Webster's New Collegiate Dictionary. G. & C. Merriam Co., Springfield, Mass.
36. Weir, C.C. 1969. Investigations on the mineral nutrition of citrus in the Caribbean area. Technical Bul. No. 2. C Citrus Research Unit, Trinidad, W.I.
37. Welch, L.F. and A.D. Scott. 1961. Availability of nonexchangeable soil potassium to plants as affected by added potassium and ammonium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 102-104.
38. Yost, R. 1974. Agronomic-economic research on tropical soils. pp. 106-109. Annual Report for 1974. Soil Science Department, North Carolina State University, Raleigh.

EL POTASIO EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS

Carlos Luna Z. Senén Suarez V. *

INTRODUCCION

El potasio es un macronutriente de gran interés, por cuanto lo requiere la planta para su crecimiento normal. El contenido de potasio en los suelos de Colombia es variado, dependiendo del material del que derivan los suelos y de las condiciones del suelo en el que se han formado. Sin embargo, en forma general se puede aceptar que su contenido es superior al del nitrógeno y fósforo.

El contenido de potasio en los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia, se halla ligado a la composición del material piroclástico, al tiempo en que ocurrió la depositación y al medio o condiciones en las cuales se llevó a cabo la alteración de la ceniza.

Los estudios mineralógicos realizados hasta el presente, dan idea de la composición del material piroclástico, pero hace falta mayor información en lo que se refiere a datación de la ceniza.

El exámen de las arenas de los suelos de origen volcánico al microscopio polarizante, suministra una valiosa información en lo referente a los minerales que se hallan presentes; ello permite evaluar en cierta manera el potasio que se encuentra en forma estructural en la fracción gruesa del suelo. La identificación de los minerales presentes en las fracciones limo y arcilla y el análisis total de potasio en las 3 fracciones hacen parte de la metodología que conduce al conocimiento de la distribución del potasio en el suelo.

La disponibilidad del potasio a las plantas es un parámetro de interés en la caracterización de los suelos. En la determinación química de la disponibilidad, son de importancia, el extractante utilizado y el estado de humedad en que se encuentra el suelo.

El estudio de las formas en que se halla el potasio, no solamente en el suelo, sino también por separado en las fracciones de: arena, limo y arcilla son de enorme utilidad en la problemática de la disponibilidad de este elemento a las plantas.

La calibración de métodos de extracción, para fines de recomendación de fertilizantes, tienen valor práctico, cuando se han efectuado en base a experimentación biológica.

FUENTES DEL POTASIO

Los feldespatos (ortosa, sanidina, microclina y anortoclasa), y las micas (moscovita, biotita y flogopita), son los principales proveedores del potasio que se encuentra en el suelo.

En la ceniza volcánica, los feldespatos potásicos se los encuentra preferentemente en la de tipo ácido; en la ceniza de tipo intermedio o alcalino es corriente encontrar micas, particularmente biotita.

Becke y Niggli (1) reconocieron tres series o provincias de rocas volcánicas a saber: la serie Pacífico, que se encuentra en las regiones que bordean el anillo formado por el Océano Pacífico; la Serie Atlántico, que se encuentra en las islas de los Océanos Pacífico y Atlántico, en Europa Central y Africa; y la Serie Mediterránea que se presenta en Italia Meridional, Estados Unidos, Java, Borneo, Célices, Japón Occidental y Africa Central.

En Colombia, la información disponible hasta el presente (2, 3, 4), indica que la ceniza volcánica pertenece a la serie Pacífico. En efecto, las arenas de la mayoría de los suelos estudiados, tienen en su composición feldespatos plagioclasas, feldespatos potásicos (pequeña cantidad), cuarzo (escaso), hornblenda común, hornblenda basáltica (escasa), hiperestena, (pequeña cantidad), auguita (en algunas arenas), vidrio volcánico (cantidad variable), minerales opacos (muy escasos) y zirconio (trazas). En algunas arenas se han encontrado trazas de minerales del grupo epidota y turmalina.

El contenido de minerales, en general y sobretodo hornblenda, hiperestena y vidrio volcánico, varían de acuerdo a la localidad, como también a la época de depositación de las cenizas; es por ello que en una determinada localidad, se pueden encontrar depósitos de ceniza de diferente composición, pertenecientes a magmas distintos provenientes de la misma fuente.

Los depósitos de ceniza volcánica del Galeras, en el Departamento de Nariño, presentan dos tipos de ceniza (5), así: en la parte inferior de los depósitos, los minerales más abundantes son auguita e hiperestena, en la superficie hay predominio de hornblenda.

La mineralogía de 18 perfiles de suelos del Departamento de Nariño (3) indica, que el contenido de vidrio volcánico es del orden del 20o/o, hay un alto porcentaje de feldespatos plagioclasas, hornblenda y productos de meteorización; el contenido de micas y cuarzo es bajo.

En la fracción arcilla dominan las alófanos asociadas a cantidades menores de vermiculita, haolisita y metahaolisita.

En el Departamento del Cauca (4) la mayoría de los 19 perfiles seleccionados, tienen entre 70 y 80o/o de minerales livianos, de los cuales menos del 20o/o corresponde a vidrio volcánico; los feldespatos pasan del 25o/o. En el grupo de minerales densos, domina la hornblenda, hay menor cantidad de piroxenos y la biotita es escasa. En la arcilla, los minerales más importantes son alofánicos, asociados a menores cantidades de metahalosita, vermiculita y en algunos suelos se encuentra vermiculita.

En los suelos del Departamento del Valle, el 60o/o de las arenas se encuentran formadas por feldespatos, cuarzo y minerales opacos; el porcentaje restante, lo forman anfiboles, minerales alterados, productos de meteorización y trazas de vidrio volcánico y micas. En las arcillas se encuentran alófanos y traza de vermiculita y micas.

En suelos de Mariquita y Fresno, en el Departamento del Tolima (6), las arenas presentan un alto contenido de vidrio volcánico, feldespatos y cuarzo; hay menores cantida-

* Químico, Ph.D., Jefe Laboratorio de Suelos; IGAC; Ing. Agr. M. S.C., Cenicafé.

des de anfboles y magnetita. En la arcilla dominan las alófanos, en asocio de menores cantidades de haloisita, caolinita, esmectitas, vermiculita y clorita.

En un suelo del Páramo de Letras en el Departamento de Caldas (6), los componentes importantes de la arena son: feldespatos, cristobalita, cuarzo y vermiculita; en las arcillas domina la alófana y menores cantidades de haloisita, caolinita, esmectita, vermiculita y clorita.

En el Departamento de Antioquia (2), los minerales livianos representan en promedio, más del 70o/o, de este el 50o/o o más es cuarzo; el porcentaje restante, está compuesto por feldespatos, escaso vidrio volcánico y trazas de micas. Entre los minerales densos la hornblenda es el mineral dominante. La arcilla de los suelos tiene como componente principal material no cristalino, asociado con menores cantidades de cuarzo, cristobalita, gibsita y metahaloisita.

En la sabana de Bogotá, los mantos de ceniza volcánica se presentan mezclados con materiales de otra naturaleza, lo que resulta en una composición mineralógica heterogénea. El contenido de micas en las arenas de los suelos es escaso. La composición de la arcilla es compleja, en un mismo perfil pueden presentarse horizontes en los que domina material alofánico en tanto que en otros pueden ocurrir mezclas en los cuales dominan filosilicatos cristalinos.

El 70o/o de los suelos de la zona cafetera Colombiana están afectados en mayor grado por cenizas volcánicas (28).

En los casos de los Departamentos de: Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle, las cenizas volcánicas son provenientes del complejo volcánico Ruiz-Tolima, localizado en la Cordillera Central. Su naturaleza principalmente es andesítica con alto contenido de augita, hiperestena y hornblenda (29).

En los Departamentos de Nariño y Cauca las cenizas han provenido del Galeras y Puracé (4. 5).

NIVELES DE POTASIO EN SUELOS ANDINOS DE AMERICA

Se tiene información en lo que respecta al contenido de potasio extractable en $\text{NH}_4.\text{OAc}$ 1 N a pH 7.0, que permite efectuar comparaciones de resultados obtenidos en esta clase de suelos. La información es muy escasa, en cuanto al contenido de potasio total.

En Chile, la mayoría de los suelos se han formado de ceniza volcánica de tipo ácido o intermedio (7); hay suelos derivados de ceniza volcánica reciente así como también derivados de depósitos antiguos.

En un suelo ándico de la Estación Experimental de Centina, cerca de Puerto Ocatay, el potasio extractable, en $\text{NH}_4.\text{OAc}$ 1N es del orden de 1.1 m.e./100 g en el horizonte superficial (0-8 cm) y menor de 0.4 m.e./100 g en los inferiores. En suelos rojos arcillosos de cenizas volcánicas los niveles son de 0.96 m.e./100 g en la superficie y de 0.6 m.e./100 g en el subsuelo; el requerimiento de potasio se considera limitado para determinadas localidades y cultivos (8).

En Centro América, en 35 suelos estudiados por Martini (9), el contenido de potasio es: mínimo 0.1 m.e./100 g, máximo 5.4 m.e./100 g y promedio de 1.6 m.e./100 g. Los

contenidos son aún menores en suelos volcánicos viejos.

En el Salvador (10) el contenido de potasio total en 12 suelos de ceniza volcánica es del orden de 4.59o/o de K_2O en los suelos formados de pomesiodácica y de 0.81o/o de K_2O en los de ceniza basáltica.

En Nicaragua, las cenizas son de naturaleza andesítica (9), el contenido de potasio extractable en la capa arable oscila entre 1.92 y 0.45 m.e./100 g y un promedio de 0.95 m.e./100 g.

En algunos suelos de Costa Rica, estudiados por Knox y Maldonado (11), el contenido de potasio extraído en $\text{NH}_4.\text{OAc}$ 1N es de 0.2 m.e./100 g en la superficie y de 0.1 m.e./100 g en el subsuelo.

Los suelos derivados de ceniza volcánica en los Estados Unidos, presentan variaciones en el contenido del potasio extractable, según los materiales de los cuales provienen. En Alaska, un suelo desarrollado de aglomerados volcánicos y ceniza tiene un contenido de K extractable de 0.2 m.e./100 g en el primer horizonte; otro suelo, en el Condado de Oregón presenta contenidos de 0.37 m.e./100 g en la superficie y 0.1 m.e./100 g en el subsuelo en California, un suelo desarrollado de una toba andesítica alcanza a 1.0 m.e./100 g; en Hawaii dos suelos formados a partir de ceniza volcánica básica presentan contenidos extremos, uno de ellos con un contenido de K extractable de 5.51 m.e./100 g y el otro con 0.14 m.e./100 g (12).

NIVELES DE POTASIO EN LOS SUELOS DE COLOMBIA

La información se refiere tanto al contenido de potasio total, como al que se encuentra disponible para ser utilizado por las plantas.

En Colombia hay relativamente poca información sobre el contenido del potasio total en los suelos, por lo cual únicamente se presentan datos de 3 regiones o zonas de cenizas volcánicas.

En la región de Antioquia (2), el potasio total se encuentra en los suelos entre 0.07 y 0.16o/o expresado en K_2O ; en las arcillas el contenido de potasio son del mismo orden (Tabla 1). Estos valores son bajos, si se comparan a los obtenidos en otras regiones de Colombia. En las arenas de estos suelos se encontraron feldespatos potásicos, lo cual no concuerda con el bajo contenido de potasio; la explicación a este fenómeno podría estar, bien en la escasa alteración de los feldespatos potásicos, bien en la lixiviación del potasio removido inmediatamente después de la alteración de los minerales, o bien debido a fijación de este elemento por el material cristalino que se halla en mezcla con el material amorfo que contiene el suelo.

En la Sabana de Bogotá (13), los niveles de K total son del orden de 0.3 y 0.4o/o en K_2O en el suelo y niveles algo inferiores a estos en la fracción arcilla. Estos suelos tienen bajo contenido de micas.

En el Departamento de Nariño, se encontraron los niveles más altos de potasio total en suelos ándicos (especialmente Dystrandeps) en Colombia.

El examen del primer horizonte de 8 suelos derivados de ceniza volcánica, dió valores comprendidos entre 1.48o/o y

2.48o/o de potasio total; el valor más alto correspondió a un suelo ándico saturado (Eutrandept) (14).

Ordoñez y Giron (15) encontraron valores que oscilan entre 0.5o/o y 1.2o/o de potasio total en el primer horizonte de 8 suelos del Altiplano de Pasto. Valores similares a los encontrados por estos autores se encuentran en El Espino, Recta de Guachucal, Recta a Cumbal, etc., (16). El alto contenido de potasio total en los suelos de Nariño, podría provenir en su mayor parte, de la alteración de la biotita, por cuanto el contenido de feldespatos potásicos es bajo.

En lo que respecta al contenido de potasio extractable o intercambiable se dispone información de la mayoría de suelos pertenecientes a las diferentes zonas donde se encuentra la ceniza. La metodología corriente de extracción incluye el empleo del NH_4OAc 1N pH 7.0, el suelo es secado al aire y triturado para que pase por tamiz de 2 mm.

Por el efecto del secado hay un aumento en el contenido de potasio extractable, que puede tener repercusión desfavorable si se trata de hacer sobre esa base, recomendaciones de fertilizantes. En efecto, algunos investigadores (17) sos-

tienen, que hay una mayor correlación entre la absorción de potasio del suelo por las plantas y el potasio intercambiable, cuando las extracciones del potasio del suelo se hacen en la muestra húmeda que en la muestra seca al aire.

En la Tabla 2 se presentan los niveles: máximo, mínimo y promedio del potasio extractable en NH_4OAc 1N (m.e./100 g suelo), en el horizonte superficial (0-20 cm) y en los horizontes inferiores (20-100 cm) de 125 suelos, derivados de ceniza volcánica pertenecientes a varias regiones de Colombia.

Los suelos seleccionados se consideran debilmente desarrollados, de baja saturación de bases, ácidos a ligeramente ácidos, de alta capacidad de cambio y alta retención de humedad, con el complejo de cambio dominado por arcillas no cristalinas (alófanas); estas características corresponden a los Dystrandeps (18), por esta razón se descartaron deliberadamente los suelos ándicos medianamente desarrollados y aquellos suelos saturados (Eutrandepts). Los Eutrandepts no se tuvieron en cuenta sino en casos muy insulares, por cuanto estos suelos presentan altos contenidos de potasio,

TABLA 1. Potasio total en algunos suelos derivados de ceniza volcánica de Antioquia, Cundinamarca (Sabana de Bogotá) y Antioquia.

* Antioquia (K_2O o/o)				** Cundinamarca (K_2O o/o)				***Nariño (K ₂ O/o)			
Perfil	Prof. cm.	Suelo	Arcilla	Perfil	Prof. cm.	Suelo	Arcilla	Perfil	Suelo	Perfil	Suelo
18	0-30	0.16	0.08	Tibaitatá	0-30	0.49	0.60	1	1.93	Laguna	0.54
	30-50	0.18	0.10		30-	0.38	0.33	2	1.70	Mocondino	1.26
	50-120	0.20	0.10			0.48	0.35	3	1.73	Obonuco	1.09
19	0-40	0.07	0.06			0.24	0.24	4	1.86	Anganoy	0.60
	40-50	0.04	0.08	Bacatá	0-18	0.32	0.17	6	2.98	Catambuco	0.65
	50-X	0.02	0.16	1	18-38	0.33	0.24	7	2.28	Botana	0.63
20	0-5	0.20	-	Funza	0-30	0.33	0.21	8	1.48	Mapachico	1.15
	0-15	0.20	-	4	30-60	0.39	0.22			Jongobilo	0.84
	15-25	0.20	0.14		0-28	0.35	0.22			Aranda	0.99
	25-60	0.20	0.34		28-65	0.39	0.27				
	60-100	0.46	0.28		65-103	0.22	0.37				
		0-10	0.14	0.13	Cota	103-126	0.23	0.16			
23	10-30	0.14	0.13		126-150	0.12	0.18				
	30-60	0.14	0.16								
	60-80	0.12	0.10								
	80-120	0.13	0.23								

* Antioquia: Perfil 18,19,20 Typic Dystrandeps; p-23 Dystrandeps

** Cundinamarca: P-Tibaitatá y Bacatá: Typic Dystrandeps
P-Funza, Aquic Dystrandeps
P-Cota, Pachic Dystrandeps

*** Nariño: P-1, 3, 4 Typic Dystrandeps; P-2 Andic Humitropept;
P-6 Udic Eutrandept; P-7 Umbric Vitrandept;
P-8 Andeptic Tropudalf.

Los suelos La Laguna, Mocondino, etc., no tienen clasificación.

TABLA 2. Contenidos máximo, mínimo y promedio de potasio extractable en NH₄OAc 1N, en el horizonte superficial (0–20 cm) y en los inferiores (20–100 cm), de algunos derivados de cenizas volcánicas en Colombia (resultados en m.e./100 g suelo).

Departamentos	0–20 cm			20–100 cm			
	No. de perfiles	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
Nariño (3)	22	0.80	0.10	0.38	0.80	0.07	0.20
Cauca (4)	16	0.50	0.01	0.20	0.40	0.01	0.20
Valle (19 y 20)	37	1.80	0.04	0.22	1.50	0.04	0.19
Huila (21)	10	0.50	0.01	0.20	0.40	0.04	0.14
Tolima (22)	10	0.90	0.10	0.38	0.40	0.01	0.14
Caldas (23)	5	0.83	0.12	0.35	0.76	0.10	0.33
Antioquia (2)	10	1.00	0.04	0.16	0.13	0.02	0.08
Cundinamarca Sabana de Bogotá (24-25)	15	1.60	0.04	0.81	1.10	0.04	0.49

lo que no corresponde a la mayoría de los suelos estudiados.

Los contenidos más altos, de potasio extractable en NH₄OAc 1N, en el horizonte superficial, corresponden a suelos de la Sabana de Bogotá, ello en buena parte puede atribuirse a la fertilización que han recibido; en los suelos de las otras regiones, el contenido de potasio oscila entre 0.2 y 0.4 m.e./100 g de suelo; los valores más bajos se encuentran en los suelos de Antioquia, Cauca y Valle. Al referirnos a los suelos del Departamento del Valle se entiende los suelos andinos que se encuentran en las pendientes de las Cordilleras Occidental y Central, de ninguna manera a los suelos de la parte plana.

En el subsuelo, también los valores más altos promedios, corresponden a los suelos de la Sabana de Bogotá y los más bajos a los de Antioquia, Huila y Tolima.

Los niveles máximos en el horizonte superficial y en los horizontes inferiores en los perfiles del Departamento del Valle, corresponden a un suelo con buena saturación de bases (Eutrándept).

En base a los niveles promedio de potasio de la capa arable, superiores a 0.3 m.e./100 g, se presume que los suelos de Cundinamarca, Tolima, Nariño y Caldas, no requieran fertilización potásica, al menos para ciertos cultivos.

En la mayoría de los suelos seleccionados de las distintas regiones del país, el contenido de potasio extractable es menor en los horizontes inferiores del perfil.

El potasio extractable en NH₄OAc 1N se halla, relacionado con algunos factores tales como la composición de la ceniza, la textura y el pH del suelo, la composición mineralógica de la arcilla, y el manejo del suelo.

Blasco (26) encontró diferentes niveles de potasio, en suelos del altiplano de Pasto, bajo condiciones de cultivo, pradera y bosque, sin que se manifieste una tendencia definida por una determinada utilización del terreno.

En la Tabla 3 se presentan algunos resultados analíticos, del primer horizonte en 10 suelos derivados de ceniza volcá-

nica del Departamento de Nariño; los perfiles 4, 15.1113, 17, y 3 se han desarrollado preferentemente de ceniza volcánica relativamente reciente, en tanto que los perfiles 285, 9, 12 y 14 se han desarrollado de ceniza en mezcla con otros materiales. Se observa que los suelos derivados principalmente de ceniza (edad, menor de 10.000 años), tienen niveles de potasio extractable inferiores a los encontrados en los suelos que se han formado de ceniza en mezcla con otros materiales.

La altitud es importante en los que respecta al grado de alteración de los minerales primarios y secundarios provenientes de la ceniza volcánica. En condiciones similares de composición mineralógica, se espera que los suelos que se encuentran a mayor altitud tengan mayor contenido de potasio, lo que se cumple en casi todos los suelos que se incluyen en la Tabla 3, no se cumple en los suelos que se han formado de mezcla de ceniza con otros materiales.

Los suelos más ácidos presentan los menores contenidos de potasio; el grado de acidez se encuentra asociado con la saturación de Ca, Mg, Na y K, en tal forma que a pH más bajos corresponden menores cantidades de bases de cambio.

El pH en NaF se ha considerado como un parámetro importante para estimar, sobre todo en el campo, el porcentaje de material no cristalino que tiene el suelo; así a los suelos con valores de pH en NaF mayores de 9.4 les corresponde más del 60% de material amorfo (18); los suelos que presentan esta condición tienen bajo contenido de K extractable en NH₄OAc.

Los perfiles 9 y 12 tienen los contenidos más altos de K y Ca en estos los valores de pH en agua son relativamente altos y aquellos en NaF son menores de 9.4. La presencia de vermiculita y de micas en estos suelos, les permite retener potasio.

En la Tabla 4, se presentan los rangos de niveles de potasio intercambiable para una profundidad de 0–30 cm, obtenidos en suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona

TABLA 3. Inter-relaciones del material parental, altitud, pH en agua, pH en NaF y composición de

TABLA 3. Inter-relaciones del material parental, altitud, pH en agua, pH en NaF y composición de la arcilla con el contenido de potasio intercambiable en el primer horizonte de algunos suelos.

Suelos de ceniza volcánica	Profundidad cm	me/100 g suelo		Altitud m	pH		Textura	Co/o	Composición Arcilla
		K	Ca		H ₂ O	NaF			
L-4	0-55	0.6	3.9	3.120	5.2	11.2	FAr	8	AIV3Cr3
L-15	0-46	0.3	1.4	3.030	5.3	11.1	FA	9	AIV3
L-11	0-30	0.2	3.6	3.000	5.4	11.2	FA	9	AIV3
L-13	0-30	0.5	4.9	2.900	5.2	10.8	FA	6	AlMc3
L-17	0-68	1.1	3.4	2.130	5.2	10.1	FAr	6	AIV3
L-3	0-85	0.1	0.3	2.400	4.8	11.4	FAr	9	AIV3Mt3
Suelos de ceniza y otros materiales									
P-285	0-25	0.5	0.4	3.600	5.1	—	AF	8	—
L-9	0-27	2.0	10.6	3.060	6.1	9.8	F	3	HImHIV3
L-12	0-16	2.5	8.9	2.680	5.6	7.7	F	3	HImHI
L-14	0-42	0.4	6.3	2.840	5.3	7.6	FAr	3	A ₂ H ₃ Me ₃ V ₃

Convenciones:

A = Alófanas
 MH = metahalosita
 H = Halosita
 V = Vermiculita
 Cr = Cristobalita
 Mt = Montmorillonita
 Me = Minerales estratificados

1 = La mayor cantidad
 2 = Cantidad mediana
 3 = Pequeña cantidad.

cafetera de Colombia, entre los 1250 y 1850 m.s.n.m., de 75 perfiles analizados en Cenicafé, correspondientes a los estudios de zonificación adelantados en el país por el Programa de Desarrollo y Diversificación de la Federación Nacional de Cafeteros.

En los suelos Dystrandeps de pH 4.8 a 5.5 (37 perfiles)

TABLA 4. Potasio intercambiable en suelos Dystrandeps de la zona cafetera Colombiana (de 0 a 30 cm)*

Departamento	K intercambiable (m.e./100 g suelo)					
	pH 4,8 a 5,5			pH 5,6 a 6,0		
Antioquia	0.09	—	0.25	0.19	—	0.40
Caldas	0.02	—	0.20	—	—	—
Cundinamarca	0.09	—	0.14	0.18	—	2.20
Nariño	0.06	—	0.18	0.09	—	0.74
Quindío	0.09	—	0.29	0.07	—	1.20
Risaralda	0.02	—	0.20	—	—	—
Tolima	0.15	—	0.24	—	—	—
Valle	0.05	—	0.20	0.11	—	0.90

* Datos del archivo del Laboratorio de Química Agrícola del Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE).

el potasio intercambiable está entre los rangos de 0.02 a 0.29 m.e./100 g. Para los suelos Dystrandeps de pH 5.6 a 6.0 (38 perfiles) los rangos van de 0.07 a 2.20 m.e./100 g. Los suelos más ácidos presentan los menores contenidos de potasio.

En la misma tabla 3 se puede apreciar que los perfiles 4 y 17 tienen el contenido más alto de arcilla y los más altos contenidos de potasio.

FRACCIONAMIENTO DE POTASIO

Mediante el fraccionamiento se consigue tener idea en cuanto a la distribución del potasio en las formas: soluble en agua, intercambiable y estructural.

El potasio que se encuentra en la solución del suelo, por lo regular se lo incluye con lo intercambiable, en consideración a que su contenido es el más bajo comparado al que se encuentra en otras fracciones. El potasio no intercambiable se obtiene sustrayendo el valor del potasio estructural del total.

Del fraccionamiento del potasio, en 10 suelos del altiplano de Pasto bajo condiciones de pradera (26) se encontró la siguiente distribución de potasio:

Promedio en ppm.

Intercambiable en NH ₄ OAc 1N	312.31
Intercambiable en HNO ₃ O. 1N	286.75
Soluble en agua	48.95
No intercambiable	714.95
Estructural	6.974.91
Total	7.689.86

De acuerdo a Ordoñez y Girón (15), el potasio estructural representó entre el 80 y 88o/o del total, el porcentaje menor le correspondió a suelos cultivados y el mayor a suelos en pradera, los valores en los suelos de bosques fueron intermedios.

Los mismos autores señalan que el potasio no intercambiable tuvo variaciones comprendidas entre el 8 y el 12o/o del total; la fracción más soluble osciló entre 5 y 8o/o del potasio total. Esto indica que dentro del potasio no intercambiable el mayor porcentaje corresponde a la fracción más soluble.

En la característica del estado del potasio en suelos lateríticos, aluviales, y ándicos de Panamá, estudiados por Martini (27) se consideran las siguientes formas de potasio; intercambiable, no intercambiable, fácilmente disponible a la planta o "escalonado", no intercambiable difícilmente disponible a la planta "de tasa constante" y el estructural. Además el mismo autor obtuvo lo que se conoce como la capacidad de abastecimiento de potasio en el suelo.

TABLA 5. Diversas formas de potasio en suelos de Panamá (Martini, 27).

K en Kg/Ha	Lateríticos	Aluviales	Ándicos
Intercambiable NH ₄ .OAc	160	440	600
Intercambiable Morgan	75	210	750
Escalonado	270	1.050	330
Tasa constante	40	120	120
Estructural	2.041	7.388	17.432

En la tabla 5 se presentan algunos resultados de varias formas de potasio en suelos de Panamá. El potasio extractable en NH₄ OAc 1N, en los suelos lateríticos y aluviales es mayor que el extraído en la solución de Morgan. El potasio "escalonado" y el de "tasa constante" es mayor en los suelos aluviales y volcánicos. El estructural es mayor en el suelo volcánico que en los otros.

En cuanto a la capacidad de abastecimiento del potasio, Martini concluye que debido al alto contenido de potasio estructural y escalonado, los suelos volcánicos jóvenes de Panamá no responden a la fertilización de potasio. La capacidad de abastecimiento del potasio fue, del orden de 326 y 708 kg/ha la que se considera alta aunque de corta duración (dos cosechas) si se la compara con la encontrada en algunos suelos del estado de Nueva York.

ADSORCION DEL POTASIO

La alófana y el humus son los principales coloides de los suelos derivados de las cenizas volcánicas. Están acompañados de ciertas cantidades de haloisita hidratada y gibsita. En ocasiones se presentan cantidades pequeñas de vermiculita, illita y clorita (32).

Según Kelly y Page (34), la fracción arcilla de 2 suelos saturados, derivados de cenizas volcánicas en Hawaii (Typic Eutrandedpt), indicaron alta capacidad para retener cationes, que los autores la atribuyen a minerales amorfos presentes en estos suelos.

En la caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica, Suarez (35), encontró que uno de los grupos de suelos (Andepts), en condiciones de humedad permanente, mantuvo altos niveles de potasio durante un mes, luego, parte del potasio fijado fue liberado.

Estudios realizados en el Japón (30 y 32), demostraron que el humus y la alófana adsorben débilmente el K. el grado de K se disminuyó al aumentar el contenido de humus, de alófana y de acidez en los suelos.

La retención de cationes por la alófana requiere un medio alcalino.

Esta retención se realiza, principalmente, por los grupos OH combinados con el silicio. La disociación de los grupos OH por el H dependen significativamente del pH bajo, haya o no acumulación del humus; la adsorción del calcio y potasio por la alófana es muy débil (30 y 32).

La adsorción de NH₄ y K son similares en su comportamiento en el suelo. Estudios en el Japón (30), en diferentes suelos, con diferentes coloides, mostraron retenciones de NH₄ y K de acuerdo con el tipo de coloide presente en el suelo así:

Suelo montmorillonítico > suelo caolínítico > suelo alofánico > suelo alofánico - húmico.

Las pérdidas de K y NH₄ por lixiviación y desplazamiento por otros cationes (H⁺ y Ca⁺⁺) mostraron la siguiente secuencia:

Suelo alofánico húmico > suelo alofánico > suelo caolínítico > suelo montmorillonítico.

Lo anterior, corrobora la baja capacidad de retención del K y el NH₄ del humus y a la alófana del suelo.

También, se observó que a mayor grado de saturación de K en el suelo era mayor su reemplazamiento por el K del mismo. Se conservó la misma secuencia anterior.

Suelo alofánico-húmico > suelo alofánico > suelo caolínítico > suelo montmorillonítico.

Se ha visto que en suelos derivados de cenizas volcánicas pobres en Ca y Mg intercambiables, aplicaciones masivas de K causan deficiencias de estos elementos en café, cítricos, cacao, etc., especialmente, cuando los suelos alofánicos son muy ricos en humus.

En suelos alofánicos y alofánico-húmicos derivados de cenizas volcánicas, se encontró una disminución significativa en las pérdidas por lixiviación de K y NH₄ con aplicaciones de fosfatos y bases (30, 31, 33).

En dos suelos Dystrandedts de Hawaii (31), se redujo sustancialmente la pérdida de K con aplicaciones de cal. Aplicaciones de 4 toneladas de cal por hectárea redujo las

pérdidas de K por lixiviación a la mitad. Este efecto es de especial significado en suelos de regiones de alta precipitación.

CONCLUSIONES EN RELACION CON LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE COLOMBIA

(a) Hace falta mayor información sobre la fijación del potasio en los suelos saturados (Eutrandedpts) y en los no saturados (Dystrandpts, Cryandedpts, Durandedpts, Hydrandedpts y Vitrandpts). Las condiciones de humedad del suelo parecen tener especial importancia en la fijación.

(b) En las investigaciones sobre fijación de potasio, así como también en lo que se refiere al potasio extractable del suelo para fines de recomendación de nutrimentos, sería de gran utilidad verificar el análisis del potasio total del suelo, y mejor aún, el de cada una de las fracciones: arena, limo y arcilla.

(c) El límite fijado por algunos investigadores de 0.3 m.e. de K extractable en NH_4OAc 1N por 100 g de suelo, para la aplicación de fertilizantes potásicos, amerita una revisión que involucre la textura del suelo. Se tiene cierta información, que suelos derivados de materiales no volcánicos, con altos contenidos de arcilla, requieren mayores concentraciones de potasio, que aquellos con bajos contenidos de arcilla.

RESUMEN

EL POTASIO EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS

El potasio en Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas se encuentra en cantidades variables que dependen principalmente de la composición mineralógica, de las condiciones de alteración y del tiempo de depositación de la ceniza.

De las 3 series o Provincias de rocas volcánicas propuestas por Berke y Niggli, en América parece dominar la Serie Pacífico, que se caracteriza por tener un alto contenido de feldspatos plagioclasas y anfíboles; tienen además, menores porcentajes de vidrio volcánico, feldspatos potásicos, cuarzo, hiperstena, auguita y otros minerales.

En Colombia, hay escasa información en lo que respecta al Potasio total que se encuentra en los suelos ándicos; los de la Sabana de Bogotá y Nariño presentan más alto contenido de potasio que los de Antioquia.

El potasio extractable en NH_4OAc 1N, pH 7.0 es menor de 1 m.e./100 g en la mayoría de 125 suelos seleccionados, es menor aun en los horizontes inferiores.

El potasio extractable en NH_4OAc 1N guarda relación con ciertos parámetros que incluyen: la composición de la ceniza, textura, pH, composición mineralógica de la arcilla, altitud y condiciones ambientales y el uso y manejo de los suelos.

En forma general se estima que el potasio del suelo se halla repartido entre las formas: soluble, intercambiable y estructural; de estas 3 formas, el estructural representa el 90o/o del potasio total del suelo. Se conocen otras formas del K que se examina y presentan con algunos resultados.

En suelos andepts el humus y la alófana adsorben débilmente el K. Su grado de adsorción disminuye al aumentar los contenidos de humus, alófana y acidez en el suelo.

La retención de K depende del tipo de coloide: suelo montmorillonítico > suelo caolínico > suelo alofánico > suelo alofánico-húmico.

Las pérdidas de K por lixiviación disminuyen significativamente con las aplicaciones de fosfatos y cal.

En los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia hace falta mayor información sobre la fijación del potasio. En estas investigaciones sería de gran utilidad, el conocimiento del potasio total del suelo y el grado de humedad edáfica.

En las recomendaciones de fertilizantes potásicos convendría tener en consideración la textura del suelo.

BIBLIOGRAFIA

1. BECKE Y NIGGLI, citados por RITTMAN, A., 1963, en *Les Volcans et leur activité* Masson et Cie, Editors — 120, boulevard Saint Germain, París VIe. p. 458.
2. LUNA C.Z. 1969, A pedological Study of the soils of Antioquia Colombia, S.A., with particular reference to Andosols. Ph.D, Thesis State University of Utrecht, Holanda p. 212.
3. LUNA C.Z. Y F. CALHOIM, 1973 Suelos derivados de ceniza volcánica del Departamento de Nariño. Vol IX No. 2 Subdirección Agrológica, IGAC, Bogotá, 157 p.
4. LUNA C.Z., 1975. Suelos derivados de cenizas volcánicas del Departamento del Cauca. IGAC. En prensa.
5. 1970. Estudio Mineralógico de algunos depósitos del Volcán Galeras, Nariño, Inédito.
6. CORTES A., 1972 Mineralogía de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la Cordillera Central de Colombia. Centro Interamericano de Fotointerpretación. 47 p.
7. VALDES A.F. 1969 Distribución Geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile, en Panel de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica. Al. 1—14.
8. LETELIER E., 1969 Respuesta a la fertilización de los suelos volcánicos Chilenos, Panel Suelos Volcánicos, Opt. Cit.
9. MARTINI J.A. 1969 Distribución geográfica y características de los suelos derivados de Ceniza Volcánica de Centro América. Panel Suelos Volcánicos. Opt. cit.
10. RICO M., 1964 Report on soils of Volcanic Ash origin in el Salvador. In Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash World Soils Resources Report 14, Roma 23—29 p.
11. KNOX E.G. Y F. MALDONADO. Suelos de Ceniza Volcánica de Costa Rica. Panel Suelos Volcánicos Opt. cit.
12. FLACH K. 1969 El uso de la 7a. Aprox. para la clasificación de los suelos de cenizas volcánicas. Panel Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas Opt. cit.
13. BENAVIDES DE G. Pedología de la Serie Tibaitatá, Inédito.
14. El potasio en Suelos Volcánicos de Nariño. Inédito.
15. ORDOÑEZ H. GIRON 1969. Estudio sobre el potasio en algunos suelos del altiplano de Pasto. Tesis Ing. Agr. Univ. Nariño, Colombia.
16. FEUILLET G.I. Y A.G. FEUILLET, 1971. Fraccionamiento de N—P—K, en suelos de la Sabana de Túquerres. Tesis Ing. Agr. Univ. Nariño, Colombia.

17. BLACK C.A. 1975. Potasio del libro Relaciones Suelo Planta. Departamento Agronomía Iowa State University. 717-848 pp.
18. U.S.D.A. 7th Aprox. 1973.
19. I.G.A.C. 1976 Estudio general de suelos de la parte montañosa del Valle del Cauca (CVC). En prensa.
20. I.G.A.C. 1976 Estudio general de suelos de la cordillera Occidental en el Valle del Cauca. En prensa.
21. LUNA C.Z. 1973 Estudio de suelos derivados de Ceniza Volcánica del Departamento del Huila. Inédito.
22. MONTOYA J.A. Y J. PICHOTT., 1971. Estudio general de suelos de los municipios de Fresno, Falan, Herveo, Villahermosa y Casabianca (Tolima) IGAC, Subdirección Agrológica. Vol. VIII. No. 2. 176 p.
23. ESTRAGOS, 1969. Estudio general de suelos para fines agrícolas de los municipios de Fidelía, Riosucio, Supía, Marmato, Pácaro, Pensilvania, Marquetalia y Marulanda. IGAC. Vol. V No. 12.
25. PARRA A. et al 1977. Estudio de los suelos de mos municipios de Cota, Funza, Mosquera y parte de Madrid. En prensa.
26. BLACO M., 1969. Características químicas de los suelos volcánicos de Nariño. Panel sobre suelos volcánicos. Turrialba, Costa Rica.
27. MARTINI J.A. 1966. Caracterización del estado del potasio en seis suelos de Panamá. Fitotecnia Latinoamericana. Vol. 3 Nos. 1 y 2 enero-dic. 163-186 pp.
28. GOMEZ A.A. Y ALARCON C.H., 1975 Erosión y conservación de suelos en Colombia. In — Federación Nacional de Cafeteros de Colombia Cenicafé. Manual de Conservación de Suelos de Ladera. Chinchiná, Cenicafé 1975 9 pp.
29. DARREL, G.H. 1974. Glacial and Volcanic geology of the Ruiz-Tolima Volcanic complex. University of Washington. thesis.
30. HARADA, TOGORO. 1961. Behavior of NH₄ and K in the soil; mainly adsorption of NH₄ and K influenced by the kind of cation exchange material. In Japanese potassium symposium, 4 Sendai, september 30—1061. Tokyo. Potash Research association, 1961. 6-27 p.
31. AYRES, A.S. 1961 Liming Hawaiian Sugarcane soils. Hawaiian Planters record 56: 227:244.
32. HOMINE, SHIGENORI, 1957. Potassium economy of Japanese volcanic ash soils. In-Japanese Potassium Symposium, 1 November 30, 1957. Switzerland, International potash Institute Berne, 1957. 88—102 p.
33. BIRREL. K.S., 1964. Some properties of volcanic ash soils. Report on the "Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash" word soil resources report. Nò. 14 FAO, Tokyo. 74—81 pp.
34. KELLY Y PAGE 1942, citado por Kaneheiro y Micami en II Panel sobre suelos volcánicos de América. Facultad de Ciencias Agrícolas Univ. de Nariño, Colombia. S.A. pp. 39-58.
35. SUAREZ A.H. 1968. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis de Master del Instituto de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica, p. 305.

EL POTASIO EN SUELOS DE LAS ZONAS CALIDAS SECAS DE COLOMBIA

Alberto Frye C. ()*

INTRODUCCION

Dentro de las regiones cálidas secas del país se encuentran suelos de gran importancia agrícola y ganadera como son los de los Valles del Magdalena, Cauca, Sinú, Cesar y Ariguaní, considerados en general como de buena fertilidad. En este estudio se hace referencia a tres grandes zonas: Valle del Cauca, Alto Magdalena (Tolima) y Litoral Atlántico, en su mayoría planas y cultivadas principalmente con algodón, caña, maíz, sorgo y arroz.

Para evaluar la situación del potasio en estos suelos se han considerado sus diferentes formas químicas o diferentes formas de extracción, correlacionadas con resultados de fertilización potásica en pruebas de invernadero o de cam-

po, a través de varios estudios realizados tanto en la Universidad del Tolima (bajo la dirección del autor) como en la Federación Nacional de Algodoneros, según puede observarse en la guía bibliográfica.

Principalmente con base en tales correlaciones se establecieron niveles críticos o niveles de deficiencia para cada una de las zonas que, aplicados a los datos de análisis de suelos existentes en los archivos de los laboratorios de la Federación Nacional de Algodoneros y en publicaciones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (12 y 13) permitieron hacer un estimativo de la capacidad de suministro de potasio para cada una de las zonas mencionadas.

Como en los análisis de rutina realizados para los agricultores únicamente se determina el potasio extractable con acetato de amonio normal y neutro, solo se pudo complementar el inventario de la "capacidad de suministro de potasio" con el dato de la relación $\frac{Ca + Mg}{K}$ que se mostró promisorio en esta evaluación.

* Ingeniero Agrónomo, Jefe del Programa de Suelos, Federación Nacional de Algodoneros.

2. DETERMINACION DE LAS RESPUESTAS A POTASIO Y ESTABLECIMIENTO DE NIVELES CRITICOS

Las respuestas a potasio que se especifican a lo largo del trabajo y que sirven de base para calibrar los métodos de extracción, se determinaron en la siguiente forma:

Alto Magdalena: pruebas de invernadero con maíz y pruebas Neubauer de laboratorio con arroz (3). En seis suelos del Espinal se estudió la respuesta a potasio mediante ensayos de fertilización en el campo con algodónero (17)

Valle del Cauca: se diagnóstico la deficiencia de potasio mediante comprobación visual de las deficiencias, corroboradas con análisis foliares y ensayos de fertilización en el campo con algodónero, en lotes patrones representativos (6 y 7).

Costa Atlántica: mediante resultados de fertilización del algodónero en ensayos de campo.

3. POTASIO TOTAL

Como su nombre lo indica, con esta determinación se puede conocer toda la cantidad de potasio que contiene un suelo. Para tal fin se trataron las muestras con ácidos fluorhídrico y sulfúrico concentrados, según la descripción de Chapman y Pratt (4).

En la Tabla No. 1 se pueden observar los datos promedios de potasio total para la zona del Alto Magdalena, resaltando que el valor correspondiente a los suelos que no respondieron a la fertilización potásica es notoriamente superior al de los que sí respondieron (26.5 y 8.9 m.e. K/100 g., respectivamente).

Piedrahita y Benavides (19), obtuvieron valores comprendidos entre 23.7 y 31.6 para el Litoral Atlántico (promedio \pm desviación estándar), los cuales tienden a ser superiores que los del Alto Magdalena. Sin embargo, en esta última región también se presentan valores altos a muy altos en Venadillo, Ambalema, Guamo y Espinal; solo en Ibagué y Alvarado son bajos a medianos. El nivel crítico aproximado es de 14 m.e. K/100 g.

Piedrahita y Benavides (19), para diferentes suelos del país, encontraron una correlación altamente significativa ($r = 0.88$) entre el potasio total y el removido por la cosecha. Por otra parte, la correlación obtenida entre el potasio total y el extraído con HC1 concentrado en suelos del Tolima también fue significativa (Frye y Leal, 9).

En general, el dato de potasio total es considerado como poco útil para diagnosticar los requerimientos de fertilización potásica, aunque algunos autores (5, 20) conceptúan que en suelos de regiones áridas los minerales primarios ricos en potasio son abastecedores efectivos de potasio a las plantas, especialmente con adecuada humedad.

Esta última aseveración puede ser la explicación del comportamiento promisorio mostrado por el dato de potasio total en cuanto a diagnóstico de capacidad de suministro en algunos suelos de clima cálido seco en el país.

4. POTASIO EXTRACTABLE CON ACIDO NITRICO 1N. (DIFICIL MAS FACILMENTE INTERCAMBIABLE)

Siew (Frye y Leal, 9) considera que el HNO_3 1 N, ade-

más de las formas solubles e intercambiable, extrae una parte del potasio "no intercambiable" y que se puede denominar "dificilmente intercambiable".

A través de varios estudios realizados en el país se ha comprobado que este método de extracción da un buen estimativo de la capacidad del suelo para suministrar potasio a las plantas (6, 7, 9 y 15).

En la Tabla No. 1 se presentan los resultados promedios de potasio extraído con HNO_3 1 N en 20 suelos del Alto Magdalena y en 50 del Valle del Cauca, agrupados según su respuesta a la fertilización potásica. Se observa que en general los datos para ésta última región son superiores a los de la primera y que los promedios para los suelos que sí respondieron (0.34 y 0.4 m.e. K/100 g) son notoriamente inferiores a los que no respondieron (1.5 y 1.1 m.e., respectivamente).

Los promedios reales para los suelos que no responden en todo el Valle del Cauca deben ser mayores que los aquí obtenidos, porque el muestreo se hizo principalmente sobre áreas algodóneras con deficiencias de potasio, lo cual no resta validez a los niveles críticos que se presentarán enseguida, ya que fue posible diferenciar claramente los casos de respuesta y de no respuesta a potasio. Así, en un área de suelos sin carencias de potasio en el Valle del Cauca, Marín y otros (14) encontraron un valor promedio de 2.46 m.e. de potasio/100 g., extraído con HNO_3 1 N. Esta observación es válida también para otras formas de potasio en el Valle del Cauca y que se considerarán más adelante.

Agrupando los datos de Piedrahita y Benavides (19) y los de Marín y otros (14), se obtiene un rango promedio de potasio extraído con HNO_3 1 N en el Litoral Atlántico de 1.3 a 3.3 m.e./100 g., mayor que para las otras zonas consideradas, y que indica una alta capacidad de suministro. En la actualidad, seguramente tales valores son más bajos, ya que han transcurrido 11 a 12 años de explotación agrícola en esos suelos.

El nivel crítico para esta forma de potasio en suelos del Alto Magdalena (Tolima) es de 0.5 m.e./100 g. y para los del Valle del Cauca, 0.6 m.e./K/100 g.; este último valor es muy confiable para estimar tanto un deficiente como un adecuado suministro de potasio, según que el contenido en el suelo sea respectivamente inferior o superior a él.

5. POTASIO EXTRACTABLE CON ACETATO DE AMONIO 1 N Y pH 7 (POTASIO FACILMENTE INTERCAMBIABLE)

Esta es la forma de potasio determinada generalmente en los análisis químicos de suelos con el fin de diagnosticar la necesidad de fertilizantes potásicos para las plantas, ya que es considerada como la de más fácil y rápida aprovechabilidad (5 y 21).

Además del potasio adsorbido por los coloides en sus posiciones de intercambio, durante la extracción también se obtiene la fracción soluble.

Drosdoff y otros (5), citando niveles críticos de potasio en el suelo para diferentes regiones, concluyen que el nivel mínimo absoluto oscila generalmente entre 0.1 y 0.3 m.e./100 g., dependiendo tanto de la clase de planta como de

TABLA No. 1. Valores promedios de las diferentes formas de potasio en algunas zonas calidas secas de Colombia estudiadas agrupados según su respuesta a la fertilización potásica.

FORMAS DE POTASIO	REGIONES	SUELOS NO RESPONDIERON			SUELOS SI RESPONDIERON		
		No.	Promedio	Rango (1)	No.	Promedio	Rango (2)
TOTAL	Alto Magdalena	14	26.5	11.3 - 41.7	6	8.9	3.6 - 14.2
Difícil más fácilmente intercambiable (H N O ₃ 1 N)	Alto Magdalena	14	1.5	0.24 - 2.75	6	0.34	0.14 - 0.54
	Valle D. Cauca	12	1.1	0.65 - 1.45	38	0.40	0.23 - 0.57
Fácilmente Intercambiable (N H ₄ O Ac 1 N)	Alto Magdalena	14	0.40	0.19 - 0.65	6	0.18	0.12 - 0.24
	Valle D. Cauca	14	0.59	0.32 - 0.86	41	0.20	0.08 - 0.32
	Litoral Atlántico	33	0.68	0.45 - 0.90	9	0.35	0.22 - 0.47
Difícilmente intercambiable (HNO ₃ 1N-NH ₄ OAc 1N)	Alto Magdalena	14	1.12	0 - 2.32	6	0.16	0 - 0.36
	Valle D. Cauca	12	0.44	0.29 - 0.59	38	0.19	0.11 - 0.27
"Aprovechable" (Neubauer - arroz)	Alto Magdalena	8	0.50	0.35 - 0.65	6	0.27	0.14 - 0.39
o/o Saturación	Alto Magdalena	14	5.0 o/o	2.2 - 7.9 o/o	6	2.5 o/o	1.1 - 3.9 o/o
Relación $\frac{Ca + Mg}{K}$	Alto Magdalena	14	35.7	11.1 - 60.2	6	78.0	58.3 - 97.8
	Valle D. Cauca	12	47.3	25.5 - 69.1	37	152.0	48.7 - 255.3
	Litoral Atlántico	32	24.3	13.4 - 35.2	9	32.6	20.0 - 45.2
Fijable en Seco	Alto Magdalena	14	20.3 o/o	5.9 - 34.7 o/o	2	45.0	36.8 - 53.1
Fijable en Humedo (Secamiento Alternado)	Alto Magdalena	14	41.1 o/o	25.7 - 57.1 o/o	2	51.6	33.7 - 69.4

(1) Promedio menos y más la desviación estandar.

suelo, pero que en ocasiones puede ser hasta de 0.5 m.e. especialmente bajo agricultura intensiva o con variedades mejoradas.

Para los suelos de la zona cálida seca, el ICA (Marín, 15) ha establecido un nivel mínimo necesario de 0.15 m.e. de potasio intercambiable/100 g.; considera también una probabilidad media de respuesta (50o/o), para suelos con valores entre 0.15 y 0.30 m.e. Según Montaña (18) debe recomendarse la aplicación de fertilizantes potásicos al algodón en el Litoral Atlántico cuando el suelo tenga un nivel inferior a 0.35 m.e. K/100 g. Conjuntamente Federalgodón e ICA (10 y 11) recomiendan también aplicar fertilizantes potásicos al algodón cuando los valores del análisis sean inferiores a 0.4 m.e. K/100 g. en la zona del Alto Magdalena, o inferiores a 0.6 m.e. en el Valle del Cauca, especialmente si los valores de Ca y Mg intercambiables son muy altos.

Marín y otros (14) encontraron que después del 5o. corte consecutivo de Trebol blanco, los niveles de potasio intercambiable en el suelo descendieron fuertemente, aproximándose o llegando a un valor crítico. Así, de 16 suelos correspondientes a las zonas de la Costa Atlántica, Valle del Cauca y Alto Magdalena, de un valor inicial promedio de 0.61 m.e.K/100 g., descendieron a 0.29 m.e. Por otra parte, concluyeron que esta forma de potasio no siempre es una buena pauta de diagnóstico y que el potasio extraído con HNO₃ 1 N tuvo mayor correlación con el que fue removido por la cosecha.

Piedrahíta y Benavides (10) en un trabajo similar, también comprobaron una fuerte disminución del potasio intercambiable después del cuarto corte sucesivo de alfalfa. En nueve suelos de la Costa Atlántica y del Alto Magdalena descendió de 0.51 m.e./100 g. a 0.28 m.e. Por otra parte, no destacan esta forma de potasio como adecuada en la determinación de la capacidad de los suelos para suministrar potasio.

Según las informaciones anteriores, es de esperar que los suelos de estas regiones, sometidos a cultivo intenso, erosión, lavado y poco uso de fertilizantes, hayan y vayan agotando paulatinamente sus reservas de potasio y, si hace 5 a 10 años los cultivos no respondían a la aplicación de fertilizantes potásicos, actualmente su comportamiento puede ser contrario.

Drosdoff y otros (5), citan muchos casos como comprobación de la importancia que se le ha dado y que se le debe dar a la expresión del potasio intercambiable en una forma relativa, respecto a la C. I. C., a la suma de bases, al contenido de limos y arcillas etc. Más adelante se considerarán algunos de estos aspectos dentro de la discusión de otras formas de potasio.

5.1. Niveles críticos de K — N H₄ O Ac 1 N.

En la Tabla No. 1 se pueden observar los valores promedios y rangos de potasio fácilmente aprovechable para las tres zonas en consideración, los cuales van aumentando en el orden Alto Magdalena, Valle del Cauca y Litoral Atlántico. Por otra parte, los promedios de los suelos que sí respondieron a la fertilización potásica son claramente superiores

a los de aquellos que no respondieron.

Los niveles críticos calculados para las tres zonas (Tolima, Valle del Cauca y Litoral Atlántico) son respectivamente 0.25, 0.35 y 0.45 m.e. K/100 g. Es conveniente observar que para la primera región las respuestas a la fertilización potásica se establecieron mediante pruebas de invernadero con arroz y maíz (simultáneamente), mientras que para las otras dos zonas se hizo en el campo sobre cultivos de algodón.

5.2. Distribución del potasio intercambiable en las regiones consideradas.

A continuación se presentan los datos tabulados de potasio intercambiable, según resultados de análisis químicos de suelos realizados en los tres últimos años en los laboratorios de la Federación Nacional de Algodoneros y según datos obtenidos de algunas publicaciones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (12 y 13).

Para esta tabulación se consideró también el índice (Ca + Mg)/K por la relación que tiene con la aprovechabilidad del potasio intercambiable (6, 7). Los rangos tanto de una forma de potasio como de la otra se establecieron de acuerdo a los niveles críticos estimados para cada una de las zonas.

Según la evaluación de los resultados presentados en este estudio, la capacidad de suministro de potasio presenta una correlación directa con el nivel de potasio intercambiable en el suelo, pero es inversa respecto a la relación $\frac{Ca + Mg}{K}$. Así, cuando los valores de potasio son bajos y la relación mencionada es alta, la capacidad de suministro es baja. Lo contrario sucede con potasio alto y relación $\frac{Ca + Mg}{K}$ baja.

Alto Magdalena (Tolima)

Según los datos de la tabla 2, pueden presentarse deficiencias de potasio aproximadamente en una tercera parte de los suelos. Aunque predominan los de baja relación $\frac{Ca + Mg}{K}$ (70o/o), la proporción de aquellos con deficiente

contenido de potasio es aproximadamente igual a la de contenidos altos (47o/o y 53o/o, respectivamente). La relación entre suelos con bajo y alto índice (Ca + Mg)/K es aproximadamente de 2 a 1, lo cual indica una menor probabilidad de ocurrencia de deficiencias que la expresada por los valores de potasio intercambiable.

Valle del Cauca

Según los datos de la Tabla 3 pueden presentarse deficiencias de potasio, especialmente en cultivos exigentes o de poca capacidad de extracción del elemento, aproximadamente en un 50o/o a 60o/o de los suelos. Se destaca el hecho de que al considerar bien sea los valores de potasio intercambiable o los de su relación con Ca + Mg, se conserva una relación aproximada de 1.5 a 1 entre el porcentaje de suelos posiblemente deficientes y el de los no deficientes, respectivamente. Esto indica una buena correlación entre los dos sistemas de evaluar la capacidad de suministro de potasio.

TABLA No. 2. Distribución de frecuencias para el contenido de potasio intercambiable en la zona del Alto Magdalena y su relación con Ca y Mg intercambiables. (739 muestras)

RANGOS K	RELACION (Ca + Mg)/K		TOTAL	
	> 60	< 60	(Rangos de K)	
m.e. / 100 g.	FRECUENCIAS (o/o)			
< 0.2			25	47
0.2 - 0.3	20	27	22	
0.3 - 0.4			15	53
> 0.4	11	42	38	
Total (Relacion $\frac{Ca + Mg}{K}$)	31	69	100	

TABLA No. 3. Distribución de frecuencias para el contenido de potasio intercambiable en la zona del Valle del Cauca y su relación con Ca y Mg intercambiables (2.972 muestras)

RANGOS K	RELACION (Ca + Mg)/K		TOTAL	
	> 75	< 75	(Rangos de K)	
m.e. / 100 g.	FRECUENCIAS (o/o)			
< 0.25			45	62
0.25 - 0.35	54	8	17	
0.35 - 0.45			13	38
> 0.45	5	33	25	
Total (Relacion $\frac{Ca + Mg}{K}$)	59	41	100	

Litoral Atlántico

Debido a la baja correlación encontrada entre el potasio intercambiable y su relación con Ca más Mg, y entre este índice $\frac{Ca + Mg}{K}$ y las respuestas a la fertilización potásica,

se concluye que sólo debe esperarse la ocurrencia de deficiencias aproximadamente en una tercera parte de los suelos (véase tabla No. 4).

TABLA No. 4. Distribución de frecuencias para el contenido de potasio intercambiable en la zona del Litoral Atlántico y su relación con Ca y Mg intercambiables (2.537 muestras)

RANGOS K	RELACION (Ca + Mg)/K		TOTAL	
	> 40	< 40	(Rangos de K)	
m.e. / 100 g.	FRECUENCIAS (o/o)			
< 0.3			41	41
0.3 - 0.45	32	9	20	59
> 0.45	20	39	39	
Total (Relacion $\frac{Ca + Mg}{K}$)	52	48	100	

Dentro de la zona del Litoral Atlántico se presentan algunas diferencias en la situación del potasio intercambiable como puede observarse en la Tabla No. 5. Así, se apartan notoriamente del promedio anotado para ocurrencia de deficiencias la región del Sur del Cesar con un 64o/o de probabilidad y la del Atlántico con sólo un 25o/o.

En general, la capacidad de suministro va aumentando paulatinamente del Sur del Cesar hacia el Norte y Noroeste hasta llegar a un máximo en el Atlántico, para disminuir luego a partir de esta región hacia el Sur (Bolívar, Sucre, Córdoba).

6. POTASIO INTERCAMBIABLE RESPECTO AL CALCIO Y MAGNESIO INTERCAMBIABLES (RELACION $\frac{Ca + Mg}{K}$)

En la Tabla No. 1 pueden observarse los valores promedios y la distribución encontrada para la relación $\frac{Ca + Mg}{K}$

tanto en los suelos que respondieron como en los que no respondieron a la fertilización potásica. Los valores mayores están asociados con casos de deficiencia (respuesta positiva) y, los menores, con ausencia de respuesta.

Los niveles de deficiencia calculados para el Valle del Cauca y para el Tolima fueron respectivamente de 75 y 60, existiendo una buena correlación con la respuesta a la fertilización potásica. Para el Litoral Atlántico fue de 30 y con muy baja correlación.

En las Tablas 2 a 5 se presenta la distribución de frecuencias para valores mayores (casos de posibles deficiencias) y

TABLA No. 5. Distribución de frecuencias para el contenido de potasio intercambiable en diferentes regiones del Litoral Atlántico.

RANGOS K m.e./100 g.	Cesar Sur	Magdalena Cesar	Sucre – Bolívar Córdoba	Atlántico	Promedio
	F R E C U E N C I A S (o/o)				
< 0.3	64	43	38	25	41
0.3 – 0.45	22	21	21	18	20
> 0.45	14	36	41	57	39

menores que los niveles críticos anotados, en cada una de las regiones de los climas cálidos secos de Colombia. Para el Litoral Atlántico se tomó un valor mayor, para aumentar la probabilidad de coincidir con situaciones de deficiencia de potasio.

En diferentes investigaciones del antiguo continente (5), se han encontrado valores críticos de relación $(Ca + Mg)/K$ variables generalmente entre $>33: 1$ y $>80: 1$, asociados con deficiencias de potasio.

En el Valle del Cauca se comprobaron deficiencias fuertes de potasio en cultivos de algodón cuando la relación $(Ca + Mg)/K$ era mayor de 100 (6 y 7).

7. OTRAS FORMAS DE POTASIO

En la Tabla No. 1 se presentan también los valores promedios y la distribución de otras formas de potasio determinadas en suelos de las zonas en consideración, como son las de potasio difícilmente intercambiable, en saturación, fijable y aprovechable por el método de Neubauer. Solamente este último método dio una correlación significativa con la capacidad de suministro de potasio, correspondiéndole un nivel crítico aproximado de 0.4 m.e. de potasio extraído por 100 gramos de suelo. Se utilizó arroz Blue-Bonnett.

A excepción de la capacidad de fijación de potasio, las demás evaluaciones presentan una relación directa con la capacidad de suministro del elemento. Especialmente la medida de la fijación de potasio en suelo seco muestra una relación inversa.

Para el Litoral Atlántico, Piedrahita y Benavides (19), así como Marín y otros (14) obtuvieron valores de potasio difícilmente intercambiable notoriamente superiores a los aquí presentados para el Valle del Cauca y Tolima, correspondiendo en promedio a 1.68 m.e K/100 g.

En cuanto al o/o de saturación de potasio, los mismos autores presentan datos cuyo promedio es de 3.1 para el Litoral Atlántico.

8. EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE POTASIO

Disponiendo de los resultados del análisis químico de suelos para una forma específica de potasio que presente la correlación adecuada con la nutrición potásica de la planta,

se puede hacer un estimativo de la capacidad de suministro tomando como pauta los niveles críticos establecidos para esa forma de potasio. Sin embargo, al considerar simultáneamente dos formas de potasio se obtiene un criterio más acertado al respecto.

Para situar ese concepto de capacidad de suministro en el aspecto práctico de necesidad o conveniencia de fertilizar el cultivo con potasio, se puede convertir a términos de probabilidad de respuesta. Así, cuando aquella sea baja, esta será alta y viceversa.

Seleccionando entre los métodos discutidos los más promisorios, tanto en consideración de su buena correlación con la respuesta a fertilizantes potásicos como de su mayor factibilidad de ejecución y tomando como base de comparación en todos los casos la forma de potasio intercambiable, se observa el siguiente comportamiento general:

a— Cuando los dos métodos (K – Intercambiable y otro promisorio) presentan resultados dentro del rango de posible deficiencia, la probabilidad de obtener respuestas a la fertilización potásica es alta y mayor que la esperada después de considerar uno de los métodos aisladamente.

b— Cuando los dos métodos presentan resultados dentro del rango de buen abastecimiento de potasio, la probabilidad de respuesta a la fertilización es claramente baja.

c— Cuando los dos métodos presentan resultados opuestos en cuanto a capacidad de suministro, la probabilidad de respuesta a la fertilización debería ser media, es decir un promedio de las probabilidades de los dos métodos considerados aisladamente; sin embargo, puede tender a ser alta o baja según los métodos comparados, la región y posiblemente el cultivo. Tal probabilidad tenderá a acercarse a la correspondiente del método que presente mejor correlación o sea del mejor para predecir la capacidad de suministro de potasio.

En las Tablas 6 y 7 se presenta la evaluación del potasio en la forma descrita para las zonas consideradas en el presente estudio. De sus resultados se deduce y comprueba lo expresado en los literales anteriores y para cada zona y método en particular se puede concluir lo siguiente:

Alto Magdalena (Tolima)

—Individualmente los métodos, más promisorios fueron los de extracción con ácido nítrico 1 N y el de Neubauer.

TABLA No. 6. Probabilidad de respuestas a la fertilización potásica en suelos del ALTO MAGDALENA obtenida aisladamente con diferentes formas de potasio y evaluando conjuntamente cada una de ellas con la forma intercambiable.

		K - NH ₄ O Ac. 1 N	
OTRAS FORMAS DE POTASIO		Probabilidad respuestas - o/o	
		70	17
Forma	Prob. Resp. o/o	Probabilidad o/o Conjunta (*)	
K - NH ₃ O ₃ 1 N	80	100	50
	17	53	20
K - Neubauer	80	100	50
	22	35	20
K - Total	70	100	35
	12	35	20
Ca + Mg K	70	70	50
	15	35	20

* Comparar estos valores con los específicos de cada forma de potasio.

—Al comparar los resultados del potasio intercambiable con uno cualquiera de los otros métodos se obtuvo un diagnóstico más seguro y acertado.

—Ninguno de los métodos mostró una superioridad clara sobre el del acetato de amonio (K - Intercambiable), ya que con resultados opuestos la probabilidad obtenida fue promedia.

—Aun cuando el valor de la relación (Ca + Mg) /K no presentó los mejores resultados para la evaluación simultánea, se recomienda efectuarla con el, ya que además de mejorar la interpretación no implica la realización de extracciones o procedimientos adicionales a los de rutina.

Valle del Cauca

—Al considerar individualmente los métodos anotados, los más promisorios fueron el de extracción con ácido nítrico 1 N y la relación (Ca + Mg)/K.

—Estos dos métodos fueron mejores que el de extracción con acetato de amonio, en consideración a que con resultados opuestos la probabilidad resultante dio valores próximos a la de ellos.

—Aun cuando la extracción con H N O₃ 1 N presentó mejor correlación que la relación (Ca + MG)/K, se recomienda efectuar la evaluación simultánea de K—intercambiable con los valores de dicha relación, ya que además de mejorar la interpretación no implica la realización de extracciones o procedimientos adicionales a los de rutina.

—En los suelos estudiados, la sola interpretación del potasio extraído con HNO₃ sería tan eficaz como la propuesta en el párrafo anterior.

Litoral Atlántico

—De las dos formas de potasio consideradas, solo el K—intercambiable presentó correlación con la respuesta a la fertilización.

TABLA No. 7. Probabilidad de respuestas a la fertilización potásica en suelos del VALLE DEL CAUCA y del LITORAL ALTANTICO obtenida aisladamente con diferentes formas de potasio y evaluando conjuntamente cada una de ellas con la forma intercambiable.

		K - NH ₄ O A c. 1 N	
OTRAS FORMAS DE POTASIO		(Probabilidad respuestas - o/o)	
		93	27
Forma	Prob. Resp.	Probabilidad Conjunta (*) o/o	
VALLE DEL CAUCA			
K - NH ₃ O ₃	97	100	100
	21	35	20
(Ca + Mg)/K	97	100	70
	21	25	20
LITORAL ALTANTICO			
(ca + Mg)/K	66	(70)	(8)
	13	67	0
		50	8

* Comparar estos valores con los específicos de cada forma de potasio.

—Al efectuar la interpretación conjunta del K—intercambiable con la relación $(Ca + Mg)/K$ no se logró obtener alguna modificación, en la probabilidad de respuestas, que fuera favorable para el respectivo diagnóstico.

—Por todo lo anterior, no se considera necesario tener en cuenta la relación $(Ca + Mg)/K$ para complementar la interpretación del potasio intercambiable en los suelos del Litoral Atlántico.

9. RESUMEN

En el presente trabajo se consideran algunos aspectos del potasio en los suelos de las principales regiones agrícolas de los Valles de los ríos Magdalena, Cauca, Sinú y Cesar.

Después de considerar los resultados de estudios realizados sobre diferentes formas de potasio en el suelo (total, intercambiable, difícilmente intercambiable, soluble y aprovechable — Neubauer), así como su relación con calcio y magnesio, se concluye que para evaluar la capacidad de suministro de potasio es necesario conocer algunos de estos datos para complementarlos con la mineralogía del suelo respectivo y el requerimiento del cultivo.

Uno de los parámetros complementarios en la interpretación de la disponibilidad de potasio, que normalmente se incluye en todo análisis químico de suelos y que ha mostrado en este aspecto una correlación negativa, es la suma de calcio y magnesio. Se observa que el valor crítico de la relación $(Ca + Mg)/K$ varía para cada región y posiblemente para cada cultivo.

Con base en los resultados de análisis de suelos realizados por la Federación Nacional de Algodoneros y por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se presentan datos de frecuencia para valores de potasio intercambiable en las regiones consideradas, relacionándolos con los valores de calcio más magnesio.

La introducción de este último factor $\frac{(Ca + Mg)}{K}$, determina no solo una mayor variación en la evaluación de la capacidad de suministro de potasio por los suelos que la consideración exclusiva del potasio intercambiable, sino también una mejor aproximación en el estimativo de las necesidades de fertilización potásica; así, no obstante que una cantidad apreciable de los suelos de las regiones cálidas secas de Colombia presentan valores de potasio que hasta ahora han sido considerados como altos (más de 0.3 m.e./100 g), con alguna frecuencia se presentan respuestas positivas de los cultivos a la aplicación de fertilizantes potásicos.

BIBLIOGRAFIA

- ARENAS, C y R. MARTINEZ. 1971. Capacidad de intercambio catiónico y cationes intercambiables en suelos situados entre el nevado del Tolima y el Valle del río Magdalena. Universidad del Tolima, Ibagué. 109 pp. (Tesis no publicada).
- ARIAS, C. 1971. Fijación de potasio y fósforo en algunos suelos situados entre el nevado del Tolima y el Valle del río Magdalena. Universidad del Tolima, Ibagué. 36 pp. (Tesis no publicada).
- CASABIANCA, A. y otros. 1972. Evaluación química y biológica de la fertilización de algunos suelos localizados entre el nevado del Tolima y el Valle del río Magdalena. Universidad del Tolima, Ibagué. 404 pp. (Tesis no publicada).
- CHAPMAN, H. y PRATT, P.F. 1961. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. (En inglés). University of California, Division Of Agricultural Sciences. 309 pp.
- DROSDOFF y otros. 1975. Suelos de las regiones tropicales húmedas. National Academy of Sciences, Washington. Buenos Aires, ediciones Marymar. 271 pp.
- FRYE, A. 1975. La deficiencia de potasio y su relación con el "anaranjamiento" e incidencia de Alternaria Sp. en cultivos de algodón del Valle del Cauca. 7o. Seminario COMALFI. Resúmenes. Bogotá p. 49 — 50.
- FRYE, A. 1977. Manejo de los suelos en el cultivo del algodón. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional del Valle del Cauca, Palmira. 42 pp. (Mecanografiado).
- FRYE, A. 1977. Manejo del suelo y uso de fertilizantes en el cultivo del algodón. Primera parte. Federación Nacional de Algodoneros. Espinal. 73 pp. (Mimeografiado).
- FRYE, A. y H. LEAL. 1970. Los estados del potasio y su relación con la fijación y la fertilización en algunos suelos del Tolima. Bogotá, Agric. Trop. XXVI (2) : 57 — 70.
- FRYE, A. y D. GUTIERREZ. 1977. Cómo fertilizar el algodón en la zona del Tolima — Huila — Cundinamarca. ICA — FEDERALGODON, Bogotá. Plegable de divulgación No. 123.
- FRYE, A. y F. MUNEVAR. 1977. Cómo fertilizar el algodón en el Valle del Cauca. ICA — FEDERALGODON, Bogotá. Plegable de divulgación No. 124.
- I. G. A. C. 1969. Estudio detallado de suelos para fines agrícolas, del sector plano de los municipios de Ginebra, Guacarí, Cerrito y Palmira. I. G. A. C. Dirección Agrológica, Bogotá. Vol. V No. 9 288 pp.
- I. G. A. C. 1972. Estudio semidetallado de suelos y aptitud agropecuaria de los municipios de Ambalema, Lírida, Venadillo y Piedras. I. G. A. C. Dirección Agrológica, Bogotá. Vol. VIII No. 2. 316 pp.
- MARIN, G. y otros. 1967. La capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio. Bogotá, Agric. Trop. XXIII (2) : 89 — 102.
- MARIN, G. y otros. 1975. El análisis de suelos y las recomendaciones de fertilizantes y cal. ICA, Bogotá. Bol. Tec. No. 34. 26 pp.
- MONTAÑO, J. 1966. Distribución de los niveles de elementos mayores en los suelos algodoneros de Colombia. FEDERALGODON, Bogotá. Boletín Técnico p. 13-37.
- MONTAÑO, J y F. HERRON. 1969. Reacción del cultivo del algodón a la aplicación de fertilizantes N P K y la influencia de algunos factores en ella. FEDERALGODON, Bogotá. 64 pp.
- MONTAÑO, J. 1975. Resultados experimentales de la fertilización del algodón en la Costa Atlántica. FEDERALGODON, Bogotá. 64 pp.
- PIEDRAHITA, P. y BENAVIDES, G. de 1966. Distribución y formas de potasio en algunos suelos de Colombia. Bogotá, Agric. Trop. XXII (4) : 183—189.
- TISDANLE, S.L. W.L. NELSON. 1966. La fertilidad del suelo y los fertilizantes. (En inglés) 2a. edición Mac Millan, New York, 694 pp.
- WALSH, L.M. y J.D. BEATON, Ed. 1973. Soil testing and plant analysis. S.S.A. Wisconsin. 491 pp.

LA FERTILIZACION POTASICA EN CULTIVOS DE CLIMA FRIO^v

Giraldo Marín Morales^{2/}

1. INTRODUCCION

En términos generales, la zona del país localizada entre los 2.000 y los 3.000 metros de altura sobre el nivel del mar es la que corresponde al clima frío (6). En otras palabras, es la faja de las cordilleras andinas correspondiente al piso térmico frío, con una temperatura que varía entre 17,5 y 12°C. Con excepción de los departamentos del Atlántico, Bolívar, Sucre y Córdoba, todos los demás tienen parte de su superficie dentro de este piso térmico.

Colombia tiene 7'700.175 hectáreas en el piso térmico frío, esto es, aproximadamente el 7 por ciento de los 113'891.400 de su superficie total. Esta área corresponde a algunas regiones planas como la Sabana de Bogotá, los valles de Ubaté en Cundinamarca y los de Chinquirá y Sogamoso en Boyacá, o regiones onduladas como el Oriente Antioqueño, los altiplanos de Pasto, Túquerres e Ipiales en el departamento de Nariño y zonas quebradas en casi todos los departamentos del país. Todas estas áreas tienen mucho significado en la vida económica del país, por la extensión relativamente amplia que ocupan, por la alta densidad de la población allí establecida y por el valor de la industria que allí también se desarrolla.

Los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Cauca y Nariño, tienen más de la mitad del área correspondiente al clima frío del país. En la tabla 1 se presentan en orden decreciente los 5 departamentos que poseen los mayores áreas de clima frío. Antioquia ocupa el primer lugar con el 14 por ciento, que representa un total de 1'070.550 hectáreas; le sigue Boyacá con el 13 por ciento para 997.200 hectáreas; luego Cundinamarca con el 11 por ciento para 831.150 hectáreas, y finalmente los departamentos de Cauca y Nariño con el 8 por ciento cada uno, lo cual les representa aproximadamente 600.000 hectáreas, pero en el primero la mayoría inapropiadas para la agricultura por la topografía abrupta que las caracteriza.

Los cultivos más comunes de la zona fría de Colombia son: la papa, el trigo, la cebada y los pastos, y en menor proporción algunas hortalizas, frutales y leguminosas de grano. Algunos de estos cultivos como la papa, el trigo y la cebada se consideran exclusivos de clima frío. En el año de 1975 se cultivaron 90.000 hectáreas con papa, 75.000 con cebada y 38.000 con trigo, para un valor total de la producción de más de dos mil millones de pesos, cifra realmente importante para la economía del país (15).

El objetivo principal de este trabajo es presentar en forma breve los resultados obtenidos por el Instituto Colombiano

de Agropecuario con la fertilización potásica en cultivos de hortalizas, trigo, cebada y papa, en tres zonas frías del país, a saber: el Oriente Antioqueño, el Altiplano de Nariño y el Altiplano Cundi-Boyacense. En primer lugar se hará una breve descripción de las características edafológicas de cada zona y a continuación se presentarán algunos de los resultados más sobresalientes obtenidos en la fertilización potásica en los cultivos citados.

TABLA 1. Departamentos de Colombia con mayor área en clima frío.*

Departamentos	Héctareas	Porcentaje del total: 7'700.175
Antioquia	1'070.550	14
Boyacá	997.200	13
Cundinamarca	831.150	11
Cauca	605.250	8
Nariño	598.500	8

* Datos obtenidos del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".

2. CARACTERISTICAS DE LAS PRINCIPALES ZONAS FRIAS DE COLOMBIA

2.1. EL ORIENTE ANTIOQUEÑO.

La zona fría del Oriente Antioqueño está localizada entre los 2.100 y los 2.500 metros de altura sobre el nivel del mar. El clima se caracteriza por una precipitación anual de 1.800 a 2.000 mm relativamente bien distribuidos durante todo el año, lo cual ha permitido desarrollar una agricultura muy peculiar para la zona. Los suelos de esta región están representados en su mayor parte, por colinas, siguiéndole las terrazas y los aluviones. Los suelos de las colinas están formados por depósitos volcánicos más o menos profundos. Las terrazas y los aluviones, descansan sobre un material arcilloso, de posible origen lacustre, y con evidencias de gleización en las capas profundas (2, 3).

Basándose en características de campo y en las propiedades químicas de los suelos, varios autores (3, 7, 8, 9) han acogido la hipótesis de que el material parental de los suelos del Oriente Antioqueño es derivado de cenizas volcánicas. Estos suelos han sido clasificados, de acuerdo al sistema americano de clasificación de suelos, como Inceptisoles (orden), Andept (suborden) y Dystrandept (Gran grupo). Es decir, son suelos alofánico-húmicos, fuertemente lixiviados y con una mediana meteorización de los minerales primarios.

En el horizonte A predominan las texturas medianas o gruesas, franco-arcillosas o franco-arenosas, difíciles de dis-

1. Contribución del Programa de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA.

2. Ingeniero Agrónomo, M.S. Programa Nacional de Suelos, Instituto Colombiano Agropecuario, ICA.

persar y con apariencia jabonosa al tacto (3). Son promi- nentes las estructuras granuales, aunque es frecuente en- contrar suelos de estructura masiva. Son suelos friables y porosos, 70 a 84 por ciento de porosidad total. La densidad aparente es muy baja, 0,3 a 0,7 g/cc (3). Estas propiedades físicas le proporcionan a los suelos características de fácil laboreo y cierta susceptibilidad a la erosión.

Las propiedades químicas en el primer horizonte se manifiestan por una reacción entre muy fuertemente ácida (pH 4,6) a moderadamente ácida (pH 5,6) cuando se determina en agua. En este horizonte, el carbono orgánico es muy alto, llegando a valores que oscilan entre 7 y 22 por ciento; pero su contenido disminuye gradualmente con la profundidad del perfil, dando un color pardo-amarillento a los horizontes subyacentes. Los contenidos de nitrógeno total siguen un patrón muy similar al del carbono. La saturación de bases es muy baja, lo mismo que el fósforo aprovechable para las plantas. El potasio disponible para las mismas es muy variable dependiendo principalmente del manejo del suelo.

Las características edafológicas se modifican drásticamente en el perfil del suelo a medida que estos se cultivan. La profundidad del primer horizonte en suelos delgados, se aumenta con el continuo laboreo del suelo y la disponibilidad de los nutrimentos esenciales para las plantas es mayor, gracias a la incorporación de los residuos de cosechas y de la frecuente aplicación de abonos orgánicos y de fertilizantes químicos. De este modo, el nivel del potasio intercambiable en el suelo se ha incrementado de menos de 0,20 meq en tierras vírgenes, hasta más de 0,30 en suelos intensamente cultivados.

2.2. EL ALTIPLANO DE NARIÑO.

Los suelos agrícolas de clima frío del departamento de Nariño, están localizados entre los 2.200 y 3.100 metros de altura sobre el nivel del mar. La precipitación anual varía de 700 a 1.200 mm. Los procesos y factores de formación del suelo, predominantes en la zona, han dado origen a suelos Andepts (13). Es decir, suelos de desarrollo incipiente, derivados de materiales piroclásticos, principalmente.

Los suelos de los altiplanos de Nariño (Ipiales, Túquerres, Pasto), tienen características favorables para el normal crecimiento de los cultivos y para el manejo de los mismos. Sin embargo, las propiedades químicas presentan algunas limitaciones, especialmente la deficiencia de fósforo. Los suelos se caracterizan por una reacción ácida (pH 4,5 a 6,0) contenidos altos de materia orgánica y nitrógeno total, pero con nitrógeno disponible muy bajo. El P total es alto, en su mayor parte P orgánico, pero las fracciones aprovechables son muy bajas, del orden del uno al dos por ciento del P total. Además son suelos de una alta capacidad de fijación de fosfatos. El contenido de las bases intercambiables Ca, Mg, K y Na es muy variable.

El K-intercambiable, el K-soluble y el K más soluble de la fracción no intercambiable, indican disponibilidades suficientes o inmediatas de K para los cultivos. No obstante, son suelos que por sus buenas propiedades físicas tienen una alta tasa de lixiviación de K. La capacidad de intercam-

bio catiónica es alta, de 20 a 40 meq., pero la carga efectiva valorada por la suma de las bases intercambiables Ca, Mg, K y Na, es apenas del 30 al 60 por ciento de las cargas permanentes (11, 12, 13, 23).

2.3. EL ALTIPLANO CUNDI-BOYACENSE.

El altiplano Cundi-Boyacense, tal como se considera aquí, está conformado por la Cuenca Alta del Río Bogotá, el valle del río Sogamoso en Boyacá y las zonas onduladas de ambos departamentos localizadas entre los 2.500 y 3.000 metros de altura sobre el nivel del mar.

La zona fría de Cundinamarca, está localizada principalmente en la Cuenca Alta del Río Bogotá, con una extensión total aproximada de 428.000 hectáreas; comprende la Sabana de Bogotá, que es un valle intermontano alto y las partes onduladas adyacentes. El área plana ocupa aproximadamente 145.000 hectáreas y el área ondulada o quebrada, 283.000 (1, 5). En la Sabana de Bogotá la altitud oscila entre 2.600 y 2.700 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura anual promedio de 14°C. El relieve predominante es plano, aunque localmente se presentan sectores con pendientes de 3, 7 y 12 por ciento.

Las series de suelos más extensas en la parte plana son: Tibaitatá, Río Bogotá, Zipaquirá, Nemocón, corzo, Bermeo, Techo y Gachancipá. Las series Tibaitatá, Zipaquirá, Corzo y Bermeo, comprenden suelos usualmente bien drenados; en las restantes el drenaje es restringido. Las series de suelos más comunes en las partes onduladas y quebradas que cloindan con la parte plana de la Sabana de Bogotá, son: en las partes más bajas Bojacá y Cogua y en las partes más altas Cabrera, Cruz Verde, Monserrate, Páramo, Usme, Guasca y Facativá. En todas estas series el drenaje natural es bueno, salvo en la serie Bojacá, que presenta un horizonte compacto debajo del primer horizonte. (1).

Varios autores (1, 4) han postulado que tanto los suelos de la parte plana como los de la ondulada, han sido influidos por cenizas volcánicas, bien sea depositados en el antiguo lago que cubrió la Sabana de Bogotá o transportadas directamente hasta la zona quebrada adyacente a la misma. La presencia de ceniza volcánica es evidente en los rasgos morfológicos del perfil, lo cual ha sido confirmado por determinaciones mineralógicas de las fracciones arcilla y arena (5).

La zona fría del departamento de Boyacá, comprende los valles intermontanos de Tunja, Samacá, Paipa, Duitama y Sogamoso y las tierras onduladas y quebradas de los municipios circunvecinos. Se trata generalmente de áreas comprendidas entre los 2.500 y los 3.000 metros sobre el nivel del mar. El relieve predominante en los valles es plano a ligeramente ondulado; en la zona ondulada y quebrada adyacente, predominan pendientes de 7, 12, 25 y hasta 50 por ciento, particularmente en las áreas dedicadas a la agricultura (5).

En términos generales, la naturaleza de los suelos en la zona ondulada de Boyacá, es bastante similar a la de los suelos de la zona fría ondulada de Cundinamarca. Los estudios realizados por el Departamento Agrológico del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" han informado la ocurrencia de series de suelos comunes a ambas áreas (5), tales como

las series Páramo, Cabrera, Cogua y Boyacá, presentes en las áreas onduladas y quebradas.

A diferencia de los suelos de la hoya alta del Rfo Bogotá, los suelos de la parte plana presentan algunos problemas físicos y propiedades químicas diferentes. Así, por ejemplo predominan texturas arcillosas, el drenaje natural es usualmente imperfecto o pobre, y durante la estación lluviosa el nivel freático está cerca a la superficie (5). Los análisis químicos muestran generalmente bajo contenido de materia orgánica, pH's ligeramente ácidos, alto porcentaje de saturación de bases, bajo contenido de aluminio intercambiable y, ocasionalmente, áreas pequeñas o parches aislados con alto contenido de sales tóxicas, especialmente sulfatos, que originan suelos con pH's ácidos.

2.4. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LA CAPA ARABLE.

En la Tabla 2 se condensan algunas de las características químicas más importantes de los suelos de clima frío, considerados en conjunto. De cerca de 6.000 muestras analizadas, el 55 por ciento dio valores de pH menores a 5,5 y so-

lamente el dos por ciento valores superiores a 7,3. El 43 por ciento restante resultó con pH's entre 5,6 y 7,3. De las muestras que dieron un pH menor de 5,5, el 24 por ciento dieron una acidez intercambiable menor a un meq., el 35 por ciento entre 1,1 a 3,0 y en el 41 por ciento restante, la acidez intercambiable fue superior a 3 meq.

El 29 por ciento de las muestras analizadas resultaron con un contenido de materia orgánica menor al cinco por ciento entre 5,1 y 10. El 43 por ciento restante resultó con contenidos de materia orgánica superiores a 10. El 67 por ciento de las muestras analizadas dieron contenidos menores a 30 ppm de P extraído por el método BRAY II, y un 33 por ciento dio valores más altos.

El 42 por ciento de las muestras analizadas dio valores de K superiores a 0,40 meq. El 30 por ciento entre 0,21 y 0,40; el 17 por ciento entre 0,11 a 0,20 y solamente el 11 por ciento valores de K inferiores a 0,10 meq. Un buen porcentaje de las muestras analizadas, el 37 por ciento, dio relaciones Ca/Mg mayores a 5. El 26 por ciento valores entre 3,1 a 5; el 23 por ciento entre 1,1 a 3, y el 14 por ciento relaciones Ca/Mg inferiores a la unidad.

TABLA 2. Distribución de los valores de los análisis de suelos de muestras provenientes del clima frío del país.^{1/}

Determinación	Valores Límites		Porcentaje de las muestras
	inferior	superior	
pH		< 5,5	55
pH	5,6	7,3	43
pH		> 7,3	2
Acidez intercambiable ^{2/} (meq/100g)		< 1	24
Acidez intercambiable	1,1	3,0	35
Acidez intercambiable		> 3,0	41
Materia orgánica (o/o)		< 5	29
Materia orgánica (o/o)	5,1	10	28
Materia orgánica (o/o)		> 10	23
Fósforo (ppp P Bray II)		< 15	55
Fósforo	15,1	30	12
Fósforo		> 30	33
Potasio (meq/100 g)		< 0,10	11
Potasio	0,11	0,20	17
Potasio	0,21	0,40	30
Potasio		> 0,40	42
Relación Ca/Mg		< 1	14
Relación Ca/Mg	1,1-	3,0	23
Relación Ca/Mg	3,1	5,0	26
Relación Ca/Mg		> 5,0	37

1/ Información tomada del Banco de Datos del Programa de Suelos del ICA.

2/ Los datos sobre acidez intercambiable están basados en 2.695 muestras.

3. RESULTADOS OBTENIDOS CON LA FERTILIZACION POTASICA

A continuación se presentarán los principales resultados obtenidos con la fertilización potásica en los cultivos de hortalizas y papa en la zona fría del Oriente Antioqueño, y con hortalizas, trigo, cebada y papa en los altiplanos de Nariño y en el altiplano Cundi-Boyacense. Las respuestas a potasio en los cultivos de clima frío del país han sido muy raras, con excepción del Oriente Antioqueño. En los experimentos realizados por el Instituto Colombiano Agropecuario (10, 14, 17, 18, 19, 21, 22, 24) se han obtenido resultados inconsistentes, pues algunos cultivos han mostrado ligeros aumentos en el rendimiento al aplicar K, mientras que en otros casos no ha habido respuesta o ésta ha sido negativa como lo veremos luego.

3.1. RESPUESTA DE VARIAS HORTALIZAS A LA FERTILIZACION CON POTASIO.

En la figura 1 se ilustra la respuesta de cinco hortalizas a la fertilización potásica en Andosoles del Oriente Antioqueño. Se puede observar que la zanahoria respondió muy favorablemente a la fertilización potásica; la habichuela y el tomate un poco menos, mientras que con la remolacha y el repollo los tratamientos sin potasio superaron ampliamente

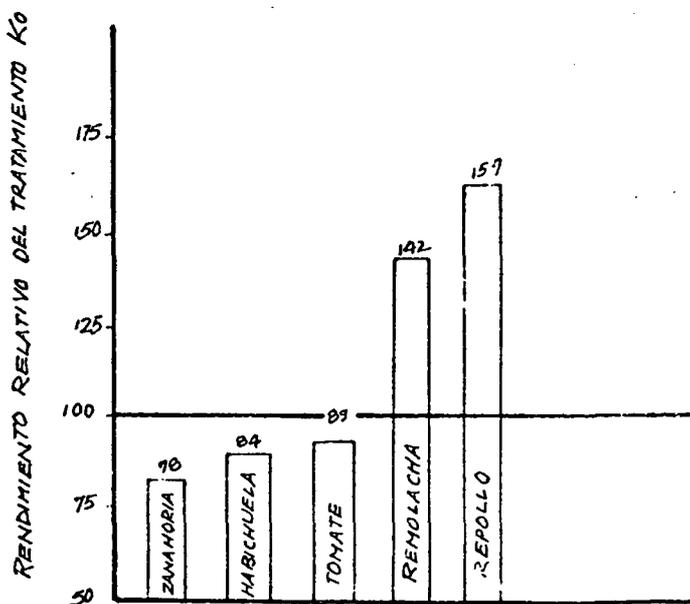


FIGURA 1. Respuesta de 5 hortalizas a la fertilización potásica en andosoles del Oriente Antioqueño (19).

a aquellos que recibieron la fertilización potásica. La primera inferencia que puede hacerse es la de que las diferentes especies de hortalizas tienen distintos requerimientos de potasio. Aunque esto es cierto, también es posible suponer la existencia de cantidades diferentes de K aprovechable en el suelo durante el desarrollo de los diferentes cultivos.

En la Tabla 3 se presentan los datos sobre la respuesta relativa de varias hortalizas en un Inceptisol de la Sabana de Bogotá y en suelos Andept del departamento de Nariño. En estos últimos suelos, los experimentos realizados con Ajo y Haba mostraron una respuesta muy apreciable al potasio. El tratamiento sin potasio en el Ajo, solamente alcanzó un rendimiento del 58 por ciento, mientras que en el Haba este mismo tratamiento alcanzó un rendimiento del 75 por ciento comprado con el tratamiento que si recibió potasio.

En el Inceptisol de la Sabana de Bogotá las hortalizas respondieron muy poco o no respondieron a la fertilización potásica. Así, por ejemplo la remolacha y el repollo respondieron muy ligeramente a la fertilización potásica, mientras que con la cebolla y la coliflor los tratamientos sin potasio dieron rendimientos mayores que aquellos tratamientos con potasio.

TABLA 3. Respuesta Relativa de Varias Hortalizas a la Fertilización Potásica en Suelos de la Sabana de Bogotá y del Altiplano de Pasto (16, 24).

Hortaliza	Suelo	Rendimiento Relativo del Tratamiento K ₀
Cebolla (<i>Allium fistulosum</i> L.)	Inceptisol	115
Coliflor (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>bothrytis</i>)	Inceptisol	109
Remolacha (<i>Beta vulgaris</i> L.)	Inceptisol	98
Repollo (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>)	Inceptisol	95
Haba (<i>Vicia faba</i> L.)	Andosol	75
Ajo (<i>Allium sativum</i> L.)	Andosol	58

3.2. RESPUESTA DEL TRIGO Y DE LA CEBADA A LA FERTILIZACION CON POTASIO.

En la figura 2 se indica la respuesta del trigo y de la cebada a la fertilización con potasio en suelos Andepts del altiplano de Nariño. Los resultados se refieren al promedio de 28 ensayos localizados en suelos cuyo K-intercambiable varió de 0,33 a 1,57 meq/100 g de suelo. Solamente hubo una leve respuesta del trigo a la fertilización potásica cuando se pasó de la dosis de 30 a 50 Kg/Ha de K₂O. Sin embargo, en ningún caso las diferencias fueron estadísticamente significativas.

En la figura 3 se ilustra la respuesta del trigo a la fertilización potásica en suelos del altiplano Cundi-Boyacense medida en términos de rendimiento relativo. Al pasar una línea paralela a la del K-intercambiable del suelo a partir del 80 por ciento del rendimiento relativo, y por otra parte trazando una línea también paralela a la del rendimiento relativo a partir del valor 0,2 meq. de K en el suelo, se ve claramente que la mayor parte de los puntos se encuentran en el cuadrante que indica más del 80 por ciento de rendimiento relativo del tratamiento sin potasio y experimentos establecidos en suelos con más de 0,2 meq de K intercambiable. Solamente quedaron cuatro puntos localizados en el cuadrante que indica más de 0,2 meq de K y un rendimiento relativo inferior al 80 por ciento, pero estos no representan sino aproximadamente un 11 por ciento de todos los experimentos que se localizaron en suelos con más de 0,2 meq. de K intercambiable.

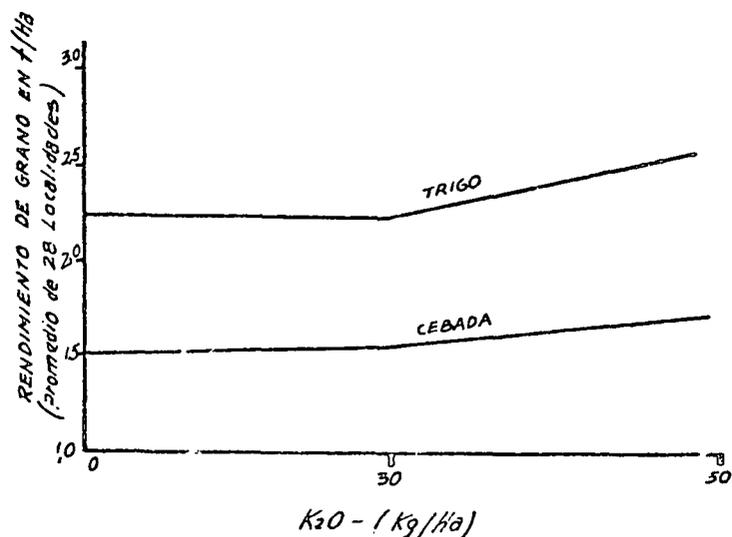


FIGURA 2. Respuesta del trigo y de la cebada a la fertilización con potasio en suelos Andept del Altiplano de Nariño (11, 12).

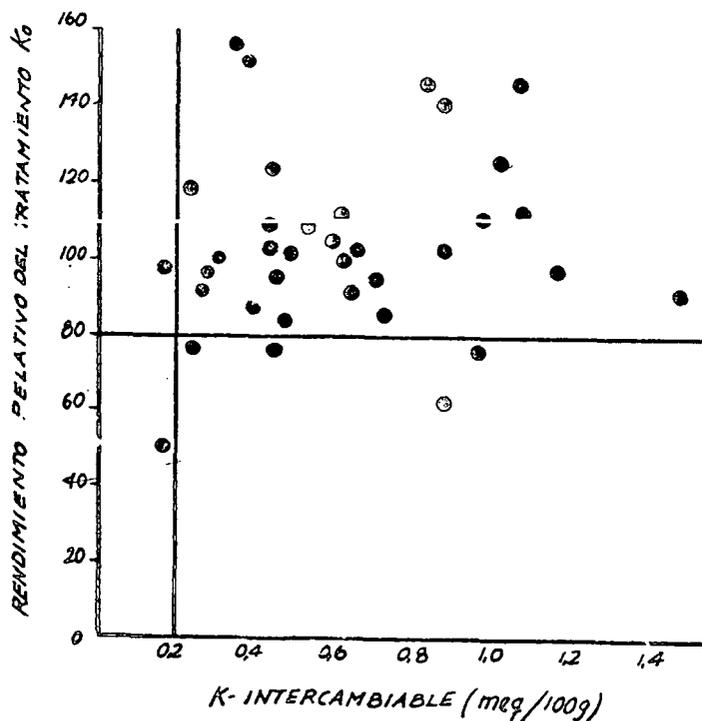


FIGURA 3. Relación entre el K-intercambiable del suelo y la respuesta del trigo a la fertilización potásica en suelos del altiplano Cundi-Boyacense (Banco de datos del Programa de suelos ICA).

3.3. RESPUESTA DE LA PAPA A LA FERTILIZACION CON POTASIO.

En la figura 4 se muestra, por una parte, el contenido de K intercambiable en un suelo, y por la otra el rendimiento relativo del tratamiento sin potasio (K₀) en experimentos llevados a cabo en Andosoles del Oriente Antioqueño. El

rendimiento relativo del tratamiento K₀, fue generalmente menor en aquellos suelos con menos de 0,29 meq de K intercambiable y muy alto en el suelo con 0,55 meq. de K. Sin embargo, hay una zona central, en donde suelos con 0,18 y 0,21 meq. de K, la respuesta de la papa a este elemento fue confusa. En esta información queda un vacío que nos permite establecer una correlación clara entre el K intercambiable del suelo y la respuesta de la papa a la fertilización potásica. Sería muy importante profundizar un poco más en este tipo de correlación con más datos de campo, pues las tendencias que se presentan en la figura 5 así lo indican.

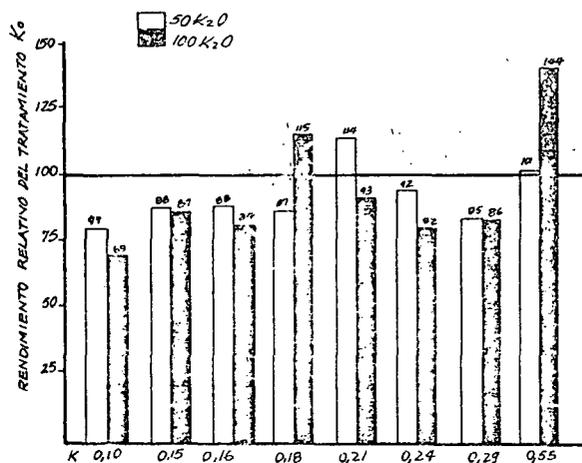


FIGURA 4. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) a la fertilización potásica en Andosoles del Oriente Antioqueño (20).

En la figura 6 se muestra la respuesta promedio de la papa a la fertilización con K en suelos Andept del Altiplano de Nariño. En el promedio de 28 ensayos que fueron localizados en suelos con K intercambiable que varió de 0,4 a 1,2 meq., prácticamente no se encontró ninguna respuesta a la fertilización potásica. Solamente cuando se hicieron aplicaciones altas de K, es decir cuando se pasó de las dosis de 100-120 hasta las dosis de 200 Kg/Ha de K₂O, hubo un ligero aumento en el rendimiento, pero en ningún caso significativo.

En un grupo de experimentos de cabo llevados a cabo en el altiplano Cundi-Boyacense se constató al relacionar el K intercambiable del suelo con la relación Beneficio / Costo (B/C), que las aplicaciones de fertilizantes tienen muy poca probabilidad de aumentar los rendimientos en papa, cuando esta se siembra en suelos con más de 0,30 meq. de K intercambiable.

Dividiendo arbitrariamente la figura 7 a partir de las 0,30 meq. de K en el suelo y del valor de la relación B/C mayor a 2, la mayoría de los puntos quedan localizados en el cuadrante que indica valores de K intercambiable mayores a 0,30 y relaciones B/C menores a 2, lo cual corrobora lo anteriormente expuesto, de que la fertilización potásica, no se refleja en aumentos significativos, y muchos menos económicos, en el cultivo de la papa en estos suelos del altiplano Cundi-Boyacense con más de 0,30 meq. de K intercambiable.

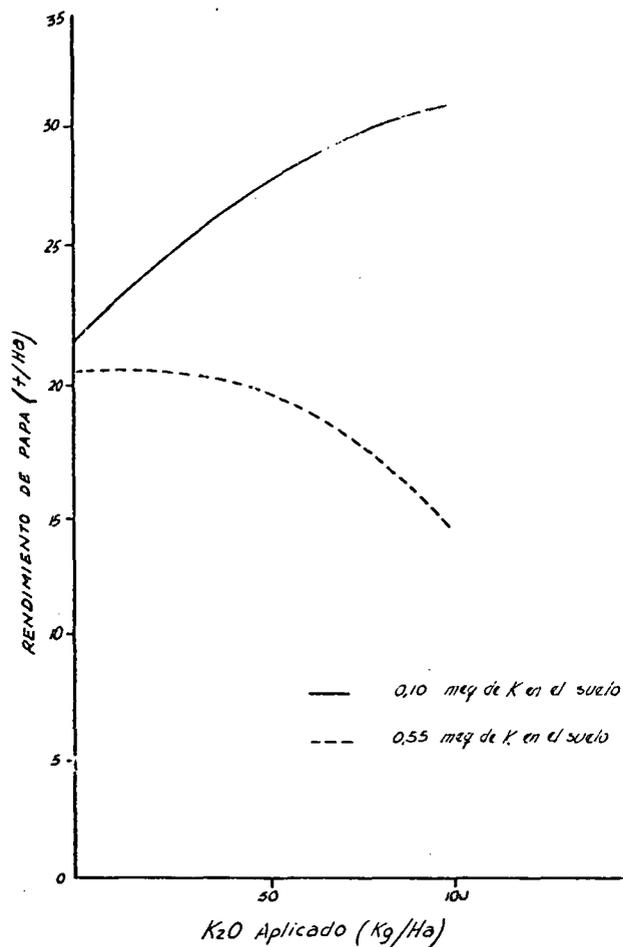


FIGURA 5. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) a la fertilización potásica en Andosoles del Oriente Antioqueño (20).

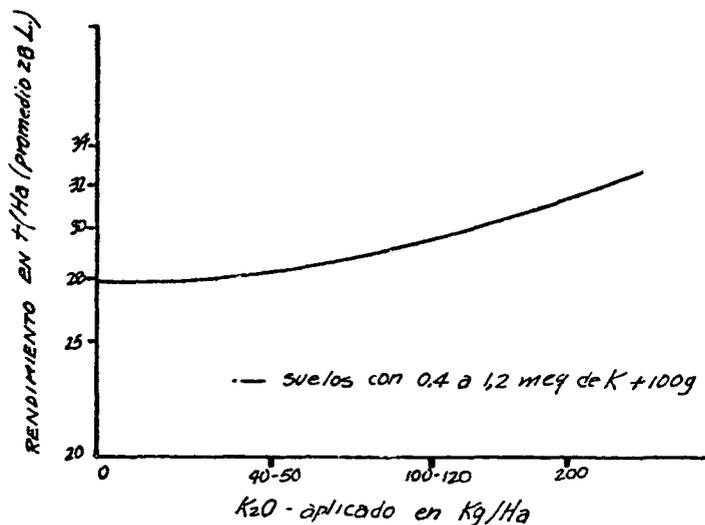


FIGURA 6. Respuesta promedio de la papa (*Solanum tuberosum* L.) a la fertilización con potasio en suelos Andepts del Altiplano de Nariño (13).

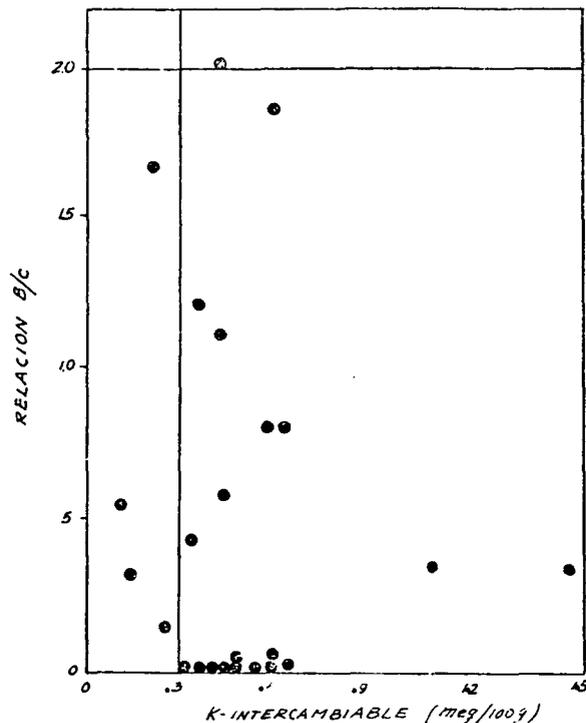


FIGURA 7. Relación entre el potasio intercambiable del suelo y la relación B/C al aplicar fertilizantes potásicos en papa, en suelos del altiplano Cundi-Boyacense (Banco de datos del Programa de Suelos del ICA).

No hay suficiente información para analizar lo que pasaría en suelos con menos de 0,30 meq. de K, pero lo que sí es evidente es que los suelos para el cultivo de la papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, raramente resultan con menos de ese valor para el K intercambiable.

4. RESUMEN

La faja de cultivos de clima frío considerada aquí, está comprendida entre los 2.000 y 3.000 m.s.n.m., con temperaturas que varían entre los 17,5 a 12°C. Los cultivos más comunes en las zonas de clima frío del país son la papa, el trigo, la cebada y las hortalizas. El trabajo resalta la importancia de estos cultivos en la economía del país y hace una descripción breve de los suelos desde el punto de vista de sus características edafológicas. El objetivo principal es presentar, en forma breve, los resultados obtenidos durante los últimos años, con la fertilización potásica en los cultivos citados, en tres zonas frías de Colombia, a saber: 1.— El Oriente Antioqueño; 2.— El Altiplano de Nariño y 3.— El Altiplano Cundi-Boyacense. Los resultados son inconsistentes, pues algunos cultivos han mostrado ligeros aumentos en el rendimiento al aplicar K, mientras que en otros no ha habido respuesta o esta ha sido negativa. Sin embargo, en suelos nuevos del Oriente Antioqueño, bajos en K, la papa ha respondido significativamente a la fertilización potásica.

BIBLIOGRAFIA

1. CARRERA, E., J. PICHOTT y E. B. ALEXANDER. 1968. Estudio general de clasificación de suelos de la Cuenca Alta del Río Bogotá para fines agrícolas. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". vol. IV No. 1 200 p.
2. CASTRILLON, D. y F. GOMEZ. 1964. Reconocimiento detallado de los suelos del valle de Rionegro (Antioquia). Tesis. Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. Medellín 86p.
3. FERNANDEZ, F. y N. SANTA. 1964. Estudio general de los suelos del Oriente Antioqueño. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Departamento Agrológico. 93 p.
4. GUERRERO, R. 1965. Suelos de Colombia y su relación con la Séptima Aproximación. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Departamento Agrológico 1(3): 14-48.
5. GUERRERO, R. 1974. La fertilización fosfórica en cultivos de clima frío. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 6: 179-223.
6. INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTIN CODAZZI". 1969. Atlas de Colombia. Bogotá. Litografía Arco. 216 p.
7. LEON, L.A. 1964. Estudios químicos y mineralógicos de diez suelos colombianos. Agric. Tropic. (Colombia) 20: 442-451.
8. LUNA, C. 1968. Anotaciones pedológicas sobre algunos Andosoles de Antioquia. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Departamento Agrológico 4(9) : 92 : 98.
9. LUNA, C. 1973. Suelos derivados de cenizas volcánicas del departamento de Nariño. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Departamento Agrológico. 157 p.
10. MUNEVAR, F. y otros. 1977. Fertilización de la papa en Cundinamarca y Boyacá pp. 33-54. En: Manejo de los Suelos de la Regional No. 1. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario - Programa de Suelos 138 p. (mimeografiado).
11. MUÑOZ, R., A. WIECZOREK y L. A. LEON. 1973. Respuesta de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) a diferentes dosis de fertilizantes en suelos influenciados por cenizas volcánicas en Nariño. Revista ICA 7 (3) : 261-271.
12. MUÑOZ, R.; A. WIECZOREK; A. H. MANZANO; M. A. MELO y L. A. LEON. 1974. Fertilización del trigo (*Triticum sativum* L.) en suelos influenciados por cenizas volcánicas del departamento de Nariño, Colombia. Revista ICA 9 (4) : 389-402.
13. MUÑOZ, R. y A. WIECZOREK. 1977. Fertilización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en los Andosoles del departamento de Nariño, Colombia. En: Curso sobre Suelos y Fertilizantes: Manejo de los suelos de Nariño pp. 14-32. Pasto, Instituto Colombiano Agropecuario ICA.
14. NAVAS, J. y A. H. MANZANO. 1977. Fertilización de cereales de clima frío de Cundinamarca y Boyacá. En: Curso sobre suelos y fertilizantes - Manejo de suelos de la Regional No. 1. pp. 104-125. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario - Programa de Suelos. 138 p. (mimeografiado).
15. OPSA - OFICINA DE PLANEACION DEL SECTOR AGROPECUARIO. Ministerio de Agricultura. Evaluación 1975. Programación 1976. Programas Agrícolas.
16. ORTEGA, J. 1977. Fertilización de algunas hortalizas en Colombia. pp. 88-109. En: Curso sobre Suelos y Fertilizantes. Pasto, Instituto Colombiano Agropecuario - Estación Experimental Obonuco. 150 p. (mimeografiado).
17. RODRIGUEZ, M.; G. B. BAIRD y J. CORREA. 1960. Fertilización de la papa en Antioquia. Bogotá, Ministerio de Agricultura. Boletín Técnico No. 5. 22 p.
18. RODRIGUEZ, G. y G. RICO. 1969. Fertilización de la cebada en la Sabana de Bogotá, Ubaté y Boyacá. Agric. Tropic. (Colombia) 25(1): 37-50.
19. RODRIGUEZ, M. y M. LOBO. 1972. Fertilización de hortalizas en suelos volcánicos de Antioquia y Caldas. Revista ICA, (Colombia) 7 (3) : 219-232.
20. TOBON, J. H. 1974. Comportamiento de algunos sistemas agrícolas tradicionales a varias prácticas de producción en el Oriente Antioqueño. Tesis M.S. Chapinco (México). Escuela Nacional de Agricultura - Colegio de Post graduados.
21. VEGA, V.M.; G. B. BAIRD y M. RODRIGUEZ. 1959. Algunos aspectos de la fertilización del trigo en suelos de la Sabana de Bogotá y Alrededores. Bogotá, Ministerio de Agricultura. Boletín Técnico No. 4. 43 p.
22. VEGA, V. M.; DIAZ y G. B. BAIRD. 1960. Fertilización de la papa en la Sabana de Bogotá y Alrededores. Bogotá, Ministerio de Agricultura. Boletín Técnico No. 6. 31 p.
23. WIECZOREK, A. y G. N. BAIRD. 1959. Fertilización de la papa en Nariño. Bogotá, Ministerio de Agricultura. Boletín de Divulgación No. 7 20 p.
24. WIECZOREK, A. 1977. Fertilización de Hortalizas en Cundinamarca. En: Curso sobre Suelos y Fertilizantes - Manejo de Suelos de la Regional No. 1. pp. 126-138. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario. Programa de Suelos. 138 p. (mimeografiado).

FERTILIZACION POTASICA EN ALGUNOS CULTIVOS DE CLIMA CALIDO

R. H. Howeler y J. M. Spain **

En términos generales, los suelos de Colombia tienen buenos contenidos de potasio, especialmente en las regiones con mayor potencial agrícola. Según datos de León (1972) en las regiones cálidas de Colombia, los suelos con niveles medios o altos de K se encuentran en el Valle del Cauca, Valle del Alto Magdalena y en la mayor parte de la Costa Atlántica; los suelos con bajos niveles de K se encuentran especialmente en los Llanos Orientales y en algunas partes de la Costa Pacífica. La necesidad de aplicar K no se encuentra determinada únicamente por el contenido de K intercambiable sino también por la capacidad del suelo para suministrar el elemento de su material parental, por el tipo de arcillas, por el contenido de Ca y Mg del suelo, y por la humedad del suelo. Por supuesto, también hay que considerar el requerimiento de K por parte del cultivo.

Entre los cultivos de clima cálido se encuentra una variación en cuanto a sus requerimientos de K. Prevott (1958) ha agrupado los cultivos tropicales según la relación K/N calculada con base en los productos de cosecha. Esta relación indica la cantidad de potasio que con relación al N se extrae de un suelo con cada cosecha. La tabla 1 muestra que los cultivos de mayor relación K/N son: la yuca, el banano, la palma africana, la piña, la palma de coco, y la caña de azúcar, mientras que los cultivos con menor relación K/N son: el arroz, el maíz, el té, el caucho y el algodón.

En suelos con baja capacidad para suministrar K, como en los Llanos Orientales, se puede esperar una respuesta a K en casi cualquier cultivo. En suelos con medio o alto nivel de K se espera una respuesta a éste elemento únicamente en aquellos cultivos con mayor requerimiento del mismo.

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DE LOS LLANOS ORIENTALES

El suelo de Carimagua, situado en el Noreste del Meta, es bastante representativo de los suelos de la altillanura del Meta y Vichada. El suelo se clasifica como Typic Haplustox (Guerrero, 1971), tiene topografía plana o ligeramente ondulada, y tiene muy buen drenaje interno. Según Guerrero (1971), la fracción de arena consiste principalmente de cuarzo con muy pocos minerales meteorizables. La fracción de arcillas consiste principalmente de caolinita, cloritas de aluminio y arcillas amorfas (Weaver, 1973).

El contenido total de K (por digestión con HF-H₂SO₄) es de 2000 ppm, y el K intercambiable de 31 ppm, esto significa que solo 1,5% del K total es intercambiable (Rodríguez, 1975). La mayoría del K se encuentra en la fracción de arcillas.

Como la respuesta al K depende tanto del cultivo como del suelo, se describe enseguida la respuesta de algunos cultivos tropicales en varios suelos a este elemento. Se dá mayor énfasis a aquellos cultivos con alto requerimiento de K y a aquellos suelos con bajos contenidos del elemento, como son los de los Llanos Orientales.

TABLA 1: LA REMOCION (Kg/ha) DE NUTRIMENTOS Y LA RELACION K/N EN

LAS COSECHAS DE CULTIVOS TROPICALES. (Prevott, 1958)

	N	P	K	K/N
YUCA	124	46	485	3,91
BANANO	56	3,5	161	2,88
PALMA AFRICANA	39	6,2	85	2,18
PIÑA	110	13,2	228	2,07
PALMA DE COCO	35	6,6	71,4	2,04
CAÑA DE AZUCAR	76	23,3	144	1,89
TABACO	28	3,1	35	1,25
FIQUE	122	18,5	149	1,22
SOYA	57,6	16,2	65,5	1,14
CACAO	19	4,4	21	1,1
TABACO VIRGINIA	88	4,4	86	0,78
CAFE	32	2,6	29,9	0,93
ARROZ	21	4,8	9	0,43
MAIZ	103	16,7	85	0,68
TE	4,5	0,35	1,83	0,41
CAUCHO	420	26,0	160	0,38
ALGODON	66	11,4	22	0,33

MAIZ, SORGO

En el Valle del Cauca, Ramírez (1977), encontró muy poca respuesta a la aplicación de K al maíz y al contrario observó a veces una disminución en la producción. En la Costa Atlántica tampoco se observó una respuesta del maíz a la aplicación de K (Marín, 1973). En el Valle del Alto Magdalena, el sorgo no respondió a K, pero en los Llanos Orientales respondió a 30 kg K₂O/ha (Marín, 1973).

ARROZ

Las zonas arroceras del Valle del Alto Magdalena tienen suelos con niveles medios o altos de K y el arroz no ha mostrado mucha respuesta a este elemento (Sánchez, 1974). También en la Costa Atlántica en general no se ha observado una respuesta al K, mientras en los Llanos Orientales (Pie de Monte) se recomienda la aplicación de K hasta

* Contribución del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Apdo. Aéreo 6713, Cali, Colombia. Trabajo presentado en el V Coloquio de Suelos sobre "Potasio y Elementos menores en la Agricultura Colombiana", Bogotá, Sept./77.

** Especialistas en Suelos, CIAT.

100 kg K_2O /ha, aplicado al voleo, la mitad a la siembra y la mitad al macollamiento (Sánchez, 1974).

En la altillanura del Meta y Vichada los suelos en general son mas bajos en K que los del Pie de Monte. En un ensayo de invernadero con suelo de Carimagua se estudió la respuesta a la aplicación de K, tanto en arroz de riego como en arroz de secano, usando la variedad IR5. La figura 1 muestra que el arroz de secano respondió positivamente hasta un nivel de 100 kg K_2O /ha, mientras que el arroz de riego respondió hasta el nivel mas alto de 600 kg K_2O /ha. El contenido de K en las hojas a los tres meses aumentó de 0.39% hasta 1.22% K en arroz de riego, y de 0.49% hasta 1.23% K en arroz de secano con la aplicación de 600 kg K_2O /ha. El nivel crítico de K en las hojas durante el macollamiento es aproximadamente del 1% (Tanaka, 1970).

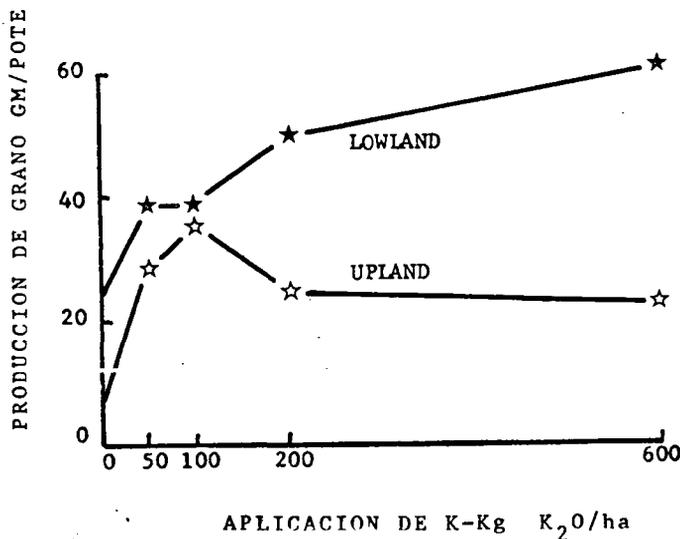


FIGURA 1. La respuesta de arroz de riego y de secano a la aplicación de varios niveles de K como KCl en un ensayo de materias con suelo de Carimagua.

Aunque estos ensayos no fueron repetidos en el campo, es muy probable que en estos suelos con niveles tan bajos de K se encuentre una respuesta significativa a la aplicación de este nutrimento tanto en arroz de riego como de secano.

SOYA, FRIJOL

Tanto en la soya como en el fríjol no se ha observado ninguna respuesta a la aplicación de K en el Valle del Cauca (ICA-suelos, 1973). En los Llanos Orientales se recomienda la aplicación de 50 kg K_2O /ha para soya (Suárez, 1973).

Aunque el fríjol extrae cantidades relativamente altas de K del suelo, no se han reportado muchos casos de respuesta a K en América Latina. Seguramente, por su susceptibilidad a suelos ácidos, se está cultivando el fríjol principalmente en suelos con alta saturación de bases que generalmente tienen mayor contenido de K (Howeler y Medina, 1977).

ALGODON

A pesar de ser un cultivo que extrae poco K, el algodón ha mostrado una buena respuesta a la aplicación del elemento en el Valle del Cauca, especialmente en combinación con N. Frve (1977) observó que la aplicación de K no solo mejoró la producción sino también la calidad de la fibra, y la resistencia del cultivo a las enfermedades, especialmente *Alternaria*. La Federación de Algodoneros recomienda la aplicación de K si el nivel de K está por debajo de 0.45 me/100 gm. Se aumenta la dosis recomendada en 40% en suelos con alto contenido de Ca y Mg (Ca+Mg /K 100).

En la Costa Atlántica se observó poca respuesta a K, y se recomienda la aplicación de solo 30 kg K_2O /ha en aquellas zonas donde el cultivo responde. En el Pie de Monte de los Llanos Orientales se encontró una respuesta a 50-60 kg K_2O /ha para algodón cultivado en Vega (Marín, 1973).

CAÑA DE AZUCAR

La caña de azúcar extrae cantidades altas de K del suelo, Barnes (1953) reporta una extracción de 68 kg K_2O /ha por cada 50 toneladas de caña. Siendo un cultivo de producción continua, la caña puede agotar el K del suelo si el agricultor no aplica lo suficiente para compensar esta exportación del nutrimento del campo. La figura 2 muestra la disminución del contenido de K del suelo del Ingenio Providencia en Cerrito, Valle. En el lapso de dos años, el contenido de K bajó de 0.77 hasta 0.38 me/100 gm en un suelo de la terraza baja. Para contrarrestar este agotamiento los ingenios normalmente aplican 50-100 kg K_2O /ha como KC1 al fondo del surco o al voleo con la úrea después de la siembra o el corte (Gómez et al, 1977).

YUCA

Aunque el K no es un componente básico de proteínas, carbohidratos o grasas, el elemento definitivamente está involucrado en el metabolismo de ellos. El K es esencial para la translocación de carbohidratos de la parte aérea hacia las raíces (Malavolta, 1954). Entonces, la deficiencia de K en yuca resulta en una producción excesiva de follaje y poca producción de raíces. Blin (1905) y Abigberan (1973) han reportado que el K aumenta el contenido de almidón y disminuye el contenido de HCN en las raíces. Bolhuis (1954) determinó que el contenido de linamarin, el precursor del HCN, se incrementa marcadamente por efecto de sequía y deficiencia de K. Payne (1956), también reportó un mayor contenido de HCN en las raíces de plantas producidas en suelos deficientes en K.

La yuca es uno de los cultivos que extrae una mayor cantidad de K del suelo. Aunque los datos obtenidos de la literatura son muy variables, en general se puede decir que la yuca extrae por tonelada de raíces 2.14 kg N, 0.46 kg P y 3.5 kg K del suelo. Entonces, en una cosecha normal de 25 toneladas/ha de raíces, la yuca extrae 53 kg N, 26 kg P_2O_5 y 105 kg K_2O /ha. Pero si además de las raíces se retiran del campo los tallos (por ejemplo para sacar semillas)

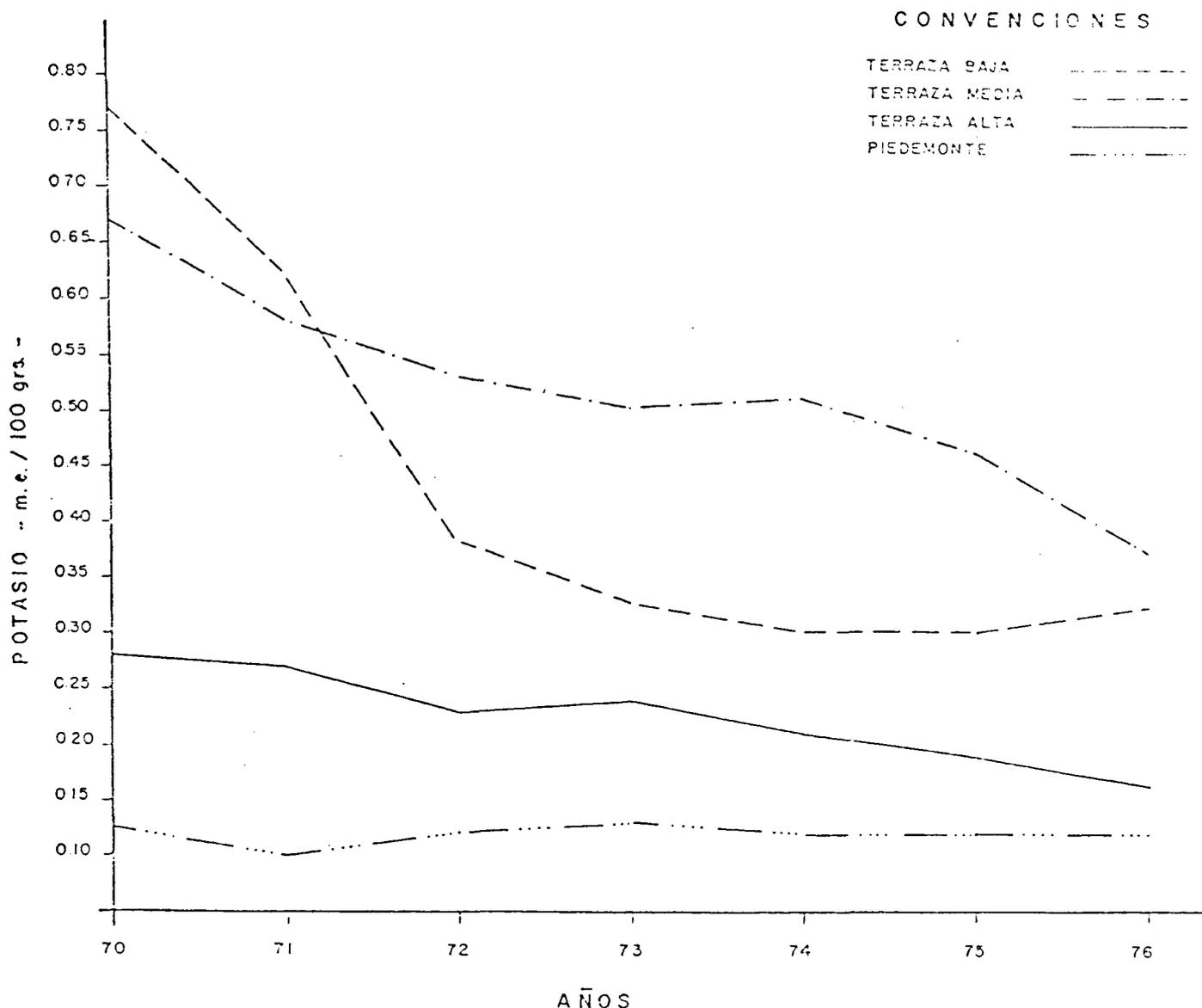


FIGURA 2. Contenido de potasio en suelos del Ingenio Providencia bajo producción de caña de azúcar durante 7 años consecutivos. (Gómez et al, 1977).

y las hojas, esto implica que se extraen del suelo otros 100 kg K_2O /ha. De estos datos es claro que la yuca es un gran extractor de este elemento y que puede agotar el suelo en unas pocas cosechas continuas si no se aplica suficiente K al cultivo, (Howeler, 1977).

Investigaciones del ICA sobre la respuesta de la yuca a la fertilización en campos de agricultores (Tarazona, 1973) indicaron respuesta positiva a la aplicación de 50-60 kg K_2O /ha en 11 de los 14 ensayos, aunque la respuesta no siempre fue significativa. Aparentemente, no había ninguna correlación entre el K intercambiable del suelo y la respuesta a la aplicación del elemento.

En 1973 el CIAT empezó a estudiar mas detalladamente la respuesta de la yuca a varios elementos. La figura 3 muestra la respuesta a la fertilización de yuca en un suelo de Jamundí, Valle, cuyas características químicas se encuen-

tran en la tabla 2. El suelo es intermedio en K pero muy bajo en P. Sin embargo, la yuca respondió principalmente a la aplicación de K, y únicamente en la presencia de éste elemento había una respuesta a la aplicación de N y P.

La figura 4A muestra los resultados de un ensayo con varios niveles y dos fuentes de K en el mismo suelo. Se observa una respuesta positiva a la aplicación de 120 kg K_2O /ha, sin diferencia significativa entre fuentes (Ngongi, 1976).

El mismo ensayo fue repetido en Tranquero, cerca a Carimagua, incluyendo en éste caso también una fuente de S en el K_2SO_4 . A los tres meses de edad, plantas con la aplicación de KC1 presentaron hojas amarillas en la parte inferior. Se determinó que esto fue causado por una deficiencia de S. Plantas fertilizadas con K_2SO_4 o con KC1 + S se

Peso de Raíces
Kg/Planta

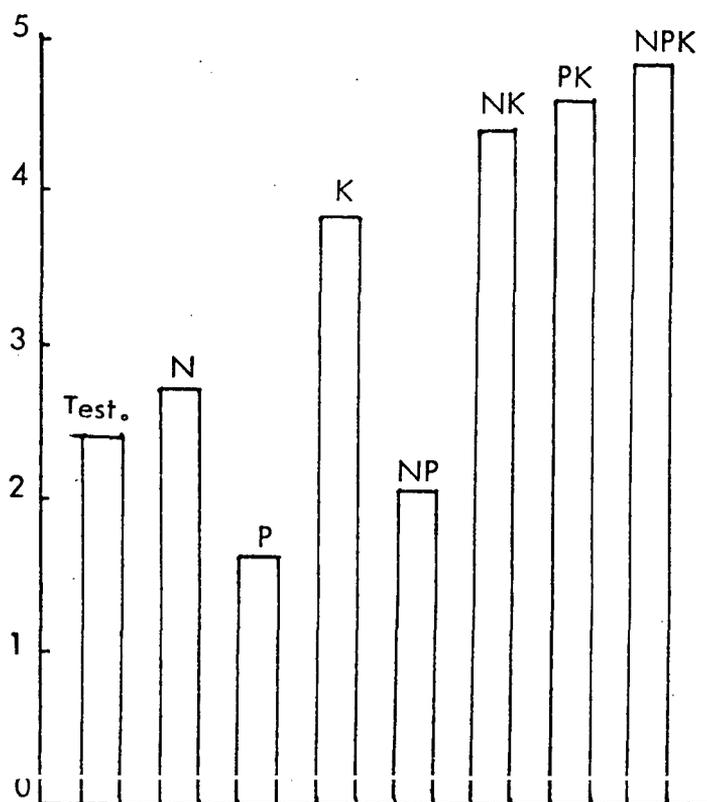


FIGURA 3. La respuesta de yuca a la aplicación de: 300 Kg. de P y N/ha y de 300 kg K_2O /ha en Jamundí.

TABLA 2: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE DOS SUELOS DE COLOMBIA.

Suelo	o/o			ppm P				meq/100 gm			%	
	M.O	Bray II	PH Al	Ca	Mg	K	CIC	Al				
Carimagua	3.6	1.6	4.3	3.0	0.3	0.1	0.08	14.0	86.2			
Jamundí	4.5	2.4	5.2	---	10.0	5.4	0.13	21.9	---			

mantuvieron completamente verdes. La aplicación de KCl, KCl + S y K_2SO_4 resultó en niveles promedios de S en las hojas de 0.29, 0.30 y 0.37%, respectivamente. La figura 4B muestra que la yuca respondió significativamente hasta el nivel de 240 kg K_2O /ha usando K_2SO_4 o KCl + S, y hasta 120 kg K_2O /ha usando KCl. El efecto negativo a la aplicación de 240 kg K_2O /ha como KCl se debe a la inducción de una deficiencia de S por la alta aplicación de cloruros. Mezclando azufre elemental con el KCl se eliminó este problema y se alcanzó un rendimiento casi igual a los obtenidos con K_2SO_4 . Los suelos de Carimagua tienen un contenido

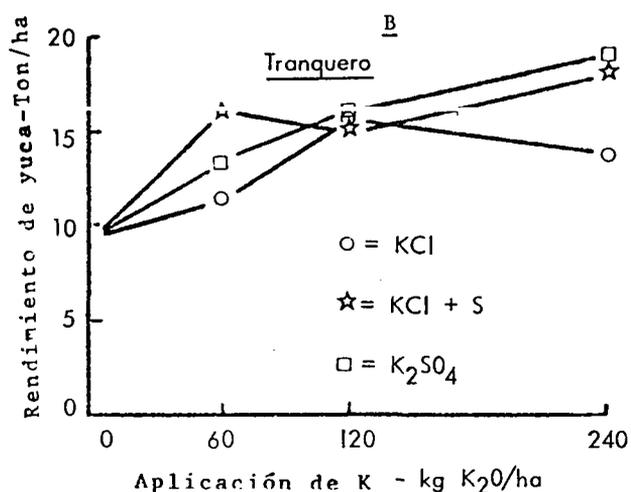
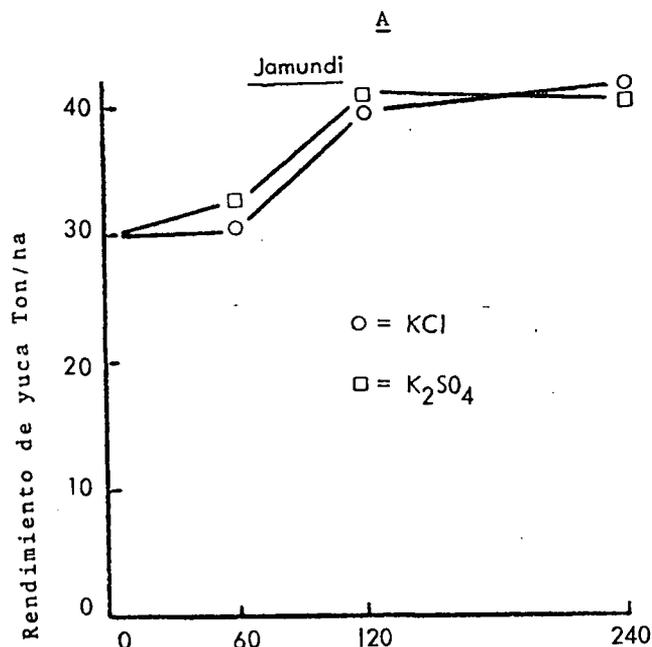


FIGURA 4.

La respuesta de yuca a la aplicación de varios niveles y fuentes de K en Jamundí (A) y Tranquero (B).

de 4-4.5 ppm de S como sulfato disponible, mientras que los suelos de Jamundí tienen 7.8 ppm S, razón por la cual no había diferencias entre fuentes de K en este último suelo. McClung (1959) reportó una respuesta a la fertilización de S en millo (pearl millet) en suelos con menos de 6 ppm S. Entonces, en suelos con bajos contenidos de S existe la posibilidad de inducir una deficiencia de S con altas aplicaciones de K adicionado como KCl. En éste caso se recomienda el uso de K_2SO_4 o la mezcla de KCl y azufre elemental.

La figura 5 muestra la respuesta de yuca a la aplicación

de K en un ensayo de invernadero con suelo de Carimagua. Como en el ensayo de campo anterior la yuca respondió a niveles altos de aplicación de K; el K_2SO_4 fue más efectivo que el KCl, especialmente con los niveles altos de aplicación. La yuca respondió negativamente a la alta aplicación de K como KCl, probablemente debido a una inducción de deficiencia de S. No se presentó diferencia significativa entre el método de aplicación de KCl, todo a la siembra, o la mitad a la siembra y la otra mitad a los 4 meses.

A pesar de que el suelo de Jamundí tiene mayor contenido de K que el de Carimagua (tabla 2), el contenido de K en las plantas fue mucho más alto en Carimagua que en Jamundí (1.10% vs 0.50% K en hojas de plantas testigos). Esto se debe a un nivel mucho más alto de Ca y Mg en el suelo de Jamundí, que reduce la absorción de K. Por lo tanto, en suelos con altos contenidos de Ca y Mg y contenidos medios de K, la yuca puede responder positivamente a aplicaciones de K.

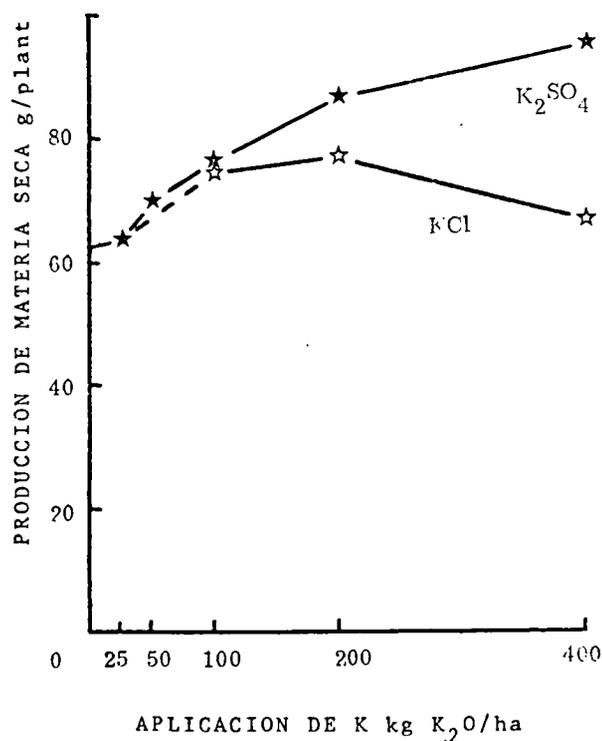


FIGURA 5. La producción de materia seca total de plantas de yuca de seis meses de edad en relación con la aplicación de varios niveles y dos fuentes de K a un suelo de Carimagua en ensayo de materas.

Interacción N x K. Varios investigadores (Fox, 1975; Krochmal, 1970), han notado que la yuca no responde a la aplicación de N o responde a aplicaciones muy bajas. Con altas aplicaciones de N se aumenta excesivamente el peso de follaje y disminuye el peso de las raíces. Con la aplicación de K se obtiene lo contrario.

Se estableció en Carimagua un ensayo para estudiar la interacción de N y K. Ngongi (1976) determinó que sin la aplicación de K la yuca no respondió a N; con la aplicación de 150 o 300 kg K_2O/ha había una respuesta a 100 kg N y una respuesta negativa a 200 kg N/ha, indicando que la yuca no aprovechó las aplicaciones altas de N (figura 6). En presencia de N la yuca tampoco respondió al nivel más alto de 300 kg K_2O/ha , probablemente por la inducción de una deficiencia de Mg. El contenido de Mg en los peciños a los 8 meses bajó de 0.23% sin K hasta 0.12 y 0.11% Mg con la aplicación de 150 y 300 kg K_2O/ha respectivamente.

La aplicación de N redujo significativamente el índice de cosecha mientras que la aplicación de K no tuvo ningún efecto.

Para estudiar más detalladamente los niveles óptimos de fertilización de N y K, se realizó en Carimagua un ensayo sistemático con 14 niveles de K en combinación con 14 niveles de N. Los niveles de K aumentaron sistemáticamente en cada surco con incrementos de 20 kg K_2O/ha desde 20 hasta 280 kg K_2O/ha , mientras que los niveles de N aumentaron sistemáticamente en dirección perpendicular con incrementos de 10 kg N desde 10 hasta 140 kg N/ha. Cada planta era un tratamiento. El ensayo tuvo 4 repeticiones.

La figura 7 muestra los resultados de rendimientos de raíces. Se observa una producción máxima con la combinación de 130 kg N y 160 kg K_2O/ha . Con el nivel más bajo de K no hubo respuesta a la aplicación de N, y al nivel más bajo de N casi no hubo respuesta a K. Entonces, únicamente con la aplicación de ambos nutrientes, la yuca alcanzó una buena producción. En este ensayo tanto la aplicación de N como la de K redujo el índice de cosecha de 0.74 a 0.68 y 0.67, respectivamente. Por lo tanto, ambos elementos estimulan relativamente más la producción de follaje que la producción de raíces.

Interacción P x K. A pesar de que la yuca extrae mucho más K que P del suelo, la literatura (Krochmal, 1970; Normanha, 1951) indica que en América Latina el cultivo en general responde más a la aplicación de P que de K. En realidad, hay indicaciones (Edward et al, 1977) de que la yuca tiene un requerimiento de P excepcionalmente alto. Para estudiar la interacción entre los dos elementos se hizo otro ensayo sistemático con 14 niveles de P (10-140 kg P_2O_5/ha) y 14 niveles de K (20-280 kg K_2O/ha). La figura 8 muestra que la mejor producción se obtuvo con 180 kg K_2O/ha y 140 kg P_2O_5/ha . Con aplicaciones más altas de P_2O_5 se esperan todavía mejores rendimientos. Es claro que la ausencia de P redujo mucho más el rendimiento de yuca que la ausencia de K. Únicamente con altas aplicaciones de P hubo respuesta a K, mientras aún con muy poco K había respuesta a P. Otra vez, la aplicación de K bajó el índice de cosecha de 0.73 a 0.68, mientras que la aplicación de P lo aumentó primero (hasta 50 kg P_2O_5/ha) y después bajó. Parece que para los Llanos Orientales es más importante la aplicación de P seguida por la K y de N.

PASTOS Y FORRAJES

En un ensayo realizado con suelo de Carimagua, sembrando *Stylosanthes guyanensis* en materas, se presentaron

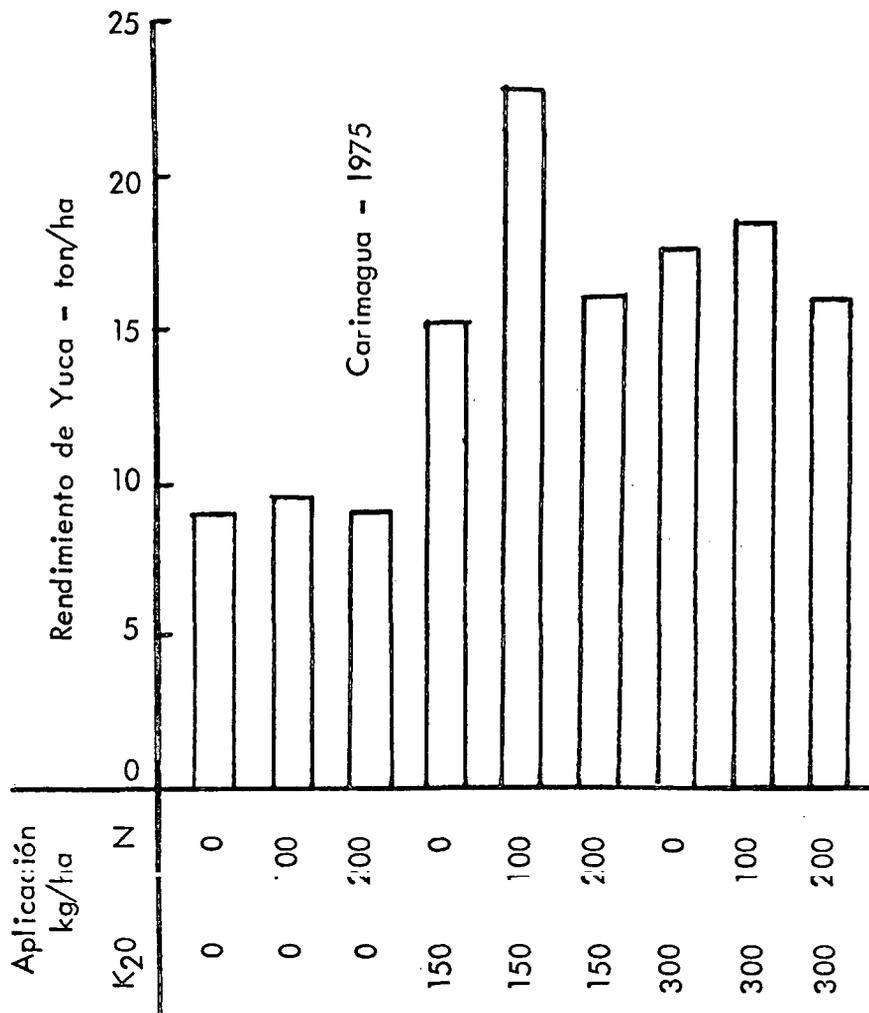


FIGURA 6. La respuesta de yuca a la aplicación de varios niveles de N y K en Carimagua.

síntomas muy agudos de deficiencia de K después del segundo corte, a pesar de haber hecho una aplicación constante de K al principio del ensayo. Los resultados de la cuarta cosecha, cuando se aplicaron P y K se presentan en la tabla 3. Hubo mas respuesta al K que al P (CIAT, 1974).

Algunas especies son mucho mas sensibles a la deficiencia de K que otras (Andrew and Robins, 1969). En condiciones de campo, *Pueraria phaseoloides* (Kudzu) parece muy exigente en cuanto al K, comparado con otras leguminosas. *Echinochloa polystachya* (pasto alemán) se mostró mucho menos exigente que *Brachiaria mutica* (pará) y *Brachiaria rugulosa* (tanner) (CIAT, 1976). Sin embargo, en ensayos a largo plazo, casi todas las especies forrajeras están respondiendo fuertemente al K, especialmente bajo un manejo de corte y remoción del pasto.

La mayoría de los pastos sembrados en Carimagua tienen un contenido de K en la parte foliar entre 1 y 1.5% (CIAT, 1974). Los rendimientos llegan fácilmente a mas de 10 t/ha/año. Esto significa una extracción del orden de 125 a 200 kg de K₂O/ha/año. En el manejo bajo pastoreo, la gran mayoría del K se devuelve al suelo en los excrementos.

Uno de los autores (JMS) estima que la remoción de K del potrero bajo un manejo más o menos intensivo (1 animal/ha; 100 kg de ganancia de peso vivo/ha/año) no pasaría de 2 a 3 kg/ha/año. A pesar de esta cifra tan baja, existe un problema grave que es la redistribución del K en el potrero. El resultado es de concentraciones excesivas donde caen los

TABLA 3. El efecto de P y K en la producción de materia seca y el contenido de estos elementos en la planta *Stylosanthes guyanensis* en un oxisol de Carimagua, cuarta cosecha.

Tratamientos	Materia seca gm/pote	%P	%K	%P/%K
+ P	0.17	0.34	0.36	0.94
+ K	0.43	0.10	1.36	0.07
+ P,K	2.69	0.14	0.43	0.33

APLICACION DE N kg	\bar{X}														
	22	21	21	23	22	22	23	24	24	24	24	23	23	24	
140	19	22	23	27	24	24	24	26	27	26	25	24	26	25	24
130	23	24	25	29	26	27	28	30	29	26	24	24	27	29	27
120	21	22	24	29	26	26	27	29	29	25	25	26	27	28	26
110	22	21	23	25	25	25	26	27	27	24	24	24	26	28	25
100	22	21	22	21	23	22	22	24	24	24	25	24	23	23	23
90	23	20	20	19	22	20	22	22	25	24	24	21	22	21	22
80	23	20	20	20	22	21	22	22	25	24	25	23	24	20	22
70	22	20	20	23	23	22	24	24	27	24	26	23	25	22	23
60	23	22	21	24	23	23	23	23	22	23	24	25	24	23	23
50	23	22	21	24	21	22	23	23	22	22	22	22	21	23	22
40	21	19	21	22	20	20	20	20	19	21	22	22	21	22	21
30	20	18	19	20	19	20	20	19	20	21	23	22	21	22	20
20	19	17	18	19	19	19	17	18	20	21	21	20	21	23	19
10	24	21	18	20	19	20	19	22	23	24	22	23	23	24	22
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	\bar{X}

APLICACION DE K kg K₂O/ha

FIGURA 7. La producción de raíces de yuca (ton/ha) en relación con la aplicación de distintas combinaciones de N y K en Carimagua.

excrementos y probablemente pérdidas por lixiviación y un empobrecimiento del resto del potrero, llegando fácilmente a condiciones de deficiencia muy agudas. El problema es mas grave para el K que para el P debido a la lixiviación muy fácil del primero (Woodhouse, (1973).

Durante la época seca (verano) de 1976-77 en Carimagua, se observó una disminución de poblaciones de varias graminéas cuando no se aplicó K. La mas afectada fue *Hyparrhenia rufa*, pero *Brachiaria decumbens* y *panicum maximum* mostraron la misma tendencia en un ensayo de P x K (datos no publicados).

RESUMEN

Entre los cultivos tropicales, la yuca, el banano, la palma africana, la piña y la caña de azúcar son aquellos que presentan una mayor extracción de K del suelo. En el cultivo de yuca sembrado en un suelo de Jamundí (Valle) con contenidos de K bastante elevados, se encontró una mayor respuesta a K que al N o a P. En los suelos de los Llanos Orientales también se obtuvo una respuesta muy significativa a la aplicación de K, aunque en estos suelos el cultivo respondió principalmente a la aplicación de P. En lo Llanos

Aplicación de P kg P ₂ O ₅ /ha	\bar{X}														
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	\bar{X}
140	25	23	24	23	24	20	22	26	29	27	25	22	24	25	24
130	24	22	21	22	22	20	20	24	26	28	25	23	25	24	23
120	26	23	21	21	22	23	23	25	25	27	24	23	23	23	24
110	23	21	20	21	21	23	22	25	22	23	21	23	24	26	27
100	22	21	22	22	23	24	25	27	23	23	20	21	22	25	23
90	19	19	20	21	22	23	21	23	23	25	21	21	24	25	22
80	19	20	22	23	23	23	22	25	23	24	21	23	23	22	22
70	19	18	20	19	20	22	22	24	20	22	21	23	24	23	21
60	21	20	20	19	20	23	24	25	21	19	18	20	21	21	21
50	19	19	17	16	17	20	22	22	19	17	17	18	19	20	19
40	19	19	18	18	17	17	19	20	19	16	16	16	16	17	18
30	16	17	17	16	16	15	17	16	16	14	16	15	15	16	16
20	14	15	15	14	14	14	15	14	14	13	13	13	13	13	14
10	11	12	13	11	12	12	13	12	12	11	11	10	13	13	12

FIGURA 8. La producción de raíces de yuca (ton/ha) en relación con la aplicación de distintas combinaciones de P y K en Carimagua.

se encontró que el K₂SO₄ fue muy superior al KC1 como fuente de K, debido a la inducción de una deficiencia de S con altas aplicaciones de KC1.

En las terrazas altas de Pie de Monte del Valle del Cauca, el contenido de K del suelo puede ser deficiente. Se ha observado deficiencia de K en caña de azúcar y algodón, especialmente en los suelos con altos contenidos de Ca y Mg.

En la Costa Atlántica, los suelos en general son medianos a altos en K, y no se ha observado mucha respuesta a la aplicación de K en algodón, arroz, sorgo y ajonjolí.

Experiencias de invernadero y de campo con suelos de Carimagua, han confirmado la poca disponibilidad de K

para los pastos. En la primera siembra, el P y la acidez del suelo son los factores más limitantes en el comportamiento de la mayoría de los cultivos, pero después de una o dos cosechas, el K surge como de igual o mayor importancia. Específicamente, se observó deficiencia aguda en *Stylosanthes guyanensis* después de la primera siembra (invernadero) e *Hyparrhenia rufa* (puntero) después de dos años de pastoreo (campo). *Pueraria phaseoloides* (kudzu), *Brachiaria mutica* (pará) y *B. radicans* (tanner) se han mostrado muy susceptibles a la deficiencia de K aún en la primera siembra (campo). *Panicum maximum* (guinea) y *Brachiaria decumbens* son menos exigentes pero siempre

muestran un efecto positivo del K en la primera siembra.

La remoción de K del potrero por el ganado de carne es muy poca, pero la redistribución dentro del potrero efecto positivo del K en la primera siembra.

La remoción de K del potrero por el ganado de carne es muy poca, pero la redistribución dentro del potrero efectuada por los animales parece ser importante.

LITERATURA CITADA

1. Andrew, C. S. and M. F. Robins. 1969. The effect of potassium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. I. growth and critical percentages of potassium. *Aust. J. Agric. Res.* 20: 999-1007.
2. Barnes, A.C. 1953. "Agriculture of the Sugar-cane". Leonhard Hill, Ltd, London.
3. Blin, H. 1905. La fumure du manioc. (la fertilización de yuca) *Bul. Economique de Madagascar* 3: 419-421.
4. Bolhuis, G.G. 1954. The toxicity of cassava roots. *Netherl. J. Agric. Sci.* 2: 176.
5. CIAT, 1974. Annual Report. Centro Internacional Agric. Tropical, Cali, Colombia. pp 8-10.
6. CIAT, 1976. Annual Report. Centro Internacional Agric. Tropical, Cali, Colombia. pp 18-22.
7. Edwards, D.G., C.J. Asher, and G.L. Wilson 1977. Mineral nutrition of cassava and adaptation to low fertility conditions. In. *Proc. Fourth Symp. Intern. Soc. Trop. Root crops.* Cali, Colombia. 1976.
8. Fox, R.H., H. Talleyrand, and T.W. Scott, 1975. Effect of nitrogen fertilization on yields and N content of cassava, Llanera cultivar. *J. Agric. Un. Puerto Rico* 59(2): 115-124.
9. Frye, A. 1977. Manejo de los suelos en el cultivo del algodón. Simposio sobre "Manejo de suelos de la parte plana del Valle del Cauca" Palmira, 1977.
10. Gómez, J.F., P. Dominguez, y A. Galeano. 1977. El manejo de suelos en relación con la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) Simposio sobre "Manejo de suelos de la parte plana del Valle del Cauca" Palmira, 1977.
11. Guerrero, R. 1971. Soils of the Colombian Llanos Orientales - Composition and classification of selected profiles. PhD. Thesis, North Caroline State Un., Raleigh, N. Car
12. Howeler, R.H. 1977. The mineral nutrition and fertilization of cassava. En "Cassava Production Manual". Centro Intern. Agric. Trop. (CIAT), Cali, Colombia.
13. Howeler, R.H. y C.J. Medina. 1977. La fertilización en el fríjol *Phaseolus vulgaris*: Elementos mayores y secundarios. En: "Manual de producción de fríjol". Centro Intern. Agric. Trop. (CIAT), Cali, Colombia.
14. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 1973. Informe Anual de Progreso Programa Nacional de Suelos.
15. Krochmal, A. and C. Samuels. 1970. The influence of NPK levels on the growth and tuber development of cassava in tanks. *Ceiba* 16: 35-43.
16. León, L.A. 1972. Chemical properties of soils of Colombia in relation to crop response to fertilization. (mimeografiado).
17. Malavolta, E et al 1954. Estudos sobre a alimentacao mineral de mandioca *Manihot utilissima* Pohl). *Anais da Escola Sup. de Agric. "Luiz de Queiroz"* Brazil 11: 21-40.
18. Marfn, G. 1973. Fertilidad general de los suelos del país y la respuesta de varios cultivos a la fertilización en fincas de agricultores. Programa Nacional de Suelos ICA, Tibaitatá.
19. McClung, A.C., L.M.M. de Freitas and W.L. Lott. 1959. Analysis of several Brazilian soils in relation to plant response to sulphur. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23: 221-224.
20. Ngongi, A.G.N. 1976. Influence of some mineral nutrients on growth, compositium and yield of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) PHD thesis, Cornell Un., Ithaca, N.Y.
21. Normanha, E.S. 1951. Adubacao da mandioca no Estado de Sao Paulo. Efeito da adubacao mineral. *Bragantia* 11: 181-194.
22. Obigbesan, G.O. 1973. The influence of potassium nutrition on the yield and chemical composition of some tropical root and tuber crops. In *Intern. Potash Institute, Colloquium*, 10th, Abidjan, Ivory Coast.
23. Payne, M. and D.C. Webster. 1956. The toxicity of cassava varieties on two Jamaican soil types of differing K status. Kingston, Jamaica, Min. Agric. Fisheries. Crop Agron. Div.
24. Prevott, P. And M. Ollagnier, 1958. La fumure potassique dans le regions tropicales et sub tropicales (la fertilización de K en regiones tropicales y subtropicales). In *Potassium Symposium*, Berne.
25. Ramírez, A. 1977. Manejo de suelos con relación al cultivo del maíz en el Valle del Cauca, Colombia. En: I Simposio sobre "Manejo de suelos de la parte plana del Valle del Cauca". Palmira, 1977.
26. Rodríguez, M.S. 1975. Calcium, magnesium, and potassium status in some soils of the Eastern Plains of Colombia. MSc-thesis Cornell Un., Ithaca, N.Y.
27. Sánchez, G. 1974. Respuesta del arroz *Oryza sativa* a la aplicación de nitrógeno, fosforo y potasio en algunas zonas de Colombia. *Temas de Orientación Agrppecuaría* 97/98: 22-32.
28. Suárez, J.G. 1973. Fertilización de soya en Colombia. Reunión anual del programa de Suelos-ICA. 1973.
29. Tarazona, C., C. Marfn. y A. León. 1973. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la fertilización en parcelas demostrativas. Inst. Colombiano Agropec. (ICA), Tibaitatá.
30. Weaver, R.M. 1973. Chemical and Clay mineral properties of a highly wathered soil from the Colombian Llanos Orientales. *Agronomy Mimeo* 72-19. Cornell Un., Ithaca, N.Y.
31. Woodhouse, W.H. 1973.

FERTILIZACION POTASICA EN CAFE

Eduardo Bravo G. *

1. INTRODUCCION

En Colombia, el cultivo del café a plena exposición solar se ha intensificado en los últimos años y para obtener mejores producciones es indispensable una fertilización adecuada.

El potasio es un nutrimento importante para la planta de café, lo requiere en grandes cantidades.

La principal función del potasio es el mantenimiento de la turgencia fisiológica de los coloides del plasma vegetal, condición indispensable para la realización normal de los procesos fisiológicos mediante un efecto balanceado entre la respiración, transpiración y anabolismo (2, 38).

El potasio estimula la función de fotosíntesis, influye en la formación de almidones y su conservación en azúcares, así como también la síntesis de las proteínas y lípidos.

La absorción y reducción de nitratos, la división celular y muchos otros procesos son regulados por un adecuado suministro de este elemento. Es un gran regulador de la vida de la planta y le da más resistencia a las plagas y enfermedades (2, 5, 27).

Al considerar las cantidades de potasio en las partes vegetativas y en los frutos es suficiente para mostrar que juega un papel importante en la nutrición de la planta de café.

Valores altos de potasio usualmente están asociados con altos rendimientos, granos llenos y pesados (5, 9, 29). Esto ha quedado demostrado en numerosas experiencias y prácticas agrícolas realizadas en países cafeteros como Brasil, La India, Costa Rica, Puerto Rico, Colombia y otros más (1, 5, 24, 29, 34, 40, 42).

En orden de importancia en la fertilización del café los macronutrientes pueden ordenarse así: N, K, Mg, S, P y Ca (39).

Un óptimo suministro de potasio necesario para la mejor calidad del café, por lo tanto los requerimientos son altos durante el desarrollo de las cerezas del café y máximos durante la maduración (39).

Se reconoce que el café es una planta tan ávida de potasio como ciertas leguminosas son de calcio (8).

El potasio junto con el nitrógeno son los elementos requeridos en mayor cantidad tanto en la formación del café como en la producción de frutos (11, 40).

2. POTASIO QUE EXTRAE EL CAFETO DEL SUELO

Se han hecho varias estimaciones sobre la cantidad de nutrientes que el café extrae del suelo. Una de ellas indica que el cultivo extrae por Ha aproximadamente 46 Kg. de nitrógeno (N), 26 Kg. de fósforo (P₂O₅), 75 Kg. de potasio (K₂O) y 28 Kg. de magnesio (MgO). Otra estimación mues-

tra que la producción de 2300 Kg/Ha de café cereza involucra una absorción de 69 Kg/Ha de nitrógeno, 12 Kg. de fósforo y 115 Kg. de potasio (31).

Una estimación hecha en el Brasil dice que el cultivo de café absorbe por Ha 62 Kg. de nitrógeno, 14 Kg. de fósforo y 95 Kg. de potasio. Estas estimaciones muestran que el café absorbe más potasio que nitrógeno y más potasio y nitrógeno que fósforo, lo que sugiere el uso de fertilizantes ricos en potasio y bajos en fósforo (31).

El café es ávido de potasio, extrayéndolo del suelo en cantidades de cuatro a cinco veces más que el ácido fosfórico y once veces más que el calcio (8).

En Nueva Guinea (39), han encontrado que generalmente una tonelada métrica de café verde cosechado, remueve aproximadamente 34 Kg. de nitrógeno; 6,4 Kg. de P₂O₅ y 50 Kg. de K₂O, pero hay que considerar el hecho de que una alta cantidad de nutrientes puede ser retornada al suelo. Por lo tanto, un árbol de café requiere una gran cantidad de potasio en particular, también una buena cantidad de nitrógeno pero poca de fósforo.

Pérez (citado por Montero 27), al calcular la cantidad de nutrientes que extrae el café del suelo obtuvo los siguientes datos: una cosecha de 1000 Kg. de Café Robusta absorbe del suelo 32 Kg. de nitrógeno; 6 Kg. de P₂O₅ y 36 Kg. de K₂O.

Análisis de frutas de café han mostrado que grandes cantidades de potasio son removidas del suelo cuando se compara con el nitrógeno y fósforo. Sin embargo, parte de éste retorna al suelo a través de la corteza de la fruta, la cual es rica en potasio. Las hojas de muchos árboles de sombra que caen al suelo tienen una cantidad de potasio retenido y disponible que contribuyen para que el potasio permanezca en la superficie del suelo. Es sorprendente el balance entre potasio removido y el restablecido y se encontró que el N y K son removidos en cantidades aproximadamente iguales (15).

3. INFLUENCIA DEL POTASIO EN LAS DIFERENTES ETAPAS FISIOLÓGICAS DEL CAFETO

Los requerimientos de potasio se incrementan enormemente con la edad del árbol de café, siendo particularmente necesario cuando la planta alcanza la madurez debido a las cantidades demandadas por los frutos. La importancia del potasio en la producción de frutos se demuestra por el hecho de que un adecuado suministro de este elemento tiende a disminuir el número de frutos vanos (16, 24, 39).

En estudios realizados en el Centro de Investigaciones Agronómicas de Bukoko (República del África Central) con café Robusta (17), se demostró que el contenido de potasio en la cereza permanece muy constante, mientras que los contenidos de todos los demás elementos disminuyen a medida que se desarrolla el fruto. Así pues, la absorción global de potasio aumentará a medida que sea mayor el contenido de materia seca de las cerezas.

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

En el Instituto Agronómico de Campinas (Brasil) (28), se realizó un estudio utilizando árboles de café de 40 años de edad para determinar la variación en la concentración de N, P, K, Ca y Mg en el fruto de café durante su formación. Se encontró que la concentración de los elementos muestreados fue siempre mayor en el período de floración que en cualquier otro estado de maduración.

Se observó que la acumulación de materia seca en los frutos de café se intensifica al comienzo del cuarto mes después de la floración, lo mismo ocurrió con la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio. En el sexto y séptimo mes después de la floración se observó un nuevo incremento en la absorción de nitrógeno y potasio y también un aumento en el peso seco.

En Guatemala (32), han observado que el período más importante de absorción de potasio ocurre inmediatamente después de la cosecha, con otros dos períodos secundarios observados durante la segunda floración y antes de la maduración del fruto.

Se ha encontrado que existe una correlación entre el contenido de potasio en las hojas de café y la acumulación de almidón. Si el potasio está bajo la producción de almidón decrece, en consecuencia el desarrollo de nuevos brotes y nuevas hojas se retarda y el rendimiento disminuye, resultando en un marcado hábito de fructificar bienalmente (24, 38).

En la tabla 1 se muestra la respuesta del café, en las diferentes etapas, a la fertilización.

4. IMPORTANCIA DE LAS RELACIONES DEL POTASIO CON OTROS NUTRIMENTOS EN LA NUTRICIÓN DEL CAFETO

Con frecuencia se ha señalado que la abundancia de potasio asimilable en el suelo lleva a una carencia magnésica, incluso si el contenido de magnesio es bueno. Para comprobar esto se realizaron dos ensayos en el Centro de Investigaciones Agronómicas de Bukoko (República de África Central).

Un primer ensayo que no tenía en cuenta el contenido de magnesio cambiante del suelo mostró que no existía relación alguna con la nutrición magnésica del café. Otro ensayo que tenía en cuenta el magnesio cambiante y los elementos finos del suelo (suma de arcilla más limo), tampoco puso de manifiesto una relación fácil de establecer. Se encontró que se obtiene una buena nutrición magnésica del café con una relación Mg/K cambiables en el suelo comprendida entre 2,1 y 3,7 con un contenido de elementos finos superior al 18%. Si el suelo contiene menos del 18% de arcilla y limo, para obtener una nutrición magnésica adecuada es necesario una relación Mg/K más elevada, tanto más cuanto más arenoso sea el suelo. Para relaciones mg/K cambiables comprendidas entre 1,5 y 2,1 existe una ligera deficiencia de Mg en la hoja. Por debajo de una relación Mg/K de 1,5 deficiencia magnésica puede ser grave (17).

En el caso del calcio como en el del magnesio, el antagonismo con el potasio rige la nutrición del café. Es posible establecer un límite de buena nutrición cálcica en función del contenido en elementos finos del suelo y de la relación Ca + Mg/K. Esta relación ha dado mejores resultados que la relación Ca/K sola, debido tal vez a que para contenidos de K muy bajos el Mg puede compensar el K en las mismas condiciones que el Ca (17).

Las relaciones entre nitrógeno y potasio de 1:1,3 – 1,5 han dado los mejores resultados en las tierras altas de Nueva Guinea. Aquí, al evaluar un análisis de suelos es también usual considerar la relación Ca + Mg/K para ver si ésta es más alta o más baja que 10. Más alta que 10 indica frecuentemente una predominancia de Ca y Mg y el K es probablemente deficiente aun con niveles relativamente altos de 0,2 a 0,4 me/100g de suelo (39).

Es muy importante la relación bien balanceada de N y K y también de K y Mg. En Kenya, por ejemplo, una relación MgO/K₂O de 1:2,5 – 3,0 es considerada óptima. En las tierras altas de Nueva Guinea una relación MgO/K₂O de 1:5 – 10 parece que está más de acuerdo a la demanda (39).

Tabla 1. Respuesta del café a la fertilización en suelos de la zona cafetera (18)

Etapas	Pulpa	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Otros
Almácigo	Muy alta (1:1 2:1)	Alta (úrea 1o/o)	Media a alta	No	En ocasiones a elementos menores
Crecimiento (hasta 12 meses)	Muy alta (en hoyos)	Muy alta	Media a alta	No	
12 – 24 meses	Alta*	Muy alta	Media a Baja o No	Media a alta	Magnesio, Boro (en ocasiones)
Producción (más de 24 meses)	Muy alta*	Muy alta	Baja o No	Alta a Muy alta	Magnesio, Boro (en ocasiones)

* Aplicación de pulpa descompuesta alrededor del tronco de los cafetos.

Se ha demostrado que el potasio actúa como elemento antagónico del nitrógeno, de tal manera que una fertilización excesiva de nitrógeno puede ser contrarrestada por la de potasio. De ahí que en ciertos casos se produzca un efecto fisiológico similar a la deficiencia de potasio y viceversa. Esto es importante pues debe balancearse la relación de N y K para no inducir efectos perjudiciales en la planta. Un exceso de K al igual que la de amonio, puede acentuar la deficiencia de Mg en el suelo (2).

Para definir el nivel crítico y los equilibrios del potasio en el suelo, con especial énfasis en el balance entre los metales alcalinos y alcalino-térreos, se realizó una investigación en 22 suelos del área cafetalera de Costa Rica (7), en donde se ha demostrado la existencia de una respuesta inconsistente al potasio cuando se toma la producción de frutos como parámetro de referencia. Se llegó a varias conclusiones: 1— El valor de 0,21 me k/100 g de suelo hallado en los suelos experimentales mediante la extracción con NH_4OAc INpH 7,0 constituye un nivel por debajo del cual se puede esperar respuesta a K por el café. 2— Las correlaciones observadas entre la respuesta a K por el café indican que la fracción intercambiable es mejor guía que la total para pronosticar respuesta a K. 3— El equilibrio del K con los metales alcalino-térreos varía en los suelos cafetaleros de Costa Rica en la forma como aparece en la tabla 2.

Tabla 2. Equilibrio del potasio con los metales alcalino-térreos en suelos cafetaleros de Costa Rica. Respuesta del café a las aplicaciones de potasio.

Equilibrio	Magnitud		Existe respuesta del café al potasio si la relación varía entre:
	Normal*	Ambito de variación	
(Ca + Mg) / K	9	2,2 – 23,5	44 – 53
Mg/K	3	1 – 8	16,5 – 18
Ca/K	6	2 – 17	26,5 – 36
100K/(Ca + Mg + K)	10	4 – 29	< 2,5

4— No se encontró correlación importante entre el K y el Na respecto a la respuesta del K por el café. 5— La respuesta negativa que se observó en un único suelo en la investigación a largo plazo coincidió con un porcentaje de saturación de bases sumamente bajo (6o/o) y no con un contenido alto de K.

Mehlich (26), ha demostrado la necesidad de considerar una balanceada proporción de las bases (K, Ca, Mg) en el suelo donde los fertilizantes potásicos son usados libremente sin considerar los niveles de Ca y Mg existentes en el suelo. Bajo estas circunstancias la planta está ligada a obtener inadecuadas cantidades de Ca y Mg, sobresaliendo las deficiencias visuales.

De acuerdo a los análisis de suelos en Kenya es usual considerar la relación Ca + Mg/K y ver si ésta es mayor o menor de 10. Un nivel de K de menos de 0,2 me/100 g de suelo puede ser considerado bajo. Sin embargo, si la relación Ca + Mg/K es mayor que 10, hay una predominancia de Ca y Mg comparado con K, aún un nivel de 0,2 a 0,4 meK/100 g

de suelo puede ser considerado bajo. Similarmente 0,2 a 0,4 meK/100 g de suelo puede ser considerado nivel medio cuando la relación Ca + Mg/K es menor que 10; pero si la relación excede a 10 entonces 0,4 meK/100 g de suelo puede aun ser considerado inadecuado. Finalmente si el nivel de K está cercano a 0,4 me/100 g de suelo y la relación Ca + Mg/K fuera menor que 10 podría indicar una suficiencia de potasio (26).

En ensayos realizados en Africa Central (17), comprobaron que las proporciones de potasio varían en la hoja entre el 14,5 y el 75,7o/o de la suma de los tres cationes, lo que provoca variaciones del calcio de 16 a 70o/o y del magnesio de 3,1 a 18o/o.

En el momento de la formación del grano el equilibrio K – Ca – Mg es análogo al de la hoja. Esta importancia relativa del Ca y del Mg justifica el empleo del equilibrio K – Ca – Mg para apreciar la buena nutrición del café en el momento de la floración. Más adelante el Ca y el Mg son mucho menos importantes que el K que pasa del 48o/o de los cationes al 80o/o en el momento de la madurez. (17).

Huertas (20), en diferentes ensayos comprobó la gran influencia que tiene el K sobre los demás constituyentes minerales de la hoja, el aumento de su nivel en las hojas causó en éstas la disminución significativa del Mg y del Ca. Cuando el contenido foliar del K fue alto, debido a las mayores aplicaciones de él, su acumulación fue a expensas del Mg y del Ca desplazados de los tejidos foliares. Con el aumento de K se observó la disminución del Mg y del Ca total y de su porcentaje en las cenizas.

Hewitt y Bolle-Jones (citados por Forestier 17), consideran que el nivel férrico en la hoja del café Robusta está influenciado por el del potasio.

Pirsou (citado por Forestier 17), asegura que el potasio parece incrementar la utilización del hierro.

Teniendo en cuenta la riqueza potencial del suelo en potasio, parece que en el caso del café es el hierro el que condiciona la utilización del potasio; éste último es insuficientemente absorbido, incluso si existe en cantidad suficiente en el suelo, si el hierro es escaso (17).

No se ha observado una relación entre el cobre y el potasio pero no obstante se encontró que un contenido deficiente en cobre tiende a ir acompañado de unos contenidos más altos en potasio (17). Por otra parte, en un ensayo de aspersión foliar con cobre, se observó que la aplicación de cobre tiende a reducir la absorción de potasio (17).

En Kenya (25), han comprobado que la necesidad de la evaluación de los abonos verdes y materiales de mulch es importante desde el punto de vista de las relaciones Ca/Mg y Ca/K. Es muy importante en vista del efecto que algunos de esos materiales tienen sobre la distribución de los cationes en el suelo y consecuentemente sobre la calidad del café.

En la tabla 3 se presenta un panorama de los contenidos de potasio intercambiable en diferentes suelos de la zona cafetera colombiana.

5. DEFICIENCIA DE POTASIO EN EL CAFETO

Los síntomas de la deficiencia de potasio en el café siguen los mismos pasos que los encontrados en otras plantas (24, 27).

Tabla 3. Niveles de potasio intercambiable en los suelos de la zona cafetera colombiana (me/100 g de suelo)*

Departamento	Frecuencia Niveles de K (o/o)				
	menos	0,20	0,40	0,80	más
	de	a	a	a	de
	0,20	0,40	0,80	1,20	1,20
Antioquia	50,0	40,0	10,0	0,0	0,0
Boyacá	68,6	17,1	11,4	0,0	2,9
Caldas	14,3	85,7	0,0	0,0	0,0
Cauca	78,3	12,7	6,6	1,8	0,6
Cesar	29,4	41,2	17,6	11,8	0,0
Cundinamarca	58,1	25,8	6,5	6,5	3,2
Nariño	46,1	20,5	15,4	2,6	15,4
N. de Santander	80,6	12,9	6,5	0,0	0,0
Quindío	20,0	40,0	0,0	0,0	40,0
Risaralda	16,7	83,3	0,0	0,0	0,0
Santander	85,5	9,7	3,2	0,0	1,6
Tolima	64,3	35,7	0,0	0,0	0,0
Valle	33,3	66,7	0,0	0,0	0,0

* Archivo Laboratorio de Química Agrícola, Cenicafé. Muestras enviadas por el Programa de Desarrollo de la Federación Nacional de Cafeteros, pertenecientes a estudios de zonificación.

La indicación de la carencia de potasio aparece primero en las hojas viejas (13, 24, 27, 38).

Inicialmente aparecen manchas bronceadas en las puntas y en las márgenes de las hojas, gradualmente las manchas se juntan, toman un color café oscuro casi negro y forman una faja que va de la punta a la base de la hoja, la parte central permanece verde, las hojas se desprenden fácilmente, las hojas se desprenden fácilmente, las puntas de las ramas se secan como en el caso de la carencia de nitrógeno (2, 13, 16, 24, 29, 39, 41).

En el café la deficiencia de potasio aparece casi siempre primeramente en el tercio superior de la hoja, propagándose hacia la parte central y el pecíolo de la misma, las márgenes foliares sufren además un ondulamiento (2).

En cultivos realizados en arena (17), se demostró que la falta de potasio disminuye considerablemente el sistema radical así como también el peso del sistema aéreo. La observación más importante es la ausencia total de chupones, mientras que los cafetos cultivados con solución nutritiva completa tenían por lo menos cuatro chupones cada uno.

En Nigeria (30), observaron síntomas similares de deficiencia de potasio en plantas de almácigo como en plantaciones ya establecidas en el campo.

El análisis químico de las hojas realmente muestra la ocurrencia de la deficiencia de potasio. Un contenido de 2o/o en la hoja es lo suficientemente alto para asegurar un excelente rendimiento, mientras que un contenido más bajo de 1,5o/o puede ser crítico y los síntomas de deficiencia pueden aparecer cuando el contenido de potasio es más bajo de 1o/o (38).

En la tabla 4 se presentan los valores de los niveles de potasio en la hoja de café arábigo determinados en Nueva Guinea, Brasil y Colombia (24, 39, *).

Tabla 4. Calificación de los niveles de potasio en la hoja de café Arábigo.

País	Nivel Foliar de K (o/o)			
	Deficiente	Crítico	Adecuado	Excesivo
Nueva Guinea	menos de 1,4	1,4 – 1,8	1,8 – 2,6	más de 2,6
Brasil	1,5 – 2,0	---	2,1 – 2,5	más de 2,5
Colombia	---	---	1,5 – 2,0	---

6. RESPUESTA DEL CAFETO A LA FERTILIZACION POTASICA

La respuesta a potasio por el café a nivel mundial se manifiesta en los dos extremos. Por un lado existen suelos de respuesta evidentemente económica (Brasil, Colombia, Puerto Rico, Costa de Marfil, entre otros) y en contraste cabe citar la respuesta que se ha observado en América Central en los suelos de El Salvador y Costa Rica, en donde se ha manifestado positiva (esporádica), no significativa (en la mayoría de los casos) o negativa (7, 40).

En Kenya (26), el potasio es requerido en grandes cantidades para la producción de café. Sin embargo, muchos de los suelos cafeteros son razonablemente abastecidos de este nutrimento porque la fracción arcillosa del suelo es derivada de materiales parentales ricos en potasio o porque los materiales de mulch usados contienen niveles altos de este elemento.

En Hawaii y en algunos países de América Latina el uso de 2 Kilos del abono 10 – 5 – 20, corresponde a una aplicación neta de 300 g de K₂O por árbol por año. En Brasil para *Coffea arabica* L las dosis varían entre 150 y 200 g de K₂O de acuerdo al tipo de suelo. Para *C. robusta*, Loué (citado por Malavolta 24), recomienda entre 40 y 100 g de K₂O por árbol; dice que la cantidad varía de acuerdo al estado del potasio en planta la revelado por el análisis foliar (24).

Forestier (17), ha observado en la república de Africa Central que en los suelos de riqueza media o buena de potasio, durante los primeros años los cafetos pueden no reaccionar a los abonos potásicos y hay que esperar un agotamiento progresivo del suelo para que el abono potásico tenga un efecto positivo. El diagnóstico foliar pone claramente de manifiesto la nutrición potásica satisfactoria del café durante los primeros años, incluso con cosechas superiores a una tonelada por hectárea.

En Puerto Rico (14), comprobaron que donde el clima es favorable para el cultivo del café, el uso de 460 Kg/Ha por año de N y K es suficiente para mantener rendimientos de hasta 2100 Kg de café trillado por hectárea por año. Se comprobó que para plantaciones de café en plena producción se deben aplicar hasta 350 Kg/Ha del abono 20 – 3 – 20 y cuando se espera una cosecha muy abundante debe hacerse una aplicación adicional.

En otro ensayo de fertilización en cafetales en Puerto Rico (35) para observar la influencia de la fertilización potásica se tomaron muestras foliares y aplicaron la ecuación de Capó:

$$Y = A + B \arctan X$$

en donde X es igual al porciento del nutrimento en la hoja, comprobándose que los datos estaban significativamente correlacionados con el rendimiento únicamente en el caso del potasio.

Amorim (3, 4), en el Brasil en ensayos de fertilización en café con N, P, K, encontró que el potasio tuvo una acción favorable en la formación del grano y que los frutos recolectados en los tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada y potásica dieron significativamente bebida de menor calidad.

En los diferentes ensayos de fertilización en café en varios países cafeteros del mundo se ha comprobado que el nitrógeno y el potasio son los elementos nutritivos que más demanda el cafeto y por lo tanto son los que tienen mayor importancia (1, 19, 29, 40).

Carandang (10), en Filipinas encontró que el potasio bajó los rendimientos.

Rodríguez (36), en estudios de los suelos de la zona cafetera de Antioquia observó que en un 67o/o de los suelos estudiados el potasio aumentó los rendimientos.

Machado (23), en los ensayos de fertilización un café que adelantó en seis localidades de la zona cafetera colombiana, con relación al potasio llegó a las siguientes conclusiones:

1. Como problema común y constante en todas las localidades estudiadas se encontró que era la escasez de potasio.
2. El fertilizante potásico si es necesario. Se puede aplicar por 3 años consecutivos. Las dosis por cafeto y por año pueden variar entre 250 y 500 g de sulfato de potasio del 48o/o de K₂O según la intensidad del problema y las condiciones del cafetal.

Con el fin de evaluar en términos de producción, el efecto de los tres elementos más importantes, nitrógeno, fósforo y potasio a diferentes niveles, combinados e individualmente, el Centro Nacional de Investigaciones de Café —Cenicafé (40), realizó un experimento en varias clases de suelos, en ocho lugares de la zona cafetera colombiana entre los años de 1966 y 1976 en plantaciones de café a plena exposición solar.

En la tabla 5 se presentan las características de los suelos en los cuales se realizaron los experimentos.

Los tratamientos estuvieron constituidos por las combinaciones factoriales de tres niveles de cada uno de los ele-

mentos nitrógeno, fósforo y potasio. Los niveles que se emplearon fueron los siguientes:

Nitrógeno: N 0 : Sin nitrógeno
N 1 : 120 kg. de N por hectárea por año
N 2 : 240 kg. de N por hectárea por año

Fósforo: P 0 : Sin fósforo
P 1 : 120 Kg. de P₂O₅ por hectárea por año
P 2 : 240 kg. de P₂O₅ por hectárea por año

Potasio: K 0 : Sin potasio
K 1 : 120 Kg. de K₂O por hectárea por año
K 2 : 240 Kg. de K₂O por hectárea por año

Como fuentes de los nutrimentos se usaron el Sulfato de Amonio del 21o/o de N, el Superfosfato triple de 46o/o de P₂O₅ y el Sulfato de Potasio del 48o/o de K₂O. Los tratamientos se aplicaron cada tres meses. El efecto de los tratamientos se evaluó por la producción en Kilogramos de café cereza por parcela efectiva.

En la tabla 6 se expresa la respuesta del cafeto a las aplicaciones de N, P y K en las diferentes localidades.

El potasio produjo aumentos de producción en cinco de los sitios experimentados, no hubo incremento en la producción en Cenicafé, Paraguacito y Trinidad. Se observó cierta relación entre las respuestas a este nutrimento y el contenido de potasio intercambiable en los suelos. La magnitud de las respuestas fue mayor en donde el análisis de suelo reveló bajo contenido de potasio. En los suelos de Cenicafé Paraguacito y Trinidad, en los cuales no hubo respuesta al potasio en ninguna de las cosechas obtenidas, el contenido de potasio se considera alto.

Matemáticamente se expresa esa relación por medio de la ecuación exponencial

$$Y = 615,9095 X^{-0,42278}$$

En esta ecuación Y representa la producción obtenida con el mayor nivel de potasio aplicado (240 Kg/Ha de K₂O), expresada como porcentaje del testigo. La X es igual a 100 veces el contenido de potasio en miliequivalentes por 100 g de suelo.

Con el coeficiente de variación encontrado, para que una diferencia sea significativa, la producción con el mayor nivel debe ser 136o/o del testigo. Esto se obtiene, de acuerdo con la ecuación cuando existe en el suelo un contenido de

Tabla 5. Características físicas y químicas de los suelos, de ocho lugares experimentales. Cenicafé. 1977.

Lugar	Textura	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Clasificación
			o/o	o/o	ppm	me/100g			
Naranjal (Caldas)	FA	5,6	13,1	0,634	11	0,22	0,9	0,9	Dystrandept
Cenicafé (Caldas)	F	4,8	6,6	0,379	25	0,34	3,3	2,3	"
Paraguacito (Quindio)	FA	5,4	6,6	0,395	12	0,61	5,2	2,1	"
El Rosario (Antioquia)	F	4,0	13,8	0,528	8	0,14	2,0	1,6	Dystropept
Piamonte (Antioquia)	FAr	4,9	5,5	0,302	10	0,17	5,1	5,1	"
Mesitas (Cundinamarca)	F	5,0	8,3	0,393	3	0,18	13,4	6,7	Dystrandept
Granjas (Cundinamarca)	FA	5,1	16,3	0,867	4	0,5	12,3	4,4	"
La Trinidad (Tolima)	FA	5,7	17,8	0,723	8	0,60	9,0	1,8	"

Tabla 6. Respuesta del café a las aplicaciones de N, P y K en ocho lugares experimentales. Cenicafé, 1977

Lugar	Cosechas					
	1a.	2a.	3a.	4a.	5a.	Acumulado
Naranjal (Caldas)	N	K	K	PyK	K	K
Cenicafé (Caldas)	N	NyP	N	N	N	N
Paraguacito (Quindío)	N	N	No hubo	N	N	N
El Rosario (Antioquia)	No hubo	K	NyK	NyK	—	NyK
Piamonte (Antioquia)	No hubo	NyK	K	NyK	—	NyK
MESitas (Cundinamarca)	No hubo	NyK	N,PyK	NyK	—	NyK
Granjas (Cundinamarca)	NyK	N	N	NyK	N	NyK
La Trinidad (Tolima)	NyP	N	No hubo	N	—	N

potasio intercambiable de 0,356 me/100g de suelo.

Lo anterior indica que en suelos con contenidos de K intercambiable mayores de 0,356 me/100g de suelo, la probabilidad de respuesta del café al potasio es muy baja (menor que el 50/o).

El efecto del N, P y K, sobre la producción de café pergamino seco por hectarea en los ocho lugares experimentales, se presenta en la tabla 7.

7. USO DE FUENTES POTASICAS EN LA FERTILIZACION DEL CAFETO

Catani (11, 12), por los ensayos realizados, asegura que el fertilizante más importante para el café es el cloruro de potasio con 58 a 60o/o de K₂O. Dice que ambos componentes de este fertilizante son solubles en agua y no dejan residuo ácido o alcalino en el suelo.

Los datos encontrados de la concentración de cloro en las hojas de café abonado con cloruro de potasio confirman los elevados contenidos de cloro, pero no se observaron síntomas de toxicidad causados por el exceso de este elemento.

Amorim (3) comprobó que el uso de cloruro de potasio incrementó el nivel de K en el fruto.

Aguilar (2), también encontró que el café responde en mejor forma a las aplicaciones de KC1 mezclado con sulfato de amonio y superfosfato triple.

En Nueva Guinea (39), usan diferentes formas de potasio para la fertilización del café: KC1 (50 y 60o/o de K₂O), K₂SO₄ (48 – 52o/o de K₂O; 18o/o de S) que se puede aplicar cuando se presentan deficiencias de azufre y si no hay otras fuentes disponibles.

Con el fin de verificar la influencia que sobre el crecimiento y producción del café tiene el empleo del sulfato o del cloruro de potasio, en el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, se han adelantado varios experimentos:

López (22), asegura que el café requiere cantidades bajas de cloro y altas de azufre; que los fertilizantes a base de K₂SO₄ (con impurezas de Cl de 0,77o/o) aportan cantidades suficientes de cloruros según se comprueba mediante análisis foliar.

Dice que la toxicidad del ión cloruro se manifiesta por daños visibles cuando la cantidad de cloro rebasa el nivel foliar de 2000 ppm. Esta concentración se alcanza muy fácilmente en plantas en almácigo. En el campo encontró que la aplicación de 400 gramos de K₂O en forma de cloruros mos-

Tabla 7. Efecto del N, P y K sobre la producción de café en ocho lugares experimentales. Cenicafé, 1977

Lugar	Producción promedio de café pergamino seco (Kg/Ha)								
	N (Kg/Ha-año)			P ₂ O ₅ (Kg/Ha-año)			K ₂ O (Kg/Ha-año)		
	0	120	240	0	120	240	0	120	240
Naranjal (Caldas)	3743	4338	4553	3980	4265	4413	3038	4603	4990
Cenicafé (Caldas)	1640	4358	4840	3468	3665	3690	3513	3668	3635
Paraguacito (Quindío)	3618	4880	5530	4755	4623	4633	4518	4660	4833
El Rosario (Antioquia)	2772	3313	3516	3041	3056	3503	1806	3753	4047
Piamonte (Antioquia)	703	987	1019	903	862	953	616	969	1106
Mesitas (Cundinamarca)	1213	2088	2194	1675	1863	1947	1203	2119	2156
Granjas (Cundinamarca)	1690	2735	2968	2656	2428	2540	2170	2888	2583
La Trinidad (Tolima)	2712	4312	3853	3369	3635	3778	3335	3613	3835

tró síntomas visibles de toxicidad y concentraciones elevadas de cloro en las hojas, superiores a 2875 ppm.

Por lo tanto, este investigador dice que pueden aceptarse como adecuadas las proporciones de 25o/o de K₂O en forma de KCl y 75o/o en forma de K₂SO₄ estipuladas para fabricar los fertilizantes que se recomiendan para cafetales en producción.

Parra (33), por los experimentos que realizó en invernadero y en el campo pudo concluir que con los niveles de fertilización empleados, no se encontró efecto notable de las fuentes de potasio (cloruro y sulfato) sobre el crecimiento de plantas de café; cantidad de cosecha producida ni en la calidad de la misma.

Ultimamente Valencia (42), realizó un estudio para comparar el efecto que el potasio suministrado como sulfato o como cloruro en presencia o en ausencia de otros nutrientes pueda tener en el crecimiento y producción del café, para ver la factibilidad de usar una cantidad mayor de cloruro de potasio en la fabricación de fertilizantes compuestos y si esta única fuente de potasio puede usarse en la fertilización de cafetales. El ensayo se llevó hasta obtener 3 cosechas.

Se observó que no hubo diferencia significativa en la calidad de la bebida determinada mediante la prueba de taza y la prueba de actividad de la polifenoloxidasas, como tampoco en el aspecto y trilla del producto desde el punto de vista de comercialización en el país.

En el suelo se encontró que el pH y el K fueron significativamente menores en los tratamientos en que el potasio se agregó junto con N, P y Mg, probablemente por la influencia de los portadores de estos elementos especialmente el del N que es la urea la cual al incorporarse en el suelo se transforma rápidamente en amonio y éste desplaza las bases del complejo de intercambio, K entre otras, se aumenta la acidez y el pH se hace menor (6).

La producción fue mayor en aproximadamente 700 kg de café pergamino seco por hectárea por año cuando se usó sulfato de potasio y la adición de N, P y Mg a los portadores de K la aumentó en mayor cantidad.

En consecuencia debe preferirse el sulfato de potasio para cafetales pero acompañado de los otros macronutrientes especialmente si el suelo es pobre en materia orgánica.

Por las razones expuestas el investigador dice que no se ve inconveniente en que en la fabricación de fertilizantes compuestos se permita el suministro del 50o/o del potasio como KCl.

8. EPOCAS DE APLICACION DE LOS FERTILIZANTES POTASICOS

La curva de absorción del potasio por el café durante el año es aproximadamente paralela a la del nitrógeno. La absorción es medida por el potasio que se encuentra en la hoja mediante análisis foliar, tiene un máximo en la época lluviosa. En período seco el contenido de potasio en los órganos vegetativos disminuye debido al efecto combinado de carencia de humedad del suelo y el que es removido por el crecimiento de los frutos (24).

En los trabajos adelantados en Africa por Forestier (17), ha encontrado que el régimen de lluvias puede influir en la

alimentación potásica del café. En la Costa de Marfil, la nutrición potásica del café robusta presenta los niveles mínimos durante la estación seca y los máximos entre Junio y Julio.

En la República Centroafricana, la nutrición potásica se reduce entre Octubre y mediados de Marzo y se intensifica durante el período restante. En la República del Congo, el mínimo de nutrición potásica corresponde a la estación seca entre Julio y Octubre y llega a un máximo en la segunda parte de la estación lluviosa, en Marzo.

En Madagascar, Velly (citado por Forestier 17), estima que la nutrición potásica está íntimamente ligada a la pluviometría.

En general, se ha observado que para el mejor aprovechamiento del potasio por el café, se debe dividir la dosis en dos aplicaciones de cantidades iguales, una antes de la floración y la otra al final de la estación lluviosa cuando los frutos están madurando (13, 15, 32, 38).

RESUMEN

Las investigaciones en Colombia y en otros países cafeteros del mundo sobre fertilización en cafetales a plena exposición solar o con sombrero regulado, han demostrado una alta respuesta del café a las aplicaciones de nitrógeno y de potasio principalmente en la etapa de producción, dependiendo de la clase de suelo, luminosidad, precipitación y densidad de población.

Cafetales densamente sombreados no han respondido a la fertilización.

En diferentes ensayos de fertilización en café al sol, realizados por Cenicafe durante diez años en ocho lugares de la zona cafetera colombiana, con varias clases de suelos, se encontró un incremento en la producción con las aplicaciones de potasio en cinco de los sitios experimentados.

Se halló una relación entre el contenido de potasio intercambiable del suelo y la producción de café, de acuerdo con la ecuación:

$$Y = 615,9095 X^{-0,4227}$$

Según esta ecuación, en suelos con contenidos de potasio mayores de 0,35 me/100g, la probabilidad de respuesta del café al potasio es muy baja (menor de 5o/o).

En ensayos sobre fuentes de potasio (cloruro y sulfato), en café al sol, Cenicafe no ha encontrado diferencias en calidad de grano y la bebida con estas fuentes. Con el sulfato de potasio se obtuvo un incremento de 700 kilogramos de café pergamino seco por hectárea por año.

BIBLIOGRAFIA

1. Abruña, F. et al. Effects of liming and fertilization on yields and foliar composition of high-yielding sun grown coffee in Puerto Rico. *Journal of Agric. Univ. Puerto Rico*. 49(4): 413-428. 1965.
2. Aguilar, R.J. Resultados de la fertilización potásica en la producción de café. *El Café de El Salvador* 35(386):11-24. 1965.
3. Amorim, H.V. y otros. Estudos sobre alimentacao mineral do cafeiro. XVII. Efeito NPK na composicao quimica do solo, do fruto e na qualidade da bebida. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Brasil)* vol. 22:139-151. 1965.

4. ———. Estudos sobre alimentacao mineral do cafeeiro. XXI. Efeito da adubacao N, P, K e organica na composicao mineral do grao e na qualidade da bebida. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Brasil) vol. 24: 215-228. 1967.
5. Bemelmans, J. A potassa na adubacao do cafeeiro. Bol. da Superintendencia dos Servicos do Cafe. (Brasil) 27(301): 215-216. 1952.
6. Bravo, G.E. Interpretacion de los resultados del análisis de suelos correspondiente al ensayo sobre "Efecto del tipo de fertilización potásica en el crecimiento del cafeto". Informe Anual de Fertilidad. Sección de Química Agrícola. Cenicafe. Chinchiná (Colombia). p. 22-26. 1976.
7. Briceño, J.A. y Carvajal, J.F. El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalino-térreos en el suelo, asociado con la respuesta del cafeto al potasio. Turrialba (Costa Rica) 1:56-71. 1973.
8. Camargo, R. de O cafeeiro quer mais fosforo mais potassio. Bol. da Superintendencia dos Servicos do Cafe. (Brasil) 25 (282):596-603; (283):681-686. 1950.
9. Canellas, A. Los elementos químicos mais importantes. Bol. da Superintendencia dos Servicos do Cafe. (Brasil) 30(341): 21-22. 1955.
10. Carandang, D.A. The effect of fertilizers on the yield of coffee in Matutum, Cotabato, Philipp. Agric. 45(7):365-370. 1961.
11. Catani, R.A. Características de los fertilizantes aplicados en el cultivo del Café. Cafe de Nicaragua 12(150-151):20-28. 1957.
12. ———. A concentracao de cloro em folhas de café. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Brasil) 26:93-98. 1969.
13. Coury, T. Adubacao nitrogenada-potasica em cobertura, no cafeeiro. Bol. da Superintendencia dos Servicos do Cafe (Brasil) 422:8-11. 1962.
14. Chandler, V.J. Resultado de investigaciones en torno al cultivo intensivo del café en Puerto Rico. Agricultura al Día (Puerto Rico) 17(5-6):18-33. 1971.
15. Chokkanna, N.G. Coffee nutrition and fertilizers. Indian Coffe 35(11):453-454, 465. 1971.
16. El Cafeto debe fertilizarse con NPK. Agricultura de las Américas. (E.U.) 18(2):37-38. 1969.
17. Forestier, J. El Potasio y el Cafeto. **Robusta**. Fertilité (Francia) 30:3-63. 1968.
18. Gómez, A.A. y Bravo, G.E. Respuesta del cafeto a la fertilización en suelos de la zona cafetera. Manual de Fertilidad de Suelos. Centro Nal. de Investigaciones de Café. Chinchiná (Colombia). 1977. (manuscrito).
19. Gómez, F.P. et al. Estudos sobre alimentacao do cafeeiro. XIV. Efeitos da adubacao mineral e organica na composicao das folhas. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Brasil) 22:117-129. 1965.
20. Huertas, A. Composición mineral foliar, fertilización y producción del café. Fertilité (Francia) 23:42-52. 1965.
21. López, A.C. Respuesta a la aplicación de diferentes niveles de NPK y materia orgánica. Boletín Informativo del ISIC 53:1-3. 1963.
22. López, A.M. Fertilización con cloruro de potasio y con sulfato de potasio en plantaciones de café. I. Verificación de la absorción de iones K, Cl y S por medio de análisis foliar. Cenicafe (Colombia) 18(2):47-54. 1967.
23. Machado, S.A. Algunos resultados experimentales con fertilizantes en cafetos. Cenicafe (Colombia) 9(7-9):157-198. 1958.
24. Malavolta, E. et al. On the mineral nutrition of some tropical crops. Berna, Instituto de la Potasa, 1962. 155 p.
25. Mehlich, A. Mineral nutrient content of organic manures and mulching materials with particular reference to calcium, magnesium and potassium. Kenya Coffe 30(352):157. 1965.
26. ———. Coffee nutrition and the possible use of compound fertilizers in Kenya. Kenya Coffe 33(385):59-65. 1968.
27. Montero, G.J. Algunos aspectos sobre el cultivo y beneficio del café en Costa Rica. Revista de Agricultura (Costa Rica) 32(5):139-155. 1960.
28. Moraes, F.R.P. y Cātani, R.A. Absorcao de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante sua formacao. Bragantia (Brasil) 23(26):331-336. 1964.
29. Necesidades del cafeto en nitrógeno, fósforo y potasio, para la producción de altas cosechas. El Café de Nicaragua 12(146-147):27-29. 1957.
30. Omotoso, T.I. The effects of macronutrients on the growth and leaf composition of *Coffea canephora* Pierre. Turrialba (Costa Rica) 22(1):53-60. 1972.
31. Ortíz, M.O. Requerimientos del café en los principales nutrientes. Revista Cafetalera de Guatemala 111:33-34. 1972.
32. ———. Epocas adecuadas para la aplicación de fertilizantes al café en Guatemala. Revista Cafetalera de Guatemala 110:15-21. 1972.
33. Parra, H.J. El tipo de fertilizante potásico en el crecimiento y la cosecha de café. Informe Anual. Centro Nal. de Investigaciones de Café. Chinchiná (Colombia). 1971. (mecanografiado).
34. Pérez, M.V. et al. Pruebas de abonamiento con N, P y K para elevar la producción de café en la Meseta Central de Costa Rica. Turrialba (Costa Rica) 12(3):153-154. 1962.
35. Rodríguez, S.J. et al. Effects of different levels of the major nutrients and lime on coffee yield in Puerto Rico. Journal of Agric. Univ. of Puerto Rico 52(3):195-203. 1968.
36. Rodríguez, M.J. Estudios de fertilidad de la región cafetera central de Antioquia. Revista ICA (Colombia) 8(2):157-170. 1973.
37. Robinson, J.B.D. Effects of environment and cultural conditions on K, Ca and Mg in coffee leaves. Experimental Agriculture (Inglaterra) 5(4):311-326. 1969.
38. Saborrido, Jr. L.C. A review of literature on the responses of coffee to the major plant nutrients. Coffee and Cacao Journal (Filipinas) 10(6):116-117. 1967.
39. Schnitzler, W.H. Coffee its nutritional requirements in the highlands of New Guinea. World Crops (Inglaterra) 26(3): 139-141. 1974.
40. Uribe, H.A. y Mestre, M.A. Efecto del nitrógeno, el fósforo y el potasio sobre la producción de café. Cenicafe (Colombia) 27(4): 158-173. 1976.
41. Valencia, A.G. Deficiencias minerales en el cafeto y manera de corregirlas. Boletín Técnico No. 1. Cenicafe. Chinchiná (Colombia). 1974.
42. ———. Efecto del tipo de fertilización potásica en el crecimiento y en la producción del cafeto. Informe final. Sección de Fitofisiología. Centro Nal. de Investigaciones de Café. Chinchiná (Colombia). 1977. (Mecanografiado).

FERTILIZACION POTASICA EN PASTOS

Jaime Lotero C. y Javier Bernal E.*

En Colombia, en general, la mayor respuesta en producción de los pastos se ha obtenido con la aplicación de N, luego con la aplicación de P y en menor proporción con la aplicación de K y elementos menores (7).

Los pastos (gramíneas) tienen, en términos generales, una gran capacidad para absorber K del suelo. En el Valle del Cauca (1) con aplicación de diferentes dosis de N después de cada corte, se ha encontrado una remoción alta de K por los pastos angleton (*Dichatium aristatum*), pangola (*Digitaria decumbens*) y pará (*Brachiaria mutica*); por ejemplo, con la aplicación de 100 Kg/Ha de N después de cada corte se encontró una remoción de K de 435, 410 y 500 Kg/Ha/año, respectivamente (seis cortes). (Tabla 1). Esta remoción tan alta tiende al agotamiento de los suelos en su contenido de K y otros elementos.

Aunque el K hasta el presente, en general, no se considera como un elemento limitante para la producción de pastos en el país, existen áreas en donde su aplicación es indispensable para aumentar los rendimientos y por consiguiente la capacidad de carga o sostenimiento y así obtener mayor producción de carne, leche o lana por unidad de superficie.

TABLA 1. Producción de forraje seco por año en Ton/Ha y remoción de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, en Kg/Ha por los pastos angleton, pangola y pará durante un año. Valle del Cauca*

Tratamientos	Producción Ton/Ha	elementos removidos				
		N	P	K	CA	
Angleton	N 0**	3,4	36	8	38	12
	N 50	19,9	267	64	350	60
	N 100	27,6	415	75	75	88
Pangola	N 0	1,0	13	5	16	4
	N 50	9,6	163	49	186	45
	N 100	19,6	390	95	410	90
Pará	N 0	1,8	25	7	43	5
	N 50	10,7	175	46	244	35
	N 100	17,9	290	65	500	50

* Corte cada seis semanas.

** Nitrógeno aplicado después de cada corte.

En algunos suelos tropicales se ha encontrado una respuesta muy definida de los pastos a la aplicación de K (4) pero en términos generales, ha sido el N el elemento más limitante y en segundo lugar el P (7).

En el presente trabajo se presentan datos simplificados de la respuesta de diferentes pastos a la aplicación de K,

extraídos de experimentos en los cuales se han incluido diferentes dosis de N, P y K y a veces cal, según la naturaleza del suelo y la región climática. Generalmente el diseño experimental ha sido de "bloques al azar" con tres o cuatro repeticiones. Para facilidad de discusión, el país se ha dividido en clima cálido (0 a 1.000 m.s.n.m.), medio (1.000 a 2.000 m.s.n.m.) y frío (más de 2.000 m.s.n.m.).

CLIMA CALIDO

En los Llanos Orientales de Colombia y en el piedemonte llanero, se ha encontrado que el K es casi tan limitante como el N y el P para la producción de los pastos (6). En la Tabla 2 se incluyen datos de experimentos realizados en las terrazas alta y media del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "La Libertad" con pasto puntero (*Hyparrhenia rufa*). La terraza alta es de fertilidad más baja que la media; el puntero respondió significativamente a la aplicación de 50 Kg/Ha/año de K₂O en esta terraza; en promedio se realizaron cuatro cortes por año. En la Tabla 3 se incluye un análisis de caracterización de dicho suelo; puede observarse que es bajo en K intercambiable, según la escala de clasificación del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA (10).

TABLA 2. Producción promedio de forraje seco del pasto puntero, en Kg/Ha por corte. Terraza Alta y Media. "La Libertad" (Villavicencio)

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca 1	T. Alta	T. Media
				(10)*	(10)*
Kg/Ha			Ton/Ha		
50	50	0	2	3410 a**	5559 a
50	50	50	2	5466 b	6189 a
50	50	100	2	5830 b	5390 a

* Entre paréntesis el número de cortes.

** Promedios con una letra en común no son significativamente diferentes a nivel del 50/o.

En Orocué, Puerto López, los pastos guinea (*Panicum maximum*) y braquiaria (*Brachiaria decumbens*) han mostrado síntomas típicos de deficiencia de K, lo mismo que la crotalaria (*Crotalaria juncea*); este suelo se considera bajo en K intercambiable (Tabla 4).

En otras regiones de clima cálido, como los Valles del Cauca y el Sinú, no se ha encontrado respuesta a la aplicación de K ni aún después de cinco años de cortes frecuentes, en experimentos de frecuencia de aplicación de K en los pastos angleton, pangola, guinea y pará (6).

* Gerente de la Regional 4 y Exdirector de la División de Semillas del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, respectivamente.

TABLA 3. Análisis de caracterización de un suelo proveniente del C.N.I.A. "La Libertad", Villavicencio. Terraza alta.

pH	M.O. o/o	P, ppm (Bray II)	C.I.C.				
			m.e./ 100 g de suelo				
Ca	Mg	K	Al				
4,7	3,7	2,7	4,5	0,60	0,51	0,13	2,8

TABLA 4. Análisis de caracterización de un suelo de Orocué, Puerto López.

pH	M.O. o/o	P, ppm (Bray II)	C.I.C.				
			m.e./100 g de suelo				
Ca	Mg	K	Al				
5,0	2,2	2,3	4,8	0,63	0,54	0,14	1,8

CLIMA MEDIO

En la Tabla 5 se incluyen los resultados obtenidos con la aplicación de K al pasto guinea en un suelo aluvial del Valle de Medellín (9). Los rendimientos se aumentaron, en algunos casos significativamente, al aplicar 50 Kg/Ha/año de K₂O. Aunque este suelo es relativamente alto en K intercambiable (0,50 m.e./100 g de suelo), el guinea parece ser una de las especies más exigentes en este elemento; síntomas típicos de deficiencia de K se observaron en guinea tanto en el Valle de Medellín como en Orocué, cuando no se aplicó este elemento.

TABLA 5. Influencia de la fertilización en la producción del pasto guinea en un suelo aluvial del Valle de Medellín.

N	P ₂ O ₅ Kg/Ha	K ₂ O	Ton/Ha de forraje seco por corte				
			(1)*	(3)	(6)	(8)	(10)
0	0	0	0,88 a**	2,78 a	4,48 a	4,91 a	2,27 a
100	100	0	1,56 b	5,79 b	7,81 b	8,02 b	4,42 b
100	100	50	2,01 b	7,25 c	9,54 c	9,25 b	5,05 b

* Entre paréntesis el número del corte.

** Promedios con una letra en común no son significativamente diferentes a nivel del 50/o.

El pasto pangola también ha demostrado ser relativamente exigente en K; en la Tabla 6 se incluyen algunos datos sobre el efecto de la aplicación de 50 Kg/Ha/año de K₂O en dicho pasto; prácticamente en todos los cortes hubo respuesta a la aplicación de K, siendo significativa en algunos de ellos (5).

En la meseta de Popayán, en suelos ácidos derivados de cenizas volcánicas, el pasto imperial (*Azonopus scoparius*) ha respondido a la aplicación de 100 Kg/Ha/año de K₂O, como se observa en la Tabla 7 (5).

Posiblemente la respuesta negativa en el primer corte se debió a que el suelo contenía suficiente cantidad de K, que se agotó con los cortes sucesivos. En la Tabla 8 se incluyen algunos resultados obtenidos con pastos micay (*Azonopus micay*) en la meseta de Popayán (5). En algunos cortes hubo una ligera respuesta a la aplicación de K, no significativa. En diferentes experimentos de fertilización realizados por el Programa de Pastos y Forrajes del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, este pasto ha demostrado ser bastante rústico, con poca respuesta a la fertilización potásica.

TABLA 6. Fertilización del pasto pangola en un suelo rojo del Valle de Medellín.

N	P ₂ O ₅ Kg/Ha	K ₂ O	Forraje seco en Ton/Ha por corte				
			(1)*	(3)	(5)	(8)	(10)
0	0	0	1,9 a**	3,0 a	1,5 a	1,1 a	2,2 a
100	100	50	5,5 b	7,7 b	3,3 b	5,6 b	3,9 b
100	100	0	3,6 c	6,5 b	2,8 b	2,7 c	3,0 b

* Entre paréntesis el número del corte.

** Promedios con una letra en común no son significativamente diferentes a nivel del 50/o.

CLIMA FRIO

En experimentos realizados en la serie de suelos Sabana de Bogotá, se ha encontrado que la alfalfa (*Medicago sativa*), responde a la aplicación de K, especialmente cuando se mezcla con gramíneas (6). En un ensayo en mezcla con pasto azul orchoro (*Dactylis glomerata*), se observaron síntomas típicos de deficiencia de K en alfalfa, mientras que la gramínea aparecía normal; este efecto ha sido atribuido a la diferencia en capacidad de intercambio de cationes de las raíces de gramíneas y leguminosas (2). Cuando la capacidad de intercambio de cationes es baja, como en el caso de las gramíneas, existe mayor afinidad por cationes monovalentes como el K y la leguminosa asociada, que tiene mayor capacidad de intercambio de cationes en las raíces y mayor afinidad por cationes di y trivalentes, puede sufrir por deficiencia de K+. En el ensayo mencionado, se corrigió la deficiencia de K en alfalfa con la aplicación de 50 Kg/Ha de K₂O.

TABLA 7. Fertilización del pasto imperial. Meseta de Popayán.

N	P ₂ O ₅ Kg/Ha	K ₂ O	Ton/Ha de forraje seco por corte		
			(1)*	(3)	(5)
100	100	0	7,70 a**	9,48 a	5,73 a
100	100	100	4,44 b	12,15 b	8,05 b

* Entre paréntesis el número del corte.

** Promedios con una letra en común no son significativamente diferentes a nivel del 50/o.

TABLA 8. Respuesta del pasto micay a la aplicación de potasio en la meseta de Popayán.

N	P ₂ O ₅ K ₂ O		Ton/Ha de forraje seco por corte				Total 8 Cortes
	Kg/Ha		(1)*	(3)	(5)	(7)	
100	100	100	1,95	5,24	10,01	7,99	50,98
100	100	0	1,70	5,25	9,43	7,45	45,69

* Entre paréntesis el número del corte.

En suelos ácidos del Oriente Antioqueño, altos en materia orgánica y derivados de cenizas volcánicas, diferentes pastos han mostrado respuesta a la aplicación de K (tablas 9, 10, 11 y 12) (5, 8). La magnitud de la respuesta ha variado principalmente con la especie de pasto, desde no significativa en kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), hasta significativa en gordura (*Melinis minutiflora*) y elefante (*Pennisetum purpureum*). El imperial también ha demostrado ser bastante exigente en K y en estos suelos, cuando no se aplica K, muestra síntomas típicos de deficiencia de este elemento; lo mismo ha ocurrido con la alfalfa. En la Tabla 13 se incluye un análisis de caracterización del suelo donde se realizaron los experimentos; según la clasificación del ICA, este suelo es medio en el contenido de K intercambiable (10).

TABLA 9. Fertilización del pasto kikuyo en un suelo derivado de ceniza volcánica. (Oriente Antioqueño)

N	P ₂ O ₅ K ₂ O		Ton/Ha de forraje seco por corte			
	Kg/Ha		(1)*	(3)	(5)	(7)
0	0	0	0,17 a**	0,81 a	0,29 a	1,11 a
50	100	50	1,59 b	2,54 b	0,82 b	4,18 b
50	100	0	1,73 b	2,33 b	0,81 b	3,41 b

* Entre paréntesis el número del corte.

** Promedios con una letra en común, no son significativamente diferentes a nivel del 50/o.

TABLA 10. Fertilización del pasto gordura en un suelo derivado de ceniza volcánica (Oriente Antioqueño).

N	P ₂ O ₅ K ₂ O		Ca 1 Ton/ha	Ton/Ha de forraje seco				
	Kg/Ha			(1)*	(3)	(5)	(7)	(9)
0	0	0	0	0,92a**	2,34a	1,34a	0,45a	1,03a
50	100	50	4	2,46b	3,60b	3,74b	1,30b	2,39b
50	100	0	4	1,97c	4,15b	2,47c	0,70ab	1,56ab

* Entre paréntesis el número del corte.

** Promedios con una letra en común no son significativamente diferentes al nivel del 50/o.

Se sabe que una de las principales funciones del K en las plantas es el de aumentar la resistencia a ciertas enfermedades; este efecto ha sido atribuído a que dicho elemento participa en la síntesis de carbohidratos y por lo tanto las células de plantas bien suplidas con K tienen paredes celulares más gruesas con mayor contenido de celulosa y hemicelulosa (11). Los datos incluídos en la Tabla 14, tomados de un experimento realizado por Castaño y otros (3), en un suelo derivado de ceniza volcánica del Oriente Antioqueño, demuestran este efecto. En el sexto corte se presentó el porcentaje más alto de plantas muertas en aquellos tratamientos donde no se aplicó K. Después del primer corte, todas las plantas fueron inoculadas con la bacteria *Xanthomonas axonoperis* que produce la enfermedad denominada "gomosis"; en el corte 10 solamente sobrevivían algunas plantas de las parcelas que recibieron 100 y 200 Kg/Ha/año de K₂O.

TABLA 11. Respuesta del pasto elefante a la aplicación de potasio en un suelo derivado de ceniza volcánica. (Oriente Antioqueño)

N	P ₂ O ₅ K ₂ O		Ton/Ha de forraje verde por corte				Total 7 Cortes
	Kg/Ha		(1)*	(3)	(5)	(7)	
50	100	50	20,7a**	29,6a	14,7a	31,4a	170,9
50	100	0	20,5a	25,9b	14,5a	16,4b	141,3

* Entre paréntesis el número del corte.

** Promedios con una letra en común, no son significativamente diferentes al nivel del 50/o.

CONCLUSIONES

En los Llanos Orientales y piedemonte llanero de Colombia, se puede considerar que el K es tan limitante como el N y el P en la producción de los pastos.

En suelos ácidos, derivados de cenizas volcánicas, de origen relativamente antiguo, la mayoría de los pastos responden significativamente a la aplicación de K.

Los pastos guinea e imperial, han demostrado ser bastante exigentes en K y responden a la aplicación de este elemento en suelos donde otros pastos no han mostrado respuesta.

TABLA 12. Respuesta del pasto imperial a la fertilización en un suelo derivado de ceniza volcánica. (Oriente Antioqueño).

N	P ₂ O ₅ Kg/Ha	K ₂ O	C a 1		Rendimiento* Ton/Ha
			Ton/Ha		
0	0	0	0		4,8 a**
50	100	50	10		8,0 b
50	100	0	10		5,7 c
50	100	50	10 + E.M.***		6,8 c

* Promedio de 8 cortes, Ton/Ha de forraje seco.

** Promedios con una letra en común, no son significativamente diferentes a nivel del 5o/o.

*** 100 Kg/Ha de Agrimins.

En mezclas de gramíneas y leguminosas, especialmente en suelos de clima frío, se debe tener mucho cuidado con la fertilización potásica, ya que si no se aplica este elemento, se puede favorecer una especie en detrimento de la otra.

TABLA 13. Análisis de caracterización de un suelo derivado de ceniza volcánica (Oriente Antioqueño)

pH	M.O. P, ppm o/o (Bray II)	C.I.C.	m.e./100 g de suelo				
			Ca	Mg	K	Al	
4,8	26,0	6,0	51,21	0,80	0,20	0,24	2,1

En Colombia, menos del 1o/o de los ganaderos aplican fertilizantes. A medida que se intensifique la ganadería a través de prácticas adecuadas de manejo, como la fertilización, la necesidad de aplicar K llegará a ser más necesaria.

TABLA 14. Influencia de la fertilización en el rendimiento de forraje verde e incidencia de la "gomosis" en el pasto imperial.

N	P ₂ O ₅ Kg/Ha	K ₂ O	Rendimiento Ton/Ha		Plantas muertas o/o
			2o. corte	6o. corte	
0	0	0	25,5	1,8	22
100	0	0	11,6	1,8	14
0	150	0	14,6	1,9	14
0	0	100	28,0	9,9	0
0	0	200	39,4	25,2	3

RESUMEN

La respuesta de las gramíneas y leguminosas forrajeras a la aplicación de K ha sido relativamente escasa en el trópico.

En Colombia, en ensayos realizados en clima frío (Sabana de Bogotá), se ha encontrado respuesta a la aplicación de K en mezclas de gramíneas y leguminosas. En clima frío moderado, en suelos derivados de cenizas volcánicas, se ha encontrado respuesta a la aplicación de K en algunas especies de gramíneas y leguminosas como imperial (*Axonopus scoparius*), gordura (*Melinis minutiflora*) y alfalfa (*Medicago sativa*). En clima medio, se ha encontrado respuesta en guinea (*Panicum maximun*), pangola (*Digitaria decumbens*) e imperial.

En los Llanos Orientales se ha encontrado respuesta a K en gramíneas y en leguminosas y este elemento es tan limitante como el P y N en esa región del país.

En zonas como los Valles del Cauca y Sinú, no se ha obtenido respuesta de los pastos a la aplicación de K ni aún después de cinco años de cortes intensivos.

SUMMARY

In general, under tropical conditions forage grasses and legumes had shown little response to K fertilization.

In Colombia, in trials carried out in the cool climate (Bogotá Savanna), mixtures of forage grasses and legumes respond to K application. In moderate cool climate, on soils derived of volcanic ashes, some species as imperialgrass (*Axonopus scoparius*), molassesgrass (*Melinis minutiflora*) and alfalfa (*Medicago sativa*), respond to K fertilization. In medium climate, forage yields of guineagrass (*Panicum maximun*), pangolagrass (*Digitaria decumbens*) and imperialgrass, had been increased by application of 50 Kg/Ha/year of K₂O. In the east plains of Colombia, grasses and legumes respond to K fertilization and this nutrient is as limitant for forage production as N and P. In some regions as the Cauca and Sinú Valleys, grasses do not respond to K fertilization even after five years of intensive cuttings.

BIBLIOGRAFIA

1. ALARCON, E. y J. LOTERO. 1969. Establecimiento, fertilización y manejo de las principales gramíneas y leguminosas forrajeras en dos pisos térmicos de Colombia. ICA, Bol. Tec. No. 5, 31 p.
2. BLACK, C.A. 1968. Soil - Plant Relationships. 2nd. Ed. John Willey and Sons, Inc., New York.
3. CASTAÑO, J., J. LOTERO, H.D. THURSTON y L.V. CROWDER, 1965. La influencia de la fertilización del pasto imperial en la enfermedad de la gomosis. Agric. Trop. 21 (10): 563 - 567.
4. CHANDLER, J.V. et al. 1967. El manejo intensivo de forrajes tropicales en Puerto Rico. Recinto de Mayaguez. Est. Exp. Agric. Bol. 202, 169 p.
5. CROWDER, L.V. et al. 1963. Fertilización de gramíneas tropicales y subtropicales en Colombia. DIA. Bol. de Div. No. 12, 100p.
6. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. Programa de Pastos y Forrajes. 1960 - 1974. Informes Anuales de Progreso.

7. LOTERO, J. 1976. Fertilización de pastos. En: *Curso de Pastos y Forrajes*, ICA, Compendio No. 11, pp. 97 – 128.
8. LOTERO, J., G. HERRERA, R. RAMIREZ y L. V. CROWDER. 1965. Fertilización del pasto imperial en Antioquia. *Agric. Trop.* 21 (9): 505 – 515.
9. LOTERO, J. 1960. Response of guineagrass and napiergrass to applied fertilizers on two tropical soils. Univ. of Florida, Master's Thesis, 117 p.
10. MARIN, G. 1968. Recomendaciones tentativas de fertilizantes y cal para diversos cultivos de acuerdo al análisis de suelos. I Aproximación. *Revista ICA* 3(2): 91 – 102.
11. MEYER, B.S., D.B. ANDERSON and R.H. BOHNING. 1960. *Introduction to Plant Physiology*. D. Van Nostrand Co., Inc. Princeton, New Jersey.

POTASSIUM FERTILIZATION IN SOILS OF TROPICAL AMERICA: CAMPOS CERRADOS^{1/}

K. Dale Ritchey²; D.M.G. de Sousa³; Wenceslau Goedert⁴; Edson Lobato³

INTRODUCTION

The "campos cerrados" or soils under cerrado vegetation (savannah) of Brazil occupy about 180 million hectares (CPAC, 1976). Most of this land is presently being used for range cattle, but with the stimulus of vigorous government programs, an increasing movement of farmers in to the cerrados is taking place.

In order to get the most efficient return on the money invested in land clearing and fertilizer, it is important that agricultural researchers have ready the information needed to make proper management recommendations.

Correct applications of lime, phosphorus, and zinc are essential. In some cases production where inadequate levels of these inputs were applied is zero. Because of the spectacular responses to these amendments, the importance of potassium is sometimes overlooked. However, there are strong indications that potassium is likely to be one of the critical factors in long-term agricultural production in the cerrados.

Table 1 shows the distribution of soil types in the Brazilian cerrados. This paper will review the results of

potassium experiments carried out at the Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados of EMBRAPA near Brasilia on the two most common cerrado Oxisols: Latossolo Vermelho Amarelo (LV) and Latossolo Vermelho Escuro (LE). Table 2 shows selected properties typical of these soils in their virgin state.

POTASSIUM RESPONSES ON LATOSOL VERMELHO ESCURO

In 1975 an experiment was planted on the LE (tentatively identified as a Typic Haplustox, fine, kaolinitic, isohyperthermic) to study maize response to five broadcast levels of K (Ritchey, et al. 1977). Additional treatments of KC1 applied in a band at planting and three levels of magnesium as mixtures of calcitic with dolomitic limestone were included. Maize grain yields obtained are shown in Tabla 3. There was a significant response to the addition of

Tabla 1. Approximate distribution of soil units in the contiguous cerrados. From Sanchez, Lopes and Buol in CPAC, 1976.

Brazilian System	U.S. Soil Taxonomy	Cerrado o/o
Latossolo Vermelho Amarelo (LV)	Acrustox	41
Latossolo Vermelho Escuro (LE)	Haplustox	11
Latossolo Roxo (LR)	Haplustox	4
Areias Quartzosas (AV)	Psammments	20
Laterita Hidromorfica (LH)	Plinthaquilts	10
Podzolico Vermelho-Amarelo Distrofico (PD)	Ustults	1
Podzolico Vermelho-Amarelo equiv. Eutrofico (PE)	Ustalfs	4
Litossolos (R)	Lithic	9

1. Contribution to the program of research on soil fertility carried out by the Universities of Cornell and North Carolina State, in collaboration with CPAC/EMBRAPA and USAID, under contract number AID/Csd-2806 and AID/Csd-2490. Some of the research presented was partially financed by the Potash Institute (Atlanta).

2. Research Associate, Cornell University, Ithaca, New York.

3. Pesquisador, Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados, EMBRAPA, Planaltina, D. F., Brasil.

4. Chefe Adjunto Tecnico, Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados, EMBRAPA, Planaltina, D. F., Brasil.

Table 2. Some physical and chemical characteristics of a profile of Latossolo Vermelho—Escuro and of a profile of Latossolo Vermelho—Amarelo at CPAC. From CPAC, 1976.

Soil	Depth	Sand	Silt	Clay	pH in Water	Exchangeable cations			Al Sat.
						Al	Ca+ Mg	K	
	cm	o/o				meq/100g			o/o
LE	0-10	36	19	45	4.9	1.9	0.4	0.10	79
	10-35	33	19	48	4.8	2.0	0.2	0.05	89
	35-70	35	18	47	4.9	1.6	0.2	0.03	88
	70-150	35	18	47	5.0	1.5	0.2	0.01	88
LV	0-20	60	9	31	5.0	0.4	0.05	0.06	77
	20-40	54	12	34	4.9	0.07	0.03	0.03	50
	100-120	55	16	29	5.6	0.01	0.03	0.01	7

75 kg/ha K_2O compared to the check where the native K level was 23 ppm (double acid extractant). There was no significant difference between yields from 150 kg/ha K_2O broadcast and the same quantity applied in the furrow at planting, nor between the levels of magnesium at 150 kg/ha K_2O . However in the calcitic limestone treatment the maize leaves showed typical Mg deficiency symptoms.

Table 3. Responses to the application of KC1 in the production of corn grain (15.5o/o moisture). (Data for LV supplied by A. Suhet and J.R. Peres, CPAC. Data for LE from Ritchey et al., 1977).

K_2O Applied	Soil	
	LE	LV
-----Kg/ha-----		
0	2328 (53o/o)*	980 (39o/o)*
75	4076	---
150	4372	2489
300	4890	---
600	4712	---

* Percent of yield with 150 kg/ha K_2O

In the second year of the experiment the plots were subdivided. One-half received a maintenance application of 100 kg/ha K_2O broadcast, and the other half received nothing (residual). The yields are shown in Figure 1. The response curve of the residual treatment was similar to that of the first year. The grain yield on the zero K plots did not decline, but additional phosphorus, better weather and some contamination may have contributed to this. Also, as can be observed in the data of Sousa, et. al. (1977), who

made a detailed study of the potassium balance of this same experiment, the total extractable potassium in the check treatment, to 90 cm depth, was about 170 kg/ha K_2O (Figure 2). If a crop such as soybeans had been grown, one would expect more net exportation of potassium accumulated in the grain and, consequently, a more rapid depletion of soil reserves.

Figure 3 shows the relative yield of each experimental plot as a function of the extractable K measured before planting the second crop. The relative yield was calculated by dividing the production on the residual sub-plot by the production obtained on the corresponding maintenance sub-plot. For soil levels above 60 ppm (0.15 meq/100 cc soil) of double-acid-extractable K, there was no response to added potassium. For the plots with soil K levels of 16 to 28 ppm, the average relative yield was 63o/o of the potassium-sufficient subplots.

The economic value of the extra corn grain obtained from the application of 75 kg/ha K_2O the first year was nine times the cost of the potassium fertilizer added. When the increases obtained in the second year from the residual effects of this addition were included, the net return to the investment in potash was 18 to one (Ritchey, et al., 1977).

LEACHING COMPARISONS BETWEEN LATOSOL VERMELHO ESCURO AND LATOSOL VERMELHO AMARELO

In conjunction with an experiment on nitrogen on the LV soil, a simple test was made of the effects on yields of maize of omitting potassium. The corn grain yield obtained from the addition of 150 kg K_2O was 255o/o of that in the zero potassium plots, while the corresponding yield for the first year on the LE soil was 188o/o (Table 3). The native extractable potassium level in the LV experiment was 34 ppm, but measurements of Quantity/Intensity (Q/I) relationships indicated that the buffering capacity of the LV soil was significantly lower than that of the LE.

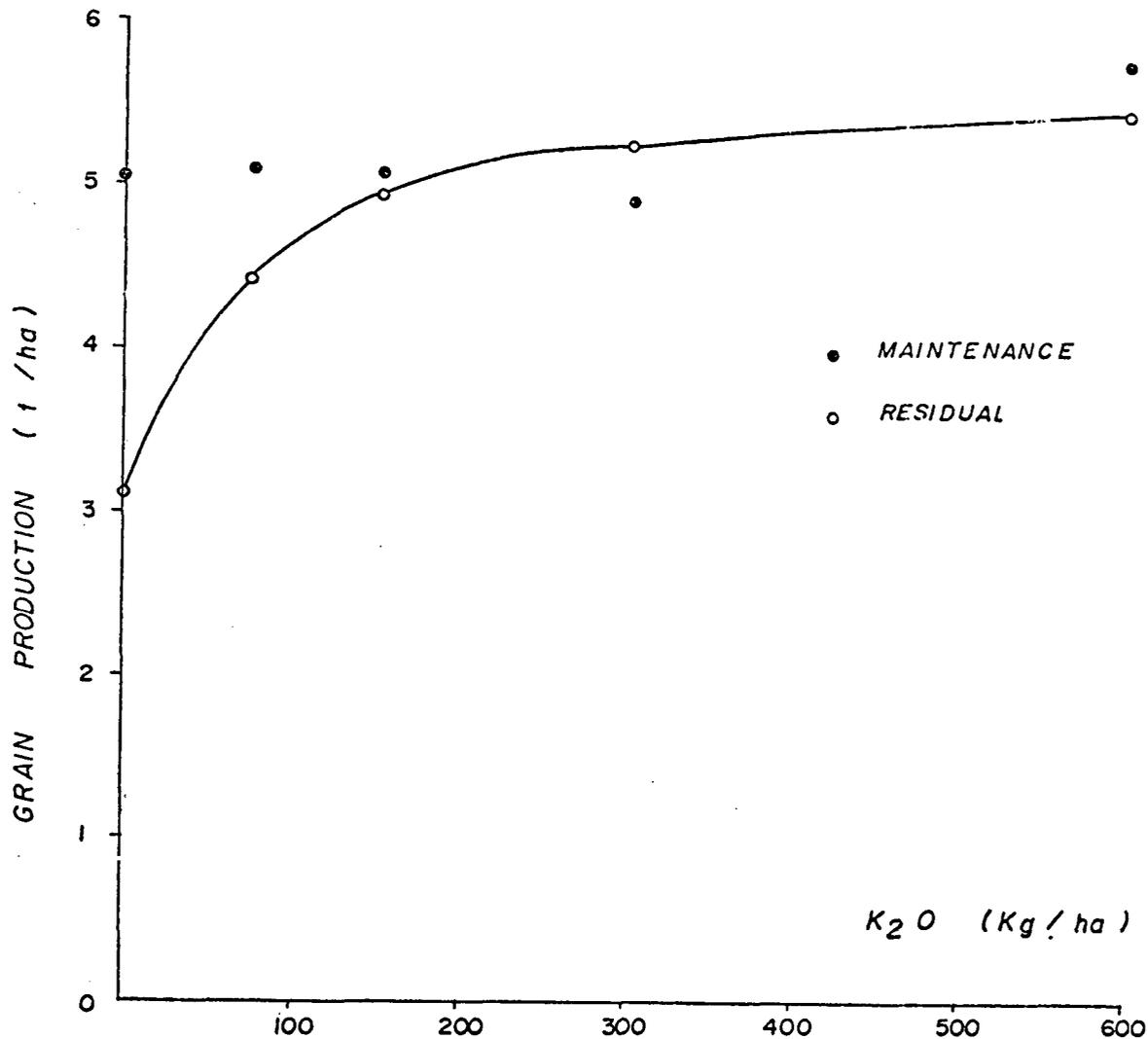


FIGURE 1. Yield for 1976-1977 of Cargill 111 maize grain at 15.5% moisture as a function of potassium applied the previous year (1975-1976). Maintenance subplots received 100 kg/ha K₂O before planting the 1976-1977 crop. From Ritchey et al. 1977.

Leaching of potassium was observed to a greater extent in the LV soil. Table 4 shows the changes in extractable potassium in the profile occurring between mid-season and post-harvest of the first cropping year. Note that for the LE soil there is apparently some leaching of applied K where 600 kg/ha K₂O was applied (i.e. an increase in the amount of K present from 45 to 75 cm). However there was no leaching for the 300 or 150 kg treatments. But in the LV there is apparently leaching and consequent increase in K at 60-75 cm even at the 150 kg/ha K₂O application. This is particularly evident in the 150-N treatment which received potassium but not nitrogen. In this treatment plant growth was severely retarded. There was therefore less plant tissue, and the amount of potassium taken up was lower than in the other treatments. The excess potassium was therefore subject to leaching.

Table 4. Changes in the extractable potassium in the profile from mid-season to post-harvest for the first maize crop in two Cerrado soils. The values are the differences obtained by subtracting the K present in January from the K present after harvest. The post-harvest K for the LE soil was measured in October and for the LV in May.

Depth	K ₂ O Applied, kg/ha						
	LE				LV		
	0	150	300	600	0	150	150-N
cm	-----ppm-----						
0-15	3	17	18	-34	6	12	8
15-30	-8	-5	-4	-21	-5	-6	-32
30-45	-13	-4	-7	8	-1	-6	-1
45-60	-1	0	1	24	0	1	-6
60-75	-1	-1	-1	-7	-2	5	-10
75-90	-2	-2	-3	-3	0	0	1

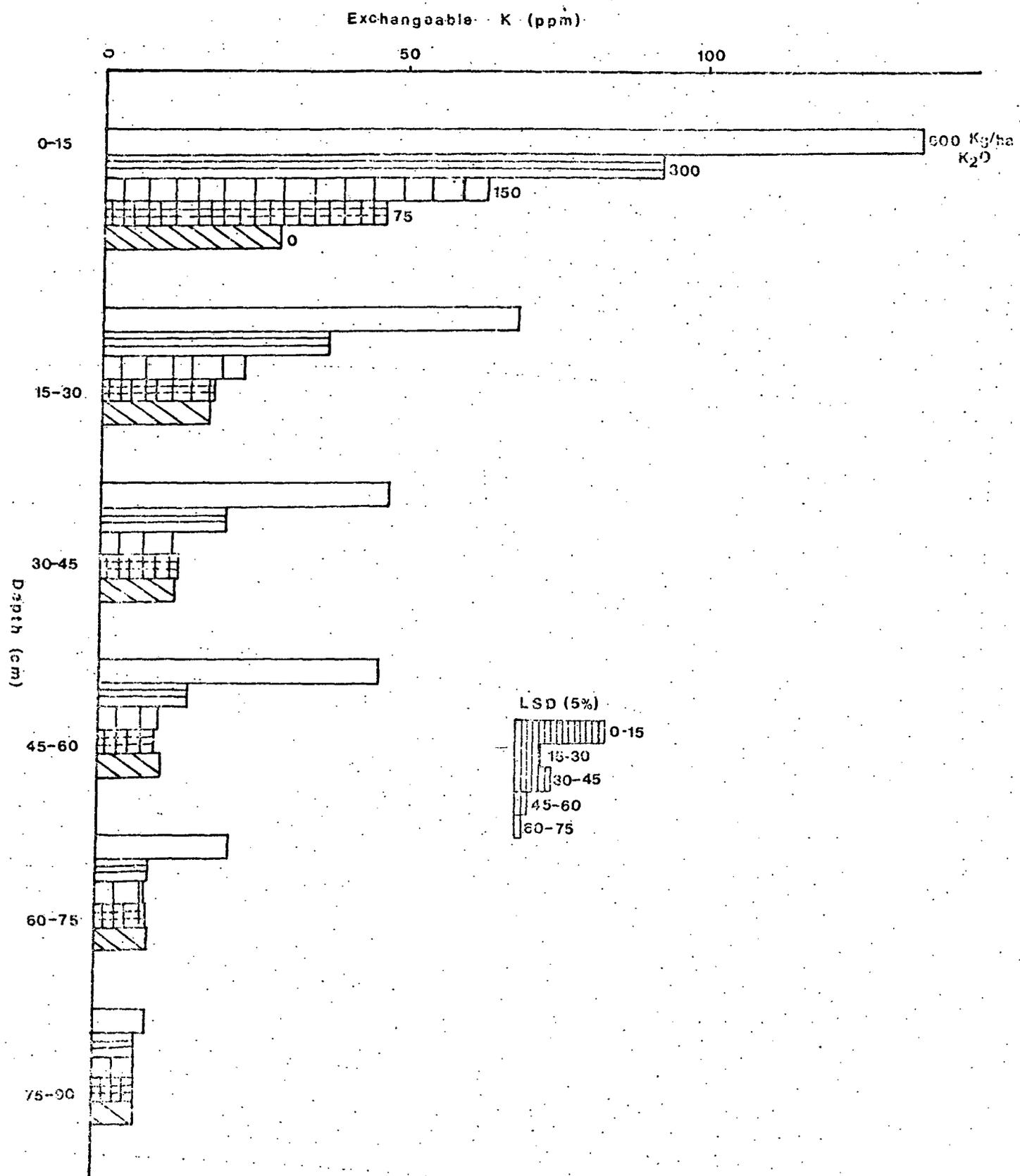


FIGURE 2. Exchangeable potassium as a function of depth in LE after the first crop, for five levels of potassium fertilizer. From Sousa et al. 1977.

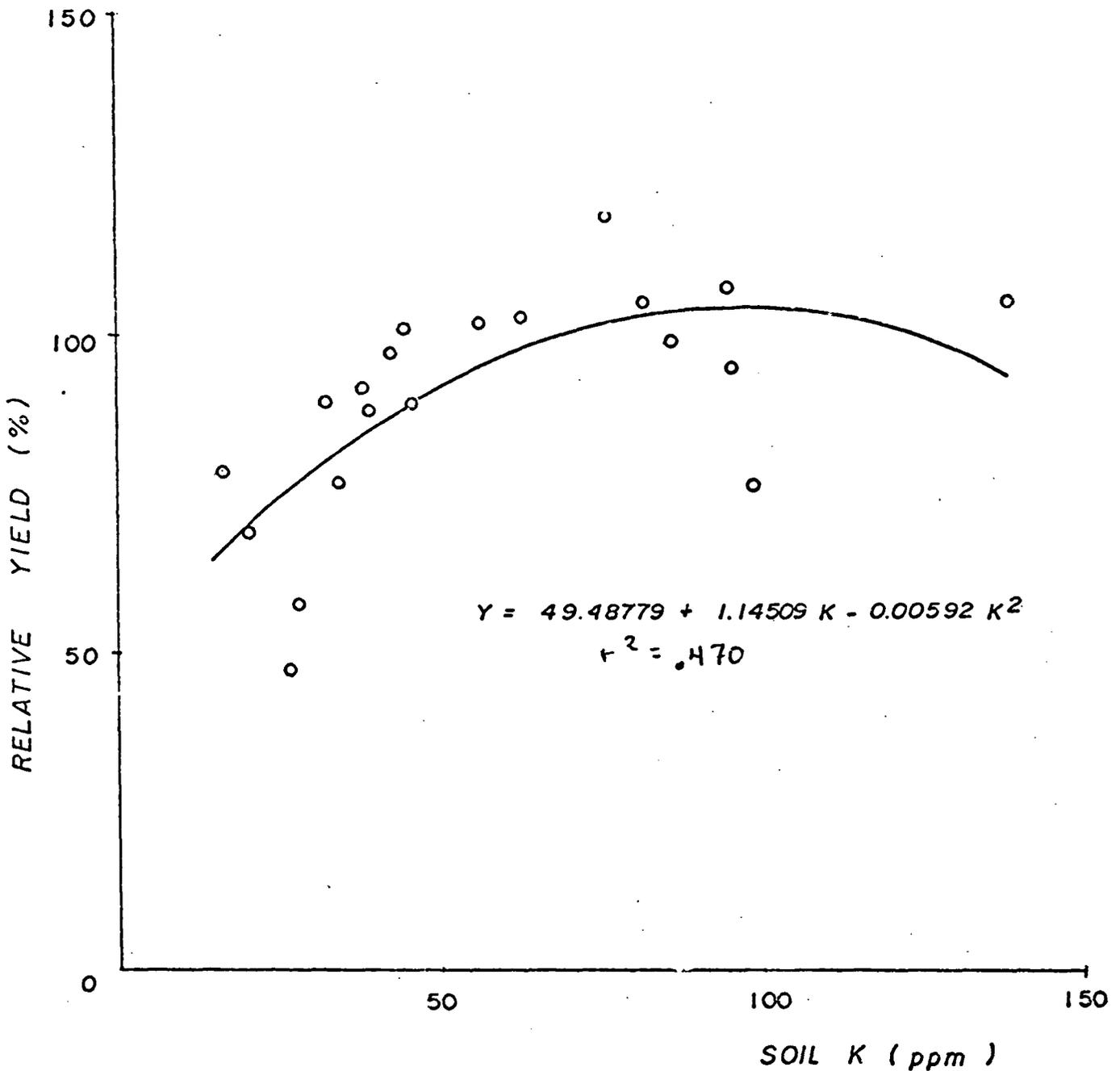


FIGURE 3. Relative yield measured the second year as a function of extractable soil potassium in the plots after the first crop. From Ritchey et al. 1977.

EFFECTS OF MAIZE CROPPING ON POTASSIUM LEVELS IN THE SOIL PROFILE

The data in Table 4 also point out another interesting phenomenon. In every case there was a decrease in extractable potassium in the 15–30 cm layer from mid-season to post-harvest. This is presumably due to the plants removing potassium from the soil and probably due to leaching losses as well in the case of the high fertilizer potassium applications. However, for the 0–15 cm layer,

the post-harvest potassium values were higher in every case but the 600 kg K_2O application. Apparently rain washes potassium from the leaves and stalks of the dead maize plants and returns this potassium to the surface of the soil.

Figure 4 presents data supporting this hypothesis. After the second harvest of the LE experiment, the betweenrow and within-row soil potassium in the 0–15 cm layer was sampled in order to evaluate contamination arising from tillage operations, which were carried out parallel to the maize rows. Sampling was begun three meters inside a plot

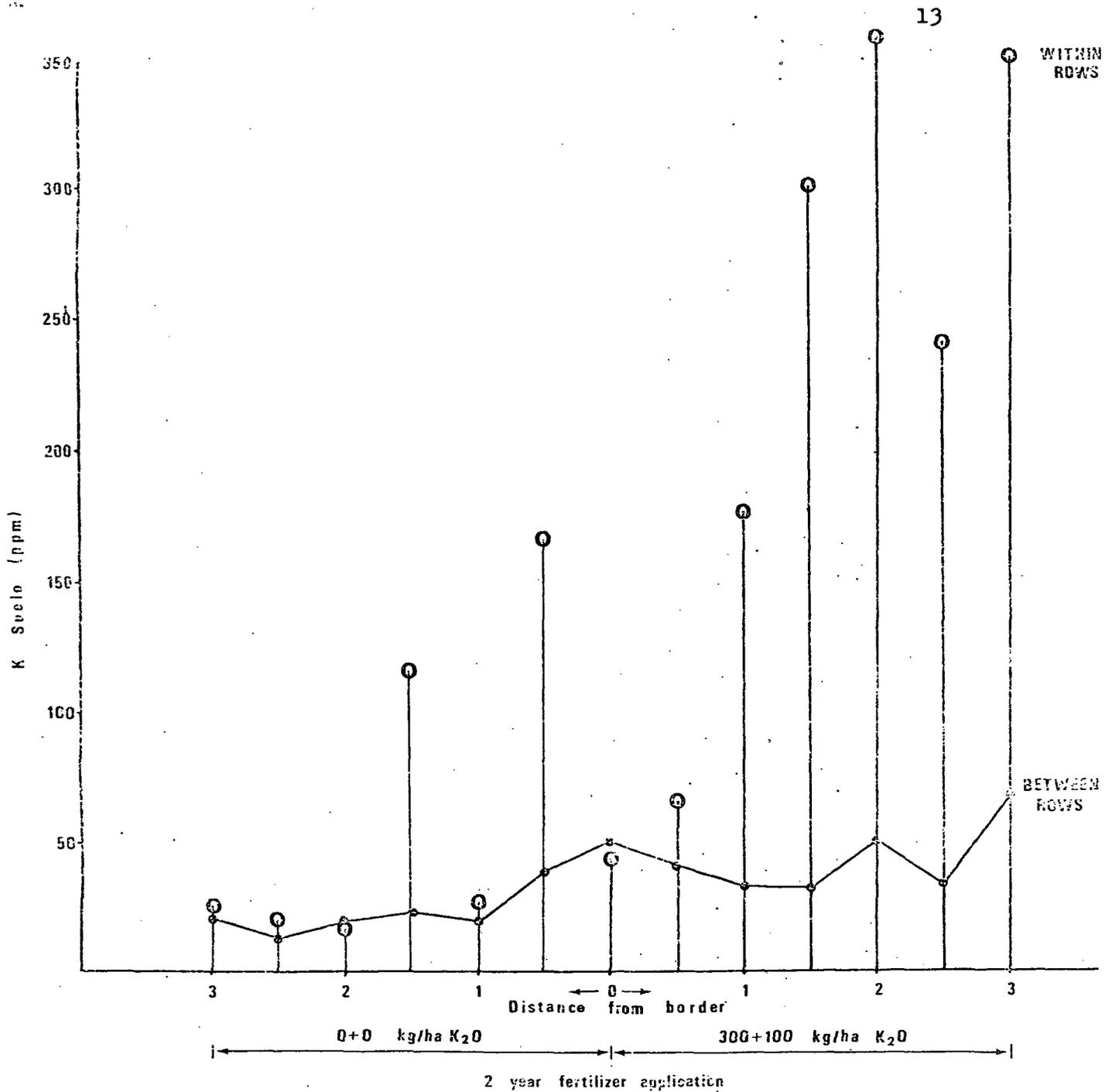


FIGURE 4. Double-acid extractable K at 0-15 cm depth measured within the maize row and half-way between the maize rows after harvest of the second year crop. Composites of two subsamples were collected every 50 cm beginning three meters within a plot which received no K fertilizer for two years and going across the plot boundary and continuing three meters into the adjacent plot which received 300 kg/ha K₂O the first year and 100 kg/ha the second year.

which had received no potassium fertilizer for two years and continued perpendicularly across the plot boundary to three meters inside the adjacent plot which received 300 kg/ha K_2O broadcast the first year and 100 kg/ha K_2O broadcast the second year. Samples were taken every 50 cm. The results of the first set of samples, taken midway between two central rows of the plot are shown in Figure 4 by the points jointed by a solid line. The approximate soil K average between rows was about 20–25 ppm in the zero-K plot and about 40 ppm in the high potassium plot. The second set of samples was taken within the central row of the plot and are shown by the open circles. Since the rows were 80 cm apart, the distance between the two sampling transects was only 40 cm, but as can be seen in the figure, the potassium values measured within the row were spectacularly higher than those between rows, in some cases exceeding 350 ppm K.

An unsettling consequence of this is that a Cerrado farmer sampling only to 15 cm depth may incorrectly believe that the potassium status of his soil has not declined, when in fact the net decrease in K is occurring in the 15–30 and 30–45 cm layers rather than in the 0–15 cm layer sampled.

CONCLUSION

In conclusion it is important to repeat that in spite of the fact that initial responses to phosphorus, lime, and zinc are very impressive, the necessity for applying sufficient potassium cannot be overlooked. Cerrado soils generally show soil K below the critical level, and when heavy investments in land-clearing and amendments are being made, it is highly uneconomical to neglect the application of potassium. For crops such as soybeans and harvested pastures, where export of K from the field is practiced, relatively rapid depletion of the existing potassium reserves in the soil can be expected.

BIBLIOGRAPHY

- CPAC. 1976. Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados, Relatório Técnico Anual. EMBRAPA. Brasília, Brasil. 150 pp.
- Ritchey, K. D., D. M. G. de Sousa and Edson Lobato. 1977. Potássio em solo de Cerrado: I. Resposta a adubação potássica. *Rev. bras. Ciência de Solo*. In press.
- Sousa, D. M. G. de, K. D. Ritchey, Edson Lobato and W. J. Goedert. 1977. Potássio em solo de Cerrado: II. Equilíbrio no solo. *Rev. bras. Ciência de Solo*. In press.

DINAMICA DEL POTASIO EN EL SUELO

Hans Hobt*

INTRODUCCION

El análisis de suelos es imprescindible para valorar la fertilidad de los terrenos agrícolas. Los resultados obtenidos sirven como base para formular recomendaciones de fertilización. Esto se justifica en los casos en los que exista una correlación entre los resultados analíticos y la respuesta positiva de los cultivos frente a la aplicación de fertilizantes. Por regla, el efecto surtido por algún elemento fertilizante decrece a medida que aumenta su contenido en el suelo.

Con respecto al potasio, sin embargo, muchos son los casos conocidos en los que no fue posible hallar alguna correlación entre los resultados obtenidos en análisis y el aumento buscado en la producción. En centenares de ensayos realizados en la India, por ejemplo, se obtuvieron buenos resultados con potasa aplicada en suelos con tenores altos en K "disponible" o intercambiable, así como efectos

poobres o nulos en suelos que, según los análisis, eran bajos en K.

En casos extremos, incluso, pueden existir correlaciones negativas entre el K intercambiable y los rendimientos, mientras que la correlación entre la concentración de K en la solución del suelo y el rendimiento buscado es positiva y de alta significancia (1).

La presente conferencia sobre la dinámica del potasio en el suelo explica, en parte, las razones de los fenómenos mencionados y deduce consecuencias prácticas para interpretar los resultados analíticos hallados en los laboratorios.

DISPONIBILIDAD DEL POTASIO EN EL SUELO

Solo una pequeña fracción del potasio absorbido por las plantas es alcanzado por contacto directo (intercepción) entre las raíces y las partículas del suelo.

La mayor proporción del potasio requerido por los cultivos necesita ser transportada hacia las raíces (2). Este transporte de iones es un factor importante de la disponibilidad del K. Ocurre primordialmente en la solución del suelo, la fase líquida del mismo, por el flujo de masa (con el agua que fluye hacia las raíces) y por difusión, a lo largo de un gradiente de concentración creado por la raíz absor-

* Instituto Internacional de la Potasa/Berna

bente. En la vecindad inmediata de ésta, la solución es rápidamente depredada de sus nutrientes por la absorción de las plantas. El suministro continuo de potasio para la planta en crecimiento solamente queda asegurado si el ritmo de la liberación de K a la solución del suelo y el transporte hacia las raíces siguen el ritmo de absorción del vegetal.

Los minerales arcillosos son la fuente principal de K en el suelo. Ellos cargan la mayor parte del K móvil y lo liberan cuando baja su concentración en la solución del suelo, bien sea por la absorción de las plantas o por un aumento de la humedad edáfica.

La buena saturación de los minerales arcillosos con K redundará en una elevada concentración de K en la solución del suelo, mientras que la saturación pobre con K se halla en equilibrio con la concentración pobre de K en solución.

La composición de la solución del suelo puede cambiar rápidamente debido a variaciones del volumen de agua, la absorción por parte de las plantas y por otros factores. La concentración de K en la solución equilibrada de un suelo, sin embargo, es un factor reproducible experimentalmente en el caso de ser determinada a "humedad standard", v.g. a capacidad de campo o a punto de saturación.

Bajo estas condiciones, la concentración de K en la solución depende del grado de saturación con K de la capacidad de intercambio de cationes (CIC) inorgánicos del suelo. Con determinado contenido de K intercambiable, un suelo con muchas partículas portadoras de K (suelo arcilloso) presenta, usualmente, menor concentración de K en su solución que un suelo arenoso con poca arcilla. Con igual contenido de arcilla, la concentración de K en solución de-

pende, asimismo, de la naturaleza de los minerales arcillosos.

a) Los minerales caoliníticos no tienen posiciones de cambio interlaminares para enlazar potasio, y una reducida capacidad de intercambio de cationes. Ellos no contienen K no intercambiable. De allí que se comportan, en lo tocante a la dinámica del potasio en el suelo, casi como arena o como materia orgánica.

b) Los minerales arcillosos illita, vermiculita y clorita, en cambio, adsorben K selectivamente.

c) La selectividad de las montmorillonitas, con respecto al K, es menor que la de las illitas, pero mayor que la de las caolinitas.

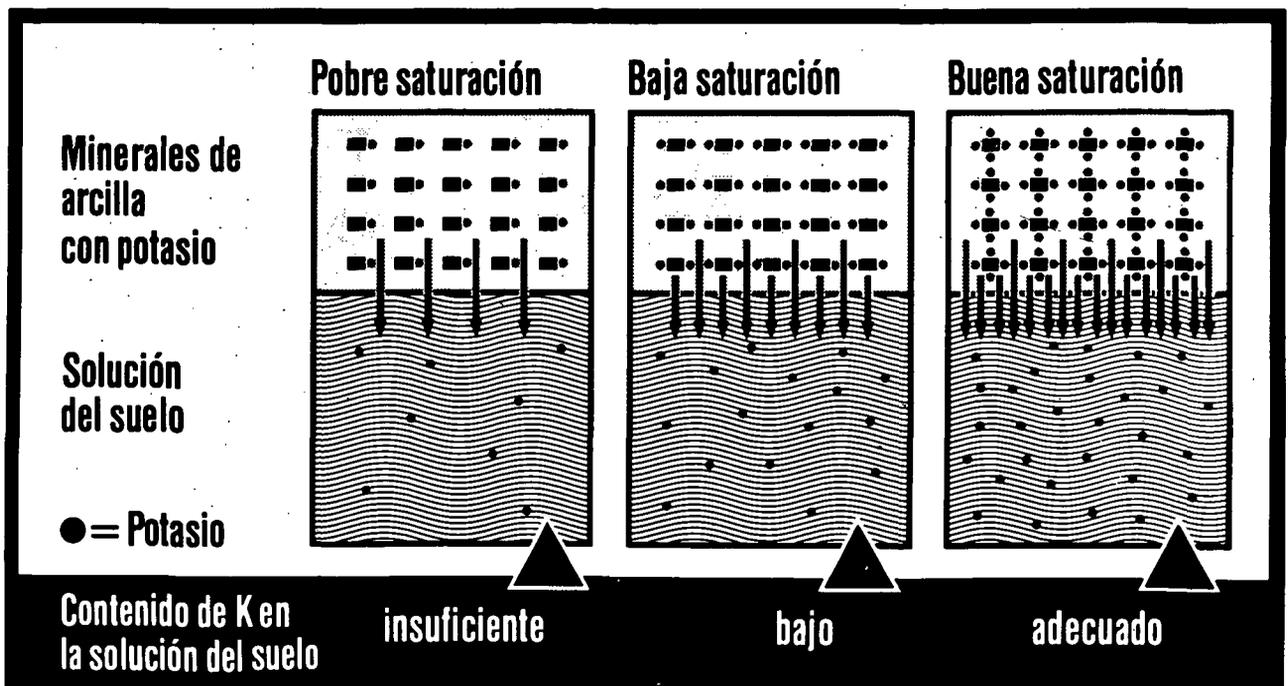
d) Los alófanos (derivados generalmente de cenizas volcánicas) contienen cantidades muy variables de K y se indica, que el K es adsorbido selectivamente cuando la CIC es baja.

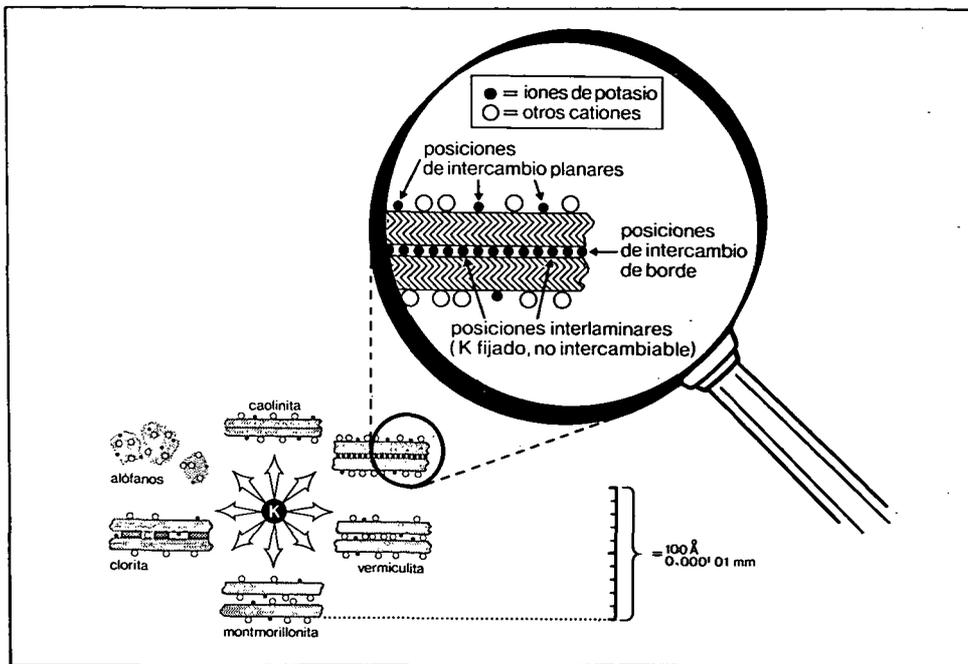
Dependiendo del grado de saturación o de agotamiento de K, estos minerales liberarán K hacia la solución del suelo o lo adsorberán de esta. Además del tipo de mineral, la selectividad de los minerales arcillosos para iones de potasio depende del lugar en el que estos sean adsorbidos.

Las posiciones planares de cambio no son lugares que enlazan K específicamente; las posiciones de cambio de borde ya son más selectivas para K y las posiciones interlaminares tienen la mayor selectividad para K. El potasio retenido en éstas es, generalmente, "no intercambiable".

Una adecuada concentración de K en la solución del suelo (por encima de 0.5 me/l) sólo es lograda cuando las posiciones que seleccionan K hayan sido saturadas con K,

Suministro de K de los minerales arcillosos





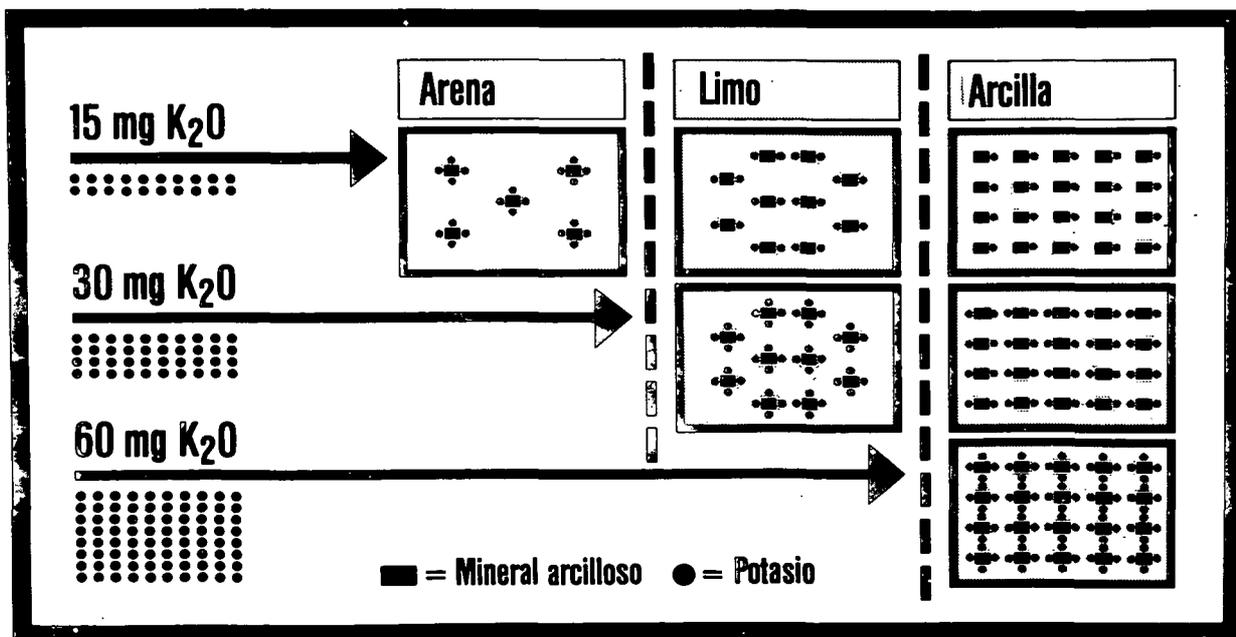
de modo que ya no haya fijación y que un número suficiente de posiciones planares de cambio estén ocupadas por el K.

El potasio "intercambiable" o "disponible", determinado en los análisis de rutina, no da información satisfactoria sobre el nivel del potasio edáfico efectivamente disponible para el desarrollo de las plantas al no ser relacionado con el contenido de arcilla y con la naturaleza de los minerales arcillosos que la componen. 15 mg. de K_2O por 100 gra-

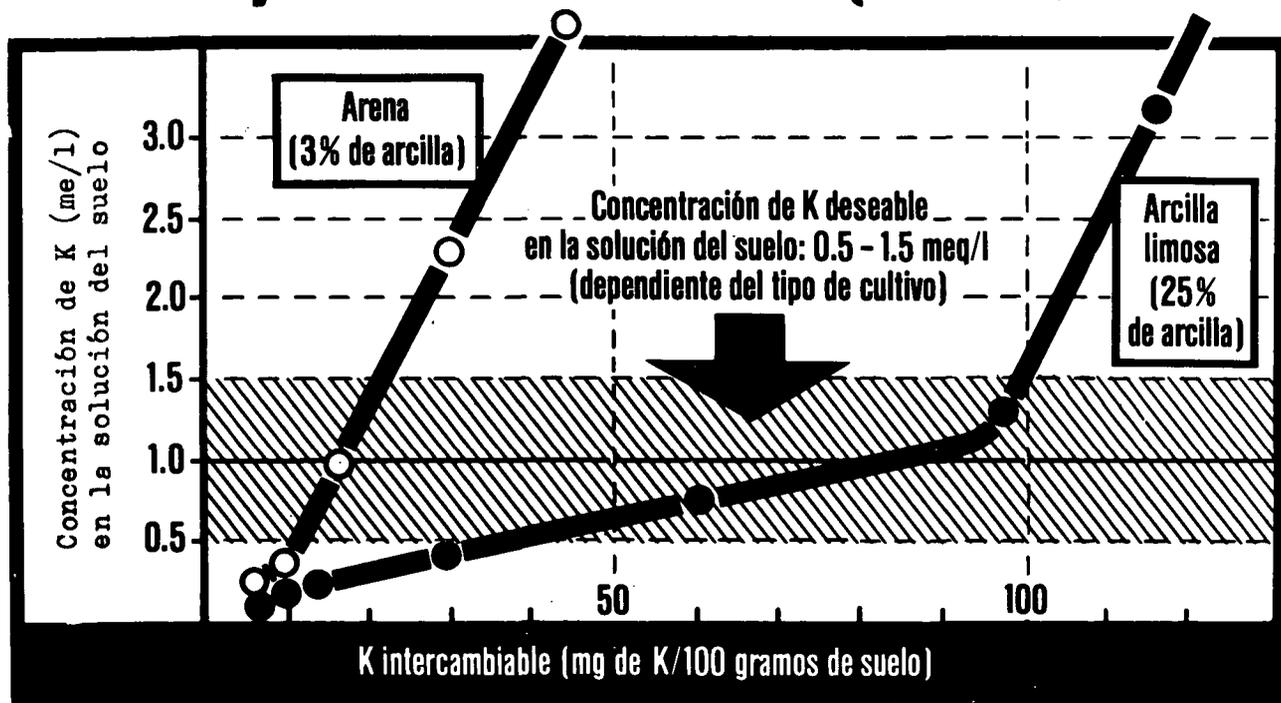
mos de suelo (150 ppm) delatan elevada disponibilidad en un suelo arenoso, pero pobre saturación en suelos ilíticos o montmorilloníticos (3).

En ensayos de laboratorio es posible determinar la cantidad de potasio intercambiable requerida por un suelo pesado para elevar la concentración en la solución a un nivel adecuado. En un limo arcilloso, con predominancia de minerales ilíticos, esta cantidad puede equivaler a 60mg./100 g. de suelo (600 ppm) o aún más (3 + 4).

Contenido de arcilla = Clave de análisis de suelo



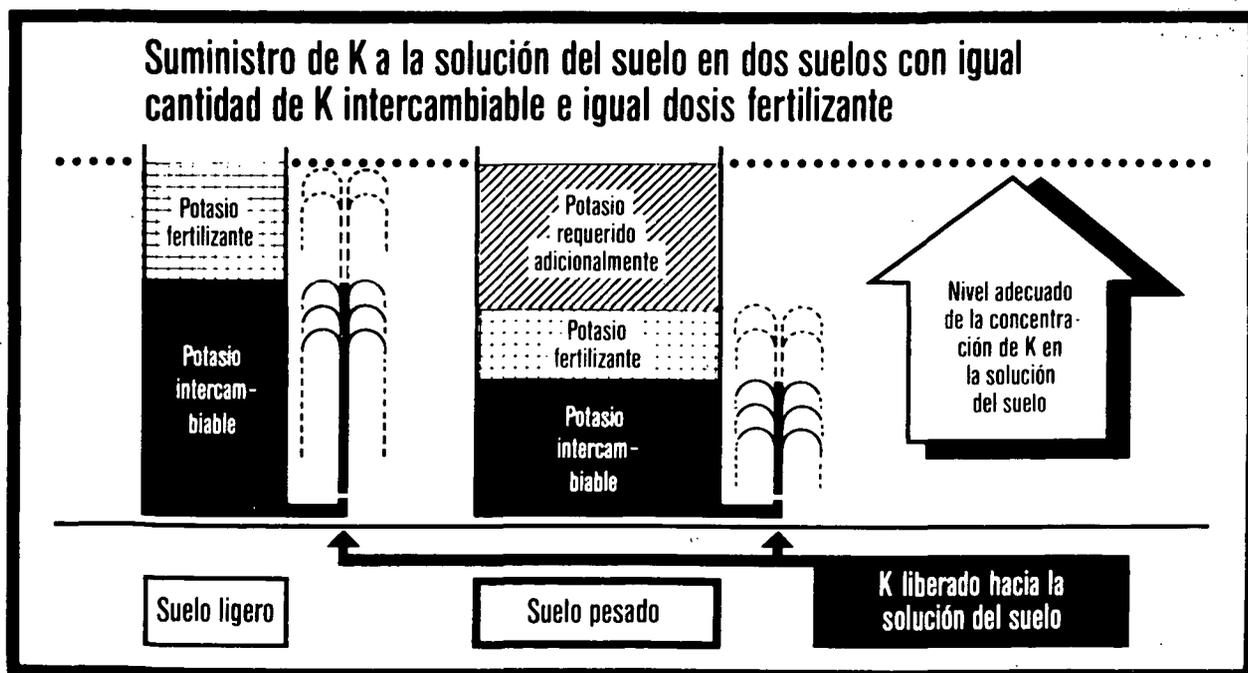
POTASIO y el contenido de arcilla (textura del suelo)



Es decir: Los suelos pesados requieren cantidades de fertilizantes potásicos mucho mayores que los suelos ligeros hasta llegar a tener un elevado nivel de K disponible en solución.

Por otro lado, los suelos arcillosos tienen mejor capacidad tampón que los suelos arenosos. Ellos son capaces de mantener la concentración de K en solución a un nivel casi constante durante mucho tiempo (5). En la solución de

Dinámica del K en el suelo (esquema)



suelos arenosos, esta concentración decrece con mayor rapidez, pudiendo ser aconsejable dividir la dosis fertilizante en varias aplicaciones.

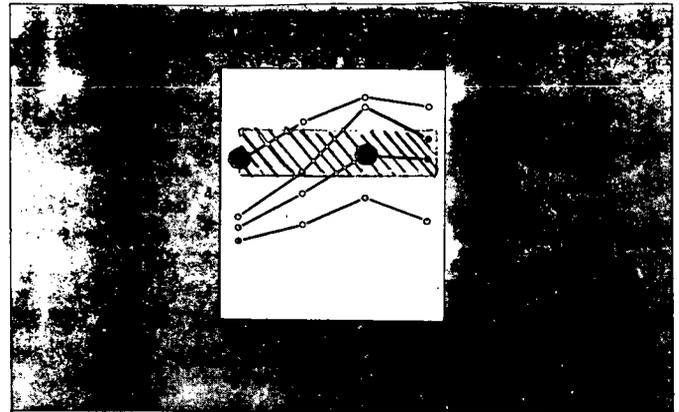
Dado que la solución del suelo es depredada de sus nutrientes vegetales en la vecindad inmediata de las raíces, el desequilibrio así creado puede ocasionar la liberación no sólo del K intercambiable sino también del potasio que, inicialmente, aparenta ser no intercambiable. Esta liberación de K no intercambiable puede ser considerable.

En la mayoría de estos casos, sin embargo, el ritmo de la liberación del K no intercambiable es demasiado lento para lograr elevados rendimientos a través de una óptima nutrición. Experimentalmente quedó establecido que los rendimientos más bajos son obtenidos en aquellos suelos de los que las plantas dependen del K no intercambiable (6). Condiciones de esta naturaleza prevalecen en muchos suelos pesados que no hayan recibido adecuadas reposiciones de potasa durante décadas. Estos suelos no sólo retienen con fuerza al potasio fertilizante, sino que lo fijan. El potasio aplicado migra hacia los minerales arcillosos expandidos y estos de contraen, atrapando los iones de K. De este modo, el K fertilizante es transferido a una forma poco asequible por la raíz, en vez de quedar a disposición inmediata de los cultivos. Aquí queda sobreentendido que, bajo tales circunstancias, la concentración de K en la solución del suelo es demasiado baja para el óptimo desarrollo de las plantas. La falta de respuesta de los cultivos frente a dosis usuales de potasa, observada a veces en suelos con contenidos medianos o bajos de K "disponible", es atribuible, en su mayoría, a la fuerte fijación de los fertilizantes potásicos en el suelo, particularmente en los suelos pesados. Allí, cantidades considerables de potasa, v.g. varios miles de kilos por hectárea, pueden ser requeridos hasta vencer el poder de fijación del suelo. Si se usan dosis más bajas, para siquiera reponer las cantidades sustraídas por el producto a cosechar, es aconsejable aplicarlas en banda.

Como ya quedó mencionado más adelante, la difusión es una de los mayores factores de movimiento del K en el suelo. Aumenta a medida que aumenta la saturación con K de los minerales arcillosos. Si se comparan dos suelos con iguales niveles de K intercambiable pero diferentes contenidos de arcilla, el ritmo de difusión es más intenso en suelos con bajo contenido de arcilla, ya que su grado de saturación con K es mayor y, por consiguiente, mayor la concentración de K en solución (7).

El ritmo de difusión depende, asimismo, de la humedad del suelo. En ensayos de laboratorio ha sido comprobado, que el K se mueve con mayor celeridad en los suelos húmedos que en los secos (7). La influencia de la humedad del suelo sobre la disponibilidad del K fue corroborada tanto en ensayos de invernadero como en el campo. Los resultados indican que, en suelos con óptima provisión de agua, menor cantidad de K es requerida para alcanzar determinado nivel de producción (8 + 9).

En un suelo relativamente seco, más cantidad de K habrá de ser aplicada para vencer la gradual reducción de movilidad. Este hecho es de especial importancia para cortos períodos sin lluvia durante la época de mayor desarrollo vegetativo. Debido al movimiento más lento de los nutrientes en el suelo, habrá deficiencia de potasio en el caso de



una deficiente saturación con K, con las correspondientes mermas en cantidad y calidad del productor por cosechar. En un suelo demasiado húmedo, suministros adicionales de potasa ayudan a contrarrestar la disminuida capacidad de absorción de nutrientes por parte de las raíces, causada por la deficiente aereación y los procesos reductivos desfavorables en el suelo.

Bajo condiciones climáticas de Europa Central, con suelos en los que predominan minerales arcillosos iálticos, los valores presentados a continuación indican buena saturación con K (en dependencia de los contenidos de arcilla):

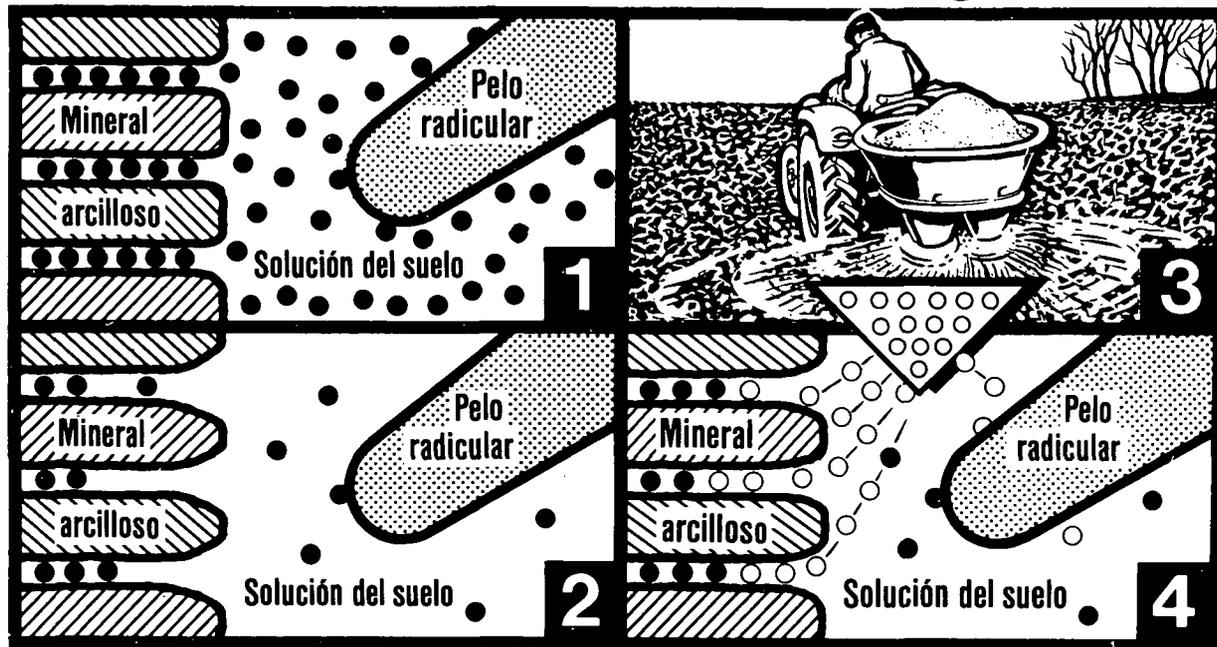
Textura del suelo	% por arcilla	Potasio intercambiable	
		mg K ₂ O por 100 g de suelo	ppm
Arena	0 - 5	hasta 15	150
Arena limosa	6 - 10	15 - 25	151 - 250
Limo arenoso	11 - 15	26 - 30	251 - 300
Limo	16 - 30	31 - 45	301 - 450
Limo arcilloso/arcilla	31	45	450

Solo después de haberse alcanzado los niveles indicados, aplicando potasa hasta corregir el poder de fijación del suelo, será suficiente usar dosis normales de potasa, basadas en las cantidades extraídas con las cosechas y los niveles de producción que se desean alcanzar.

Para finalizar este breve bosquejo se resume, en el último gráfico, parte de los procesos de la dinámica del potasio en el suelo. Se muestra el equilibrio existente entre la concentración de iones de K en la solución del suelo y el K adsorbido por los minerales arcillosos (1).

El K ligeramente ligado en la superficie de las arcillas es el primero en pasar a la solución del suelo para ser absorbido por las raíces. Las extracciones subsiguientes, por la explotación continuada o más intensa, lograda con el uso de abonos nitrogenados y fosfóricos aplicados en variedades de elevada productividad, causan el agotamiento del terreno, dado que las plantas también son capaces de remover una parte de aquel potasio que, según los análisis químicos (o ensayos de exhaustión con cultivos en recipientes), se halla en el suelo en forma "no intercambiable" (2).

Algunos suelos "tragan" potasio. ¿Porqué?



En suelos de esta naturaleza, el K fertilizante (3) puede ser atrapado en las posiciones interlaminares de los minerales arcillosos (4).

Las superficies externas (planares) de las arcillas serán ocupadas gradualmente por el K, sólo después de que hayan sido rellenadas las posiciones interlaminares que seleccionan K. Hasta que el K ya no sea fijado en estas posiciones, la concentración de K en la solución del suelo permanecerá baja, dado que los espacios interlaminares poseen elevada selectividad para K (poder de captación).

La concentración de K en solución, que asegura un óptimo crecimiento de las plantas, solo es lograda después de que cierta proporción de las posiciones planares de cambio (de "locación" externa, de baja selectividad) esté ocupada por iones de K.

RESUMEN

El análisis de suelos es imprescindible para formular recomendaciones de fertilización. Esta práctica se justifica en los casos en los que exista una correlación entre los resultados analíticos y la respuesta positiva de los cultivos a la fertilización recomendada sobre la base de estos análisis.

Con respecto al potasio, sin embargo, en muchos casos no fue posible hallar alguna correlación entre los resultados obtenidos en los análisis y el aumento de la producción buscado con la aplicación de abonos. En centenares de ensayos realizados con arroz en la India, por ejemplo, se obtuvieron buenos resultados con potasa aplicada en suelos con tenores altos de K "disponible" o "intercambiable", así como efectos pobres o nulos en suelos que, según el análisis, eran bajos en K.

La presente conferencia sobre la dinámica del potasio en el suelo explica, en parte, las razones de los fenómenos mencionados y deduce consecuencias prácticas.

En este nuevo enfoque para evaluar el potencial nutritivo de los suelos, se da prioridad a la solución del suelo. Se discute el equilibrio existente entre la concentración de K en la solución del suelo y los iones de K adsorbidos por los minerales arcillosos.

El K ligeramente ligado en las arcillas es el primero en pasar a la solución para ser absorbido por las raíces. Extracciones ulteriores, por la explotación continuada o más intensa, lograda con el uso de abonos nitrogenados y fosfóricos aplicados en variedades con elevada productividad, causan el agotamiento del terreno, dado que las plantas también son capaces de remover una parte de aquel potasio que, según los análisis químicos (o ensayos de exhaustión con cultivos en recipientes), se halla en el suelo en forma "no intercambiable". Aquí, el K fertilizante puede ser atrapado en las posiciones interlaminares de los minerales arcillosos depredados de su K natural por los cultivos antecedentes. Las superficies externas de las arcillas serán ocupadas gradualmente por el K, solo después de que hayan sido rellenadas las posiciones interlaminares que seleccionan K. Hasta que el K ya no sea fijado en estas posiciones, la concentración de K en la solución del suelo permanecerá baja, y bajos los aumentos de rendimiento buscados con la aplicación de abonos.

Conclusión: En vista de la importante función desempeñada por los minerales arcillosos en la disponibilidad del potasio para las plantas, será necesario prestar debida atención al contenido de arcilla en cada muestra de suelo para poder interpretar con más exactitud los resultados obtenidos en los análisis químicos.

SUMMARY

Soil analysis is an important tool when evaluating soil nutrient status. The results of chemical soil tests are frequently taken as a basis for fertilizer recommendations. This is justified in such cases where a correlation exists between soil test results and crop response to fertilizer application. As a rule, the effect of a fertilizer nutrient should be the lower the higher its content in the soil.

As to potassium, however, many cases are known in which no correlation has been found between soil test data and yield response to potash application. In hundreds of trials with rice in India, for instance, good responses to applied potash were obtained in soils testing high in "available" or "exchangeable" K, but low or no effect whatsoever on soils with poor K status.

The scientific background of these phenomena and practical consequences for soil test interpretation and fertilizer application are the subject of this paper on Potassium Dynamics in the Soil^{*}.

In this new approach to evaluate the nutrient supply potential of soils, due consideration is given to the soil solution. The main idea focuses on the equilibrium between the concentration of K ions in the soil solution and the adsorption of K by clay minerals.

The slightly bound K on the surface of the clay is the first to go into solution and to be taken up by the plant root. Further K removal by intensive cropping, due to the use of nitrogenous and phosphatic fertilizers applied to varieties of high productivity, causes exhaustion, since plants are also able to remove parts of the potassium which, according to the chemical analysis, is "non-available". When fertilizer K is applied on these soils, this will be trapped by the K deficient interlattice sites of the clay minerals. Only after the K selective interlattice positions have been filled up, the external (planar) positions of the clay minerals become gradually occupied by K. As long as K is mainly bound by interlattice sites, the K concentration in the soil solution remains low, because

these sites have a high selectivity (bonding strength) for K. Only if also a certain proportion of planar positions (external sites of low selectivity) is occupied by K ions, a K concentration is attained in the soil solution which is adequate for optimum plant growth.

Conclusión: In view of the importance of the clay minerals for K availability, the clay content of each soil sample should find due consideration in the interpretation of soil test results.

BIBLIOGRAFIA

1. Németh, K. & Forster, H.: *Die Bodenkultur*, 27, No. 2, 111-119 (1976).
2. Barber, S.A.: *J. Agric. and Food Chemistry*, 11, 204-207 (1963).
3. Németh, K. & Grimme, H.: *Soil Science*, 114, No. 5, 349-354 (1972).
4. Grimme, H., Németh, K. & v. Braunschweig, L.C.: *Landw. Forschung, Sonderheft - 26/1*, 165-176 (1971).
5. v. Braunschweig, L.C. & Mengel, K.: *Landw. Forschung, Sonderheft 26/1*, 65-72 (1971).
6. Grimme, H.: *Proc. 10 th IPI-Congress, Budapest*, 131-136 (1974).
7. Grimme, H., Németh, K. & v. Braunschweig, L.C.: *Intern. Symp. Soil Fert. Eval. Proc. I*, 33-43, New Delhi (1971).
8. v. Braunschweig, L.C. & Grimme, H.: *Z. Pfl. Ernährung u. Bodenkunde*, 134, No. 3, 246-256 (1973).
9. Younts, S.E.: *Amerc. Soc. of Agronomy, Spec. Publ.* 20, 69-82 (1971).

Hannover, 12 de agosto de 1977

Autor: H. Hobt
Instituto Internacional de la Potasa
CH-3048 Worblaufen-Bern, Suiza

* (The English version of the present paper, 15 graphs, available at the Internacional Potash Institute, P.O.B. 41, CH-3048 Worblaufen-Bern/Switzerland).

SITUACION ACTUAL DE LOS FERTILIZANTES POTASICOS EN EL MUNDO

Francis Meissonnier*

Con una producción mundial de 24 millones de toneladas de K_2O la potasa constituye un mercado comparable en volumen al de los abonos fosfatados.

La agricultura consume 95o/o de este tonelaje.

El Canada y los USA 29,8o/o de la producción
representan 18,7o/o de las exportaciones
La URSS, los USA, Francia y
la RFA representan 54,8o/o del consumo

PRODUCCION Y CONSUMO

Los países productores son 12 y el cuadro siguiente indica para cada uno de ellos la producción y el consumo durante la campaña de 1975-1976:

	en 1.000 T/ K_2O	
	Producción	Consumo
URSS	7.944,0	4.997,0
Canada	4.841,7	122,4
RDA	3.016,0	765,0
USA	2.219,9	3.791,4
RFA	1.951,5	1.257,3
Francia	1.734,3	1.426,2
Congo	287,5	—
Israel	711,5	72,9
España	505,6	313,1
China	300,0 (1)	300,0
Italia	142,0	281,6
Reino Unido	33,8	374,6
Total	23.687,8	13.701,5

(1) estimación.

En lo que concierne a los países no productores, el consumo se resume así:

en 1.00 T/ K_2O	
Africa	278,8
Mexico	67,3
América central	183,5
América del Sur	602,5
Asia (excepto la China)	1.407,8
Oceania	188,1
Europa (otros países)	4.491,9

La consecuencia, para 1975-1976, el consumo total ha alcanzado la cantidad de 20.921.400 toneladas.

Si examinamos de modo paralelo los tonelajes exportados por los países productores, podríamos formular tres observaciones que aclaran la situación:

La URSS y la RDA representan 46,3o/o de la producción
58,8o/o de las exportaciones

EVOLUCION DEL MERCADO

Los productores europeos fueron quienes preconizaron y desarrollaron el uso de la potasa en numerosos países y se puede decir que el mercado de la potasa se acrecentó en la calma durante más de 40 años.

La situación ha cambiado de manera espectacular desde hace unos diez años con la aparición de la potasa canadiense y el aumento rápido de la producción soviética.

Frente a los excedentes enormes de la producción, los precios han bajado fuertemente y esto fue el motivo que obligó al gobierno del Saskatchewan (Canada) a tomar medidas conservatorias, que tienen por objeto mantener un precio mínimo, con la reducción del potencial de las minas.

Los precios volvieron a subir y de pronto, en 1973, la demanda se acrecentó de manera anormal y provocó un estado de escasez. Es, en el año de 1974 que conocimos las alzas espectaculares alcanzando más de 300o/o para la urea y los abonos fosfatados.

En lo que atañe a la potasa, el alza ha sido más modesta pero, arrastrada con otros abonos en la reacción provocada por los malos resultados agrícolas, la demanda de abonos potásicos se redujó bruscamente.

Por la primera vez desde hace más de 30 años, el consumo global bajó de 2,3o/o en 1974-75 en relación con el año anterior. Para la potasa la baja ha sido de 4,5o/o y el consumo decayó a 19,9 millones de toneladas K_2O .

Fueron los productores de Europa occidental y de América del Norte que más sufrieron por la crisis debido a la caída de la demanda en sus propios mercados y en sus mercados de exportación.

Los productores de Europa del Este quienes tienen una economía planificada, no han sufrido por la crisis manteniendo su consumo pero han contribuido a empeorarla en otras partes, puesto que su agresividad se manifestó en la exportación a regiones donde no tenían costumbre vender. Los países del Este (URSS y RDA) han seguido aumentando pues su producción cuando, en dos años, la RFA y Francia han reducido la de ellas de 20o/o y el Canada de 9o/o (2.500.000 T/ K_2O).

En el mundo entero se formaron existencias (stocks) provocando, naturalmente, una sensible baja de los precios y un cierto nerviosismo de los productores.

La mejora en los resultados agrícolas en 1976 ha permitido un enderezamiento de la situación. Numerosos países emprendieron una acción de vulgarización tendiente a incitar a los agricultores a no pensar sobre el costo global de la fertilización N + P + K sino a analizar individualmente el costo de N, de P y de K, buscando una rentabilidad máxima.

* Potabo, Colombia e Institut International de la Potasse, Suiza.

La campaña 1976—1977 para la cual todavía no tenemos datos, ha sido mucho mejor, las existencias desaparecieron en parte y los precios se volvieron más firmes. Podemos sin duda alguna hacer ahora algunos pronósticos para los años por venir.

EL PORVENIR DEL MERCADO

Al examinar la progresión del mercado (5,5o/o al año de 1951—1952 a 1961—1962 y 7o/o hasta 1973—1974), los especialistas piensan que la curva no puede razonablemente conservar una pendiente tan fuerte pero están de acuerdo en pensar que una tasa mediana de 4,5 a 5o/o al año puede tomarse en consideración hasta 1980.

En esa época, el consumo agricultura + industria) podría ser de 28 millones de toneladas K_2O . Considerando el estado actual de sus instalaciones, los productores están en capacidad de satisfacer tal demanda.

Más allá de 1980, la progresión debería mantenerse y hasta acelerarse porque las necesidades del mundo en pro-

ductos alimenticios van creciendo lo que implica no solamente un consumo aumentado de fertilizantes sino también un mejoramiento del equilibrio de la fertilización. Efectivamente, en los países industrializados el equilibrio NPK es de 1—0, 64—0, 63 cuando en los en vía de desarrollo es de 1—0, 47—0, 24.

Un objetivo 1985 fijado a 36 millones de toneladas K_2O exige:

—por una parte, un esfuerzo considerable y concertado del conjunto de los productores para desarrollar su capacidad industrial de conformidad con este objetivo, y para sostener una acción intensiva de vulgarización con el fin de emplear racionalmente la potasa dentro de una fertilización bien estudiada.

—por otra parte, una acción de los gobiernos interesados para el aumento cuantitativo y cualitativo de su producción agrícola con miras a dotar sus organismos científicos y agrónomos con los medios necesarios para ayudar a los agricultores a trabajar en mejores condiciones y a contribuir al bienestar de cada uno.

SITUACION ACTUAL DE LOS FERTILIZANTES EN COLOMBIA

Por: Luis Uribe S. *

INTRODUCCION

La importancia del uso del Potasio, como componente del grupo de los macro-elementos, no admite duda. No obstante, estar clasificados nuestros suelos, como ricos en potasio, los avances tecnológicos tanto en selección de nuevas variedades (más productivas), como en el manejo mismo de los cultivos, ha creado la necesidad de aplicaciones más frecuentes y en mayor cantidad de este elemento. Dado que en Colombia no existen minas de Potasio, los requerimientos de este nutrimento deben ser importados en sus diferentes formas o compuestos, ya para uso directo, el cual es limitado, ya para la formulación de Abonos Complejos.

Con el presente trabajo, se pretende dar una idea acerca de las fuentes Potásicas importadas, su relación con importaciones de fuentes Nitrogenadas y Fosfóricas y el consumo de los mismos.

El período seleccionado para el presente estudio (1972-1975), no refleja una situación real del consumo de fertilizantes en el país y por tanto, el del potasio, ya que corresponde a una época anormal, durante la cual hubo grandes importaciones de producto terminado (grados compuestos) cuyas relaciones no eran las más adecuadas para el país.

CONSIDERACIONES GENERALES

Según Statistical Supplement, Colombia viene ocupando un segundo puesto dentro de los países Suramericanos en cuanto a consumo de potasio, después de el Brasil.

Si comparamos a nivel mundial el consumo total de potasio, consumimos 62 veces menos que Estados Unidos y 43 veces menos que Rusia.

En consumo de nitrógeno, ocupamos también el segundo lugar y un tercero en fósforo después de Brasil y Chile.

Un promedio de consumo de potasio considerando el total de áreas sembradas es de 230 gs/ha.; lógicamente que un alto porcentaje de estas áreas no son abonadas y en las abonadas hay zonas cuya fertilización es muy reducida, si se consideran los requerimientos del cultivo.

En los cultivos de mayor tecnología, y que usan fertilizantes, el costo de éstos inciden entre un 13o/o y 30o/o sobre el costo total del cultivo; este factor hace que se reduzca el consumo de fertilizantes, no solamente de Potasio, sino de los demás nutrimentos.

IMPORTACION DE POTASIO Y SU RELACION CON NITROGENO Y FOSFORO

Un análisis del cuadro 1, permite ver como durante los dos últimos años (1974-1975) se va reduciendo drásticamente las importaciones totales de este nutrimento y en es-

* Ingeniero Agrónomo, Ph.D. ABOCOL.

pecial el de las fuentes, cuyo destino principal es la fabricación de abonos complejos; en tanto que aún en el año 1974, hay incremento de importación de potasio, como componente de fertilizantes complejos. La anterior situación es lógica, por cuanto en los años 1974 y 1975, las fábricas nacionales se vieron obligadas no solo a disminuir su ritmo de producción, sino a suspender la producción durante varios meses en el año por la acumulación de inventarios debido a las importaciones de producto terminado en los años anteriores.

El cuadro 2, que permite una comparación de las importaciones de Potasio con nitrógeno y fósforo, lo cual refleja igual situación a la ocurrida con el potasio.

Es importante anotar con relación al nitrógeno, que este nutrimento se produce en el país en cantidades considerables, tanto para uso directo como para la fabricación de fertilizantes complejos haciéndose necesario importaciones complementarias.

En cuanto al fósforo, la producción nacional ha sido limitada, por cuanto las explotaciones de las minas existentes aun no se encuentran a nivel comercial. Las pequeñas cantidades de roca nacional, son para consumo directo y en mínima cantidad para transformación a superfosfato simple para uso directo, al igual que la producción de Calfos.

El nitrógeno importado durante este período, correspondió básicamente a Urea para uso directo y no como materia prima para fabricación de complejos.

A diferencia del nitrógeno, el fósforo importado, si fue en su mayoría como materia prima para la fabricación de complejos y como integrante de grados de fertilizantes.

El estrechamiento en la relación $N-P_2O_5 - K_2O$ está ligada con el tipo de fertilizantes complejos importados y con la tendencia en la demanda y por consiguiente en la producción, debido a el alto costo que alcanzaron los fertilizantes de relaciones más amplias, especialmente por su contenido de P_2O_5 , que serían más adecuadas.

CONSUMO DE K_2O Y SU RELACION CON N Y P_2O_5

Como se comentó en el título anterior, es importante tener en cuenta al analizar el consumo, que en cuanto a nitrógeno y parcialmente al fósforo se refiere hay producción nacional.

Como las cifras de consumo de los primeros años son muy similares o superiores a las de importaciones, estas nos

Cuadro No. 1

TONELADAS DE K_2O IMPORTADAS DURANTE LOS AÑOS 1972 - 1975

FUENTES	A Ñ O S				TOTAL
	1972	1973	1974	1975	
Cloruro de Potasio 60o/o	15.900	49.860	37.140	10.543	113.443
Sulfato de Potasio 52o/o	15.340	20.884	19.385	9.126	64.735
Sulfato de Potasio y Magnesio 22o/o	3.630	3.234	3.029	4.135	14.028
Nitrato de Potasio 44o/o	74	5	16	9	104
De Fertilizantes Compuestos	2.512	11.708	17.926	6.377	38.523
De Compuestos Foliares				16	16
TOTAL	37.456	85.691	77.496	30.206	230.849

Cuadro No. 2

TONELADAS Y RELACION DE N - P_2O_5 - K_2O IMPORTADOS DURANTE LOS AÑOS 1972 - 1975

NUTRIENTES	A Ñ O S				Total Período
	1972	1973	1974	1975	
Nitrógeno (N)	89.067	183.667	91.645	27.810	392.189
Fósforo (P_2O_5)	53.853	106.935	117.382	25.242	303.412
Potasio (K_2O)	37.456	85.691	77.496	30.206	230.849
RELACION N - P_2O_5 - K_2O	2.4:1:4:1	2.1:1.2:1	1.2:1.5:1	0.9:0.8:1	1.7:1.3:1

indican la acumulación de nutrimentos para los años posteriores.

El consumo de potasio, al igual que el del fósforo, en su mayor proporción corresponde a formas integradas de los fertilizantes complejos excepto en el caso de banano, palma y caña de azúcar, cuyo mayor consumo es en forma de fuentes.

La fuente de potasio más usada en el país es el Cloruro de Potasio, tanto en forma directa como a través de complejos.

El Sulfato de Potasio, tiene un consumo más limitado tanto por precio como por su requerimiento mismo, estando orientado hacia el café, el tabaco y en muy pocos casos en otros cultivos, ya no por la exigencia en sí del cultivo de esta fuente, sino por necesidad de azufre.

El ligero incremento en el consumo de potasio, se debe a dos factores primordiales: a) Incremento en el área de cultivos exigentes en este nutrimento (café, banano y caña de azúcar). b) Mayor consumo de fertilizantes complejos de relación $N - P_2O_5 - K_2O$ 1:1:1 o muy estrecha en otros cultivos. Esta razón es consecuencia de las importaciones de fórmulas de fertilizantes con relaciones no adecuadas a las necesidades mismas de los suelos y cultivos del área agrícola del país y en segundo término, por los mayores precios que han alcanzado los grados de relaciones más amplias.

El cuadro No. 4, da una idea acerca del consumo de cada uno de los cinco principales cultivos consumidores de fertilizantes en general y de potasio en particular, a la vez que nos permite relacionar el consumo de potasio con las de nitrógeno y fósforo.

El consumo de potasio para estos cultivos es superior al 65/o del total y en constante aumento, debido a las razones anteriormente expuestas.

Si se considera lo disímil en las necesidades de nutrimentos de cada uno de estos cultivos y de las zonas en que se siembran, se entiende fácilmente el por qué de una relación tan estrecha entre el consumo de los tres nutrimentos.

RESUMEN

El presente trabajo estudia la tendencia del consumo de los abonos potásicos en la agricultura colombiana entre los años 1972-1975.

En consideración a la no existencia de minerales potásicos explotables en Colombia, el consumo de este elemento en su totalidad es proveniente de importaciones, especialmente de Europa. Los productos potásicos importados, con fines agrícolas, en su orden de importancia son: Cloruro de Potasio, Sulfato de Potasio, Sulfato de Potasio y Magnesio y durante este período, como parte de fertilizantes compuestos.

Cuadro No. 3

CONSUMO TOTAL EN MILES DE TONELADAS DE $N - P_2O_5 - K_2O$ DURANTE EL PERIODO 1972 - 1975

NUTRIENTE	A Ñ O S				TOTAL
	1972	1973	1974	1975	
Nitrógeno (N)	109	126	123	100	458
Fósforo (P_2O_5)	65	75	73	57	270
Potasio (K_2O)	47	54	53	43	197

Cuadro No. 4

CONSUMO DE $N - P_2O_5 - K_2O$ EN LOS CINCO CULTIVOS MAS IMPORTANTES, EN RELACION AL CONSUMO DE FERTILIZANTES DURANTE EL PERIODO 1972 - 1975 EN T.M.

Cultivo	A Ñ O S											
	1972			1973			1974			1975		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Papa	8.021	21.793	12.066	10.783	28.350	14.527	10.798	26.531	13.530	11.108	24.935	14.654
Café	15.372	17.627	12.761	17.545	9.443	15.493	22.476	8.613	15.531	16.010	8.036	12.444
Caña	10.330	1.921	2.106	9.200	3.451	2.879	14.965	4.710	2.917	11.449	5.101	3.748
Arroz	14.602	2.818	2.631	25.676	3.686	3.056	25.220	4.244	3.652	26.789	4.411	4.048
Algodón	13.065	1.488	1.209	12.964	1.026	816	10.753	995	663	7.345	691	462
TOTAL	61.390	35.647	30.773	76.168	45.956	36.771	84.212	45.093	36.293	72.701	43.174	35.356

o/o en relación

Tanto el cloruro como los sulfatos importados, casi en su totalidad son empleados en la fabricación de abonos compuestos. En cultivos como Banano, Palma Africana y Caña de Azúcar, su consumo es en forma directa preferiblemente.

Un análisis de las estadísticas consultadas, indica un aumento continuo en el empleo de fertilizantes potásicos, el cual se puede atribuir a:

1) Incremento en las áreas cultivadas, especialmente en café, caña y otros.

2) Incremento en el área abonada, como en café, caña para panela, algodón y otros.

3) Aumento en la cantidad de fertilizantes aplicados por unidad de superficie (la mayoría de los cultivos).

4) El mayor consumo de abonos compuestos, de alto contenido de potasio con relación al nitrógeno y al fósforo debido a las necesidades del cultivo (Ej: café).

5) El mayor consumo de abonos de relación 1:1:1 entre sus elementos mayores, debido a las importaciones que de ellos se hicieron en los años 72-75, los cuales se aplicaron especialmente en papa, sin tener en cuenta las necesidades reales de este y otros cultivos y los suelos en que se desarrollan.

Es de pensar que continuará esta tendencia al aumento en el consumo de K por cuanto se están incorporando a la agricultura del país zonas como las de los Llanos Orientales, cuyo estudio indica que son deficientes en este elemento, y por cuanto se está incrementando el área en café, especialmente en caturra y otros cultivos exigentes en este elemento.

BIBLIOGRAFIA

1. Abocol. 1972-1975. Archivos Departamento de Mercadeo.
2. Bustamante, E.P.E. Clavijo y A. Rey 1976. Producción y Comercialización de fertilizantes en Colombia 1975. Boletín técnico No. 3. ICA. Colombia.
3. ICA. 1972-74. Archivos. División de Supervisión de Insumos Agrícolas.
4. OPSA. 1976. Insumos Agropecuarios. Ministerio de Agricultura. Colombia.
5. The British Sulphur Corporation Limite. 1973. Statistical Supplement. No. 8. 11-19 p.

EL FACTOR CANTIDAD INTENSIDAD DE POTASIO EN ALGUNOS SUELOS DE LA SABANA DE BOGOTA Y DE LA AMAZONIA COLOMBIANA

Gloria de Benavides*

INTRODUCCION

El potasio intercambiable del suelo no es siempre un buen índice de su disponibilidad para las plantas, en muchos casos no hay correlación entre éste con la cantidad tomada por las plantas y el rendimiento de la cosecha.

El poder de un suelo para suministrar un nutriente en particular, está caracterizado por la cantidad total del nutriente presente y por el nivel de energía o intensidad al cual lo suministra (Schuffelen y Bolt, citados por Le Roux y Sumner 1967). Beckett (1964) señala que la disponibilidad del potasio de los suelos está relacionada con la cantidad de potasio labil presente (Q) y la relación de actividad del potasio o intensidad (I). Basado en lo anterior este autor propuso una técnica que ha sido utilizada con éxito en diferentes partes del mundo, para predecir la disponibilidad del potasio en suelos bajo uso intensivo (Moss y Coulter 1964, Acquaye McLean y Rice 1967). Otros autores han encontra-

do una relación consistente entre estos 2 parámetros y la mineralogía de los suelos. (Nash 1971, Murthy, Dixon y Kunze 1975).

La técnica utilizada por Beckett (1964) consiste en equilibrar un número de submuestras del mismo suelo, con una serie de soluciones que contienen cantidad variable de KCl en CaCl₂. Para cada suspensión la diferencia entre las concentraciones inicial y final de potasio en la solución de equilibrio, da la cantidad de potasio ($\pm k$) ganada o pérdida por el suelo para alcanzar el equilibrio. La relación de actividad AR^k es una medida de la intensidad y se calcula: $AR^k = \frac{Q}{aK}$ en que $aK =$ actividad del potasio y $\sqrt{a(Ca+Mg)}$

$a(Ca+Mg) =$ actividad del (Ca+Mg).

Las actividades de K, Ca y Mg se derivan de las concentraciones usando la ecuación de Debye = Hunkle. Al plotear los valores $\pm k$ (cantidad) y los AR^k (intensidad), se obtiene la curva $\frac{Q}{I}$ (Fig. 1). El intercepto de $\frac{Q}{I}$ en el eje AR^k , da la relación de actividad del potasio AR^k que es una medida de la disponibilidad inmediata del K en relación con (Ca+Mg).

La extrapolación de la porción lineal de la curva en $AR^k = 0$ (el punto donde no se gana ni se pierde K es un índice del potasio débilmente retenido en las superficies planares

* Químico VI del Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".

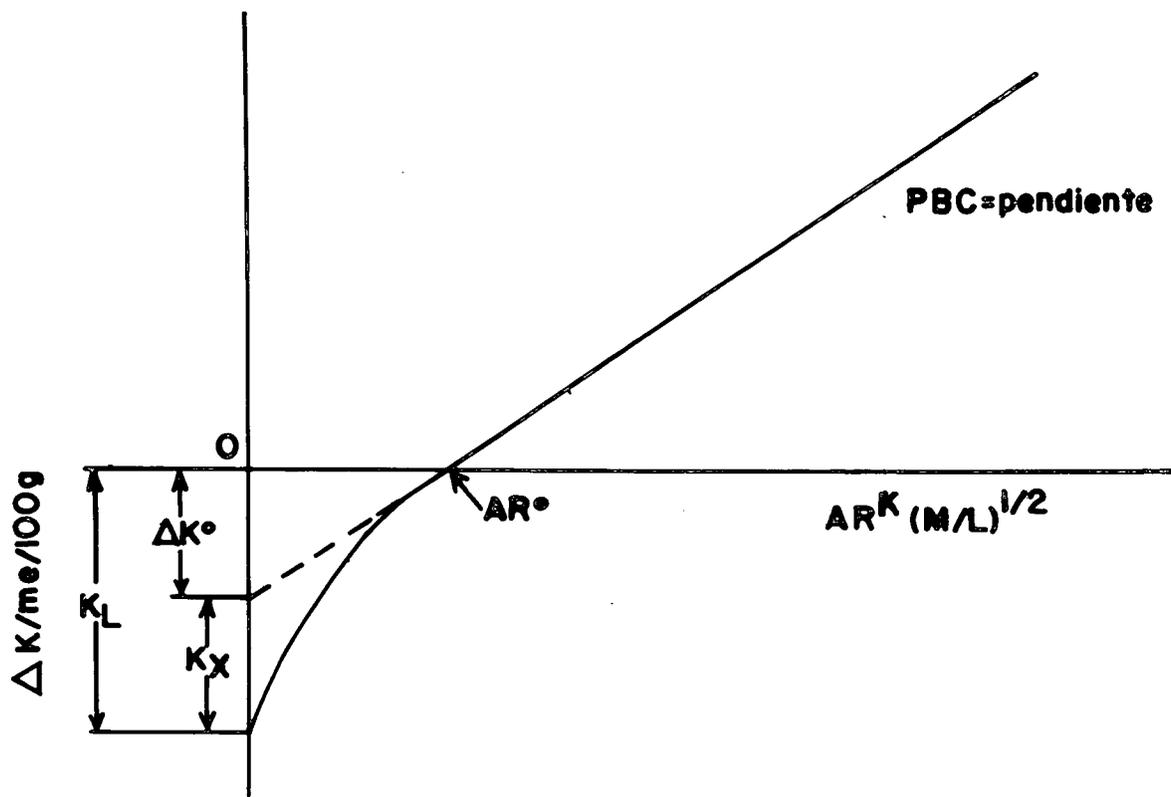


FIGURA 1. Curva característica Q/I de potasio
 K_L = pool de potasio lábil
 ΔK^o = potasio retenido en superficies planares
 K_x = potasio retenido en sitios específicos
 AR^o = Relación de actividades en el equilibrio
 ΔK = Cantidad (diferencia entre K inicial y final)
 PBC = Capacidad buffer potencial

($-\Delta K^o$) y del potasio retenido con alta energía en sitios específicos (K_x). La diferencia entre $K = O$ y el punto al cual la porción curvilínea se extiende y corta la línea de $AR^k = O$, se considera como la medida del "pool" del potasio lábil del suelo (K_L).

La Capacidad Potencial Buffer del potasio (PBCK) se calcula como la relación $\frac{-\Delta K^o}{AR^k}$ y es una medida de la capaci-

dad del suelo para mantener un potencial de potasio constante en la solución del suelo y evitar el agotamiento de potasio. La curva así obtenida tiene una porción superior rectilínea y una inferior curvilínea. Cuanto más pendiente la línea recta, mayor será la capacidad potencial buffer de los suelos. La porción curvilínea está relacionada con los sitios selectivos del potasio del suelo cuanto más curva mayor selectividad.

El objetivo de la presente investigación es el de caracterizar suelos de la Sabana de Bogotá (derivados de cenizas volcánicas) y de la Amazonía mediante la relación Q/I del potasio lábil de Beckett en la siguiente forma: (a) determinar si los suelos son capaces de mantener un nivel adecuado de potasio en la solución del suelo, utilizando el valor AR^k (In-

tensidad) (b) Correlacionar los valores AR^k (Intensidad) y $-\Delta K$ (cantidad), con parámetros tales como saturación de K intercambio. (c) medir la "resistencia" de los suelos contra el agotamiento del potasio de acuerdo a los valores de la capacidad potencial buffer PBCK, (d) Clasificar los suelos dentro de "categorías mineralógicas" de acuerdo a Scrivner* utilizando la relación $\frac{PBC}{g. \text{ de arcilla}}$

Materiales Suelos

Se utilizaron 4 series de suelos de la Sabana de Bogotá, suelo y subsuelo, derivados de cenizas volcánicas y 9 suelos de la Amazonía. La clasificación de acuerdo al Soil Survey Staff (1975) y la localización se presenta en la tabla 1.

* Scrivner — Profesor visitante de la Universidad de Carolina del Norte, Raleigh U.S.A.

Tabla 1. LOCALIZACION Y CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELOS ESTUDIADOS

Suelos de la Sabana				
Pérfil	Localización	Hori. Prof. cm.		Clasificación
Tibaitatá	Funza	Ap 0-30 Ah 30-50		Andic Eutropept
Cota	Madrid	Ap 0-28 Ah 28-65		Typic Dystrandept
Funza	Funza	Ap 0-30 30-60		Aquic Dystrandept
Bacatá	Madrid	Ap 0-18 Ah 18-38		Typic Dystrandept

Suelos de la Amazonía				
Pérfil	Localización	Hori. Prof. cm.		Clasificación
Miraflores	Miraflores	Al 0-21		Udoxic Dystropept
Montana	Florencia	Al 0-17		Udoxic Dystropept
Tacana	Leticia	Al 0-10		Udoxic Dystropept
Florencia	Florencia	Al 0-16		Udoxic Dystropept
Guaviare	San José	All 0-25		Udoxic Dystropept
Lequízamo	Lequízamo	Al 0-20		Typic Dystropept
Asís	Pto. Asís	Al 0-12		Typic Dystropept
Naval	Leticia	Al 0-13		Aquic Paleudult
Polvorín	Lequízamo	Al 0-17		Aquic Paleudult

METODOS

El pH del suelo se determinó en agua en relación 1:1, el carbón orgánico por el método de Walkley - Black de acuerdo al Soil Conservation Service (1972).

El aluminio intercambiable se determinó utilizando KCl como agente extractante, formación del complejo fluoraluminato de sodio y posterior valoración con HCl standard (Yuan 1959; Soil Conservation Service 1972). La capacidad catiónica de cambio con acetato de amonio 1N pH 7, eliminación del exceso de sal con etanol, desplazamiento del amonio retenido con solución acidulada de NaCl al 10o/o, recolección del destilado sobre ácido bórico y titulación con solución ácida valorada (Soil Conservation Service 1972). Las bases intercambiables Ca, Mg, Na y K se extrajeron con NH₄OAc normal y neutro. La valoración de Ca y Mg con EDTA, el potasio y el sodio por fotometría de llama (Peech et al 1947).

El contenido de arcilla, en los suelos amazónicos, por el método de la pipeta (Kilmer y Alexander 1949). Los suelos se trataron con peróxido de hidrógeno para destruir la materia orgánica y luego se dispersaron con Calgón al 10o/o. En los suelos de la Sabana el contenido de arcilla se determinó también de acuerdo al método de la pipeta de Kilmer y Alexander (1949) pero en muestras desferradas; la dispersión se hizo mediante el Na proveniente de los reactivos utilizados en la desferrada (citrato-ditionito-bicarbonato), se

lavó el exceso de sales hasta el punto justo de dispersión y se procedió luego de acuerdo a la técnica citada.

La composición mineralógica de la arcilla en los suelos de la Sabana de Bogotá se determinó semicuantitativamente por rayos X, en muestras de suelos en los que se removieron la materia orgánica y los óxidos de hierro y en los que se fraccionaron las partículas por tamaño de acuerdo a Kirttrick y Hope (1963). El contenido de alofano se determinó mediante el valor delta de la capacidad catiónica de cambio de Aomine Jackson (1959). La capacidad catiónica de cambio de la arcilla desferrada se determinó de acuerdo al Dr. M.G. Cook*. Las arcillas se saturaron con Mg y se lavaron con etanol y acetona. Una muestra de 100 mg. de la muestra anterior, se saturó con acetato de amonio normal pH 7; el exceso de sales se lavó con etanol y el NH₄ se desplazó con NaCl. El amonio se determinó por destilación y titulación.

La cuantificación de los minerales arcillosos desferrados de los suelos Amazónicos se realizó según Benavides (1973) en la siguiente forma: caolinita y gibsita mediante análisis térmico diferencial (Dixon, 1966); la mica por descomposición con HF + HClO₄ y determinación de potasio por fotometría de llama (Jackson 1958).

El porcentaje de mica se estimó asumiendo que 1o/o de K₂O es equivalente a 10o/o mica (Jackson 1956). El cuarzo de acuerdo a Weed** comparando la altura de los picos de difracción de rayos-X de las muestras con la altura de los picos preparados mezclando cantidades diferentes de standards de cuarzo. Los aluminosilicatos amorfos por disolución selectiva (Hashimoto y Jackson 1960; Alexander y Jackson 1966).

Factor Capacidad Q/I

Se utilizó la técnica de Beckett (1964) con ligeras modificaciones. Duplicados de 4 g. de suelo se colocaron en tubos de centrífuga de 50 ml y se equilibraron con solución de CaCl₂ 0.1 M que contienen concentraciones de KCl de 1 X 10⁻⁶, 5 X 10⁻⁴, 1 X 10⁻³ y 2 X 10⁻³ respectivamente. También se equilibró una muestra de 0.5 g. de suelo con 250 ml de una solución de KCl de concentración de 1 X 10⁻⁶. Las suspensiones se dejaron en reposo por 48 horas, se agitaron manual y ocasionalmente a la temperatura de Laboratorio. Las suspensiones se filtraron utilizando papel Whatman No. 2 de 4,25 cm. Antes de colectar el filtrado el papel de filtro se saturó con una porción de la suspensión. En los extractos se analizó el K por fotometría de llama y el Ca + Mg por titulación con EDTA.

Los valores de las actividades se calcularon con la ecuación Debye-Hückel.

* Cook, M.G., Profesor de la Universidad de Carolina del Norte. Raleigh, U.S.A. (Comunicación personal).

** Weed, S.B. Profesor de la Universidad de Carolina del Norte. Raleigh, R.S.A. (Comunicación personal).

RESULTADOS Y DISCUSION

Suelos de la Sabana.

El pH en agua medianamente ácido (5.8 a 6.1) con excepción del horizonte Ah del perfil Tibaitatá que presenta pH 6.7 neutro (tabla 2).

El contenido de bases de cambio (BT- tabla 3) en los horizontes Ap y Ah, de la serie Tibaitatá, es alto 23 y 25 me/100g y la saturación de bases (SB) es también alta 74 y 55o/o respectivamente. Los demás suelos presentan contenidos bajos de bases, entre 4 y 6 me/100g y saturaciones entre 10 y 18o/o.

Después del calcio y el magnesio, el potasio es el catión que se halla en mayor proporción, con excepción del horizonte Ah de la serie Tibaitatá en que el sodio es mayor que

el potasio (tabla 3). Los contenidos menores de potasio los presentan los horizontes Ah de las series Tibaitatá y Ah y Ap de Funza y Bacatá con valores entre 0.2 y 0.7 me/100g las saturaciones en estos mismos suelos varía entre 0.4 y 2.3o/o. Los horizontes Ap de Tibaitatá, Ap y Ah de Cota presentan los contenidos mayores (1.4 a 2.2 me/100g) y saturaciones entre 3.8 y 6.0o/o.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas presentan mala dispersión y muchas veces los valores de arcilla están falseados pues parte de esta queda en forma de pseudo arenas y pseudo limos difíciles de dispersar.

Con la desferrada de los suelos, de acuerdo a Kittrick y Hope (1963), se obtuvo una buena dispersión de los suelos y los contenidos de arcilla y de limos obtenidos fueron altos, en las arcillas variaron entre 36 y 50o/o y en los limos entre 39 y 54o/o. Con excepción del horizonte Ah de Tibai-

TABLA 2. pH, CARBON, ARCILLA LIMOS GRUESOS Y TEXTURA EN SUELOS DE LA SABANA DE BOGOTA

Perfil	Horizonte	Profundid. cm.	pH 1:1	C o/o	Arcilla o/o	Limo o/o	Arena o/o	Textura
Tibaitatá	Ap	0-30	5.9	4.21	35.59	53.37	11.04	FArL
	Ah	30-50	6.7	3.26	49.96	38.64	11.40	Ar
Cota	Ap	0-28	6.1	8.89	47.66	47.37	4.97	ArL
	Ah	28-65	5.8	6.36	46.45	44.64	8.91	ArL
Funza	Ap	0-30	5.8	7.94	39.01	54.04	6.95	FARL
	Ah	30-60	5.9	4.47	45.87	42.13	12.00	ArL
Bacatá	Ap	0-18	5.7	7.72	40.75	52.59	6.66	ArL
	Ah	18-38	5.9	4.71	46.09	42.22	11.69	ArL

TABLA 3. Capacidad de intercambio catiónico Ca, Mg, K, Na de cambio, bases totales, saturación total y saturación de potasio en suelos de la Sabana de Bogotá.

Perfil	Horizonte	Profundid. cm.	CIC	me/100 g.				Bases Totales	Sat. Total o/o	Satur. K o/o
				Ca	Mg	Na	K			
Tibaitatá	Ap	0-30	31.6	16.4	5.3	0.3	1.4	23.4	74.0	4.4
	Ah	30-50	45.3	13.7	9.3	1.9	0.2	25.1	55.4	0.4
Cota	Ap	0-28	36.3	3.0	0.9	0.2	2.2	6.3	17.3	6.0
	Ah	28-65	43.6	1.0	0.5	0.2	1.7	3.4	7.8	3.8
Funza	Ap	0-30	40.4	5.5	1.7	0.2	0.5	7.9	19.5	1.2
	Ah	30-60	29.5	2.2	0.9	0.2	0.7	4.0	13.5	2.3
Bacatá	Ap	0-18	38.9	2.6	0.4	0.1	0.5	3.6	9.3	1.2
	Ah	18-38	36.5	1.7	0.9	0.1	0.5	3.2	8.7	1.4

tatá que tiene texturas arcillosas, los demás suelos son arcillo limosos o franco arcillo limosos (tabla 2).

El análisis mineralógico de las arenas se determinó semi-cuantitativamente (tablas 4, 5); como puede observarse, la única fuente de potasio de los Suelos de la Sabana de Bogotá procede de las pequeñas cantidades de biotita y mica presentes y de los productos de alteración que en buena parte están constituidas por micas.

El análisis mineralógico de las arcillas (tabla 6) realizado por rayos-x, indica el predominio de material no cristalino. La cuantificación de este material de acuerdo al valor delta de la CIC de Aomine y Jackson (1959) indica que el horizonte Ah de la Serie Tibaitatá presenta el menor contenido de alofano 17o/o y los demás suelos presentan valores entre 23 y 50o/o.

Los rayos-x, muestran minerales interestratificados, vermiculita cloritizada, cuarzo, haloisita y metahaloesita. El contenido de micas en la arcilla determinado por rayos-x, es

casi nulo, sin embargo determinado de acuerdo a Jackson (1956) (tabla 7), los contenidos oscilan entre 1.4 y 6.0o/o. En la misma tabla puede observarse el contenido total de micas de los suelos que varía entre 3 y 5o/o; estos valores tan bajos pueden atribuirse a la ausencia de feldepatos potásicos micas u hornblenda.

FACTOR CANTIDAD – INTENSIDAD

La tabla 8 muestra los valores de la relación de actividad del potasio AR^k , el intercepto a $AR^k = 0$ o sea $-K^\circ$ obtenido por extrapolación de las curvas y la capacidad potencial buffer PBC^k , calculado a partir de los parámetros AR^k y $-\Delta K^\circ$

Se observa una diferencia marcada entre los diferentes valores de la AR^k , (intensidad); los horizontes Ah de Tibaitatá y Ap de Funza, presentan valores más bajos, Ah y Ap de Cota los más altos, los demás suelos valores intermedios.

TABLA 4. MINERALOGIA DE ARENAS (FRACCION DENSA) EN SUELOS DE LA SABANA

Perfil	Horizonte	Profundid. cm	Anfibol o/o	Piroxeno o/o	Epidota o/o	Opacos o/o	Alterados o/o	Circón o/o	Biotita o/o
Tibaitatá	Ap	0-30	84	14	tr	—	2	tr	—
	Ah	30-50	88	8	tr	6	4	tr	tr
Cota	Ap	0-28	75	22	tr	2	3	—	—
	Ah	28-65	82	16	tr	2	2	—	tr
Funza	Ap	0-30	74	26	tr	10	2	tr	tr
	Ah	30-60	85	8	tr	3	7	tr	tr
Bacatá	Ap	0-18	72	26	tr	3	2	tr	tr
	Ah	18-38	94	4	tr	5	2	tr	—

TABLA 5. MINERALOGIA DE LA FRACCION LIVIANA DE ARENAS EN SUELOS DE LA SABANA

Perfil	Horizonte	Profundid. cm	Feldespatos o/o	Cuarzo o/o	Vidrios vol. o/o	Fitolitos o/o	Prod. alter. o/o	Micas o/o
Tibaitatá	Ap	0-30	75	7	5	4	9	—
	Ah	30-50	64	14	8	3	7	4
Cota	Ap	0-28	71	8	9	5	7	—
	Ah	28-65	57	15	13	4	8	3
Funza	Ap	0-30	48	6	18	16	12	—
	Ah	30-60	52	8	7	6	25	2
Bacatá	Ap	0-18	55	9	5	2	29	—
	Ah	18-38	50	8	9	3	30	tr

TABLA 6. Análisis por difracción de rayos-X de arcillas y valor Delta de la CIC de los suelos de la Sabana.

Perfil	Horizonte	Profundidad. cm.	Minerales interestrati- ficados	Montmor.	Vermicul. cloritiza- da	Material no cristalino	Micas (Ilita)	Halois.	Metah.	Cuarzo	Valor Delta CIC ME/100 g.
Tibaitatá	Ap	0-30	tr	—	tr	xxx:	tr	tr	tr	tr	38
	Ah	30-50	—	—	tr	xxx	—	x	x	—	17
Cota	Ap	0-28	tr	—	tr	xxx	+	—	—	tr	35
	Ah	28-65	tr	?	tr	xxxx	—	x	tr	tr	48
Funza	Ap	0-30	tr	?	tr	xxxx	—	tr	tr	—	38
	Ah	30-60	tr	tr	tr	xxxx	—	tr	tr	—	40
Bacatá	Ap	0-18	—	?	tr	xxxx	—	—	—	x	23
	Ah	18-38	tr	—	x	xxxx	—	—	tr	—	50

tr = trazas
x = presente

TABLA 7. Contenidos de mica en los suelos y en la arcilla de los suelos de la Sabana

Perfil	Horizonte	Profundidad. cm	Micas o/o Suelos	Micas o/o arcillas
Tibaitatá	Ap	0-30	4.9	6.0
	Ah	30-50	3.8	3.3
Cota	Ap	0-28	3.5	2.2
	Ah	28-65	3.9	2.7
Funza	Ap	0-30	3.3	2.1
	Ah	30-60	3.9	2.2
Bacatá	Ap	0-18	2.6	1.7
	Ah	18-38	3.3	1.4

Woodruff (1955), sugiere que el valor de AR^k debería estar entre 0.0027 y 0.034 (M/L)^{1/2} con el objeto de tener una nutrición balanceada de potasio. De acuerdo a lo anterior, con excepción del horizonte Ah de Tibaitatá, con un valor de $AR^k = 0,0004$ (M/L)^{1/2} los demás suelos están dentro de estos valores.

Los valores ΔK (cantidad) también son variables. Los valores mayores los presentan los horizontes Ap de Tibaitatá y Cota y los menores los horizontes Ah de Tibaitatá y Ap de Funza; los demás suelos presentan valores intermedios.

Únicamente el horizonte Ah de la serie Tibaitatá, con la menor influencia volcánica y con el contenido y saturación de K más bajos dentro de los suelos estudiados, presenta un valor contrastantemente alto de la PBC^k .

La capacidad potencial buffer PBC^k es baja especialmente en los suelos de la serie Cota; estos valores bajos indican

que los suelos ceden fácil y rápidamente el potasio sin reponerlo, es decir que tienen una baja capacidad buffer para evitar el agotamiento del elemento.

La figura 2 muestra las curvas de los suelos estudiados obtenidas ploteando la ganancia o pérdida de potasio ($\pm \Delta K$) me/100g., contra la relación de actividad AR^k (intensidad) (M/L)^{1/2}. Las curvas de los suelos de la serie Tibaitatá, tienen una mayor pendiente y por consiguiente una mayor PBC^k : las curvas de la serie Cota muestran una pendiente muy baja característica de los suelos con baja PBC^k ; mientras que Funza y Bacatá presentan una pendiente mayor que las de Cota pero menor que Funza.

En los suelos estudiados se observa una relación estrecha: (1) entre el potasio intercambiable y ΔK (cantidad); (2) en-

TABLA 8. Propiedades derivadas de las curvas de equilibrio en suelos de la Sabana de Bogotá

Perfil	Horizonte	AR^k (M/L) ^{1/2}	$-\Delta K^0$ me/100g	PBC^k me/100g/ (M/L) ^{1/2}
Tibaitatá	Ap	0.024	1.00	42
	Ah	0.0004	0.10	250
Cota	Ap	0.155	2.00	17
	Ah	0.080	0.60	7
Funza	Ap	0.007	0.20	30
	Ah	0.018	0.53	29
Bacatá	Ap	0.018	0.53	29
	Ah	0.018	0.53	29

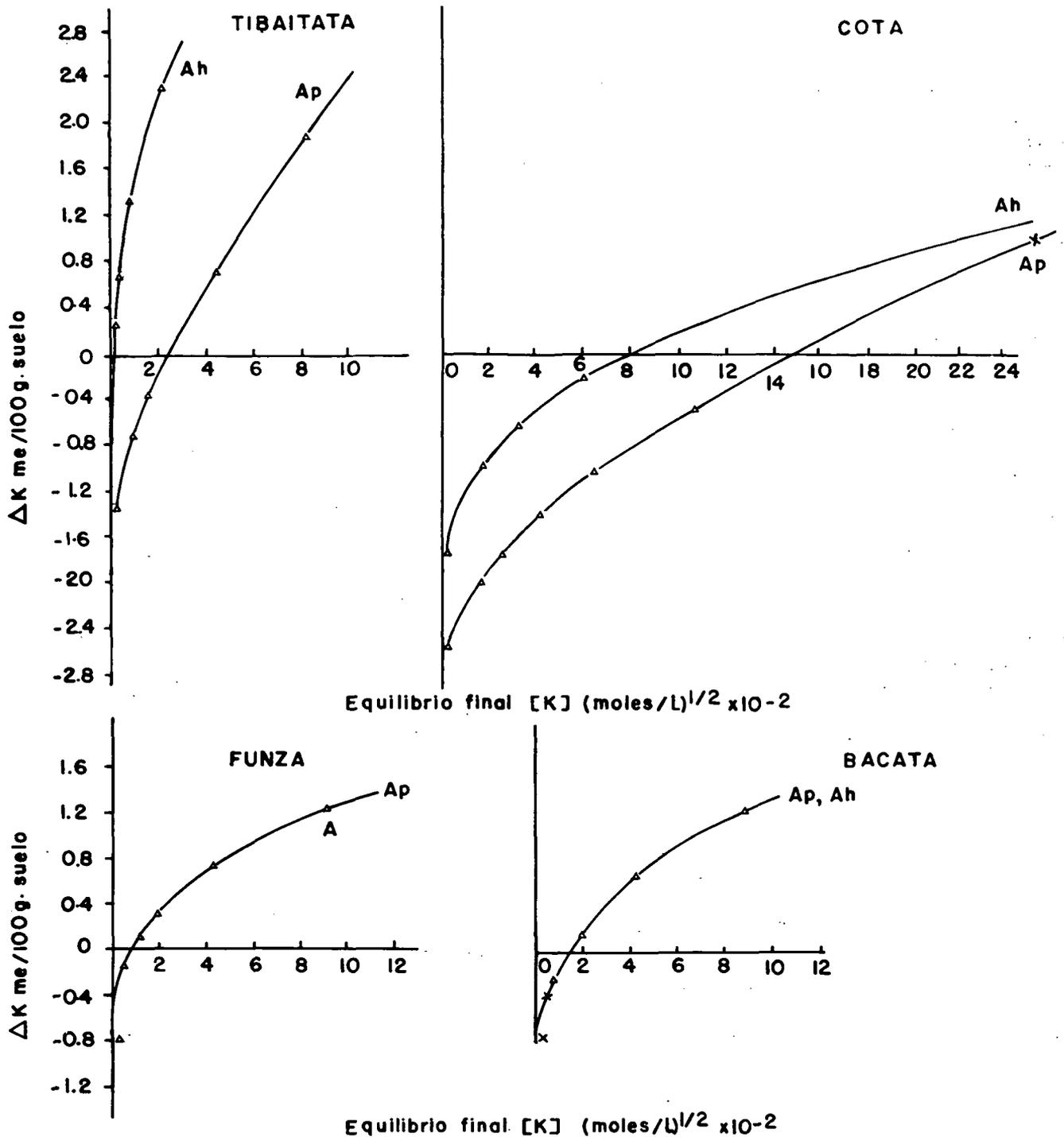


Fig 2: Relación Q/I del potasio de los suelos

tre la relación de actividad AR^k (intensidad) con el contenido de potasio intercambiable y (3) entre AR^k con la saturación de potasio. Las correlaciones calculadas de acuerdo con Sperman son altamente significativas y positivas. En el primer caso $r_e = 0.92^{**}$, y en el 2o. y 3er. casos $r_e = 0.91^{**}$ respectivamente.

SUELOS AMAZONICOS

El pH en agua es muy fuertemente ácido (4.6 a 4.9), con excepción de los horizontes Al de Montana y Naval que son extremadamente ácidos, pH 4.4 y 4.3 respectivamente (tabla 9).

TABLA 9. pH, CARBON, ARCILLA, LIMOS ARENAS Y TEXTURA EN SUELOS DE LA AMAZONIA

Perfil	Horizonte	Profundidad cm.	pH 1:1	C o/o	Arcilla o/o	Limo o/o	Arena o/o	Textura
Miraflores	Al	0-21	4.7	1.97	69.7	16.0	14.2	Ar
Montana	Al	0-17	4.3	2.54	69.8	17.4	12.2	Ar
Tacana	Al	0-17	4.6	1.85	39.7	28.4	31.8	FAr
Florescia	Al	0-16	4.8	2.02	37.0	16.6	46.8	FArA
Guaviare	All	0-25	4.6	1.03	22.4	13.3	64.3	FArA
Leguízamo	Al	0-20	4.9	1.39	23.7	24.6	51.7	FArA
Asís	Al	0-12	4.8	1.34	31.1	23.5	45.2	FArA
Naval	Al	0-13	4.4	1.41	23.5	38.5	37.9	F
Polvorín	Al	0-17	4.6	1.34	35.7	48.1	15.5	FArA

El contenido de bases de cambio (BT, tabla 10) es muy bajo con valores inferiores a 2 me/100g de suelo. Únicamente en los suelos Leguízamo y Asís, clasificados como Typic Dystropept el contenido de bases alcanza valores entre 3 y 4 me/100g. de suelo.

El catión predominante en estos suelos es el aluminio (tabla 11) y su saturación calculada en base a la capacidad catiónica de cambio efectiva (CICE), varía entre 46 y 80o/o. Tinker (1964) encontró que en suelos muy pobremente saturados de Nigeria, Africa, el aluminio intercambiable debe tomarse en cuenta para la determinación de la intensidad del potasio. Además Scheffer y Ulrich (1962) señalan que en los suelos ácidos con bajo potencial de calcio, el potencial potasio - calcio no es una medida correcta del suministro de potasio. En el presente trabajo no se tuvo en cuenta

el potencial de aluminio sino el potencial de calcio debido a que el estudio es comparativo entre los suelos de la Sabana y los de la Amazonia.

El contenido de potasio intercambiable es bajo; en los suelos Miraflores, Montana, Tacana, Florescia y Guaviare. (Udoxic Dystropepts) y Naval y Polvorín (Aquic Paleudults). Los suelos Leguízamo y Asís (Typic Dystropepts) tienen valores mayores: 0,31 a 40 me/100g. La saturación de potasio (SK) es baja, con valores entre 0,6 y 3o/o. Las saturaciones mayores corresponden a los suelos Florescia, Leguízamo y Asís.

En la tabla 9 puede observarse la composición granulométrica de los suelos estudiados. Con excepción de Miraflores y Montana, que tienen textura arcillosa, los demás suelos son franco arcillosos, arcillo arenosos, francos y franco arcillo arenosos.

TABLA 10. Capacidad de intercambio catiónico, (CIC) Ca, Mg, K, Na de cambio, bases totales, saturación total y saturación de potasio.

Perfil	Horizonte	Profund. cm.	CIC	me/100 g.					Bases Totales	Sat. Total o/o	Sat. K o/o
				Ca	Mg	Na	K				
Miraflores	Al	0-21	13.8	0.85	0.26	0.12	0.22	1.45	24	1.59	
Montana	Al	0-17	16.1	0.60	0.44	0.07	0.22	1.33	14	1.36	
Tacana	Al	0-17	11.9	0.17	0.29	0.11	0.13	0.70	17	1.09	
Florescia	Al	0-16	11.8	0.95	0.80	0.08	0.22	2.06	36	2.79	
Guaviare	All	0-25	7.3	0.17	0.11	0.05	0.03	0.36	10	0.41	
Leguízamo	Al	0-20	9.1	1.69	1.07	0.03	0.31	3.10	41	3.40	
Asís	Al	0-12	15.7	2.10	1.40	0.10	0.40	4.00	44	2.54	
Naval	Al	0-13	9.2	0.23	0.22	0.13	0.08	0.66	10	0.87	
Polvorín	Al	0-17	11.2	0.83	0.16	0.09	0.07	1.15	17	0.62	

Tabla 11. Capacidad de cambio efectiva, acidez de cambio saturación de aluminio.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm.	*CICE me/100 g	Acidez intercambiable		Saturación Al o/o
				Al	H me/100g	
Miraflores	Al	0-21	5.95	4.2	0.3	71
Montana	Al	0-17	9.53	7.0	1.2	73
Tacana	Al	0-17	6.50	5.2	0.6	80
Florencia	Al	0-16	5.66	3.2	0.4	56
Guaviare	All	0-25	3.66	2.8	0.5	76
Legufzamo	Al	0-20	7.50	4.3	0.1	57
Asfs	Al	0-12	9.10	4.2	0.9	46
Naval	Al	0-13	6.46	5.1	0.7	78
Polvorín	Al	0-17	6.75	5.0	0.6	74

*CICE = Capacidad catiónica de cambio dependiente del pH, calculada como la suma de Ca + Mg + Na + K extraídos con ACONH₄ N pH 7. + acidez intercambiable.

TABLA 12. Contenidos de mica determinados en el suelo¹, en los limos² y en la arcilla³

Perfil	Horizonte	Profundidad cm.	Micas		
			Suelos o/o	limos o/o	arcilla o/o
Miraflores	Al	0-21	6	5	8
Montana	Al	0-17	6	5	9
Tacana	Al	0-17	5	10	19
Florencia	Al	0-16	14	13	22
Guaviare	All	0-25	4	13	18
Legufzamo	Al	0-20	5	13	19
Asfs	Al	0-12	5	18	18
Naval	Al	0-13	10	20	45
Polvorín	Al	0-17	6	0	17

1 - Determinados en el suelo de acuerdo a Jackson (1956, 1958)
 2 - Determinados por rayos -x
 3 - Determinados en la arcilla de acuerdo a Jackson (1956, 1958).

El análisis mineralógico de arenas realizado por Benavides (1973) indica ausencia de minerales portadores de potasio. Sin embargo en el análisis mineralógico de los limos rea-

lizado por rayos-x y en la determinación cuantitativa en la fracción arcilla (tabla 12) realizada de acuerdo con Jackson (1956, 1958) (tabla 12) se observa cantidades de micas que varían en los limos, entre 0 y 18o/o y en las arcillas entre 8 y 45o/o.

El contenido de mica en el suelo entero (tabla 12) oscila entre 5 y 14o/o, lo que concuerda con los valores hallados en otros suelos tropicales (Acguaye, McClean and Rice 1967).

La determinación cuantitativa de las arcillas (tabla 13) indica que la caolinita es el mineral arcilloso dominante, se exceptúan los suelos Naval con predominio de mica y Asfs con cantidades de arcillas expandibles 2:1 (Vermiculita + Montmorillonita) en mayor proporción que la caolinita.

Factor Cantidad - Intensidad

En la tabla 14 se indican los valores de la relación de actividad AR^k, (intensidad), ΔK (cantidad) y capacidad potencial buffer PBC^k. Al comparar los valores de la relación de actividad de los suelos Amazónicos, con los calculados

TABLA 13. Cuantificación de los minerales en la arcilla desferrada

Perfil	Horizonte	Profundidad. cm.	Minerales					
			amorfos o/o	Cuarzo o/o	Gibbsite o/o	Caolinita o/o	Mica o/o	Vermiculita + montmorillon.
Miraflores	Al	0-21	10	0	7	57	8	18
Montana	Al	0-17	7	0	2	55	9	27
Tacana	Al	0-17	10	6	2	50	19	13
Florencia	Al	0-16	10	0	2	45	22	21
Guaviare	All	0-25	8	0	2	38	18	34
Legufzamo	Al	0-20	5	9	0	39	19	28
Asfs	Al	0-12	9	4	0	31	18	38
Naval	Al	0-13	8	4	0	35	45	6
Polvorín	Al	0-17	7	5	0	42	17	29

por Woodruff (1955) en suelos latosólicos, se observa que los suelos Tacana, Guaviare, Naval y Polvorín presentan un muy bajo suministro de potasio, mientras que Miraflores, Montana, Florencia, Leguizamó y Asís presentan un nivel balanceado.

TABLA 14. Propiedades derivadas de las curvas de equilibrio en suelos de la Amazonía Colombiana

Perfil	Horiz.	AR ^k (M/L) ^{1/2}	-ΔK ^o m e/100 g	PBC ^k me/100 g/ (M/L) ^{1/2}
Miraflores	AI	0.0052	0.10	19.2
Montana	AI	0.0052	0.10	19.2
Tacana	AI	0.0021	0.04	19.0
Florencia	AI	0.0065	0.10	15.2
Guaviare	All	0.0021	0.02	10.0
Leguizamó	AI	0.0065	0.25	38.4
Asís	AI	0.0065	0.25	38.4
Naval	AI	0.0021	0.04	19.0
Polvorín	AI	0.0021	0.04	19.0

Existe una relación estrecha entre AR^k con ΔK, con el contenido de K intercambiable y con la saturación de K; la correlación calculada de acuerdo a Spearman es altamente significativa y positiva en cada caso $r = 0.90^{**}$.

Los valores de ΔK son bajos y varían entre 0.04 y 0.10 me/100g se exceptúan los suelos Guaviare y Leguizamó con valores de 0.25 me/100g. Existe una correlación altamente significativa y positiva entre K y el K intercambiable $r = 0.96^{**}$.

La capacidad potencial buffer PBC^k es baja, especialmente en los suelos Udoxic Dystropepts (Miraflores, Montana, Tacana, Florencia y Guaviare) y en los Aquic Paleudults (Naval y Polvorín). Los suelos Leguizamó y Asís, clasificados como Typic Dystropepts presentan los valores más altos. Valores bajos de la capacidad potencial buffer, como se indicó anteriormente, indican que los suelos ceden rápida y fácilmente el potasio sin reponerlo, es decir que tienen una capacidad buffer baja para evitar el agotamiento del elemento.

La figura 3 muestra las curvas obtenidas para los diferentes suelos, cuando el potasio ganado o perdido durante el equilibrio $\pm\Delta K$ se plotea contra la relación de actividad del potasio AR^k; con excepción de Leguizamó y Asís, que presenta una pendiente muy mayor, los demás suelos tienen pendientes muy bajas y se vuelven asintóticas al eje AR^k, es decir que el suelo no absorbe potasio aunque se incremente su concentración. Esta tendencia del PBC^k, ha sido observada por Murthy Dixon y Kunze (1975). Scrivner señala que los suelos pueden agruparse en categorías mineralógicas, cuando la capacidad potencial buffer PBC^k se divide por el contenido de arcilla de los suelos (tabla 15).

TABLA 15. Categorías mineralógicas posibles de la relación PBC^k / g arcilla.

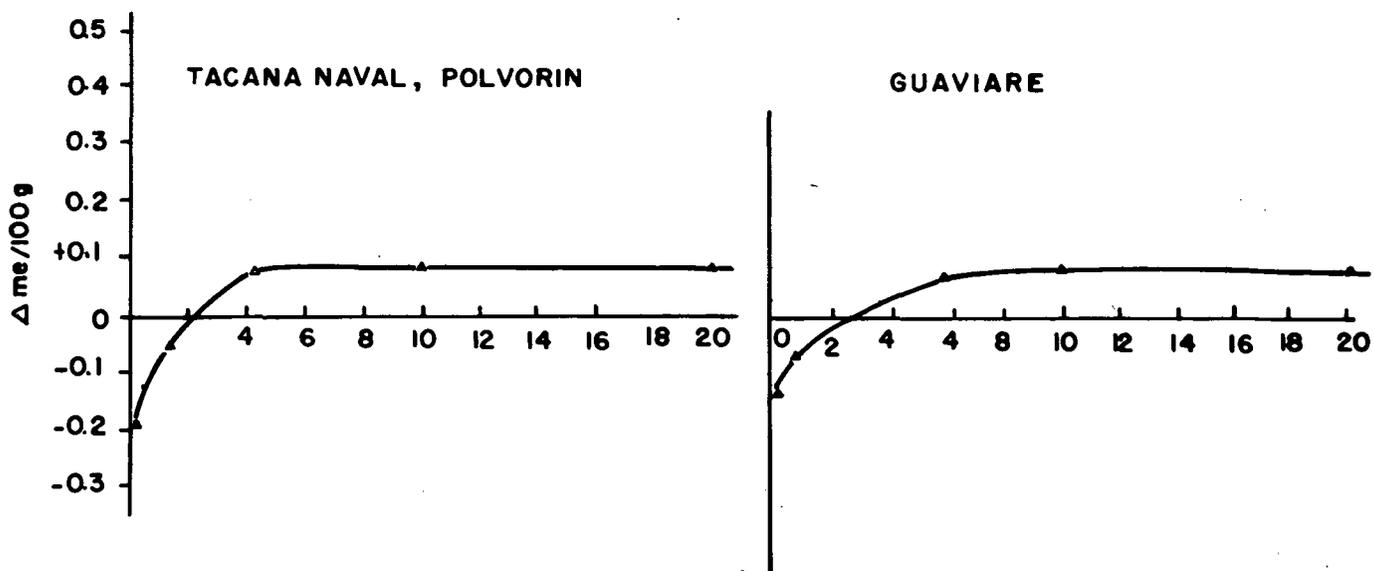
PBC ^k / g arcilla	Categoría posible
< 0.5	caolínica
0.5-1.0	Mezclada (caolinita + materiales 2 : 1)
1.0-2.0	Mezclada (2 : 1 no exp. + exp.)
2.0-4.0	Montmorillonita

Al aplicar estos índices a los suelos amazónicos (tabla 16), los suelos clasificados como Udoxic Dystropepts caen dentro de la categoría caolínica con PBC^k/g. arcilla menores de 0.5, mientras que los Typic Dystropepts y Aquic Paleudults caen dentro de la familia mineralógica mezclada con valores de PBC^k/g. arcilla entre 0.52 y 1.60.

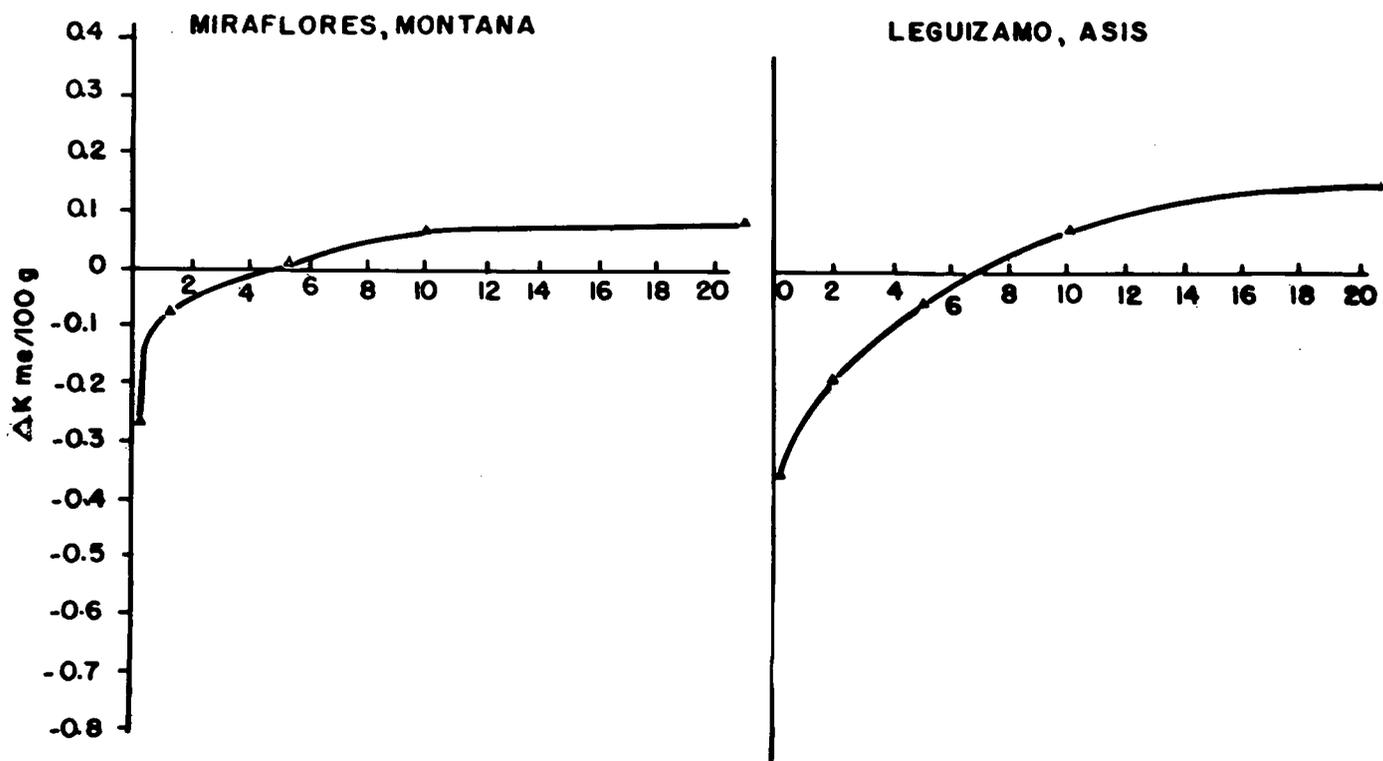
Los suelos Udoxic Dystropepts con los valores PBC^k/g arcilla más bajos tienen mayor contenido de arcilla caolínica que los Typic Dystropepts y Aquic Paleudults con valores menores de PBC^k/g arcilla. En la tabla 17 se observa la relación estrecha e inversa entre PBC^k/g arcilla y el contenido de arcilla caolínica la correlación calculada de acuerdo con Spearman es $r = 0.83^{**}$. Se encontró además una relación estrecha entre la capacidad potencial buffer por gramo de arcilla y la capacidad de intercambio catiónico de la arcilla (tabla 17). Los suelos Udoxic Dystropepts con contenidos mayores de caolín presentan una CIC de la arcilla menor que los Typic Dystropepts y Aquic Paleudults. La correlación calculada de acuerdo a Spearman entre PBC^k/g arcilla y la CIC de la arcilla es altamente significativa y positiva $r = 0.96^{**}$.

TABLA 16. Capacidad potencial buffer del potasio, PBC^k arcilla o/o y capacidad potencial buffer por gramo de arcilla PBC^k / g arcilla.

Suelo	PBC ^k me/100g (M/L) ^{1/2}	Arcilla o/o	PBC ^k /g arcilla
Udoxic Dystropept			
Miraflores	19.2	70	0.27
Montana	19.2	70	0.27
Tacana	19.0	40	0.47
Florencia	15.2	30	0.50
Guaviare	10.0	23	0.43
Typic Dystropept			
Leguizamó	38.4	24	1.60
Asís	38.4	31	1.23
Aquic Paleudult			
Naval	19.0	24	0.79
Polvorín	19.0	36	0.52



Equilibrio final [K] (moles/L)^{1/2} x 10⁻³



Equilibrio final [K] (moles/L)^{1/2} x 10⁻³

Fig 3 : Relación Q/I del potasio de los suelos

TABLA 17. Capacidad potencial buffer por gramo de arcilla PBC^k/ g arcilla, caolinita o/o Capacidad de intercambio catiónico de la arcilla CIC arcilla/ me 100 g arcilla.

Suelo	PBC ^k / g arcilla	Caolinita o/o	CIC arcilla me/100 g arcilla
Udoxic Dystropept			
Miraflores	0.27	57	12.9
Montana	0.27	55	12.9
Tacana	0.47	50	21.3
Florencia	0.50	45	14.6
Guaviare	0.43	38	13.0
Typic Dystropept			
Leguízamo	1.60	39	31.8
Asís	1.24	31	21.8
Aquic Paleudult			
Naval	0.79	35	21.8
Polvorín	0.52	42	21.3

Las correlaciones entre PBC^k/g arcilla con el contenido de arcilla caolínica y con la CIC de la arcilla confirman la clasificación de Scrivner.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la relación Q/I del potasio lábil de Beckett en suelos se caracterizan así:

1)- a) Los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen mayor AR^k (intensidad) que los suelos Amazónicos, por consiguiente son capaces de tener un nivel más adecuado de potasio en la solución del suelo

b) Los valores AR^k (intensidad) correlacionan significativa y positivamente con la saturación de potasio y con el potasio intercambiable.

2) Los suelos presentan bajos valores de PBC^k o sea que tienen un bajo poder buffer para evitar el agotamiento del elemento.

3) La relación PBC^k/g arcilla señala que 5 de los suelos Amazónicos estudiados tienen mineralogía caolínica y 4 mezclada.

RESUMEN

El factor cantidad intensidad del potasio lábil de los suelos se determinó en suelos de la Sabana de Bogotá, derivados de cenizas volcánicas, clasificados como Andic Eutropepts, Typic Dystrandeps y Aquic Dystrandeps y en suelos de la región amazónica colombiana clasificados como Udoxic Dystropepts, Typic Dystropepts y Aquic Paleudults.

Los suelos con fuerte influencia de ceniza volcánica, tienen una mayor relación de actividad AR^k (intensidad) que los suelos Amazónicos, lo que indica que son capaces

de tener un nivel más adecuado de potasio en la solución del suelo. La capacidad potencial buffer PBC^k = ΔK° es baja en todos los suelos, excepto en el horizonte Ah de la Serie Tibaitatá con menor influencia de cenizas volcánicas que presenta un valor contrastantemente alto. Los bajos valores de PBC^k indican que los suelos liberan muy fácil y rápidamente el potasio sin reemplazarlo o sea que tienen un bajo poder buffer para evitar el agotamiento del elemento.

Para ambos grupos de suelos se encontraron correlaciones significativas positivas entre la relación de actividad del potasio AR^k con la saturación de potasio y el potasio intercambiable.

Los valores ΔK° son mayores en los suelos volcánicos que en los Amazónicos y correlacionen significativa y positivamente con el potasio intercambiable.

Los valores PBC^k/g. arcilla en los suelos amazónicos varían entre 0.43 y 1.60. De acuerdo a los índices mineralógicos de Scrivner, 5 de los suelos estudiados tienen mineralogía caolínica y 4 mineralogía mezclada. Las correlaciones significativas negativas entre PBC^k/g. arcilla con porcentaje de caolinita y significativa positiva con la CIC de la arcilla, comprueban la validez de esta clasificación.

BIBLIOGRAFIA

- Acguaye, D.K., A.J. Maclean, and H.M. Rice, 1967. Potencial and Capacity of potassium in some representative soils of Ghana. Soil Sic. 103:79-89.
- Aomine, S., and M.L. Jackson, 1959. Allophane determination in Andosols by cation exchange capacity delta value. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:210-214.
- Alexiades, C.A., and M.L. Jackson, 1966. Quantitative clay mineralogical analysis. Clays Clay Miner. 14:35-52.
- Beckett, P.H.T. 1964. Studies on soil potassium: II J. Soil Sci. 15: 9-23.
- Benavides, S.T. 1973. Mineralogical and chemical characteristics of some soils of the Amazonia of Colombia. Unpublished Ph.D. thesis, Department of Soil Science, North Carolina State University at Raleigh.
- Dixon, J.B. 1966. Quantitative analysis of Kaolinite and Gibbsite in soils by differential thermal and selective dissolution methods. Clays Clay Miner. 14:83-89.
- Hashimoto, I., and M.L. Jackson 1960. A rapid dissolution of allophane and kaolinite, 7th Conf. Clay and Clay Miner. Proc. 1960: 102-113 (Pergamon Press, Oxford, England).
- Jackson, M.L. 1956. Soil chemical analysis. Advanced course. Published by the author. Madison, Wisc. p. 991.
- Jackson, M.L. 1958. Soil chemical Analysis Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, M.J. p. 498.
- Kilmer, V.J., and L.T. Alexander, 1949. Methods making mechanical analysis of soils. Soil Sci. 68: 15-24.
- Kittrick, J.A. and E.W. Hope, 1963. A procedure for particle size separation for x-ray diffraction analysis. Soil Sci. 96:318-325.
- Le Roux, J., and M.E. Sumner, 1968. Labile potassium in soils I: factors affecting the Quantity Intensity (Q/I) parameters. Soil Sci: 106: 35-41.
- Moss, P. and J.K. Coulter 1964. The potassium status of west indian volcanic soils. The Journal of Soil Sci. 15: 284-298.
- Murthy, A.S.P.J.B. Dixon, and G.W. Kunze, 1975. Potassium calcium equilibria in sandy soils containing interstratified micaceous clay. Soil Sci. Soc. of Amer. Proc. 39: 552-555.
- Nash, V.E. 1971. Potassium release characteristics of some soils of the Mississippi coastal plain as revealed by various extracting agents. Soil Sci. 11: 313-317.
- Peech, M.L.T. Alexander, L.A. Dean and J.F. Reed 1947. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. U.S. Dept. Agr. C. 755, 25 pp.

Scheffer, F., and Ulrich, B. 1962. Considerations regarding the availability to plants of the soil potassium, *Potash Rev.* 16/23, 1-7.

Soil Conservation Service, 1972 Rev. Soil Survey Laboratory methods and procedures for collecting soil samples. U.S. Dept. Agr. SSIR 1. U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C. 63 p.

Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil Conserv. Serv. U.S. Dept. Agr. Agriculture Handbook 436 U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C. 754 p.

Tinker, P.B. 1964. Studies on soil potassium III Cation activity ratios in acid nigerian soils, *J. Soil Sci.* 15: 24-40.

Woodruff, C.M. 1955a. Ionic equilibria between clay and dilute salt solutions *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19: 36-40.

Woodruff, C.M. 1955b. The energies of replacement of calcium by potassium in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19: 167-171.

Yuan, T.L. 1959. Determination of exchangeable hydrogen in soils by a titration method. *Soil Sci.* 88: 164-167.

CORRELACION ENTRE LA CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE POTASIO Y VARIOS METODOS DE EXTRACCION QUIMICA DE ESTE ELEMENTO EN SUELOS DE SEIS REGIONES DE COLOMBIA*

*Gloria Ortíz Ramírez***

INTRODUCCION

El potasio aprovechable en el suelo se puede encontrar en 3 formas: K en solución, K intercambiable y K no intercambiable. Estas formas están en equilibrio en los suelos, pasando de una forma a la otra, según las condiciones que se presentan.

Solo una pequeña parte del K total presente en los suelos se encuentra en una forma que es fácilmente aprovechable por las plantas. La tasa a que el K tomado del suelo por las plantas es reemplazado, es importante en la interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio.

Aunque las plantas absorben relativamente grandes cantidades de potasio, las respuestas a la adición de este elemento en los cultivos en los cuales el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), ha realizado ensayos de fertilización, han sido muy escasos.

Los ensayos realizados en el campo han demostrado que la mayoría de los suelos colombianos contienen suficiente cantidad de potasio aprovechable para abastecer varias cosechas. Por lo tanto, los suelos que no requieren aplicación suplementaria de potasio para el buen crecimiento de las plantas, debe tener una alta tasa de transformación de potasio de una forma no fácilmente aprovechable a una fácilmente aprovechable.

Un estudio exhaustivo de un cultivo con varias cosechas sucesivas sin adición de potasio, puede dar alguna información importante para evaluar la capacidad de los suelos para suministrar potasio.

El potasio intercambiable medido con acetato de amonio normal y neutro es considerado como una guía adecuada para medir el potasio aprovechable de los suelos, pero según los niveles establecidos por el Programa de Suelos del ICA para este método, parece no correlacionar muy bien con los resultados de campo. Por lo tanto es importante ensayar otros métodos de extracción para seleccionar el método o métodos que más se ajusten a las condiciones de campo y a los diferentes suelos y cultivos del país, y a la vez que sea práctico para realizar un análisis rutinario.

El objetivo principal de este estudio de cultivo exhaustivo con varias cosechas sucesivas de maíz (*Zea mays*), sin adición de potasio, es correlacionar el potasio intercambiable y otras formas de potasio extraídos por varios métodos con la capacidad para suministrar potasio.

REVISION DE LA LITERATURA

El potasio se encuentra en el suelo en tres formas diferentes:

1.— Disuelto en la solución del suelo, el cual es asimilable directamente por las plantas. La concentración varía con el contenido de agua en el suelo; ésta es del orden de 0.02-2 m.e./litro, pero generalmente es tan baja que posiblemente no puede satisfacer las necesidades de la planta.

2.— Potasio intercambiable o adsorbido que puede estar entre 0.1-2 m.e./100 g. de suelo, equivalente a unos 120 y 2400 kg de K/Ha y a una profundidad de 20 cm; corrientemente corresponde al 10/o del potasio total de los suelos minerales. Esta forma de potasio constituye una importante fuente nutritiva para las plantas.

3.— Potasio no intercambiable o mineral potásico denominado también potasio cristalino, es un constituyente de los diversos minerales del suelo. Los más importantes de estos minerales son: Illita (4-50/o de K); Muscovita (6-90/o K); Feldespato potásico (7-120/o K); Harblenda (0-20/o K).

* Contribución del Programa de Suelos del ICA a la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo - V Coloquio de Suelos.

** Ingeniero Agrónomo, Programa Suelos del Centro Experimental Palmira. Apartado Aéreo 233. PALMIRA.

y Biotita (5-7o/o K). Como consecuencia de su modo de comportarse, estas formas de potasio son insolubles en la solución del suelo y se transforman en asimilable por las plantas solamente tras un proceso de disgregación o de fijación. La parte del potasio que puede ser movilizado en esta forma se conoce corrientemente con el nombre de reserva potásica. (Wiklander, 15).

El potasio no intercambiable alcanza cantidades aproximadas de hasta 99o/o del contenido total de potasio. Los suelos alcanzan aproximadamente por peso de 1 a 4o/o de K (Wiklander, 15).

El equilibrio que existe entre las diferentes formas de potasio es perturbado, en especial, por la absorción de potasio por las plantas. Por esta razón, están muy lejos de mantener el estado de equilibrio al final del período vegetativo. Solo una pequeña parte del potasio total presente en los suelos se encuentra en una forma que es fácilmente aprovechable por las plantas. La tasa a que el potasio tomado del suelo por las plantas es reemplazado es importante en la interpretación de los resultados obtenidos en el Laboratorio. Un estudio exhaustivo de un cultivo con varias cosechas sucesivas sin adición de potasio, puede dar alguna información importante para evaluar la capacidad de los suelos para suministrar potasio (Waugh, 14).

La localización del potasio en el suelo en relación a las raíces puede afectar su aprovechabilidad, especialmente durante las primeras etapas del desarrollo. El fertilizante aplicado cerca a la semilla o de las raíces es más aprovechable cuando las plantas son pequeñas. Sin embargo, los fertilizantes potásicos generalmente se mueven en el agua del suelo y el potasio se dispersa a través del suelo. Si se mezcla el fertilizante con la capa arable en suelos muy arenosos se aumenta la pérdida por lixiviación (Marin, 10).

La reserva potásica es la fracción de potasio que no es asimilable inmediatamente por las plantas, pero se moviliza lentamente y por ello constituye una importante reserva de potasio. La cantidad de reserva potásica depende estrechamente de los contenidos de arcilla y limo en el suelo, además de los minerales presentes. (Wiklander, 15).

La naturaleza de la fracción arcillosa del suelo es un factor importante de la fijación del potasio, que interviene no solo a nivel de mecanismo de la fijación, sino también en su intensidad. Esta es: nula con la caolinita, la clorita y las micas. Débil con la montmorillonita. Variables con las illitas, según su grado de alteración (contenido de potasio), fuerte con la vermiculita (Duthion, 5).

Las arcillas parecen presentar condiciones preferenciales, sin duda respecto al mecanismo de la fijación. La vermiculita y la illita podrían fijar potasio en condiciones relativas de humedad, mientras que la montmorillonita y los minerales interestratificados exigirían condiciones más secas (Duthion, 5).

Lawton y Vehara citados por Duthion (5), demostraron después de haber hecho fijar K a arcillas de diferentes tipos, que la montmorillonita y la vermiculita ceden más fácilmente a los cultivos su potasio fijado que la illita.

El potasio intercambiable medido con acetato de amonio 1N es considerado como una guía adecuada para medir el potasio aprovechable de los suelos. Puesto que las propieda-

des de intercambio difieren de un suelo a otro, es imperativo que los resultados del análisis del suelo sean interpretados en términos de la respuesta de los cultivos a aplicaciones de potasio (Waugh, 14). La determinación del potasio intercambiable depende en gran parte del reactivo empleado en la extracción y la duración de ésta. En general, se emplean para ello sales amónicas o de bario. Las soluciones salinas ácidas y los ácidos dan la mayor parte del tiempo valores más altos para el potasio intercambiable, pues los iones H pueden intercambiarse más fácil y rápidamente con los iones K próximos a la superficie, entre las hojitas elementales.

Con frecuencia, en lugar de extraer el potasio intercambiable por medio de percolaciones sucesivas con una solución salina, se recurre a una agitación única, generalmente con una solución de acetato amónico de 0,5N y una relación suelo/solución de 1/10 (duración de la agitación, una hora). Los valores así obtenidos pueden reproducirse muy bien y se sitúan casi al mismo nivel que los obtenidos por percolación (Scheffer, 13).

Teóricamente, conviene reducir el potasio soluble en el agua, de la cantidad de potasio intercambiable determinada de esta manera, y como se trata casi siempre de un valor muy débil, generalmente se le engloba en el potasio intercambiable. Los valores absolutos del potasio intercambiable y del no intercambiable no se corresponden generalmente con los valores del potasio asimilable y no asimilable para la planta, aunque con frecuencia exista una estrecha correlación entre el potasio intercambiable y el asimilable (Scheffer, 13).

El grado de suministro de potasio en un suelo se juzga de la manera más clara tomando como base un ensayo realizado en potes, o bien en el campo.

Para caracterizar el grado de suministro de potasio en un suelo generalmente se utilizan, entre los métodos de extracción química, los que indican el potasio intercambiable (incluido el potasio soluble en agua). La extracción se realiza con soluciones salinas o ácidas, y como la cantidad de potasio intercambiable depende de la naturaleza y la concentración de los cationes activos y del pH de la solución, la cantidad de potasio intercambiable es variable, según los diferentes métodos empleados (Scheffer, 13).

El grado de suministro de K a los suelos puede evaluarse igualmente por medio del contenido de potasio en las plantas o de ciertos órganos (hojas, agujas). Este método ha proporcionado, sobre todo, buenos resultados con cultivos perennes, por ejemplo para los árboles frutales, la vid y los árboles forestales. Incluso con ciertos cultivos anuales, el análisis vegetal da una buena indicación de ello (Scheffer, 13).

Son numerosos los trabajos que se han efectuado para estudiar el poder de suministrar potasio por los suelos, usando varios métodos de laboratorio que incluyen una gran cantidad de soluciones extractoras. Ekpete (6), en el estudio de predicción de respuesta de potasio para suelos del Oeste de Nigeria utilizaron 3 métodos de extracción: CaCl_2 0.01M, HNO_3 1N caliente y H_2SO_4 6N. La extracción de potasio por el método de H_2SO_4 6N ha sido recomendado para la mayoría de los análisis de suelos para evaluar el potasio asequible y predicción del rendimiento del

cultivo y respuesta al potasio en suelos del Oeste de Nigeria.

En 19 suelos ingleses diferentes, la continúa repetición de cosechas sin el empleo de fertilizantes de potasio fue utilizada con éxito en ensayos de invernadero para medir la liberación de potasio no intercambiable (capacidad de suministro). La liberación de potasio no intercambiable en cosechas de grano de tipo perenne, tuvieron una variación que iba desde 0 hasta el equivalente de 2000 libras de K/acre. Los suelos se dividieron en suelos pobres, moderados y buenos liberadores de potasio no intercambiable (<200, 200-1000 y >1000 libras de K/acre, respectivamente).

Los suelos de pobre y moderada capacidad en el suministro de potasio se agotaron antes de finalizar los 18 meses de cultivo en el invernadero, mientras que los de buena capacidad liberadora continuaron suministrando potasio en forma satisfactoria para los granos (Arnold, 2).

En Ghana, en 8 suelos cultivados con cacao se determinó el suministro de potasio. Las cantidades de potasio intercambiable (acetato de amonio 1N, neutro), potasio no-intercambiable y potasio fijado fueron usados para evaluar el poder de suministro de potasio. Las formas de potasio intercambiable y no intercambiable fueron estimadas por la toma por Ryegrass (*Lolium perenne*) en potes y las extracciones químicas de los suelos.

Las formas de potasio intercambiable y no intercambiable antes y después del cultivo de los suelos junto con la toma total de potasio, disminuye en el potasio intercambiable y liberación de la forma no intercambiable en el control y en los suelos tratados con fósforo (Abenkorah, 1).

En Colombia existen muy pocos trabajos relacionados con el suministro de potasio y extractante químicos.

De acuerdo a la literatura consultada se encontró un trabajo de Marin (10), en el cual se midió la capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio. Para ello se empleó como planta indicadora trébol blanco, haciéndose 10 cortes espaciados cada 30 días.

El potasio intercambiable se determinó en acetato de amonio normal y neutro, y también el extraído con ácido nítrico. Los resultados indicaron que los suelos variaban ampliamente en su capacidad para suministrar potasio.

La cantidad de potasio extraído con el ácido nítrico al comenzar el experimento tuvo mejor correlación con el potasio removido por la cosecha que con el acetato de amonio (Marin, 10).

Para suelos de la zona Sur-Oriental del Tolima se estudió los estados del potasio y su relación con la fijación y la fertilización. En esta zona se ha encontrado respuesta positiva a la aplicación de fertilizantes potásicos en cultivos como algodón, arroz, maíz y ajonjolí.

Se determinaron las diferentes formas de potasio; potasio intercambiable con acetato de amonio 1N y neutro; potasio total, extrayendo con HF y H_2SO_4 concentrados; potasio difícilmente intercambiable, deduciendo del potasio extraído con HCl concentrado, el extraído con HNO_3 1N y también se midió la cantidad de potasio fijado por el suelo sin tratamiento especial, después de adicionarle KCl y la cantidad de potasio fijada por el suelo sometido a humedecimientos y secamientos alternados. Se calcularon los coeficientes de correlación entre algunas formas de potasio y se

encontró que el potasio extraído con HCl concentrado tiene una correlación significativa con el potasio total.

En la mayoría de los suelos aumenta la cantidad de potasio fijado por efecto del secamiento y humedecimiento alternados.

El potasio extraído con ácido nítrico presentó una correlación significativa con la saturación de potasio respecto a la C.I.C.; siendo una buena medida de la capacidad de suministro de potasio, debe tenerse en cuenta para las recomendaciones de fertilizantes potásicos (Frye, 7).

Según Leaf, citado por Frye (7), suelos con cantidades bajas de potasio intercambiable, pero altas de potasio extraído con ácido nítrico normal, pueden suministrar suficiente potasio a las plantas.

MATERIALES Y METODOS

Las muestras de suelos incluídas en este estudio fueron recolectadas en áreas representativas de seis regiones de Colombia, de la capa arable (0 a 20 cm. de profundidad). Las muestras se secaron al aire y se pasaron por un tamiz de 2 mm. para análisis químicos y estudios de invernadero. Las muestras incluídas tienen las siguientes características y ubicaciones:

Departamento del Tolima: dos suelos, uno perteneciente a la serie Chicoral (CH) y el otro a la serie Dindalito (Di). Estas series están localizadas en el paisaje fisiográfico: abanico del Coello, de origen aluvial.

Departamento del Cesar: suelo Valledupar: perteneciente a la asociación Codazzi-La Palizada.

Departamento del Meta (Llanos Orientales). Estas muestras pertenecen a la Vega alta en suelos con vegetación natural.

Departamento Valle del Cauca: suelo del Centro Experimental Palmira, perteneciente a la serie Palmira (PL).

Departamento del Magdalena: suelo perteneciente a la serie Tucurina.

Previo el establecimiento del experimento en el invernadero se hicieron los siguientes análisis químicos para conocer el estado de fertilidad de los mismos. Los métodos que se siguieron fueron:

pH: con potenciómetro de electrodo de vidrio en relación volumen suelo-agua 1:1 (Jackson, 8).

Materia orgánica multiplicando por 1,724 el porcentaje de carbón obtenido por combustión húmeda, método Walkley-Black (Jackson, 8).

Bases intercambiables (Ca, Mg, Na, K): extracción con acetato de amonio 1N a pH 7,0; calcio y magnesio por titulación con verseno EDTA y potasio y sodio para fotometría de llama. (Método de Peech (Page, 12).

Aluminio intercambiable (Acidez intercambiable): se utiliza como solución extractora cloruro de potasio 1N y titulación del extracto con hidróxido de sodio 0.1N, en presencia de fenoltaleína (Kamprath, 9).

Fósforo: por el método de Bray II, efectuando la extracción con una solución 0.03N NH_4F y 0.1N HCl. Se desarrolla el color con $SnCl_2$ y se lee el porcentaje de transmitancia en un colorímetro a 650 mu. El resultado se expresa en ppm de P (Jackson, 8).

Potasio: se determinó por cuatro métodos.

1) Intercambiable, extrayendo con acetato de amonio 1N y leyendo en un fotometro de llama (Page, 12).

2) Potasio de suministro extraído con HNO_3 1N (Black, 4).

3) Potasio intercambiable: Alabama. Se extrae con una mezcla de HCl 0.05N y H_2SO_4 0.025N (Mehlich: Martini, 11) (Page, 12).

4) Potasio intercambiable: Kentucky. Extracción con H_2SO_4 0.15N (Page, 12).

Análisis físico-mecánico o de textura: método de Bouyoucos o del hidrómetro. Como agente dispersante se utiliza una solución de hexametáfosfato y carbonato de sodio (Black, 3).

Análisis mineralógico de arcillas. Se hizo en los Laboratorios del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", por difracción de rayos X.

Algunas características de estas muestras de suelos aparecen en la Tabla 1.

TABLA 1. Localización, serie de suelos y algunas características físico-químicas de los suelos utilizadas para estudiar la capacidad de suministro de potasio.

Departamento	Lugar de muestreo Serie de suelos	pH	Al *	M.O. P-Bray o/o ppm	Ca	Mg	Na	Tipo de Suelos	
									m.e./100 g. suelo
Tolima (Espinal)	Abanico Coello serie Chicoral	6.5	0.1	1.8	55.0	4.0	1.46	0.09	Franco Arcillo A
Tolima (Espinal)	Abanico Coello Serie Dindalito	6.1	0.1	2.5	114.4	5.4	0.64	0.12	Franco Arcillo A
Magdalena (Santa Marta)	Serie Tucurina	6.6	0.1	2.0	70.4	10.0	2.0	0.18	Franco Limoso
Meta (Llanos Orientales)	La Libertad	5.1	2.8	2.6	2.7	0.4	0.38	0.04	Franco Arenoso
Valle del Cauca (Palmira)	Granja ICA Serie Palmira	7.1	0.1	7.0	182.0	9.2	9.9	0.20	Franco Arcilloso
Cesar (Valledupar)	Asociación Codazzi La Palizada	6.9	0.1	1.2	15.0	6.4	2.18	0.40	Franco Arcilloso

* m.e./100 g.

La Tabla 2 presenta los contenidos de potasio de los suelos obtenidos por cuatro métodos de extracción, incluyendo el método usualmente empleado por el Laboratorio de Suelos ICA Palmira en los análisis de suelos.

Para medir el poder de suministro de potasio de estos suelos se sembró maíz H-207 en potes que contenían dos kilogramos de suelo seco al aire. Inicialmente se agregó nitrógeno, fósforo para aquellos suelos deficientes según el análisis y una mezcla de elementos menores en solución nutritiva según Waugh, (14) para satisfacer las necesidades de la planta.

El ensayo se estableció utilizando tres dosis de potasio: 0 y 50 kg K_2O /Ha aplicadas solamente en la primera cosecha y 50 kg K_2O /ha aplicados cada cosecha.

Cada tratamiento se replicó tres veces en un diseño completamente al azar.

TABLA 2. Cantidad de potasio extraído (m.e./100 g de suelo) en las muestras empleadas en el ensayo de suministro de potasio.

SUELO	AcONH_4 1N	HNO_3	H_2SO_4 0.15N	HCl 0.05N + H_2SO_4 0.025N
miliequivalentes por 100 gramos de suelo				
Chicoral	0.36	2.7	0.35	0.30
Dindalito	0.36	3.45	0.30	0.28
Santa Marta	0.09	4.7	0.07	0.06
La Libertad	0.13	0.40	0.13	0.12
Palmira	0.97	3.0	0.65	0.60
Valledupar	0.20	1.6	0.16	0.21

Cada cuatro semanas se cosechó la parte aérea de las plantas y se determinó peso seco, secando el material a 70°C. Se hicieron un total de diez cosechas.

El potasio intercambiable extraído con acetato de amonio normal y neutro se determinó en muestras de suelos tomadas antes de sembrar, y después de cada cosecha hasta finalizar el experimento. Estas muestras también se analizaron para potasio extraído con ácido nítrico normal, ácido sulfúrico 0.15N y una mezcla de ácido clorhídrico 0.05N más ácido sulfúrico 0.025N.

Se analizó contenido de potasio tanto en la parte aérea como en la raíz de las plantas en cada cosecha. El potasio total en los tejidos vegetales se determinó de acuerdo al procedimiento descrito por Waugh (14).

De acuerdo con los resultados obtenidos se determinó:

- 1) Peso de cada cosecha y peso total cosechado.
- 2) Cantidad total de potasio presente en la parte aérea y en las raíces.
- 3) Disminución del potasio intercambiable en el suelo.
- 4) Cantidad de potasio libera por el suelo, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Potasio liberado} = \{ \text{potasio removido por la cosecha} \\ - \{ (\text{potasio intercambiable inicial suelo}) \\ - (\text{potasio intercambiable final suelo}) \} \}$$

$$\text{Cantidad de potasio liberado} = \text{capacidad de suministro de potasio en el suelo.}$$

$$\text{Potasio removido por la cosecha} = \text{potasio-parte aérea} + \text{potasio-raíces.}$$

Los resultados se expresan en miliequivalentes por 100 gramos de suelo seco al aire (m.e./100 g. suelo).

RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla 2 presenta los resultados del contenido inicial de potasio obtenido por cuatro sistemas de extracción. Los contenidos de potasio para los diferentes suelos variaron desde muy bajos 0.09 m.e. K/100 g de suelos como en el caso del Suelo de Santa Marta, hasta contenidos altos 0.97 m.e. K/100 g. suelo para el suelo Palmira. Por el contrario el potasio extraído con ácido nítrico (potasio de suministro) dio el valor más alto para el suelo Santa Marta.

La respuesta de las plantas de maíz a la fertilización de potasio, para los diferentes suelos a través de las diez cosechas bajo condiciones de invernadero está presentada en la Tabla 3.

La respuesta a la fertilización de potasio medida como crecimiento es mayor para el caso del suelo de La Libertad, en donde se observa que en la mayoría de las cosechas (80o/o) hay un incremento en peso seco con la aplicación de 50 kg K₂O/Ha. En este mismo suelo si observamos el o/o de producción vemos que este disminuye, con excepción de la quinta y novena cosecha donde hay un ligero incremento. Para el resto de suelos los incrementos en peso seco con la adición de los 50 kg K₂O/Ha son muy ligeros y los o/o de producción son muy variables. Al hacer el análisis de varianza encontramos que no hay diferencias significativas entre tratamientos.

Considerando el o/o de producción y comparando el resultado de la primera cosecha con los demás datos, hasta la

décima cosecha observamos que este va disminuyendo aunque los datos no son muy consistentes.

Por ejemplo para el caso del suelo Palmira el o/o de producción va disminuyendo hasta la quinta cosecha en la cual hay un incremento debido posiblemente al período de receso del suelo pues transcurrieron alrededor de 30 días entre la cuarta cosecha y la siembra de la quinta; posiblemente durante este período el suelo se recupera y hay liberación de potasio disponible para la planta pues la disminución en producción se atribuyó a la falta de potasio ya que era el único elemento faltante.

En todos los suelos a través de las diez cosechas se fue observando la deficiencia de potasio que se iba acentuando más a medida que aumentaba el número de cosechas, y esta deficiencia fue más marcada para el suelo La Libertad donde el crecimiento era poco y las cañas débiles hasta que en la décima cosecha las plantas no se sostenían, los tallos se doblaron y el anclaje era muy débil. Estas características son síntomas de la falta de potasio y posiblemente la interacción con otro factor limitante como fósforo pues también se presentó la deficiencia marcada para los suelos La Libertad, Valledupar y Santa Marta principalmente.

En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis del potasio en el suelo extraído con acetato de amonio normal. El contenido de potasio intercambiable en los diferentes suelos al comenzar el experimento, varió desde 0.76 a 0.09 m.e. correspondientes a los suelos Palmira y Santa Marta respectivamente.

Los análisis después de cada cosecha indicaron una disminución del potasio intercambiable con relación al contenido inicial, observándose que esta disminución es más marcada a partir de la quinta cosecha, en algunos suelos como Valledupar, Chicoral y Dindalito. Para el caso de los suelos La Libertad y Santa Marta cuyos contenidos iniciales son tan bajos, la disminución a través de las cosechas es menor, indicando esto que aparentemente alcanzaron un nivel constante de potasio intercambiable.

Para el caso del suelo de Palmira cuyo contenido inicial es relativamente alto, disminuyó bastante durante las primeras cosechas para luego alcanzar un valor más o menos constante hasta la última cosecha. Algo similar sucede en los suelos Chicoral y Dindalito. Es posible que para estos casos se haya presentado inicialmente lo que se llama consumo de lujo por parte de la planta.

La Figura 1 muestra las tendencias generales de los resultados obtenidos en dos suelos contrastantes. El suelo de Palmira inició el período de cosecha con 0.97 m.e. de potasio intercambiable y disminuyó a 0.40 m.e. en la segunda cosecha; a partir de la quinta cosecha la disminución es más o menos constante, hasta alcanzar un valor de 0.20 m.e. después de la última cosecha.

Para el caso del suelo de Santa Marta que inició el experimento con 0.09 m.e. de potasio intercambiable, la disminución después de cada cosecha no es muy marcada, 0.065 m.e. después de la quinta y estos valores se mantienen más o menos constantes hasta la décima cosecha que reporta un valor de 0.053 m.e. potasio intercambiable. El potasio removido por la cosecha y el potasio de suministro.

TABLA 3. Altura, peso seco parte aérea y raíz de plantas de maíz afe zadas por fertilización de potasio en 6 suelos diferentes del país.

SUELO	ALTURA		PESO SECO		PESO SECO		o/o (K ₀ /K ₅₀) 100
	cm/pote K ₀	K ₅₀	raíz g/pote K _p	K ₅₀	g/pote K ₀	K ₅₀	
PALMIRA	68	60.6	1.6	2.7	10.4	9.7	107.2
	65.3	69.6	3.4	3.3	11.4	11.8	96.6
	53.3	58.0	1.9	2.8	10.0	11.1	90.0
	58.3	54.0	1.9	1.8	8.3	9.9	83.8
	49.6	50.6	1.8	1.9	7.5	7.1	205.0
	59.0	60.0	7.8	1.8	6.0	7.2	83.3
	59.6	72.6	1.7	2.3	7.2	7.2	100.0
	47.3	48.6	1.5	1.2	5.5	4.5	122.2
	43.6	50.3	1.0	1.2	4.9	5.1	96.0
	52.3	61.3	1.6	1.3	6.13	7.56	81.0
	47	46	1.27	1.27	2.6	2.8	92.8
	48	43	1.8	1.66	4.3	5.2	82.6
	43	44.6	0.7	0.83	3.9	3.5	111.4
52	47.3	0.76	0.93	4.5	4.4	102.2	
43	46.0	1.5	1.7	3.1	3.4	81.1	
39.6	45.0	1.26	1.7	2.8	3.2	87.5	
45	64.3	1.4	1.8	2.4	2.6	92.3	
43.3	37.0	0.66	0.76	2.4	2.1	114.2	
32.6	38.6	0.96	1.23	2.4	2.7	88.8	
42.3	46.3	1.1	1.0	3.1	2.83	109.5	
CHICORAL	58	44	2.24	2.08	5.1	5.1	100.0
	55	55	3.3	2.93	8.0	8.1	98.7
	60.6	47.6	1.76	2.03	7.26	7.03	103.2
	58.6	56.6	1.53	1.86	6.6	8.9	74.1
	47.0	48	1.46	1.8	3.8	4.0	95.0
	47	46	2.16	2.16	4.1	3.9	105.1
	66	74.6	2.03	2.13	3.7	4.3	86.0
	51.6	43.3	1.53	1.76	4.4	4.5	97.7
	51.0	48.3	1.23	1.6	3.6	3.5	102.8
	40.0	51.0	1.1	0.73	3.45	4.2	82.1
	46	38	2.19	1.7	2.2	2.0	110
	47	53	2.3	3.13	4.4	6.1	72.1
	36.3	48.3	0.63	1.86	3.1	5.26	58.9
37.6	54.3	0.5	3.16	1.83	5.2	35.2	
38.6	44.3	1.56	3.43	2.1	3.7	56.7	
37.6	47.6	1.86	5.26	2.56	4.6	55.6	
55.6	61.6	1.13	4.13	2.5	5.86	47.6	
28.0	52.0	0.73	1.53	2.26	5.63	40.1	
28.3	37.3	1.3	2.1	2.56	3.96	66.3	
30.3	50.3	1.0	4.1	4.0	6.33	63.3	
SANTA MARTA	41	44	1.77	2.1	3.5	3.3	106.0
	55	62	2.46	4.16	8.1	8.3	97.5
	47.0	65.3	1.83	1.96	7.26	8.43	86.1
	62.3	61.0	3.5	3.7	7.53	7.4	101.7
	45.3	56.0	2.7	2.26	5.03	5.86	85.8
	38.3	50.0	2.66	1.83	4.7	5.03	93.4
	64.6	77.0	2.2	2.36	4.73	4.96	95.3

Continuación TABLA 3.

DINDALITO		41.6		43.0		1.1		1.16		4.53		4.03		112.4	
48.3		44.3		44.0		1.06		1.43		4.02		4.4		91.3	
50.6		50.6		0.53		1.0		4.23		4.2		100.7			
46	39	2.3	2.36	5.4	5.2	103.8									
48	52	2.9	3.9	7.0	8.1	86.4									
55.3	57.6	1.46	1.76	8.13	7.86	103.4									
58.3	57.3	1.7	1.86	7.46	5.8	128.6									
48.0	44.6	1.36	1.6	3.86	4.13	93.4									
47.0	43.3	1.96	2.05	3.36	4.16	80.7									
64.4	64.6	2.16	2.46	3.26	3.43	95.0									
47.6	44.3	1.36	1.36	3.9	3.73	104.5									
42.6	47.6	1.56	1.36	3.1	3.26	95.0									
49.3	44.6	1.3	1.1	3.76	3.76	100.0									

TABLA 4. Cantidad de potasio removido por la cosecha; contenido inicial de potasio en el suelo y después de 10 cosechas de maíz H-207, en condiciones de invernadero, en 6 suelos de Colombia.

PALMIRA	0.97	K en el suelo extraído con AcONH ₄ m.e./100 g.		K tomado por la planta m.e./100 g.	K removido por la cosecha suelo	K liberado suministro m.e./100 g. suelo	0.664
		Inicial	Después				
	0.88	0.43	0.09	0.45	0.754	0.312	0.138
	0.403	0.027	0.027	0.235	0.235	0.208	0.208
	0.351	0.52	0.52	0.157	0.157	0.105	0.105
	0.396	0.351	0.351	0.106	0.106	0.457	0.457
	0.291	0.105	0.105	0.103	0.103	0.002	0.002
	0.252	0.039	0.039	0.103	0.103	0.064	0.064
	0.233	0.019	0.019	0.076	0.076	0.057	0.057
	0.525	0.019	0.019	0.061	0.061	0.08	0.08
	0.203	0.049	0.049	0.087	0.087	0.136	1.631
VALLEDUPAR	0.20	0.17	0.03	0.115	0.115	0.085	0.085
	0.10	0.07	0.07	0.042	0.042	0.028	0.028
	0.124	0.024	0.024	0.057	0.057	0.081	0.081
	0.117	0.007	0.007	0.048	0.048	0.041	0.041
	0.125	0.008	0.008	0.034	0.034	0.042	0.042
	0.093	0.032	0.032	0.033	0.033	0.001	0.001
	0.081	0.012	0.012	0.034	0.034	0.022	0.022
	0.05	0.031	0.031	0.025	0.025	0.006	0.006
	0.093	0.043	0.043	0.029	0.029	0.072	0.072
	0.203	0.11	0.11	0.033	0.033	0.143	0.453
CHICORAL	0.36	0.16	0.20	0.228	0.228	0.028	0.028
	0.11	0.05	0.05	0.188	0.188	0.138	0.138
	0.117	0.007	0.007	0.146	0.146	0.139	0.139
	0.12	0.003	0.003	0.078	0.078	0.081	0.081
	0.096	0.024	0.024	0.071	0.071	0.047	0.047
	0.081	0.015	0.015	0.081	0.081	0.066	0.066
	0.077	0.004	0.004	0.056	0.056	0.052	0.052
	0.050	0.027	0.027	0.049	0.049	0.022	0.022
	0.11	0.06	0.06	0.054	0.054	0.114	0.114
	0.088	0.022	0.022	0.040	0.040	0.018	0.705

Continuación TABLA 4.

	K en el suelo extraído con AcONH ₄ m.e./100 g. Inicial—Después		K tomado por la planta m.e./100 g.	K removido por la m.e./100 g. cosecha suelo	K liberado suministro m.e./100 g. suelo
LIBERTAD	0.13	0.07	0.06	0.025	— 0.036
		0.11	— 0.04	0.035	0.075
		0.073	0.037	0.015	— 0.023
		0.063	0.01	0.008	— 0.002
		0.05	0.008	0.012	0.004
		0.037	0.018	0.014	0.004
		0.031	0.006	0.011	0.005
		0.026	0.005	0.013	0.004
		0.041	— 0.015	0.009	0.024
		0.033	0.008	0.020	0.01 = 0.057
SANTA MARTA	0.09	0.05	0.04	0.061	0.021
		0.08	— 0.03	0.094	0.124
		0.061	0.019	0.100	0.081
		0.073	— 0.012	0.099	0.111
		0.065	0.008	0.063	0.055
		0.049	0.016	0.070	0.054
		0.056	— 0.007	0.074	0.081
		0.04	0.016	0.063	0.047
		0.053	0.013	0.055	0.066
		0.053	0.0	0.050	0.05 = 0.692
DINDALITO	0.36	0.20	0.16	0.166	0.006
		0.12	0.08	0.151	0.071
		0.125	— 0.005	0.171	0.176
		0.121	0.004	0.110	0.106
		0.093	0.028	0.081	0.053
		0.080	0.013	0.078	0.058
		0.072	0.008	0.066	0.058
		0.043	0.049	0.048	— 0.001
		0.074	— 0.031	0.048	0.069
		0.062	0.012	0.058	0.046 = 0.65

En la Tabla 4 se presenta el contenido de potasio removido por la parte aérea y por las raíces. El contenido de potasio removido por las plantas durante las 10 cosechas fue muy variable para todos los suelos, observándose que fue mayor en las 3 primeras cosechas hasta alcanzar valores después de la última cosecha que van desde 0.020 a 0.087 m.e./100 g suelo para los suelos de la Libertad y Palmira, respectivamente.

Al calcular el potasio liberado por los suelos, sustrayendo la disminución en el contenido de potasio intercambiable del suelo, durante las 10 cosechas de maíz H-207, de la cantidad total del potasio removido por la cosecha (parte aérea y raíces), se observa que todos los suelos liberaron potasio en mayor o menor cantidad. Las cantidades liberadas a través de cada cosecha variaron desde 0.01 m.e. para la última cosecha en el suelo La Libertad y valores altos como 0.66 m.e. en la primera cosecha en el suelo Palmira.

Si tenemos en cuenta la cantidad total de potasio liberado en las diez cosechas observamos valores que oscilan desde 1.63 m.e. hasta 0.057 m.e. de K/100 g suelo para los suelos Palmira y La Libertad respectivamente. De acuerdo con la cantidad total de potasio liberado podemos clasificar los suelos con alta, mediana y baja capacidad de suministro de potasio. Como suelos de alta capacidad se pueden considerar Palmira (1.63 m.e. K/100 g suelo), Chicoral (0.705 m.e./100 g. suelo), Santa Marta (0.692 m.e. K/100 g suelo) y Dindalito (0.65 m.e. K/100 g suelo). Suelo de mediana capacidad estaría Valledupar (0.453 m.e./100 g suelo) y el suelo La Libertad de muy baja capacidad de suministro (0.057 m.e. K/100 g suelo).

En los suelos Palmira, Valledupar, La Libertad y Chicoral, en algunas cosechas la liberación de potasio resultó negativa. Es decir, la disminución del potasio intercambiable fue superior al potasio removido por la cosecha.

En la Tabla 5 se puede observar la composición mineralógica de las arcillas de los suelos estudiados. Según estos resultados, la caolinita es dominante en los suelos Santa Marta y La Libertad. La vermiculita es abundante para los suelos de Valledupar y Palmira. Las micas son abundantes en los suelos de Santa Marta, Valledupar, Palmira y dominante en La Libertad.

El suministro de potasio se puede explicar en parte teniendo en cuenta los resultados del análisis mineralógico.

Para el caso del suelo de Palmira que tiene alta capacidad de suministro, presenta altos contenidos de vermiculita, arcilla del tipo 2:1. A pesar de que la fijación de potasio es fuerte (en húmedo) con esta arcilla puede liberarlo debido a la capacidad de expansión que presentan este tipo de arcillas.

Otro mineral abundante son las micas, que son la principal fuente de potasio y donde la fijación de potasio parece ser insignificante.

TABLA 5. Análisis mineralógicos de las arcillas de los suelos estudiados.

Suelo Minerales	Dinda- lito	Santa Marta	Valle- dupar	Palmira	Chicoral	La Liber- tad
M. interes- trificados	X	X	X	X	X	X
Montmorillo- nita	—	X	X	X	—	tr.
Vermiculita	X	XX	XXX	XXX	X	X
Micas	XX	XXX	XXX	XXX	XX	XXXX
Caolinita	XX	XXXX	X	X	XX	XXXX
Cuarzo	XX	XX	XX	XX	X	XX
Dominante =	XXXX,			Abundante =	XXX	
Común =	XX			Presente =	X	
tr =	trazas			No hay =	—	

Sin embargo para el caso del suelo de La Libertad, donde predominan las micas y la arcilla del tipo 1:1, caolinita, arcilla poco expandible y de baja capacidad de intercambio catiónico, el suministro de potasio es muy bajo.

Según los datos presentados se puede ver que no siempre la cantidad de potasio intercambiable del suelo es una buena medida de la capacidad del suelo para suministrar potasio a las cosechas. Por ejemplo, para el caso del suelo Santa Marta cuyo contenido inicial de potasio intercambiable es muy bajo (0.09 m.e./100 g suelo), el potasio total de suministro para las diez cosechas fue de 0.692 m.e. K/100 g suelo. También es importante la tasa a la cual el potasio no intercambiable se convierte a la forma intercambiable.

La mayoría de los suelos estudiados agotaron el contenido de potasio intercambiable a través de las cosechas continuas lo que indica que ésta es la fuente inmediata de potasio para los cultivos de rápido crecimiento.

Por lo tanto es importante al hacer recomendaciones de fertilizantes potásicos tener en cuenta además del contenido de potasio intercambiable, el nivel crítico con el cual se pueden obtener máximos rendimientos sin la adición de potasio y la tasa a la cual se transforma el potasio de las formas no intercambiables a los intercambiables. Así vemos que para los suelos La Libertad y Santa Marta con contenidos iniciales de potasio intercambiable aproximadamente iguales

90.13 y 0.09 m.e./100 g, respectivamente), bajo cosechas continuas el suelo La Libertad liberó 0.057 m.e. K mientras que Santa Marta liberó 0.692 m.e.

CORRELACIONES ENTRE LOS DIVERSOS PARAMETROS ESTUDIADOS.

Se calcularon los coeficientes de correlación entre el rendimiento medido como peso (g/pote) y las diversas formas de potasio encontradas, los cuales aparecen en la Tabla 6. Según los resultados se encontró que el rendimiento de las plantas de maíz medido como peso seco (g/pote) tenía una correlación altamente significativa para el K extraído tanto con acetato de amonio como con ácido nítrico, lo mismo con el K removido por la cosecha, K suministro y K intercambiable tomado por las plantas.

Según estos coeficientes existen cierto grado de asociación más alta para el caso del K extraído con acetato de amonio, K-removido por la cosecha ($r = 0,65$) y K extraído con ácido nítrico ($r = 0,63$).

TABLA 6. Coeficientes de correlación entre peso seco, K-extraído por varios métodos, K-suministro, K-removido por la cosecha y K-intercambiable tomado por las plantas de maíz bajo condiciones de invernadero.

	Y : Peso seco (g/pote)
X_1 : K extraído con HNO_3	0.63**
X_2 : K extraído con $AcONH_4$	0.66**
X_3 : K suministro	0.49**
X_4 : K removido por la planta	0.66**
X_5 : K intercambiable tomado por las plantas	0.52**

La Tabla 7 relaciona los coeficientes de correlación para otros parámetros como K-suministro y K-removido por la cosecha con el K-extraído con otros métodos.

Para el caso del K-suministro existe mayor asociación con el K-extraído con acetato de amonio que con el K extraído con ácido nítrico y existe mayor grado de significancia con el contenido inicial ($r = 0.91^{**}$).

TABLA 7. Coeficiente de correlación entre K-suministro y el K obtenido con diferentes métodos; el K-removido por las cosechas de maíz y el K extraído por dos métodos.

	K- HNO_3	K- $AcONH_4$	K-intercambiable-contenido inicial
K-suministro	0.26	0.66	
K-removido por la cosecha	0.41	0.85	
Cantidad total de K-suministro			0.91

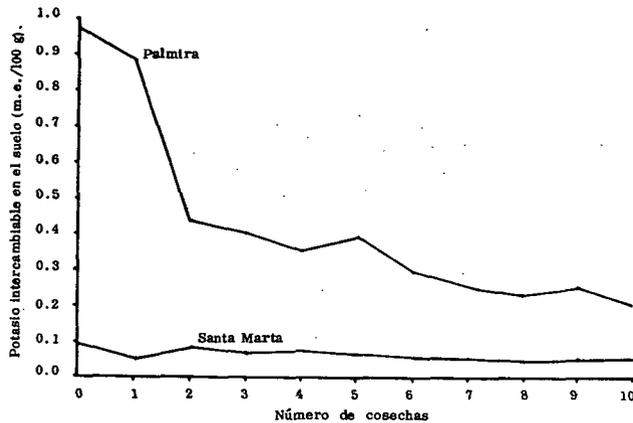


FIGURA 1. Contenido de potasio intercambiable en el suelo después de varias cosechas de maíz H-207.

Los coeficientes de correlación entre los valores de K en el suelo obtenidos con diferentes métodos, se representan en la Tabla 8.

Las correlaciones son altamente significativas cuando se compara el K intercambiable extraído con ácido nítrico y el K extraído con HCl 0.05N + H₂SO₄ 0.025N ($r = 0.95$) y el extraído con H₂SO₄ 0.15N ($r = 0.97$). También existe buen grado de asociación entre el K extraído por el método de Alabama y el método de Kentucky ($r = 0.98$). Sin embargo para el caso del K extraído con acetato de amonio y el determinado con ácido nítrico, el coeficiente de correlación es muy bajo ($r = 0.36$).

Cuando se trata de correlacionar el K extraído con HNO₃ con los otros métodos, el coeficiente de correlación también es bajo ($r = 0.40$).

Por lo que aquí respecta el método de extracción con ácido nítrico no es un método que presente buen grado de asociación con los otros parámetros estudiados. Por lo tanto, el método que mejor correlacionó es cuando el K se extrae con acetato de amonio.

Las Figuras 2 y 3 presentan la relación del potasio removido por las cosechas de maíz y el potasio en el suelo al extraerlo con ácido nítrico y acetato de amonio normal, respectivamente.

TABLA 8. Coeficientes de correlación entre K del suelo determinado por diferentes métodos.

Solución extractora	Métodos analíticos			
	AcONH ₄	Suministro	Alabama	Kentucky
AcONH ₄	--	0.36	0.95	0.97
HNO ₃	--	--	0.40	0.40
HCl 0.05N + H ₂ SO ₄ 0.025N	--	--	--	0.98
H ₂ SO ₄ 0.15N	--	--	--	--

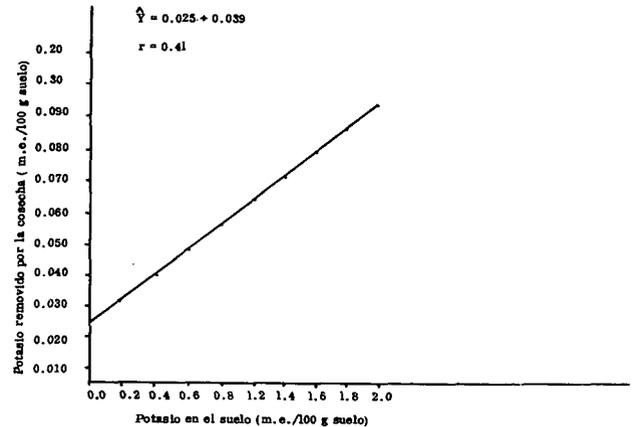


FIGURA 2. Relación entre el potasio removido por el maíz y el potasio en el suelo al extraerlo con ácido nítrico.

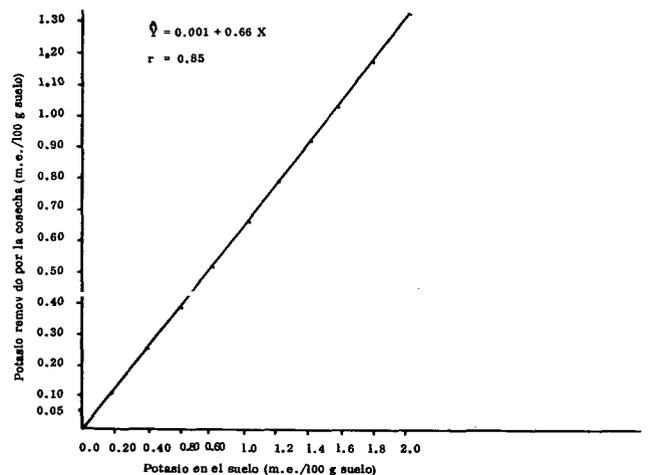


FIGURA 3. Relación entre el potasio removido por el maíz y el potasio en el suelo al extraerlo con acetato de amonio normal.

RESUMEN

Para este estudio se sometieron 6 suelos de diferentes regiones de Colombia, a cosechas intensivas de maíz H-207 bajo condiciones de invernadero con el objeto de determinar su capacidad para suministrar potasio. Se determinó el potasio intercambiable extraído con acetato de amonio normal neutro, ácido sulfúrico 0.15N y una mezcla de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico 0.05N y 0.025N respectivamente; el potasio de suministro con ácido nítrico normal. La cantidad de potasio extraído por estos métodos se determinó al iniciar el ensayo y después de cada cosecha de maíz hasta completar un total de diez cosechas consecutivas. Estas cantidades se compararon con la cantidad de potasio removido por la cosecha y la cantidad de potasio liberado (suministro de potasio). Los suelos variaron ampliamente en su capacidad para suministrar potasio, haciéndose una división en capacidad de suministro baja, media y alta correspondiendo el valor más bajo para el suelo La Libertad (0.057 m.e./100 g suelo) y el valor más alto para el suelo de Palmira (1.63 m.e./100 g suelo).

La cantidad de potasio extraído con acetato de amonio

al comenzar el experimento presentó una mejor correlación con el potasio removido por la cosecha que con el ácido nítrico normal. El coeficiente de correlación entre el potasio removido por la planta y el potasio extraído con acetato de amonio normal fue de 0.85. El coeficiente de correlación entre el potasio removido por la planta y el potasio extraído con el ácido nítrico normal fue 0.41.

También se encontró una correlación bastante alta entre la cantidad total de K suministrado durante las diez cosechas y el contenido inicial de potasio extraído con acetato

de amonio. El coeficiente de correlación fue de 0.91.

La correlación entre potasio de suministro y potasio extraído con ácido nítrico y acetato de amonio normal fue baja, encontrándose coeficientes de 0.26 y 0.66, respectivamente.

El potasio extraído con acetato de amonio presentó correlaciones altamente significativas con los métodos de Alabama ($r = 0.95$) y Kentucky (0.97), sin embargo la correlación con el potasio extraído con ácido nítrico fue baja ($r = 0.36$).

BIBLIOGRAFIA

1. AHENKORAH, Y. Potassium supplying power of some soils of Ghana cropped to cacao. *Soil Sci.* 109(2):127-135. 1970.
2. ARNOLD, P.W. Capacidad de suministro de potasio en algunos suelos ingleses. *Rev. de la potasa.* 4(5):1-5. 1960.
3. BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L. E. y CLARK, F.E. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. American Society of Agronomy, Wisconsin, 1965. 798 p.
4. ————: Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Wisconsin, 1965. 1569 p.
5. DUTHION, C. El potasio en el suelo. *Rev. de la potasa.* 4(43):8-13. 1968.
6. EKPETE, D.M. Predicting response to potassium for soils of eastern Nigeria. *Geoderma.* 8(2/3):177-189. 1972.
7. FRYE, A. y LEAL, H. Los estados del potasio y su relación con la fijación y la fertilización en algunos suelos del Tolima. *Agric. Trop. (Colombia).* 27(2):57-70. 1970.
8. JACKSON, M.L. Análisis químico de suelos. 2a. ed. Omega, Barcelona, 1964. 662 p.
9. KAMPRATH, E.J. Soil acidity and response to liming. North Carolina State University. 1967. 17p. (Bull. Técnico, 4).
10. MARIN, G.; McCLUNG, A.C. y LUENGAS, A. La capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio. *Rev. Agric. Trop. (Colombia).* 23(2):89-102. 1967.
11. MARTIN, J.A. y SUAREZ, A. Potassium state of some Costa Rica latosoles and andosols and their response to potassium fertilization under greenhouse conditions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39(1):74-80. 1975.
12. PAGE, N.R.; THOMAS, G.W.; PERKINS, H.F. and ROUSE, R.D. Procedures used by state soil. Southern cooperative series, 1965. 49 p. (Bull. 102).
13. SCHEFFER, F. y SCHACHTSCHABEL, P. Los elementos nutritivos para las plantas en el suelo: El potasio. *Corporación Nacional de Fertilizantes.* 5(5-6):26-37. 1967.
14. WAUGH, D.L. y FITTS, J.W. Soil test interpreting studies: Laboratory and potted plant. *International Soil Testing.* 1966. 33p. (Bull. Tech. 3).
15. WIKLANDER, L. El potasio en los suelos cultivados en la provincia de Skane (Suecia). *Rev. de la potasa.* 5(18):1-12. 1961.

CAPACIDAD DE RESTITUCION DE POTASIO EN SUELOS ANDINOS DE NARIÑO*

Carlos Arteaga M. ** y Ricardo Guerrero R. ***

1. INTRODUCCION

La disponibilidad de potasio para la planta se estima, corrientemente, mediante la determinación en el laboratorio de K-cambiable. Este parámetro, aunque describe con alguna aproximación la capacidad del suelo para suministrar K a la planta durante su ciclo vegetativo, dice poco o nada acerca de la capacidad de abastecimiento de K a largo plazo.

El potencial de un suelo para suministrar K-disponible a largo plazo se puede estimar mediante la determinación de la capacidad con que el suelo repone el K que ha sido extraído por la planta o por un extractante adecuado en el laboratorio. A este parámetro de la disponibilidad se le conoce como factor restitución el cual, junto con los factores intensidad y capacidad, constituye la trilogía conceptual vigente para describir la disponibilidad de nutrimentos para la planta.

De los suelos andinos de Colombia se sabe que tan solo una escasa proporción (16o/o) son potencialmente deficientes en potasio (7). Sin embargo, poco o nada se sabe sobre su poder para restituirlo una vez ha sido removido del sistema suelo. De allí el interés del presente estudio.

2. REVISION DE LITERATURA

Las diferentes formas de potasio en el suelo tienden a estar en equilibrio dinámico. Así, entre el potasio adsorbido a las micelas o complejo de cambio (K-intercambiable) y el potasio en la solución del suelo (K-solución) se presentan intercambios permanentes, y toda alteración en la concentración de la solución del suelo implica una modificación de este equilibrio (2, 25).

De acuerdo a Reitemeier (21), existen evidencias incuestionables en el sentido de que, bajo determinadas condiciones, la fracción no intercambiable del potasio puede reponer el que ha sido removido de las fracciones soluble e intercambiable. El K-soluble es rápidamente utilizado por la planta y, por ello, su nivel tiende a bajar, aún en los suelos más fértiles, siendo entonces reabastecido por el K-cambiable y éste, a su vez, por el K-no cambiable, manteniéndose así un equilibrio.

Kaila (10) sostiene que la reposición de potasio se efectúa mediante dos procesos:

- a) Meteorización de los minerales primarios
- b) Liberación del K-fijo en la red cristalina de las arcillas.

Las dos principales fuentes mineralógicas de potasio no intercambiable en los suelos son los feldspatos y las micas. La biotita, debido a su menor resistencia a la meteorización, es más capaz de liberar potasio aprovechable que la musco-

vita y la hortoclasa (1, 21). De otra parte, la liberación del K-no cambiable depende también del tamaño de la partícula que contiene el mineral potásico, siendo ésta una relación inversa (20), y del estado de meteorización del mineral (23).

Distintos autores, citados por Black (1), han obtenido evidencias experimentales del fenómeno de liberación de K en condiciones de laboratorio. Sin embargo, los estudios sobre el particular en suelos del trópico son escasos.

En tres grandes grupos de suelos de Costa Rica, Suarez (23) encontró que, después de 120 días de incubación en húmedo, la secuencia y la magnitud con que los suelos restituyeron potasio fue la siguiente:

Andosoles (71 kg/ha) > Aluviales (51 kg/ha) > Latosoles (16 kg/ha).

Dicho autor conceptúa que las cifras anteriores son bajas, ya que los suelos restituyeron, en promedio, tan solo entre el 9o/o y el 17o/o del K-intercambiable original.

Para el caso de suelos aluviales de Colombia, Marín y sus colaboradores (13) encontraron que su capacidad para liberar K era adecuada, pero advierten que si los suelos fueran sometidos a cultivos intensivos y continuos, en poco tiempo se presentarían deficiencias de este elemento.

Diferentes investigadores se han interesado también en estudiar el fenómeno de restitución de K en relación a su absorción por la planta.

Así, Tabatabai (24) demostró, bajo condiciones de invernadero, que varias gramíneas después de 758 días de corte continuo absorbieron cerca de 24 veces más potasio que el que había originalmente en el suelo en estado aprovechable. Esta evidencia sumada al hecho de que al final del experimento el nivel de K-cambiable no había sufrido una modificación substancial, dió base para concluir que se presentó una liberación de K desde la fracción no cambiable.

Hemingway (6) comprobó, bajo condiciones de campo, el fenómeno de restitución de K observado en invernadero. Sin embargo, indica que bajo estas circunstancias el proceso tiende a ser más lento.

Reitemeier (21), en su revisión bibliográfica sobre el potasio, y Black (1) en su tratado clásico sobre las relaciones suelo-planta, coinciden en las siguientes conclusiones acerca del fenómeno de restitución de K en los suelos:

- a) Los distintos suelos difieren acentuadamente en su capacidad de restituir potasio.
- b) La intensidad del fenómeno de liberación de K, desde la fracción no cambiable, no depende ni de la concentración de K-total ni de la de K-intercambiable.
- c) El K-fijo en las arcillas es, en general, más fácilmente liberado que las formas nativas no cambiables.
- d) Las plantas absorben K desde la solución del suelo y la fracción cambiable.

e) Si el potasio soluble y cambiable no son capaces de sostener la absorción de K por la planta, habrá una rápida liberación del elemento desde la fracción no cambiable, pero esta restitución se detendrá tan pronto las plantas cesen de extraer potasio.

* Trabajo realizado dentro del Programa de Investigación en Suelos. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto.

** Ingeniero Agrónomo.

*** Profesor Asociado. Univer

f) Una vez se ha iniciado el flujo de K desde la fracción no cambiante, el nivel de K-intercambiable permanece aproximadamente constante sin importar la magnitud de la remoción adicional.

g) Para un mismo suelo, la liberación de K-no intercambiable es mayor bajo condiciones de cultivo que en muestras incubadas sin planta.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 SUELOS

El estudio se desarrolló en muestras provenientes del Altiplano de Ipiales, el cual está localizado en la cuenca interandina Colombo-Ecuatoriana y enclavado entre las cordilleras Centro-oriental y Occidental. Es una región de clima frío, con una temperatura media entre 12 y 13°C y una altitud entre 2800 y 300 m. La precipitación promedio anual está entre 800 y 1000 mm/año. Ecológicamente se ubica dentro de las formaciones bosque húmedo y subhúmedo montano (3, 4). Geológicamente el Altiplano está conformado por esquistos cloríticos, micasitas, andesitas y tobas de edad Cenozoica (8).

Los suelos estudiados se han desarrollado de materiales volcánicos. Una buena proporción de ellos se han formado sobre arena de origen fluvio-volcánico y otros se han derivado de arena mezclada con ceniza volcánica. Son suelos del tipo A-C que, de acuerdo a la Clasificación Americana, podrían ubicarse dentro de los Inceptisoles, suborden Tropept. Su textura es franco a franco-arenosa. El pH (agua 1:1) oscila entre 4,9 y 6,0. M.O (Walkley-Black) : 3,0 - 13,2o/o; N-total (Kjeldhal) : 0,14 - 0,74o/o; CIC (NH₄OAc 1N pH 7) : 11,4 - 41,7 me/100g; K-camb. : 0,33 - 1,2 me/100g; Ca-camb. : 2,46 - 6,49 me/100g; Mg-camb. : 1,6 - 3,1 me/100g; Al-camb. : 0,19 - 0,27 me/100g.

3.2 METODOS

El K-total se determinó siguiendo la técnica de Jackson y Sherman (9). El K-no intercambiable se determinó mediante cuatro extracciones sucesivas con HNO₃ 1N, conforme a la técnica de McLean (12). La fracción más soluble del K-no intercambiable se calculó, de acuerdo al mismo autor, restándole a la suma de las dos primeras extracciones la suma de las dos últimas. El K-intercambiable se extrajo con NH₄OAc 1N pH 7, según Schollemberger y Simon (22). El K-estructural se determinó por diferencia entre el K-total y la suma del K-cambiable y el K-no cambiante.

La capacidad de restitución de potasio se determinó por duplicado, siguiendo la técnica descrita por Suarez (23). De cada suelo se tomaron tres pares de muestras de 10 g cada una y se procedió a efectuarles dos extracciones sucesivas del K-cambiable con NH₄OAc 1N pH 7. Después de la segunda extracción, las muestras fueron incubadas en húmedo a la temperatura ambiente del laboratorio, durante 30 días (primer par), 60 días (segundo par) y 90 días (tercer día), períodos al cabo de los cuales se determinó el K-intercambiable restituido.

Tanto en el fraccionamiento del K como en la determina-

ción de la capacidad de restitución del elemento, el potasio se determinó en los extractos mediante espectrofotometría de llama.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 FRACCIONES DE POTASIO

La Tabla 1 recoge los resultados obtenidos para las diferentes fracciones de potasio en los suelos estudiados.

El K-total osciló entre 2.524 y 6.117 ppm, siendo el promedio de 4.631 ppm. El promedio de K-estructural fue de 3.728 ppm, que significa un 80o/o del K-total. El K-no intercambiable total arrojó un promedio de 598 ppm, de las cuales 504 correspondieron a su fracción más soluble. El K-cambiable osciló entre 131 ppm (0,33 me/100 g) y 474 ppm (1,2 me/100 g), en tanto que el K-soluble en agua varió entre 15 y 65 ppm.

De los resultados anteriores resulta evidente que el Altiplano de Ipiales, tiene en promedio, menor contenido de reservas totales de potasio que el Altiplano de Pasto (8.226 ppm) (18) y la Sabana de Túquerres (6.596 ppm) (5). Igualmente, la concentración promedio de K-total está alejada de los altos valores encontrados en andosoles de Costa Rica por Martini y Suarez (15), cuyo promedio fue de 7.051 ppm. Dentro de los Altiplanos Andinos del sur de Colombia, la menor concentración de K-total en Ipiales se explica en razón de las diferencias en el mineral potásico presente. Mientras en el Altiplano de Pasto el mineral predominante es la hortoclasa, en los suelos de Ipiales abunda la biotita (*), cuya concentración de K es más baja que en el feldespato potásico.

El contenido de K-no cambiante en los suelos estudiados duplica, en promedio, la concentración de K-intercambiable, lo cual, conforme al criterio de McLean (12), indicaría una reserva mediata adecuada de este elemento.

De otra parte, resalta el hecho de que más del 80o/o del K-no cambiante está dentro de la fracción más soluble, lo cual denota en primer lugar una dinámica intensa en la liberación de K desde la fracción no cambiante y, en segundo lugar, una alta susceptibilidad de los suelos estudiados a perder K por lixiviación. Estos resultados también encuentran su explicación en la naturaleza del mineral potásico, ya que, como se sabe, la biotita, por ser más susceptible a la meteorización, libera el K con mayor facilidad que la muscovita o la hortoclasa (21).

La alta susceptibilidad relativa a la lixiviación del K en los suelos del Altiplano de Ipiales ya ha sido comprobada bajo condiciones de laboratorio. En efecto, Ordoñez (19) encontró que lavados con 100 ml/día de HCl 0,1N causaron en 10 días la lixiviación de todo el K-cambiable, pero el lavado del primer día fue suficiente para desplazar cerca del 90o/o del total. Comparativamente, en suelos del Altiplano de Túquerres (5) y del Altiplano de Pasto (18) en el primer día tan solo se consiguió lavar entre un 20 y un 30o/o del total lixiviado en 10 días, denotando así una me-

* Información personal. Dr. Carlos Luna Z., Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.

TABLA 1 – FRACCIONES DE POTASIO ORIGINALES EN LOS SUELOS ESTUDIADOS (Datos en ppm)

SUELOS	K-TOTAL	K-Estruc- tural	K-No Cambiable				K-Soluble En H ₂ O
			TOTAL	Fracción más Soluble	K-Interc. NH ₄ OA _c N	K-Inerc. NH ₄ O ₃ ,1N	
Fupiales 1	2524,95	2197,49	158,01	99,65	180,95	169,45	24,01
Fupiales 2	2561,27	2138,39	240,87	184,19	192,09	182,01	28,34
Ipiales 1	4138,20	3406,38	432,34	338,68	284,50	299,48	36,37
Ipiales 2	3050,84	2142,87	788,64	653,74	131,01	119,33	15,36
Puerres 1	5901,93	4840,00	659,30	558,74	423,25	402,55	47,80
Puerres 2	5359,74	4281,58	718,43	623,07	362,17	359,73	36,36
Gualmatán 1	4764,57	3520,67	785,56	700,30	457,54	454,34	57,56
Gualmatán 2	5174,44	4366,33	475,92	407,78	342,56	332,19	60,26
Carlosama 1	6117,42	5041,81	642,25	549,91	474,80	433,36	65,69
Carlosama 2	5812,52	4720,20	746,71	635,71	388,07	345,61	41,47
Contadero	5540,46	4352,63	939,29	798,45	260,71	248,54	26,93
PROMEDIO	4631,48	3728,03	598,86	504,56	317,96	304,59	40,01

nor susceptibilidad a la lixiviación, explicable por la dominancia de K en forma de feldespato.

Si bien por el momento la facilidad de liberación de K en los suelos estudiados puede considerarse como una condición favorable al suministro de K a los cultivos, a la larga esta circunstancia puede tonrarse en perjudicial ya que puede llegar al agotamiento de este elemento, máxime cuando la capa subyacente de arena en el Altiplano favorece la lixiviación. Al respecto, se considera prudente tomar medidas adecuadas de manejo, tales como la fertilización potásica de mantenimiento, especialmente para el caso del cultivo de la papa que, como se sabe, extrae cantidades altas de este elemento.

4.2 CAPACIDAD DE RESTITUCION DE POTASIO

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para la capacidad de restitución de potasio en diferentes períodos de incubación.

Los suelos experimentales, después de 30 días de incubación, restituyeron un promedio de 33,5 Kg/Ha \pm 3,68; a los 60 días el promedio fue de 34,7 Kg/Ha \pm 15,36 y a los 120 días de 30,1 \pm 4,36 Kg/Ha.

La restitución de potasio, expresada como porcentaje del K-intercambiable original fue, en promedio, 5,2o/o, 5,4o/o y 4,7o/o, después de 30, 60 y 120 días de incubación, respectivamente. Esto nos indicaría que de cada 100 Kg/Ha de K-cambiable original, solamente 5 Kg/Ha fueron restituidos al complejo de cambio.

En general, la capacidad de restitución fue muy homogénea entre los diferentes suelos estudiados y prácticamente la intensidad del fenómeno fue independiente del tiempo de incubación, aunque tiende a incrementarse ligeramente a los 60 días y a decaer un tanto a los 120 días. Esta situación podría interpretarse en el sentido de que se generó una tendencia a conseguir un equilibrio en el proceso a los 30 – 60

días, en tanto que a los 120 días la tendencia aparente es hacia una fijación de K.

La capacidad de restitución de potasio en los suelos del Altiplano de Ipiales es, en promedio, inferior a la determinada por Suarez (23) en algunos andosoles de Costa Rica, cuyo promedio fue de 71 Kg/Ha a los 60 días de incubación. Esta diferencia está seguramente asociada con el tipo y grado de meteorización del mineral potásico dominante, conforme lo sugiere Martini (14). En efecto, la fracción más soluble del K-no cambiable es mayor en los andosoles de Costa Rica (754 ppm) que en los suelos de Ipiales (504 ppm), lo cual implica una mayor capacidad de liberación de K en aquellos que en éstos.

Las cifras de restitución obtenidas en el presente estudio, aunque en promedio serían suficientes para sostener una cosecha de cebada, avena o trigo (11), podríán considerarse bajas si se toma en cuenta la escasa proporción del K-cambiable original que se restituyó a las posiciones de cambio. Sin embargo, es evidente que la metodología utilizada no permite cuantificar la restitución real de potasio, pues el flujo de K ocurrió hasta tanto se llegó a un equilibrio en el proceso y luego se detuvo, conforme lo sugieren los resultados obtenidos. Esto significaría que si el K-restituído es extraído del sistema, de nuevo ocurriría un flujo de K análogo al anterior.

Conforme lo sugieren las evidencias experimentales recogidas por Black (1) y Reitemeier (21), bajo condiciones de campo el cultivo estará extrayendo potasio en forma continua y, así, el flujo de restitución del elemento desde los sólidos del suelo será también continuo, hasta tanto el cultivo suspenda la absorción de K o sea cosechado.

En consecuencia, el método utilizado para determinar la restitución de K en el presente estudio, debe considerarse solamente como indicativo de la capacidad de restitución. Una mejor aproximación a la realidad se conseguiría si una misma muestra de suelo es sometida a extracciones sucesivas

de K, imitando así la extracción del cultivo. En estas circunstancias, se daría oportunidad al suelo de expresar un poder de restitución más cercano al real.

4.3 EFECTO DE ALGUNOS FACTORES EDAFICOS SOBRE LA CAPACIDAD DE RESTITUCION DE POTASIO

En la Tabla 3 se incluyen los coeficientes de correlación (r) y los porcentajes de asociación obtenidos entre algunas variables del suelo y la capacidad de restitución de potasio.

Un mayor contenido de arcilla en los suelos significó un incremento en la intensidad de la restitución ($r = 0,80^{**}$), en tanto que con el porcentaje de arena ($r = 0,56^*$) y el porcentaje de limo ($r = -0,66^*$) las relaciones fueron inversas. Los resultados sugieren que conforme el suelo se torna arcilloso aumenta su capacidad de reabastecimiento de K, lo cual coincide con la opinión de varios autores (14, 20, 21, 23, 24). Lo contrario ocurre cuando aumenta el contenido de arena y limo.

El contenido de C-orgánico relacionó en forma inversa con la restitución de K ($r = 0,66^*$), efecto que parece ser indirecto, fruto de la relación inversa detectada entre el o/o de arcilla y el o/o de C-orgánico ($r = 0,88^{**}$). La reacción del suelo, cuantificada mediante el pH (agua 1:1) y la con-

centración de Al-cambiable, parece no tener mayor ingerencia sobre la restitución, al menos dentro del ámbito de pH de los suelos experimentales (5, 1 – 6,0).

Con respecto a las fracciones de K, la intensidad de restitución no relacionó con el K-total ($r = 0,09^{ns}$), lo cual supone que la liberación de K desde la fase sólida del suelo no

depende de las reservas totales del elemento, coincidiendo con los postulados de Black (1) y Reitemeier (21). De la misma manera, el proceso tendió a ser independiente de la concentración original de K-cambiable ($r = 0,50^{ns}$) y de K-soluble en agua ($r = 0,34^{ns}$), aunque se insinúan relaciones directas no detectables estadísticamente.

La capacidad de restitución relacionó directamente con la fracción de K-no cambiable total ($r = 0,74^{**}$) y K-no cambiable más soluble ($r = 0,80^{**}$), de donde se deduce que la intensidad del flujo de K dependió en un 55o/o de la concentración de K-no cambiable total y en un 64o/o de su fracción más soluble.

La Figura 1 muestra como las mayores cantidades de K restituído coinciden con las más altas concentraciones de K-no cambiable total y de su fracción más soluble, lo cual, desde el punto de vista práctico, da base para concluir que el

TABLA 2 – CAPACIDAD DE RESTITUCION DE POTASIO EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

SUELO		K-cambiable original (Kg/Ha)*	RESTITUCION DE K					
			30 DIAS		60 DIAS		120 DIAS	
			Kg/Ha*	o/o**	Kg/Ha*	o/o**	Kg/Ha*	o/o**
Pupiales	1	385,6	32,0	8,8	33,0	9,1	29,1	8,0
Pupiales	2	417,4	37,0	9,6	31,0	8,0	25,6	6,6
Ipiales	1	604,3	33,8	5,9	34,8	6,1	30,5	5,3
Ipiales	2	181,4	32,7	12,4	37,3	14,2	20,7	7,9
Puerres	1	875,8	34,6	4,0	38,0	4,5	34,6	4,0
Puerres	2	753,5	41,4	12,7	41,4	12,8	37,3	5,1
Gualmatán	1	940,3	34,6	3,7	49,0	5,3	30,3	3,3
Gualmatán	2	706,4	31,9	4,6	28,7	4,1	27,6	4,0
Carlosama	1	979,5	29,9	3,1	39,8	4,1	34,1	3,5
Carlosama	2	802,8	27,2	3,5	36,6	4,7	29,8	3,8
Contadero		541,6	33,6	6,4	43,5	8,3	32,1	6,1
Promedio		662,7	33,5	5,2	34,7	5,4	30,1	4,7

* Calculado para una densidad aparente promedio de 1,0 g/cm³ y para 20 cm. de profundidad.

** En base al K-cambiable original.

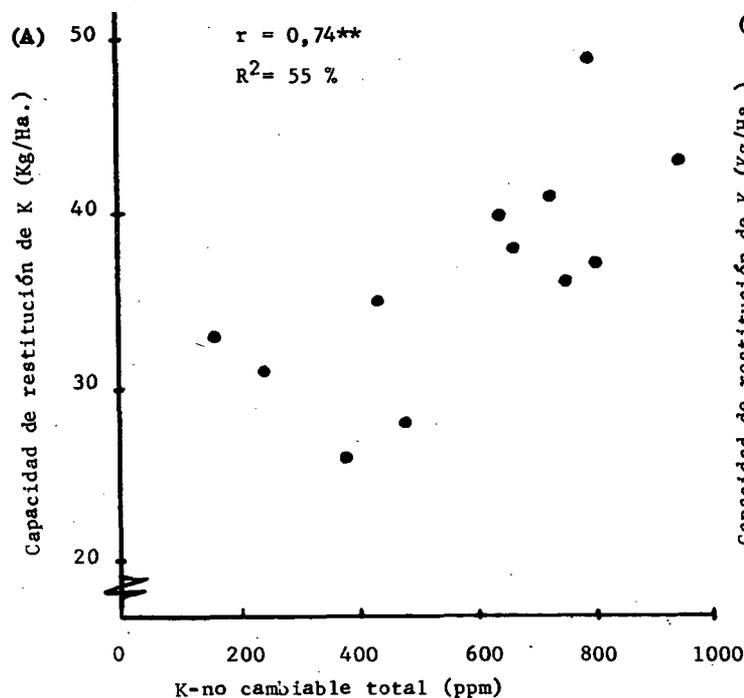
TABLA 3 – COEFICIENTES DE CORRELACION Y PORCENTAJES DE ASOCIACION ENTRE LA CAPACIDAD DE RESTITUCION DE POTASIO Y ALGUNAS VARIABLES EDAFICAS

VARIABLE (X)	RESTITUCION DE POTASIO (Y)	
	r	R ²
o/o Arcilla	0,80**	64o/o
o/o Arena	-0,56*	31o/o
o/o Limo	-0,66*	43o/o
o/o C. orgánico	-0,66*	43o/o
Al-cambiable	-0,25 ^{NS}	6o/o
pH	0,36 ^{NS}	13o/o
K-cambiable original	0,50 ^{NS}	25o/o
K-total	0,09 ^{NS}	0o/o
K-no cambiable total	0,74**	55o/o
K-no cambiable más soluble	0,80**	64o/o
K-soluble en agua	0,34 ^{NS}	11o/o

* Significativo al 95o/o

** Significativo al 99o/o

^{NS} No significativo.



proceso de restitución del elemento ocurrió desde estas fracciones, particularmente desde la más soluble del potasio no cambiabile.

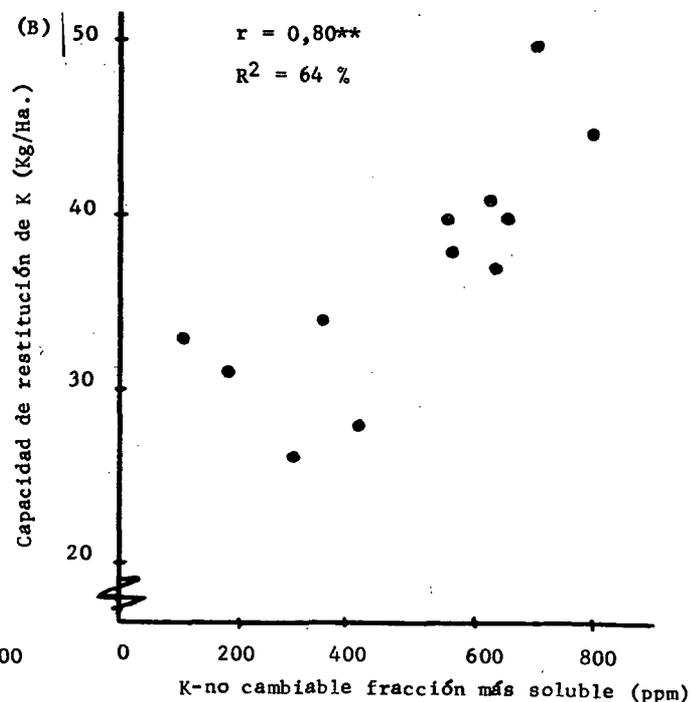
En ese mismo orden de ideas, los resultados indican que la determinación del K-no cambiabile en el laboratorio realizada mediante extracciones sucesivas (cuatro) con HNO₃ 1N, según el método de McLean (12), constituye una metodología confiable para estimar la reserva mediata de potasio para los cultivos, al igual que para evaluar la capacidad del suelo para reabastecer con K las posiciones de cambio, una vez el elemento ha sido utilizado o lixiviado.

Vistos los altos niveles de disponibilidad actual (K-cambiable), así como los adecuados contenidos en sus reservas mediatas (K-no cambiabile) y su relativa facilidad para liberar K desde los minerales potásicos, los suelos del Altiplano de Ipiales no requieren, por el momento, fertilización potásica distinta de la necesaria para mantener su "estatus" potásico actual. Los resultados experimentales obtenidos por Muñoz, et al (16) y Muñoz, Wieczorek y León (17) han demostrado que en los suelos andinos de Nariño la cebada y el trigo no responden o lo hacen negativamente a la fertilización potásica, confirmando, así, la apreciación anterior.

5. CONCLUSIONES

1. Los suelos del Altiplano de Ipiales tiene, en promedio, menor contenido de K-total que sus homólogos de los Altiplanos de Pasto y Túquerres. La reserva mediata (K-no cambiabile) se considera adecuada, al igual que su disponibilidad actual (K-camb.).

FIGURA 1. Correlación entre la concentración de K-no cambiabile (A), su fracción más soluble (B) y la capacidad de restitución de potasio en suelos del Altiplano de Ipiales.



2. Más del 80% del K-no cambiante correspondió a su fracción más soluble, lo que denota en los suelos estudiados una relativa facilidad para reabastecer de K a las posiciones de cambio, pero también una alta susceptibilidad a la lixiviación.

3. A los 60 días de incubación, período en el cual tendió a conseguirse un equilibrio en el proceso, los suelos restituyeron entre 28 y 49 Kg/Ha de K a la fracción cambiante, lo cual representó entre 4,5% y 14,2% del K-cambiable original.

4. La capacidad de restitución de los suelos estudiados se considera relativamente baja, aunque en promedio sería suficiente para sostener una cosecha de trigo, cebada o avena. Sin embargo, es claro que la metodología utilizada tan solo provee un índice de la capacidad real de abastecimiento.

5. La textura del suelo es el factor edáfico más importante en la regulación del proceso de restitución de K, existiendo una relación directa con el contenido de arcilla e inversa con los de arena y limo. Por el contrario, la reacción del suelo, para un rango de pH entre 5,1 y 6,0, no influyó sobre la intensidad del fenómeno.

6. La capacidad de reabastecimiento de K fue independiente de la concentración de K-total, K-cambiable y K-soluble. En cambio, dependió directamente de la concentración de K-no cambiante y de la de su fracción más soluble, de donde se infiere que tales fracciones del elemento constituyen un buen estimativo, tanto de sus reservas mediatas, como de la capacidad de restitución.

7. Bajo las condiciones actuales se piensa que las necesidades de fertilización potásica en los suelos del Altiplano de Ipiales se reduciría a la requerida para mantener su "estatus" potásico actual.

6. RESUMEN

En suelos volcánicos del Altiplano de Ipiales (Nariño) se determinó, bajo condiciones de laboratorio, su capacidad de restitución de potasio en relación a las fracciones del elemento. A los 60 días de incubación, período en el cual tendió a conseguirse un equilibrio en el proceso, los suelos restituyeron entre 28 y 49 Kg/Ha de K-intercambiable, con un promedio de 34 Kg/Ha que representó el 50% del K-intercambiable original. Estas cifras se consideran relativamente bajas, aunque suficientes para sostener una cosecha de trigo, cebada o avena. Sin embargo, es claro que la metodología utilizada tan solo provee un índice de la capacidad real de restitución.

La textura fue el factor edáfico más importante en la regulación del proceso de restitución de K, el cual guardó una relación directa con el % de arcilla ($r = 0,80^{**}$) e inversa con los contenidos de arena ($r = -0,56^{**}$) y limo ($r = -0,66^{**}$). Por el contrario, la reacción del suelo, para un rango de pH (agua 1:1) entre 5,1 y 6,0, no influyó sobre el proceso.

La capacidad de reabastecimiento de K fue independiente de las concentraciones de K-total, K-intercambiable y K-soluble en agua, pero, en contraste, mostró una asociación directa con los contenidos de K-no cambiante ($r =$

$0,74^{**}$) y de K-no cambiante fracción más soluble ($r = 0,80^{**}$). En consecuencia, se interpreta que las formas de K-no cambiante constituyen un buen estimativo de las reservas a corto y mediano plazo de este elemento, así como de su capacidad de restitución.

Los altos niveles de disponibilidad inmediata (K-cambiable) y de reservas mediatas (K-no cambiante), así como su relativa facilidad para reabastecer con K las posiciones de cambio, permiten pensar que durante algún tiempo las necesidades de fertilización potásica en los suelos estudiados se reduciría únicamente a la requerida para mantener su "estatus" actual.

7. BIBLIOGRAFIA

1. BLACK, C.A. 1967. Soil-Plant relationships. 2th. ed. New York. Wiley. 792 p.
2. CHAVALIER, M. 1971. Principales aspectos que presenta la nutrición potásica de los vegetales. Revista de la Potasa 15 (53) : 1-21.
3. CHAVES, M., et al. 1959. Atlas de Nariño. Bogotá, Ministerio del Trabajo. p. irr.
4. ESPINAL, T.L. y MONTENEGRO, E. 1963. Formaciones Vegetales de Colombia. Memoria explicativa del Mapa Ecológico. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 201 p.
5. FEUILLET, B.C. y FEUILLET, A.C. 1971. Fraccionamiento de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos de la Sabana de Túquerres, bajo condiciones de pradera. Tesis de Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad De ciencias Agrícolas. 109 p.
6. HEMINGWAY, R.G. 1963. Soil and herbage potassium levels in relation to yield. Journal of the Science of food and Agriculture 14 : 188-195.
7. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1971. Generalidades sobre la Fertilidad de los Suelos Colombianos. Bogotá, ICA. Boletín Técnico No. 11. 24 p.
8. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 1967. Atlas de Colombia. Bogotá, IGAC. 263 p.
9. JACKSON, L.M. and SHERMAN, G.D. 1953. Chemical eating of minerals in soils. Advances in Agronomy. 5 266-297.
10. KAILA, A. 1966. Fijación de potasio en suelos Finaleses. Revista de la Potasa 4(35): 1-11.
11. LAWTON, K. and COOK, R.I. 1954. Potassium in plant nutrition. Advances in Agronomy 6 : 253-303.
12. McLEAN, A.J. 1961. Potassium supplying power of some Canadian soils. Canadian Journal of Soil Science 4 : 196-206.
13. MARIN, A.G., et al. 1967. La capacidad de varios suelos Colombianos para suministrar potasio. Agricultura Tropical 23 (2) : 88-101.
14. MARTINI, J.A. 1966. Caracterización del estado del potasio en seis suelos de Panamá. Fitotecnia Latinoamericana 3 (1-2) : 163-186.
15. MARTINI, J.A. and SUAREZ, A. 1975. Potassium status of some Costa Rica Latosols and Andosols and their response to potassium Fertilization under greenhouse conditions. Soil Science Society of American Proceedings 39(1): 74-80.
16. MUÑOZ, A.R., et al. 1974. Fertilización del Trigo (*Triticum sativum*, L.), en suelos influenciados por cenizas volcánicas del Departamento de Nariño, Colombia. Revista ICA 9 (4): 389-402.

17. MUÑOZ, A.R., WIECZORECK, A. y LEON, S.L. 1973. Respuesta de la cebada (*Hordeum vulgare*) a diferentes dosis de fertilizantes en suelos influenciados por cenizas volcánicas en Nariño. Revista ICA 8(3): 261-271.
18. ORDOÑEZ, G.H. y BLASCO, L.M. 1971. El potasio en los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas 3(1) : 29-38.
19. ORDOÑEZ, F.E., 1972. Fraccionamiento del potasio en suelos del Altiplano de Ipiales. Tesis de Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 72p.
20. PRATT, P.F. 1952. Release of potassium from non-exchangeable forms from size fractions of several Iowa soils. Soil Science Society of America Proceedings 16 : 25-29.
21. REITEMEIER, R.F. 1951. Soil Potassium. Advances in Agronomy 3 : 113-164.
22. SCHOLLEMBERGER, C.J. and SIMON, M. 1945. Determination of exchange properties of soil by ammonium acetate method. Soil Science Society of America Proceedings 9 (1) : 14-27.
23. SUAREZ, H.A. 1968. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis de M. Sc. Turrialba, IICA-CTEI. 305 p.
24. TABATABAI, M.A. and HANWAY, J.J. 1969. Potassium supplying power of Iowa soils at their "minimal" levels of exchangeable potassium. Soil Science Society of America Proceedings 33(1) : 105-109.
25. TISDALE, S.L. and NELSON, W.L. 1966. Soil Fertility and Fertilizers. 2th. ed. New York, McMillan. 694 p.

LA COMPARACION DE 5 METODOS QUIMICOS DE ANALISIS DEL POTASIO ASIMILABLE CON 2 METODOS BIOLOGICOS EN 7 SUELOS DE SERIES FRECUENTES EN BOYACA

*Hanke, F.; Contreras, P.E.
Galvis, R.A.; Amaya, Julio C.

En Colombia siempre se ha usado el método de intercambio catiónico con acetato de amonio para la determinación del potasio disponible para los cultivos.

Varias tesis en la Facultad de Agronomía de Tunja sin embargo demostraron buena respuesta a una fertilización con este elemento, a pesar de que la cantidad de potasio analizado en el Laboratorio por este método fue alta.

Eso nos indujo a hacer un análisis crítico de la disponibilidad del Potasio en las principales y más importantes series de suelos de Boyacá y especialmente incluyendo aquellas, donde hemos observado discordancias del crecimiento con los análisis de Laboratorio.

Las muestras correspondientes a los suelos se tomaron en la capa arable en una profundidad entre 20 y 30 cm de los suelos siguientes:

- 1) Un suelo de la serie Cabrera a 4 km de Tunja en la carretera a Bogotá.
- 2) Un suelo de la serie Cogua a 7 km de Tunja en dirección a Paipa.
- 3) Un suelo de la serie Río Chicamocha a 9 km de Tunja al margen derecho de la carretera a Paipa.
- 4) Un suelo de la serie Monas, localizado en la vereda San Jacinto en el municipio de San José de Pare.
- 5) Un suelo de la serie Zocal de la vereda del Centro del Municipio de Moniquirá.
- 6) Un suelo de la serie Nemocón en los terrenos de Fernalce en Tunja.
- 7) Un suelo de la serie Boyacá, ubicado en Tunja en la carretera a Paipa a 150 metros del Seminario.

Todos estos suelos como se ve en la Tabla No. 1 son ácidos y muy ácidos. El suelo de la serie Cabrera es orgánico y el de la serie Boyacá es muy pobre en humus.

El suelo de la serie Monas tiene un contenido orgánico alto y los otros suelos un contenido medio.

El suelo de la serie Nemocón tiene una saturación alta de bases; los de las series Boyacá, Zocal y Río Chicamocha una saturación media y los restantes suelos una saturación baja.

Con excepción del suelo de la serie Río Chicamocha con un contenido medio de Potasio los otros suelos son ricos en este elemento según el método del potasio intercambiable.

El contenido de fósforo es medio en los suelos de las series Cabreras, Monas, Zocal y Nemocón y bajo en los suelos de las series Cogua, Río Chicamocha y Boyacá. El contenido en aluminio intercambiable es alto hasta muy alto en la serie Monas con excepción de las series Nemocón y Boyacá.

Los suelos de las series Cogua, Río Chicamocha, Monas, Zocal y Nemocón son arcillosos, el de la serie Río Chicamocha es arcillo arenoso, el de la serie Boyacá es franco arenoso y el de la serie Cabrera es orgánico.

B. METODOS ANALITICOS

a) METODOS BIOLOGICOS.

Para el análisis biológico de la disponibilidad del Potasio del suelo se usaron el método de Neubauer-Schneider y el de Jenny.

En el método de Neubauer-Schneider se mezclan 100 g de suelo con 50 g de arena gruesa y se coloca en vasos cilíndricos o cuadrados de vidrio con una superficie de 100 cm² (11,8 cm de diámetro y 6,5 cm. de alto). Se moja el suelo con 80 ml de agua destilada (si el suelo es liviano con solo 70 ml) y se esparce la mitad de la arena por encima del suelo, después se siembran en distancia igual (por medio de una tabla con 100 puntillas) 100 semillas de centeno (95% de germinación) y se tapan con la otra mitad de arena fina mo-

* U.P.T.C. Facultad de Agronomía, Tunja.

TABLA No. 1 – CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

No. Serie	Condición	pH H ₂ O	o/o KCl PW	o/o C.O.	o/o M.O.	Nitrógeno m.e./100g	Bases cambiables		Totales m.e./100 gr.		P ppm Bray II	Saturación			
							Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio		Ca	Mg	Na	K
1 Cabrera	Cultivo (papa)	4.45	3.98	10.13	16.33	28.15	1.32	5.50	0.20	1.10	15.84	8.87	0.806	0.322	1.774
2 Cogua	Soca	4.35	3.50	3.00	1.89	3.26	0.29	4.00	0.10	0.45	3.91	20.00	1.250	0.500	2.250
3 Río Chicamocha	Pradera	4.80	3.50	2.40	1.32	2.27	0.30	6.50	1.25	0.20	9.59	36.11	6.940	1.111	1.11
4 Monas	Cultivo (caña)	4.32	3.45	5.18	3.29	5.67	0.51	4.50	0.50	0.10	17.78	13.23	1.470	0.294	2.205
5 Zocal	Cultivo (caféyuca)	4.90	3.80	3.91	2.59	4.46	0.43	5.50	0.50	0.175	14.61	27.50	2.500	0.875	4.750
6 Nemocón	En preparación	6.50	5.50	9.08	1.84	3.17	0.30	11.50	3.00	1.10	23.94	44.23	11.538	4.230	7.115
7 Bojacá	Pradera	5.80	4.55	1.86	0.86	1.48	0.20	2.50	T	0.06	3.60	41.66	T	1.00	6.60

No.	C.I.C. real	o/o Saturación Bases	H	Al m.e./100 gr.	C.E. mohos	Carbonatos	Bicarbonatos m.e./100 gr.	Cloruros m.e./100 gr.	TEXTURA			DENOMINACION TEXTURAL		
									o/o Arenas	o/o Limos	o/o Arcillas			
1	62.00	11.77	T	1.60	0.695	T	2.0	4.70	61.78	16.50	21.72	Franco Arcillo-arenoso		
2	20.00	24.00	T	1.00	0.211	T	2.0	2.35	25.78	16.50	57.72	Arcilloso		
3	18.00	45.27	T	0.80	0.206	T	2.0	1.70	50.38	16.90	32.72	Arcillo-arenoso		
4	34.00	17.19	T	3.40	0.266	T	3.0	2.85	30.78	25.50	43.72	Arcilloso		
5	20.00	35.62	T	1.00	0.402	T	2.5	2.90	26.78	21.50	51.72	Arcilloso		
6	26.00	67.00	T		1.021	T	3.5	3.80	32.32	20.00	47.72	Arcilloso		
7	6.00	49.26	T		0.288	T	4.0	2.45	67.28	29.80	2.92	Franco arenoso		

T: Trazas

jada, después de tres (3) días deben aparecer las plantitas después de 5 días hay que agregar el agua perdida hasta completar el peso inicial y así se hace diariamente hasta el día décimo séptimo. En este día se efectúa la cosecha. Se cosecha inclusive raíces. Para eso se cogen las plantas de los tallos y por encima de un tamiz de perforaciones de un (1) mm. de diámetro se invierte el vaso y se lava el suelo. Cuando las plantas están limpias se lava con agua destilada. Después se secan en una estufa y se incineran en una mufla a una temperatura de 500°C. Nitrato de amonio agregado a la masa orgánica facilita la combustión completa. A la ceniza se agregan 2 ml de ácido nítrico y se deja en reposo durante 4 horas. Después se afora a 100 ml y se determina calorimétricamente el fósforo de la solución y por espectrofotometría de llama el potasio.

Neubauer presenta para los cultivos de clima frío las can-

tidades límites de K₂O y de P₂O₅ siguientes que se presentan en la Tabla No. 2.

Para cada miligramo faltante del nutriente correspondiente hay que fertilizar el suelo en las cantidades siguientes del nutriente puro para los diferentes cultivos:

CULTIVO	K ₂ O kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha
Cebada	6,0	30
Trigo	7,5	"
Centeno y Avena	10,0	"
Papa	12,5	"
Remolacha azucarera	16,7	"
Remolacha forrajera	"	"
Colza y trebol rojo	10,0	"
Alfalfa, potreros y praderas	"	"

(El aprovechamiento del potasio se calculó con 60o/o).

TABLA No. 2 – NUTRIENTES ABSORBIDOS Y CIFRAS LIMITES EN DIFERENTES CULTIVOS, SEGUN NEUBAUER

Cultivo	Cosecha T/Ha.	Nutrientes absorb. por cosech.		Cifras límites	
		H ₂ O Kg/Ha.	P ₂ O ₅ Kg/Ha	K ₂ O mg/100g. suelo	P ₂ O ₅ mg/100g. suelo
CEBADA	2.8	68.0	28.0	19.0	5.0
AVENA	3.0	94.0	41.0	16.0	4.0
TRIGO	3.0	68.0	38.0	15.0	4.0
CENTENO	2.8	80.0	40.0	13.0	4.0
TREBOL ROJO	6.0	113.0	28.0	19.0	4.0
PAPA	24.0	210.0	45.0	28.0	5.0
REMOLACHA					
AZUCARERA	30.0	188.0	45.0	19.0	5.0
R. FORRAJERA	60.0	293.0	53.0	29.0	6.0
COLZA	2.8	88.0	68.0	15.0	7.0
ALFALFA	10.0	150.0	64.0	25.0	7.0
HENO DE PRADERA	6.0	113.0	38.0	19.0	4.0

Para regiones en general de Neubauer las cifras límites siguientes:

	K ₂ O mg/100 g suelo	P ₂ O ₅ mg/100g. suelo
Grupo I pobre	0,0–15,0	
Grupo II Medio	15,1–25,0	
Grupo III Alto	–25,0	

Del método de Jenny se escogieron solo los niveles para la determinación de la falta de potasio.

Para eso se colocan en las macetas, 1,6 kg de suelo y se aplican las soluciones nutritivas siguientes:

15 ml de una solución de 20,44 g de sulfato de amonio y 12,35 g de nitrato de amonio por litro (15 ml = 100 N/ha).

15 ml de una solución de fosfato monocálcico hidratado en cantidad de 7,69 g/ltr. (15 ml = 100 Kg/ha).

10 ml de una solución de 1 g. de MgSO₄ 7 N₂O / ltr. (= 15 kg/ha).

2,6 g de CaCO₃ para 4 macetas (= 1 t/ha).

15 ml de una solución de 8 g de sulfato de potasio por litro (= 100 kg/ha) solo a los suelos de la primera y el doble a los de la segunda dosis de fertilización con potasio.

Además se aplicaron en los tratamientos los elementos menores en cantidades propuestas por Jenny.

Como planta indicadora no se usó la lechuga romana como originalmente propuesta por Jenny sino rabanitos rojos. Estas se sembraron directamente en las materas y a los ocho días se dejaron solo 4 matas por matera.

Para ver la influencia del Potasio se realizaron 4 paralelas de los tratamientos siguientes:

1. Testigo absoluto en arena sin fertilizantes.
2. Tratamiento N₂ P₂ K₀ Ca₂ Mg₂ S₅
3. Tratamiento " " K₁ " " "
4. Tratamiento " " K₂

Se cosechó a las 8 semanas se pesaron las cosechas y se compararon así los restauídos pero además se analizó el contenido de Potasio en los rabanitos.

b) METODOS QUIMICOS

Como métodos químicos de extracción del potasio aprovechable se usaron los siguientes:

1. El Potasio intercambiable
2. Bray II
3. Barbier
4. Egner–Riehm
5. Schachtschabel

El Potasio intercambiable se determina con 30 ml de acetato de amonio 1 N en 5 g de suelo, agitando durante 10 minutos y dejando intercambiar durante una noche. Después se lava el suelo 5 veces con cada vez 20 ml de acetato de amonio 1 N. En el filtrado se determina el potasio por espectrofotometría de llama.

La solución extractora de Bray II (0.03 N NH₄F y 0.025 N HCl) se usó en las cantidades indicado por Bray (50 ml/2,85 g suelo) y se determinó en el extracto el potasio por medio del espectrofotómetro de llama.

El método de Barbier usa como solución extractora el ácido cítrico de 20/o. Se extrae el potasio como el fósforo de 30 g de suelo con 150 ml de la solución. Se agita durante 4 horas y se determina el potasio después de 16 horas en reposo por medio del espectrofotómetro de llama.

El método de Egnér–Riehm usa una solución de lactato de calcio de 0.04 N y 0.02 HCl para extraer el fósforo y potasio del suelo. Para eso se usan 250 ml de la solución extractora y 5 g de suelo y se agitan durante hora y media, después se filtra y se determina el fósforo y potasio en el filtrado.

Este método clasifica la fertilidad de los suelos en potasio de la manera siguiente:

Buena	10 mg K ₂ O/100 g suelo
Medio	10,1 – 20 mg K ₂ O/100 g. suelo
Alto	20 mg K ₂ O / 100 g suelo.

El método de Schachtschabel usa una mezcla de 80/o de acetato de amonio con 20/o de doxalato de amonio así que el amonio de la solución sea 1 N. Se determina el potasio por disolver en una extracción en proporción de suelo a la cantidad de solución como 1:2,5. Se lleva a calor de ebullición y se filtra. El potasio se determina por medio del espectrofotómetro de llama.

Como no solo el potasio intercambiable es disponible para los cultivos sino hay suministro de potasio mineral en unos suelos, hubo que investigar también cuales suelos tienen buena cantidad de potasio disponible del no intercambiable.

Para este fin puede repetirse el método de Neubauer 3 a 4 veces. Además existe propuesto por Neubauer el método siguiente:

Se siembran al lado de los 100 g de suelo solo 50 g de suelo con 100 semillas de centeno. El potasio suministrable (K_s) se calcula de la manera siguiente:

$$K_s = \frac{J_1 - J_2}{J_1 - J_2}$$

donde J₁ es el Potasio extraído por las 100 semillas de las 100 g de suelo y J₂ es el potasio extraído de las 50 g.

D.W. Koltermann y E. Truog determinan el potasio suministrable mineral en 5 g de suelo que saturan con iones de amonio y se calienta después durante 10 minutos a 500PC. Por esta medida se amplían los bordes de los minerales de arcilla o de las micas y una parte del potasio fijado en el interior entra en intercambio. Por fin se lava el suelo con 5 porciones de 20 ml de acetato de amonio y en el extracto se determina el potasio que entró en intercambio.

L.K. Wood y E.E. Turk tratan para este fin 5 g de suelo con 20 ml de ácido nítrico a calor de ebullición durante 10 minutos. Se lava cinco veces con 20 ml de acetato de amonio y en el extracto se determina el potasio intercambiable mas el disponible por medio de espectrofotometría de llama.

Schachtschabel utiliza para la determinación del Potasio aprovechable 5 g de suelo a los cuales agrega HCl 1N y calienta a 50°C durante 20 horas sin agitar, se lava después el suelo y se determina en el extracto el potasio.

Para determinar la fijación de potasio por el suelo se utilizó el método de Zehler. Se agitan 10 g de suelo durante 30 minutos en 25 ml de una solución de KCl de 0,11 N. Des-

pués se lava el suelo con cloruro de amonio o acetato de amonio hasta que el filtrado ya no contiene potasio, en el filtrado se determina el potasio.

K fijado = K agreago - K en el filtrado

C. RESULTADOS Y DISCUSION

a) INTERPRETACION GENERAL:

Los métodos biológicos de Neubauer y de Jenny dieron resultados proporcionales entre sí (vea Tabla No. 3).

En la interpretación general de los resultados de Neubauer existen 5 categorías:

Pobre Valores menores a 15 mgK₂O/100 g de suelo
0,32 me K/100 g de suelo

Medio entre 15 y 25 mg de K₂O /100 g de suelo
= 0,32 y 0,54 me K/100 g de suelo

Alto valores mayores de 25 mg K₂O/100 g de suelo
" " 0,54 me K/100 g de suelo

Según estas categorías no hay ningún suelo entre los aquí analizados que es de la categoría alta en Potasio. El suelo de la serie Cabrera y el de la Serie Nemocón pertenecen a la categoría media. El resto de los suelos tienen un contenido bajo.

El método de Jenny demuestra que en la serie Cabrera,

Cogua, Río Chicamocha y Boyacá hay respuesta a una fertilización con Potasio.

Estos resultados están en total discrepancia con la interpretación común y corriente que se da a los resultados de la extracción de Potasio intercambiable. Según esta, todos estos suelos tienen un contenido alto en Potasio y no necesitan una fertilización en este elemento. (Valores mayores a 0.30 me/100 g de suelo).

Los otros métodos de extracción química, con excepción del método de Schachtschabel dan resultados homólogos con los del método de Neubauer. El método de Schachstchabel falló especialmente en las series Monas, Río Chicamocha y Bojacá.

b) INTERPRETACION DE LOS SUELOS SINGULARES

En los resultados del suelo de la serie Cabrera hay actualmente suficientes cantidades de Potasio según el método de Neubauer. Pero el método de Jenny demuestra en la primera aplicación de este nutriente un aumento de la cosecha en 42o/o. Entonces se justifica una aplicación moderada en este elemento. Los tres (3) métodos del suministro de Potasio no intercambiable demuestran la existencia de ciertas reservas. El método convencional del Potasio intercambiable indica una riqueza en este elemento en la interpretación

TABLA No. 3 - RESULTADOS DE EXTRACCION DE POTASIO EN me/100 gr SUELO.

		SERIE							
Métodos	Unidad	Cabrera 1	Cogua 2	RChicamocha 3	Monas 4	Zocal 5	Nemocón 6	Bojacá 7	Testigo en Arena
BIOLOGICOS									
Neubauer	me/100 gr.suelo.	0.712	0.235	0.143	0.407	0.535	0.562	0.078	0.156
Jenny	Ko	0.737	0.197	0.081	0.129	0.753	0.267	0.039	
	K1	0.940	0.282	0.069	0.048	0.610	0.201	0.043	0.0065
	K2	0.677	0.218	0.087	0.044	0.432	0.161	0.030	
QUIMICOS									
Bray II	me/100 gr.suelo.	10.835	5.473	2.526	7.157	10.526	13.866	1.684	
Acetato de Amonio		1.872	0.649	0.649	0.987	1.767	2.523	0.884	
Barbier		0.855	0.340	0.125	0.425	0.750	0.835	0.150	
Lactato de Calcio		1.390	0.395	0.295	1.675	1.070	1.590	1.150	
Schachstschabel		0.170	0.087	0.377	0.100	0.170	0.255	0.185	
D.W. Kolter Man y E. Truog.	K. suminis- trable	0.584	0.464	0.550	0.890	0.560	1.558	0.060	
Schachstschabel		1.620	3.940	0.800	1.220	1.220	1.320	0.800	
L.K. Wood y E.E. Turk		0.800	0.940	6.020	0.940	1.080	3.240	1.360	
Fijación	m.e./100 g.	0.197	-	0.744	0.637	0.819	1.740	0.696	

común, resultado que es contrario a los hechos. La fijación de Potasio es baja (7,88o/o).

En el suelo de la serie Cogua el método del acetato de Amonio indica un alto contenido de Potasio en el suelo, pero del método de Neubauer resulta, que el suelo es pobre en este elemento y el método de Jenny logró un aumento en la cosecha en 49o/o con la primera dosis de Potasio. Los demás métodos químicos suministraron resultados proporcionales. El Potasio de suministro lento es bajo, con excepción de los resultados por el método de Schachtschabel. Este suelo no fija Potasio.

El resultado del análisis del potasio intercambiable es otra vez alto en el suelo de la serie de Río Chicamocha. El método de Neubauer demuestra al contrario, que este suelo es todavía más pobre en este elemento. El método de Jenny da solo en la segunda dosis de Potasio cierta pequeña respuesta a una fertilización con Potasio. La fijación da un resultado de respuesta a una fertilización con Potasio. La fijación da un resultado de 9,8o/o lo que seguramente es la causa de la pobre respuesta a la fertilización. El suministro de Potasio no intercambiable es bajo según los métodos de Koltermann y de Schachtschabel, pero alto según el método de Wood y Turk.

También en el suelo de la serie Monas resulta por el método del acetato de Amonio una cantidad alta existente de Potasio. Al contrario el método de Neubauer demuestra una cantidad baja de Potasio, pero mayor que en los dos suelos anteriores, lo cual resulta también por los otros métodos químicos. El método de Jenny no logró un crecimiento ma-

yor por una fertilización. El método para analizar la fijación demuestra aquí también una fijación alta de 25,4o/o. El suministro de Potasio no intercambiable es bueno según los tres métodos correspondientes.

En los suelos de la serie Zocal y Nemocón hay una cantidad media de Potasio asimilable según los métodos de Neubauer, Barbier, Egnér-Riehm y Schachtschabel y un contenido altísimo de Potasio intercambiable. Pero el método de la fijación indica una ración mayor de 32,78o/o. El método de Jenny no logró por eso aumentos por una fertilización con este elemento. Al contrario los tres métodos de determinar el Potasio de suministro lento prometen reservas altas.

El suelo mas pobre en Potasio es según la mayoría de los métodos con excepción del Potasio intercambiable, del método de Barbier y de él de Schachtschabel, el suelo de la serie de Bojacá. La fijación es de 27,82o/o y el suministro lento es bueno según Wood y Turk pero bajo según Koltermann-Troug y Schachtschabel.

D. CONCLUSIONES

El análisis estadístico por correlación y por ecuaciones de regresión demuestra que los métodos químicos de Barbier, de Egnér-Riehm y de Bray II dan correlaciones altamente significativas (al 1o/o) con el método biológico de Neubauer, mientras que el método del acetato de Amonio da solo una significancia al 5o/o. El último método es en-

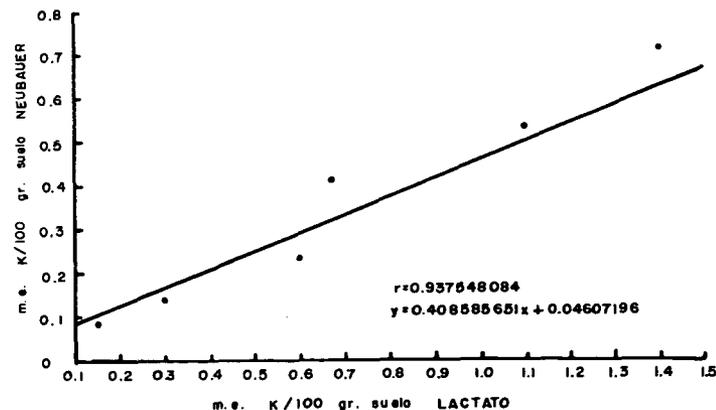
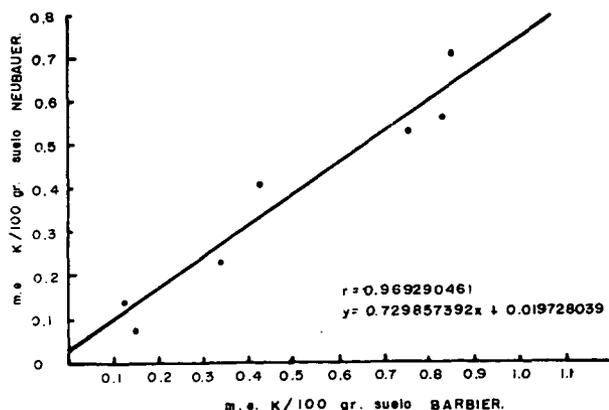
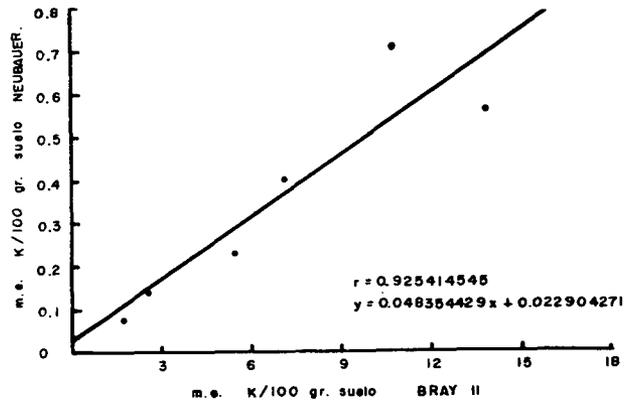
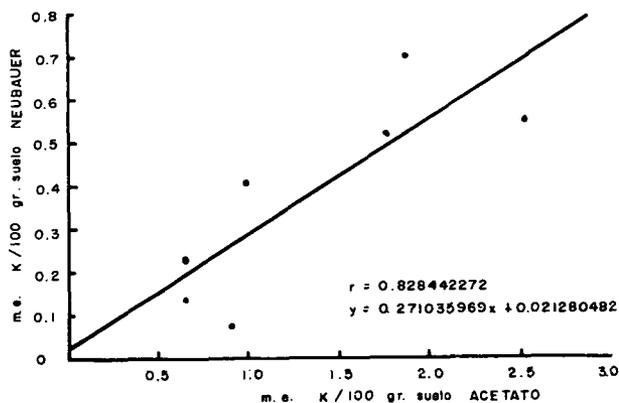


FIGURA 1. CORRELACION Y ECUACION DE REGRESION ENTRE DIFERENTES METODOS DE EXTRACCION DE POTASIO.

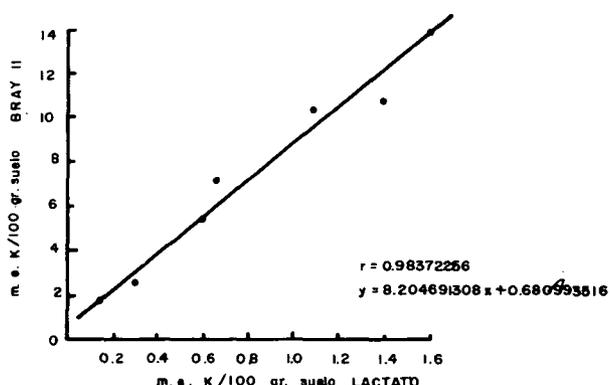
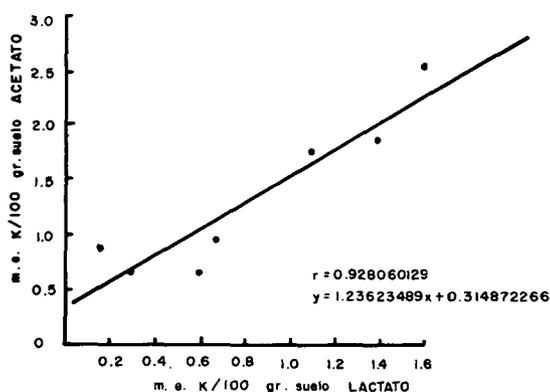
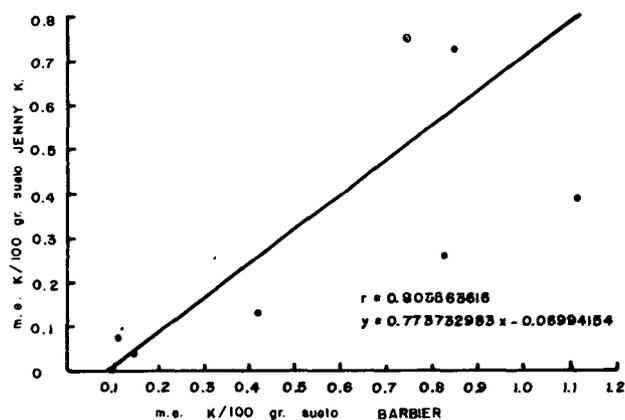
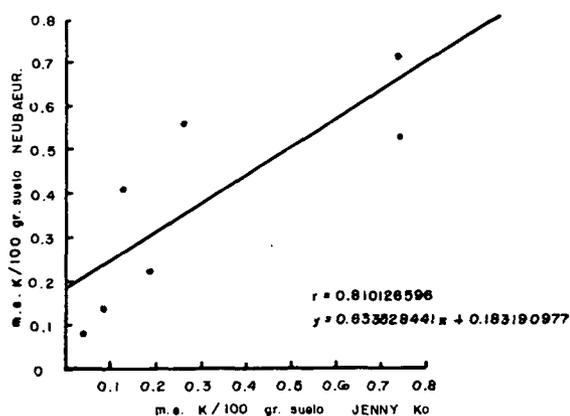


FIGURA 2. CORRELACION Y ECUACION DE REGRESION ENTRE DIFERENTES METODOS DE EXTRACCION DE POTASIO.

tonces menos adecuado y como llevó a unas conclusiones contrarias a la realidad, hay que usarlo con suma reserva (ver figuras 1 a 4).

La estadística demuestra además, que los métodos de Barbier, Egnér-Riehm y de Bray II no difieren mucho entre sí en su correlación mutua, pero su correlación con el método de Potasio intercambiable es mayor menor (50/o).

El método de Jenny sin aplicación de Potasio dio correlación significativa al 50/o con el método de Neubauer y de Barbier, pero no con los otros métodos, este hecho es fácilmente explicable, porque todos los métodos usan el suelo así como se presenta, mientras que en el método de Jenny se han agregado todos los otros nutrientes menos el Potasio. La mejor absorción del Potasio fue así fomentado.

El método químico de Schachtschabel ni dio correlación significativa con ningún otro método, por esto hay que descartarlo para el uso en los suelos Boyacenses. Este método falló especialmente en suelos de bajo contenido orgánico y de alta fijación.

La observación consta además que en estos mismos suelos falló también el método del Potasio intercambiable.

Los métodos químicos para la determinación del Potasio fácilmente suministrable no dieron resultados homólogos. Pero solo el método de Koltermann-Troug presenta los resultados del solo Potasio mineral de suministro lento, por-

que en este método se ha removido antes el Potasio intercambiable más el de fácil suministro. Por eso hay entre estos dos correlación al 100/o entre sí.

En las series Río Chicamocha y Cabrera los resultados del lento suministro por los métodos de Schachtschabel y de Wood-Turk no concuerdan con los métodos biológicos. El método analítico de la fijación del Potasio demuestra que los suelos mas bajos en materia orgánica fijan en mayor grado el Potasio.

Es de anotar, que son también los mismos suelos fijadores de Potasio, donde falló el método del Potasio intercambiable en las recomendaciones de fertilizantes. Para dar conceptos más acertados en este sentido, hay que determinar paralelamente la fijación de Potasio. Esto es necesario en suelos con bajo contenido en materia orgánica. Además resulta para estos suelos la duda en la exactitud de la determinación de la capacidad de intercambio catiónico por medio de acetato de Amonio, porque suelos que fijan potasio, fijan también Amonio. Entonces resultan capacidades de intercambio mayores y saturaciones menores de los reales. En estos casos la capacidad de intercambio debe determinarse por medio de acetato de bario y no de Amonio.

Los métodos de Neubauer y de Egnér-Riehm traen su propia interpretación que se mencionó en la parte metodológica. En analogía al método de Neubauer, que fue nuestro patrón de standardización de los otros métodos, debe inter-

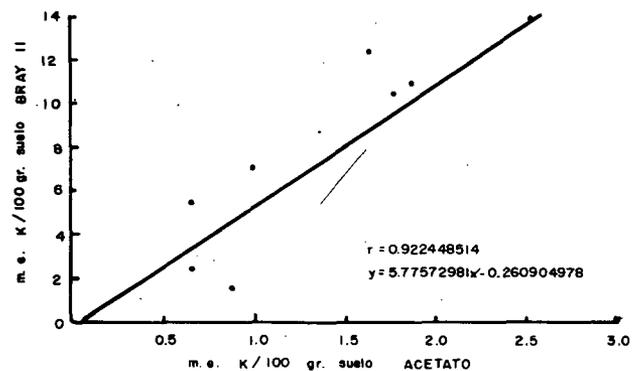
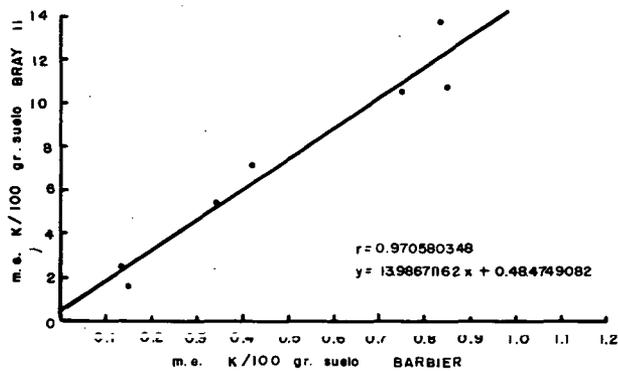
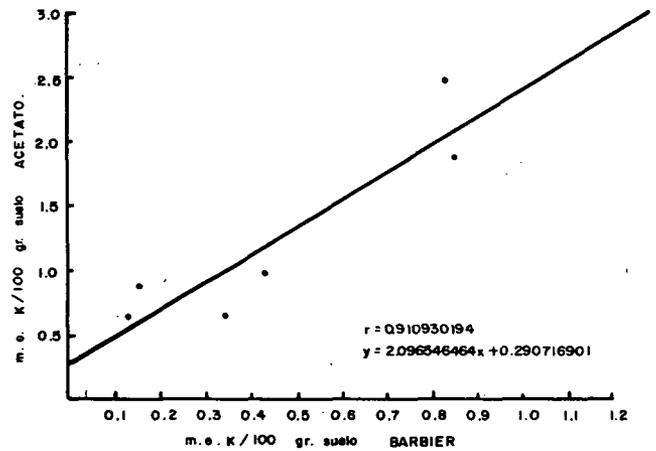
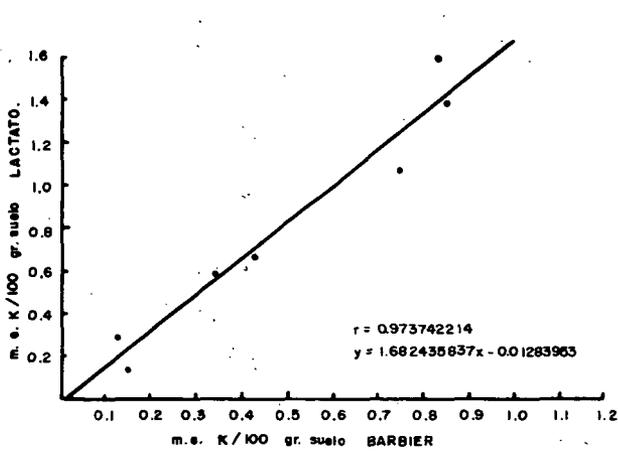


FIGURA 3. CORRELACION Y ECUACION DE REGRESION ENTRE DIFERENTES METODOS DE EXTRACCION DE POTASIO

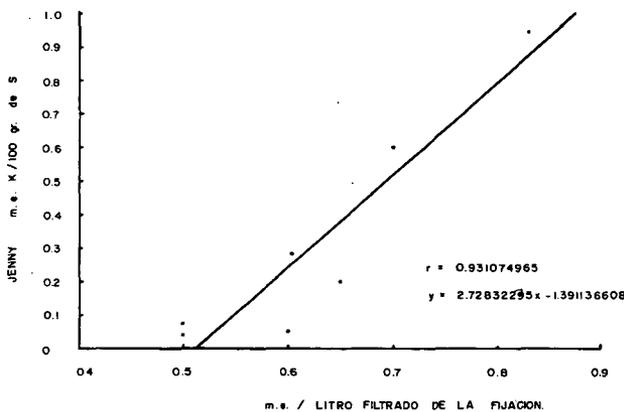


FIGURA 4. FIJACION DE POTASIO, PORCENTAJE DE LA CONCENTRACION OFRECIDA.

E. RECOMENDACIONES

Se sugiere abandonar la práctica de dar recomendaciones de fertilización con Potasio a base del análisis del Potasio intercambiable. Donde se quiere mantener este método, hay por lo menos que elevar los niveles críticos de la manera siguiente:

K me/100 g de suelo	Clasificación
1.75	Alto
1.0 - 1.75	Medio
1.0	Bajo

Como todos los laboratorios del país hacen análisis del Fósforo asimilable por el método de Bray II se recomienda hacer en el mismo extracto el análisis del Potasio aprovechable para las plantas. Esto no aumenta mucho el trabajo y reduce los costos.

Los métodos de Barbier y de Egnér-Riehm parecen solo muy poco mas precisos que el de Bray. Su introducción exige mas trabajo en los laboratorios si no se introduce al mismo tiempo la determinación del fósforo en estas mismas nuevas soluciones, pero esto exige un estudio muy profundo en todo el país sobre la aplicabilidad de estos métodos en los diferentes suelos.

De cualquier manera los resultados son un valor local y

pretarse el método de Barbier de la manera siguiente:

K me/100 g de suelo	Clasificación
0.7	Alto
0.4 - 0.7	Medio
0.4	Bajo

exigen un estudio paralelo en todo el país. Pero analizar el lado del método del Potasio intercambiable el Potasio también el extracto de Bray II no aumenta muchos los costos pero da mas seguridad en las recomendaciones y las experiencias de los resultados estandarizan los métodos. Se puede al principio recomendar la aplicación de las dosis más altas en una parte de las parcelas correspondientes y exigir informes. En suelos de fijación no se tendrá éxito hasta no se saturen las posiciones de fijación en los minerales. En estos casos puede resultar más barata una aplicación de Potasio foliarmente al tiempo con una fumigación.

Para los niveles de fertilización con Potasio sugiere la lógica de usar los niveles estudiados por Neubauer y transformarlos en me de Potasio extraídos en la solución de Bray II. Eso resulta por la ecuación de regresión de los valores límites de Neubauer para los diferentes cultivos de clima frío que se dan en miligramos de K₂O encontrados en 100 g de suelo por el método de Neubauer y en la abscisa nos resulta la gráfica No. 5. Así nos resultan las cifras límites de Potasio en la solución de Bray II. en m.e./100 g de suelo:

Cultivo	Cifra límite en m.e./200 g suelo
Centeno	5.0
Trigo y Colza	6.0
Avena	6.5
Pasto, Trébol y Cebada	8.0
Alfalfa	10,5
Papa	12.0

Estos datos exigen también un estudio detallado para su comprobación en varias regiones, pero los asistentes técnicos pueden aportar sus experiencias en un solo año.

Se sugiere además un estudio de los cultivos de Clima ca-

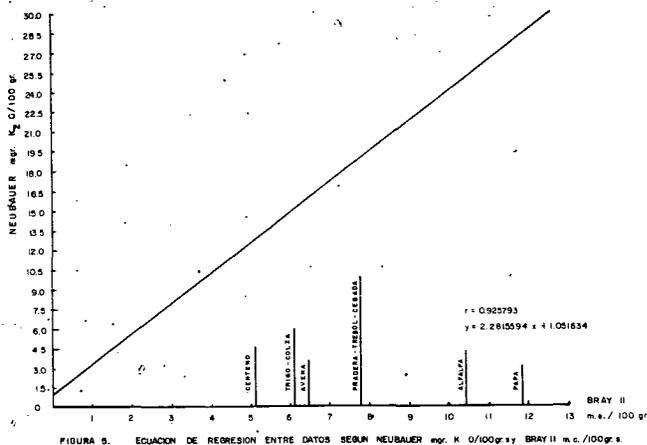


FIGURA 5. ECUACION DE REGRESION ENTRE DATOS SEGUN NEUBAUER mg. K₂O/100 gr y BRAY II m.e./100 gr.

liente, para delimitar sus cifras límites y su factor de aprovechamiento del Potasio de los fertilizantes, que deben estandarizarse con métodos biológicos.

En el clima frío se propone al momento de agregar al suelo las cantidades de Potasio, que sugiere Neubauer. Por cada medio miliequivalente faltante en el valor límite extraído con la solución de Bray II resultan las fertilizaciones siguientes:

Cultivo	Fertilizantes en Kg/ha
Cebada	6.0
Trigo	7.5
Centeno y avena	10.0
Papa	12.5
Colza y Tebol rojo, Alfalfa y pastos	10.0

BIBLIOGRAFIA

- BEMRENS, W.V. "Mathematische Grundlagen und Verfahren der Auswertung von Versuchsergebnissen". Methodenbuch Band X. Handbuch der Landwirtschaftlichen und Untersuchungsmethodik.
- HERRMANN, R., G. KNICKMANN. (1955). Die untersuchung von Böden in HANDBUCH der Landwirtschaftlichen Versuchs und Untersuchungs methodik Band I. Neumann Verlag. Radebeul und Berlin.
- INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTIN CODAZZI". (1963). Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. Departamento Agrológico. Publicación: IT -6. 2a. Edición corregida y aumentada.
- JENNY, M. et al. (1950). Green House Assay of Fertility of California soil. Milgardia. 20: 1-8.
- KURT NEHRING. (1960). Agriculturnchemische Untersuchungsmethoden für Dünge-und Futtermittel, Böden und Milch, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- RAUTERBERG, E. (1966). Methoden zur Bestimmung des Düngebedürfnisses der Böden im Mandbuch der Pflazenernahrung und Düngung 2. Bd. Editorial Springer Viena y. New York.
- SCHEFFER, F. y P. SCHACHTSCHABEL. (1960). Lehrbuch der Agrikulturchemie und BODENKUNDE I Teil, Bodenkinde. Stuttgart F. Enke.
- SCHUFFELEN, A.C. (1954) The absorption of potassium by the plant. Potassium Symposium. 1954:169-181.
- SCHUFFELEN, A.C., and M.W. van der MAREL (1955). Potassium fixation in soils. Potassium Symposium 1955:157-201.
- VANDECAVEYE, S.C. (1948). Biological methods for determining nutrients in soils. Diagnostic Techniques of Soils and Crops. Amer. Potash Institute. Washington 6, D.C. U.S.A.

Segunda Parte: Micronutrientes

OCURRENCE OF MICRONUTRIENTS IN ROCKS, SOILS, PLANTS, AND FERTILIZERS

*J. J. Mortvedt**

Elements which are essential to complete the life cycle and are present in relatively small amounts in biological tissue are called micronutrients. Nutrients included in this group are B, Cu, Fe, Mn, Mo, and Zn. Chlorine and Co are also included, but generally there are sufficient amounts in the biosphere for adequate nutrition of both plants and animals. Sodium, I, and possibly Se also are included as included as essential nutrients for animal but not for plant nutrition.

Micronutrients also have been called "trace elements" or "minor elements" by many workers for a number of years. The term, micronutrients, is perhaps the most recent of the three, but now is the preferred term. "Nutrients", denotes essentiality for nutrition and "micro" means small; in contrast, "elements", has no biological connotation and "minor" denotes being of less importance. Thus, micronutrients is the most descriptive term and has received worldwide recognition during the past decade.

ABUNDANCE IN ROCKS AND SOILS

The micronutrient content of a soil is dependent almost entirely on that of the rocks from which the parent material was derived. Weathering processes also affect micronutrient concentrations in soil. Depletions by crop or livestock removal and additions by soil treatment or atmospheric pollution are important but usually do not affect total amounts of micronutrients in soil to the same extent as do concentrations in soil parent material.

The geochemistry of these elements is quite diverse; abundance in rocks and minerals therefore varies widely. The four divalent cations—Cu, Fe, Mn, and Zn—are similar in size but differences in their ionic character are great enough so that only Fe and Mn substitute extensively for each other. Copper forms the least soluble carbonate and sulfide, while those of Zn are slightly soluble. Carbonates of Fe and Mn have similar solubilities but iron sulfide is much

less soluble than are Mn sulfides. The small ionic size of B and Mo, together with their higher charge and tendency to form covalent bonds, results in their occurrence mainly in oxy-anions (11).

Igneous rocks comprise 95% of the earth's crust. Sedimentary rocks are comprised of 80% shales, 15% sandstones, and 5% limestones. Average concentrations of micronutrients in the earth's crust and in igneous and sedimentary rocks are shown in Table 1. The metallic micronutrients are more abundant in basaltic lavas than in acidic granites. In sedimentary rocks, Mn is most abundant in limestone because of its ease of reduction to the divalent form and also to similarity in solubility between $MnCO_3$ and $CaCO_3$. The other micronutrients are more abundant in shales (14).

Average concentrations in the earth's crust are about equal to the mean of those in granite and basalt, which are the chief components of the crust. Concentrations of all micronutrients except B in shale, the most common sediment, also approximate those in the earth's crust. High B concentrations in shale are probably related to high concentrations of dissolved borates in seawater.

Soils, like shale, should have compositions close to that of the earth's crust. Average soil composition has little relevance because soil parent material and soil-forming processes differ so much from one region to another. Ranges in micronutrient concentrations in soils are given in Table 1.

Common minerals which contain micronutrients are given with their chemical formulae in Table 2. This list includes minerals which are the principal sources of micronutrients in soils and which also play a role in limiting the concentrations of micronutrients in soil solution.

Total soil analyses generally are not good indicators of amounts available to plants because large proportions of micronutrients are found in unweathered minerals. Thus,

TABLE 1. Abundance of micronutrients in rocks and soil (11).

Micronutrient	Igneous rocks		Sedimentary rocks			Earth's Crust	Soils
	Granite	Basalt	Limestone	Sandstone	Shale		
	-----ppm-----						
Fe	27,000	86,000	3,800	9,800	47,000	56,000	10,000-100,000
Mn	400	1,500	1,100	10-100	850	950	20-3,000
Zn	40	100	20	16	95	70	10-300
Cu	10	100	4	30	45	55	10-80
B	15	5	20	35	100	10	7-80
Mo	2	1	0.4	0.2	2.6	1.5	0.2-10

* Soils and Fertilizer Research Branch Tennessee Valley Authority Muscle Shoals, Alabama, USA.

TABLE 2. Common minerals containing the micronutrient elements (11).

Boron
Hydrous borates: borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$; colemanite, $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Complex borosilicates: tourmaline, axinite
Copper
Simple sulfides: chalcocite, Cu_2S ; covellite, CuS
Complex sulfides: chalcopyrite, CuFeS_2 ; bornite, Cu_5FeS_4
Oxides: cuprite, Cu_2O ; tenorite, CuO
Carbonates: malachite, $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$; azurite, $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$
Silicate: chrysocolla, $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Sulfate: brochantite, $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$
Iron
Oxides: hematite, Fe_2O_3 ; goethite, FeOOH ; magnetite, Fe_3O_4
Sulfides: pyrite, FeS_2 ; pyrrhotite, Fe_{1-x}S
Carbonate: siderite, FeCO_3
Sulfate: jarosite, $\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_4$
Silicates: Olivine, $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$
Manganese
Simple oxides: pyrolusite, MnO_2 ; hausmannite, Mn_3O_4 ; manganite, MnOOH
Complex oxides: braunite, $(\text{Mn}, \text{Si})_2\text{O}_3$; psilomelane
Carbonate: rhodochrosite, MnCO_3
Silicate: rhodonite, MnSiO_3
Molybdenum
Sulfide: molybdenite, MoS_2
Oxide: ilsemanite, $\text{Mo}_3\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Molybdates: sulfenite, PbMoO_4 ; powellite, CaMoO_4
Zinc
Sulfide: sphalerite, ZnS
Carbonate: smithsonite, ZnCO_3
Silicate: hemimorphite, $\text{Zn}_4(\text{OH})_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$

calibrated soil tests should be used to determine levels of micronutrients which are available to plants. Knowledge of total content of a particular micronutrient may help explain abnormally low or high soil test values, however. Soil tests for micronutrients are more fully discussed in other papers (18, 21). Some ranges in extractable micronutrients found in selected Colombian soils are shown in Table 3.

Soil organic matter is very important in micronutrient nutrition of crops. A large portion of available micronutrients is found in the organic fraction of soils. Many organic compounds form stable complexes with metal ions in the soil. These complexes keep micronutrient metal ions in

available forms which otherwise would form insoluble precipitates in the soil. Soils very low in organic matter content are more likely to have low levels of available micronutrients. In addition, organic soils also may be deficient in available micronutrients, especially Cu and Mn, because metal-organic complexes may be so stable that metal ions are not available to plants. The role of organic matter in the reactions of micronutrients in soil was reviewed by Hodgson (7).

CONCENTRATIONS IN PLANT TISSUE

Micronutrient concentrations in plants usually reflect the soils' available micronutrient status. Concentrations within a plant change with time due to changing growth rates, as well as to changing availability of micronutrients in the soil. Decrease in tissue concentrations due to dilution resulting from increased crop growth is common. Uptake of a particular micronutrient also is related to interactions with other nutrients. Crop cultivars may vary in their ability to take up nutrients. Therefore, ranges rather than absolute plant micronutrient concentrations should be discussed.

Approximate concentration ranges of micronutrients in mature plant leaves are classified as deficient, normal, and excessive or toxic in Table 4. Concentrations of Fe and Mn generally are highest in plant tissue, Zn and B somewhat lower, Cu still lower, and Mo much lower. Ranges in micronutrient concentrations in leaf tissue of cassava and beans at several locations in Colombia are shown in Table 5. Concentrations of Mn as high as 3700 ppm have been found in bean leaf tissue with obvious Mn toxicity symptoms in Popayán (personal communication, R. E. Howeler, CIAT).

Deficiency symptoms of micronutrients generally are well recognized in most crops. Color pictures of these symptoms for many crops are available and are quite helpful in diagnosing deficiencies. Soil conditions resulting in deficiencies as well as typical visual deficiency symptoms of each micronutrient are shown in Table 6. Symptoms of incipient (marginal) deficiency are not very well recognized; so plant and soil analyses are used as diagnostic tools where marginal deficiencies are suspected. Foliar sprays of one or more micronutrients also are used to verify the need for applied micronutrients. A hand sprayer can be used for application to relatively small plots in areas where micronutrient deficiencies are suspected. Costs involved in these trials are minimal and more elaborate trials can be used to determine optimum micronutrient rates, sources, and methods of application after a micronutrient deficiency has been verified.

COMMERCIAL SOURCES

Sources of micronutrients are classified as inorganic compounds, synthetic chelates, natural organic complexes, and fritted micronutrients. Some commonly used sources are shown in Table 7.

Inorganic sources include naturally occurring ores, manufactured oxides, and metallic salts, such as sulfates, chlorides, and nitrates. Oxides such as Cu_2O are used as

TABLE 3. Ranges in extractable micronutrients on some Colombian soils.*

Location	Extractable micronutrients, ppm**				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CIAT	0.09–0.72	0.2–1.4	1–35	8–49	0.6–6.8
Carimagua	0.17–0.44	0.3	41	1–3	0.3–0.9
Popayán	0.40–0.90	—	—	29–72	1.5–2.5
Santander de Quilichao	0.18–0.37	0.5–1.7	12–58	12–66	0.9–1.9
Santa Lucia	0.28–0.84	1.6–3.0	18–37	39–64	6.0–9.2

* Data supplied by R. E. Howeler, CIAT, Cali, Colombia.

**B was extracted by hot water and Cu, Fe, Mn, and Zn were extracted by 0.1 N HCl + 0.1 N H₂SO₄

mined, but naturally occurring MnO₂ is not very available to plants; MnO is recommended for field use. Powdered ZnO is widely marketed as a good source of Zn but Fe₂O₃ is not available to plants. The sulfates are the most common metallic salts and are produced by treating ground ores with H₂SO₄. These salts are sold as fine crystals or in granular form. Sodium tetraborates ranging from 10 to 20o/o B are the most common B sources. Colemanite, a naturally occurring calcium borate, may be used on sandy soils because it is much less soluble and less subject to leaching losses. Ammonium and sodium molybdates are the main sources of Mo, although MoO₃ also is used.

Synthetic chelates are formed by combining a chelating agent with metal ions. A chelating agent is a compound (usually organic) which can combine with a metal cation to form a ring structure. This combination prevents the metal ion from reacting with other substances to form insoluble compounds. The stability of the chelate-metal ion bond varies widely with chelate as well as with metal ion. For example, ZnEDTA (ethylene diamine tetracetic acid) is more stable than FeEDTA, especially in neutral or alkaline soils. Some metal chelates are ineffective for plants because of metal substitutions in the chelate molecule soon after soil application.

Many naturally occurring organic compounds contain chemically reactive groups which are similar to synthetic chelating agents. Byproducts of woodpulp industries are used commercially to complex micronutrient metals. Metal complexes of these compounds are not true chelates, since the bonding mechanism is not a true coordinate bond. Complexes also have a lower stability than the synthetic chelates and are more easily decomposed by microorganisms in soil.

Fritted micronutrients are prepared by fusing inorganic compounds into a silicate or phosphate matrix. After cooling, the glass-like product is finely ground. Rates of dissolution are controlled by particle size and composition of the matrix. A wide range in concentrations may be produced, and more than one micronutrient may be included in a fritted material.

Inorganic sources usually are the least expensive per unit of micronutrient but are not always effective for crops. Synthetic chelates generally are the most effective sources

TABLE 4. Approximate micronutrient concentrations in mature plant leaves (10).

Micronutrient	Concentration in mature leaves (ppm)		
	Deficient	Normal	Toxic
B	< 15	20–100	> 200
Cu	< 4	5– 20	> 20
Fe	< 50	50–250	*
Mn	< 20	20–500	> 500
Mo	< 0.1	0.5–	*
Zn	< 20	25–150	> 400

* Not known

TABLE 5. Ranges in micronutrient concentrations in leaf tissue of cassava and beans at several locations in Colombia.*

Crop and location**	Concentration, ppm				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cassava					
CIAT	11–34	3.5– 5.7	65–178	32– 162	15– 57
Popayán	18–25	—	—	1230–1830	110–190
Carimagua	10	7.4	—	91	57
Beans					
CIAT	21	5.8–12.8	98–225	144–600	34– 61
Popayán	19	8.2	73–270	30– 42	29– 36

* Data supplied by R. E. Howeler, CIAT, Cali, Colombia

**Uppermost fully expanded leaves sampled, except lower leaves on cassava at Popayán.

but relative costs range from 5 to 100 times higher than for inorganic sources per unit of micronutrient. Natural organic complexes generally are less effective than synthetic chelates, but they are also less costly.

REACTIONS IN SOIL

Chemical reactions of micronutrients in soil vary widely. A number of general reviews on these reactions have been published (1, 3, 4, 12, 22). A brief discussion of some soil reactions of each micronutrient is included in this section.

Reactions of B in soil include sorption as borate ions on soil clays and precipitation with alumina and silica. Soils high in hydroxy Fe and Al compounds fix more B than do

TABLE 6. Soil conditions and crops where micronutrient deficiencies most often occur in the United States (2, 13).

Micronutrient	Soil conditions showing deficiency	Major crops affected	Visual deficiency symptoms
Boron	sands, high pH, over-limed soils, drouth conditions	alfalfa, citrus maize, cotton, peanuts, sugar beets, tree fruits, vegetables	dieback, hollow stems, loss of flowers, barren fruit
Copper	sands, organic soil, high pH soils	small grains, vegetables, tree fruits	young leaves uniformly pale yellow, older leaves dying at tips
Iron	calcareous soils, high pH soils, high phosphate	sorghum, maize, soybeans, beans, tree fruits, ornamentals	young leaves show interveinal chlorosis along entire length of leaf
Manganese	sands, organic soils, over-limed soils	small grains, cotton, soybeans, tree fruits, leafy vegetables	young leaves pale green to yellow discoloration between veins
Molybdenum	acid soils, sands	alfalfa, peanuts soybeans, some vegetables	Yellow leaves in legumes (N deficiency) long, narrow, irregular leaves (whiptail)
Zinc	sands, high pH soils, high phosphate	citrus, maize, soybeans, pecans, tree fruits, some vegetables	emerging leaves show yellow to white bleached bands in lower part of leaf

calcareous soils and B deficiencies are reported on these highly acid soils. The distribution of B between solid and solution phases in soil is very important, since the concentration range for optimum B nutrition of plants is quite narrow. Uniform application of B sources also is important for the same reason. Boron deficiencies often occur on sandy soils low in organic matter because B is easily leached from the root zone in light textured soils. Leaching is much less likely in heavier textured soils.

Exchangeable Cu is associated with the clay mineral and organic matter fractions. Copper-organic complexes are more stable than those of the other metallic micronutrients. Most Cu deficiencies occur on organic soils because Cu is so tightly bound to soil organic matter. Applied Cu is strongly retained by most soils and retention increases with increases in soil pH. Residual effects of applied Cu have been recognized for years. One application may provide sufficient Cu for plant growth for periods up to 5 years. A good soil test program should be used to monitor Cu accumulations where Cu applications are made as fertilizers or fungicides. Toxic levels of Cu are possible with continued Cu accumulations.

Oxidation-reduction reactions are important in soil reactions of Fe. The ferrous form is quickly oxidized to ferric Fe and precipitates as oxides and hydroxides in the soil. Soluble Fe decreases rapidly with increases in soil pH and most Fe deficiencies occur on calcareous soils. Soil applications of some Fe chelates are effective for plants but foliar sprays of a number of Fe sources are generally recommended.

Neutral to alkaline soils are most likely to be deficient in Mn. Divalent Mn found in all recommended Mn sources may be quickly oxidized to the unavailable tetravalent MnO_2 form in high pH soils. Manganese-organic complexes also are quite stable, so Mn may be deficient in peat and muck soils. Excessive amounts of available Mn are often found in extremely acid soils and result in Mn toxicities to sensitive plant species. Liming acid soils is the usual method for correcting Mn toxicities.

Deficiencies of Mo are usually associated with acid, sandy soils and those soils high in hydrous oxides of Fe and Al. Liming acid soils is the usual practice for correcting Mo deficiencies. Because the amount of applied Mo needed to

TABLE 7. Commonly used micronutrient sources (20).

Micronutrient	Inorganic sources	Organic sources
Boron	Borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ Colemanite, $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Solubor, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ Boric acid, H_3BO_3 Boron frits	
Copper	Cuprous oxide, Cu_2O Cupric oxide, CuO Copper sulfate, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Basic copper sulfate, $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ Copper frits	Na_2CuEDTA NaCuHEDTA Copper polyflavonoid
Iron	Ferrous sulfate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ Ferric sulfate, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ Ferrous ammonium sulfate Iron frits	NaFeEDTA NaFeHEDTA NaFeDTPA NaFeEDDHA Iron ligninsulfonate Iron polyflavonoid
Manganese	Manganous oxide, MnO Manganous sulfate, MnSO_4 Manganese carbonate, MnCO_3 Manganese frits	Na_2MnEDTA
Molybdenum	Ammonium molybdate, $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ Sodium molybdate, Na_2MoO_4 Molybdenum trioxide, MoO_3 Molybdenum frits	
Zinc	Zinc oxide, ZnO Zinc sulfate, $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Basic zinc sulfate, $\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ Zinc carbonate, ZnCO_3 Zinc frits	Na_2ZnEDTA NaZnHEDTA Zinc polyflavonoid Zinc ligninsulfonate

correct deficiencies is quite small, it may be more economical to apply Mo sources with the seed or with fertilizers than to lime these soils to increase availability of soil Mo (20).

Availability of Zn to plants decreases with increasing soil pH. Zinc is retained by soil clays and soil organic matter, so mobility of Zn in the soil is quite limited. Soil applications of Zn are by far the most common method for correcting Zn deficiencies. After soil application, soluble Zn transforms to exchangeable Zn and then to less available forms sorbed on soil clays. A marked residual response to applied Zn has been demonstrated. Residual effects up to 8 years have been reported with initial applications of 15 to 25 kg of Zn/ha. Residual effects can be monitored by soil tests to estimate when further Zn applications should be made.

REACTIONS WITH FERTILIZERS

Foliar, seed, or soil applications of micronutrients are

used to correct deficiencies. Foliar spray application is the recommended method for correcting Fe deficiencies, although all micronutrients can be successfully applied by this method. More than one foliar application may be required for complete correction. Early morning foliar sprays usually are more effective than afternoon applications. Seed applications are restricted to very low rates, and Mo is the only micronutrient successfully applied by this method.

Soil applications generally are used for correction of B, Cu, Mn, and Zn deficiencies. Application of these micronutrients with mixed fertilizers rather than alone to soil results in a more uniform distribution in the field. However, reactions of some micronutrient sources with some components of mixed fertilizers may result in reduced agronomic effectiveness.

Micronutrients can be applied with mixed fertilizers by incorporation during the manufacturing process, bulk blending with or coating onto granular fertilizers, or by

TABLE 8. Micronutrient concentrations in granular fertilizers as affected by incorporating ZnO in granular MAP and blending this product with granular KCl and powdered MnO (6).

Bag No.	Test 1		Test 2	
	Mn	Zn	Mn	Zn
	-----o/o-----			
1	3.0	0.7	2.9	1.4
2	0.7	0.6	0.9	1.6
3	2.9	0.6	9.8	1.1
4	0.6	0.6	4.9	1.4
Intended concentration	(3.0)	(0.5)	(3.0)	(1.2)

is shown in Table 8. Zinc oxide was incorporated in granular MAP and this product was blended with granular KCl and powdered MnO. Results of chemical analyses of samples from four bags each of two blends showed that the Mn concentration was within tolerance of the intended grade (3o/o) in only three of eight bags, indicating severe segregation (6). In contrast, the concentration of Zn which had been incorporated during manufacture of MAP was at the intended grade (0.5o/o or 1.2o/o Zn).

Coating micronutrients onto granular fertilizers gives flexibility in providing fertilizers to meet recommended application rates of all nutrients. There is no segregation of these nutrients from NPK granules if coating is done correctly. Use of fluid fertilizers or water as binders should not influence agronomic effectiveness of coated micronutrients. Results have shown that the use of fuel oil as a binder for ZnO or MnO coated onto granular fertilizers does not influence Zn or Mn uptake by maize (9). Agronomic effectiveness of coated and incorporated micronutrients is about equal.

Application of micronutrients with fluid fertilizers generally results in a more uniform application to the soil. The limiting factor in supplying sufficient micronutrients with clear liquid fertilizers is solubility. Most metallic micronutrient sources are more soluble in polyphosphate than in orthophosphate solutions (16). Solubility with polyphosphate fertilizers also is related to solution pH and polyphosphate content. Because of their higher solubility, enough B and Mo may be dissolved to correct severe deficiencies at normal mixed fertilizer application rates. Higher concentrations of most metallic micronutrient sources may be applied with suspension fertilizers, since complete solution is not required.

SUMMARY

Micronutrient concentrations in a given soil are dependent almost entirely on that of the rocks and minerals from which the soil parent material was derived. Weathering processes also affect concentrations in soils, and depletions by cropping or livestock as well as additions by soil

mixing with fluid fertilizers just before application to the soil. Rates of chemical reactions which may reduce plant availability of some micronutrients could be increased by micronutrient sources being in intimate contact with mixed fertilizer components in conditions of high moisture and temperature. Factors affecting agronomic effectiveness of micronutrients in macronutrient fertilizers were discussed in detail by Giordano and Mortvedt (5).

Ammoniation of superphosphates containing 2o/o Zn results in reduced water solubility of $ZnSO_4$ (Table 6). Less than 5o/o of the total Zn remained water soluble in ammoniated products as compared with more than 25o/o in nonammoniated products (8). Results of greenhouse studies have shown that immediate availability to plants of Zn is reduced when $ZnSO_4$ or ZnO is incorporated with ammoniated orthophosphates (15). In contrast, these Zn sources remain available to plants if applied with ammonium polyphosphate fertilizers. Several Zn sources are applied with N fertilizers; urea-ammonium nitrate solution and granular urea are good carriers of $ZnSO_4$ and $ZnCl_2$ but not ZnO (19). Zinc chelates do not react with fertilizers but care must be taken so the chelate is not decomposed by acids during incorporation. Reactions of Cu sources with fertilizers are similar to those of Zn.

Band application of Mn with acid-forming fertilizers such as superphosphate can increase its agronomic effectiveness because more of the applied Mn remains in the more available divalent form during the growing season. Soil applications of chelated Mn sources applied alone or with fertilizers may not be effective for crops. Incorporation of $FeSO_4$ with granular mixed fertilizers is not an effective method of supplying Fe to plants because $FeSO_4$ is quickly converted to forms which are unavailable to plants soon after application to the soil. Ferric oxide and other oxides are not considered available to plants regardless of the method of application. Thus, inorganic Fe sources applied to the soil with NPK fertilizers may not be effective for crops.

Plant availability of most B or Mo sources is not affected by incorporation with granular mixed fertilizers (17). Apparently, neither $(NH_4)_2MoO_4$ nor $Na_2B_4O_7$ reacts chemically with compounds in the mixed fertilizers to change their effectiveness to plants. Most state fertilizer laws also require that fertilizers containing added B must be labeled with a red tag so that growers will not inadvertently apply these fertilizers to B-sensitive crops.

Bulk-blending micronutrients with granular fertilizers increases flexibility in making grades to fit recommended micronutrient rates. Because the micronutrient concentration in a blended grade usually is 1 to 5o/o, only a small quantity of micronutrients is needed. Segregation of the micronutrient source from the NPK granules may occur during handling and application; this results in nonuniform application of micronutrients in the field. Care must be used in matching particle sizes to minimize segregation. Granular oxides of Cu, Mn, and Zn are ineffective for crops, so granular sulfates are generally used.

An example of segregation of a powdered micronutrient from granular monoammonium phosphate (MAP) and KCl

treatments or from atmospheric pollution are also important. Total soil analyses generally are not good indicators of amounts available to plants because large proportions of micronutrients are found in unweathered mineral forms. Calibrated soil tests should be used to determine levels of micronutrients which are available to plants. Soil organic matter is very important in micronutrient nutrition of crops because a large portion of available micronutrients is found in the organic fraction of soils.

Micronutrient concentrations in plant tissue generally range from <1 ppm Mo to >400 ppm Mn, and high concentrations of some micronutrients sometime cause plant toxicities. Micronutrient deficiency symptoms generally are well recognized but symptoms of incipient deficiency as well as toxicity are more difficult to identify in most crops. Plant analyses have been used to help identify micronutrient deficiencies, although concentrations in stunted plants may be higher instead of lower than the normal range. Therefore, micronutrient fertilizer trials should supplement plant and soil analyses to verify micronutrient deficiencies.

Soil, foliar, or seed applications of micronutrients are used to correct deficiencies. Inorganic source are cheaper but sometimes are ineffective as soil applications because of soil reactions. Organic sources, such as synthetic chelates and natural organic complexes (byproducts of the woodpulp industry), are more effective per unit of applied micronutrient but also are more expensive. Foliar applications are more expensive. Foliar applications are quite effective in correcting micronutrient deficiencies, but more than one application may be required for complete correction. Applications with the seed are restricted to very low rates; Mo is the only micronutrient usually applied by this method.

Application of micronutrients with mixed fertilizers rather than alone results in a more uniform distribution in the field. Micronutrients can be applied with mixed fertilizers by incorporation during the manufacturing process, by bulk blending with or coating onto granular fertilizers, or by mixing with fluid fertilizers just before soil application. Reactions of some micronutrient sources with mixed fertilizers may result in reduced agronomic effectiveness, so care must be taken to use the most effective and economical methods of supplying micronutrients to soils.

BIBLIOGRAPHY

- Allaway, W. H. 1977. Perspectives on molybdenum in soils and plants. pp. 317-339. In W. R. Chappell and K. K. Peterson (eds.) Molybdenum in the Environment, Vol. 2, Marcel Dekker Inc. New York.
- Chapman, H. D. 1966. Diagnostic criteria for plants and soils. 793 pp. University of California, Riverside, California.
- Drosdoff, M. 1972. Soil micronutrients. pp. 150-162. In Soils of the Humid Tropics. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- Ellis, B. G., and B. D. Knezek. 1972. Adsorption reactions of micronutrients in soils. pp. 59-78. In J. J. Mortvedt et al. (eds.) Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.
- Giordano, P. M., and J. J. Mortvedt. 1972. Agronomic effectiveness of micronutrients in macronutrient fertilizers. pp. 505-524. In J. J. Mortvedt et al. (eds.) Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.
- Hignett, T. P. 1964. Supplying micronutrients in solid bulk-blended fertilizers. *Comm. Fert.* 108(1): 23-25.
- Hodgson, J.F. 1963. Chemistry of the micronutrient elements in soils. *Adv. Agron.* 15:119-159.
- Jackson, W. A., N. A. Heinly, and J. H. Caro. 1962. Solubility status of zinc carriers intermixed with N-P-K fertilizers. *J. Agric. Food Chem.* 10:361-364.
- Jones, J. B., Jr. 1969. Effect of oil coating a fertilizer on yield and the uptake of manganese and zinc by corn and soybeans. *Agron. J.* 61:476-477.
- Jones, J. B., Jr. 1972. Plant tissue analyses. pp. 319-346. In J. J. Mortvedt et al. (eds.) Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.
- Krauskopf, K. B. 1972. Geochemistry of micronutrients. pp. 7-40. In J. J. Mortvedt et al. (eds.) Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.
- Lindsay, W. L. 1972. Zinc in soils and plant nutrition. *Adv. Agron.* 24:147-186.
- Lucas, R. E., and B. D. Knezek. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. pp. 265-288. In J. J. Mortvedt et al. (eds.) Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.
- Mitchell, R. L. 1955. Trace elements. pp. 255-285. in F. E. Bear (ed.) Chemistry of the Soil. Reinhold Publ. Co., Ann Arbor, Michigan.
- Mortvedt, J. J. 1968. Crop response to zinc in ammoniated phosphates fertilizers. *J. Agric. Food Chem.* 16:241-245.
- Mortvedt, J. J. 1973. Agronomic response to micronutrients in fluid fertilizers. pp. 23-25. *Proc. Natl. Fert. Soln. Roundup*, St. Louis, Missouri.
- Mortvedt, J. J. 1977. Application of micronutrients with granular mixed fertilizers. *Custom Applicator* 7(3):20-25.
- Mortvedt, J. J. 1977. Micronutrient soil test correlations and interpretations. pp. 99-117. In T. R. Peck et al. (eds.) Soil Testing: Correlating and Interpreting the Analytical Results. ASA Special Publ. No. 29, Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
- Mortvedt, J. J. and P. M. Giordano. 1969. Availability to corn of zinc applied with various micronutrient fertilizers. *Soil Sci.* 108:180-187.
- Murphy, L. S., and L. M. Walsh. 1972. Correction of micronutrient deficiencies with fertilizer. pp. 347-388. In J. J. Mortvedt et al. (eds.) Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin.
- Reisenauer, H. M., L. M. Walsh, and R. G. Hoefft. 1973. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum, and chlorine. pp. 173-200. In L. M. Walsh and J. D. Beaton (eds.) Soil Testing and Plant Analyses, Soil Sci. Soc. of Am., Madison, Wisconsin.
- Viets, F. G., Jr. 1962. Chemistry and availability of micronutrients in soils. *J. Agric. Food Chem.* 10:174-178.

FUNCIONES DE ALGUNOS MICRONUTRIMENTOS EN LAS PLANTAS^{1/}

Gerardo López Jurado 2/

INTRODUCCION

Las plantas absorben generalmente del suelo, y a través de las raíces, los elementos esenciales para su desarrollo. Dentro de esos elementos se encuentran los denominados "micronutrientes".

La importancia de estos elementos, con excepción del hierro, escapó a los primeros investigadores debido a que las sales que entonces empleaban resultaron perfectamente adecuadas por contener cantidades convenientes de los elementos escasos, en forma de impurezas.

Las plantas necesitan hierro en cantidades muchísimo menores que las de los elementos mayores, siendo suficiente por lo regular concentraciones de algunas partes por millón para mantener un desarrollo vegetal óptimo.

Aún son menores las concentraciones necesarias de boro, manganeso, molibdeno y zinc, elementos que por ello son considerados, juntamente con el hierro, como micronutrientes esenciales de la nutrición vegetal.

Cuando un elemento esencial se encuentra en el suelo, o en el medio de cultivo, en cantidad insuficiente, aparecen en la planta los síntomas de una nutrición defectuosa, síntomas que son más o menos específicos con relación a cada elemento.

Si la deficiencia de cada elemento esencial en la nutrición de las plantas se manifiesta por alteraciones morfológicas internas, esto se debe a que cada elemento cumple tareas específicas, dentro de las complicadas reacciones que ocurren dentro de la planta.

El presente trabajo tiene como objetivo exponer algunas de las funciones principales que cumplen los micronutrientes boro, hierro, manganeso, molibdeno y zinc, los síntomas visibles de deficiencia y los daños que ocasionan internamente esas deficiencias.

1. FUNCIONES DE ALGUNOS MICRONUTRIMENTOS

1.1 BORO

La esencialidad del boro para las plantas superiores fue demostrada hace más de cincuenta años, poco después de la primera Guerra Mundial (24).

Aunque los síntomas de la deficiencia en boro son espectaculares, hasta ahora el papel metabólico exacto del boro en la planta no está totalmente determinado (6).

Si bien, en general, este elemento únicamente es necesario en pequeñas cantidades, los requerimientos varían dentro de márgenes bastante amplios, dependiendo de las especies de plantas.

Las investigaciones realizadas mediante la técnica de las soluciones nutritivas demuestran que para el mejor desarrollo de algunas especies, como el tomate y la zanahoria sólo

son necesarios vestigios de boro, éste es menos de 1 ppm, en otros casos, por el contrario, como en la remolacha azucarera o el espárrago, no es posible obtener un desarrollo notable, a menos que el boro se encuentre en concentraciones de 10 a 15 ppm (25).

Las cantidades mayores de boro se han encontrado en especies representantes de la familia de las leguminosas (24).

En la mayor parte de las plantas el boro tiene escasa movilidad. Alcanza su máxima concentración en las hojas y semillas y parece quedar fijado en la células foliares de tal forma que impide su traslado hacia otros tejidos.

La concentración del elemento en los meristemos, raíces, frutos y tejidos de reserva es mucho menor que en las hojas. En las hojas inferiores de una planta puede haber boro en tal cantidad como para causarles daño, al mismo tiempo que las células de los meristemos apicales demuestran síntomas de deficiencia en el mismo elemento (25).

Las hojas de la mayoría de las especies contienen al rededor de 70 ppm de boro; en la caña de azúcar se han encontrado valores de 4-40 ppm; en café de 60 a 100 y en las hojas de naranjo el valor más frecuente es de 75 ppm, en base a materia seca (24).

Aunque se han atribuido al boro muchos papeles en el metabolismo de la planta, su papel en el transporte de los azúcares es el único que goza de general aceptación (2, 24).

Se han encontrado argumentos en favor de la intervención del boro en el transporte de glúcidos en la planta. Gauch y Dugger (10) lanzaron una hipótesis en el sentido de que el boro es esencial en el traslado de azúcares formando un complejo azúcar-borato que pasaría más fácilmente a través de las membranas celulares. Una vez utilizado el azúcar por la célula, se libera el ión borato. Puede ser también que el ión borato esté asociado con la membrana celular y allí reaccione químicamente con la molécula de azúcar, facilitando así su paso a través de la membrana.

Los autores antes mencionados (10) han llamado la atención también hacia el hecho de que son características comunes de la deficiencia en boro, la muerte de los ápices caulinares y radicales y la caída de las flores, todos ellos puntos de la planta que son sede de elevada actividad metabólica.

Los síntomas de la deficiencia en boro, son en realidad síntomas de deficiencia en glúcidos. Puesto que las regiones de las plantas donde la actividad metabólica es elevada necesitan también cantidades mayores de azúcares, estas regiones son las primeras en ser afectadas por las condiciones de deficiencia en boro.

Albert (1), al estudiar la disminución del contenido del ARN en las puntas de raíces de tomate deficientes en boro, sugirió que este elemento tiene algún efecto sobre el metabolismo del ARN; esto se puede relacionar con el efecto que tiene el boro en los procesos metabólicos confinados mayormente en las regiones meristemáticas, especialmente, en la división celular en meristemos primarios y secundarios.

1. Contribución de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

2. Profesor -Jefe Departamento de Biología, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

La deficiencia en boro produce la paralización de la división celular, con lo cual se reducen los sitios para la utilización de los productos del metabolismo, principalmente de carbohidratos y también de aminoácidos (30, 35).

Se ha encontrado que el boro es esencial en la formación de auxinas en las plantas, ya que cuando se efectuaron tratamientos con ácido indol acético en plantas de algodón, éstas mostraron los mismos efectos que con la adición de boro (7).

Es posible que el boro contribuya a la diferenciación celular, pues la deficiencia en boro resulta frecuentemente en la muerte de los tejidos meristemáticos y en la falta de diferenciación de floema y del xilema (2).

Se sabe que cuando el boro es el elemento limitante, la absorción de calcio se reduce; por otra parte, un nivel alto de potasio en el medio puede llevar a casos de deficiencia en boro, debido al efecto desfavorable que ejerce este elemento a altas concentraciones sobre la absorción de calcio (24).

Se han atribuido otros papeles al boro en el metabolismo de la planta; Nason y Elroy, citados por Devlin (6) mencionan entre otros, la participación en el metabolismo del nitrógeno, en la fertilización, en la absorción activa de sales, en el metabolismo hormonal, en las relaciones hídricas, en el metabolismo de los lípidos, en el metabolismo del fósforo y en la fotosíntesis; pero aún faltan pruebas convincentes a favor de la participación del boro en estos procesos.

1.2 HIERRO.

El hierro tiene un buen número de funciones importantes en el metabolismo general de la planta.

Aunque el hierro es absorbido en estado férrico, se acepta de modo general que el estado ferroso es la forma de hierro metabólicamente activa en la planta (6).

La proporción de hierro en los tejidos vegetales es muy baja; gran parte de él se encuentra combinado en compuestos orgánicos. Es uno de los elementos más inmóviles en los vegetales, produciéndose muy poca redistribución entre los tejidos; así, las hojas jóvenes no pueden desmovilizar el hierro que se encuentra en las hojas más viejas.

Mayer (25) menciona que si a plantas bien abastecidas en hierro se las traslada a soluciones de cultivo carentes de este elemento, las hojas que se desarrollan a partir de ese momento, exhibirán marcada clorosis por carencia en hierro, mientras que las más viejas retienen su color verde normal. Lo anterior es una demostración visible de que no hay apreciable transferencia de hierro de las hojas más viejas a las más jóvenes.

Aunque demuestra ser esencial para la síntesis de la clorofila, su papel químico tanto en la síntesis como en la degradación de clorofila es aún incierto (6). La deficiencia de este elemento se manifiesta por el desarrollo de una clorosis característica; no obstante, el hierro no entra en la constitución de la molécula de clorofila.

A menudo, el estado del hierro en los tejidos vegetales es también un factor determinante de la influencia que este elemento puede tener en la síntesis de la clorofila (25).

Varios autores comparten la opinión de que el hierro interviene en la síntesis de las proteínas del cloroplasto y puede, de este modo, modificar las estructuras responsables de la síntesis de clorofila.

Jacobson y Oertly, citados por Devlin (6), en un estudio sobre la deficiencia en hierro del girasol, encontraron que en las hojas la clorosis no es reversible. Así, si una planta clorótica se reintegra a las condiciones normales en suministro de hierro, las hojas cloróticas de esta planta pueden acumular tanto o más hierro que el que se encuentra en condiciones normales. Los autores antes mencionados han propuesto la idea de que la falta de hierro puede inhibir la formación de los cloroplastos a través de la inhibición de la síntesis de proteínas, cosa que puede explicar la recuperación incompleta de la clorosis.

El papel más conocido del hierro en el metabolismo de la planta, es su participación en el grupo prostético del sistema citocromo, un grupo de enzimas implicadas en la oxidación terminal de la respiración (24).

Algunas de las enzimas y de los portadores que actúan en el mecanismo respiratorio de las células vivas, son compuestos de hierro; ejemplos específicos son la catalasa, la peroxidasa, la oxidasa citocrómica y los citocromos. La participación del hierro, en la forma de tales compuestos en los mecanismos oxidativos de las células, es indudablemente uno de los papeles más importantes en el metabolismo celular.

De acuerdo con Lündegårdh, los citocromos desempeñan un papel directo en la absorción de solutos orgánicos; en este proceso un electrón desprendido por el Fe^{+++} se intercambia por equivalente aniónico.

Algunas veces, en hojas con bastante hierro como las que se encuentran en estado de verdor, se produce clorosis a consecuencia de una deficiencia del elemento, porque éste se halla presente en forma no asimilable por los tejidos cloróticos.

La deficiencia en hierro causa un paro completo en la división celular del meristemo apical de las raíces, en el caso de la alverja. Awad (2) menciona así mismo que la deficiencia en este elemento causa una disminución en el tamaño de los cloroplastos, y en casos más avanzados, una descomposición.

Awad (2) analiza las relaciones del hierro con otros elementos en la siguiente forma. Efecto del fósforo: altos niveles de fósforo aumentan la deficiencia del hierro y del potasio en la papa; efecto del calcio: altos niveles de calcio en la solución nutritiva reducen la absorción del hierro; efecto del potasio: cuando la cantidad de potasio es adecuada, la deficiencia del hierro en la papa es menos severa, los síntomas de deficiencia en potasio aparecen más temprano cuando las plantas son deficientes en hierro, la razón clorofila/hierro en las hojas jóvenes es mayor cuando la planta dispone de más potasio, lo que indica que la eficiencia de la utilización del hierro en la producción de la clorofila aumentó; un exceso de manganeso, cobre y zinc induce síntomas de deficiencia en hierro.

1.3 MANGANESO

Las plantas sólo requieren pequeñas cantidades de este elemento, ya que sus compuestos son tóxicos a los vegetales, salvo en muy bajas concentraciones.

Después de la absorción por las raíces de la planta, el manganeso se acumula en lugares fisiológicamente activos. En caso de deficiencia, el manganeso absorbido no se traslada fácilmente a las partes más jóvenes de la planta.

El manganeso parece ser más abundante en las partes fisiológicamente activas de la planta, especialmente las hojas. Es un elemento relativamente inmóvil, ya que entre una parte y otra de la planta sólo existe muy moderada distribución (25). Como es absorbido con facilidad a través de las hojas, las deficiencias de manganeso pueden ser corregidas localmente por pulverizaciones en el follaje (24).

El manganeso es necesario para la actividad completa de ciertos sistemas enzimáticos incluyendo deshidrogenasas y carboxilasas. Algunas de las enzimas activadas por el magnesio, también lo son por el manganeso y menos frecuentemente por algunos otros cationes metálicos.

Se puede comprobar que el manganeso es un factor esencial para la respiración y el metabolismo del nitrógeno. En ambos procesos actúa como activador enzimático. Sin embargo, en muchos casos, especialmente en las reacciones de la respiración, el manganeso puede ser substituído por otros cationes divalentes como el magnesio, cobalto, zinc y hierro. La substitución más frecuente del manganeso es la que realiza el magnesio (6).

A pesar de lo anterior, el manganeso demuestra ser esencial para algunas reacciones del metabolismo de las plantas. La deshidrogenasa málica, la deshidrogenasa isocítrica y la descarboxilasa exalsuccínica, en el ciclo de Krebs, requieren la presencia de manganeso como activador, aunque en este caso los requerimientos en manganeso pueden ser parcialmente substituídos por cobalto. Se puede concluir con Devlin (6) que el manganeso es el ión metálico predominante en las reacciones del ciclo de Krebs.

Desde hace ya algún tiempo, se sabe que el manganeso desempeña un importante papel en la reducción de los nitratos. Sin embargo, recientemente este papel ha quedado bastante aclarado. El manganeso actúa como activador para la reductasa de los nitritos y la reductasa hidroxilamina, una enzima que interviene en el proceso, y que transforma el nitrato en amoníaco (24).

Se cree que el manganeso también interviene en la destrucción u oxidación del ácido acético, auxina natural de las plantas.

El manganeso se halla relacionado de alguna manera con la síntesis de la clorofila, ya que los cloroplastos son afectados por una deficiencia de este elemento (2, 25).

De acuerdo con Eister y otros, citados por Devlin (6), la sensibilidad de la clorofilia, la destrucción por la luz aumenta en condiciones de deficiencia en manganeso, la cual acaba conduciendo a la clorosis a las células de **Chlorella pyrenoidosa**. Encontraron también que la reacción de Hill quedaba suprimida en condiciones de deficiencia.

La disminución de la intensidad de la fotosíntesis que se observa en algas en estado inicial de deficiencia en man-

ganeso parece indicar la existencia de un papel directo del manganeso en la fotosíntesis. Malavolta (24) menciona que en ausencia de manganeso, la asimilación fotosintética desciende hasta un tercio del valor normal; este fenómeno se puede explicar sobre la base del manganeso que funciona en los sistemas redox. Awad (2) dice que aunque la deficiencia de manganeso causa una reducción de la fotosíntesis, la cantidad de la clorofila no se afecta. La fotorreducción que tiene lugar en la fotosíntesis no se ve afectada por la deficiencia en manganeso (6).

Las funciones del manganeso en la planta son las de un catalizador primario o accesorio. Es probable que este elemento desempeñe una parte directa en el fenómeno de oxido-reducción, especialmente con los compuestos de hierro. El hierro es absorbido comúnmente como ion férrico y reducido en la célula a la forma ferrosa, a menos que se encuentre presente un agente oxidante que impida esta reacción. Según algunos investigadores, citados por Meyer (25), el manganeso puede ser ese agente oxidante que se menciona, y su exceso puede, por consiguiente, provocar síntomas de deficiencia en hierro, al convertir el hierro disponible a la forma férrica, que es fisiológicamente inactiva.

Sherman, citado por Malavolta (24) comprobó que el manganeso controla el estado de varios sistemas redox en la planta. En plantas deficientes en manganeso, existen condiciones que favorecen la oxidación del hierro, el ácido ascórbico y la glutatona. En las plantas normales estos compuestos aparecen en sus formas reducidas.

El manganeso también interviene en la adición de moléculas de xilosa al material no celulósico de la pared celular, lo que representa parte del cemento intercelular en la lámina media. Su comprobación está en que cuando el manganeso es deficiente, este material cementante se desintegra.

1.4 MOLIBDENO

De todos los elementos que se consideran esenciales, el molibdeno es el que se requiere en menor cantidad. Meyer (25) dice que una parte en cien millones en una solución de cultivo es suficiente para prevenir la aparición de síntomas de carencia en plantas de tomate.

La esencialidad del molibdeno para las plantas de gran desarrollo fue demostrada por Arnon y Stout en 1939 (34). Las plantas de tomate cultivadas en soluciones deficientes en molibdeno mostraron una clorosis particular en las hojas; el filo de la hoja se dobla hacia arriba, revelando que algún proceso metabólico ha sido afectado.

Su ingreso a la planta se produce generalmente en la forma de ion molibdato. El molibdeno se ha relacionado durante mucho tiempo con la fijación del nitrógeno gaseoso y con la asimilación de nitrato (6, 24).

Stout y Meagher, citados por Malavolta (24), por ejemplo, demostraron que las hojas de tomate deficientes en molibdeno contenían una gran cantidad de nitrato, hasta un 12o/o del peso seco. Cuarenta y ocho horas después de la adición de molibdeno a la solución nutritiva, el contenido de nitrógeno había descendido a un valor menor de 1o/o. La

necesidad de molibdeno para la reducción del nitrato quedaba claramente demostrada.

Evans y Mason en 1953 demostraron que el nitrato se reducía a nitrito por medio de una flavoproteína (24).

El papel del molibdeno en el sistema nitratorreductasa no explica, sin embargo, su continuada esencialidad cuando se suministran formas reducidas del nitrógeno: amoníaco, úrea. Muy probablemente, este elemento se encuentra relacionado en otros estadios del metabolismo del nitrógeno. Según Awad (2) el molibdeno es necesario a la fijación de nitrógeno por *Azotobacter*, *Clostridium* y *Rhizobia*.

En los nódulos de las leguminosas, el molibdeno es esencial para la fijación del N_2 y cuando el molibdeno es deficiente, las leguminosas muestran síntomas de deficiencia en nitrógeno. Por otro lado, la deficiencia en este elemento aumenta el número de nódulos y disminuye su tamaño, comparado con plantas normales.

Varios investigadores han observado que la deficiencia en molibdeno siempre conduce a una disminución del ácido ascórbico en la planta. Mediante la sola adición de molibdeno vuelven a alcanzarse los niveles normales de ácido ascórbico. Arnon ha sugerido que el ácido ascórbico puede tener un papel protector sobre el cloroplasto (6).

Hay también pruebas en el sentido de que el molibdeno interviene en el metabolismo fosfórico de la planta; sin embargo, el mecanismo de acción del molibdeno sobre el metabolismo del fósforo aún no ha sido explicado.

Cuando se presenta deficiencia en molibdeno, la formación de las flores se ve inhibida y si éstas llegan a formarse se desprenden antes de producir fruto. (6).

1.5 ZINC

El zinc es un elemento muy tóxico para los vegetales, excepto en concentraciones muy diluidas; sin embargo, para que se mantenga el metabolismo de las plantas debe haber por lo menos rastros o vestigios de él.

Se cree que el zinc es absorbido por las plantas como ion divalente. Bajo condiciones normales, la traslocación es fácil. Si el fósforo es abundante en los tejidos, el zinc precipita en los nervios, lo que inhibe su traslocación posterior. El contenido en las hojas varía entre 10 y 90 ppm en materia seca (24).

Los síntomas de deficiencia en zinc de las plantas de gran desarrollo son análogos a los de la falta de ácido indol acético. Las yemas muestran poca actividad y el crecimiento se retarda. Debido al extremo acortamiento de los entrenudos aparece una roseta de pequeñas hojas distorsionadas y cloróticas en la rama (24).

Actualmente uno de los papeles atribuidos al zinc en la fisiología de la planta está relacionado con la biosíntesis del ácido indol acético.

Skoog, citado por Devlin (6) observó que en una planta de tomate deficiente en zinc se da una marcada disminución del contenido de auxina, mientras que la adición de este ion a las plantas deficientes se ve seguida por un aumento significativo del contenido de ácido indol acético. Ambas respuestas: aumento y disminución del contenido de auxina, preceden a la respuesta del crecimiento ante la

ausencia a la adición de zinc, lo cual parece indicar que los síntomas de deficiencia podrían asociarse en parte con la disminución de auxina en la planta.

Wildman y colaboradores, citados por Malavolta (24) demostraron que el ácido indol acético es producido enzimáticamente en las plantas a partir del triptófano, siendo un intermediario el indol aldehído. Los conocimientos de hoy indican que el zinc es necesario para la síntesis del triptófano. Bajo condiciones de deficiencia en zinc, la producción de auxinas se restringe, contribuyendo a la inhibición del crecimiento.

El crecimiento anormal de los árboles frutales y de otras especies cuando hay deficiencia en zinc se puede deber en parte a la necesidad de este elemento para la síntesis del ácido indol acético.

El zinc participa en el metabolismo de las plantas como activador de diversas enzimas. La primera enzima con zinc en su molécula que se descubrió fue la anhidrasa carbónica. Esta enzima cataliza la descomposición del ácido carbónico en anhídrido carbónico y agua. Otras enzimas que dependen de la presencia de zinc son la deshidrogenasa alcohólica y las deshidrogenasas del piridín nucleotico.

La acumulación de fósforo inorgánico observado en plantas de tomate deficientes en zinc actúa como activador para algunas enzimas transportadoras de fosfato, tales como la quinasa de las hexosas y de la deshidrogenasa del triosafosfato (24).

Otra característica sorprendente de la deficiencia en zinc es la acumulación de compuestos solubles tales como aminoácidos y aminos. Partiendo de esta observación se puede admitir que el zinc debe desempeñar un importante papel en la síntesis de las proteínas (6).

2. DEFICIENCIAS EN ALGUNOS MICRONUTRIMENTOS

2.1 SINTOMAS VISIBLES

2.1.1 DEFICIENCIA EN BORO

En los individuos en que se registra una deficiencia en boro se produce una serie de reacciones fisiológicas y cambios morfogénicos que difieren según las especies y las condiciones ambientales.

Bradford (3) indica que aunque los síntomas de deficiencia en boro varían de una especie de planta a otra, en general, hay un crecimiento terminal en forma de roseta, con muerte descendente en el tallo, decoloración y estímulo del desarrollo de yemas laterales, las que en ocasiones se desarrollan bien; las hojas muestran varias anomalías como encrespamiento, arrugamiento, marchitamiento y manchas cloróticas; además, son quebradizas.

McMurtrey (20, 23) y Shive (28) describieron para el tabaco los siguientes síntomas de deficiencia en boro: hojas jóvenes de color verde claro, más claro en la base que en el ápice, la yema terminal interrumpe su crecimiento y finalmente muere. Pueden aparecer yemas laterales, pero también se mueren después de alcanzar este tamaño. Las

hojas son glabras y quebradizas; cuando se quiebran, el tejido vascular aparece negruzco.

Fisher (9) observó que las plantas de tomate deficientes en boro en pocos días adquirieron un color púrpura; los retoños terminales de color amarillo se encrespaban hacia adentro y posteriormente murieron. La característica más sobresaliente fue la excesiva vidriosidad de los pecíolos y nervaduras principales. Johnston y Doré (12) encontraron como síntomas visibles tempranos una apariencia negruzca en el punto de crecimiento del tallo y la paralización del crecimiento de las ramas y hojas nuevas que están debajo de esta porción muerta; las hojas crecen en longitud pero no en anchura; los tallos y pecíolos son vidriosos.

Lamb y Conroy (15) describen como síntomas en el tomate una clorosis marcada en los márgenes de las hojas superiores, con los centros de color verde oscuro. En la lámina foliar se presentan manchas rosadas, púrpuras y pardas. El brote terminal queda encorvado hacia arriba y las hojas cotiledonares y verdaderas de las plantas jóvenes se vuelven púrpuras (28).

Hougland (11) indica que la planta de papa deficiente en boro es de apariencia lanuda con los entrenudos cortos, el follaje delgado y quebradizo y las hojas más viejas con los márgenes encrespados hacia la haz.

López Jurado (19) indica que la manifestación más típica de la deficiencia en boro en naranjilla o lulo es una deformación de las hojas jóvenes en desarrollo, a manera de un abultamiento de la haz, a consecuencia de un enrollamiento local.

2.1.2 DEFICIENCIA EN HIERRO.

En plantas verdes el síntoma más universal de la deficiencia en hierro, es la clorosis intervenal típica (21). Walliham (33) señala que en los casos de una clorosis leve, la coloración pálida de la hoja no permite distinguir fácilmente la deficiencia en hierro de la deficiencia en nitrógeno y en otros elementos.

En hojas con clorosis más severa el color verde desaparece de las hojas más finas. Posteriormente también desaparece de las principales hasta que, en casos extremos, la hoja queda desprovista completamente del color verde. Las hojas con grandes áreas necróticas se pueden caer y en muchos casos hay una defoliación completa.

Wallace (32) encontró que en el tabaco las hojas más bajas de la planta eran de color verde normal; las hojas más jóvenes algunas veces llegaban a ser completamente blancas, con las nervaduras verdes.

Según el autor antes mencionado (32), en el tomate la deficiencia se presenta en las hojas terminales en forma de una clorosis intervenal de color blanco-amarillento, que comienza como moteado, más intensa cerca de la base de las hojas, mientras que cerca del ápice es más bien verde amarillento.

En la naranjilla la deficiencia se manifiesta como una clorosis típica en las hojas jóvenes; primero de color amarillo y posteriormente unas áreas pequeñas aparecieron casi blancas, que a veces necrosan. Las áreas intensamente cloróticas se presentaron preferentemente en los bordes de

las hojas, las que luego de volverse necróticas se encrespaban (19).

2.1.3 DEFICIENCIA EN MANGANESO.

Los síntomas de una deficiencia en manganeso son bien definidos en muchas plantas. Sin embargo, es fácil confundir los síntomas producidos por la falta de este elemento con aquellos debidos a las deficiencias en zinc y hierro.

Labanauskas (14) dice que en los estados primarios de la deficiencia en manganeso se presentan bandas verde oscuras a lo largo de la vena principal y secundarias, con áreas verdes más claras entre estas bandas. Las hojas jóvenes muestran una red de venas verdes sobre un fondo verde más claro; posteriormente las áreas verde oscuras se transforman en verde opacas y las áreas verde claras persisten; en casos muy severos las áreas verde claras se tornan a menudo grises y hasta blancuzcas.

Eltinge (8) encontró que en el tomate la deficiencia de manganeso se manifestaba como un moteado verde claro, especialmente en las hojas jóvenes; en el centro de cada región verde clara aparecían pequeñas áreas necróticas; el moteado podía avanzar y llegar a ser general en toda la planta, dando al follaje una apariencia pálida (32).

En tabaco, según McMurtrey (22, 23), el síntoma típico es una clorosis de las hojas jóvenes que se desarrolla únicamente entre las venas. En estadios avanzados aparecen en las hojas cloróticas pequeñas áreas necróticas, las que al secarse toman un color verde blanco o pardusco.

Hougland (11) dice que en la papa las hojas cerca del ápice son pequeñas, cloróticas y enrolladas hacia adelante, causando a la hoja un rasgamiento.

En la naranjilla, López Jurado (19) encontró que la deficiencia en manganeso producía una disminución notoria en el tamaño de las hojas inferiores. Las hojas jóvenes eran amarillentas, con áreas verdes en las zonas cercanas a las nervaduras. Posteriormente se presentó una necrosis en los ápices de los lóbulos la que avanzó hacia el interior, en forma intervenal. Las hojas se encorvaron de tal manera que semejaban una especie de "bandejas".

2.1.4 DEFICIENCIA EN MOLIBDENO.

Los síntomas visibles de la deficiencia en molibdeno pueden empezar con un moteado clorótico de las hojas inferiores, localizado entre los nervios, seguido por la clorosis marginal y el encurvamiento de las hojas (6).

En condiciones más agudas, las áreas moteadas pueden pasar a necróticas, logrando que la hoja se seque por entero. La formación de las flores se ve inhibida, y si éstas llegan a formarse se desprenden antes de producir fruto (6).

Malavolta y Johnson obtuvieron síntomas de molibdeno en café utilizando una solución nutritiva altamente purificada. Los síntomas empezaron primero en las hojas subterminales con manchas irregulares amarillo verdosas algo separadas de los bordes. La hoja se rizaba hacia abajo hasta que los bordes laterales se tocaban por debajo. En este pun-

to, las manchas antes mencionadas pierden su color amarillo y la necrosis se hace visible (24).

2.1.5. DEFICIENCIA EN ZINC.

Chapman (15) dice que en muchas plantas deficientes en zinc, se afecta primero el crecimiento terminal. Hay una disminución en la longitud del tallo y un enrosetado o espiralado de las hojas.

Lingle y colaboradores (16, 17, 18), encontraron como síntomas de deficiencia en zinc en el tomate un crecimiento lento a partir de la aparición de la primera hoja verdadera, engrosamiento de las hojas y desarrollo de una clorosis anaranjada pardusca en las hojas más viejas, las cuales a menudo contienen pequeñas áreas necróticas, ya sea distribuidas al azar sobre la superficie de la hoja o concentradas a lo largo de las venas y márgenes. Las hojas viejas se encrespan hacia abajo por sus márgenes (32). En casos de deficiencia severa, según Lingle y colaboradores (16), se presentan a lo largo de las venas, pequeñas manchas parduscas, elongadas, que cuando se unen, causan la muerte de la hoja.

McMurtrey (22, 23) describió los siguientes síntomas de deficiencia en zinc en el tabaco: clorosis en los ápices, márgenes y venas de las hojas más viejas; a esta clorosis sigue una necrosis que empieza en forma de pequeñas áreas que posteriormente se agrandan y envuelven las venas y finalmente a la hoja entera.

Trabajando con plantas de papa en soluciones nutritivas Hougland (11) encontró síntomas de deficiencia en zinc muy bien definidos: las hojas superiores asumían una ligera posición vertical, mientras los márgenes de algunas se encrespaban ligeramente hacia la haz. Las hojas eran pequeñas; generalmente en las hojas medias se presentaban manchas irregulares pardo grisáceas o bronceado, pero algunas veces también sobre las hojas más viejas o más jóvenes, y finalmente sobre todas las hojas. Con deficiencia severa en los tallos y los pecíolos se desarrollaban manchas pardas.

López Jurado (19) en naranjilla describe la deficiencia en zinc como un crecimiento relativamente reducido; en las hojas inferiores, el color era más verde que el normal, con zonas pequeñas pero abundantes, entre las nervaduras, de color amarillento; en las hojas jóvenes se observó un encrespamiento que comenzó en los bordes.

2.2 EFECTOS SOBRE LA ANATOMÍA

2.2.1 DEFICIENCIA EN BORO.

Johnston y Doré (12) indican que las hojas de las plantas de tomate que crecieron en medio deficientes en boro, desarrollaron un color púrpura distintivo, debido probablemente a la presencia de antocianina, pigmento que frecuentemente está asociado con un exceso de acumulación de azúcares. Los mismos autores hicieron exámenes microscópicos de los pecíolos y tallos de plantas deficientes y encontraron una necrosis en el floema.

Bradford (3) manifiesta que, en general, la deficiencia en boro conduce a una degeneración de los tejidos meris-

temáticos, incluyendo el cámbium, descomposición de las células parenquimáticas, y a un desarrollo débil de los tejidos vasculares; el floema y el xilema se desarrollan en forma imperfecta. Se presentó también una hipertrofia de las células de paredes delgadas junto con una decoloración, la que comúnmente es seguida por una desintegración de la célula.

En la naranjilla; López Jurado (19) indica que la deficiencia en boro produce en la hoja pérdida completa de la forma de la nervadura central debido a que todas las células parenquimáticas, colenquimáticas y epidérmicas sufrieron un arrugamiento. El floema se encontraba seriamente afectado y las células del xilema cambiaron de forma. El tejido vascular se encontraba invadido por unas comisuras negras que envolvían el floema.

En algodón y tomate, los tallos deficientes en boro exhibieron un menor crecimiento de sus tejidos secundarios, especialmente del xilema, cuyos vasos eran de pequeño diámetro. En casos de deficiencias extremas se presentaron células necrosadas en la médula. Existía además, una zona cambial ancha como consecuencia de una menor diferenciación (26).

Jelivette y Walker (13) encontraron que las raíces de repollo deficientes en boro, mostraban un cámbium mucho más desarrollado debido a la poca diferenciación del floema y del xilema, hallándose áreas necróticas en las zonas sin diferenciar.

2.2.2 DEFICIENCIA EN HIERRO.

La deficiencia de hierro causa una reducción en el tamaño de los cloroplastos y una desorganización en su estructura.

West y Harris (34) mencionan que la deficiencia en hierro en las raíces de frijol origina una rápida cesación de la división celular en sus meristemas apicales, en cambio, los ápices de las raíces de alverja, cultivadas en un medio sin hierro, no mostraron ninguna alteración (29).

En la naranjilla la deficiencia en hierro produjo una abundancia de almidón en las células parenquimáticas de la corteza de la raíz. En la hoja produjo una disminución del tejido colenquimático y del tejido conductor. Las células en empalizada eran delgadas, separadas, dejando amplios espacios intercelulares; la epidermis inferior más delgada que la hoja normal (19).

2.2.3 DEFICIENCIA EN MANGANESO

Eltinge (8) afirma que los cambios morfológicos que se producen en las hojas de tomate deficientes en manganeso coinciden bien con aquellas producidas internamente. Los plásticos, especialmente los de las células en empalizada, mostraron primeramente el daño en forma de un color verde amarillento, contrastando con el color verde oscuro normal de los plastidios sanos. Las hojas deficientes en manganeso son más delgadas y tienen células en empalizada más pequeñas que el testigo; muchas células contienen grandes masas de cristales, lo cual ocurre también en las células del parénquima en tallos deficientes.

Los tallos deficientes en manganeso tienen un diámetro más pequeño, contienen menos xilema y a menudo presentan células del xilema taponadas con material coagulado. Algunas de las células conductoras de las nervaduras de hojas deficientes, también estaban taponadas; en este caso la obstrucción fue causada por cristales y material coagulado, tal como lo menciona Eltinge (8).

En la naranjilla la deficiencia en manganeso mostró que las células que formaban el mesofilo esponjoso y en empalizada, crecían en forma compacta sin dejar casi ningún espacio entre sí. En la región correspondiente a la lámina foliar hubo una invasión de células parenquimáticas de forma alargada, provenientes del nervio principal (19).

2.2.4 DEFICIENCIA EN ZINC.

Carlton (4) encontró que en las raíces de las plantas de tomate deficientes en zinc, las células de la endodermis mostraban bandas de Caspary bien definidas y las células del xilema se desarrollaban con paredes gruesas. Aunque el histógeno mostró zonación típica, no había tejido meristemático en el ápice radical. En una sección transversal se observó una reducción evidente de la actividad meristemática, y las paredes celulares del protoxilema engrosadas y muy lignificadas. En la corteza se presentaron muy pocas divisiones celulares y no había colénquima.

Reed (27) menciona que la deficiencia en zinc causa en algunas especies una evidente desorganización celular en los meristemas apicales y un retardo en los procesos de crecimiento, diferenciación y multiplicación celular.

Investigaciones sobre la estructura fina del cloroplasto en hojas de fríjol deficientes en zinc, manifestaron que éstos tenían gran cantidad de estroma en relación al sistema grana, el cual fue extremadamente reducido y desorganizado (31).

Tallos de tomate deficientes en zinc, exhibieron una reducida cantidad de elementos xilemáticos, debido posiblemente, a la poca actividad del cámbium; se observó la falta casi completa de cámbium interfascicular, además de un cámbium fascicular pobremente desarrollado que estaba totalmente ausente en algunos haces vasculares (4).

López Jurado (19) manifiesta que las hojas de naranjilla deficientes en zinc, mostraban su nervadura principal, en ambas caras, completamente deformada, debido a un arrugamiento de las células. Las células parenquimáticas que normalmente rodeaban el tejido conductor eran poliédricas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ALBERT, L.S. Ribonucleic acid content, boron deficiency symptoms and elongation of tomato root tips. *Plant Physiology*, 40(4): 649-652. 1965.
- 2.- AWAD, M. Nutrición mineral de las plantas en el suelo. In: Seminario para Profesores de Fisiología Vegetal. Lima-Perú, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1967. "p. irr".
- 3.- BRADFORD, D.R. Boron. In: Chapman, H.D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 324-361.
- 4.- CARLTON, W.M. Some effects of zinc deficiency on the anatomy of the tomato. *Botanical Gazette* 116(1): 52-64. 1954.
- 5.- CHAPMAN, H.D. Zinc. In: Chapman, H.D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 484-499.
- 6.- DEVLIN, R.M. Fisiología vegetal. Trad. del inglés por Xavier Llimona Pagés. Barcelona, Omega, 1970. pp. 387-399.
- 7.- EATON, F.M. Interrelation in the effects of boron and indol acetic acid on plant growth. *Botanical Gazette* 101(3): 700-705. 1939.
- 8.- ELTINGE, E.T. Effect of manganese deficiency upon the histology of *Lycopersicon esculentum*. *Plant Physiology* 16 (1): 189-195. 1941.
- 9.- FISHER, P.L. Responses of the tomato in solution cultures with deficiencies and excesses of certain essential elements. Maryland Agricultural Experiment Station. Bulletin 375. 1935. pp. 283-298.
- 10.- GAUCH, H.G. and DOGGER Jr., W.M. The role of boron in the translocation sucrose. *Plant Physiology* 28 (3): 457-466. 1953.
- 11.- HOUGLAND, G.V.C. Nutrient deficiencies in the potato. In: Hunger sings in crops. 3rd. New York, 1964. pp. 299-344.
- 12.- JOHNSTON, E.S. and DORE, W.H. The reaction of boron to the growth of the tomato plant. *Science* 67 (1734): 324-325. 1928.
- 13.- JOLIVETTE, J.P. and WALKER, J.C. Effect of boron deficiency on the histology of garden beet and cabbage. *Journal of Agricultural Research* 66 (4): 167-182. 1943.
- 14.- LABANAUSKAS, C.K. Manganese. In: Chapman H.D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 264-285.
- 15.- LAND, J.G.D. and CONROY, E. Minor element deficiencies noted in commercial tomato crop in Ireland. *Iris Journal of Agricultural Research* 1(3): 342-343. 1962.
- 16.- LINGLE, J.C. and HOLMBERG, D.M. Zinc-deficiency crops: sweet corn, tomatoes, beans and sugar beets used in test for zinc deficiency. *California Agriculture* 10(2): 13-14. 1956.
- 17.- LINGLE, J.C. HOLMBERG, D.M. and ZOBEL, M.P. Zinc deficiency of tomatoes. *California Agriculture* 11(9): 10-11. 1957.
- 18.- LINGLE, J.C., HOLMBERG, D.M. and ZOBEL, M.P. The correction of zinc deficiency in tomatoes in California. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 72: 397-402. 1958.
- 19.- LOPEZ JURADO, G. Síntomas de deficiencia en algunos elementos en la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) y su influencia en la morfología y anatomía. Tesis Magister Scientiae. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Centro de Enseñanza e Investigación. Turrialba, Costa Rica, 1970. 97 p.
- 20.- McMURTREY Jr., J.E. The effect of boron deficiency on the growth of tobacco plants in aerated and unaerated solutions. *Journal of Agricultural Research* 38(7): 371-380. 1929.
- 21.- McMURTREY Jr., J.E. Distinctive effects of the deficiency of certain essential elements of the growth of tobacco plants in solution cultures. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 340. 1933. 42 p.
- 22.- McMURTREY Jr., J.E. Deficiencies of secondary and micro-nutrient elements in plants. *Better Crops with Plant Food* 36(9): 19-26, 42-48. 1952.
- 23.- McMURTREY Jr., J.E. Nutrient deficiencies in tobacco. In: Hunger sings in crops. 3rd. New York. McKay, 1964. pp. 99-141.
- 24.- MALAVOLTA, E., et al. La nutrición mineral de algunas cosechas tropicales. Berna, Suiza, Instituto Internacional de Potasa, 1964. 163 p.

- 25.- MEYER, B.S., ANDERSON, D.B. and BOHNING, R.H. Introduction to plant physiology. Princeton, N.J., D. van Nostrand, 1.960. 541 p.
- 26.- PALSER, B.F. and McILRATH, W.J. Response of tomato, turnip and cotton to variation in boron nutrition. II. Anatomical responses. Botanical Gazette 118(1): 53-71. 1.956.
- 27.- REED, H.S. Specific effects of zinc applications of leaves and twigs of orange trees affected with mottle-leaf. Journal of Agricultural Research 53(5): 395-398. 1.936.
- 28.- SHIVE, J.W. The adequacy of boron and manganese content of natural nitrate of soda to support plant growth and sand culture. New Jersey Agricultural Experiment Station. Bulletin 603. 1.936. 36 p.
- 29.- SOMMER, A.L. and SO.ROKIN, H. Effects of the absence of boron and of some other essential elements on the cell and tissue structure of the root tips of *Pisum sativum*. Plant Physiology 3(3): 237-260. 1.928.
- 30.- SPURR, A.R. Boron in morphogenesis of plant cell walls. Science 126 (3263): 78-80. 1.957.
- 31.- THOMSON, W.W. and WEIER, T.E. The fine structure of chloroplasts from mineral-deficient leaves of *Phaseolus vulgaris*. American Journal of Botany 49(10): 1047-1055. 1.962.
- 32.- WALLACE, T. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms: a colour atlas and guide. 2nd ed. New York, Chemical Publishers, 1.961. 125 p.
- 33.- WALLIHAN, E.F. Iron. In: Chapman, H.D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1.966. 793 p. pp. 203-212.
- 34.- WEST, S.H. and HARRIS, H.C. Physiological and biochemical functions of microelements. Soil and Crop Science Society of Florida, Proceedings 25: 83-95. 1.965.
- 35.- WHITTINGTON, W.J. The role of Boron in plant growth. Journal of Experimental Botany 24(8): 353-367. 1.957.

METODOLOGIA PARA LA INVESTIGACION DE PROBLEMAS DE MICRONUTRIMENTOS

*E. Bornemisza **

La deficiencia de micronutrientos afecta con más frecuencia la producción agrícola de lo que se estiman la mayoría de los productores o investigadores agrícolas. Se conoce ahora que la aparición de síntomas foliares que indican la deficiencia ya es señal de un grado avanzado del problema que bien pudo haber causado un veinte por ciento de pérdida de la cosecha. Ocurre también que comúnmente las deficiencias de micronutrientos son problemas del agricultor progresista quienes con buenas prácticas agrícolas llegan a altos niveles de producción agotando las reservas a veces moderadas de micronutrientos que pueden ser suficientes para una cosecha moderada (22).

Las investigaciones con micronutrientos consisten básicamente de dos etapas:

1. Detección correcta de los problemas existentes y de los factores causantes de estos problemas, incluyendo estudios de:
 - a) determinación en suelos
 - b) determinaciones en tejidos vegetales
 - c) determinación de los factores causantes de poca disponibilidad y
 - d) detección de las correlaciones entre condiciones de suelos, plantas, clima y producción.
2. Diseño de métodos adecuados para la corrección de estos problemas.
 - a) decidir cuando abonar
 - b) decidir con qué cantidad abonar
 - c) decidir por qué método aplicar el elemento

MUESTREO

Los estudios comienzan en general con la toma de muestras de suelos o foliares. Este paso, que limita la validez de cualquier proceso posterior, requiere mucho cuidado ya que comúnmente los errores debidos a la toma de la muestra son superiores a los que se cometen en el proceso del análisis (5).

Se estima que la toma de muestras en el campo representa el primer paso de cuatro que son esenciales para un programa bien diseñado de evaluación de suelos (21). Este programa solamente se puede realizar en forma útil basándose en una investigación amplia en el sitio del programa, ya que las investigaciones sobre calibración de métodos de análisis en sí no son transferibles y así tienen que realizarse en los lugares de su uso (21, 40). Este es especialmente cierto en el caso de los elementos menores, para los cuales la influencia de factores de suelo y de clima es grande en lo que se refiere a su disponibilidad (17).

Existe mucha variación en la composición de los suelos a nivel de la muestra, según lo demuestran algunos estudios a nivel de macronutrientos (8, 23). Por desgracia no se ha podido encontrar estudios comparables para micronutrientos, aunque éstos son muy necesarios (8) ya que posiblemente la variación de contenido de elementos menores en suelos es mayor que la de los elementos principales.

La recomendación general para el número de muestras a tomar entonces se puede derivar de la fórmula propuesta por Peterson y Calvin (26) que dice:

$$N = \frac{T_a^2 S^2}{D} \text{ donde:}$$

N = número de muestras necesarias

T_a = T de Student con $(n-1)$ grado de libertad y "a" nivel de probabilidad

S^2 = la varianza

D = límite especificado de precisión

En lo referente a la profundidad de muestreo, con frecuencia se recomienda tomar muestras que representen la capa arable, es decir a unos 15 cm. de profundidad (8). Se cree que la mayoría de los micronutrientes agregados se concentran en esta zona, la cual nutre la mayoría de las plantas. Si uno tiene evidencia que una capa inferior es también importante en la nutrición de la planta que se estudia, hay que incluirla en el muestreo.

Para fines pedológicos, donde se puede buscar la fracción del suelo con la cual está asociado uno u otro micronutriente, la toma de las muestras es diferente. El esquema propuesto por Le Riche y Weir (16) permite una separación de los componentes principales de los suelos y dar así la información necesaria.

Para tomar buenas muestras es esencial tener un buen equipo. La siguiente es la lista de Peck y Melsted (23) ampliada de las seis características que debe reunir un buen equipo:

1. Tomar muestras pequeñas y relativamente uniformes para poder combinarlas en muestras compuestas.
2. Ser fácil de limpiar.
3. Ser adaptable para suelos de diferentes texturas y grados de humedad.
4. No contaminar las muestras.
5. Ser resistentes al herrumbrarse y de construcción duradera para resistir el trabajo en suelos con piedras.
6. Ser de uso fácil para que se pueda tomar rápidamente las muestras.

Deben tenerse ciertas precauciones en lo que se refiere al secado de las muestras. Se sabe que éste influye sobre el Mn intercambiable (9) aunque no se conocen todos los efectos del grado de humedad sobre extracción de elementos menores (3, 9). La cantidad de Fe soluble es también afectada por la secada de las muestras, similar a otras propiedades y especialmente en suelos de cenizas volcánicas (33).

Secar en papel periódico es menos recomendable que en plástico, ya que el primero absorbe la solución del suelo, lo que es particularmente cierto en suelos muy orgánicos y de cenizas volcánicas.

Tomar una buena muestra foliar presenta problemas similares al muestreo de suelos. Se ha visto que para que los tejidos foliares representen adecuadamente una planta se debe considerar:

1. Que la parte de la planta que se escoge sea representativa de la planta entera.
2. Que la edad de la parte que se escoge sea adecuada.
3. Que el número de plantas de las cuales se toma la muestra sea suficientemente grande para que representen la población entera.

Por desgracia, la información sobre plantas tropicales es escasa y aún para cultivos de zona templada solamente exis-

ten pocos datos sobre el tamaño óptimo de muestras (14), para la determinación de elementos menores.

PRECAUCIONES PARA EVITAR CONTAMINACION DE MUESTRAS

Debido a las bajas concentraciones en que se presentan los micronutrientes, una pequeña contaminación puede causar errores particularmente grandes. Se debe evitar el uso de materiales como hierro galvanizado, bronce, latón o hule, en el equipo de muestreo o en los contenedores de las muestras (8). El uso de material plástico parece ser especialmente recomendable al trabajar con micronutrientes catiónicos (40).

Para estudios de boro deben evitarse las bolsas de papel craft ya que pueden conducir a contaminación. Es bien conocida la necesidad de evitar cristalería cuyo material principal son borosilicatos en trabajos con este elemento ya que este tipo de vidrio, al cual pertenecen las marcas Pyrex y Jena como representantes principales, contribuyen con suficiente B como para falsificar los resultados. Sin embargo, el vidrio Pyrex o sus análogos son satisfactorios para trabajar con los demás elementos menores (32).

DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS MENORES

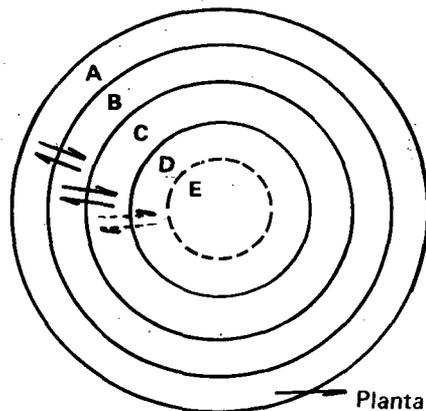
Una muestra adecuadamente tomada y procesada permite la determinación correcta de los elementos.

Para fines agrícolas y en muestras de suelos se necesita una extracción que separe una cantidad tal del elemento similar o proporcional a la que extrae la planta. Para asegurar que esto ocurra se deberán efectuar experimentos de calibración, los que se discutirán más adelante.

Para muestras foliares se trabaja con el contenido total de elementos menores.

Se conoce que los elementos menores catiónicos se presentan en suelos en diferentes grados de solubilidad. Un resumen de lo que se conoce en este campo se puede obtener basándose en la hipótesis de Viets de los "Cinco compartimentos" (38). El primero de estos

compartimentos contiene la fracción soluble en agua del elemento (A) y está en equilibrio con el compartimento (B) el cual contiene la fracción intercambiable del elemento. Este compartimento también está en equilibrio con la tercera fracción (C) que consiste de la parte adsorbida, quelatada y en complejos del elemento. El cuarto compartimento (D) lo forma la fracción del elemento que contienen los minerales de arcilla y los óxi-



dos de metal poco solubles. La última fracción (E) la forma la parte en minerales primarios.

Entre los compartimentos D y E se estableció una separación con línea interrumpida debido a que los métodos analíticos corrientes no permiten una separación clara entre estas fracciones.

Debe anotarse que las flechas de equilibrio entre D y C son interrumpidas para indicar que la reacción de meteorización de los minerales secundarios que se indica aquí, no es un verdadero equilibrio.

Se conoce que los compartimentos A, B y C son importantes para suplir elementos a las plantas a corto y mediano plazo (8) y por esto es importante que los métodos de extracción abarquen la totalidad o parte proporcional del elemento en estos compartimentos.

Se debe considerar también que la fracción importante de los micronutrientes que viene de la materia orgánica cae en varios compartimentos, especialmente en los A, B y C.

Por desgracia para los aniones en suelos no se puede establecer un esquema similar (38).

De las fracciones antes discutidas se extrae una fracción que según Viets deberá reunir las siguientes condiciones:

1. Deberá extraer una fracción estrechamente correlacionada con lo que absorben las plantas. Por esto deberá indicar los cambios en los contenidos en el suelo que resulten de la extracción por las plantas, la adición en abonamiento y las influencias del medio ambiente como humedad y temperatura.
2. La extracción debe ser también barata, de fácil realización y permitir su incorporación en el trabajo rutinario del laboratorio.

Se estima útil agregar una tercera condición a estos dos originales: según la cual,

3. La extracción debe rendir un extracto en la cual es fácil la determinación del elemento.

Existe un volumen apreciable de literatura sobre los extractantes adecuados para diferentes elementos menores (8, 15, 19, 20, 22, 39, 40, 42), especialmente los catiónicos. Evidentemente, el tipo de suelo influye en forma decisiva sobre el extractor a usar. Así, se observó que paradójicamente típicos de la zona cafetalera de Costa Rica el HC1 0.1 N es el extractor más adecuado tanto para Cu (15) como para Zn (11, 19). Se ha usado este mismo extractor para Cu en Brasil (35) y en el sureste de E.E.U.U. (22) con resultados satisfactorios. El uso del magnesio como catión cambiador para extraer Zn disponible, que ha dado muy buenos resultados en condiciones de los E.E.U.U. (34), ha sido menos eficiente en condiciones de suelos volcánicos.

EXTRACCION DE ANIONES

Esta extracción debe reflejar los requerimientos de las plantas, en general bajos, y la influencia de una serie de factores que influyen sobre ellos como son el clima y diversos químicos y biológicos en el suelo (28).

El extractor más usado tanto para B y C1 como para Mo es el agua, especialmente a reflujo (2, 28), procedimiento

que ha dado valores satisfactorios en suelos de origen volcánico (25, 29).

Las extracciones con agua para extraer cloruros disponibles también son más comunes en las investigaciones referentes a problemas de toxicidad que en estudios de deficiencia de este elemento ya que las plantas pueden absorber foliarmente y del aire este elemento y satisfacen así sus bajas necesidades (28).

El enfoque más moderno para extraer micronutrientes aniónicos es la técnica de extracción con resinas de intercambio, propuesta por Bhella y Dawson (3). Se estima que este procedimiento, usado con buenos resultados para suelos de Oregón, debe investigarse en condiciones de suelos tropicales donde el problema del Mo merece más atención de la que está recibiendo en el ambiente Latinoamericano.

DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS MENORES

La determinación de los micronutrientes presenta más problemas que la determinación de elementos mayores, aunque la problemática de buenas determinaciones de fósforo tiene mucho en común con aquellos, especialmente en lo que se refiere a los análisis de suelos. Autores que han estudiado los resultados de diferentes laboratorios (40) donde se trabaja rutinariamente con elementos menores creen que se necesita más cuidado en la calibración de las prácticas de análisis y en evitar contaminaciones para que los datos rutinarios sobre elementos menores merezcan más confianza.

En el campo de los elementos menores catiónicos, en los últimos años el uso de la absorción atómica ha traído una mejor eficiencia en los trabajos (31, 13). Esto se debe a que, para el Fe y el Zn la absorción atómica es más eficiente que otras técnicas y que para el Cu, Mo y Mn es igualmente eficiente (13). La posibilidad de usar los aparatos modernos de absorción atómica también como equipo de fotometría de llama, ha contribuido a su mayor aceptación ya que el enfoque original de adaptación de unidades de absorción atómica a equipos de fotometría de llama ha dado pocos resultados.

Otras técnicas, como la emisión de rayos X no sólo requieren equipo de valor elevado sino que tienen una sensibilidad inferior a las técnicas de absorción atómica para elementos menores catiónicos.

La técnica de espectroscopía ha caído en desuso más que todo por sus dificultades técnicas ya que requiere analistas con gran experiencia para un funcionamiento confiable.

Los elementos que se presentan como verdaderos aniones C1 y B requieren técnicas diferentes. Para el boro, la colorimetría sigue siendo el enfoque más sencillo. Una parte apreciable de los investigadores parecen preferir el método de la curcumina al de la quinalizarina. Evidentemente, la necesidad de tener que trabajar con un reactivo como el H_2SO_4 concentrado en el caso de la quinalizarina es una desventaja. Los instrumentos más modernos de absorción atómica permiten determinaciones de boro.

Para determinar C1 se usan extractos acuosos de los cuales el elemento es precipitado con $AgNO_3$ valorado, detec-

tando el punto final o colorimétricamente o por conductimetría. Existen electrodos sensitivos al cloruro que permiten su determinación (28).

Es importante mencionar la posibilidad de las técnicas de determinación biológica ya que estas permiten trabajos con poco equipo y su problema de laboriosidad no representa una desventaja muy grave en muchas condiciones donde hay mano de obra abundante. Un ejemplo es el trabajo de Weinberger y Wenzel (43) sobre molibdeno en suelos de cenizas volcánicas de Chile, quienes midiendo los niveles de molibdeno con una planta indicadora raps (*Brassica napus*) que llegarán a conclusiones útiles sobre el estado del elemento en los suelos antes mencionados.

Es posible detectar y confirmar problemas de micronutrientes por medio de ensayos de invernadero, particularmente con la técnica del elemento faltante.

En general, hay un aumento en las determinaciones de micronutrientes, debido a la disponibilidad de mejor equipo. Esta producción de más datos hace necesario los trabajos de calibración a fin de obtener una interpretación adecuada de los mismos.

Es necesario mantener un cuidado permanente para asegurar la calidad de las determinaciones. En esta línea, el uso frecuente de patrones internos es sumamente recomendable. Se sugiere que diariamente se incluya en laboratorios de análisis de rutina algunas muestras "patrón" con características conocidas que permitan detectar cualquier desviación de los resultados correctos.

CALIBRACION DE LOS METODOS ANALITICOS

Para que los resultados de análisis de suelos sean útiles para el agricultor se debe establecer correlaciones entre los datos de laboratorios y las respuestas de los cultivos al elemento en estudio (1). Un enfoque inicial de estos estudios se puede realizar en el invernadero donde se puede comparar una gran variedad de suelos bajo condiciones idénticas y controladas (22). Las condiciones de invernadero permiten también cultivar diferentes plantas al mismo tiempo y con costos reducidos.

A pesar de estas ventajas los estudios de invernadero no dan más que información preliminar ya que tienen las siguientes limitaciones (22):

1. Las plantas crecen en un volumen de suelo limitado para sus raíces y así la respuesta a los nutrimentos aplicados puede ser mayor que en el campo.
2. Condiciones de iluminación deficientes y diferentes al campo pueden influir sobre los rendimientos.
3. No se puede evaluar el efecto del subsuelo ni de las condiciones climáticas del campo, ya que éstos son alterados.
4. No se puede llevar a muchas plantas a la madurez en el invernadero o éste es muy difícil, como por ejemplo cafetos, bananos, etc., lo que hace imposible evaluar su producción real.
5. Existe el peligro de contaminación, ya que se requiere solamente cantidades muy pequeñas para esto.
6. Es imposible obtener datos sobre los aspectos económicos de las prácticas necesarias para corregir las de-

ficiencias y así no hay manera de llegar a recomendaciones para los agricultores.

De esta manera, al igual que para los macronutrientes, los estudios de campo son esenciales para los micronutrientes.

Sin embargo mientras que para los elementos N, P y K la abundante información existente permite desarrollar modelos estadísticos que sirven para hacer recomendaciones de abonamiento (6, 7), para los micronutrientes parece preferible la simple separación de los datos obtenidos en dos grupos que representen las muestras con cantidades adecuadas o inadecuadas del elemento, respectivamente. Este procedimiento se reconoce como el primer nivel de estudio de los datos (1) y como una forma útil de manejar los. Cate y Nelson (4) recomiendan un procedimiento sencillo y estadísticamente válido para la separación de las poblaciones con cantidades adecuadas o inadecuadas de nutrimentos. Aunque este enfoque no alcanza el grado estimado por Hanway (12) como deseable para la experimentación de campo, el cual debe llegar a una caracterización cuantitativa del sistema de producción según este autor, puede permitir el uso racional de elementos menores y así contribuir a una agricultura más eficaz. El hecho de que los costos de aplicación de elementos menores es normalmente reducido, justifica aún más este enfoque sencillo, y con éste fin Mortvedt (22) sugiere establecer como criterio la respuesta a la aplicación de un elemento y de separar por un "nivel crítico de concentración" aquellos suelos que responden a la aplicación del elemento de los otros que no presentan esta respuesta. Se estima que una clara separación de estas poblaciones es característica de un buen método y así, si se comparan diferentes métodos, aquellos que permiten una separación en acuerdo con los datos agronómicos son los más adecuados.

Este enfoque se complica en el caso del Zn, cuyos requerimientos varían de acuerdo a los mayores o menores niveles de P presentes (11). Esto resulta en un ámbito de insuficiencia en presencia de altas dosis de P (21) y así respuestas a dosis mayores. La adsorción particularmente fuerte de Mo por suelos volcánicos encontrados en Chile también puede complicar la interpretación de los datos (10).

Otra forma de calibrar los métodos analíticos está en función de la absorción de los nutrimentos por plantas en el invernadero (22). Esta técnica es superior al enfoque de basarse únicamente en concentraciones foliares ya que también contempla el crecimiento. Evidentemente, según la Ley de Liebig, es fundamental que no sea limitante en estos experimentos ningún elemento excepto el que se está estudiando.

Usando esta técnica se pueden establecer coeficientes de correlación entre la cantidad extraída por las plantas y por las soluciones extractoras, lo que puede ser una guía para seleccionar la solución más adecuada. Es importante recordar que la solución que se recomiende debe permitir una determinación conveniente del elemento, extrayendo suficiente cantidad del mismo y no presentando interferencias con la determinación.

Se puede establecer la correlación de los micronutrientes extraíbles con la concentración de los mismos en teji-

dos vegetales. Existen varios estudios de este tipo que demuestran que hay varios extrayentes que permiten correlaciones significativas en el caso de varios cultivos. Desafortunadamente no se han encontrado trabajos latinoamericanos de este tipo.

Por desgracia casi no existen verdaderos experimentos de calibración en el campo donde se correlaciona la producción agrícola con niveles de elementos menores que limiten la producción. La necesidad de áreas apreciables con deficiencias relativamente uniformes hacen más difícil este tipo de investigación.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Los resultados de métodos analíticos debidamente calibrados requieren una interpretación en términos de prácticas agrícolas para que sean útiles para los agricultores. Se conoce que para recomendaciones adecuadas se necesita más información que los datos analíticos, aunque sean bien calibrados y expresen relaciones significativas con el comportamiento de las plantas.

Solamente considerando los efectos de la planta, clima y suelo se puede llegar a las recomendaciones adecuadas.

Debe recordarse que los requisitos de elementos menores de diferentes plantas son variables. Así, el maíz es más afectado por deficiencias de Zn que el sorgo, mientras que para el hierro el más afectado es el último (22). Esta diferencia llega hasta el nivel de cultivares que pueden diferir en sus requerimientos y tolerancias para elementos menores como se sabe por ejemplo para el café en caso del manganeso y el caso del zinc para el maíz (36).

Se sabe también que los factores influyen sobre la disponibilidad de los elementos menores aunque aún no se comprenden varios de los procesos involucrados en el fenómeno (17). Se conoce que las temperaturas bajas reducen la disponibilidad de Zn y Mn. El efecto de la luz es variable sobre la disponibilidad de elementos; mientras que mucha luz fomenta deficiencias de B poca luz favorece la falta de Mn (17).

En lo que se refiere a la humedad, un período seco reduce la disponibilidad del B, Mn y de Fe pero no afecta al Cu y Zn (17).

Varias prácticas agrícolas influyen también y tienen que ser considerados. La presencia de altos niveles de P influye no solamente la disponibilidad del Zn como es bien conocido, sino también del Cu y del Fe (17).

En general solamente se recomienda la aplicación de abonos con micronutrientes cuando hay evidencia experimental de una respuesta a estos elementos o que los suelos sean marginales en ellos. En Latinoamérica existen ejemplos positivos de corrección de deficiencias de elementos menores hace ya más de veinte años (24, 25) y la contribución de estas prácticas a una mejor producción ha sido apreciable.

Es importante considerar que las relaciones entre los contenidos de un elemento medidos en el suelo y la cantidad del mismo a añadir para una respuesta óptima depende de una serie de factores como se vio previamente. Para poder precisar estas influencias es esencial un ordenamiento cuidadoso de los datos experimentales (30). Este ordenamiento

debe considerar todos los factores que han sido identificados como de influencia apreciable.

El próximo problema es el de la cantidad a aplicar. Este problema es en general menos crítico para los elementos menores que para los mayores. Se tiene la impresión de que la ley fundamental que debe regular la aplicación de elementos menores es la ley de Liebig con un énfasis menor en la ley de Mitscherlich.

La parte crítica al aplicar elementos menores, en general de costo reducido, es de asegurar que la planta tenga una cantidad adecuada del elemento y que éste no llegue a cantidades perjudiciales. Esto requiere cuidado ya que la diferencia entre el nivel de suficiencia y de toxicidad es moderada, el cual debe encontrarse en experimentos de campo. En lo que se refiere a estudios con elementos menores se sugiere diseños sencillos y la mayor repetición prácticamente posible para reducir los efectos de variables incontrolables en los suelos y plantas. Se sugiere también un estudio cuidadoso de los factores ambientales y de las propiedades del suelo que pueden influir sobre la disponibilidad de los elementos añadidos y del material vegetal que se usa.

En resumen, una experimentación bien cuidadosa puede conducir en muchas situaciones a aumentos apreciables de rendimiento a bajo costo y puede permitir un mejor aprovechamiento de los elementos mayores aplicados a la cosecha.

BIBLIOGRAFIA

1. Barber, S.A. The changing philosophy of soil test interpretation. In G.W. Hardy (ed) Soil testing and plant analysis. Vol. 1, pp. 125-135. Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. No. 2. Madison, Wisc, U.S.A. (1967).
2. Berger, K.C. y E. Truog. Boron determination in soils and plants. Ind. Eng. Chem, Anal. Ed. 11: 540-545.
3. Bhella, H.S. y M.D. Dawson The use of anion exchange resin for determining available soil molybdenum. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36 (1) 177-179. (1972).
4. Cate Jr., R.B. y L.A. Nelson A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 35 (4) 658-660. (1971).
5. Cline, M.D. Principles of soil sampling. Soil Sci. 58(4) 275-288. (1944).
6. Colwell, J.D. Calibration and assessment of soil tests for estimating fertilizer requirements. I Statistical models and tests of significance. Austr. J. Soil Res. 5: 275-293. (1967).
7. Colwell, J.D. Calibration and assessment of soil tests for estimating fertilizer requirements. II Fertilizer requirements and an evaluation of soil testing. Austr. J. Soil Res 6: 93-103 (1968).
8. Cox, F.R. y E.J. Kamprath. Micronutrient soil tests. In: J. J. Mortvedt et al (eds) Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisc. USA pp. 289-317 (1972)
9. Fassbender, H.W. y J.A. Roldán. Formas y equilibrio del manganeso en suelos de América Central. Turrialba 23 (1) 30-36. (1976).

10. González, R., H. Appelt, E.B. Schalscha y T.T. Bingham. Molybdate adsorption characteristics of volcanic-ash-derived Soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38 (6) 903-906. (1974).
11. Grisolia, F.A. y E. Bomemisza Interacciones fósforo, zinc y manganeso en ocho suelos de Costa Rica. Memorias, V Congr. Latinoam de la Ciencia del Suelo, y VI coloquio Nacional sobre Suelos. pp. 355-357 (1977). Medellín, Colombia. (1975).
12. Hanway, J.J. Field experiments for soil test correlation and calibration. In: G.W. Hardy (ed) *Soil testing and plant analysis Vol. 1* pp. 103-114, *Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. No. 2*. Madison, Wisc, USA. (1967).
13. Isaak, R.A. y J.D. Kerber Atomic absorption and flame photometry: Techniques and uses in soil, plant and water analysis. In: L.M. Walsch (ed) *Instrumental methods for analysis of soils and plant tissues*. *Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisc. USA.* pp. 17-37. (1971).
14. Jones, J.B. Plant tissue analysis for micronutrients. In: J.J. Mortvedt et al. (eds) *Micronutrients in agriculture*. *Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison Wisc., USA.* pp. 319-346. (1972).
15. Koss, J., J.F. Carvajal y J.A. Solano. Nutrición por cobre en algunos suelos cafetaleros y cafetos de Costa Rica. *Turrialba* 23 (2) 208-215. (1973).
16. Le Riche, H.H. y A.H. Weir. A method of studying trace elements in soil fractions. *J. Soil Sci.* 14 (2) 225-235. (1963).
17. Lucas, R.E. y B.D. Knezek. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants In: J.J. Mortvedt et al. (eds) *Micronutrients in Agriculture*. *Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison Wisc., USA.*, pp. 265-288. (1972).
18. Mannix, J. y R.M. Rodríguez. Estudio sobre toxicidad del cobre acumulativo en los suelos del litoral Pacífico Sur de Costa Rica. *Actas 13º Reunión Anual PCCMCA* pp. 77-80. (1967).
19. Marinho, M.L. y K. Igue. Factors affecting Zn absorption by corn from volcanic ash soils. *Agron, J.* 64 (1) 2-8. (1972).
20. Martens, D.C. Plant availability of extractable boron, copper and zinc as related to selected soil properties. *Soil Sci.* 106 (1) 23-28. (1968).
21. Melsted, S.W. The philosophy of soil testing. In: G.W. Hardy (ed) *Soil testing and plant analysis*. *Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. No. 2*. Madison, Wisc., USA, Vol, pp. 13-23. (1967).
22. Mortvedt, J.J. Micronutrient soil test correlations and interpretations. In: T.R. Peck, J.T. Cope Jr., y D.A. Whitney (eds) *Amer. Soc. Agron. Spec. Publ. No. 29*. Madison, Wisc. USA. pp. 99-117. (1977).
23. Peck, T.R. y S.W. Melsted. Field sampling for soil testing In: G.W. Hardy (ed) *Soil testing and plant analysis*. *Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. No. 2*, Madison, Wisc. USA pp. 25-35. (1967).
24. Pérez, V. Ml. Algunas deficiencias minerales del cafeto en Costa Rica. *Informe Téc. No. 2*, MAI-Stica. San José, C.R. 27 p. (1957).
25. Pérez, V. Ml., G. Chaverri y E. Bornemisza. Algunos aspectos del abonamiento del cafeto con boro y calcio en las condiciones de la Meseta Central de Costa Rica. *Informe Téc. No. 1*. MAI-Stica, San José, Costa Rica, 14 p. (1956).
26. Peterson, R.G. y L.L. Calvin. Sampling. In: C.A. Black et al. (eds) *Methods of Soil Analysis Part I* pp. 54-72, *Amer Soc. Agr.* (1965).
27. Reisenaver, H.M. Availability assays for the secondary and micronutrient anions. In: G.W. Hardy (ed) *Soil testing and plant analysis Vol. 1*. *Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. No. 2*, Madison, Wisc., USA, pp. 71-102. (1967).
28. Reisenaver, H.M., L.M. Walsh y R.G. Hoett. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: L.M. Walsh y J.D. Beaton (eds) *Soil testing and plant analyses* *Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisc., USA.*, pp. 173-200. (1973).
29. Rimolo, L.A. Efecto del encalado sobre la disponibilidad y adsorción de boro en seis suelos de Costa Rica. Tesis de grado UCR, Depto. Química (mimeo) 45 p. (1970).
30. Rouse, R.D. Organizing data for soil test interpretations. In: G.W. Hardy (ed) *Soil testing and plant analysis*. Vol. 1. *Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. No. 2*, Madison, Wisc. USA. pp. 115-123. (1967).
31. Santana, G.L., y K. Igue Determinación de micro-elementos por absorción atómica. *Turrialba* 21 (3) 358-360. (1971).
32. Saiz del Rífo, J.F. y E. Bomemisza. Análisis químico de suelos. IICA de la OEA, Turrialba. Costa Rica, 107 p. (1962).
33. Schalscha, E.B., C. González, I. Vergara, G. Galindo y A. Schatz. Effect of drying on volcanic ash soils in Chile. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29 (4) 481-482. (1965).
34. Stewart, J.A. y K.C. Berger. Estimation of available zinc using magnesium chloride as extractant. *Soil Sci.* 100: 244-250. (1965).
35. Teixeira, T., J. Campos, J.M. Braga y D.J. da Silva. Deficiencias de fósforo, cobre e cobalto em pastagens do município de Morrinhos, Goiás. *Experientiae (Brasil)* 12 (3) 63-87. (1971).
36. Terman, G.L., P.M. Giordano y N.W. Chistensen. Corn hybrid yield effects on phosphorus, manganese and zinc absorption. *Agr. J.* 67 (2) 182-184. (1975).
37. Valencia, A., G.A. Mestre M. y M. Durán G. Respuesta a la aplicación de boro y zinc en un cafetal de Fredonia (Antioquia) Cenicafe (Colombia) 19 (3) 95-101. (1968).
38. Viets, F.G. Chemistry and availability of micronutrients. *J. Agr. Food Chem.* 10:174-178. (1962).
39. Viets, F.G. Soil testing for micronutrient cations. In: G. W. Hardy (ed) *Soil testing and plant analysis Vol. 1* *Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. No. 2*. Madison, Wisc. USA, pp. 55-70. (1967).
40. Viets, F.G.W.L. Lindsay. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron. In: L.M. Walsh y J.D. Beaton (eds) *Soil testing and plant analysis*. *Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wisc, USA*, pp. 152-72. (1973).
41. Waugh, D.L. y J.W. Fitts. Estudios de interpretación de análisis de suelos: laboratorio y macetas. Proyecto Interl. de Análisis de Suelo, *Bol. Téc. No. 3*, Est. Exp. Agr. Univ. Carolina del Norte. 36 p. (mimeo) (1966).

42. Wear, J.I. y E.E. Evans. Relationship of zinc uptake by corn and sorghum to soil zinc measured by three extractants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32 (4) 543-546. (1968).
43. Weinberger, P. y H. Wenzel. El molibdeno en suelos de cenizas volcánicas (Chile) y su influencia en el metabolismo del nitrógeno de plantas de cultivo, especialmente leguminosas. *Turrialba* 23 (2) 129-137. (1973).

QUELATOS METALICOS IMPORTANCIA COMO UNA FUENTE DE MICRONUTRIENTES

Por Jerry H. Stoller*

INTRODUCCION

El uso de los quelatos en la agricultura de los Estados Unidos ha incrementado rápidamente en los últimos 10 años. El autor estima que anualmente se usan aproximadamente 15.000 Ton/año. El área tratada anualmente es de aproximadamente 6 millones de acres.

Se estima que el uso de los quelatos ha sido de la siguiente forma: aplicados al suelo 60o/o; aplicados foliarmente 39o/o; tratamiento de semillas menos de 1o/o. La mayoría de los quelatos aplicados al suelo son usados conjuntamente con los fertilizantes líquidos. La mayoría de los quelatos foliares son aplicados con los pesticidas.

Al mismo tiempo el uso de sulfatos metálicos y óxidos también ha aumentado. La mayoría de estos metales inorgánicos son usados como un ingrediente en fertilizantes secos (aproximadamente 90o/o). El otro 10o/o está repartido en aplicaciones foliares y como un ingrediente de fertilizantes líquidos.

Hay muchas razones que explican el aumento de quelatos en la agricultura de los Estados Unidos:

- 1.- Un aumento en el uso de fertilizantes líquidos donde los quelatos tienen una mayor compatibilidad (química) que los óxidos o sulfatos.
- 2.- Un mayor número de acres tratados con aplicaciones foliares evitándose así la química del suelo.
- 3.- Su mayor compatibilidad con pesticidas lo que le permite aplicaciones simultáneas.
- 4.- Un aumento en el interés del tratamiento de semillas.
- 5.- Facilidad de aplicación.

Por supuesto ha aumentado el uso de todos los metales. Las siguientes son las razones responsables:

- 1.- Mayores cosechas demandan un programa de fertilización más balanceado.
- 2.- Uso de altas dosis de fosfatos inhibe la toma de metales.
- 3.- Variedades muy rendidoras son más sensitivas a las deficiencias de metales.

4.- Aplicaciones de cales (Carbonato de Calcio) a suelos ácidos aumenta la necesidad de metales.

5.- Una mayor cantidad de suelos alcalinos están siendo cultivados intensamente.

6.- Un aumento en el uso de análisis de suelos y análisis foliares están mostrando que hay necesidad de metales.

Muchos argumentos se podrían hacer en favor o en contra de los quelatos y de los metales en forma de sulfatos. También se pueden poner muchas razones en favor o en contra del método y de las dosis de aplicación. Este trabajo, sin embargo, se refiere al uso y al método de como se usan los quelatos metálicos.

QUE ES UN QUELATO?

Quelato es una palabra inglesa derivada de la palabra griega "chele" la cual traduce "tenaza". A veces el término sequestrante es sustituido por el de quelato.

Cuando nosotros hablamos de quelatos nos referimos al control de un metal bivalente o de una tierra alcalina por medio de un compuesto orgánico. La fuerza con la que este compuesto orgánico (agente quelatante) controla el metal bivalente se le llama el valor Log K.

A continuación están algunos valores de Log K para productos de uso común:

Metal a quelatar	Log K para Acido Citrico	Log K para Polifosfatos	Log K para EDTA
Manganeso	3.4	5.5	14.0
Magnesio	2.8	3.2	8.7
Hierro Ferroso	3.2	3.0	14.3
Zinc	4.5	2.5	11.5

El número de compuestos que pueden ser usados como agentes quelatantes es muy grande. Su efectividad agronómica varía de excelente a sin valor. Algunos agentes quelatantes muestran efectividad agronómica para un metal pero son inactivos para otro. Cuando se está haciendo investigación uno debe recordar la tremenda diferencia que existe

* Presidente Stoller Chemical Company, Inc. 8705 Katy Freeway, Suite 400 Houston, Texas 77024.

entre varios tipos de agentes quelatantes para cada metal divalente en consideración.

Algunos agentes quelatantes forman un "corral" químico completo alrededor de todo el metal divalente (EDTA) mientras que otros agentes quelatantes no lo hacen. Este puede ser un criterio para determinar el valor Log K, sin embargo no es un criterio para la efectividad agronómica.

TIPOS DE QUELATOS

A continuación hay una lista de los agentes quelatantes usados actualmente en la agricultura de los Estados Unidos.

Polifosfatos

EDTA (Ethylenediamine Tetracetic Acid)

DTPA (Diethylene Triamine Pentracetic Acid)

EDTHA (Ethylenediamine Di-O-Hydroxy-Phenylacetic Acid)

Ligmin sulfonatos

Acido Cítrico

Acidos Fenólicos

Polisacáridos

Productos derivados de algas

El tiempo no permite una discusión de cada uno de estos productos. Uno puede, sin embargo, emitir un concepto general, "Ningún producto es el mejor (agronómica y económicamente) para todos los metales divalentes empleados todos los métodos de uso." Nosotros debemos por lo tanto continuar nuestra búsqueda para encontrar el mejor producto para cada caso específico.

FORMAS EN QUE LOS QUELATOS ESTAN SIENDO USADOS

Probablemente la forma más fácil de tratar este tema es discutir individualmente cada metal. Esta discusión se hará en orden al volumen de uso para cada metal.

ZINC

El porcentaje más grande de quelatos de Zinc son aplicados al suelo. La mayoría son mezclados con fertilizantes líquidos y aplicados simultáneamente. Maíz, soya, remolacha azucarera, algodón y trigo son los cultivos donde más se usan.

En segundo lugar vienen los quelatos de Zinc aplicados al follaje. La mayoría de las veces se aplican con los herbicidas o insecticidas.

Arroz, cítricos, hortalizas, algodón, soya, remolacha azucarera y maíz reciben la totalidad de esta aplicación.

Una área de uso que aumenta cada día es el tratamiento de la semilla. Actualmente arroz es el cultivo principal para este tratamiento.

HIERRO

El hierro es necesitado principalmente como aplicación al suelo para pastos y cultivos de alto valor tales como cítricos, hortalizas y ornamentales. Generalmente se mezcla con los fertilizantes. Sin embargo, el hierro, más que ningún otro quelato es aplicado independientemente.

Aplicaciones foliares son ampliamente usadas en muchos cultivos que muestran clorosis debida a falta de hierro. Estos cultivos generalmente están en suelos alcalinos.

MANGANESO

El uso de los quelatos de Manganeso está dividido en partes iguales en aplicaciones al suelo y en aplicaciones foliares. La tendencia es aplicarlo foliarmente debido a que algunos compuestos a base de EDTA presentan problemas cuando son aplicados al suelo, tienden a sacrificar el manganeso y reemplazarlo por hierro, lo que aumenta el problema del manganeso.

Las plantas leguminosas, los cítricos, las hortalizas, el maíz, el algodón y árboles frutales con los que más frecuentemente se tratan con manganeso. Aquí sería interesante hacer notar que los pastos tienden a ser más sensitivos a deficiencias de Zn mientras que cultivos de hojas anchas parecen ser más sensibles a deficiencias de manganeso.

MAGNESIO

La mayoría de los quelatos de magnesio han sido usados como material para aspersión foliar. Los principales cultivos en los que se usa son cítricos, hortalizas, árboles ornamentales, maíz y vid.

A medida que se reconocen las necesidades de magnesio más quelatos de magnesio. Seguramente el próximo año se aplicará más magnesio al suelo que por vía foliar. Maíz, hortalizas y soya son los cultivos que más se tratan con magnesio.

CALCIO

Prácticamente todos los quelatos de calcio son aplicados vía foliar. Aunque pocas compañías cuentan con la tecnología para este tipo de productos la rata de producción de quelatos de calcio excede a la de todos los otros quelatos. Algodón, soya, maní, tomate, pepinos, apio, manzanas y otros cultivos sensibles a calcio están siendo tratados. La mayoría del calcio es aplicado foliarmente, al momento de la formación máxima de frutos.

Hay muchas teorías sobre por qué calcio ayuda a la formación de frutos.

Muchos creen que la mayor parte de Calcio de la planta se precipita en compuestos orgánicos dentro de las plantas. Un consante suministro de calcio es necesario con el fin de reducir la rata de respiración.

Es también interesante notar que muchas plantas que son sensitivas a boro son también sensitivas a calcio. Quizá algún día estableceremos la relación calcio boro para la mayoría de los cultivos.

COBRE

El uso de quelatos de cobre está confinado generalmente a plantas cultivadas en suelos muy orgánicos y muy arenosos. Hortalizas, trigo, maíz son los cultivos más comúnmente tratados. Investigaciones sobre cobre están haciendo

mucha falta. Es un nutriente que ha sido olvidado y sin embargo es importante contribuyente al crecimiento de las plantas.

Ustedes deben entender que la anterior información son los puntos de vista del autor. Datos estadísticos precisos no existen.

RESULTADOS QUE MUESTRA LA INVESTIGACION

Ahora ustedes se pueden preguntar "son estos productos realmente efectivos desde el punto de vista agronómico?". La respuesta es, sí! La efectividad relativa de los quelatos comparada con las sales inorgánicas está abierta a discusión. Generalmente, la efectividad de los quelatos puede variar de 0 a 40 (y más alta) veces más efectivos por libra de metal que la de las sales inorgánicas.

Generalmente los quelatos son más efectivos que las sales inorgánicas cuando existen las siguientes condiciones.

- 1.- Alta alcalinidad en el suelo.
- 2.- Alto contenido de fosfatos en el suelo.
- 3.- Alto contenido de sales.
- 4.- Cuando son aplicados en bandas próximas a las plantas o semillas.
- 5.- Cuando hay alta concentración de otros metales divalentes.

La Stoller Chemical Company, Inc. es la tercera compañía más grande productora de metales inorgánicos para aplicar al suelo en los Estados Unidos. Sin embargo el uso de quelatos está creciendo a una rata más rápida.

Después de todo por qué debe un agricultor usar 5 kilos por hectárea de un metal si puede obtener los mismos resultados con medio kilo?

A continuación están los resultados de algunas investigaciones en las que se usaron quelatos.

EFFECTOS SOBRE LA PRODUCCION DEL TRATAMIENTO DE ZINC DE SEMILLAS DE ARROZ EN SUELOS ALCALINOS Y NO ALCALINOS

ZINC Dosis y fuente (libras/acre)	CAL AGRICOLA Toneladas/acre	
	0	2.0
	cosecha en lb/acre	
Testigo	5893	5316
1.0, Zn como Lignosulfonato	6161	5663
1.0, Zn como ZnSO ₄		

RESPUESTAS DE ARROZ A VARIOS QUELATOS

Elemento usado	Cosecha (lbs/acre)	Aumento (lbs/acre)
Testigo	2.719	—
Quelato de Zinc	3.467	748
Azufre	3.432	713
Quelato de Hierro	3.081	362
Quelato de Cobre	2.771	52
Zn, S, Fe, Cu	3.547	828

FUENTE DE INFORMACION: Louisiana State University.

EFFECTOS DEL pH DEL SUELO SOBRE LA RESPUESTA DE ARROZ AL ZINC

pH del suelo	Sin Zinc	Quelato de Zinc	Aumento (lb/acre)
6.9	3.533	4.622	1.089
7.4	2.209	3.824	1.615
7.8	1.088	3.824	2.736

FUENTE DE INFORMACION: Louisiana State University.

EFFECTOS DE DIFERENTES FUENTES DE ZINC SOBRE LA PRODUCCION DE ARROZ

Material usado	Cantidad por acre	Cosecha (lb/acre)	Aumento (lb/acre)
Testigo	0	2.453	(959) 39o/o
Sulfato de Zinc	2.2 lb Zinc	3.412	(1.329) 54o/o
Quelato de Zinc (NTA)	1.1 lb Zinc	3.782	(1.351) 55o/o
Hierro y Quelato de Zinc (EDTHA y EDTA)	1/2 lb hierro y 1/4 lb Zinc	3.084	(1.403) 57o/o
Sulfato de Hierro y Sulfato de Zinc	22 lb Hierro y 5 lb Zinc	3.856	

FUENTE DE INFORMACION:

D.G. Westfall, W.B. Anderson and R.J. Hodges
Texas Agr. Experimental Station.

INVESTIGADOR: Dr. Everett J. Dennis*

OBJETIVO: Comparar la actividad del Zinc de dos productos de la Stoller Chemical, "Sello Azul" y "Sello Verde", quelatos de Zinc.

RATA DE APLICACION: Finca Roy McCrory.

A la siembra: 150 lb 6-18-6 + 1/4 quelato de Zn (Sello Azul).

FUENTE DE INFORMACION: University of Arkansas.

*Agri Bussines Associates

Al boleto: 500 lb 18-0-6 + 4 lb de Sulfato de Ca
+ 5 lb de Solubor
+ 6 qts. de Zinc.

RESULTADOS:

MAIZ
1975

Datos de campo
Finca Roy McCrory

Producto	Población		Cosecha Bushel
Testigo	17.000	.402	127.7
9o/o zinc (DOW)	17.000	.387	134.3
6o/o Zinc (Brandt)	17.500	.453	139.7
Sello Azul (Stoller)	17.000	.469	146.7
Sello Verde (Stoller)	17.000	.489	156.8

Los resultados de la cosecha están basados en maíz No. 2 y 15.5o/o de humedad.

EFFECTOS DE DIFERENTES FUENTES DE ZINC
SOBRE LA COSECHA Y CONTENIDO DE
MICRONUTRIENTES EN BASE A PESO SECO DE
MAIZ VARIEDAD "GOLDEN CROSS BANTAM"
ENSAYOS DE INVERNADERO

Tratamiento Zinc	Fuente	Cosecha relativa	Contenido de Zn en las hojas
lb/acre		o/o	p.p.m.
0	—	100	14
1	ZnNTA	156	16
5	"	174	24
10	"	186	38
20	"	211	56
1	ZnSO ₄	152	16
5	"	168	19
10	"	144	23
20	"	160	31
1	ZnEDTA	126	39
5	"	148	52
10	"	185	67
20	"	184	85

EFFECTOS DE LA INMERSION DE HOJAS DE PIÑA DEFICIENTES
EN SOLUCIONES DE ESTE ELEMENTO,
SOBRE LA RECUPERACION DE COLOR.

Trat. No.	Fuente de Zinc	Porcentaje de verdeamiento							
		Por 500 galones				crecimiento			
		Zn lb.	Urea lb.	Vatsol pintas	Plyac pintas	42 dias	59 dias	66 dias	83 dias
1	THIS-CM	.13	—	—	5	54	70	74	80
2	THIS-CM	.13	15	3	—	100	100	88	85
3	THIS-CM	.26	—	3	—	83	88	60	71
4	THIS-CM	.26	15	3	—	94	96	70	86
5	THIS-CM	1.04	—	—	5	56	73	86	86
6	THIS-CM	2.08	—	—	5	70	86	89	93
7	THIS	.35	—	—	5	75	95	74	79
8	THIS	.35	15	3	—	94	96	79	81
9	THIS	.70	—	—	5	45	69	84	88
10	THIS	.70	15	3	—	65	83	65	73
11	THIS	1.40	—	—	5	68	80	83	84
12	THIS	2.80	—	—	5	84	89	65	88
17	ZnO	5.2	—	—	5	88	96	57	73
18	ZnO	5.2	—	3	—	74	84	—	84
19	ZnO	5.2	15	3	5	93	96	81	—
20	ZnO	10.4	—	3	—	93	95	62	78
21	ZnO	2.6	—	—	5	91	93	63	76
22	ZnO	1.3	—	3	5	71	88	97	100

ZTHIS-CM = This Citrus Mix; contiene 1.75o/o de Zn, algo de Manganeso (Mn), algo de Hierro (Fe) y Magnesio (Mg).

THIS contiene 7.0o/o de Zinc.
El ZnO contiene 65o/o de Zinc.

FUENTE DE INFORMACION: University of Florida.

BILL JOHNSON
WELDON, NORTH CAROLINA

SOYA, VARIEDAD FORREST

Tratamiento	Fecha	Cosecha/Acre
Testigo		39.3 bushels por acre
Xylet + Top Cop 1/2 galón de cada uno	7-22, 7-30	50.6 bushels por acre
CAB — 1/4 añadido al anterior		

FUENTE DE INFORMACION: Stoller Chemical Company

BILL JOHNSON
WELDON, NORTH CAROLINA

ALGODON

Tratamiento	Fecha	Cosecha/Acre
Testigo		2.053 lb algodón semi-lla
Xylex 1 cuarto 1/2 galón 1/4	7-22	2.254 lb algodón semi-lla
	7-30	
	8-11	
Xylex + CAB 1/2 gal. Xylex + 1/4 CAB 1/4 Xylex + 1/4 CAB 1/4 Xylex + 1/4 CAB	7-15	2.437 lb algodón semi-lla
	7-30	
	8-15	

FUENTE DE INFORMACION: Stoller Chemical Company, Inc.

EFFECTOS DEL pH DEL AGUA DE FUMIGACION
SOBRE LA SOLUBILIDAD

pH del agua	partes por millón de Zinc en solución	cantidad precipitada* o/o
4.7	645	—
6.6	502	22
6.7	387	40
6.9	255	60
7.0	184	71
7.4	70	89
8.2	30	95

Manganeso en solución

4.0	663	—
8.3	481	27
8.6	361	46
8.7	244	63

* Porcentaje al pH más bajo 1/2 libra de Zinc +
1/2 libra de Manganeso
por 100 galones de agua.

EFFECTOS DEL FOSFORO (KH_2PO_4) Y ZINC
(DIFERENTES FUENTES) SOBRE LA PRODUCCION
Y CONTENIDO DE ALGUNOS ELEMENTOS
MENORES EN PLANTULAS DE MAIZ CULTIVADAS
EN UN SUELO DINUBA (EN BASE A PESO SECO)

Tratamientos		P	Zn	Fuente de Zinc	Cosecha mgr/planta	Zinc p.p.m.
lb/acre	lb/acre					
0	0	—	—	—	140	47
0	5	—	—	SO_4^{--}	134	39
0	5	—	—	DTPA	106	53
0	5	—	—	EDTA	120	43
100	0	—	—	—	255	35
100	5	—	—	SO_4^{--}	310	38
100	5	—	—	DTPA	493	50
100	5	—	—	EDTA	422	47

EFFECTO DE DIFERENTES FUENTES DE ZINC
(5 lb/acre) SOBRE LA COSECHA Y CONTENIDO
DE MINERALES EN BASE A PESO SECO DE
PLANTAS DE MAIZ CULTIVADAS EN UN SUELO
DINUBA FRANCO ARENOSO
(Por medio de tres replicaciones)

Fuente de Zinc	Cosecha gr/planta p.p.m.	de Zinc.
Testigo	0.89	57
Orgánico ¹	1.10	87
EDDHA	0.92	107
NTA	1.05	92
EDTA	0.85	116
DTPA	0.88	112
ZnSO ₄	1.02	70
EDDA	1.11	67
DHEEDDA	0.57	127
Orgánico ²	1.02	83
LSD (0.5)	0.32	51

1. Minerales Claves
2. Rayplex

FUENTES DE ZINC USADAS EN UN ESTUDIO
SOBRE CONSTANTES DE ESTABILIDAD

Diferentes fuentes de Zinc	Constantes de estabilidad log K
EDDHA	9.3
NTA	10.6
EDTA	16.3
DTPA	18.3
EDDA	11.1
DHEEDDA	cerca de 16
Materia orgánica natural	cerca de 18

**EFFECTO DE LA FUENTE DE MANGANESO
Y LA PROPORCION DE HIERRO Y MANGANESO
APLICADOS SOBRE EL PESO DE PLANTAS,
CONTENIDOS DE HIERRO Y MANGANESO, Y
RELACION HIERRO: MANGANESO
EN LA SEGUNDA COSECHA DE FRUTALES
VARIEDAD NAVY**

Mn	Fe	Mn	Fe	peso seco	Fe contenido	Mn contenido	Fe:Mn relación
p.p.m.	p.p.m.				mgr/pote	mgr/pote	
0	0	—	—	5.63	997	87	11.2
80	0	MnSO ₄	—	6.23	1.031	123	8.4
80	0	MnEDTA	—	1.90	817	15	54.5
0	160	—	FeSO ₄	4.68	886	78	11.4

FUENTE DE INFORMACION: Michigan State University.

ESTUDIO DE CAMPO SOBRE PRODUCCION DE SOYA

LEXINGTON, KENTUCKY 1974

**DATOS EXPRESADOS COMO
NUMERO TOTAL DE VAINAS POR 2 PIES DE SURCO**

Tratamiento	Cosecha (8 / 12 / 74)				Promedio
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	
Sin quelato de Calcio	552	729	640	698	699
Con quelato de Calcio	677	860	794	650	771

DATOS EXPRESADOS COMO VAINAS POR PLANTA

Sin quelato de Calcio	50.2	60.8	58.2	58.2	56.1
Con quelato de Calcio	56.4	62.0	72.2	65.0	63.9

**DATOS EXPRESADOS COMO
PESO SECO DE VAINAS EN 2 PIES DE SURCO**

Sin quelato de Calcio	60.9	83.7	66.2	69.7	64.3
Con quelato de Calcio	71.5	86.5	83.8	65.8	66.9

**DATOS EXPRESADOS COMO
PESO SECO DE VAINAS POR PLANTA**

Sin quelato de Calcio	5.5	7.0	6.0	5.8	5.3
Con quelato de Calcio	6.0	6.7	7.6	6.6	5.7

FUENTE DE INFORMACION: University of Kentucky

EL ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE MICRO-NUTRIENTES EN AMERICA LATINA^{1/}

Mario Blasco Lamenca* y
Constantino Soto González**

INTRODUCCION

En el presente trabajo no se pretende ofrecer una revisión bibliográfica de los microelementos por cuanto esa tarea, y cualquier otro índice correspondiente a las Ciencias Agrícolas, los cumple el servicio AGRINTER con una cobertura hemisférica. Por otra parte, la situación sobre el estudio de los elementos menores en América Latina ha variado muy poco desde que Cox (9), en la recopilación que publicó en 1973, indicase que había una falta de información adecuada que permitiese definir un cuadro de la situación al respecto. De todas maneras debe entenderse que, como se desprende de la obra de Mortvedt (19), aun en países con mayores recursos asignados a la investigación, se está lejos de llegar a los niveles alcanzados en otras áreas de la Ciencia del Suelo.

La revisión del Índice Agrícola de América Latina y el Caribe, publicado periódicamente por el IICA-AGRINTER denota que se divulgan alrededor de ocho trabajos por año sobre el tema de los micronutrientes, incluyéndose en ese total tanto el tema neto de suelos como los concernientes a la relación suelo-planta. Los interesados en suelos volcánicos tienen a su disposición la "Chronobibliographie des Sols a Allophane, editada por la Oficina de ORSTOM en la Isla de Guadalupe (Caribe), donde se trata de recoger, de tiempo en tiempo, la bibliografía referida a esos suelos, incluso de escritos no publicados.

Para los suelos genéricamente llamados tropicales no se encuentra una recopilación tan específica como para los volcánicos. Algunos datos pueden encontrarse en el texto editado por Bornemisza y Alvarado (4), y en los reportes anuales "Agronomic-Economic Research on Tropical Soils", de la Universidad del Estado de Carolina del Norte (EE.UU.)

Más que la revisión bibliográfica, los autores creen de mayor importancia mostrar el estudio de un caso donde, utilizando suelos de Nicaragua, se trató de aplicar una buena porción de variantes a la investigación de los microelementos. Se ofrece la temática general, esperando publicar cada elemento por separado y en profundidad, en un futuro cercano. Este caso en adición del comentario sobre otros seleccionados, pueden ayudar a visualizar cuales son los derroteros actuales del estudio de elementos menores en América Latina.

ANTECEDENTES EN ESPECIAL PARA COLOMBIA

Procurando incrementar la revisión de Cox (9), y observando que en el Programa del 5o. Coloquio no se contem-

pla ninguna conferencia al respecto, se dan algunas referencias que, si bien, no son actuales, son necesarias para componer la historia de los elementos menores, en especial, en Colombia, sin pretender agotar el muestreo y sí resaltar algunas de interés en el camino de la investigación de los microelementos.

Dentro de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Correa (8) escribe, por vez primera, sobre elementos menores. En un estudio de fertilidad y utilizando el método Jenny, observó que una mezcla de B, Mn, Zn, Cu y Mo, fue efectiva solo en el suelo aluvial del poblado (Antioquia). A nivel de Tesis, Benavides (2) en 1952, realizó el estudio del manganeso en los suelos de la Sabana de Bogotá, y Sánchez Potes (21) en 1954, mediante pruebas de invernadero concluyó que la adición de elementos menores más elementos mayores causaban un efecto depresivo en el maíz y tomate, en relación al solo uso de N - P - K (Suelos del Valle). Luego Estevez (10) estudió la influencia de la nutrición del cobalto en la producción lechera bovina.

El Instituto Colombiano Agropecuario ha hecho muy buenos aportes al comportamiento de los microelementos en relación a la producción. En homenaje a la Revista "Agricultura Tropical", desafortunadamente rota en su periodicidad, se citan trabajos del ICA aparecidos en la misma. Por ejemplo, las revisiones de Chaverra y Marín (7, 18) sobre la importancia del boro y molibdeno; los trabajos de Higueta y Lora (13, 17) midiendo la respuesta de la coliflor a la adición de molibdeno; y sobre el mismo elemento, la publicación de Rodríguez y McClung (20) para los suelos rojos de Antioquia. También antes de 1970 y en la misma Revista, Blasco y Bohórquez (3) desde la Facultad de Agronomía de Palmira, Universidad Nacional, reportaron la composición de las concentraciones de los microelementos del ramio creciendo en suelos del Valle.

Pasando a nivel histórico Latinoamericano, las dos únicas revistas de habla hispana que desde el principio han mantenido su continuidad, "Turrialba y Agronomía Tropical", hacen referencia al tema de los elementos menores desde épocas tempranas. Por ejemplo, Boroughs (5) escribe en "Turrialba" una revisión de los trabajos que se adelantaron hasta 1962 con el empleo de los radioisótopos hierro-59 y zinc-65. En "Agronomía Tropical" de Venezuela Ijijn (16) publicó en 1952 un artículo sobre la composición de elementos menores de las plantas forrajeras de ese país, en adición de una extensa bibliografía cubriendo la relación suelo-planta. Así mismo, dentro del habla portuguesa, merece mención la Revista "Gragantia" del Brasil y, entre otros, cabe citar a Gallo, et al. (12), en sus ensayos de fertilización del millo con oligoelementos. Otra Revista con mejores intenciones que continuidad en su papel de cobertura continental, como es "Fitotecnia Latinoamericana", ha editado algunas revisiones, como fue el caso destinado al zinc por Igue y Bornemisza (15).

^{1/} Trabajo presentado al 5o. Coloquio de Suelos de la SCCS, Bogotá 26-30 septiembre, 1977.

Respectivamente, Especialista en Investigación Agrícola IICA-DEA, Zona Andina, Lima, Perú, e

** Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, La Paz, Bolivia.

RASGOS GENERALES DE LA INVESTIGACION EN MICROELEMENTOS

Con las excepciones que siempre existen, los artículos escritos hasta la fecha en América Latina muestran una tendencia a centrarse más bien en determinar las concentraciones de los elementos menores antes que a investigarlos. En otras palabras, se encuentran resultados pero no la discusión de esos resultados.

En las pruebas de invernadero y de parcelas domina la técnica del elemento faltante con la correspondiente escala de dosis, detectándose los efectos de manera visual y por su impacto en la productividad. Sin embargo, tal como se programan la mayoría de esos experimentos, conducen a definir cual entre ellos causa una mayor depresión productiva, pero deja poco margen para estudiar las causas (fuera de la obvia del elemento que falta), en especial las demandas de las interacciones entre sí, y con los aspectos biofísico-químicos circundantes.

En el laboratorio, a partir de la introducción de los equipos de absorción atómica, se puede afirmar que la lectura de los elementos menores es un hecho rutinario en función de las lámparas selectoras disponibles. Pero, otra vez, hay un trecho entre lectura e investigación. Aquella, por ejemplo, nada dice de sí el extractor fue correcto, de las interferencias posibles, de la inactivación o movilidad fisiológica de un elemento menor en relación a otros componentes, etc.

A nivel de enseñanza universitaria, los Cursos de Suelos escasean en su transferencia de información sobre el particular, debido a la escasez de datos propios en cada país, que impide dar un amarre teórico-práctico preciso y claro del comportamiento de cada elemento menor dentro del contexto global del suelo, y de sus funciones en las plantas. Por otra parte, pocos son los profesores especializados en un campo tan específico. Otros impedimentos surgen de la implementación de los mismos laboratorios universitarios, y de la poca disponibilidad de materiales de consulta.

Tal vez, el progreso de la investigación en elementos menores le faltó, en América Latina, pasar por la fase del análisis colorimétrico permitiendo conocer la secuencia y el por qué de cada reacción conducente a detectar, de manera específica, cada micronutriente. Posiblemente la excepción la constituyó el boro por su importancia referida a la introducción de la alfalfa en los programas ganaderos. En suma, que se esperó a leer, por decir, el manganeso con absorción atómica, antes que estudiar la oxilación con el periodato de potasio. Y eso ha causado, y todavía causa en los laboratorios con menores recursos económicos, un retraso considerable en la investigación de los elementos menores. Desde luego, el hecho en muy buena parte no es imputable a los investigadores, por cuanto no han sido muchos los textos dedicados a proporcionar alternativas analíticas y por otro lado, la situación económica de los países ha impedido en bastantes casos la consecución de esas divulgaciones, o los reactivos específicos que en ellas se recomiendan.

Es posible que también haya influido el desconocimiento de las funciones exactas de los elementos menores en

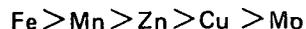
las plantas y animales, aspecto que sólo en los últimos años comienza a cobrar precisión científica. Así mismo, la magnitud de los resultados obtenidos en los invernaderos cuando se comenzó a comparar el impacto de los elementos mayores y menores en base a la producción de materia seca, pudo desanimar la continuidad de los experimentos a la par que enmascaraba el verdadero valor de los micronutrientes. En fin, estas y otras causas similares, es probable que hayan impedido una mayor proliferación de estudios sobre el particular.

ALGUNOS ESTUDIOS A PARTIR DE 1970

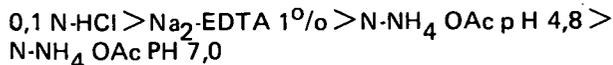
De entre los varios ejemplos se han elegido algunos casos que, por diversas circunstancias, fueron mejor conocidos por los autores. Aún reconociendo el sesgo en la selección cualquier otro ejemplo no introduciría aspectos significativos de cambio en la temática investigativa seguida por aquellos y que puede considerarse actual.

Cuando se estudia un elemento es normal referenciarlo a las características, más útiles, en la investigación de suelos. Así Fassbender y Roldan (11) en Centro América, Castro y Blasco (6) en Colombia, establecieron correlaciones del manganeso con el estado de la muestra seca y húmeda, el PH, los porcentajes de materia orgánica y arcilla, el manganeso total con el activo, y las interferencias que podría causar la hidroquinona en la determinación por absorción atómica.

En el caso de ser varios elementos en estudio, a las correlaciones anteriores, o similares, se añaden las semencias de comparación entre las concentraciones de los microelementos y el poder extractante de los reactivos. Santana e Igue (22) para suelos cacaoteros de Bahía, Brasil, encontraron que la concentración de los elementos menores fue:



Como extractantes para las fracciones asequibles recomendaron el orden siguiente:



Los horizontes con mayor contenido de arcilla dieron las cantidades mayores de formas totales de oligoelementos, mientras que en sus formas asequibles correlacionaron tanto con la presencia de arcilla como de materia orgánica.

Los objetivos se diversifican más cuando entra en juego la relación suelo-planta. Así Weinberger y Wenzel (24) en Chile, publicaron que la adición de molibdeno al suelo aumentó la producción de leguminosas de pradera por cuanto favoreció su competencia con las gramíneas. Un déficit de molibdeno condujo a una acumulación de nitratos debido a una insuficiencia sintética de la enzima nitrato-reductasa.

Por su parte, Villachica, Bornemisza y Arca (23) empleando suelos ácidos del trópico húmedo del Perú realizaron una investigación bastante completa de la relación Zn, Mn, Fe - Pangola, detallando los efectos lineales, cuadrá-

ticos y cúbicos que las aplicaciones de cal y fósforo ejercían sobre la concentración de dichos micronutrientes en la planta durante diferentes cortes, explicando el por qué de las inactivaciones, solubilidades, etc. que fueron encontrando.

ESTUDIO DE MICRONUTRIENTES EN SUELOS DE NICARAGUA

Fue realizado por los autores, presentándose aquí los aspectos globales, esperándose publicar en fechas próximas las peculiaridades de cada elemento por separado. Se utilizaron suelos y subsuelos derivados de cenizas volcánicas desarrollados en condiciones del trópico seco a muy seco (vitri-, distr- andéptos). La región de muestreo se localizó entre el Océano Pacífico y la Cordillera Volcánica de Nicaragua, tomándose como vértice los volcanes San Cristóbal-Chonco. Los suelos muestran un PH próximo a la neutralidad, bajo contenido de materia orgánica, CIC dependiente del porcentaje de arcilla, una densidad aparente entre 0.86 - 1.10 g/ml, con un por ciento de humedad gravimétrica comprendida entre 11.5 y 20.7 en el rango de 0.33 y 15 bases. El material parental volcánico es básico principalmente (tobas, brechas, flujos basalto-andesíticos, etc.).

Se efectuó un análisis de relación (a) para conocer el grado de asociación entre 27 variables y (b) un modelo de regresión para conocer los incrementos de los contenidos totales intercambiables y solubles en agua de los micronutrientes, en función de la distancia al volcán, profundidad del perfil, y altura sobre el nivel del mar ($Y_i = b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + b_3X_{3i}$, donde X_1 fue la distancia al volcán en kilómetros, X_2 la profundidad del perfil en centímetros, X_3 altura sobre el nivel del mar en metros). Se realizó una prueba "t" de Student para conocer la diferencia entre muestras secas y a la humedad de campo; un análisis de variancia para detectar la diferencia entre los tratamientos para liberar micronutrientes; y una prueba de rangos múltiples para comparar la eficiencia de la extracción química cuantitativa de los reactivos.

Es conveniente recalcar el modelo de regresión, por cuanto permite definir un comportamiento tridimensional de los micronutrientes en relación al punto de origen, el volcán. Lo mismo fue válido para características más corrientes del suelo. Por ejemplo, el hierro aumenta a medida que la distancia al volcán es mayor, la localización altimétrica del perfil es menor y con la profundidad del perfil ($R^2 = 0.605$). Es decir, el hierro es más abundante para las plantas a medida que los suelos estén más cerca del Océano Pacífico (Fe extraído HCl = 0,1 N). De modo general la variable más influyente fue la distancia, ya que la concentración de microelementos aumentó a medida que el perfil quedaba más lejos del volcán. Como recomendación de manejo agrícola se puede concluir indicando que los suelos próximos a la Cordillera Volcánica mostrarán deficiencias en microelementos, mientras que los suelos cercanos al Océano Pacífico tienen niveles adecuados.

El contenido de materia orgánica y arena es mayor con la altitud y cercanía al volcán. Lo contrario es cierto para

las arcillas. De aquí que en la matriz, de correlación múltiple exista una buena asociación entre los microelementos, el contenido de arcilla, y la CIC, ya que ésta resultó a su vez dependiente de la arcilla. Las asociaciones fueron negativas con la materia orgánica. No se encontró correlación entre la reacción del suelo y la distribución de los micronutrientes, posiblemente porque el rango del PH fue muy pequeño (débilmente ácido a neutro).

También se establecieron correlaciones entre las distintas fracciones determinadas en muestras secas y a la humedad del campo. Cabe destacar, entre otros, que entre las determinaciones del hierro total en muestras secas y húmedas no existió asociación alguna ($r = 0,00$). Y lo mismo ocurrió con el cobre. Las asociaciones entre las concentraciones cambiables procedentes de las muestras secas y de las húmedas para cobalto, boro y molibdeno, fueron bajas. Todas las asociaciones de formas y métodos para ambos tipos de muestras secas y húmedas, permiten señalar que las concentraciones totales de los micronutrientes determinados en muestras secas al aire superaron a los provenientes de muestras a la humedad de campo. Por el contrario, no se encontró una conclusión definitiva, en uno u otro sentido, para las formas intercambiables, ya que los comportamientos fueron disímiles, si bien los datos obtenidos a partir de muestras secas se ajustaron mejor a las características del suelo.

En los cuadros 1 y 2 se pueden observar los distintos rangos de concentraciones encontradas para las formas totales e intercambiables. Destacó el alto contenido de molibdeno de algunos perfiles, atribuible a que eran ricos en biotita, mineral que, según Hodgson (14), es la muestra de más alta concentración de dicho micronutriente. Contrasta con el boro que se aproxima al límite inferior de su rango en el suelo, resultado normal por cuanto predominan las rocas básicas basalto-andesíticas.

Cuadro No. 1

CONCENTRACIONES TOTALES DE MICROELEMENTOS EN LOS SUELOS DE NICARAGUA

RANGOS DE OSCILACION

Elementos	ppm	
	Muestras Secas al aire	Muestras a la humedad de campo.
Hierro	55.085 - 96.197	55.000 - 120.000
Manganeso	510 - 1.253	500 - 1.150
Zinc	252 - 615	200 - 560
Cobre	245 - 360	100 - 200
Boro	6 - 43	4.2 - 32*
Cobalto	3.5 - 28	1.9 - 24*
Molibdeno	6.1 - 275	3.0 - 17

* Sólo se determinó en algunas muestras.

Cuadro No. 2

**CONCENTRACIONES DE LAS FORMAS
INTERCAMBIABLES DE MICROELEMENTOS EN
SUELOS DE NICARAGUA. RANGO DE OSCILACION**

Elementos	ppm			
	Muestras secas al aire		Muestras a la humedad de campo	
Hierro	171	— 2.215	474	— 3.256
Manganeso	0.1	— 13.4	0.1	— 14.1
Zinc	7.9	— 34.9	2.1	— 50.7
Cobre	5.4	— 70.9	18.3	— 76.0
Boro	1.9	— 13.0	1.4	— 25.2
Cobalto	0.6	— 20.3	0.8	— 18.1
Molibdeno	0.1	— 2.2	0.1	— 2.3

En el cuadro 3 se presenta una comparación de la capacidad extractora de los distintos reactivos usados, tanto en las muestras secas al aire, como en las húmedas a la capacidad de campo. De las diferentes conclusiones metodológicas a que se llegaron, se toma la más importante cual

es la referida a los extractantes más convenientes para determinar las formas cambiables de los microelementos. De acuerdo con los diversos análisis estadísticos, se recomienda para esos suelos los siguientes extractantes:

Hierro	
Zinc	Acido Clorhídrico 0,1 N
Cobre	
Boro	
Cobalto	Oxalato de amonio ácido
Molibdeno	
Manganeso	Agua destilada

El zinc fue el elemento donde las extracciones se comportaron más irregularmente en las diferentes correlaciones con las características del suelo. Para el manganeso se recomienda el agua porque, aparte del comportamiento adecuado de los resultados con las otras variables estudiadas, se observó que reactivos más fuertes afectaban a otras fracciones del Mn. Anderson y Boswell (1) señalan que el uso del agua es un buen indicador del estado intercambiable del manganeso en relación a las cosechas de algodón, principal producto agrícola en la zona estudiada. De todos los reactivos usados el de comportamiento menos confiable fue el acetato de amonio — N PH 7,0.

Cuadro No. 3

**CAPACIDAD EXTRACTORA DE LOS DISTINTOS
REACTIVOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LAS
FORMAS INTERCAMBIABLES Y SOLUBLE EN AGUA
DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS MENORES EN
SUELOS DE NICARAGUA**

Elementos	NH ₄ OOC— COONH ₄		HCl—0,1N		CH ₃ — COONH ₄		PH 7,0		PH 4,8		Agua	
	SA	HC	SA	HC	SA	HC	SA	HC	SA	HC	SA	HC
	Hierro	2	1	4	3	9	10	7	8	6	5	
Manganeso	2	1	4	3	9	10	5	8	7	6		
Zinc	4	2	6	3	7	8	1	5	9	10		
Cobre	1	2	4	3	8	9	5	6	10	7		
Boro	3	2	1	4	7	6	8	5	9	10		
Cobalto	1	2	3	4	9	10	5	6	7	8		
Molibdeno	6	5	9	4	3	10	8	7	2	1		

El 1 indica el reactivo que más extrajo, el 2 el segundo, y así sucesivamente.

SA = Muestras secas al aire.

HC = Muestras a la humedad de campo.

LITERATURA CONSULTADA

- ANDERSON, D.F. y BOSWELL, F.C. Boron and manganese effects on cotton yield, lint quality and earliness of harvest. *Agronomy Journal* 60: 488-493, 1968.
- BENAVIDES, S.T. Estado del manganeso en los suelos de la Sabana de Bogotá. Tesis de Grado. Medellín, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional, 1952.
- BLASCO, M. y BOHORQUEZ, N. Estudios sobre la composición química del ramio (*Bohemeria nivea* (L.) Gaud) *Agricultura Tropical* 23: 813-818, 1967.
- BORNEMISZA, E. y ALVARADO, A. Ed. Manejo de suelos tropicales, Raleigh, North Carolina, State University, 1974. pp. 336-354.
- BOROUGHES, H. El uso de isótopos radiactivos y de radiaciones en la agricultura tropical, *Turrialba* 12: 9-15, 1962.
- CASTRO, J. P. y BLASCO, M. Manganese in volcanic soils of Nariño, Colombia. *Agrochimica* 24: 336-341, 1972.
- CHAVERRA, H. y MARIN, G. Los elementos menores y su importancia en la agricultura, I. El molibdeno. *Agricultura Tropical* 15: 17-29, 1959.
- CORREA, J. Estudio comparativo de la fertilidad de seis series de suelo de Colombia condiciones de invernadero. *Suelos Ecuatoriales* 1: 61-98, 1957.
- COX, F.R. Micronutrientes. In Sánchez, P. ed. Un resumen de las investigaciones edafológicas en la América Tropical. Raleigh, North Carolina Agricultural Experimental Station. Technical Bulletin No. 219, 1972. pp. 100-215.
- ESTEVEZ, J.A. Influencia de la adición de fósforo y cobalto a raciones comunes para vacas lecheras. *Acta agronómica* 10: 170-183, 1960.
- FASSBENDER, H.W. y ROLDAN, J.A. Formas y equilibrios del manganeso en suelos de América Central.
- GALLO, J.R., HIROCE, R. y MIRANDA, L.T. A análise foliar na nutrição do milho. II. Resultados de ensaios de adubação com N, P, K, S e micronutrientes. *Bragant* 24: 71-77, 1965.
- HIGUITA, F. y LORA, R. Respuesta de la coliflor a aplicaciones de molibdeno. *Agricultura Tropical* 20: 638-643, 1964.
- HOGSON, J.F. Chemistry of the micronutrient elements in soils. *Advances in Agronomy* 15: 119-159, 1963.
- IGUE, K. y BORNEMISZA, E. El problema del zinc en suelos y plantas de regiones tropicales y de zonas templadas. *Fitotecnia Latinoamericana* 4: 29-74, 1967.
- ILJIN, W.S. Microelementos en plantas forrajeras. *Agronomía Tropical* 2: 91-112, 1952.
- LORA, R. e HIGUITA, F. Respuestas de la coliflor a la cal y el molibdeno. *Agricultura Tropical* 25: 437-445, 1969.
- MARIN, M. y CHAVERRA, H. Los elementos menores y su importancia en la agricultura. II. El Boro. *Agricultura Tropical* 15: 531-534, 1959.
- MORTVEDT, J.J., et al. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. 666 p.
- RODRIGUEZ, M. y McCLUNG, A.C. Respuesta al molibdeno en los suelos rojos de Antioquia. *Agricultura Tropical* 20: 504-512, 1964.
- SANCHEZ-POTES, C. Fertilidad de dos tipos de suelo de las series Gorgona y Estación Palmira. Ensayo en el invernadero. *Acta Agronómica* 4: 143-160, 1954.
- SANTANA, C. e IGUE, K. Formas de micronutrientes em solos da região cacaveira de Bahia. *Turrialba* 22: 73-80, 1972.
- VILLACHICA, H., BORNEMISZA, E. y ARCA, M. Efecto de la aplicación de cal, fósforo y zinc, en el rendimiento y la concentración del zinc, manganeso y hierro en el pasto pangola. *Turrialba* 24: 132-140, 1974.
- WEINBERGER, P. y WENZEL, H. El molibdeno en suelos de cenizas volcánicas (Chile) y su influencia en el metabolismo del nitrógeno de plantas de cultivo, especialmente en leguminosas. *Turrialba* 23: 129-137, 1973.

MICRONUTRIENT SOIL TESTING IN THE UNITED STATES

J. J. Mortvedt*

Soil testing usually is defined as the estimation by chemical analyses of the amounts of nutrients in a soil which are considered available to plants. Its goal is to provide a guide for soil fertility management based on experimentally determined relationships between soil chemical properties and crop growth. These relationships must be broad enough to apply to many fields, yet specific enough to apply to an individual field.

Several factors have stimulated research on the development of micronutrient soil tests in the United States. The incidence of micronutrient deficiencies has become more frequent as higher crop yields have resulted from more intensive crop production practices, including irrigation, liming, higher NPK fertilizer rates, and use of new cultivars (crop varieties). However, some new cultivars may be more susceptible to micronutrient deficiencies. Advances in laboratory instrumentation also have stimulated research and made routine micronutrient soil testing more economical. As a result, most laboratories run soil test for one or more micronutrients on request by the grower.

Soil tests for micronutrients have been reviewed and discussed at several symposia in the United States in recent years (4, 14, 21). Micronutrient soil test procedures also are included in *Soil Testing and Plant Analyses* (16, 22). Problems and concepts involved in calibration and interpretation of soil tests were recently discussed by Mortvedt (10).

SAMPLING PROCEDURE

Proper technique is required to obtain a representative soil sample. Because soils in a field differ in slope, parent material, drainage, previous crop management, and other factors, it is essential to divide the field into reasonably uniform areas for sampling. The size of each sampling area varies with the above factors but generally ranges from 10 to 20 ha.

The sample size considered adequate to represent the represent the sample area is between 15 and 30 individual cores taken to a depth of about 15 to 20 cm. All core samples should be taken to the same depth, usually the plow layer; otherwise the sample will contain some subsoil which is usually lower in available plant nutrients.

Tools for obtaining soil samples for micronutrient tests must be clean to avoid possible contamination. Plastic pails are preferable for collecting samples. Soils should be air-dried in a clean area and then stored in plastic bags for shipment to the soil testing laboratory. Past cropping history and management practices, as well as the intended crop and expected yield potential of the soil, should be recorded to help the agronomist make more accurate recommendations.

CALIBRATION METHODS

The process of relating chemical soil test values to recommended fertilizer rates for optimum crop production on a particular soil is called calibration. Initially, such studies are often done in the greenhouse, where it is possible to compare a large number of soils under the same growing conditions. Greenhouse studies require less time and money than do field studies.

Some limitations of greenhouse studies are as follows: (a) the restricted root volume in greenhouse pots can accentuate crop response to applied nutrients, as well as to those already in the soil; (b) poor light quality and quantity as well as lack of optimum amounts of other nutrients may limit crop response and yields; (c) subsoil and climatic effects cannot be readily measured; and (d) some crops cannot be successfully grown to maturity in the greenhouse. Field studies are thus required for calibration of micronutrient soil test procedures, just as they are for macro- and secondary nutrients.

Field calibrations of micronutrient soil tests with crop responses generally are more difficult than those for P and K. This is due partly to the difficulty of finding sufficient field sites showing crop response to applied micronutrients. Proper field calibration studies require that experiments be conducted on various soils having the full range of available micronutrients.

Contamination is always a problem in micronutrient studies. Small changes in micronutrient concentrations due to contamination cause relatively large errors in analytical results because micronutrient concentrations in plant tissue and soil extracts are usually low (< 200 ppm). These errors may result in misinterpretation of the data. Contamination of plant samples is more difficult to prevent under field than under greenhouse conditions. Dust and other aerial contaminants in the field cannot always be removed completely from plant tissue.

Crop growth response to the applied micronutrient is perhaps the best parameter for calibration. Increased crop growth verifies a deficiency or low availability of that micronutrient in the soil. The concentration of a chemically extractable micronutrient which separates deficient from nondeficient soils is called the critical soil level. This approach was used to calibrate the EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid) - $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ soil test for available Zn on 42 Colorado soils (20). Soils testing greater than 1.4 ppm in available Zn were considered adequate for corn (*Zea mays* L.), while those with soil test levels below this critical value were classed as deficient (Fig. 1). The 0.1 N HCl extraction procedure was inadequate for separating deficient from nondeficient soils in this study because of the variable free CaCO_3 contents of these soils. Neutralization of the acid in these calcareous soils reduces acid strength and can result in lower levels of extractable Zn.

Plant uptake of micronutrients is often used to calibrate

* National Fertilizer Development Center Tennessee Valley Authority Muscle Shoals, Alabama, USA.

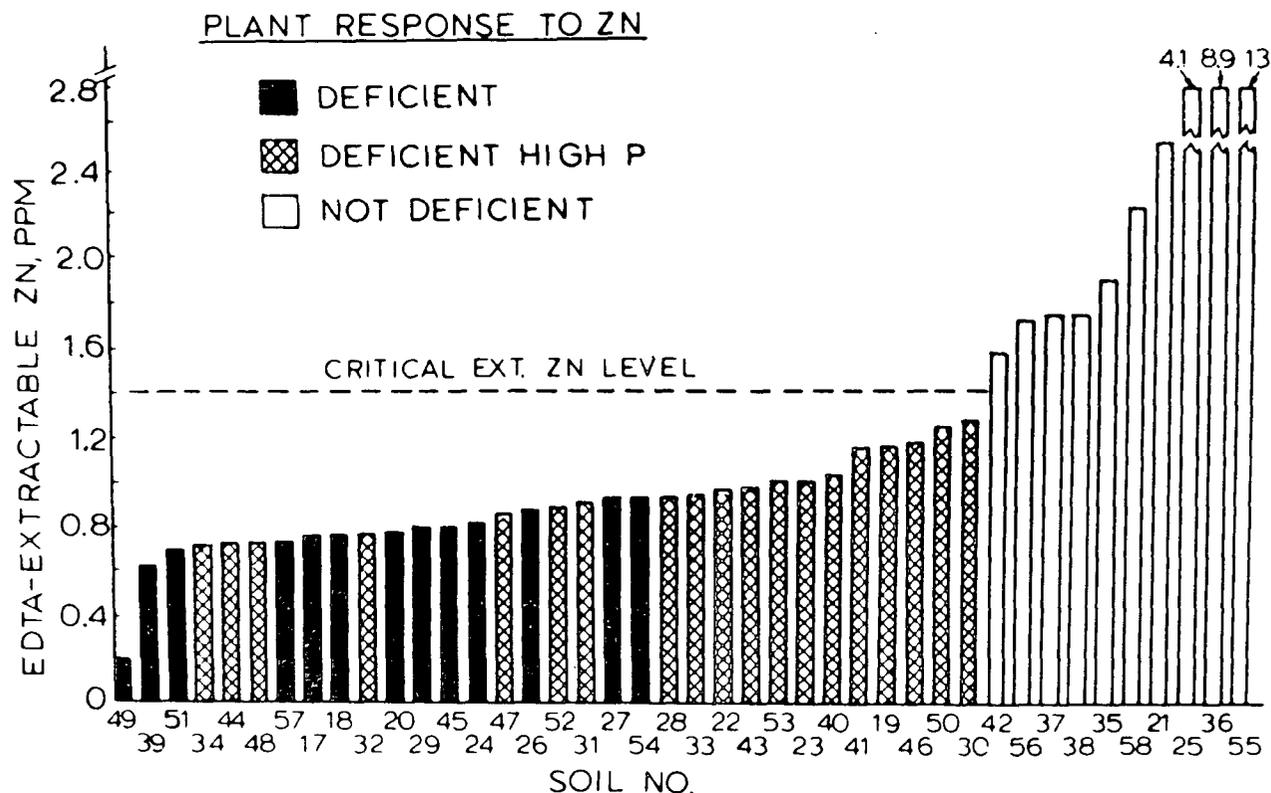


Figure 1. The EDTA $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -extractable Zn of 42 Colorado soils in relation to Zn response of corn in the greenhouse (20).

soil tests under greenhouse conditions. Nutrient uptake is usually a more reliable criterion for correlation studies than are concentrations. All nutrients other than the one being tested must be present in nonlimiting amounts. If not, growing conditions will not be optimum and crop response will not be maximized.

Correlation of soil tests values with micronutrient concentrations in plant tissue is often used in calibrating soil tests. Manganese concentrations in greenhouse grown wheat (*Triticum aestivum* L.) and soybean (*Glycine max* L.) tissues were correlated with Mn concentrations in soil using six extractants (18). The data showed that 0.005 M DTPA (diethylene triamine pentaacetic acid) and the double acid (0.05 N HCl + 0.025 N H_2SO_4) extractants each gave highly significant correlations. One assumption made in this method is that nutrient concentrations in plants and of extractable nutrients in soil are directly related. If the rate of plant growth is reduced by other suboptimum growing conditions, higher than normal nutrient concentrations result. Thus, nutrient concentration and uptake, at least during early growth, should be evaluated in terms of growth rates and total dry matter production.

Many investigators have tried to relate the concentration of a particular micronutrient in various extractants to other soil properties, such as soil pH, organic matter content, cation exchange capacity, percentage of clay (a measure of soil texture), and other available nutrients in the soil. Micronutrient reactions are closely related to some or all of the above properties and these effects should be considered in the development of soil tests. However, care should be

taken in final selection of a soil test procedure so that it will not be necessary to measure a number of other soil properties to make a micronutrient recommendation. The resulting increased cost of extra analyses usually excludes such soil tests if more practical tests can be used.

Measurement of soil pH is always included in soil tests, so that this parameter can easily be included in interpretation. In a greenhouse study the double acid, EDTA, DTPA, and EDDHA (ethylene diamine di-o-hydroxyphenylacetic acid) extractants were used to determine available Zn in 85 Ontario soils (6). Soil Zn extracted by DTPA or EDTA was more closely correlated to plant uptake of Zn than by the other two extractants. Results showed that if these extractants are to be used for acid soils varying in pH, the pH value must be included in a regression equation to obtain a satisfactory interpretation of available Zn.

Both the EDTA and DTPA extractants were developed for neutral and calcareous soils. The EDTA extractant is buffered at pH 8.6 and DTPA is buffered at pH 7.3. Therefore, small differences in soil pH in neutral and calcareous soils will not affect the level of extractable Zn to the degree that occurs with some other extractants. The 0.1 N HCl extractant has been used for estimating available Zn on calcareous soils if proper adjustment was made for the titratable alkalinity (a measure of free CaCO_3) in the soil (13). This method requires another measurement on each soil. The DTPA extractant has now replaced acid extractants for determination of available Zn in states with areas of calcareous soils.

INTERPRETING SOIL TEST RESULTS

Several factors other than soil test values also affect micronutrient fertilizer recommendations. Micronutrient requirements of different crop species vary greatly, so it is necessary to know the crop to be grown. For example, corn is more Zn-sensitive than grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) but the reverse is true for Fe. Critical levels for Zn and Fe vary with these two crops. Cultivars of the same crop species also differ significantly in their uptake and utilization of micronutrients. Use of cultivars tolerant to marginal deficiencies of some micronutrients, especially Fe, is the recommended practice rather than fertilizer applications.

Rates of micronutrient fertilizers must also be related to the expected yield level and potential economic return of the crop planted. The previous cropping history as well as the effects of weather on crop response to micronutrient fertilizers should be considered when making the fertilizer recommendation. Micronutrient fertilizer recommendations for many crops were reviewed at length in *Micronutrients in Agriculture* (12).

The philosophy of micronutrient fertilization also affects the fertilizer recommendation. Some suggest that micronutrients be applied to insure a sufficient supply of available micronutrients to the crop, especially when the soil test level is marginal. Growers are more apt to apply micronutrients to high cash value crops, such as vegetables, to insure optimum soil fertility. Relative differences between cost of fertilizers and the decreased income from possible yield losses due to an inadequate supply of micronutrients are much greater with such crops.

For most agronomic crops, micronutrient fertilizers are not recommended unless results of experiments have shown that positive yield responses can be obtained when micronutrient availability is below the critical soil test level. Probability of unfavorable weather should also be considered. For example, Zn may be recommended on soils with marginal levels of available Zn for some crops when cool, wet weather is expected to occur, because plant availability of soil Zn may be lower under these conditions.

Some micronutrient soil test reports give the general range of micronutrient availability; others give the concentration of extractable micronutrient as well. Actual concentrations of extractable micronutrients are of little value without interpretation and recommendations. Three general levels of micronutrient availability are used by some laboratories in reporting results and making fertilizer

TABLE 1. Critical levels of DTPA-extractable micronutrient for sensitive crops

Nutrient	Deficient	Marginal	Adequate
Zn	< 0.5	0.5 – 1.0	> 1.0
Fe	< 2.5	2.5 – 4.5	> 4.5
Mn	< 1.0		> 1.0
Cu	< 0.2		> 0.2

recommendations. This allows a general differentiation in probable response of highly susceptible and relatively tolerant crops to a given micronutrient. Soil test levels for DTPA-extractable Fe and Zn in the Great Plains states are classified as low, medium (marginal), and high (Table 1). Most crops respond to the recommended micronutrient on soils testing low in Fe or Zn under good management. However, only highly susceptible crops may respond to the applied micronutrient on soils in the medium range. Micronutrient fertilizer would not be recommended for any crop on soils having test results interpreted as high.

In California the three classifications shown in Table 2 are used to interpret soil test levels of available Zn. In addition, the concentration range of DTPA-extractable Zn in each category is changed according to the susceptibility of the crop to Zn deficiency. The least Zn-sensitive crop, sugarbeets (*Beta vulgaris* L.), has the lowest critical value (0.2 ppm) of those listed in Table 2. This interpretive guide is more specific than most systems and requires more calibration studies for implementation. It includes the medium category, which allows for judgments of other factors in making fertilizer recommendations.

TABLE 2. Interpretive guide for DTPA-extractable Zn for several crops on California soils (15).

Crop	Highly Responsive	Probably Responsive	Not Responsi.
	-----ppm-----		
Barley and Wheat	0–0.2	0.2–0.3	>0.3
Corn	0–0.3	0.3–0.6	>0.6
Cotton	0–0.4	0.4–0.7	>0.7
Potatoes	0–0.3	0.3–0.7	>0.7
Sugarbeets	0–0.1	0.1–0.2	>0.2
Vegetables (cool season)	0–0.5	0.5–1.0	>1.0

MICRONUTRIENT SOIL TESTS FOR OTHER USES

Continued annual applications of micronutrients to most soils will result in a buildup of these nutrients. Crop recovery during the first year after application is generally 5 to 10% of the applied micronutrient. Mobility of most micronutrients in soils is quite low, so very little of the micronutrient fertilizers will be leached from the surface soil. Thus, some of the applied micronutrients should remain in the root zone in a form available to plants. Soil extractants can be used to determine buildup of some micronutrients in soil following periodic additions to a soil.

A significant residual effect after 5 years with ZnSO₄ application of 9 or 18 kg/ha of Zn to a neutral, noncalcareous soil in Washington has been reported (3). The amount of 0.1 N HCl-extractable Zn declined with time but crop removal of applied Zn during this period

accounted for only about 13% of this decline. In another study (2) a ZnSO₄ application of 5.6 kg of Zn/ha was adequate for 2 years, while a Zn rate of 11.2 kg/ha was adequate for 4 years. Results were interpreted in terms of 0.8 ppm of DTPA-extractable Zn as the critical level. Greater yield increases from residual applications of 7 and 14 kg of Zn/ha as ZnSO₄ than from 4.4 kg of Zn/ha as ZnEDTA were also reported in Virginia (17). Residual value of various micronutrient sources can thus be different depending upon their rates of reversion to less soluble forms in the soil.

Results of similar studies may show that there is a marked residual response to other micronutrients on some soils. It may be easier to apply a larger micronutrient rate once every 3 to 5 years than small annual applications for some crops. Soil test values could be used to show when levels of available micronutrients have decreased to the point where fertilizers would be recommended again. Care must be taken with this approach in B fertilization, and possibly Cu, as the range between deficiency and toxicity of these nutrients is rather narrow in some soils or for some sensitive crops.

Soil tests also may be of value in detecting excesses of available micronutrients which may occur occasionally. Crop toxicities are more likely to result from increased availability of indigenous micronutrients with increased soil acidity (except for Mo) than to overapplication of

micronutrients. Soil samples collected around a Zn smelter plant have had concentrations as high as 450 ppm of 1.0 N HCl-extractable Zn, while concentrations of DTPA-extractable Zn were about half as high (1). Plant growth of wheat and sorghum decreased with increasing Zn levels in this soil. Soil Mo extracted with 1.0 M (NH₄)₂CO₃ was highly correlated with Mo in alfalfa in soils with pH >7.0 where Mo toxicity was a problem in Colorado (24). The DTPA extractant also was adequate, but analysis of Mo in this extractant was difficult, resulting in poor reproducibility.

Soil application of municipal and industrial wastes and use of agricultural chemicals containing micronutrients may also increase the soil test levels. Therefore, it is important to monitor the status of available micronutrients in soils receiving these amendments. Soil disposal of fly ash from coal ash residues at electric power generating plants may result in increases in levels of some plant nutrients. The B concentration of many fly ash materials is relatively high (>200 ppm), so relatively large amounts of B are applied to soil at the usual disposal rates. Toxicity to some plant species is possible if B in the fly ash is readily available.

High application rates of municipal sewage sludge can result in relatively high applications of micronutrients and other heavy metals to soils. Results of a greenhouse experiment showed that growth of corn was not affected

TABLE 3. Crop response to micronutrients as related to critical soil levels obtained with various treatments (10).

Micronutrient	Crop	Soil test level, ppm		Extractant
		Response	No Response	
Boron	Clover (seed)	<0.10	—	Hot H ₂ O
	Cauliflower	0.50	—	Hot H ₂ O
	Peanuts	>0.15	>0.15	Hot H ₂ O
Copper	Oats	0.50	1.20	0.5 N HCl-AlCl ₃
	—	<9.00	>20.00	1.0 N HCl
Iron	Corn	0—2.0	>2.10	DTPA
	Sorghum	0—4.5	>4.50	DTPA
Manganese	Soybeans	<20	—	0.1 N H ₃ PO ₄
	Oats	<20	—	0.1 N H ₃ PO ₄
	Oats	<10*	—	double acid
	—	< 5*	>20*	0.1 N HCl
Molybdenum	Corn	0.09	—	0.3 N (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄
	Clover	0.16	—	0.3 N (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄
	Peas	0.42	—	0.3 N (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄
Zinc	Corn	<1.40	—	EDTA—(NH ₄) ₂ CO ₃
	Corn	<0.50	0.5	DTPA
	—	<2.50*	>10*	0.1 N HCl

* Probability of crop response at a given soil test level also related to soil pH.

by a sewage sludge application rate equivalent to 224 tonnes/ha (11). Amounts of Zn and Cr contained in the sludge were each equivalent to 3.1 tonnes/ha. Levels of 0.5 N HCl-extractable Zn and Cr in the soil were increased from 2 and 1 ppm to 635 and 430 ppm, respectively, by the sludge application. Tissue concentrations of Zn increased from 14 to 508 ppm, while those of Cr were not affected. Results also showed that 0.1 N HCl extracted almost the same amount of Zn but much lower amounts of Cr than extracted by 0.5 N HCl.

Continued use of pesticides containing heavy metals could result in increased levels of these metals. Soil tests can be used to determine buildup and relative availability to plants of these metals. Zinc sulfate was applied to a loamy sand in Wisconsin at rates up to 363 kg/ha to approximate the amount of Zn applied with up to 81 annual fungicidal treatments (25). Highly significant correlations were observed between the Zn extracted by 0.1 N HCl, EDTA, or DTPA and Zn uptake of several crops, even though crop yields were not reduced by Zn applications. Values as high as 47 ppm extractable Zn were noted at the high $ZnSO_4$ application rate.

Increased level of Cu have been reported in soils where Bordeaux mixture has been used for many years as a fungicide. Decreased crop production due to Cu-induced Fe chlorosis was evident on some fields. Levels as high as 2.1 ppm of water-soluble Cu have been reported. Growers in Michigan have been warned of potential Cu toxicity on soils treated repeatedly with Cu in fertilizers or as fungicides (23). Bordeaux mixture also has not been recommended for citrus in Florida in recent years as a result of apparent Cu toxicity on acid, sandy soils.

SUMMARY

Soil tests are useful in diagnosing micronutrient deficiencies, determining residual value from previous fertilizer applications, and pointing out possible toxicity problems in soils. Concentrations of micronutrients in various soil extracts are of little value unless they have been calibrated in terms of crop response, which requires greenhouse and field studies. Results of micronutrient soil tests must be translated into fertilizer recommendations to be of use to the grower. Rates and methods of application vary with previous cropping history, soil, crop, expected yield levels, and other factors.

Several new micronutrient soils tests have been developed in the United States in recent years. Perhaps most widely adapted is the DTPA soil test developed for micronutrient cations in neutral and calcareous soils by Lindsay and Norvell in 1968 (8). A new soil test for Cu, developed especially for use on organic, as well as mineral, soils has been proposed (9). The soil extractant contains 0.5 N HCl and 0.05 N $AlCl_3$ and extracts relatively more soil Cu; this results in more precise analysis, but use of strong acid extractants usually is not preferred for routine soil tests.

A recent trend in micronutrient soil tests is use of the same extractant for more than one element. The double-acid procedure (7) is now used for available Zn and Mn as

well as for P, K, Mg, and Ca in some states where acid soils predominate. Another new soil test has been developed for simultaneous extraction of P, K, nitrates, and micronutrient cations in neutral and calcareous soils (19). The DTPA extractant was modified to include 1 N NH_4HCO_3 , buffered at pH 7.6. This procedure has recently been adopted for routine soil tests in Colorado. These soil tests reduce analytical costs by reducing the number of extractions required for routine soils tests; again the tests must be calibrated with crop response.

Acid extractants are not accurate for calcareous soils; instead, several chelate extractants are now used for micronutrient cations in these soils. Available B is still best measured by the hot water procedure (5). Available Cu and possibly Mn are related to soil organic matter content, so specific soil test procedures may be required. As available Mn is closely related to soil pH, the latter should be considered in Mn soil test interpretations. Soil Mo is still measured by the Grigg extractant, $(NH_4)_2C_2O_4$. It would appear preferable to use fewer soil extractants and standardized procedures; critical soil levels obtained for various soil and crop conditions may then have wider application than at present. Small modifications in the above procedures will only change the critical levels that are already in use. Regional cooperative studies would also result in establishment of critical soil levels which are applicable over larger areas.

Soil tests may have value in showing the residual effects of micronutrient fertilizers applied to soils. First year crop recovery of applied micronutrients is much lower than that of P and K so residual value of some micronutrient sources may be considerable. Soil tests also may be of use to detect potential toxicities of some micronutrients. While toxicities are not extensive, a calibrated soil test to determine the excess range would be of value. If they are to be used for disposal of municipal and industrial wastes, knowledge of potential toxicities due to buildup of some micronutrients and other heavy metals as Cd, Ni, and Pb will be invaluable.

Development of soil tests is more complex for micronutrients than for P and K. Recent improvements in analytical methods as well as a better understanding of micronutrient chemistry in soils and plant nutrition have led to improvements in micronutrient soil tests. The use of soil tests to predict probable response to micronutrient fertilization must be refined further so that more confidence can be placed in this diagnostic tool.

BIBLIOGRAPHY

1. Kaber, J. M., and B.B. Tucker. 1972. Toxic soil levels of zinc and cadmium. *Agron. Abstracts* p. 103.
2. Boawn, L. C. 1974. Residual availability of fertilizer zinc. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:800-804.
3. Boawn, L. C., F. G. Viets, Jr., C. L. Crawford, and J. L. Nelson. 1960. The effect of nitrogen carrier, nitrogen rate, zinc rate, and soil pH on zinc uptake by sorghum, potatoes, and sugarbeets. *Soil Sci.* 90:329-337.
4. Cox, F. R., and E. J. Kamprath. 1972. *Micronutrient soil tests*. pp. 289-317. In J.J. Mortvedt et al. (eds.) *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, WI.

5. Dible, W. T., E. Troug, and K. C. Berger. 1954. Boron determination in soils and plants. *Anal. Chem.* 26:418-421.
6. Haq, A. U., and M. H. Miller. 1972. Prediction of available soil Zn, Cu, and Mn using chemical extractants. *Agron. J.* 64:779-782.
7. Jones, J. B., Jr., J. T. Cope, Jr., and J. D. Lancaster. 1974. Procedures used by state soil testing laboratories in the southern region of the United States. Southern Cooperative Series, Bulletin 190. Ala. Agric. Exp. Sta., Auburn, AL.
8. Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1969. Development of a DTPA micronutrient soil test. *Agron. Abstracts* p. 84.
9. Mehlich, A., and S. S. Bowling. 1975. Advances in soil test methods for copper by atomic absorption spectrophotometry. *Comm. Soil Sci. and Plant Anal.* 6:113-128.
10. Mortvedt, J. J. 1977. Micronutrient soil test correlations and interpretations. pp. 99-117. In T. R. Peck et al. (eds.) *Soil Testing: Correlating and Interpreting the Analytical Results*. ASA Special Publication Number 29, Am. Soc. of Agron., Madison, WI.
11. Mortvedt, J. J., and P. M. Giordano. 1975. Response of corn to zinc and chromium in municipal wastes applied to soil. *J. Environ. Qual.* 4:170-174.
12. Murphy, L. S., and L. M. Walsh. 1972. Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. pp. 247-387. In J. J. Mortvedt et al. (eds.) *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, WI.
13. Nelson, J. L., L. C. Bawn, and F. G. Viets, Jr. 1959. A method for assessing zinc status of soils using acid-extractable zinc and "titratable alkalinity" values. *Soil Sci.* 88:275-283.
14. Reisenauer, H. M. 1967. Availability assays for the secondary and micronutrient anions. pp. 71-102. In C. W. Hardy et al. (eds.) *Soil Testing and Plant Analyses*, Part I. ASA Special Publication Number 2. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, WI.
15. Reisenauer, H.M., and J. Quick. 1971. Soil test interpretive guides. pp. 96-102. *Proc. Statewide Conference on Soil and Tissue Testing*, Davis, CA.
16. Reisenauer, H. M., L. M. Walsh, and R. G. Hoeft. 1973. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum, and chlorine. pp. 173-200. In L. M. Walsh and J. D. Beaton (eds.) *Soil Testing and Plant Analyses*. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, WI.
17. Schnappinger, M. G., Jr., D. C. Martens, G. W. Hawkins, D.F. Amos, and G.D. McCart. 1972. Response of corn to residual and applied zinc as ZnSO₄ and ZnEDTA in field investigations. *Agron. J.* 64:64-66.
18. Shuman, L. M., and O. E. Anderson. 1974. Evaluation of six extractants for their ability to predict manganese concentrations in wheat and soybeans. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:788-790.
20. Soltanpour, P. N., and A. P. Schwab. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micronutrients in alkaline soils. *Comm. Soil Sci. and Plant Anal.* 8:195-207.
21. Trierweiler, J.R., and W. L. Lindsay. 1969. EDTA-ammonium carbonate soil test for zinc. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:49-54.
22. Viets, F. G., Jr. 1967. Soil testing for micronutrient cations. pp. 55-70. In G. W. Hardy et al. (eds.) *Soil Testing and Plant Analysis*, Part I. ASA Special Publication Number 2. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, WI.
22. Viets, F. G., Jr., and W. L. Lindsay. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese, and iron. pp. 152-172. In L. M. Walsh and J. D. Beaton (eds.) *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, WI.
23. Vitosh, M. L., D. D. Warncke, and R. E. Lucas. 1973. Secondary and micronutrients for vegetables and fields crops. *Mich. Agric. Ext. Bull.* E-486. East Lansing, MI.
24. Vlek, P. L. G., and W. L. Lindsay. 1977. Soil tests for determining molybdenum contamination in soils. pp. 619-650. In W.G. Chappell and K.K. Petrsen (eds.) *Molybdenum in the Environment*. Vol 2. Marcel Dekker, Inc., New York.
25. Walsh, L. M., D. R. Steevens, H. D. Seibel, and G. G. Weis. 1972. Effects of high rates of zinc on several crops grown on an irrigated plainfield sand. *Comm. Soil Sci. and Plant Anal.* 3:187-195.

ESTADO DE LOS MICRONUTRIENTES EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS*

Ricardo Guerrero Riascos** y
Hernán Burbano Orjuela***

1. INTRODUCCION

De acuerdo a la revisión realizada por Cox (11), hasta el año de 1973 la información existente sobre los elementos menores en suelos de América Latina era particularmente escasa. En los años subsiguientes la situación no parece haber variado fundamentalmente. Los suelos de Colombia no se exceptúan de la apreciación anterior, pues los estudios conocidos sobre el particular constituyen una proporción mínima de la información que sobre el estado de los nutrimentos esenciales se encuentra disponible en la literatura edáfica de Colombia.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen, como es suficientemente conocido, gran importancia en la agricultura Colombiana. Sus características morfológicas, genéticas, mineralógicas, biológicas y físico-químicas han sido descritas por diferentes autores (5, 6, 8, 16, 17, 27, 28, 29). La investigación realizada sobre el estado de los micronutrimentos en estos suelos es comparativamente más abundante que la existente sobre el mismo tópico en suelos de origen diferente, y la mayor parte de la información disponible procede de la Región Andina de Nariño.

El propósito del presente aporte al V Coloquio de Suelos es el de recopilar los datos existentes sobre el estado de los micronutrimentos en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia, para en base a ellos y a alguna información original reciente, intentar un diagnóstico aproximado y la formulación de algunas conclusiones y recomendaciones que orienten la investigación futura.

Es necesario aclarar que la información base del presente trabajo no proviene exclusivamente de suelos derivados de cenizas volcánicas, con su fracción coloidal mineral dominada por coloides amorfos, como lo serían los Andosoles o suelos Andept típicos, sino que algunos de ellos se han desarrollado a partir de cenizas mezcladas con otro tipo de material volcánico y que más bien corresponderían a la definición de suelos Tropept, según la Séptima Aproximación. En consecuencia, sería más acertado delimitar los alcances del estudio a suelos afectados por cenizas volcánicas.

2. RESERVAS TOTALES

La Tabla 1 recoge los rangos y promedios de las concentraciones totales de Cu, Mn, Co y Mo en suelos volcánicos de tres regiones de Colombia.

* Contribución de la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía - Bogotá y de la Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas - Pasto.

** Profesor Asociado, Director Departamento de Agua y Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía - Bogotá.

*** Decano Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño - Pasto.

2.1 COBRE

Barros y Blasco (3) determinaron la concentración de Cu total en 30 suelos del Altiplano de Pasto, cuyo rango fue de 0,7 a 27,6 ppm, y el promedio de 8,5 ppm. En igual número de muestras, provenientes de la región de Clima Medio del Departamento de Nariño, Junca (23) encontró una situación similar a la anterior, al determinar concentraciones totales de Cu comprendidas entre 0,5 y 31,1 ppm, con un promedio de 7,8 ppm. Al contrario, Jenkins (22) determinó un promedio de 42 ppm de Cu-total en suelos del Cauca, con rango de 10 a 180 ppm, cifras éstas superiores a las determinadas en Nariño.

Si comparamos las concentraciones anteriores con el rango mundial señalado por Krauskopf (24), autor que lo fija entre 10 y 80 ppm, encontramos que las reservas de Cu en los suelos volcánicos de Nariño son, en promedio, relativamente bajas. Tomando en cuenta el límite crítico de 6 ppm, estipulado por Lucas y Knezek (26), un 50o/o de la muestra que conforman los suelos del Altiplano de Pasto (3) y un 60o/o de los correspondientes a la región de Clima Medio (23) podrían calificarse como potencialmente deficientes en Cobre.

El bajo nivel de reservas de Cu en los suelos de las dos regiones de Nariño, se explica por la naturaleza del material volcánico originario, el cual tiende a ser más bien de tipo intermedio que de tipo básico (29).

2.2 MANGANESO

Al contrario de lo que ocurre con el Cu, las concentraciones de Mn-total determinadas por Castro y Blasco (9) en suelos de la región de Clima Medio de Nariño son relativamente altas, pues oscilan entre 209 y 2471 ppm, para un promedio de 1099 ppm. Otro tanto ocurre con los valores determinados por Jenkins (22) en suelos del Departamento del Cauca (240 a 3200 ppm), cuyo promedio fue de 750 ppm. En el caso de este elemento, resalta la acentuada variabilidad observada en sus concentraciones, circunstancia ésta que coincide con el rango de variabilidad mundial (20 a 3000 ppm). (24).

2.3 COBALTO

De acuerdo a Vanselow (38), no existen evidencias de que el cobalto sea esencial para el desarrollo de la planta. Sin embargo, está demostrado que es un elemento esencial para la fijación simbiótica del nitrógeno. Además, el cobalto tiene gran importancia en la dieta de los rumiantes, pues se sabe que es un constituyente de la vitamina B₁₂. También es esencial en la síntesis de la cobalamina, la cual actúa como factor de mantenimiento de la flora intestinal y hace posible la síntesis de la hemoglobina. De otra parte, este elemento parece que influye favorablemente en la producción de leche (1).

TABLA 1
CONTENIDOS TOTALES DE ALGUNOS ELEMENTOS MENORES EN
SUELOS VOLCANICOS DE COLOMBIA

REGION	N	ELEMENTO	CONTENIDO (ppm)			AUTOR
				RANGO	PROMEDIO	
ALTIPLANO DE PASTO	30	COBRE	0.70	— 27,6	8.50	Barros y Blasco (3)
		MOLIBDENO	Trazas	— 2,40	1.00	
		COBALTO	1.00	— 8,60	4,00	
CLIMA MEDIO DE NARIÑO	10	MANGANESO	209,6	— 2.471,0	1.099,60	Castro y Blasco (9)
	30	COBRE	0,50	— 31,10	7,80	
		MOLIBDENO	Trazas	— 8,30	2,50	
	COBALTO	0,70	— 21,10	8,40		
CAUCA	25	MANGANESO	240,0	— 3200,0	750,00	Jenkins (22)
		COBRE	10,0	— 180,0	42,0	
		COBALTO	3,20	— 18,0	10,0	

En base a las consideraciones anteriores, algunos investigadores han incluido al cobalto en los trabajos realizados con suelos volcánicos de Colombia. Así, Barros y Blasco (3) determinaron las concentraciones totales de este elemento en suelos del Altiplano de Pasto y encontraron que oscilaban entre 1 y 8,6 ppm, siendo el promedio de 4 ppm. En la región de Clima Medio de Nariño el promedio fue de 8,4 ppm (rango 0,7 a 21 ppm) (23), y en suelos del Cauca las concentraciones variaron entre 3,2 y 18 ppm (promedio: 10 ppm) (22). De la comparación de estas cifras se hace evidente que los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto resultan peor librados en cuanto a su nivel de reservas de Co, pero en general se puede decir que las concentraciones totales de este elemento se pueden calificar como bajas, ya que sus promedios se acercan más al límite inferior del rango de variación (1-40 ppm) señalado por Vanselow (38).

El cobalto se concentra principalmente en minerales ferromagnesianos, lo cual determina que su concentración promedio en las rocas ígneas ácidas sea de 5 ppm, en tanto que en las ígneas básicas es de 45 ppm (21). La naturaleza intermedia o ácida del material parental de los suelos arriba enunciados explicaría las bajas concentraciones observadas, las cuales podrían estar determinando en algunos casos deficiencias potenciales, ya que Vanselow (38) sostiene que pasturas desarrolladas en suelos con menos de 5 ppm de Co-total pueden generar deficiencias de este elemento para la nutrición del ganado. Este diagnóstico sería válido particularmente para los suelos del Altiplano.

2.4 MOLIBDENO

De todos los microelementos, el molibdeno es el que muestra las más bajas concentraciones totales en los suelos,

las cuales oscilan normalmente entre 0,2 y 10 ppm (24). No obstante, excepcionalmente se presentan concentraciones más altas, tal como ocurre con los suelos volcánicos de Nicaragua estudiados por Soto (36), para los cuales el contenido de Mo-total señaló un promedio de 36 ppm.

Los muy pocos datos sobre Mo-total en suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia han sido obtenidos en suelos del Altiplano de Pasto (3) y de la región de Clima Medio de Nariño (23). En el Altiplano los contenidos son definitivamente bajos, como lo indica el promedio de 1 ppm. En los suelos de clima medio la concentración es un poco mayor y alcanza un promedio de 2,5 ppm, pero en ambas regiones se encontraron suelos en donde la concentración no alcanzó a ser detectable (trazas). El bajo nivel de reservas de este elemento en el Altiplano de Pasto está seguramente asociado con la pobreza en biotita que muestran estos suelos, según se desprende del estudio mineralógico realizado por Luna y Calhoun (29). Como es sabido, la biotita es la principal fuente de Mo en los suelos (24).

Aparte de los estudios ya reseñados, se han realizado algunas investigaciones adicionales sobre la concentración total de algunos elementos menores en suelos derivados de cenizas volcánicas de otras regiones de Colombia. Así, Quintero (31) determinó para un suelo de Caldas y otro de Boyacá las siguientes respectivas concentraciones de elementos menores: Mn 633 ppm y 581 ppm; Cu: 63 ppm y 61 ppm; Zn: 91 ppm y 82 ppm. Estos contenidos totales se consideran normales e indicadores de un nivel de reservas relativamente alto. Otro tanto puede decirse de las concentraciones totales de Mn, Zn y Cu determinadas por Gómez y colaboradores (18) en un suelo de la serie Bermeo en la Sabana de Bogotá, las cuales fueron de 615 ppm, 100 ppm y 80 ppm, respectivamente.

3. NIVELES DE DISPONIBILIDAD

La disponibilidad de un nutrimento, como es suficientemente conocido, hace relación a la fracción de la cantidad total del mismo que puede ser utilizada por las plantas. La mayor o menor disponibilidad depende no solamente de la reserva o concentración total del elemento en el suelo, sino también de una complicada interacción de diferentes factores edáficos.

3.1 HIERRO

En la Tabla 2 se recoge la información existente sobre niveles de disponibilidad de hierro en algunos suelos volcánicos de Colombia. La mayoría de los autores han utilizado como extractante el NH_4OAc 1N pH 4,8, con el cual las concentraciones obtenidas varían entre límites amplios: 8,4 a 293 ppm. En promedio, los contenidos menores se registran en el Altiplano de Ipiales (39,6 ppm) (35) y los mayores en los suelos de la Sabana de Túquerres, en los cuales, según Chamorro, et al (12), el promedio es de 140 ppm. Otros autores han comparado varias soluciones extractoras. En el Altiplano de Pasto, Cabrera y Moreno (7) encontraron que el HCl 0,1N extraía en promedio el doble de Fe que el NH_4OAc 1N pH 4,8 y que el $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 1o/o extraía el triple. En cambio, en suelos de la Sabana de Bogotá (Series Cabrera, Bermeo y Bacatá) la diferencia entre los dos primeros extractantes no fue apreciable, pero el Oxalato de amonio ácido (pH 3,3) extrajo cantidades

enormes de este elemento (1685 ppm, en promedio), fenómeno ligado al hecho de que el oxalato libera el Fe acomplejado con la materia orgánica, conforme lo señala Soto (36).

A pesar de que en la literatura no se encuentran niveles críticos que permitan evaluar la disponibilidad de Fe en el suelo, las cifras determinadas para los suelos volcánicos de Colombia permiten afirmar que, en general, este elemento se encuentra en cantidades suficientes para el desarrollo normal de las especies vegetales cultivadas, descartándose así la ocurrencia de deficiencias.

3.2 MANGANESO

Los datos existentes sobre la disponibilidad de manganeso en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia y sus relacionados, se incluyen en la Tabla 2. En general, las concentraciones registradas para los suelos de las diferentes regiones se pueden calificar como normales e indicadores de niveles de suficiencia de este elemento para los cultivos. Quizá la excepción la constituyan los suelos de la Sabana de Túquerres, estudiados por Chamorro, et al (12), en los cuales el Mn extraído con NH_4OAc 1N pH 4,8 osciló entre trazas y 0,8 ppm, niveles éstos que, a la luz de la información recopilada por Labanauskas (25), indicarían la ocurrencia de posibles deficiencias de este elemento. Quintero (31) también califica como deficiente a un suelo derivado de cenizas volcánicas de Caldas, en el cual

DISPONIBILIDAD DE HIERRO, MANGANESO Y COBRE, DETERMINADA POR DIFERENTES METODOS, EN SUELOS VOLCANICOS DE ALGUNAS REGIONES DE COLOMBIA.

DATOS EN ppm.

REGION	N	EXTRACTANTE	HIERRO			MANGANESO			COBRE			AUTOR
			BANCO	\bar{X}	\bar{X}	BANCO	\bar{X}	BANCO	\bar{X}			
ALTIPLANO DE PASTO	60	NH_4OAc 1N pH 4.8	8.4	— 275.6	101.1				Trazas	— 4.3	1.3	(13)
		HCl 0,1N	14.6	— 895.0	265.0	9.1	— 196.2	77.1	Trazas	— 9.9	3.2	
	DE	Oxalato de amonio pH3.3				20.3	— 246.2	124.6	2.2	— 24.3	8.3	(7)
		EDTA.Na_2 1o/o	165.3	— 544.4	315.9	18.2	— 139.5	69.1	2.6	— 13.4	5.4	
-----		NH_4OAc 1N pH 7.0				1.0	— 23.4	10.6				
ALTIPLANO DE IPIALES	19	NH_4OAc 1N pH 4.8	10.1	— 125.3	39.6	2.0	— 55.3	18.4				(35)
SABANA DE TUQUERRES	10	NH_4OAc 1N pH 4.8	15.0	— 293.3	140.6	Trazas	— 0.8	0.5	Trazas	— 1.6	0.5	(12)
CLIMA MEDIO DE NARIÑO	10	NH_4OAc 1N pH 4.8				6.0	— 44.5	16.4				(9)
SABANA DE BOGOTA	13	NH_4OAc 1N pH 7.0	3.9	— 8.0	6.0	1.0	— 12.1	4.3	0.3	— 1.0	0.5	
		NH_4OAc 1N pH 4.8	16.6	— 73.0	37.0	0.7	— 51.0	17.4	0.2	— 0.9	0.6	
		Oxalato de Amonio pH3.3	305.0	— 2855.0	1685.0	19.2	— 217.6	74.2	2.0	— 15.1	5.7	(32)
(Bacatá, Cabrera y Bermeo)		HCl 0,1N	4.4	— 107.0	20.8	8.3	— 117.0	49.0	Trazas	— 4.7	0.7	
		EDTA.Na_2 1o/o	28.5	— 680.0	203.1	11.6	— 147.0	50.4	1.3	— 14.1	4.0	

la concentración de Mn (EDTA 0,5N) fué de 2,6 ppm y la de Mn (NH_4OAc 1N pH 7) fué de 1,1 ppm.

De la comparación de diferentes extractantes (7, 32), se ha evidenciado que el acetato de amonio ácido o neutro (normal) extrae cantidades inferiores de Mn que el HCl 0,1N y que el EDTA-disódico 1o/o. El mayor poder de extracción, sin embargo, fué para el oxalato de amonio pH 3,3,

3.3 COBRE

Tomando como base las concentraciones obtenidas al extraer el suelo con acetato de amonio normal y ácido, los contenidos de Cu disponible en suelos de algunas regiones volcánicas de Colombia (Tabla 2) oscilan entre trazas y 4,30 ppm. En base a los valores promedios, la menor concentración se observó en los suelos de la Sabana de Túquerres (0,50 ppm) (12) y la mayor en el Altiplano de Pasto (1,30 ppm) (13). En la Sabana de Bogotá, para el mismo extractante, las concentraciones oscilaron entre 0,2 y 0,9 ppm, y cuando la extracción se realizó con HCl 0,1N entre trazas y 4,7 ppm (32).

El oxalato de amonio ácido y el EDTA- Na_2 1o/o extraen cantidades mucho mayores de cobre (5 a 8 veces) que el

acetato de amonio ácido, en tanto que el HCl 0,1N extrae cantidades intermedias (Tabla 2), según los resultados obtenidos por Cabrera y Moreno (7), en suelos del Altiplano de Pasto, y por Ramón y Rojas (32) en suelos de la Sabana de Bogotá (Series Cabrera, Bermeo y Bacatá).

A pesar de extraer cantidades bajas, Fiskell (15) señala que el Cu extraído con NH_4OAc 1N pH 4,8 puede ser un índice satisfactorio de disponibilidad de este elemento para la planta. Cox y Kamprath (10) afirman que suelos con menos de 0,2 ppm de Cu extraído con esa solución pueden considerarse como deficientes. Si se acepta este límite crítico, un 20o/o de los suelos del Altiplano de Pasto estudiados por Dávila y Torres (13) serían potencialmente deficientes en este elemento. La misma calificación podría darse a 14 de los 46 suelos (35o/o) de la misma región, cuyo nivel de Cu (HCl 0,1N) fué de trazas (7), y a un 40o/o de la muestra proveniente de la Sabana de Túquerres (12).

En cuanto hace relación a la Sabana de Bogotá, Ramón y Rojas (32) encontraron que en 8 de los 13 suelos afectados por cenizas volcánicas, pertenecientes a las Series Bacatá, Cabrerar y Bermeo, el Cu extraído con HCl 0,1N no fue detectable (trazas), resultado que supone una alta

TABLA 3 - DISPONIBILIDAD DE ZINC, BORO Y COBALTO, DETERMINADA POR DIFERENTES METODOS EN SUELOS VOLCANICOS DE ALGUNAS REGIONES DE COLOMBIA. DATOS EN ppm.

REGION	N	EXTRACTANTE	ZINC		BORO		COBALTO		AUTOR
			RANGO	X	RANGO	X	RANGO	X	
		NH_4OAc 1N pH 4.8	0.1	- 2.0	0.6		0.2	- 2.3	0.9 (13)
	60	Agua caliente				0.4	- 2.3		
		NH_4OAc 1N pH 7.0	0.2	- 3.6	0.8				
	46	HCl 0,1N	4.4	- 19.1	9.4				
		Oxalato de Amonio pH3.3	0.4	- 19.3	5.5		0.2	- 5.3	2.5 (7)
		EDTA- Na_2 1o/o	3.0	- 12.3	6.1		Trazas	- 5.8	1.6
ALTIPLANO DE IPIALES	19	NH_4OAc 1N pH 4.8	0.1	- 27.8	10.6		Trazas	- 0.4	0.1 (35)
SABANA DE TUQUERRES	10	NH_4OAc 1N pH 4.8	Trazas	- 5.0	0.9		0.8	- 0.9	0.8 (12)
	10	Agua caliente				0.6	- 1.0		
SABANA DE BOGOTA (Bacatá, Cabrera y Bermeo)		NH_4OAc 1N pH 4.8	11.0	- 70.0	29.1				
	13	Oxalato de amonio pH3.3	7.0	- 68.3	26.5				(32)
		HCl 0,1N	10.0	- 78.0	33.4				
		EDTA- Na_2 1o/o							

probabilidad de deficiencia, particularmente en el caso de la serie Bermeo.

Los bajos niveles de Cu-total determinados por Barros y Blasco (3) dan base a pensar que las posibles deficiencias en el Altiplano de Pasto estén asociadas con bajas reservas del elemento. Es posible, sin embargo, que otros factores edáficos y de uso del suelo contribuyan también a la expresión de bajos niveles de disponibilidad, aspecto que se tratará en el siguiente capítulo.

3.4 ZINC

Conforme lo muestra la Tabla 3, la mayor parte de los datos disponibles sobre la aprovechabilidad del zinc en suelos volcánicos de Colombia, se ha obtenido en base a la extracción con NH_4OAc 1N pH 4,8. Si para esta metodología se acepta como límite crítico 0,40 ppm (10), 16 de 60 suelos (26o/o) del Altiplano de Pasto (13) y 6 de 10 suelos (60o/o) procedentes de la Sabana de Túquerres (12) serían potencialmente deficientes en zinc. En cambio, los suelos del Altiplano de Ipiales (35) y los correspondientes a las series Cabrera, Bacatá y Bermeo de la Sabana de Bogotá (32) estarían bien abastecidos de este elemento, en términos de disponibilidad para las especies cultivadas. Los promedios obtenidos para estas regiones son contrastantes: 0,60 ppm y 0,90 ppm para Pasto y Túquerres, respectivamente, en comparación a 10,60 ppm (Ipiales) y 29, 10 ppm (Sabana de Bogotá).

La información sobre posible déficit de zinc en el Altiplano de Pasto no es consistente si se la compara con los niveles de disponibilidad obtenidos en suelos de la misma región por Cabrera y Moreno (7) quienes, utilizando varias soluciones extractoras (HCl 0,1N, EDTA- Na_2 1o/o, Oxalato pH 3,3), encontraron que la totalidad de la muestra (46 suelos) arrojó niveles de disponibilidad superiores a los límites críticos de 1 ppm (HCl 0,1N) y de 1,4 ppm (EDTA) señalados por Cox y Kamprath (10).

Los suelos de las series Bacatá, Cabrerar y Bermeo muestran altos niveles de disponibilidad de Zn para todos los extractantes utilizados en el estudio (32), de los cuales el EDTA-disódico, el HCl 0,1N y el oxalato de amonio presentaron mayor poder de extracción que el acetato de amonio normal ácido o neutro (Tabla 3).

3.5 COBALTO

Se han determinado los niveles de Co-disponible en suelos del Altiplano de Pasto, utilizando NH_4OAc 1N pH 4,8 (13), oxalato de amonio pH 3,3 y EDTA- Na_2 1o/o (7). También existen datos para suelos del Altiplano de Ipiales (35) y para los de la Sabana de Túquerres (12), estudios en los cuales el extractante usado fue el acetato de amonio normal pH 4,8. Los rangos y promedios obtenidos en cada caso se recopilan en la Tabla 3.

Los niveles de disponibilidad (NH_4OAc 1N pH 4,8) alcanzados en los suelos volcánicos de los Altiplanos Andinos (Pasto, Ipiales, Túquerres) pueden calificarse como bajos, según se desprende de los rangos de concentración obtenidos. Para el caso de los suelos del Altiplano de Ipiales,

en donde los niveles son particularmente bajos (trazas a 0,4 ppm), es factible que exista una deficiencia generalizada de Co en las praderas, situación que podría repercutir en la nutrición del ganado. Lo propio puede afirmarse para algunos suelos del Altiplano de Pasto en los cuales, como se sabe, las reservas de Co son bajas (3).

La extracción con oxalato de amonio ácido y EDTA- Na_2 1o/o en suelos del Altiplano de Pasto, arrojó concentraciones promedias más altas (2,6 y 1,6 ppm, respectivamente) que las obtenidas con el acetato de amonio ácido. Sin embargo, un 58o/o de los suelos estudiados evidenciaron niveles de Co no detectables (trazas) cuando la extracción se hizo con EDTA- Na_2 1o/o. (7).

3.6 BORO Y MOLIBDENO

Se sabe que los suelos alofánicos tienen una alta capacidad de adsorción de aniones. La reciente revisión de Wada y Harward (40) sobre las arcillas amorfas de los suelos, copia una buena cantidad de evidencias experimentales sobre el tema. El hecho de que tanto el B como el Mo se comporten como aniones (H_2BO_3^- y MoO_4^{--}) en el sistema suelo-planta, supone que este fenómeno juega un papel importante en la aprovechabilidad de estos dos microelementos.

En efecto, Bingham, et al (4) han demostrado que los suelos derivados de cenizas volcánicas adsorben mucho más boro que aquellos derivados de otro tipo de material. A la misma conclusión llegaron González, et al (19), en reciente investigación, con relación al molibdeno en suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. Estos autores demostraron que la fuerte adsorción del anión molibdato se debe principalmente a la presencia de alofana y señalan que el fenómeno puede estar asociado con deficiencias de este elemento para las especies cultivadas.

Con base en las anteriores evidencias experimentales, es factible inferir que las probabilidades de deficiencias de B y Mo en suelos derivados de cenizas volcánicas son relativamente más altas que en suelos de otro origen. Desafortunada y paradójicamente, la información existente sobre la disponibilidad de estos dos elementos en suelos volcánicos de Colombia es casi nula o, por lo menos, muy escasa. La razón para ello radica seguramente en las dificultades que estos dos elementos presentan para su determinación, particularmente en el caso del molibdeno.

Mediante la utilización de agua caliente como extractante, se ha determinado B-disponible en suelos del Altiplano de Pasto (13) y de la Sabana de Túquerres (12). Tal como se muestra en la Tabla 3, en el Altiplano la concentración varió entre 0,4 y 2,3 ppm, con un promedio de 1,5 ppm. En la Sabana las concentraciones oscilaron entre 0,6 y 1,0 ppm, con un promedio de 0,8 ppm. Si se toma en consideración los límites críticos compilados por Cox y Kamprath (10), para esta metodología de extracción, solamente algunos de los suelos de estas regiones serían potencialmente deficientes en boro.

Del molibdeno disponible solamente se conocen datos para suelos del Altiplano de Pasto (13), obtenidos median-

te extracción con NH_4OAc 1N pH 4,8. La totalidad de los 60 suelos estudiados en este caso, únicamente mostraron niveles traza del elemento. Este hecho permite plantear, así sea a título hipotético, que los suelos del Altiplano de Pasto y sus similares derivados de ceniza volcánica en los Altiplanos Andinos del sur de Colombia, pueden presentar serias deficiencias de molibdeno. Esta aseveración se fundamenta, además, en los siguientes hechos:

a) La ocurrencia de altos niveles de alofana en tales suelos (29) y la consecuente fuerte adsorción del anión molibdato (19).

b) Los bajos niveles en la reserva total de molibdeno determinados por Barros y Blasco (3), en asociación con la acentuada escasez de biotita en estos suelos (29).

c) La buena respuesta de algunos cultivos hortícolas a la aplicación de molibdeno (2).

TABLA 4 — COEFICIENTES DE CORRELACION LINEAL ENTRE DIFERENTES SOLUCIONES EXTRACTORAS Y CON ALGUNAS VARIABLES EDAFICAS PARA SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO.

MICRONUTRIMENTO	SOLUCION EXTRACT.	SOLUCION EXTRACTORA					
		HCl 0,1N	EDTA-Na ₂ 1o/o	Oxalato pH 3.3	C. org. PH NaF 1M	pH Agua 1:1	
Fe	HCl 0,1N		0,51**		- 0,44**	- 0,66**	0,15
	EDTA-Na ₂ 1o/o				0,28	- 0,05	- 0,23
	NH ₄ OAc 1N pH 4,8				0,34*	0,01	- 0,44*
Cu	HCl 0,1N		0,24	0,05	- 0,60**	- 0,70**	0,38**
	EDTA -Na ₂ 1o/o			0,06	- 0,14	- 0,22	0,44**
	Oxalato pH 3,3				0,04	0,07	- 0,01
Mn	NH ₄ OAc 1N pH 4,8				0,17	0,21	0,17
	HCl 0,1N		0,59**	0,49**	- 0,25	- 0,27	0,28
	EDTA-Na ₂ 1o/o			0,41**	- 0,33*	- 0,40**	0,33*
Zn	Oxalato pH 3,3				- 0,63**	- 0,50**	0,26
	NH ₄ OAc 1N pH 7,0	0,22	0,23	0,20	- 0,06	- 0,18	- 0,42**
	HCl 0,1N		0,26	0,29*	0,06	0,16	- 0,06
Co	EDTA-Na ₂ 1o/o			0,11	0,37*	0,32*	- 0,10
	Oxalato pH 3,3				0,41**	0,35*	- 0,26
	NH ₄ OAc 1N pH 7,0	0,05	0,13	0,20	0,32*	0,35*	- 0,24
Co	NH ₄ OAc 1N pH 4,8				0,03	- 0,07	- 0,16
	EDTA-Na ₂ 1o/o			0,60**	- 0,44**	- 0,45**	0,36*
	Oxalato pH 3,3				- 0,60**	- 0,60**	0,34*
Co	NH ₄ OAc 1N pH 4,8				0,44**	0,11	- 0,26

4. FACTORES EDAFICOS Y DE USO DEL SUELO RELACIONADOS CON LA DISPONIBILIDAD DE LOS MICROELEMENTOS

Es claro que la disponibilidad de los elementos nutritivos en el suelo está gobernada por características edáficas, por las condiciones climáticas y también por componentes tecnológicos o de uso del suelo.

El caso de los microelementos no es la excepción a la regla y, por el contrario, ellos quizá sean mucho más sensibles a la influencia de ciertas propiedades del suelo y a la acción de algunas prácticas de manejo. Por ejemplo, los efectos del pH y del contenido de materia orgánica sobre la disponibilidad de los elementos menores, son tópicos muy conocidos y reiterados en la literatura edáfica contemporánea.

Soto (36) sostiene, con muy buen juicio, que las relaciones existentes entre las concentraciones de la fracción disponible de los diferentes microelementos y algunas variables del suelo, tales como la CIC, contenido de arcilla, contenido de materia orgánica y pH, constituyen, a falta de las respectivas relaciones con las cantidades absorbidas por la planta, criterios razonablemente válidos para discernir sobre la mayor o menor bondad de los diferentes métodos de extracción que se utilizan.

Sobre este particular, a continuación se discutirán algunas de las relaciones detectadas en suelos de Colombia afectados por cenizas volcánicas, en base a los coeficientes de correlación que se recopilan en la Tabla 4.

4.1 REACCION DEL SUELO

De conformidad con la información compilada por Lu-

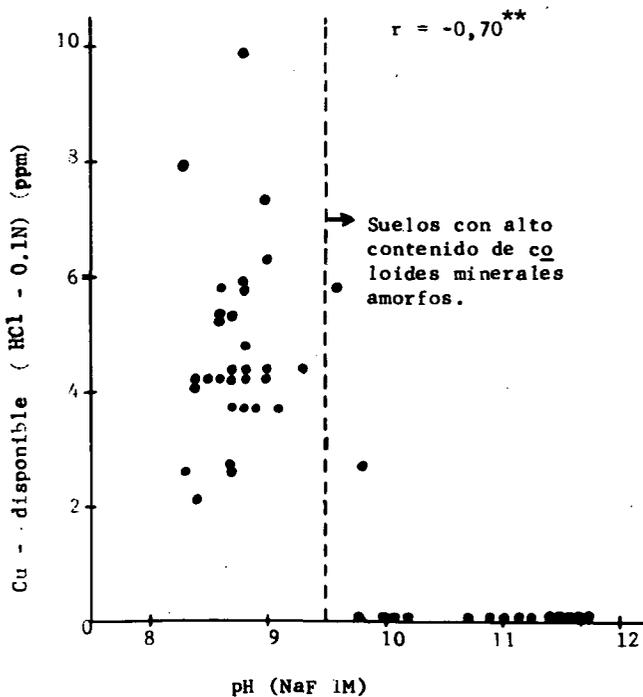
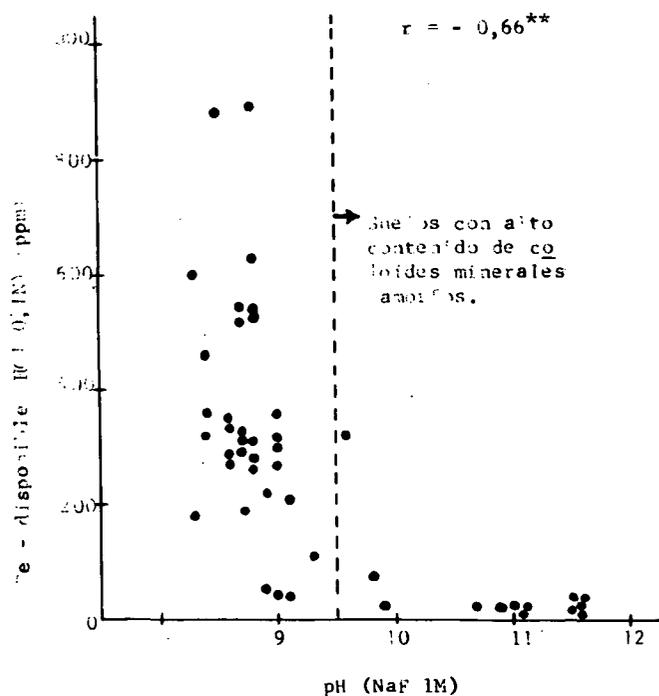
cas y Knezek (26), la disponibilidad de Fe, Mn, Cu, B y Zn tiende a incrementarse a medida que las condiciones del suelo se tornan ácidas. En contraste, la disponibilidad del molibdeno disminuye en condiciones ácidas y se incrementa a medida que el pH aumenta. Sin embargo, el efecto favorable de la acidez del suelo sobre la asequibilidad de Fe, Cu, Mn, Zn y B ha sido colocado en tela de juicio por diferentes autores citados por Hodgson (21).

Para el caso de los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto (7), los coeficientes de correlación negativos entre los valores de pH (agua 1:1) y los contenidos de Fe, Cu, Mn, Zn y Co extraídos con diferentes soluciones (Tabla 4) son, en general, bajos y no significativos, lo que implica que el efecto considerado normal del pH sobre su disponibilidad no fue detectado. La excepción la constituyeron el Fe y el Mn extraídos con acetato de amonio normal, cuyas concentraciones relacionaron significativamente y en forma negativa con el pH, aunque los coeficientes de correlación siguieron siendo bajos. Una situación similar encontró Soto (36) en suelos volcánicos de Nicaragua y la explica en base al hecho de que la mayoría de los suelos estudiados mostraban una reacción débilmente ácida y, por tanto, favorable a una adecuada disponibilidad. Esta explicación puede ser parcialmente válida para el caso que nos ocupa.

4.2 COLOIDES AMORFOS Y MATERIA ORGANICA

En suelos del Altiplano de Pasto (7), el contenido de coloides minerales amorfos, estimado a través de la determinación del pH (NaF 1M), relacionó en forma inversa con Fe (HCl 0,1N) ($r = -0,66^{**}$); Cu (HCl 0,1N) ($r = -0,70^{**}$);

FIGURA 1. Relación entre el contenido de coloides minerales amorfos, determinado por el método rápido (pH NaF 1M) y la disponibilidad de hierro y cobre (HCl 0,1 N) en suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Según Dávila, Torres y Guerrero (14).



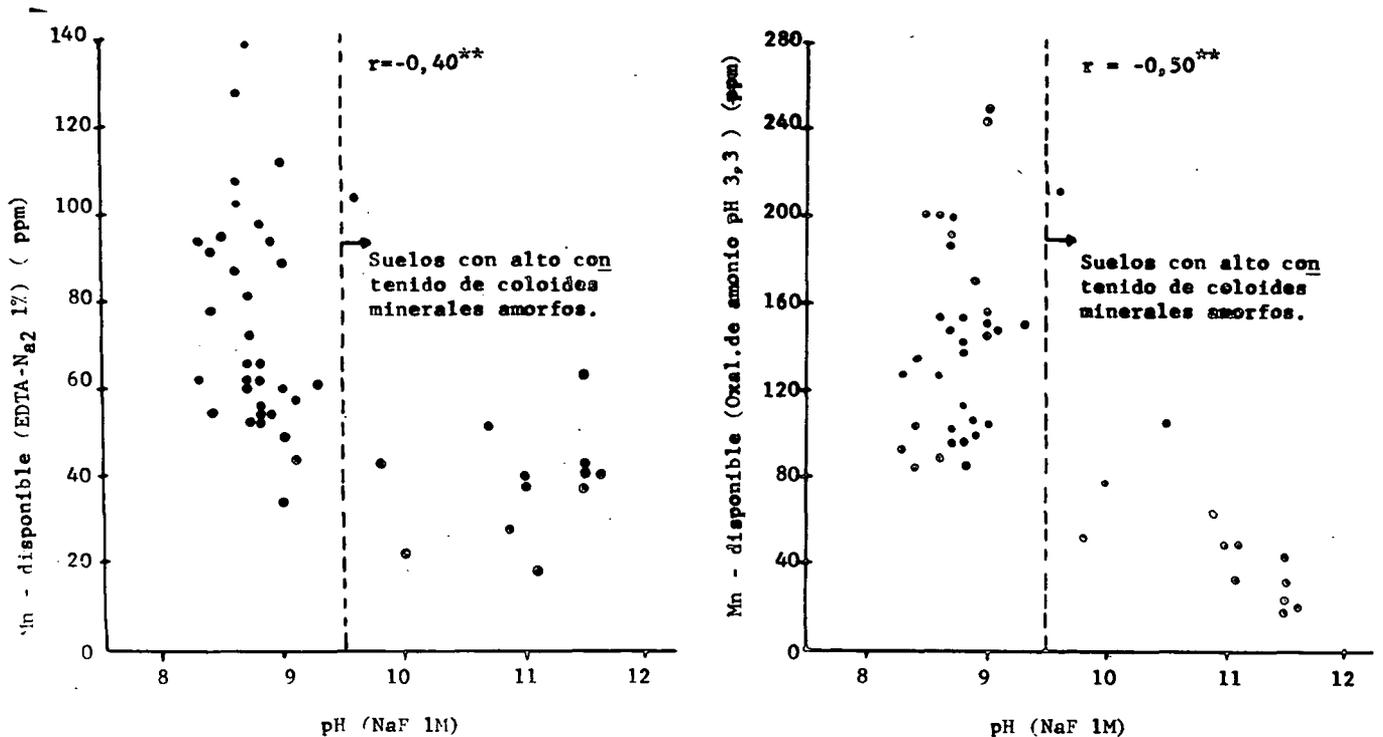


FIGURA 2. Relación entre el contenido de coloides minerales amorfos, determinado por el método rápido (pH NaF 1N) y la disponibilidad de Manganeso (EDTA-Na₂ y Oxalato de amonio ácido) en suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Según Dávila, Torres y Guerrero (14).

Mn (EDTA-Na₂ 1o/o) ($r = -0,40^{**}$); Mn (Oxalato de amonio pH 3,3) ($r = -0,50^{**}$); Co (EDTA-Na₂ 1o/o) ($r = -0,45^{**}$) y Co (Oxalato de amonio pH 3,3) ($r = -0,60^{**}$). Para los mismos elementos y extractantes se obtuvieron simultáneamente correlaciones negativas y estadísticamente confiables ($P < 0,01$) con el contenido de C-orgánico, tal como puede verse en la Tabla 4.

La Figura 1 muestra cómo en los suelos con alto contenido de coloides minerales amorfos (pH NaF 1M > 9,5) los valores de Fe disponible (HCl 0,1N) son bajos y las concentraciones de Cu disponible (HCl 0,1N) son mínimas (trazas). Lo mismo, aunque en forma menos intensa, se observa para el caso del Mn (EDTA-Na₂ 1o/o) y Mn (Oxalato pH 3,3), en la Figura 2, y para el Co (Oxalato pH 3,3) en la Figura 3.

Resultados similares a los anteriores obtuvieron Ramón Rojas (32), con respecto al Cu aprovechable, en suelos de la Sabana de Bogotá. Los suelos afectados por cenizas volcánicas de las Series Cabrera y Bermeo mostraron los más altos valores de pH (NaF 1M) y de C-orgánico, asociados con las menores concentraciones de Cu extraído con HCl 0,1N. Estas relaciones se muestran gráficamente en la Figura 4.

Las anteriores relaciones se consideran lógicas a la luz de los conocimientos existentes sobre el comportamiento, de los coloides minerales amorfos en los suelos, particularmente de la alofana, recientemente compilados por Wada y Harward (40). Así, varias comprobaciones experimentales indican que la alofana promueve la formación de complejos organominerales, a través de enlaces entre el Fe (III), el Al y la Si con los ácidos fúlvicos. En este acomplejamiento están involucrados elementos menores, tales como

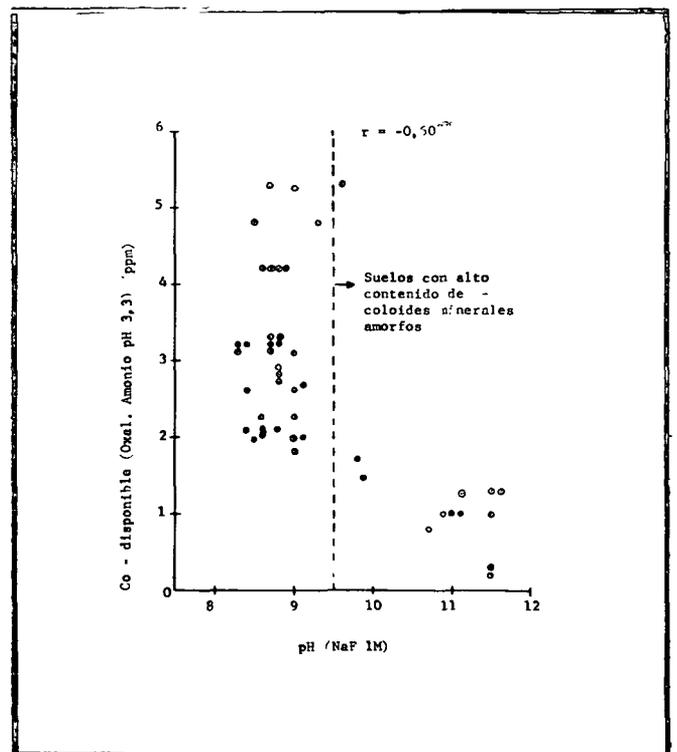


FIGURA 3. Relación entre el contenido de coloides minerales amorfos, determinado por el método rápido (pH NaF 1N) y la disponibilidad de cobalto (Oxalato de amonio ácido) en suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Según Dávila, Torres y Guerrero (14).

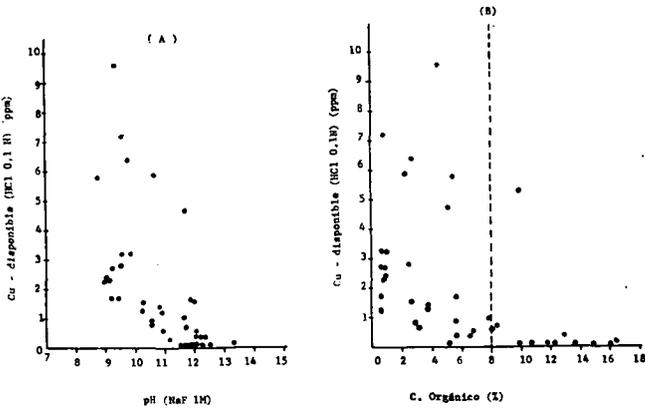


FIGURA 4. Relación entre el contenido de coloides minerales amorfos, determinado por el método rápido (pH NaF 1M) (A), el contenido de carbono orgánico (B) y la disponibilidad de cobre (HCl 0,1 N) en suelos influenciados por cenizas volcánicas de la Sabana de Bogotá (Series: Bermeo, Cabrera y Bacatá). Según Ramón y Rojas

el Fe, Cu, Mn y Co (37), lo cual, de hecho, supone una caída en sus niveles de disponibilidad. En consecuencia, parece claro que en los suelos afectados por cenizas volcánicas, a medida que se incrementa el contenido de coloides minerales amorfos (alofana) y, por ende, de materia orgánica, disminuye la disponibilidad de Fe, Cu, Mn y Co y se hace factible la ocurrencia de deficiencias.

El efecto negativo de la materia orgánica y de la alofana sobre la disponibilidad de tales microelementos explica el

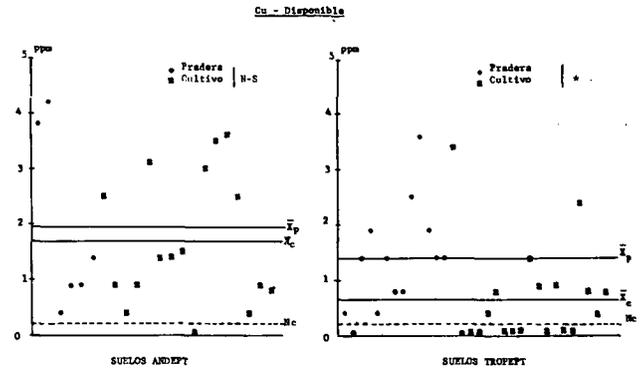


FIGURA 5. Distribución de cobre disponible bajo pradera y cultivo en suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Según Guerrero, Dávila y Torres (20).

\bar{X}_p : promedio para pradera; \bar{X}_c : promedio para cultivo
 N_c : Nivel crítico; NS: Diferencia no significativa
 * : Diferencia significativa con el 95o/o de confianza.

hecho de que la reacción del suelo no juegue el papel normal que se le atribuye, e incluso se presenten relaciones contrarias a las normales (Tabla 4), pues en los suelos alofánicos la acumulación de materia orgánica genera normalmente condiciones ácidas.

Zn - disponible

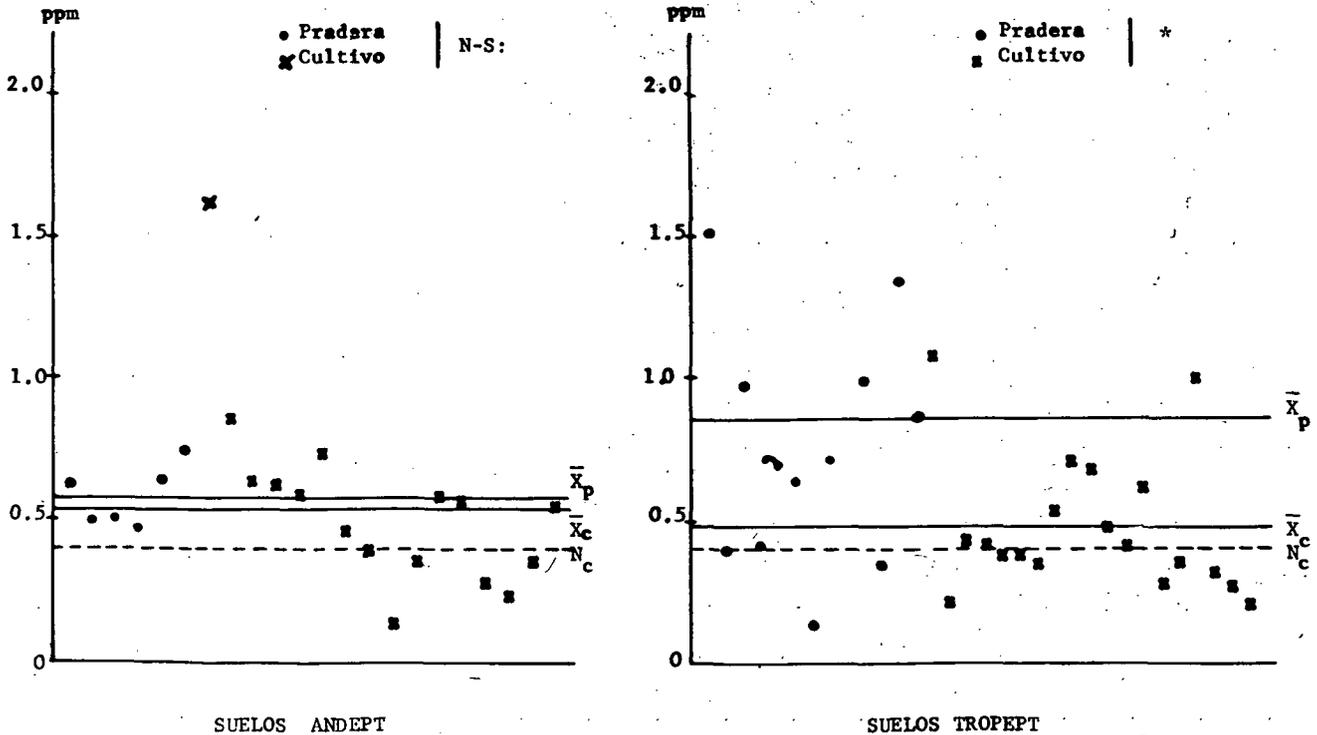


FIGURA 6. Distribución de zinc disponible bajo pradera y cultivo en suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Según Guerrero, Dávila y Torres (20).

\bar{X}_p : Promedio para pradera \bar{X}_c : Promedio para cultivo
 N_c : Nivel crítico; N NS: Diferencia no significativa * Diferencia significativa con el 95o/o de confianza.

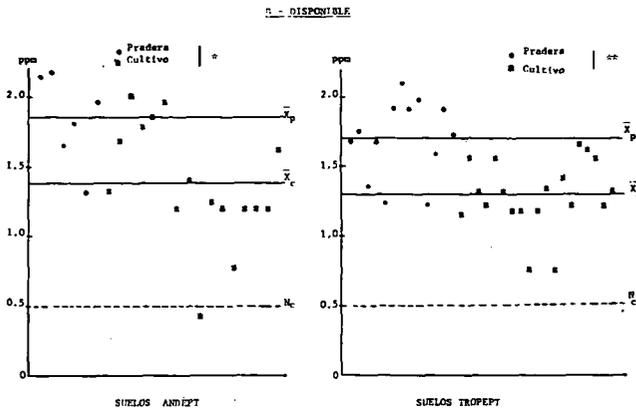


FIGURA 7. Distribución de boro disponible bajo pradera y cultivo en suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Según Guerrero, Dávila y Torres (20).

\bar{X}_p : promedio para pradera \bar{X}_c : promedio para cultivo
 N_c : Nivel crítico * Diferencia significativa al 95o/o
 ** Diferencia significativa al 99o/o.

4.3 USO DEL SUELO

En una reciente investigación, Guerrero y colaboradores (20) evaluaron estadísticamente el efecto del uso del suelo, referido a la cobertura de pradera y cultivo, sobre la disponibilidad de algunos elementos menores, extraídos con NH_4OAc 1N pH 4,8. Los resultados mostraron que suelos del Altiplano de Pasto, derivados de materiales volcánicos y clasificados como Tropept, tenían una disponibilidad de Cu y Zn estadísticamente menor cuando estaban cultivados que cuando el uso era pradera (Figuras 5 y 6). Lo mismo ocurrió con los suelos Andept (andosoles), pero la diferencia no fué estadísticamente confiable. Igualmente, la disponibilidad de boro (extracción con agua caliente) fué estadísticamente mayor en los suelos utilizados con pradera que en los suelos cultivados, tanto en los suelos Tropept como en los Andept (Figura 7).

Como consecuencia de lo anterior, y tal como lo muestra la Figura 8, el 32o/o de la población de suelos Tropept (estimado mediante la distribución de "z") resultó potencialmente deficiente en Cu y un 36o/o deficiente en Zn, cuando estaban cultivados, en tanto que esos mismos suelos utilizados con pradera tan solo revelaron un 10o/o y un 19o/o de deficiencias potenciales de Cu y Zn, respectivamente. De la misma manera, la proporción de suelos Andept con deficiencia potencial de Zn se incrementó de un 4o/o en los suelos utilizados con pradera a un 32o/o en los suelos cultivados.

El deterioro en la disponibilidad de elementos tales como Cu, Zn y B por efecto del cultivo es atribuido por diferentes autores (26, 30, 33, 34, 39) a la acción negativa de ciertas prácticas de manejo del suelo, tales como el encalamiento que parece causar la formación de compuestos insolubles de Zn y B y la fertilización fosfatada que aparentemente conduce a la formación de fosfatos de Zn poco solubles, aunque sobre el particular no hay acuerdo.

4.4 INTERRELACIONES Y EFICIENCIA DE EXTRACTANTES

Los coeficientes de correlación obtenidos entre las soluciones extractoras, para los diferentes microelementos, indican que en general la relación existente entre las metodologías de extracción es nula o muy pobre (Tabla 4). Hay algunas excepciones, como lo serían las relaciones aceptables entre el oxalato ácido y el $EDTA-Na_2$ para cobalto ($r = 0,60^{**}$) y entre HCl 0,1N y $EDTA-Na_2$ para Mn ($r = 0,59^{**}$) y Fe ($r = 0,51^{**}$).

Los resultados anteriores se interpretan en el sentido de que las distintas metodologías de extracción utilizadas difieren mucho entre sí, tanto en su poder de extracción como en su capacidad para discriminarla en relación a las propiedades del suelo.

Sin contar con un estudio de correlación entre los niveles de disponibilidad determinados por diferentes métodos y las respectivas extracciones del elemento por una planta indicadora adecuada, resulta muy difícil juzgar sobre la bondad, eficiencia o confiabilidad de los extractantes. Sin embargo, en base al grado de correlación obtenido para las relaciones negativas normales con el contenido de C-orgánico y el de coloides minerales amorfos, se tendría que, tentativamente, las soluciones extractoras más confiables para

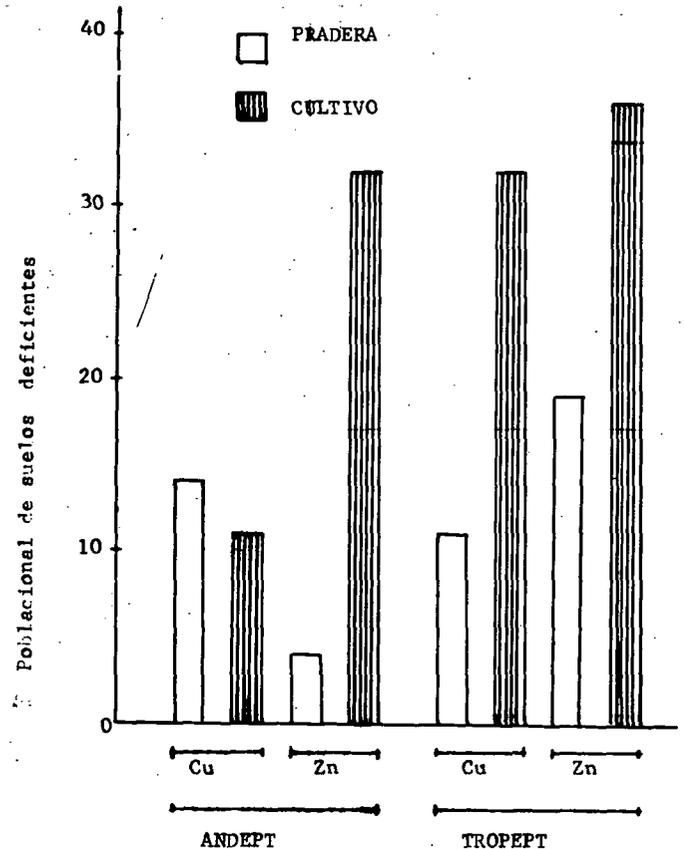


FIGURA 8. Porcentajes poblacionales de suelos volcánicos del Altiplano de Pasto potencialmente deficientes en cobre y zinc. Estimación estadística en base a la distribución de "Z". Según Guerrero, Dávila y Torres (20).

suelos afectados por cenizas volcánicas serían: para Fe y Cu el HCl 0,1N para Mn y Co el oxalato de amonio pH, 3,3. A idéntica conclusión llegó Soto (36), para los suelos volcánicos de Nicaragua, lo cual corrobora la conclusión que, no obstante, deberá ser confirmada mediante estudios de calibración.

5. CONCLUSIONES

1. Una buena proporción de los suelos volcánicos andinos del sur de Colombia son potencialmente deficientes en Mo, Cu, Co y Zn, con esa secuencia relativa en importancia, en tanto que los niveles de disponibilidad de Fe y Mn son altos. Sobre el B, los datos disponibles no son concluyentes.

2. Los suelos de la Sabana de Bogotá pertenecientes a las series Cabrera y Bermeo expresan una deficiencia potencial de Cu, cuando su contenido de C-orgánico es mayor de 80/o y cuando el pH (NaF 1M) es mayor de 9,5.

3. Las deficiencias de Co y Cu en los altiplanos están asociadas con bajos niveles en sus reservas totales y seguramente con la formación de complejos organo-minerales fomentada por la predominancia de arcillas alofánicas.

4. La deficiencia de Mo tiene que ver con bajas reservas de este elemento y también con la factible fuerte adsorción del anión molibdato por parte de los coloides minerales amorfos.

5. En suelos del Altiplano de Pasto el manejo, asociado con labores de cultivo, ha generado una acentuada disminución en la disponibilidad de Cu y Zn, en comparación a los suelos utilizados con pradera.

6. En los suelos con influencia de ceniza volcánica, el pH (agua 1:1) en el rango 5-7 no ejerce el efecto normal conocido sobre la disponibilidad de Fe, Cu, Mn, B y Co, excepto cuando la extracción se realiza con acetato de amonio normal.

7. Los estudios estadísticos de correlación muestran que la disponibilidad de Fe, Cu, Mn y Co es controlada principalmente por el contenido de coloides minerales amorfos, la concentración de materia orgánica y por el consecuente fenómeno de acomplejamiento organomineral.

8. Las distintas metodologías de extracción utilizadas difieren mucho entre sí, tanto en su poder de extracción, como en su capacidad para discriminarla en relación a las propiedades del suelo. Este último elemento de juicio permite afirmar, a título de hipótesis, que las soluciones extractoras más confiables para suelos afectados por cenizas volcánicas son:

Para Fe y Cu : HCl 0,1N

Para Mn y Co : Oxalato de amonio pH 3,3

9. La investigación futura en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia debe hacer énfasis en el estudio del Mo, B, Cu, Co y Zn, con esa secuencia de prioridad. Los programas de investigación deberían estar encaminados a:

a) Evaluación de reservas, disponibilidad y fraccionamiento, particularmente para el caso del Mo y B, elementos para los cuales la información existente es mínima.

b) Calibración de métodos de extracción que incluyan el HCl 0,1N para el Cu y el oxalato de amonio pH 3,3 para

Co y Mo.

c) Determinación de niveles críticos, particularmente para el caso de especies hortícolas.

6. RESUMEN

Se recopila, analiza e interpreta la información existente sobre los micronutrientes en suelos afectados por cenizas volcánicas de Colombia. Los datos son escasos y la mayoría provienen de la región andina sur-occidental del país.

Una proporción de los suelos volcánicos del sur de Colombia son potencialmente deficientes en Mo, Cu, Co y Zn, pero los niveles de disponibilidad de Fe y Mn son altos. Las deficiencias de Mo, Cu y Co están asociadas, en parte, con un bajo contenido de reservas totales. Sobre el B, los datos no son concluyentes. También se evidencia una deficiencia potencial de Cu en suelos de las series Bermeo y Cabrera en la Sabana de Bogotá, cuando el contenido de C-orgánico es mayor de 80/o y/o cuando el pH (NaF 1M) es mayor de 9,5.

La reacción del suelo, para límites de pH (agua 1:1) comprendidos entre 5 y 7, no ejerce la influencia normal sobre las cantidades aprovechables de Fe, Mn, Cu, Co y B, extraídas con diferentes soluciones, salvo el caso del acetato de amonio normal (ácido o neutro). El contenido de coloides minerales amorfos, estimado por el método rápido (pH NaF 1M), influye negativa y significativamente sobre la disponibilidad de Fe y Cu (HCl 0,1N), Mn y Co (Oxalato de amonio pH 3,3). El mismo efecto se detecta en relación al contenido de materia orgánica, de donde se deduce que la disponibilidad de estos elementos en los suelos afectados por cenizas volcánicas está primordialmente controlada por la formación de complejos organo-minerales.

Las probables deficiencias de Zn y Cu en el Altiplano de Pasto, parecen estar asociadas también con labores de manejo relacionadas con el cultivo, ya que en los suelos cultivados la disponibilidad de tales elementos resultó estadísticamente inferior a la observada en los suelos utilizados con pradera.

Las distintas metodologías de extracción difieren mucho entre sí, tanto en su poder de extracción, como en su capacidad para discriminarla en relación a las propiedades del suelo. Este último elemento de juicio permite afirmar, a título de hipótesis, que las soluciones extractoras más confiables en suelos afectados por ceniza volcánica son: para Fe y Cu: HCl 0,1N; para Mn y Co: oxalato de amonio pH 3,3.

Se piensa que la investigación futura en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia debe hacer énfasis en el estudio de Mo, B, Cu, Co y Zn, con esa secuencia de prioridad. Sobre los dos primeros la información básica existente es mínima. Para los restantes se considera imperativo la calibración de métodos de extracción y la determinación de niveles críticos, particularmente para el caso de las especies hortícolas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ALBA DE, J. 1957. Alimentación del ganado en América Latina. México, Prensa Médica. 336 p.
- 2.- ARAGON, V., MONTAÑO, A. y GUERRERO, R.R. 1970. Estudio del efecto de las aplicaciones de boro, molibdeno y cal sobre la coliflor (*Brassica oleracea*, var. *botrytis*, L.), en dos suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Colombia. *Fitotecnia Latinoamericana* 7 (2): 17-31.
- 3.- BARROS, M.P. y BLASCO, L.M. 1971. Cobalto, Cobre y Molibdeno totales en los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas* 3 (1): 23-28.
- 4.- BINGHAM, F.T., et al. 1971. Boron adsorption characteristics of selected amorphous soils from México and Hawaii. *Soil Science Society of America Proceedings* 35: 546-550.
- 5.- BLASCO, L.M. 1969. Características químicas de los suelos volcánicos de Nariño, Colombia. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina Turrialba, Costa Rica, IICA/OEA-FAO. pp: B.8.1 - B.8.10.
- 6.- ————. 1972. Mineralización del nitrógeno en suelos tropicales y volcánicos. In Medina, O.H., ed. El uso del nitrógeno en el trópico. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. pp: 83-92.
- 7.- CABRERA, M.E. y MORENO, CH. A. 1976. Comparación de métodos para extracción de algunos microelementos disponibles en suelos del Altiplano de Pasto, Colombia. Tesis de Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 30 p.
- 8.- CALHOUN, F.G. and CARLISLE, V.W. 1972. Microfabric characteristics and pedogenesis of a Colombian andosol climosequence. In Blasco, L.M. y Guerrero, R.R., eds. II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, Colombia, IICA-OEA/Universidad de Nariño. pp: 209-224.
- 9.- CASTRO, P.J. and BLASCO, L.M. 1972. Manganese in volcanic soils of Nariño, Colombia. *Agrochimica* 10 (4-5): 336-341.
- 10.- COX, F.R. and KAMPRATH, J.E. 1972. Micronutrient soil tests. In Mortvedt, J.J., et al., eds. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Soil Science Society of America. pp: 289-317.
- 11.- COX, F.R. 1973. Micronutrients. In Sanchez, P.A., ed. *A Review of soils research in tropical Latin America*. North Carolina Agric. Exp. Sta. Tech. Bull. 219. pp: 182-197.
- 12.- CHAMORRO, M.B., et al. 1972. Aluminio, boro, cobre, cobalto, hierro, manganeso y zinc disponibles en suelos volcánicos de la Sabana de Túquerres, Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícola* 4 (1): 23-39.
- 13.- DAVILA, M.A. y TORRES, D.C. 1974. Características generales, criterios de clasificación y disponibilidad de microelementos en algunos suelos del Altiplano de Pasto, Colombia. Tesis de Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 127 p.
- 14.- DAVILA, M.A., TORRES, D.C. y GUERRERO, R.R. 1977. Alcances y significado edáfico de la determinación rápida de coloides minerales amorfos en suelos. Investigación no publicada.
- 15.- FISKELL, J.G. 1965. Copper. In Black, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy. pp: 1090-1101.
- 16.- FRANZMEIER, D.P. y CORTES, L.A. 1972. Climosecuencia de suelos derivados de cenizas volcánicas en la cordillera central de Colombia. In Blasco, L.M. y Guerrero, R.R., eds. II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, IICA-OEA/Universidad de Nariño. pp: 139-152.
- 17.- GAMBOA, J.J. 1972. Variabilidad de los niveles nutricionales y fertilidad de los suelos andinos de Nariño-Colombia In Blasco, L.M. y Guerrero, R.R., eds. II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, Colombia. IICA-OEA/Universidad de Nariño. pp: 401-419.
- 18.- GOMEZ, P.E., OSPINA, C.F. y QUINTERO, Q.J. 1975. Estudio de micronutrientes en un suelo de la Sabana de Bogotá (Serie Bermeo). In V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Medellín, Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. En prensa.
- 19.- GONZALEZ, R., et al. 1974. Molybdate adsorption characteristics of volcanic-ash-derived soils in Chile. *Soil Science Society of America Proceedings* 38 (6): 903-906.
- 20.- GUERRERO, R.R., DAVILA, A. y TORRES, C. 1977. Efecto del uso del suelo sobre algunos indicadores de fertilidad en dos subórdenes (Andept y Tropept) del Altiplano de Pasto (Colombia). II Disponibilidad de Cu, Zn, Fe y B. Sometido para su publicación en *Anales de Edafología y Agrobiología* (España).
- 21.- HODGSON, J.F. 1963. Chemistry of the micronutrients elements in soils. *Advances in Agronomy* 15: 119-159.
- 22.- JENKINS, A.D. 1972. Preliminary observations on the distribution of trace elements in four andosols from the Cauca Region of Colombia. In Blasco, L.M. y Guerrero, R.R., Eds. II Panel sobre Suelos Volcánicos de América. Pasto, IICA-OEA/Universidad de Nariño. pp: 93-96.
- 23.- JUNCA, S.C. 1970. Determinación de Cobalto, cobre y molibdeno, en algunos suelos del Clima Medio del Departamento de Nariño. Tesis de Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola. 101 p.
- 24.- KRAUSKOPF, K.B. 1972. Geochemistry of micronutrients In Mortvedt, J.J., et al, eds. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Soil Science Society of America. pp: 7-40.
- 25.- LABANAUSKAS, K.CH. 1966. Manganese. In Chapman, H.D., ed. *Diagnostic criteria for plants and soils*. Riverside, University of California. pp: 264-285.
- 26.- LUCAS, E.R. and KNEZEK, D. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In Mortvedt, J.J., et al, eds. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Soil Science Society of America pp: 265-288.
- 27.- LUNA Z.C. 1969. Aspectos genéticos de "andosoles" en Colombia. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica. IICA-OEA/FAO. pp: A.3.1 - A.3.13.
- 28.- ————. 1972. Caracterización físico-química de algunos suelos volcánicos del Departamento del Cauca (Colombia). In Blasco, L.M. y Guerrero, R.R., eds. II Panel sobre Suelos Volcánicos de América. Pasto, IICA-OEA/Universidad de Nariño. pp: 279-294.
- 29.- LUNA Z.C. y CALHOUN, G.F. 1973. Suelos derivados de ceniza volcánica del Departamento de Nariño. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 157 p.
- 30.- OLSEN, S.R. 1972. Micronutrient interactions. In Mortvedt, J.J., et al, eds. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Soil Science Society of America. pp: 243-264.
- 31.- QUINTERO, Q.J. 1971. Elementos micronutrientes en algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile y Colombia. *Revista Colombiana de Química* 1 (1): 3-18.
- 32.- RAMON, F. y ROJAS, C.E. 1977. Disponibilidad de Fe, Cu, Mn y Zn en suelos de la sabana de Bogotá. Universidad de Bogotá "Jorge Tadeo Lozano", Facultad de Agrología. Investigación en desarrollo.
- 33.- REISENAUER, H.M. 1967. Availability assays of the secondary and micronutrient anions. In Stelly, M., ed. *Soil Testing and planta analysis. I Soil Testing*. Madison, Soil Science Society of America. pp: 71-102.
- 34.- RIMOLO, L.A. 1970. Efecto del encalado sobre la disponibilidad y adsorción de boro en seis suelos de Costa Rica. Tesis de Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 44 p.
- 35.- SALAS, S.L. 1973. Determinación de hierro, manganeso, zinc, y cobalto intercambiables en suelos del Altiplano de Ipiales. Tesis de Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 48 p.
- 36.- SOTO, C. 1973. Estudio de la concentración y distribución de los micronutrientes en un transecto de Nicaragua. Tesis de M. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA/OEA - CTEI. 139 p.
- 37.- STEVENSON, J.F. and ARDAKANI, S.M. 1972. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In Mortvedt, J.J., et al, eds. *Micronutrients in agriculture*. Madison,

- Soil Science Society of America. pp: 79-114.
- 38.- VANSELOW, A.P. 1966. Cobalt. In Chapman, H.O., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. pp: 142-156.
- 39.- VIETS, G.F. and BOAWN, C.L. 1965. Zinc. In Black, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy. pp: 1090-1101.
- 40.- WADA, K. and HARWARD, M.E. 1974. Amorphous clay constituents of soils. Advances in Agronomy 26: 211-260.

RESPUESTA DE LOS CULTIVOS DE CLIMA FRÍO A LA APLICACION DE MICRONUTRIMENTOS*

Rodrigo Lora Silva **

I. INTRODUCCION

La faja de cultivos de clima frío considerada en el presente artículo está comprendida entre 2000 y 3000 m.s.n.m., con temperaturas promedias de 8 a 18°C, y corresponde en gran parte a algunas regiones planas como la sabana de Bogotá, los Valles de Ubaté y Sogamoso (Boyacá), o regiones suavemente onduladas como el Oriente Antioqueño, los altiplanos de Pasto, Túquerres e Ipiales (Nariño) y los páramos circundantes. Por su parte los cultivos comunes en la zona son papa, trigo, pastos, cebolla, hortalizas y algunos frutales.

En términos generales los suelos son deficientes en fósforo, calcio y magnesio, y en general, medios a altos en potasio. Por otra parte, estos suelos son de carácter volcánico o su formación ha sido influida por materiales de naturaleza volcánica, de carácter ácido y alta capacidad de fijación de fósforo (5).

El objetivo principal de este trabajo es presentar en forma breve los resultados obtenidos por el Programa Nacional de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario y por otras entidades, en cuanto a respuesta de algunos cultivos de clima frío a micronutrientes se refiere, en cuatro zonas frías de Colombia a saber:

- a) Zona fría de Cundinamarca
- b) Zona fría de Boyacá
- c) Zona fría de Nariño
- d) Zona fría de Antioquia.

II. CARACTERISTICAS DE LAS ZONAS FRIAS DE COLOMBIA

a) Zona fría de Cundinamarca.

Esta zona está localizada en la Cuenca Alta del Río Bo-

gotá, con una extensión aproximada de 428.000 hectáreas. El área plana ocupa 145.000 hectáreas y el área ondulada o quebrada 283.000 hectáreas. La altitud oscila de 2600 a 3300 m s.n.m. y la temperatura de 8-14°C.

Guerrero (5) ha postulado que los suelos en consideración han sido influenciados por cenizas volcánicas, siendo la alofana el mineral predominante en la fracción arcilla de algunos horizontes.

b) Zona Fría de Boyacá.

Esta zona comprende los Valles intermontanos de Tunja, Paipa, Duitama y Sogamoso y las tierras onduladas y quebradas de los municipios circunvecinos. La altitud oscila entre los 2500 y los 3300 m s.n.m. y la temperatura de 8-15°C. En algunos de estos suelos existen problemas de drenaje interno y externo.

En general son suelos que no han alcanzado grados avanzados de intemperismo, debido a la baja temperatura y poca precipitación y cuyo material parental ha sido rejuvenecido por deposición de material volcánico sobre la zona ondulada o por material coluvio-aluvial que se ha redistribuido en la parte plana (5).

c) Zona Fría de Nariño.

Comprende principalmente los pequeños valles altos e intermontanos de Pasto, Túquerres e Ipiales y las zonas onduladas y quebradas adyacentes. La altitud oscila de 2500 a 3300 m.s.n.m. con temperatura de 8-16°C.

Gran parte de los suelos de esta región son de naturaleza volcánica con alofana en el mineral de arcilla.

En general son suelos con alto contenido de materia orgánica, bajos en fósforo aprovechable, medianos en potasio, bajos en calcio y adecuada relación calcio-magnesio (5).

Por su parte en algunos de estos suelos el contenido de Mn total así como el de las formas activas es bajo (16). En suelos y subsuelos del Altiplano de Pasto el contenido total de molibdeno es bajo (2).

* Contribución de la División de Agronomía, Programa de Suelos, Instituto Colombiano Agropecuario.

** Ing. Químico, M.S., Programa Suelos, Instituto Colombiano Agropecuario.

d) Zona Fría de Antioquia.

Esta zona corresponde principalmente al llamado Oriente Antioqueño. Comprende áreas localizadas entre 2000 y 2500 m.s.n.m. con temperatura promedio de 16-18°C. Las colinas altas y bajas están constituidas principalmente por depósitos volcánicos no consolidados, que descansan sobre arcillas provenientes de la descomposición de rocas ígneas. Las terrazas y los aluviones consisten de depósitos profundos de material coluvial, que se han desarrollado sobre material arcilloso de posible origen lacustre.

En general son suelos ácidos, ricos en materia orgánica y fijadores de fósforo, alto C.I.C., bajo contenido de bases y alto Al⁺⁺⁺ intercambiable. Es de anotar que se ha encontrado elevada respuesta en rendimiento de varios cultivos por la aplicación de abono orgánico (gallinaza principalmente).

En la Tabla 1 se presentan en forma resumida los valores de los rangos más comunes de algunas propiedades químicas de la capa arable, en suelos de regiones frías de Colombia (5).

TABLA 1. Valores estimados de los rangos más comunes de algunas propiedades químicas de la capa arable en suelos de regiones frías de Colombia.

	Cundinamarca	Boyacá	Nariño	Antioquia
pH	5.3 - 6.2	4.5 - 6.4	5.2 - 5.9	4.7 - 5.7
M.O. o/o	7 - 32	4 - 29	6 - 25	21 - 40
C.I.C. (meq/100 gr)	23 - 47	16 - 39	21 - 38	26 - 62
Ca, Meq/100 gr	5 - 14	2 - 16	3 - 12	0.6 - 4.5
K, meq/100 gr	0.5 - 2.0	0.2 - 1.6	0.5 - 1.9	0.9 - 2.9
Al, meq/100 gr	0.2 - 5.0	0.2 - 3.7	0.2 - 2.5	0.5 - 4.2
P, ppm (Bray II)	3 - 115	3 - 135	8 - 40	3 - 61

III. RESULTADOS OBTENIDOS EN CUNDINAMARCA, BOYACA, NARIÑO Y ANTIOQUIA.

A continuación se presentan resultados obtenidos sobre respuesta a micronutrientes en Cundinamarca, Nariño y Antioquia. Respecto a resultados obtenidos en Boyacá el autor no presenta información, pero principalmente para boro y molibdeno, observaciones personales e información no tabulada de agricultores de la región muestra no solamente síntomas de deficiencia en ciertos cultivos sino también respuesta en rendimiento a la aplicación de estos nutrientes.

a) En Cundinamarca.

1. Respuesta a la coliflor (*Brassica oleracea* var *Botrytis*) a la aplicación de molibdeno.

La coliflor es una hortaliza de importancia económica en algunas zonas frías de Cundinamarca. En 1963 se detectaron síntomas severos de deficiencia de molibdeno en Inseptisoles del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá (Cundinamarca). Con el objeto de corregir el problema el Programa de Suelos junto con el de Hortalizas y Frutales del Instituto Colombiano Agropecuario (9), iniciaron estudios en Tibaitatá para determinar el efecto de dosis variables de molibdeno en tres variedades de coliflor. El micronutriente como molibdato de sodio se aplicó a las

dosis de 0 - 0.8 - 1.6 y 2.4 kg/ha en forma localizada al momento de la siembra. Las variedades utilizadas fueron Early Snow Ball-A, Autum Giant y November December. En la Tabla 2 se presenta la respuesta en rendimiento. Para las variedades Early Snow Ball-A y Autum Giant la dosis de 0.8 kg/ha de molibdato de sodio fue la que produjo máximo rendimiento. Por su parte la dosis de 2.4 kg/ha del fertilizante produjo máximo rendimiento en la variedad November December. Posiblemente las dos primeras variedades tienen una mayor eficiencia de absorción y utilización de molibdeno que la variedad November December.

TABLA 2. Rendimiento de coliflor (kg/Ha) bajo diferentes niveles de molibdeno (64-A), en Inseptisoles de Tibaitatá, Cundinamarca.

Variedad	Molibdeno sódico (kg/Ha)			
	0	0.8	1.6	2.4
Early Snow Ball-A	8.500	15.800	12.500	11.920
Autum Giant	19.000	23.200	20.000	19.700
November December	23.000	17.400	25.626	30.000

En la Tabla 3 se observa el efecto del molibdeno en el contenido de nitrato de las nervaduras. En general para las tres variedades la máxima reducción en el contenido de esta forma de nitrógeno se produjo con la dosis de 2.4 kg/ha de molibdato sódico. Aparentemente con esta dosis hay una mayor reducción de NO_3^- a NH_4^+ dentro de la planta (11).

TABLA 3. Contenido de nitratos (ppm) en nervadura de coliflor bajo dosis variables de molibdeno (1964-A)

Variedad	Molibdeno sódico (Kg/Ha)			
	0	0.8	1.6	2.4
Early Snow Ball-A	3.585	3.178	3.734	2.614
Autum Giant	3.140	3.548	3.665	2.845
November December	3.780	4.132	3.221	2.907

Para estudiar el efecto de cal y molibdeno en el primer semestre de 1965 se condujo en Inseptisoles de Tibaitatá un experimento con la variedad November December y con las siguientes dosis de cal y molibdato de sodio: cal: 0-6 t/ha; molibdato de sodio: 0-3.2 - 4.8 kg/ha. Se analizaron nitratos en la nervadura de la hoja más nueva completamente desarrollada. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos. La dosis de 3.2 kg/ha de molibdato sódico produjo los máximos rendimientos en presencia o ausencia de cal. Es de anotar que el tratamiento foliar puede ser muy promisorio especialmente si se considera el elevado precio del molibdato de sodio en Colombia.

En el año de 1974 se llevó a cabo un estudio (12) en Tibaitatá para evaluar el efecto de método de aplicación y dosis de molibdato de sodio en coliflor. La variedad utilizada

TABLA 4. Rendimiento de coliflor (t/Ha) bajo diferentes niveles de cal y molibdeno (65-A) en Inseptisoles de Tibaitatá.

Cal t/Ha.	Molib. sódico kg/ha	Rend. T/Ha (X = 4 rep)	Nitratos (ppm) (X 4 rep)
0	0	8.55	5.968
0	3.2	12.67	5.189
0	4.8	12.35	5.206
0	Foliar	9.71	4.924
6	0	10.39	6.048
6	3.2	14.05	4.932
6	4.8	13.48	5.111
6	Foliar	12.25	5.358
D.M.S.	(0.05)	1.91	478
D.M.S.	(0.01)	2.62	656

fue la Bola de nieve; las dosis de molibdato de sodio 0-16-32 gr. a la semilla para una hectárea y de 0-500-1000 gr. de molibdato de sodio al fertilizante de una hectárea. En la Tabla 5 se presenta el efecto en rendimiento. El tratamiento a la semilla es altamente promisorio principalmente por la facilidad de aplicación y por la economía. En este mismo estudio se determinó el molibdeno aprovechable del suelo utilizando como solución extractante la solución de Tamm, y el molibdeno total de limbos y nervaduras por el método del tiocianato tal como lo reporta Motta (12). En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos. El nivel de molibdeno aprovechable es bajo, y en la misma situación pueden estar muchos suelos ácidos de la sabana de Bogotá. Por su parte hubo aumento en el contenido de molibdeno de la planta con los niveles aplicados. Un contenido de 0.20 ppm de Mo en los limbos y nervaduras podría aceptarse como apropiado tentativamente. Por su parte niveles inferiores a 0.1 ppm de Mo aprovechable en el suelo indican posible deficiencia para cultivos sensibles a deficiencia de molibdeno.

TABLA 5. Rendimiento de coliflor (kg/Ha) bajo diferentes niveles de molibdeno (1976-A)

Tratamiento	Rendimiento	
A	6.160	Testigos vs. tratamientos**
B	9.100	Dosis baja vs. dosis altas *
C	11.200	
D	6.190	
E	9.100	
F	12.600	

A, B, C = Trats. con 0-16-32 gr. de molibdato de sodio a la semilla para 1/Ha.

D, E, F = Trats. con 0-500-1000 gr. de molibdato de sodio al fertilizante de 1 Ha.

2. Respuesta del maíz a fósforo y zinc.

El maíz es un cultivo de cierta importancia en varias zo-

nas frías de Cundinamarca y Boyacá. Debido al largo período vegetativo (alrededor de 10 meses) el agricultor cosecha la mazorca en estado de leche aproximadamente a los 5-6 meses de la siembra, para ser vendida en los mercados locales. En muchos casos se aplican cantidades altas de cal y fósforo lo cual puede inducir deficiencia de zinc. Con el objeto de estudiar el efecto de dosis variables de fósforo y zinc en maíz, se condujo en 1969 un experimento en Tibaitatá en un Inseptisol relativamente bajo en fósforo.

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos. Para las dosis más alta de fósforo (225 kg- P₂O₅/Ha) hubo respuesta a la aplicación de zinc, con aumentos en relación al testigo de zinc de 1040 kg. de maíz (7).

TABLA 6. Contenido promedio de molibdeno en hojas de coliflor bajo diferentes niveles de molibdeno (1967A)

Tratamiento	Limbos	Nervaduras	Suelo
A	0.12	0.08	0.09
B	0.22	0.24	0.14
C	0.25	0.13	0.14
D	0.18	0.15	0.09
E	0.17	0.15	0.16
F	0.46	0.20	0.27

A, B, C = Trat. con 0-16-32 y de molbd. de sodio a la semilla de 1 Ha.
D, E, F = Trat. con 0-500-1000 gr. de molib. de sodio al fertilizante de 1 Ha.

TABLA 7. Interacción P- Zn en maíz en un Inseptisol de Tibaitatá (1969A)

P ₂ O ₅	Tratamiento Kg/Ha		Rend.kg/Ha
	ZnSO ₄		
0	0		5.129
0	15		4.549
0	30		4.656
0	45		5.757
75	0		6.130
75	15		5.988
75	30		5.554
75	45		3.527
150	0		6.743
150	15		6.528
150	30		5.097
150	45		5.836
225	0		5.572
225	15		5.722
225	30		6.612
225	45		5.502

3. Respuesta del maíz, papa, haba y trigo a Zn, Mn, Mo, Cu, B y Fe.

Con el objeto de determinar la respuesta en rendimiento del maíz, papa, haba y trigo a la aplicación de Zn, Mn, Mo, Cu, B y Fe se llevó a cabo en 1969 un experimento en Tibaitatá. Se utilizó el método de un tratamiento completo y de tratamientos quitando el respectivo nutrimento. Los fertilizantes se aplicaron localizados en el momento de la siembra. En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos. En relación al tratamiento completo hubo respuestas positivas así: maíz a todos los elementos estudiados; papa a zinc, manganeso, boro y efecto deprimente a molibdeno, hierro y cobre; trigo a manganeso, hierro, boro y cobre; haba a manganeso, hierro, boro y cobre. Es interesante anotar el comportamiento diferente de las distintas especies ensayadas, y la importancia de determinar respuestas individuales de cada micronutrimento (7).

TABLA 8. Respuesta del maíz, papa, haba y trigo a Zn, Mn, Mo, Cu, B, Fe en un Inseptisol de Tibaitatá (1969-A)

Tratamiento	Rendimiento kg/ha			
	Maíz	Papa	Trigo	Haba
Completo	6.187	42.688	2.121	3.319
Testigo	6.015	38.925	2.251	2.592
Menos 25 ZnSO ₄	5.655	40.579	2.550	3.939
Menos 20 MnSO ₄	5.799	41.075	1.712	3.000
Menos 2 Molib.de sodio	5.711	46.060	2.693	3.586
Menos 20 FeSO ₄	5.673	44.072	1.471	3.158
Menos 25 Borax	5.668	38.312	1.608	2.403
Menos 20 CuSO ₄	5.809	46.810	1.222	2.722

4. Respuesta de la papa a boro.

Desde el punto de vista económico la papa es uno de los cultivos más importantes de las zonas frías de Colombia. Con el objeto de determinar la respuesta a boro por la papa se llevó a cabo una investigación en diez localidades de Cundinamarca. La fuente utilizada fue borax del 11o/o de B, y la variedad de papa la V. Guantiva. El borax se aplicó localizado el momento de la siembra. Igualmente se determinó boro disponible en el suelo por el método del agua caliente (3). En la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos. De acuerdo a los resultados se puede establecer un ni-

vel crítico tentativo para boro disponible en el rango de 0,6-0,8 ppm por el método del agua caliente, y para el cultivo de la papa. Posiblemente la alta respuesta a la aplicación de boro puede estar asociada con la alta capacidad de fijación por parte del alofano o por reacciones con dihidroxocompuestos de la materia orgánica (14).

Los rendimientos de papa en el segundo semestre son, en general, más bajos que en el primer semestre posiblemente por heladas y por deficiencia de agua. Con el objeto de determinar el efecto de semestre sobre la respuesta a boro por la papa, se montaron tres experimentos en tres localidades de Cundinamarca en Andosoles. La fuente de boro fue borax del 11o/o de B y la variedad de papa la V. Guantiva. En la Tabla 10 se presentan los resultados obtenidos. Es interesante anotar que en las tres localidades hubo respuesta positiva a las aplicaciones de boro. Por su parte en el segundo semestre los rendimientos fueron inferiores y hubo efecto deprimente de la aplicación del boro. A pesar de que la disponibilidad del boro se reduce al secarse el suelo tal como lo reporta Berger y Truog (4), en el presente caso posiblemente la deficiencia de agua hizo que la planta fuera susceptible aun a dosis de 10 kg/Ha de borax. Otra posibilidad es que se redujo la absorción de calcio y de potasio y hubo por tanto un desbalance en la planta entre estos nutrimentos y el boro (8 - 4).

5. Respuesta de la papa a B, Mn, Cu, Zn, Fe y Mo (1973 A).

Con el objeto de determinar la respuesta varios micronutrientes por parte de la papa, se condujeron experimentos en 5 localidades paperas de Cundinamarca. La fertilización se hizo al suelo en forma localizada al momento de la siembra, con excepción del molibdeno del cual se hicieron tres aspersiones foliares de una solución de 400 ppm de molibdato de sodio. En la Tabla 11 aparecen los resultados obtenidos. Es de anotar que la principal respuesta fue a boro en los suelos con menos de 0,8 ppm de boro disponible. Por encima de este nivel el efecto fue deprimente. La respuesta a los demás micronutrientes fue así: Mn: efecto deprimente en tres localidades y positivo en dos; Cu: efecto deprimente en tres localidades, positivo en una y ningún efecto en uno; Zn: efecto deprimente en dos localidades y positivo en tres; Fe: efecto deprimente en tres localidades, positivo en una y ningún efecto en una. Estos resultados hacen pensar en un complejo de deficiencias de elementos meno-

TABLA 9. Respuesta de la papa a boro en Cundinamarca, Colombia (1972-A)

Borax kg/Ha	Rendimiento (t/Ha) y Localidades									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0	38	13	24	22	29	23	13	21	20	47
10	40	27	17	28	31	27	15	21	35	50
20	37	34	20	34	26	24	13	28	52	58
ppm B en el suelo	0.8	0.5	1.2	0.6	0.8	0.7	0.8	0.6	0.3	0.5

res por una parte, y en que el contenido y disponibilidad es muy variable entre sitios. Por esta razón, con excepción del boro, se requiere caracterizar apropiadamente el suelo y establecer niveles críticos utilizando soluciones extractantes adecuadas.

TABLA 10. Respuesta de la papa a boro en Cundinamarca, Colombia (1972A y B)

kg/Ha de Borax	Rendimiento (t/Ha) y Localidades					
	1		2		3	
	A*	B	A	B	A	B
0	29	27	14	12	22	18
10	31	25	27	11	28	16
20	26	23	34	7	33	10

*A: Primer semestre; B: Segundo semestre.

6. Respuesta de la papa a boro en Andepts (1974-A)

Considerando que la principal respuesta a micronutrientes por la papa en Andepts ha sido a boro, en 1974 se condujo un experimento en un Andept perteneciente a la Serie Bermeo. La fuente empleada fue Solubor del 20o/o de B en varios niveles, y la variedad de papa fue la V. Guantiva. Se hicieron tratamientos adicionales para determinar el efecto de fraccionamiento y la aplicación foliar del nutrimento. En la Tabla 12 se presentan los resultados obtenidos. El máximo porcentaje de aumento en rendimiento se obtuvo en la aplicación de 2.4 kg/Ha de boro. A partir de este nivel hubo efecto deprimente. Por su parte la aplicación foliar puede ser un método bastante promisorio de aplicación de boro.

TABLA 11. Respuesta de la papa a B, Mn, Zn, Fe, Mo en Cundinamarca (1973 A)

B	Tratamiento (kg/Ha Fuente)**					Rendimiento (t/Ha) y Localidades				
	Mn	Cu	Zn	Fe	Mo	1	2	3	4	5
15	-	-	-	-	-	44	52	40	56	52
-	20	-	-	-	-	26	30	41	49	22
-	40	-	-	-	-	25	33	42	50	19
-	-	25	-	-	-	24	44	47	48	17
-	-	50	-	-	-	29	31	44	47	16
-	-	-	20	-	-	26	35	51	55	23
-	-	-	40	-	-	31	44	37	47	17
-	-	-	-	20	-	36	24	44	50	17
-	-	-	-	40	-	21	39	45	47	21
-	-	-	-	-	400 ppm*	23	37	41	48	28
-	-	-	-	-	-	58	48	46	48	20

* 3 Aspersiones foliares de molibdato sódico.

B en el Suelo (ppm): 1.2 0.7 1.3 0.5 0.4

** FUENTES: B: Borax del 10o/o B.
Mn - Cu - Zn - Fe: Sulfatos
Mo: Molibdato Sódico.

TABLA 12. Respuesta de la papa a boro en suelos de la serie Bermeo, Cundinamarca (1974 A)

B	Rendimiento 1/Ha	% de aumento (+) o disminución (-)	B (ppm) en pecíolos.
0	24.7	+ --	15
1.2	27.8	+ 12.6	25
2.4	31.2	+ 26.3	40
3.6	16.2	- 36.4	60
4.8	15.5	- 37.2	65
6.0	9.7	- 60.7	70
**2.4	31.4	+ 27.1	42
**4.8	22.6	- 8.5	60
Foliar***	28.6	+ 15.8	22

* Fuente solubor (20o/o B)

** Fraccionado (1/3 siembra y 2/3 aporque)

*** Tres aspersiones al 0.4o/o.

El fraccionamiento a la dosis de 2.4 kg/Ha de boro no mostró diferencia con la aplicación al momento de la siembra. En cambio cuando el nivel de 4.8 kg/Ha de boro se fraccionó se redujo considerablemente el efecto tóxico de esta dosis elevada al compararla cuando se aplica toda a la siembra. Esto podría indicar una gran absorción de boro por la papa entre la siembra y el aporque. El contenido de boro de los pecíolos nuevos al iniciarse la floración mostró un aumento con los incrementos de boro aplicados al suelo. Un nivel crítico tentativo de boro en el tejido estaría en el rango de 25-40 ppm. La Fig. 1 muestra más objetivamente algunos de los resultados obtenidos en este estudio.

7. Respuesta del frijol a manganeso (1972 A).

El frijol arbustivo tiene cierta importancia en varias zonas frías de Cundinamarca y Boyacá. En estudios preliminares se obtuvieron respuestas variables a la aplicación de manganeso. Con el objeto de estudiar el efecto de dosis variables de manganeso sobre esta leguminosa, se llevó a cabo un experimento en un Inseptisol de Tibaitatá en 1972-A. La fuente de manganeso fue sulfato de manganeso el cual se aplicó localizado al suelo al momento de la siembra; se incluyó un tratamiento adicional para aplicar el elemento vía foliar. En la Tabla 13 se reportan los resultados obtenidos. El máximo rendimiento se obtuvo con la aplicación foliar con un incremento sobre el testigo de 13.3o/o. Por su parte la aplicación de 30 kg/Ha de sulfato de manganeso produjo un incremento de 7.6o/o. La aplicación foliar puede ser muy promisorio por la facilidad de aplicación y por la economía.

8. Respuesta de la avena a cobre y manganeso (1975 A).

La avena es un cultivo de cierta importancia para los ganaderos de clima frío que lo utilizan para encilarlo en estado de leche, o para utilizar el grano seco. Con el objeto de determinar la respuesta de la avena a cobre y manganeso se llevó a cabo un experimento utilizando como fuente de co-

bre sulfato de cobre y como fuente de manganeso quelato (sal del EDTA) de manganeso; se utilizaron cuatro variedades de avena. Los nutrimentos se aplicaron localizados en el momento de la siembra. En la Tabla 14 se reportan los resultados obtenidos.

TABLA 13. Respuesta del fríjol a manganeso en un Inseptisol de Tibaitatá, Cundinamarca, Colombia (1972A)

Tratamiento* kg/Ha	Rendimiento kg/Ha	o/o Aumento (+) o disminución (-)
0	1980	-
15	1839	- 7
30	2130	+ 7.6
45	2110	+ 6.6
** Foliar (0.5 o/o)	2243	+ 13.3

* Fuentes: Sulfato manganeso.

** Tres aspersiones foliares.

En general hubo respuesta a las aplicaciones de cobre presentándose un comportamiento diferente entre las variedades. El nivel de 25 kg/Ha produjo incrementos positivos en relación al testigo; por su parte el nivel de 50 kg/Ha produjo efecto deprimente en tres de las variedades estudiadas. Por su parte el manganeso produjo efecto deprimente en tres de las variedades en estudio. Este experimento muestra la importancia de tener en cuenta el comportamiento diferencial de variedades e híbridos principalmente en lo que se refiere a micronutrimentos y aluminic (6).

TABLA 14. Respuesta de cuatro variedades de avena a la aplicación de cobre y manganeso (1975-A), en Andepts de Cundinamarca, Colombia.

Tratamiento No.	Variedades	Variedades			
		Pm2	PC31/74	Pm 5/75	Pm52(V52/75)
1	0	39.000	38.333	40.333	30.667
2	25 CuSO ₄	47.000	39.333	42.000	31.667
3	50 CuSO ₄	41.000	35.000	37.333	28.667
4	10 Mn (Quelato)	39.000	31.667	36.667	27.333
5	20 Mn (Luelato)	39.667	33.333	39.667	28.333

b) En Nariño.

1. Respuesta de la coliflor a boro y molibdeno.

En algunas zonas frías de Nariño el cultivo de hortalizas es importante, principalmente en suelos volcánicos. En varios cultivos se han detectado síntomas de deficiencias de elementos menores, principalmente boro y molibdeno. Con el objeto de estudiar la respuesta de la coliflor (*Brasica Oleracea*) a boro y molibdeno, Aragón y colaboradores (1), realizaron un experimento en dos suelos volcánicos del departamento de Nariño. El fertilizante fue aplicado localizado en el momento del trasplante. En la Tabla 15 se reportan los resultados obtenidos. La aplicación de 0.93 ppm de Mo incrementó la producción de materia seca en relación al tratamiento con N, P, K. Este efecto fue significativo en el suelo La Laguna, cuyo contenido de molibdeno total es so-

lamente de 0.75 ppm. Por su parte la aplicación de boro produjo efecto deprimente en la producción lo cual hace pensar en que el boro disponible de estos suelos es adecuado. Es de anotar que el molibdeno es más afectado por el carácter volcánico del suelo que el boro.

TABLA 15. Respuesta de la coliflor (*Brasica Oleracea* var. *Botrylis*, L) a boro y molibdeno en dos suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Colombia (1970)

Tratamientos		Rendimiento (gr/parcela) de materia seca	
B	Mo	Botana	La Laguna
ppm	ppm		
0	0	953	1550
0	0.47	977	1649
0	0.93	1002	1721
0.84	0	944	1508
1.69	0	935	1471
0.84	0.47	968	1578
1.69	0.93	901	1439

2. Respuesta del ajo (*Allium Sativum*) a micronutrimentos en dos localidades del departamento de Nariño (1974)

El ajo es una hortaliza muy importante por su alto consumo principalmente como condimento, y por el alto capital requerido por hectárea en su producción. En el departamento de Nariño existen zonas apropiadas para este cultivo, el cual se consume en el país, y además puede llegar a ser producto de exportación principalmente al Ecuador y Perú. Con el objeto de determinar la respuesta de este cultivo a algunos micronutrimentos, se llevó a cabo un estudio en dos localidades de Nariño en suelos volcánicos. Los fertilizantes fueron aplicados localizados en el momento de la siembra. En la Tabla 16 se presentan los resultados obtenidos. Los rendimientos de la localidad Chires Sur se vieron afectados por la falta de agua. Es de anotar sin embargo que en ambas localidades hubo respuesta a los micronutrimentos en estudio. En Obonuco la principal respuesta fue a molibdeno y en Chires Sur a boro. Por su parte entre el testigo y el cómputo hay diferencia altamente significativa lo que indica interacción positiva entre algunos de estos nutrimentos en este cultivo y en estos suelos (13).

3. Respuesta del haba (*Vicia faba*, L) a micronutrimentos en un suelo del Altiplano de Pasto (1974).

El haba es una leguminosa ampliamente difundida en las zonas frías de Colombia donde forma parte de la dieta alimenticia en estado seco y verde. Con el objeto de determinar la respuesta del haba a varios micronutrimentos se llevó a cabo un estudio en un suelo volcánico del Altiplano de Pasto (13).

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 17. Hubo diferencia altamente significativa entre el tratamiento completo y los demás tratamientos. En futuros experimentos se investigará el efecto de interacción entre micronutrimentos,

TABLA 16. Respuesta del ajo (*Allium sativum*) a micronutrientos en dos localidades del Departamento de Nariño (1974)

Tratamiento	Fuente kg/Ha	Obonuco t/Ha	Chires Sur t/ha
Testigo	—	4.58	0.86
— Cu	Cloruro de cobre (10)	8.75	1.86
— Mo	Molibdato de sodio (6)	4.94	1.91
— Zn	Cloruro de zinc (20)	8.58	1.70
— B	Borax (20)	7.25	1.35
Completo		11.31	3.30

y se determinarán niveles óptimos a aplicar. Posiblemente en esta zona de suelos Andepts, la principal causa de deficiencia de micronutrientos se debe a la presencia de alofana y al bajo contenido total de algunos de estos elementos en el suelo.

TABLA 17. Respuesta del haba (*Vicia faba*, L.) a micronutrientos en un suelo del Altiplano de Pasto (1974)

Tratamiento	Fuente kg/Ha	Rendimiento* t/Ha
Testigo	—	9.31
— Cu	Sulfato de cobre (10)	11
— Mo	Molibdato de sodio (4)	9.5
— Zn	Cloruro de zinc (15)	10
— B	Borax (20)	9.5
Completo		18.5

* Vainas en estado verde.

c) Antioquia.

Tal como se comentó al comienzo del presente artículo, la zona fría de Antioquia hace referencia principalmente al denominado Oriente Antioqueño. Se trata de una zona de minifundio donde la asociación de cultivos es muy común. Los cultivos más comunes son papa, maíz, frijol y hortalizas. Por otra parte, es importante anotar que en suelos nuevos en general, la primera cosecha muestra rendimientos inferiores a los obtenidos en cosechas posteriores. Esto posiblemente puede ser efecto de una mayor actividad microbiana producto del laboreo del suelo.

1. Respuesta de dos variedades de papa a boro y molibdeno en un Andept del Oriente Antioqueño (1972).

Con el objeto de conocer la respuesta a borax y molibdeno de dos variedades de papa se llevó a cabo un experimento en un Andept del Oriente Antioqueño (15). El fertilizante se aplicó localizado en el momento de la siembra. En la Tabla 18 aparecen los resultados obtenidos. Para las dos variedades los rendimientos fueron bajos, y además no hubo

respuesta significativa a la aplicación de los micronutrientos bajo estudio. Es de anotar sin embargo que hay un comportamiento diferente de las dos variedades; pues en la variedad ICA Puracé hay efecto deprimente de la aplicación de boro y molibdeno, y en cambio se presentó un ligero incremento en la variedad ICA-Guantiva. Este estudio se llevó a cabo en un suelo nuevo, lo cual explica en parte los bajos rendimientos obtenidos y el posible comportamiento a la aplicación de los nutrientes bajo estudio.

TABLA 18. Respuesta de dos variedades de papa a boro y molibdeno en Andosol del Oriente Antioqueño (1972)

Variedad	Borax	Molib. sódico.	Rend. t/Ha
ICA-Puracé	0	0	14.18
ICA-Puracé	20	0	12.10 D.M.S.5o/o: 3.5
ICA-Puracé	0	1	12.85
ICA-Guantiva	0	0	11.13
ICA-Guantiva	20	0	12.10 D.M.S.5o/o: 2.48
ICA-Guantiva	0	1	12.50

2. Respuesta de dos variedades de papa a boro en un Andept del Oriente Antioqueño (1972).

Con el objeto de determinar la respuesta a boro por parte de dos variedades de papa, se llevó a cabo un experimento en un Andept del Oriente de Antioquia. La fuente utilizada fue borax del 11o/o de B. El fertilizante se aplicó localizado en el momento de la siembra. En la Tabla 19, aparecen los resultados obtenidos. A pesar de que no hubo respuesta significativa, en ambas variedades hubo incremento en el rendimiento por la aplicación de boro, siendo más grande el incremento de producción en la variedad ICA-Guantiva.

Es importante considerar el efecto de suelo nuevo y suelos laborados en esta zona en relación a rendimiento y respuestas a la fertilización. En suelos nuevos, que apenas inician su incorporación a la agricultura, los rendimientos son bajos y el efecto a micronutrientos es negativo. Por su parte para suelos laborados, que generalmente han producido más de dos cosechas, los rendimientos son más altos y generalmente hay respuesta positiva a la aplicación de micronutrientos. En la Tabla 20 se muestra la respuesta de la papa a la aplicación de molibdeno en dos suelos Andept de Antioquia (15).

Los datos muestran rendimientos muy bajos en el suelo nuevo, y efecto deprimente del molibdeno. Por su parte en el suelo laborado los rendimientos son altos y hubo incremento en la producción debido a la aplicación de molibdeno. Con el laboreo posiblemente se incrementó considerablemente la actividad microbiana, la planta tiene condiciones más adecuadas para su normal desarrollo y por tanto la demanda de nutrientes es mayor. Es de anotar los requerimientos relativamente altos de algunos nutrientes por par-

TABLA 19. Respuesta de dos variedades de papa a boro en un Andosol del Oriente Antioqueño (1972)

Variedad	Borax (kg/Ha)	Rendimiento (t/Ha)	
ICA- Puracé	0	16.73	D.M.S. 5o/o: 7.2
ICA- Puracé	20	18.73	
ICA- Guantiva	0	10.61	D.M.S. 5o/o:5.10
ICA- Guantiva	20	14.98	

TABLA 20. Respuesta de la papa a molibdeno en ANDEPTS del Oriente Antioqueño.

Molibdato sódico (kg/Ha)	Suelo Nuevo (t/Ha)	Suelo Laborado (T/Ha)
0	11	33
2	10	40

te de los microorganismos, presentándose en muchos casos competencia con el cultivo, e induciendo deficiencias que deben corregirse con la aplicación de fertilizantes. Por otra parte posiblemente el laboreo puede elevar la actividad de fijación de ciertos coloides como el alofano (10) haciendo posible la respuesta positiva a la aplicación de molibdeno.

IV. CONCLUSIONES

En base a la información presentada, las conclusiones generales sobre "Respuesta de los Cultivos de Clima Frío a la aplicación de micronutrientes" son los siguientes:

a) El boro es elemento limitante para algunos cultivos en varios suelos.

b) El método de extracción con agua caliente para boro ha permitido establecer para papa un nivel crítico de 0.6—0.8 ppm de B en el suelo.

c) Un contenido de 40 ppm de B en pecíolos nuevos en la iniciación de la floración, es un nivel crítico tentativo para papa.

d) Niveles inferiores a 0.1 ppm de molibdeno en el suelo extraído con la solución de Tamm indican deficiencia para cultivos sensibles como las brassicas.

e) En suelos de la zona fría de Antioquia existe efecto de laboreo del suelo sobre respuesta a la aplicación de nutrientes.

f) En especies como papa y avena se ha encontrado comportamiento diferente en respuesta a los micronutrientes de acuerdo a las variedades.

V. IMPLICACIONES SOBRE EL TRABAJO FUTURO

Aunque la información obtenida hasta ahora representa una contribución útil en la respuesta a micronutrientes

por parte de los cultivos de la zona fría de Colombia, aun existen muchos interrogantes, los cuales pueden agruparse así:

1. Métodos de análisis y calibración para varios cultivos.
2. Características físico-químicas del suelo que influyen en la disponibilidad de micronutrientes.
3. Métodos y épocas de aplicación y fuentes y dosis más recomendables.
4. Comportamiento varietal.
5. Aspectos económicos.

Es importante anotar que el Programa de Suelos del ICA tiene conciencia de la importancia de incrementar la investigación relacionada con micronutrientes, y para el efecto se desarrollarán proyectos de investigación en este tópico en forma individual o en colaboración con otras entidades del país.

BIBLIOGRAFIA

1. ARAGON, V. M. MONTAÑO y R. GUERRERO. 1971. Estudio del efecto de las aplicaciones de B, Mo y cal sobre la coliflor en dos suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Revista de Ciencias Agrícolas. 3 (1): 39-54.
2. BARROS, P. 1972. Determinación de Mo, Cu y Co en algunos suelos del Altiplano de Pasto. En: Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, U. de Nariño, Fac. de Ciencias Agrícolas. pp: 74-76.
3. BELTRAN, J. 1964. Determinaciones de boro en los suelos y en los tejidos vegetales. En: M. L. JACKSON. Analisis Químico de Suelos. Barcelona, Omega, 1964. pp: 500-523.
4. BERGER, K. C. and TROUG, R. 1949. Boron in Soils and crops. Advances in Agronomy, 1: 321-351.
5. GUERRERO, M. R. 1974. La Fertilización fosfórica en cultivo de clima frío. En: Suelos Ecuatoriales. El fósforo en Zonas Tropicales. Tercer Coloquio Sobre Suelo. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo. Vol. VI No. 1. pp. 179-223.
6. HUCHINSON, F. E. and A. S. HUNTER. 1970. Exchangeable aluminum levels in two soils as related to lime treatment and growth of six crops species. Agron. J. 62: 702-704.
7. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1970. Informe Anual de Progreso. Programa Suelos. Regional No. 1. pp:37.
8. JONES, H. T. AND SCARSETH, G. D. 1944. The calcium-boron relationship in plants as related to boron needs. Soil Science. 57: 15-24.
9. LORA, S. R. e HIGUITA, F. 1969. Respuesta de la Coliflor a cal y molibdeno. Agric. Trop. 25: 437-475.
10. LORA, S. R. 1977. Los Micronutrientes y su Importancia en la Agricultura. En: Curso sobre Suelos y Fertilizantes, Tomo II. Programa Suelos ICA. pp: 135-170.
11. MALAVOTLA, E. 1972. Determinación de Mo, Cu y Co en algunos suelos del Altiplano de Pasto. En: Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, I. de Nariño. Fac. de Ciencias Agrícolas. pp: 74-76.
12. MOTTA de M.B. 1976. Efectos de dos métodos de fertilización con molibdeno en los rendimientos de la coliflor (*Brassica Oleracea* var. 'Bola de Nieve') en un suelo de la Serie Mosquera. 88 pp. Tesis M.S. Programa Estudio para Graduados ICA—UN.
13. ORTEGA, J. 1974. Respuesta de las hortalizas a la fertilización en el departamento de Nariño. (Mimeografiado, pp:35).

14. SIMS, J. R. and F. T. BINGHAM, 1967. Retention of boron layer silicates, sesquioxides and Soil materials: II. Sesquioxides. Soil Science Society America Proceedings. 32: 364-369.
15. TOBON, J. J. 1977. Respuesta de la papa a micronutrientes en el Oriente Antioqueño (en preparación).
16. VELASCO DE LA R. C. 1972. Fraccionamiento de las formas de manganeso en los suelos del Altiplano de Pasto. En: Panel sobre Suelos Volcánicos de América. Pasto. In. de Nariño. Fac. de Ciencias Agrícolas. pp. 88-90.

CONTROL DE LA FABRICACION, COMERCIALIZACION Y USO DE MICRONUTRIENTES EN COLOMBIA

Por: Pablo E. Clavijo Navarro*

1. INTRODUCCION

La supervisión en la fabricación y comercialización de los fertilizantes, entre estos, aquellos portadores de micronutrientes, nació de la función estatal de velar por que el consumidor cuente con productos de óptima calidad que contribuyan a elevar la producción y productividad de las explotaciones agropecuarias en el país.

El Gobierno Nacional ha delegado en el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, organismo adscrito al Ministerio de Agricultura, esta labor de supervisión de la producción y comercialización de los insumos agropecuarios en el país. La base de esta delegación la constituyen los Decretos números 843 de 1969 y 133 de 1976.

Los micronutrientes en Colombia se comercializan especialmente para ser aplicados por vía foliar, como componentes de los llamados fertilizantes foliares. La producción y comercialización de este tipo de fertilizantes durante 1975 y 1976 sobrepasó el millón de kilos y el millón de litros, de productos comerciales de presentación sólida y líquida.

Con el presente trabajo se pretende dar una idea general sobre la producción, comercialización y supervisión estatal de los fertilizantes portadores de microelementos, en el país.

2. REGLAMENTACION

En cumplimiento de la labor encomendada por el Gobierno Nacional, el ICA inició en el año de 1969 la supervisión de los insumos agropecuarios en Colombia, creando la estructura administrativa necesaria para tal fin, basada en estudios y elaboración de disposiciones reglamentarias y en el concurso de un grupo calificado de profesionales.

Es así como se expiden las diferentes reglamentaciones

* Ingeniero Agrónomo, M.S., Director del Servicio de Supervisión de Fertilización, Semillas y Aplicación de Insumos del Instituto Colombiano Agropecuario ICA—. Apartado Aéreo 7984 Bogotá.

que fijan las pautas para el funcionamiento de los importadores, productores y comercializadores de los diferentes insumos agropecuarios.

El 19 de Septiembre de 1969 el ICA expidió la Resolución número 786 por medio de la cual se dió cumplimiento al Decreto No. 843 de 1969 en lo pertinente a la industria y comercio de los abonos o fertilizantes, enmiendas y acondicionadores del suelo y en 1970 expidió la Resolución 1735, por medio de la cual se reglamentan los requisitos de calidad que debían cumplir los fertilizantes foliares y las pruebas de eficiencia requeridas para el licenciamiento de los mismos.

En el año de 1974 se tuvo la necesidad imperiosa de hacer una revisión de la legislación vigente, basada especialmente en la experiencia que el Instituto había adquirido a través de los 5 años durante los cuales había ejercido la labor de supervisión. Esta revisión fue encomendada a un grupo de profesionales pertenecientes a diferentes disciplinas del ICA, el cual tuvo el encargo especial de elaborar un nuevo proyecto de normas y obligaciones acorde con las necesidades del país. El mencionado proyecto fue consultado con todos los estamentos que integran el sector de los fertilizantes en Colombia.

Como resultado de lo anterior, en el año 1976, el ICA expidió la Resolución número 250, la cual reemplazó las resoluciones números 786 de 1969 y 1735 de 1970.

2.1 RESOLUCION NUMERO 250 DE 1976

A continuación se presentan los aspectos más importantes relacionados con la producción y comercialización de los fertilizantes foliares, que constituyen la base para la supervisión oficial.

2.1.1. REGISTRO COMO PRODUCTOR DE FERTILIZANTES

Para que una persona natural o jurídica pueda comercializar un producto en el país, debe obtener en el ICA

su registro como Productor de Fertilizantes, para lo cual debe presentar solicitud en papel sellado con la siguiente información y documentos:

- a) Nombre y dirección del peticionario.
- b) Instalaciones, personal técnico y procesos generales de producción que está en capacidad de desarrollar...
- c) Certificado de la Cámara de Comercio sobre constitución y representación legal si se trata de persona jurídica o matrícula mercantil si se trata de persona natural, expedida con fecha no anterior a 90 días.
- d) Existencia de un laboratorio para el control interno de calidad, bajo responsabilidad del interesado. Si el productor no dispone de laboratorio, deberá acreditar mediante copia autenticada del contrato, que el control de calidad se ejercerá por un laboratorio registrado en el ICA.
- e) Certificado de patente de sanidad expedido por el Ministerio de Salud.
- f) Lugar y fecha de la presentación de la solicitud ante el ICA.

2.1.2. REQUISITOS PARA LA PRODUCCION.

Para la producción de fertilizantes, el Productor debe dar cumplimiento además a los siguientes requisitos:

- a) Contar con dirección técnica permanente ejercida por un profesional idóneo, debidamente inscrito en el ICA, Para la inscripción presentará el diploma que lo acredita como profesional reconocido, conforme a la Ley.
- b) Contar con los equipos y sistemas mínimos que se requieren para los procesos de orden físico-químico o biológico correspondiente.
- c) Métodos de análisis de acuerdo con las normas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC.
- d) Disponer de equipos o sistemas de empaques, envases y pesado.
- e) Sistema de cierre hermético para empaques o envases.
- f) Instalaciones apropiadas para el almacenamiento de materias primas y productos terminados.

Los equipos y sistemas antes mencionados son sometidos a visitas de inspección ocular por parte de los profesionales del ICA antes del otorgamiento del registro como Productor de Fertilizantes, cuya vigencia es indefinida.

2.1.3. REGISTRO DE IMPORTADORES.

Toda persona natural o jurídica que quiera importar materias primas para la producción de fertilizantes o productos terminados debe obtener en el ICA su registro como Importador de Fertilizantes, para lo cual presentará solicitud en papel sellado con la siguiente información y documentos:

- a) Nombre y dirección del peticionario.
- b) Clase de producto que va a importar.
- c) Certificado de la Cámara de Comercio sobre constitución y representación legal si se trata de persona jurídica o matrícula mercantil si se trata de persona natural, expedida con fecha no anterior a 90 días.
- d) Lugar y fecha de presentación de la solicitud ante el ICA.

Cumplidos los requisitos antes enumerados, el ICA expide el registro como Importador de Fertilizantes con vigencia indefinida.

Con este registro, el ICA busca ejercer un control sobre los productos que son importados al país, especialmente aquellos terminados, los cuales van a ser ofrecidos inmediatamente a los agricultores. Además, permite al Ministerio de Agricultura contar con estadísticas sobre clase y valor de las importaciones al país.

2.1.4. OBLIGACIONES DE LOS PRODUCTORES E IMPORTADORES.

Tanto los productores como los importadores de fertilizantes tienen las siguientes obligaciones:

- a) Diligenciar semestralmente los formularios que con fines estadísticos les suministre el ICA.
- b) Mantener el contenido garantizado para cada uno de los elementos nutrientes dentro de los márgenes permisibles y estipulados en la respectiva licencia de venta del producto.
- c) Enviar a solicitud del ICA, la relación actualizada de los distribuidores directos de sus productos en el país.
- d) Mantener el envase o empaque de los productos en condiciones tales que no ofrezcan peligro de deterioro que se pueda traducir en pérdidas del producto o daños directos a sus ingredientes.

2.1.5. REGISTRO DE LOS PRODUCTOS.

Para su comercialización, los fertilizantes foliares requieren licencia de venta expedida por el ICA. Para su obtención, el productor deberá presentar solicitud en papel sellado al Instituto, con la siguiente información y documentos:

- a) Nombre y dirección del peticionario.
- b) Concepto de eficiencia expedido por el ICA. En este concepto aparecen las recomendaciones técnicas sobre cultivos, dosificaciones, etc., los cuales deben a su vez aparecer en la etiqueta del producto.
- c) Métodos de análisis cualitativos y cuantitativos empleados en el control interno de calidad.
- d) Si el producto es fabricado en el país, la solicitud llevará la firma del director técnico de la empresa productora como constancia de que todos los aspectos técnicos han sido revisados y aprobados por éste.
- e) Constancia del registro o de la solicitud de registro, de la marca utilizada para el producto en el caso de presentarse, expedida por la Superintendencia de Industria y Comercio, División de Propiedad Industrial, Marcas y Patentes.

f) En el caso de que el producto cuyo registro se solicita, no sea fabricado por el peticionario pero producido en el país, se deberá acompañar copia del contrato debidamente autenticado, en el cual conste que el fertilizante será elaborado por un productor registrado en el ICA.

g) Proyecto de rotulado en original y cuatro (4) copias, elaborado conforme a las normas ICONTEC 34 y 40. Además, deben aparecer las siguientes indicaciones básicas:

— El contenido del elemento expresado en gramos por litro o gramos por kilogramo de producto comercial, según

se trate de un líquido o de un sólido indicando la fuente.

– Clase y concentración de los materiales de relleno o solventes según el caso.

– Dar cumplimiento a los numerales 3.1.5 a 3.3. de la norma ICONTEC 40:

– Número de registro oficial.

– Nombre y dirección del fabricante.

– Nombre y dirección del importador responsable (que garantice el producto), cuando se trate de productos importados.

– Para los empaques, el rótulo deberá ir impreso en una de las caras y su texto deberá ocupar por lo menos 3/4 partes de la misma.

– Para los envases, el rótulo deberá ir impreso o adherido y sus indicaciones deberán ser suficientemente visibles.

Además deberá incluir los siguientes textos:

“El fabricante garantiza que las características físico químicas del producto corresponden a las anotadas en esta etiqueta y que mediante pruebas de eficiencia se verificó que es apto para los fines recomendados de acuerdo con las indicaciones de empleo, pero no asume la responsabilidad por el uso que de él se haga porque el manejo está fuera de su control”.

“Este producto es un complemento y no un sustituto de los fertilizantes”.

h) Lugar y fecha de presentación de la solicitud ante el ICA.

Una vez que el interesado ha dado cumplimiento a todos los requisitos exigidos, el ICA otorga la licencia de venta al producto, la cual tiene una vigencia de 5 años, renovable por períodos iguales.

2.1.5.1. OBTENCION DEL CONCEPTO DE EFICIENCIA

Para la obtención del concepto de eficiencia, el interesado deberá someter, a juicio del ICA, su producto a pruebas de eficiencia en el país, las cuales pueden ser realizadas por:

a) El ICA a través de los programas de investigación mediante celebración de contratos.

b) Otras entidades que cuenten con Departamento Técnico de Investigación Agrícola responsable, a juicio del ICA, como Facultades de Agronomía, Federación de Cultivadores y Casas Comerciales.

Para la aceptación de la investigación realizada en el país por parte de casas comerciales, previamente el ICA verificará por los medios legales la idoneidad profesional y la experiencia mínima de un año en investigación de los profesionales que tendrán a su cargo la responsabilidad de los ensayos. Igualmente dará aprobación previa a los proyectos de investigación y supervisión de los mismos durante su ejecución, para lo cual determinará el lugar donde estos deben realizarse.

La metodología y los factores técnicos que se vayan a considerar en la prueba de eficiencia serán determinados por el ICA.

Además de los contenidos garantizados por el fabricante los fertilizantes deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. El pH de una solución de 10 milímetros o de 10 gramos en 100 mililitros de agua destilada libre de CO₂ no será menor de 5.0 ni mayor de 8.0.

2. Deben estar exentos de cromo hexavalente y cloro libre.

3. Los fertilizantes foliares presentados en forma sólida, deberán tener una solubilidad mínima del 98o/o.

4. El contenido máximo admisible de Biuret será de 0.25o/o en la solución a asperjar.

3. ESTADISTICAS

3.1 ESTADISTICAS DE REGISTROS OTORGADOS POR EL ICA

En la actualidad, el ICA ha otorgado registro como Productor de Fertilizantes foliares a 20 casas comerciales.

Ha concedido 56 Licencias de Venta a igual número de productos comerciales, distribuidos así:

– 30 Licencias de Venta a productos a base de Nitrógeno (N), Fósforo (P.05) y Potasio (K20) más elementos menores.

Los elementos menores componentes son: Magnesio, Hierro, Manganeseo, Boro, Cobre, Níquel, Cobalto, Molibdeno y Zinc, algunos contienen trazas de cloro, sodio, azufre, vitamina B1 y hormonas de crecimiento.

– 11 Licencias de Venta a productos a base de elementos menores sin Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

– 11 Licencias de Venta a productos a base de un solo elemento, en forma de quelatos, sulfatos y óxidos.

– 4 Licencias de Venta a productos a base de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, sin elementos menores.

El ICA adelanta una revisión de todas las licencias de venta otorgadas a los fertilizantes foliares en el país, en atención a que se han presentado reclamos por Ingenieros Agrónomos de Asistencia Técnica, Agricultores y Federaciones de Agricultores, sobre la posible ineficiencia de estos productos. La Resolución No. 562 de Abril 11/77 concedió a los titulares de licencias de venta un plazo hasta el 11 de Julio del año en curso para celebrar contratos de investigación y evaluación de sus productos.

Con esta medida el ICA pretende dejar en el mercado aquellos productos que arrojen en los experimentos resultados positivos y que constituyan un aporte al desarrollo agrícola del país.

3.2 ESTADISTICAS SOBRE PRODUCCION Y VENTAS DE FERTILIZANTES FOLIARES EN EL PAIS.

Es de importancia destacar el notable incremento que se viene registrando en el país en el consumo de fertilizantes foliares, tal como se puede observar en la Tabla 1.

Los fertilizantes foliares líquidos presentan un incremento de 195.000 litros en producción y 541.000 litros en ventas durante 1976, en relación con el año anterior.

La producción de fertilizantes foliares sólidos se incrementó en 190 toneladas de 1975 a 1976 mientras las ventas permanecieron estables para el mismo período.

Tabla 1

Incremento en la producción y ventas de fertilizantes foliares líquidos y sólidos de 1974 a 1976, en miles de litros o kilos.

Año	PRODUCCION		VENTAS	
	Líquidos	Sólidos	Líquidos	Sólidos
1974	"	"	"	"
1975	1.262	1.175	958	1.226
1976	1.457	1.365	1.499	1.298

" Para 1974 y años anteriores no se dispone de datos.

4. CONTROL Y SUPERVISION

Dentro del Instituto Colombiano Agropecuario, corresponde a la División de Supervisión de Insumos Agrícolas y su Servicio de Supervisión de Fertilizantes, Semillas y Aplicación de Insumos, la responsabilidad de desarrollar las labores de normalización y supervisión en la fabricación, comercialización y uso de los fertilizantes foliares en el país.

Se cuenta para esta labor con profesionales, Ingenieros Agrónomos capacitados, distribuidos por todo el país, quienes llevan a cabo diversas actividades de control de insumos, dentro de las cuales se pueden destacar:

1) Visitas periódicas a las fábricas para comprobar que el desarrollo de la producción ofrece garantía a los usuarios de los fertilizantes.

2) Visitas a los almacenes agropecuarios en donde se expendan los diferentes insumos, a fin de supervisar su comercialización, revisando aspectos tan importantes como empaques o envases, calidad del almacenamiento, medidas de carácter sanitario y que se expendan solo productos con licencia de venta del ICA.

Durante las visitas, de ser necesario, se toman muestras de los fertilizantes para ser analizados en el Laboratorio, con el fin de verificar si los contenidos de los elementos corresponden a los garantizados en la Licencia de Venta respectiva.

En caso de comprobarse desviaciones superiores a las permitidas, o cualquier otro tipo de anomalías se procede a imponer las sanciones del caso, previo el decomiso de los productos sin dero o a indemnización siguiendo los procedimientos legales.

Las sanciones están determinadas por el Decreto número 843 de 1969 y van desde multas sucesivas por \$5.000.00, hasta la cancelación definitiva del registro de productor.

5. RESUMEN

En el país la producción de fertilizantes foliares líquidos y sólidos fue del orden de 1.262.000 litros y de 1.175.000 kilos para 1975 y de 1.457.000 litros y de 1.365.000 kilos

para 1976, lo cual indica un incremento de aproximadamente el 150/o.

Aún cuando algunos fertilizantes químicos radicales a base de N-P-K y elementos menores están autorizados para su venta en el país, las cantidades de estos micronutrientes resultan bajas si se comparan con aquellas utilizadas en los fertilizantes foliares.

El Instituto Colombiano Agropecuario-ICA es la entidad gubernamental encargada de supervisar la producción y comercialización de los fertilizantes en Colombia. La base legal de esta actividad la constituyen los Decretos números 843 de 1969 y 133 de 1976, cuyas resoluciones reglamentarias son las números 250 de 1976 y 562 de 1977.

Para efectos de cumplir con la legislación vigente el interesado debe registrarse en el ICA para poder importar, producir o comercializar cualquier producto fertilizante.

Para el otorgamiento de la licencia de venta correspondiente se tiene una serie de requisitos entre los cuales se destaca el concepto de eficiencia del fertilizante expedido por el ICA, en el cual se estipulan las recomendaciones

Para el otorgamiento de la licencia de venta correspondiente se tiene una serie de requisitos entre los cuales se destaca el concepto de eficiencia del fertilizante expedido por el ICA, en el cual se estipulan las recomendaciones técnicas sobre su uso en los diferentes cultivos y en el aspecto de control de calidad, la composición química, el Ph del producto y la solubilidad.

Con el fin de verificar el cumplimiento de las garantías, aprobadas, el ICA mediante el concurso de profesionales adelanta las visitas de supervisión y comprobación a fábricas, lugares de almacenamiento, almacenes de distribución y toma de las muestras necesarias para los análisis de laboratorio. En el caso de encontrar el producto fuera de norma el ICA toma las medidas correctivas tendientes a evitar el engaño del usuario.

6. SUMMARY

In Colombia the production of foliar fertilizers was 1.262.000 liters and 1.175.000 kilograms during 1975 and 1.467.000 liters and 1.365.000 kilograms in 1976. This data indicates an increase of 150/o in just one year.

Some root chemical fertilizers contains N-P-K. plus minor elements; however, these micronutrients are used in small quantities, if they are compare with the ones utilizes as foliar fertilizers.

The Colombian Agricultural Institute (ICA) is the governmental entity in charge of supervising the fertilizers production and commercialization.

The legal fundaments for this activity are decrees numbers 843 of 1969 and 133 of 1976, which has been reglamented through Resolutions numbers 250 of 1976 and 562 of 1977.

Any person interested in importing producing or commercializing fertilizers needs to be registered in ICA. The sale licence has the following requisites: The concept of fertilizer efficiency issued by ICA, in which the technical recommendations about uses in different crops

are established. The chemistry composition, the pH of the product and the solubility, are the data submitted by the producer for quality control.

With the purpose of verify the performance of the approved guarantees, the ICA, keep on visits of supervision and verification at factories, storerooms, distribution storem, and take the necessary steps to avoid the deceit of the utilizer.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. BUSTAMANTE, R.E., P. CLAVIJO y A. REY. 1976. Producción y Comercialización de los Fertilizantes en Colombia. Informe Técnico No. 4 27 p.
2. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO-ICA, 1970. Insumos Agropecuarios. Boletín Informativo No. 1 y 2.
3. -----, 1976. Lista de Fertilizantes y Enmiendas registrados en Colombia. 23 p.
4. -----, 1977.¹ División de Supervisión de Insumos Agrícolas. Archivo.

PROPIEDADES DEL SUELO EN RELACION CON DEFICIENCIAS DE BORO EN EL VALLE DEL CAUCA*

*Fabio Garavito Neira y Alfredo León Sarmiento***

1. INTRODUCCION

Recientemente se ha encontrado que factores tanto físicos como químicos afectan desfavorablemente el normal desarrollo de los cultivos en el Valle del Cauca. Dentro de éstos se destacan las texturas pesadas, el mal drenaje, pH alcalino debido a la presencia de sodio y/o carbonatos, salinidad, relación Ca/Mg invertida y deficiencias de algunos microelementos. Entre los elementos menores, el boro parece ser el más limitante para la producción de cultivos tales como fríjol, alfalfa, maíz y sorgo (3, 8, 12). No obstante, aun no se han realizado estudios sobre la posible causa de estas deficiencias, siendo este el objetivo de la presente investigación.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 FORMAS DE BORO EN EL SUELO.

El boro total del suelo se puede dividir en formas inorgánicas y orgánicas (7). El boro inorgánico se encuentra: Disuelto en la solución del suelo como ácido bórico; en forma de boratos solubles; adsorbido sobre las superficies de arcillas, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio; precipitado en compuestos de baja solubilidad en combinación con hierro, aluminio y calcio; como constituyente de minerales pri-

marios, principalmente turmalina. El boro orgánico se encuentra en forma de ésteres del ácido bórico con compuestos hidroxílicos que se originan en los procesos de transformación de la materia orgánica (4, 7, 24); en esta forma no es disponible para las plantas; para ello es necesario su mineralización, proceso que es poco conocido (7).

2.2 FACTORES QUE AFECTAN LAS REACCIONES Y DISPONIBILIDAD DE BORO EN EL SUELO.

La disponibilidad de boro está afectada tanto por los factores que favorecen su fijación, como por aquellos relacionados con el material parental, clima, interacciones con otros elementos, materia orgánica y textura del suelo. Las reacciones de boro con los constituyentes del suelo incluyen: 1) Absorción de iones borato o moléculas de H_3BO_3 ; 2) Precipitación de boratos insolubles de aluminio, hierro, silicio y calcio; 3) Formación de complejos con la materia orgánica; 4) Entrada de boro en la estructura de las arcillas (5, 11, 17).

2.2.1 pH y Nivel de Cal.

La fijación de boro llevada a cabo tanto por hidróxidos de hierro y aluminio como por arcillas, aumenta con el pH, presentando un máximo aproximadamente entre pH 8 y 9, y es mínima a pH cercano a 5 (11, 18, 19, 23, 24, 25). Las arcillas cuyo punto isoeléctrico se encuentra a pH ácido son menos hábiles para absorber boro que hidróxidos de hierro y aluminio que tienen dicho punto a pH alcalino (7, 24).

El boro es fijado en suelos alcalinos en presencia de calcio libre, pasando a formas temporalmente inaprovechables por las plantas (2, 27). Parece ser que el calcio no bloquea la toma de boro por la planta, sino que por el contrario aumenta los requerimientos de este elemento (2, 15, 21). Por

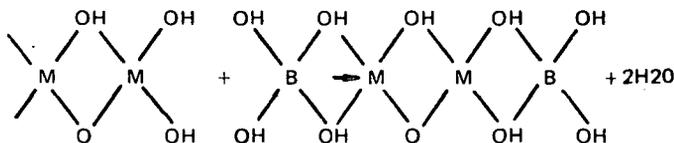
* Contribución del Programa de Estudios para Graduados en Ciencias Agrarias UN-ICA. Adaptación y resumen de la tesis de grado presentada por el autor principal a dicho programa como requisito parcial para optar al título de Magister Scientiae.

** Respectivamente: Agrólogo y Químico Ph.D., Estudiante y Profesor Consejero del Programa de Estudios para Graduados en Ciencias Agrarias UN-ICA.

otra parte el enalado disminuye la disponibilidad de boro por fijación sobre los hidróxidos de hierro y aluminio recién precipitados (24).

2.2.2 Hidróxidos de Hierro y Aluminio

La fijación de boro se debe principalmente a los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Los mecanismos de la reacción no son bien conocidos; es posible que se deba a intercambio aniónico, absorción de moléculas de ácido bórico y a enlaces de hidrógeno (10, 24). Sims y Bingham (24) explicación la fijación mediante ecuaciones como:

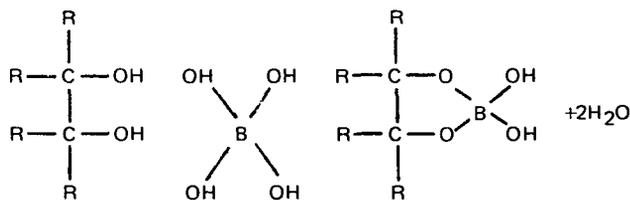


2.2.3 Arcillas.

El estudio de la influencia de las arcillas en las reacciones del boro presenta dificultades debido a la contaminación por óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Las arcillas con estructura micácea como vermiculita, tienen mayor habilidad para fijar boro, siendo en general: vermiculita > caolinita > montmorillonita (5). Se ha propuesto que la retención de boro por las arcillas se debe a sustitución por silicio y aluminio en posiciones tetraédricas (11, 18, 19).

2.2.4 Materia Orgánica.

La fijación de boro por humus se explica por reacciones con dihidróxi-compuestos de la materia orgánica (20). La siguiente ecuación dada por Sims y Bingham (24) ilustra esta reacción.



El boro disponible en el suelo se encuentra principalmente asociado a la materia orgánica. Por esta razón los contenidos son mayores en los horizontes superficiales. Suelos con un pH menor de 7.3 y adecuada materia orgánica contienen generalmente suficiente boro disponible, mientras que en suelos con menos de 2o/o de materia orgánica y altos en carbonato de calcio los contenidos son invariablemente bajos (1).

2.2.5 Interacciones de Boro con otros Elementos.

En suelos con alto contenido de calcio se presentan por lo general deficiencias de boro. Cuando el suelo tiene alto calcio, las plantas absorben mayores cantidades de éste elemento, debiéndose aumentar simultáneamente la absorción de boro para mantener dentro de la planta cierta proporción (2, 15, 16, 21). Se han encontrado efectos de potasio y nitrógeno similares a los del calcio (2).

2.2.6 Clima.

Walker y otros, citados por Berger (2), observaron que la deficiencia de boro era más severa donde el suelo se seca más durante el año. Varios investigadores han encontrado efectos positivos del secamiento del suelo en la retención de boro. Parks (19) obtuvo variaciones hasta de 100o/o de fijación al aumentar el número de ciclos de secado. Lo mismo encontró al aumentar la temperatura de secado. Se cree que el secamiento favorece la sustitución de boro por aluminio en la estructura de aluminio-silicatos (18). Por otra parte, la sequía disminuye la mineralización de la materia orgánica y por lo tanto el suministro de boro y las raíces exploran los horizontes inferiores del perfil donde el boro disponible es bajo (2).

2.2.7 Material Parental.

Aunque el boro es componente de cerca de 56 minerales, en las regiones húmedas la turmalina es la única fuente de boro. Este mineral es muy duro, altamente refractario y resistente a la meteorización. Parece razonable que la disponibilidad de boro en el suelo puede estar en una forma distinta a la turmalina, pero a medida que este mineral se descompone el boro se hace disponible (2).

2.2.8 Textura.

El efecto de la textura es menos importante que el de pH o materia orgánica. Las arcillas tienen poder de retener boro, por lo cual los suelos arenosos son generalmente más bajos en este elemento que los arcillosos (2).

3. MATERIALES Y METODOS

Los suelos seleccionados para el presente trabajo pertenecen al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), localizado en el Municipio de Palmira, Departamento del Valle del Cauca, Colombia. El clima de esta región corresponde al de bosque seco tropical (bs-T), con precipitación de 1.006 mm al año y temperatura promedio de 24°C. En el año se presentan dos épocas secas (enero-febrero y julio-agosto) y dos lluviosas. La humedad relativa es de 69o/o (4, 6, 13).

Se escogieron cuatro sitios de muestreo, con base en los estudios de suelos realizados por el CIAT (26) y por la experiencia que el personal técnico de la misma entidad tiene sobre los lugares donde se han presentado deficiencias de boro. En dos de los sitios (P1 y P2) se han observado severas deficiencias, mientras que en los otros dos sitios (P3 y P4) hay evidencias de un adecuado suplemento. En los sitios seleccionados se tomaron muestras disturbadas y sin disturbar para realizar las pruebas correspondientes. Se describieron los perfiles y se clasificaron los suelos de acuerdo al Sistema Taxonómico Americano.

Las muestras fueron caracterizadas química, física y mineralógicamente por los métodos tradicionales (14, 22, 28): El pH potenciométricamente usando relación 1:1; carbono orgánico por el método de Walkley Black; capacidad de intercambio catiónico por el método del acetato de amonio 1N a pH 7; los cationes intercambiables Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ se extrajeron con acetato de amonio 1N y neutro;

Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ se valoraron con EDTA y Na⁺ y K⁺, se cuantificaron por flamonetría de llama; el fósforo disponible por el método Bray II; los carbonatos por ataque con HCl 0,5N y titulación del exceso de ácido con NaOH 0.25N en presencia de fenolftaleína; el boro total se determinó por el método de la curcumina a partir de la solución obtenida por fusión de la muestra con carbonato sódico. Para el boro disponible se siguieron dos procedimientos: a) Método tradicional de extracción con agua caliente y determinación colorimétrica con curcumina y b) Método propuesto por Hunter, citado por Garavito (9). Para la prueba de adsorción de boro se siguió la técnica descrita por Hunter, citado por Garavito (9).

La distribución granulométrica de partículas se hizo por el método de la pipeta; densidad real por el método de picnómetro; la densidad aparente se determinó por la técnica del terrón emparafinado en muestras a capacidad de campo (1/2 de atmósfera) y seca a 105°C. Para la retención de agua a 1/3 de atmósfera se utilizó una olla de presión y para 15 atmósferas los platos de presión de membrana (28).

Las arenas fueron obtenidas durante el análisis granulométrico; la identificación se hizo en el microscopio petrográfico en base a las propiedades ópticas que cada una de las especies mineralógicas presentan; el análisis de arcillas se realizó mediante la técnica de rayos X.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a las observaciones y análisis realizados, a continuación se enumeran y discuten aquellas características (Tabla 1) que se cree tienen más incidencias en la manifestación de deficiencias de boro en los suelos estudiados. Se

hace referencia a los horizontes superficiales por ser en estos donde se presenta una mayor heterogeneidad en las características.

4.1 MINERALOGIA.

Aunque la composición mineralógica de los suelos es similar, los suelos P₁ y P₂, que son los deficientes en boro, presentan apreciables cantidades (35-50o/o) de vermiculita, arcilla con el más alto poder de fijación de boro. En los suelos P₃ y P₄, donde no se presentan deficiencias del elemento, la vermiculita solo se encuentra en pequeñas cantidades; en estos suelos, por el contrario, ocupan porcentajes importantes, la clorita en ambos suelos, y las micas en P₄. Es posible que la retención de B por la clorita sea menor que otras arcillas teniendo en cuenta que en esta es más difícil que penetre en los espacios interlaminares ocupados por Mg₃(OH)6. En esta forma, la composición mineralógica de la fracción arcilla puede determinar en parte la deficiencia, presentándose el fenómeno donde la vermiculita es abundante como en P₁ y P₂. En cuanto a la mineralogía de las arenas, en ninguno de los suelos se halló turmalina u otro mineral fuente de boro.

4.2 MATERIA ORGANICA.

El contenido de materia orgánica parece ser de las características que más expliquen la baja disponibilidad de boro, ya que el suelo con más agudas deficiencias (P₁) es el que tiene menores contenidos, mientras que el suelo P₄, sin deficiencias, es alto en este constituyente. Esta apreciación concuerda con lo sostenido por Berger (1), quien afirma

TABLA 1. Principales características de los suelos en relación con disponibilidad de boro.

Suelo	Horiz.	Prof. cm.	Diferencias mineralógicas	C.O. o/o	CaCO ₃ o/o	pH	Ca ⁺⁺ me/100g	B ppm		Text. de campo	Densidad aparente g/cc	
								Total	Soluble		1/3 at-	105°C mósfera
Vertic Calciustoll (P1)	Ap	0-38	Vermiculita	1.6	0.9	7.3	10.8	7.5	0.12	FAr	1.4	1.8
	BA	38-57	Vermiculita	0.3	4.1	8.2	11.7	13.7	0.00	Ar	1.4	1.9
Vertic Calciustoll (P2)	Ap	0-23	Vermiculita	2.3	1.2	7.7	21.9	21.0	0.33	Ar	1.4	1.7
	Ah	23-45	Vermiculita	1.0	3.8	8.1	21.5	13.7	0.07	Ar	1.4	1.4
Tipic Haplustoll (P3)	Ap	0-24	Clorita	2.1	0.0	6.6	18.3	7.5	0.34	Ar	1.2	1.6
	Ah	24-47	Clorita	1.5	0.0	6.7	21.7	10.0	0.15	FAr	1.3	1.6
Vertic Haplustoll (P4)	Ap	0-28	Clorita y micas	3.3	0.0	6.5	13.8	141.0	0.31	ArL	1.3	1.5
	Ah	28-43	Clorita y micas	2.4	2.7	7.8	15.8	131.2	0.12	Ar	1.3	1.7

que el boro disponible en el suelo se encuentra principalmente asociado a la materia orgánica, especialmente cuando el pH es inferior a 7.3 como en los suelos P₃ y P₄.

4.3 pH Y CONTENIDO DE CARBONATO DE CALCIO.

Tal vez la característica más importante en lo que respecta a inducir deficiencias de boro en el contenido de carbonatos de calcio, debido principalmente al alto valor del pH que lo acompaña. Los suelos P₁ y P₂ contienen apreciables cantidades de CaCO₃, razón por la cual su pH es alcalino (mayor de 7.3), mientras que en los horizontes superficiales de los suelos P₃ y P₄ no se hallaron carbonatos, siendo el pH ligeramente ácido. El efecto de los carbonatos de calcio sobre la disponibilidad de boro es debido principalmente a una mayor fijación del elemento a pH cercano a 8, hecho que ha sido establecido por numerosos investigadores, algunos de los cuales están de acuerdo en que en la alcalinidad la materia orgánica juega un papel secundario al pH en la disponibilidad de este elemento.

4.4 CALCIO INTERCAMBIABLE.

Como una consecuencia de la presencia de carbonatos de calcio, el contenido de calcio intercambiable en los suelos es alto y la absorción de este elemento por las plantas debe ser elevado, requiriéndose una mayor concentración de boro disponible en el suelo para que haya un suministro a la planta suficiente para mantener una relación calcio:boro adecuada. De acuerdo a esta característica, las plantas que crezcan en cualquiera de los suelos estudiados y muchos otros del Valle del Cauca, tendrán altos requerimientos de boro, presentándose deficiencias en aquellos lugares donde la disponibilidad de este elemento sea baja.

4.5 BORO TOTAL.

Una de las características que más explica la baja disponibilidad de boro en los suelos deficientes, así como el adecuado suministro en el suelo P₄, es el contenido total del elemento en el suelo. Aunque se sabe que el contenido total de un nutriente no es buen índice de su disponibilidad por estar en su mayor parte en formas insolubles, con el tiempo estas formas van siendo cedidas a la solución del suelo de donde pueden ser tomadas por las plantas.

4.6 BORO SOLUBLE EN AGUA CALIENTE.

Es un hecho bastante aceptado que el método de determinación de boro que mejor correlaciona con la disponibilidad de este elemento es el de extracción por agua hirviendo. Teniendo en cuenta que un contenido de 0.3 ppm de B soluble en agua ha sido considerado en estos suelos como crítico (8), los valores hallados en el presente trabajo son muy bajos para el suelo P₁ y se encuentra en el límite crítico en los otros suelos. Según esto, en el suelo P₁ se presentarían deficiencias y en los otros suelos hay posibilidades de que se presenten en cultivos exigentes en este elemento. Puede esperarse que suelos con mayor contenido de boro total y más materia orgánica, como el P₄, el boro tomado

por los cultivos sea respuesto rápidamente a partir de las formas insolubles y de la mineralización de la materia orgánica, por lo cual son menos probables las deficiencias. Las cantidades de boro soluble en agua en estos suelos parece que correlacionan bastante bien con el contenido de materia orgánica, lo cual está de acuerdo con datos reportados en la literatura.

4.7 TEXTURA.

Esta característica juega un papel importante en la disponibilidad de nutrientes, especialmente por la retención de los mismos contra los agentes que causan lixiviación. Sin embargo, este no es el caso de los suelos estudiados, donde la baja precipitación es insuficiente para causar lixiviación aun en suelos de texturas más gruesas. Por esta razón, los altos contenidos arcillosos encontrados y sobre todo el tipo de arcillas, actúan más bien en el sentido de disminuir la disponibilidad de nutrientes, entre ellos el boro, a través de fenómenos de fijación, característica que es más acentuada cuando el suelo se seca. Por otra parte el alto contenido de arcillas origina fenómenos drásticos de expansión y contracción que afectan el desarrollo radicular ya sea por impedimento mecánico cuando el suelo se contrae y se endurece, como por mal drenaje y pobre aireación en época de lluvia. Estos fenómenos son más marcados en los suelos P₁ y P₂, donde se encontraron evidencias de la expansión y contracción de las arcillas y en los que el menor contenido de materia orgánica y pobre estructura, los han favorecido.

4.8 DENSIDAD APARENTE.

Una de las características físicas que más afecta el desarrollo radicular y que por lo tanto determina el volumen de suelo explorado por las raíces es la densidad aparente. Los valores de densidad aparente de estos suelos pueden considerarse como altos en los suelos P₁ y P₂ y normales en los suelos P₃ y P₄. El efecto desfavorable de la densidad aparente alta se ve más marcado a medida que el suelo se seca y se contrae. Por esta razón se han incluido los valores de densidad que presentan los suelos secos a 105°C. Dichos valores indican que en los suelos P₁ y P₂ hay una severa limitación para que las raíces exploren un volumen adecuado de tierra, hecho que repercute en una menor toma de nutrientes acentuando las deficiencias.

4.9 CLIMA

Esta característica repercute en las deficiencias de boro en la zona, donde se presentan épocas secas muy acentuadas, debido no solamente a que disminuye la mineralización de la materia orgánica, sino también a que las raíces deben explorar los horizontes más profundos donde el boro asimilable es bajo. Simultáneamente se presenta una mayor fijación del elemento debido al secamiento del suelo y un aumento muy marcado de la densidad aparente, principalmente en los suelos P₁ y P₂, factor que posiblemente restringe el desarrollo radicular.

4.10 FIJACION DE BORO.

Aunque esta característica no se contempló dentro de los objetivos del presente trabajo, se hicieron ensayos de fijación de boro en los primeros horizontes de los suelos con el fin de tener un criterio sobre las cantidades de fertilizante necesario para obtener un nivel adecuado de boro disponible y principalmente para predecir hasta que punto niveles altos de fertilización con este elemento pueden inducir problemas de toxicidad. Los resultados del ensayo aparecen en la Figura 1. Los suelos en general poseen una baja capacidad de fijación de boro, lo cual está de acuerdo a sus características de suelos jóvenes, donde predominan minerales fácilmente intemperizables y la fracción arcilla está dominada por minerales de relación 2:1, no encontrándose caolinita ni óxidos o hidróxidos de hierro y aluminio, los que según la opinión de la mayoría de investigadores son los principales responsables de la fijación de este elemento. Entre los materiales reportados en la literatura como fijadores de boro, se encontró vermiculita, principalmente en los suelos P₁ y P₂, hecho que posiblemente explique la mayor fijación de boro por estos. Otra característica de los suelos P₁ y P₂ es su pH mayor de 7.3, valores a los cuales se presenta la máxima fijación tanto por óxidos o hidróxidos como por arcillas. Por otra parte estos dos suelos contienen mayor cantidad de carbonatos que posiblemente favorecen una fijación más alta, debido principalmente al mayor pH que desarrollan.

Con el método de extracción con fosfato de calcio se supone que el mínimo contenido de boro necesario para considerarlo óptimo es de 0.5 ppm (9). En esta forma el suelo P₁ necesita cerca de 2 ppm, el P₂ 1.2 ppm y P₃ y P₄ aproximadamente 0.5 ppm. Una aplicación de 2 ppm puede ser suficiente para el suelo P₁, pero es posible que sea excesiva para plantas que crezcan en los otros suelos si a estos se aplica igual cantidad. En cuanto a niveles tóxicos es necesario tener presente que las plantas varían en la susceptibilidad. Por otra parte el peligro de concentraciones tóxicas se acentúa a medida que el suelo presente menos contenido de calcio como es el caso de los suelos P₃ y P₄.

5. CONCLUSIONES

1. Las deficiencias de boro en los suelos bajo estudio se encontraron asociadas con las siguientes características químicas: a) Boro soluble en agua menor de 0.3 ppm; b) Bajo contenido de boro total (alrededor de 15 ppm); c) Altos contenidos de carbonato de calcio; d) pH superior a 7,3; e) Bajo contenido de carbono orgánico.

2. Como características físicas asociadas con el mismo problema se encontraron: a) Alta densidad aparente (1.4 g/cc o mayor); b) Desarrollo de características vérticas en el perfil.

3. Los suelos deficientes en boro presentaron las siguientes características mineralógicas: a) Ausencia de turmalina u otro mineral que aporte boro al suelo; b) Alto contenido de arcillas de relación 2:1; c) Alta proporción de vermiculita en la fracción arcilla.

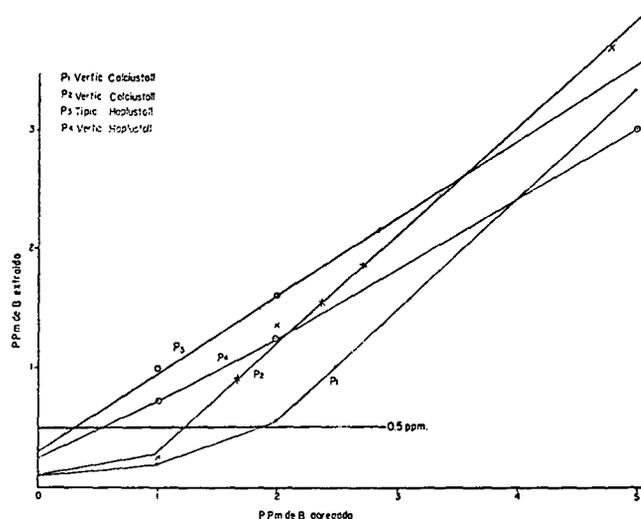


FIGURA 1. Curvas de Adsorción de Boro.

4. La Taxonomía del suelo puede por sí sola ser un indicio de deficiencias de boro ya que refleja propiedades relacionadas con la baja disponibilidad de este elemento.

5. De los suelos estudiados, los deficientes en boro presentan un mayor poder de fijación de este elemento.

6. Dosis de 3 a 5 kg/Ha de boro parecen suficientes para alcanzar un nivel adecuado para la nutrición de las plantas en los suelos estudiados.

7. La fertilización con altas dosis de boro en suelos deficientes, ofrece menos peligro de producir niveles tóxicos para las plantas debido a que estos suelos tienen un mayor poder de fijación del elemento.

6. RESUMEN

Desde hace varios años se han reportado deficiencias de boro en los suelos del Valle del Cauca; la no aplicación del elemento ha afectado seriamente los rendimientos de cultivos tales como fríjol, maíz y alfalfa.

Para estudiar los factores que afectan la disponibilidad de boro en los suelos del Valle del Cauca se seleccionaron cuatro sitios de muestreo en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Palmira (Valle - Colombia). En dos de los sitios (P1 y P2) fueron observadas en el pasado severas deficiencias de boro mientras que en los otros dos sitios (P3 y P4) hay evidencias de un adecuado suplemento.

Los suelos seleccionados fueron descritos, clasificados y muestreados para su caracterización química, física y mineralógica. Se realizó una prueba de fijación de boro en muestras procedentes de los horizontes superficiales para evaluar la cantidad del elemento para un suplemento adecuado y para predecir la posibilidad de alcanzar niveles tóxicos de boro en los suelos.

Se concluyó del estudio, que los suelos deficientes en boro son los Vertic Calciustolls. Estos suelos se caracterizan por contenidos altos de CaCO₃; reacción fuerte al HCl; pH mayor de 7,3; abundancia de vermiculita y desarrollo de características vérticas; menos de 20% de carbono orgánico;

menos de 0.3 ppm de boro soluble en agua caliente; contenido bajo de boro total (10 a 15 ppm); ausencia de turmalina u otro mineral portador de boro; el suelo tiene una profundidad efectiva limitada debido a un horizonte B arcilloso el cual tiene además propiedades vérticas y alta densidad aparente. En adición, éstos suelos presentan una alta fijación de boro y por consiguiente hay pocas posibilidades de alcanzar niveles tóxicos cuando se agrega el elemento al suelo. Parece que 5.0 y 3.5 kg/Ha son cantidades correctas para obtener un buen nivel de disponibilidad de boro en los suelos P1 y P2.

Los suelos no deficientes en boro corresponden a los Vertic Haplustolls y a los Typic Haplustolls; éstos suelos no tienen CaCO_3 en los horizontes superficiales; su pH es ligeramente ácido (6.5–6.6); la vermiculita es escasa pero hay altas cantidades de clorita en la fracción arcilla; el contenido de carbono orgánico es mayor de 2o/o; el boro soluble es más alto que 0.3 ppm y el boro total es generalmente alto (P4 tiene 140 ppm); la densidad aparente, que es menor de 1.3 g/cc y las características vérticas no son factores limitantes para el crecimiento de las raíces. La fijación de boro es menor en los suelos P3 y P4 que en los suelos P1 y P2 y por consiguiente la posibilidad de alcanzar niveles tóxicos de boro es alta.

7. SUMMARY

Boron deficiencies have been reported in the Cauca Valley Soils since several years ago; the lack of addition of the element has seriously affected the yield of crops such as beans, corn and alfalfa.

Four sampling sites were selected at International Center of Tropical Agriculture (CIAT) in Palmira (Valle, Colombia) to study the factor that affect boron availability in Cauca Valley Soils. In two of the sites (P1 and P2) severe deficiencies of boron were observed in the past and in the other two sites (P3 and P4) there are evidences of an adequate boron supply.

The selected soils were described, classified, and sampled for chemical, physical and mineralogical characterization. A test of boron fixation was carried out in samples from the surface horizons to assess the amount of the element for an adequate supply and to predict the possibility of getting toxic levels of boron in the soils.

It was concluded from the study that the boron deficient soils are the Vertic Calcicustolls. These soils are characterized by a high amount of CaCO_3 , strong reaction to the HCl, pH higher than 7.3, abundance of vermiculite and development of vertic properties, less than 2o/o of organic carbon, less than 0.3 ppm of hot water soluble boron, low content of total boron (10 to 15 ppm); lack of tourmaline or other boron-bearing minerals; the soil has a limited effective depth due to a clayed B horizon which in addition has vertic properties and a high bulk density. In addition, these soils present a high boron fixation and therefore there are few possibilities of getting toxic levels when the element is added to the soil. It seems that 5.0 and 3.5 kg/Ha are the

right quantities to obtain a good level of available boron in the soils P1 and P2.

The boron non-deficient soils correspond to the Vertic Haplustolls and Typic Haplustolls; these soils do not have CaCO_3 in the surface horizons, the pH is slightly acid (6.5–6.6): there is scanty vermiculite and large amounts of clorite in the clay fraction; the organic carbon content is higher than 2o/o, the soluble boron is higher than 0.3 ppm and the total boron is generally high (P4 has 140 ppm); bulk density which is less than 1.3 g/cc and vertic characteristics are not limiting factors for root growth. The boron fixation is less in soils P3 and P4 than in the soils P1 and P2 and therefore the possibility of getting toxic levels of boron is high.

8. BIBLIOGRAFIA

1. BERGER K. C. and TROUG, E. Boron Availability in relation to soil reaction and organic matter content. *Soil Science American Proceedings* 10: 113-116. 1945.
2. ————. Boron in soils and crops. *Advances in Agronomy*. 1: 321-351. 1949.
3. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Informe Anual. Cali, 1972. pp. 108–109.
4. CHAVERRA, G. H. e IBARRA, A. Generalidades del Clima en Colombia. Bogotá, Universidad Nacional, ICA., 1971. sp. (mimeografiado).
5. ELLIS, B. G. and KNEZEK, B. D. Adsorption Reactions of Micronutrients in Soils, In *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 59-75.
6. ESPINAL T, L. S. y MONTENEGRO, M. E. Formaciones Vegetales de Colombia. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1963. pp. 52-68.
7. FASSBENDER, H. W. Química de Suelos. Turrialba. Costa Rica, IICA, 1975. pp. 362-365.
8. FLOR, C. A. y HOWELER, R. Zinc y boro: dos microelementos limitativos para la producción de algunas cosechas en las regiones cálidas de Colombia. Cai, CIAT, 1975. 23 p. (mimeografiado).
9. GARAVITO N. F. Propiedades del Suelo en relación con deficiencias de boro en el Valle del Cauca. Tesis M. Sc. Bogotá, Programa de Estudios para Graduados en Ciencias Agrícolas UN-ICA. 96 p.
10. HINGSTON, F. J. Reactions between boron and clays. *Aust. J. Soil Res.* 2: 83-95. 1964.
11. HODSON, J. Chemistry of the micronutrient elements in soils. *Advances in Agronomy*. 15: 119-159. 1963.
12. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, PROGRAMA NACIONAL DE SUELOS. Informe Anual de Progreso. Bogotá, 1971. pp. 107-108.
13. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Estudio detallado de suelos, para fines agrícolas, del sector plano de los municipios de Ginebra, Guacari, Cerrito y Palmira. Bogotá, 1969. 289 p.
14. JACKSON, M. L. Análisis Químico de Suelos. Traducido por José Beltrán. 2. ed. Barcelona, Omega, 1970. 662 p.
15. JONES, H. E. and SCARSETH, G. D. The calcium-boron balance in plants as related to boron needs. *Soil Science*. 57: 15-24. 1944.

16. MARSCH, R. P. and SHIVE, J. W. Boron as a factor in the calcium metabolism of the corn plant. *Soil Science*. 51: 141-151. 1941.
17. MORTVEDT, J. and CUNNINGHAM, H. G. Production, Marketing, and use of other secondary and micronutrient fertilizers. In *Fertilizer Technology and Use*. 2. ed. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of América, 1971. pp. 413-453.
18. PARKS, R. Q. and SHAW, B. Possible mechanisms of boron fixation in soil. I. Chemical. *Soil Science Society American Proceeding* 6: 219-223. 1942.
19. ————. The fixation of added Boron by dunkirk fine sandy loam. *Soil Science* 57: 405-416. 1944.
20. PARKS, W. L. and WHITE, J. L. Boron retention by clay and humus systems saturated with various cations. *Soil Science Society American Proceedings* 16: 298-300. 1952.
21. REEVE, E. and SHIVE, J. W. Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition. *Soil Science* 57(1): 1-14. 1944.
22. SILVA, M. F.; OLARTE, R. L. I. y MOTTA DE MUÑOZ, B. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. 3. ed. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1973. 173 p.
23. SIMS, J. R. and BINGHAM, F. T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil material: I. Layer Silicates. sp.
24. ————. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: II. Sesquioxides. *Soil Science Society American Proceedings* 32: 364-369. 1968.
25. SIMS, J. R. and BINGHAM, F. T. Retention of boron by Layer Silicates, Sesquioxides, and soil materials: Iron and aluminum - Coated Layer Silicates, and soil materials. *Soil Science Society American Proceedings*. 32: 369-373. 1968.
26. SPAIN, J. M. y HOWELER, R. H. Análisis de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical. Palmira, CIAT, 1974. 24 p.
27. TISDALE, S. L. y NELSON, W. K. Fertilidad de los suelos y Fertilizantes. Traducción de Jorge Balasch y Carmen Piña. Barcelona, Montaner y Simón, 1970, pp. 334-342.
28. U. S. DEPARTMENT AGRICULTURE. SOIL SURVEY LABORATORY. Methods and procedures for collecting soil Samples. Washington, D. C., 1972. 90 p.

DISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIMENTOS EN VARIAS SERIES DE SUELOS DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS TIBAITATÁ.

Jorge Ortega E. y Rodrigo Lora S.

1. INTRODUCCION

Los micronutrientes son insustituibles y esenciales para lograr una mayor productividad en los distintos cultivos. Su estimación cuantitativa, en plantas y suelos, son índices que permiten establecer niveles críticos adecuados y la capacidad de suministro de los diferentes suelos.

El Programa de Suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Tibaitatá ha adelantado una serie de investigaciones en torno a caracterizaciones físicas y químicas de los suelos; sin embargo, existen muy pocos estudios sobre el contenido y disponibilidad de micronutrientes, los cuales pueden estar afectando la producción agropecuaria por el alto o escaso contenido de los mismos; ello en parte, debido a los rangos tan estrechos que existen entre su deficiencia y toxicidad.

Los objetivos del presente estudio fueron:

1. Determinar el contenido total e intercambiable de los micronutrientes, en las series de suelos del CNIA Tibaitatá, Mosquera (Lote 47); Chicú; Puente Largo (Lote 44); Marengo; Mosquera (Lote 3).
2. Estimar con base en rendimientos las respuestas de la avena (*Avena sativa* L.) variedad

* Respectivamente: Ingeniero Agrónomo, M. S., Depto. de Agronomía del ICA e Ingeniero Químico, M. S., Programa Nacional de Suelos, CNIA Tibaitatá.

ICA—Soracá, a la aplicación de los micronutrientes en las diferentes series de Inceptisoles. 3.-Evaluar dos métodos de extracción: EDTA + NaHCO₃ (Acido Etilen - Diamino tetra acético + Bicarbonato de sodio) y DTPA (Acido distileno triamino pentacético), de los micronutrientes intercambiables del suelo. 4. Evaluar las técnicas de invernadero y microparcels de campo en relación a la disponibilidad de los micronutrientes en las distintas series de suelos bajo estudio.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Función de los Micronutrientes en el Suelo.

Muchos han sido los trabajos de investigaciones que se han realizado con los micronutrientes del suelo, los cuales como elementos químicos están sujetos en su función a una serie de leyes, pero interaccionados por múltiples factores (3).

2.1.1. Boro.

Entre algunas de las funciones del B en la vida de las plantas merecen destacarse: síntesis de proteínas, reproducción celular y activador enzimático (15). El B además interviene en la división celular, enzimas de fosforización y sín-

tesis de glutamina (7). Actúa también en la germinación del polen y en la formación de raíces flores y frutos (12).

El B se halla en la mayor parte de los suelos en cantidades extremadamente pequeñas, generalmente de 20 a 200 ppm (18), siendo su contenido promedio en rocas ígneas básicas 10 ppm., en rocas ácidas 15 ppm. y en rocas sedimentarias 12 ppm. (15).

2.1.2. Hierro.

La esencialidad se debe a su papel como catalizador en la formación de la clorofila y a su presencia en ciertos sistemas enzimáticos. La movilidad varía según las especies, pero en general es pequeña (8). El Fe oscila en el suelo entre 200 ppm. hasta valores mayores del 10o/o, se encuentra en los suelos como óxidos, hidróxidos, sulfatos, carbonatos y fosfatos así como en las estructuras reticulares de los silicatos primarios y en las arcillas (12, 18).

2.1.3. Manganeso.

Bertrand (1897-1926) fue uno de los primeros en demostrar su esencialidad para las plantas. Al igual que el Fe, el Mn interviene en la síntesis de la clorofila y es también un activador de diversos sistemas enzimáticos (1).

En cuanto a las formas en el suelo, el Mn se encuentra en tres estados de valencia: 1) Divalente (Mn^{++}), 2) Trivalente (Mn_2O_3) altamente reactivo; 3) Tetraivalente como MnO_2 muy inerte. Se cree que estas tres formas existen en equilibrio dinámico (13).

2.1.4. Cobre.

La primera evidencia de su esencialidad para las plantas inferiores fue reportada por Bortels en 1927. En 1931 Sommer, Lipman y Mackinney determinaron su esencialidad para las plantas superiores. Es esencial para el funcionamiento de tres sistemas enzimáticos lo menos (15). En las gramíneas la deficiencia severa de cobre origina necrosis en las puntas de las hojas más viejas y clorosis marginal en las más jóvenes (15 - 12).

El contenido de Cu en el suelo oscila entre 10 a 200 ppm siendo en la mayoría de los casos entre 25 a 60 ppm. de Cu total, pero en los suelos muy arenosos varía entre 1 a 30 ppm. y en los suelos orgánicos la concentración de Cu total es muy semejante a la de los suelos minerales (18).

2.1.5. Zinc.

Su importancia se debe al hecho de ser un constituyente de varias enzimas a parte de que afecta la formación de la clorofila y funciona en la síntesis del triptofano, precursor de las auxinas (5, 6, 10).

El contenido total de Zn en los suelos oscila desde 10 a 300 ppm. de los cuales son disponibles del 1 al 10o/o para las plantas (18).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. LOCALIZACION.

La presente investigación se llevó a cabo en las series de suelos: Puente Largo, Mosquera, (Lote 47); Chicú, Mosque-

ra (Lote 3) y Marengo, pertenecientes al CNIA de Tibaitatá del ICA. Este Centro está situado en la sabana de Bogotá, Mosquera, (Cundinamarca) a 2640 m.s.n.m. temperatura promedio anual 13.2°C y precipitación anual de 631 m.

3.2. PROCEDIMIENTO DE CAMPO.

En cada una de las series, se montó un ensayo de microparcels de 1 x 1 m, utilizando avena (*Avena sativa* L.) variedad ICA Soracá, como planta indicadora, de acuerdo con la técnica descrita por Martini (16). Cada parcela constó de 4 surcos espaciados a 25 cms. y sobre ellos se sembró la avena en banda, el 25 de septiembre de 1975, en todas las series. Se llevaron a cabo dos cosechas. Una en estado verde a ras de suelo el 18 de noviembre de 1975 y otra en estado lechoso a 15 cms. del suelo el 7 de enero de 1976. Para el análisis foliar se muestreó el material al azar a partir de la segunda hoja bandera.

Los ensayos en todas las series requirieron de una desyerba manual y no recibieron más prácticas culturales. Una vez realizada la cosecha en estado verde, se tomaron muestras de suelos entre 0 y 20 cms. de profundidad, a un lado de los surcos de cada uno de los tratamientos para análisis de micronutrientes con los dos extractantes: EDTA + $NaHCO_3$ y DTPA. Lo mismo se hizo después de la cosecha en estado lechoso.

3.3 PROCEDIMIENTO DE INVERNADERO.

Se tomaron muestras de suelos a profundidades de 0 a 20 cms. en tres sitios por separado de cada serie para efectuar en cada uno de ellos también por separado ensayos de invernadero. El muestreo en cada sitio de las distintas series se hizo con veinte submuestras; además se muestrearon cada uno de los horizontes de los perfiles modales en las distintas series para llevar a cabo los análisis de caracterización. El muestreo se realizó el 18 de febrero de 1975, en época lluviosa.

Se utilizaron macetas de asbesto-cemento con capacidad de 1.5 kgs. de suelo y la misma planta indicadora utilizada para el ensayo de microparcels. En cada maceta se sembraron 7 semillas de avena entre el 26 y 27 de junio de 1975 y se cosecharon 5 plantas en estado lechoso el 27 de agosto de 1975, en todas las series. Después de la cosecha, de los tratamientos, testigos, en las distintas series se tomaron muestras de suelos y se analizaron los micronutrientes con los dos extractantes antes mencionados.

3.4. TRABAJO DE LABORATORIO.

Se determinó el contenido total de los distintos micronutrientes, en cada uno de los horizontes de los perfiles modales de cada serie y el contenido de la forma aprovechable de cada micronutriente en capa vegetal entre 0-20 y 10-60 cms.

Las formas totales se determinaron de acuerdo con la técnica descrita por Reisenauer (17). Las intercambiables, para B mediante la técnica descrita por Beltán (2) y para Zn, Cu, Mn y Fe por los métodos de EDTA + $NaHCO_3$ y DTPA, des-

critos por Lindsay (14). El análisis de caracterización se llevó a cabo en el laboratorio de suelos del CNIA Palmira. El análisis foliar, para B mediante la técnica de la curcúmina, descrita por Johnson y Ulrich (11); el Mn, Cu, Fe y Zn y P por el método descrito por Hunter (9).

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Tanto para el ensayo de invernadero como para el de microparcels de campo se utilizó un diseño de bloques al azar con tres replicaciones. Para evaluar los métodos de extracción EDTA + NaHCO₃ y DTPA, se utilizaron criterios de correlación entre la cantidad de nutrimento extraído del suelo y el absorbido por la planta, además de las pruebas de Student Newman Keul. Para evaluar las técnicas de invernadero y microparcels de campo se utilizaron los rendimientos de materia seca y absorción de micronutrientes por las plantas de avena, para ambas técnicas.

Los tratamientos para condiciones de invernadero y microparcels de campo fueron: Testigo, MnSO₄.H₂O: 25 kg/Ha; CuSO₄.5H₂O: 30 kg/Ha; FeSO₄: 25 kg/Ha; ZnSO₄: 25 kg/Ha; H₃BO₃: 10 kg/Ha y Na₂MoO₄.2H₂O: 2 kg/Ha.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados indicaron que los contenidos de Mn, Fe y Zn disponibles del suelo en las diferentes series de Inceptisoles del CNIA Tibaitatá y de acuerdo a los niveles reportados por Cox y Kamprath (4); se consideran adecuados; los de Cu y B disponibles son bajos, sin embargo, no hubo respuesta de la avena (*Avena sativa* L.) bajo condiciones de invernadero y microparcels de campo en el estado verde ni lechoso a la aplicación de estos micronutrientes. Tabla 1 y 4.

El mayor contenido de B disponible bajo condiciones de invernadero lo presentó la serie Mosquera (lote 3), el de Mn la serie Chicú, de Cu y Fe la serie Marengo y la Zn la serie Puente Largo. (tabla 1).

En términos generales, la determinación de los micronutrientes disponibles del suelo: Mn, Cu, Fe y Zn, utilizando como extractante el EDTA + NaHCO₃, correlacionó mejor con lo extraído por la planta de avena que el DTPA. No hubo correlación entre el B disponible del suelo determinado con agua caliente y el extraído por las plantas de avena (tabla 2).

La determinación del contenido foliar de los micronutrientes Mn, Cu, Fe y Zn, mediante la técnica de Hunter (9), resulta adecuada y más rápida que la corriente, de combustión húmeda. Lo mismo se dice para el P foliar (tabla 3). El efecto de las aplicaciones de micronutrientes, sobre los rendimientos de la avena en invernadero y microparcels de campo no fue significativo. Sería conveniente ampliar el área de exploración en las series utilizando varios niveles.

El mayor contenido promedio de B y Zn disponibles del suelo después de cosechar la avena en ambos estados de crecimiento en el campo se encontró en la serie Puente Largo, el de Mn, en la serie Chicú, el de Cu, en la serie Mosquera (lote 3) y el de Fe en la serie Marengo. El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas en los rendimientos de la avena para las diferentes series bajo condicio-

nes de campo. No hubo diferencias significativas entre estados de cosecha, ni entre tratamientos.

TABLA 1. Contenido promedio de micronutrientes en suelos de las distintas series. Resultados en ppm.

Series	Mn	Cu	Fe	Zn	B
1	10.468	3.635	545.294	82.688	0.916
2	12.910	4.213	781.616	29.500	0.200
3	19.696	3.512	1003.127	16.638	0.970
4	12.074	4.668	148.833	23.666	0.978
5	16.928	5.646	1053.816	32.555	0.774
GRAN X	14.415	4.335	706.537	37.010	0.768

1 = Puente Largo (Lote 44) 2 = Mosquera (Lote 47)
3 = Chicú 4 = Mosquera (Lote 3)
5 = Marengo

TABLA 2. Coeficientes de correlación entre los micronutrientes foliares de la avena (*Avena sativa* L.) determinados por el método de Hunter y los micronutrientes Mn, Cu, Fe, Zn disponibles del suelo con EDTA + NaHCO₃ y DTPA y B disponibles en agua caliente.

Micronutrientes	EDTA + NaHCO ₃ coeficiente correlación	DTPA coeficiente correlación
Mn	0.938 +	- 0.820NS
Cu	0.873 +	0.417NS
Fe	0.419 NS	0.143NS
Zn	0.348 NS	0.208NS
B	0.377 NS	

TABLA 3. Coeficiente de correlación entre el método convencional por vía húmeda y método de Hunter en la determinación de Mn, Cu, Fe, Zn y P foliares en avena (*Avena sativa* L.)

Elemento	Coefficientes Correlación
Manganeso	0.941 ++
Cobre	0.597 +
Hierro	0.129 NS
Zinc	0.875 ++
Fósforo	0.660 ++

+ : Significativo al 50/o;

++ : Altamente significativo;

NS : No significativo.

El contenido de micronutrientos disponibles en los Inceptisoles de Tibaitatá, el de micronutrientos foliares, tabla 5, y los rendimientos de la avena, fueron muy similares bajo condiciones de invernadero y microparcels de campo. Ello demostraría la bondad de las dos pruebas para evaluar la fertilidad de los suelos. El uso y manejo de los suelos y sus características físicas y químicas incidieron en parte sobre los rendimientos, contenido y disponibilidad de los micronutrientos en las distintas series.

El mayor contenido de B y Zn disponibles se registró en el perfil medal de la serie Puente Largo, el de Mn y Cu en la serie Marengo y el de Zn en el perfil medal de la serie Chicú. En la mayoría de las series el contenido de micronutrientos disponibles fue mayor en los suelos que en los subsuelos. El Cu teatal no presentó diferencias marcadas. El mayor contenido de Mn total lo registró la serie Mosquera (lote 3), el de Fe la serie Mosquera (lote 47) y el de Zn la serie Marengo.

Los resultados de la caracterización de las formas totales de los micronutrientos, indican que los Inceptisoles de Tibaitatá tienen buenas reservas de Mn, Fe y Zn y medianas de Cu, de acuerdo con los niveles reportados por Tisdale (18).

TABLA 4. Efecto de las distintas series sobre los rendimientos de la Avena (Avena Sativa L.) en gramos/pote en estado lechoso

Serie	Rendimientos
Puente Largo (Lote 44)	5.305
Mosquera (Lote 47)	2.094
Chicú	4.450
Mosquera (Lote 3)	4.508
Marengo	4.189
GRAN PROMEDIO	4.100

TABLA 5. Contenido promedio de micronutrientos foliares en la avena (Avena sativa L.) en las distintas series. Resultados en ppm.

Serie	Mn	Cu	Fe	Zn	B
Puente Largo (Lote 44)	31.911	16.164	95.417	41.524	14.707
Mosquera (Lote 47)	103.473	19.265	134.005	51.605	10.157
Chicú	181.814	12.655	84.869	33.691	13.104
Mosquera (Lote 3)	36.027	19.328	105.002	27.454	12.828
Marengo	184.412	20.020	79.357	43.570	7.609
GRAN PROMEDIO	107.527	17.486	99.730	39.549	11.719

5. CONCLUSIONES

1. Los contenidos de Mn, Fe y Zn disponibles del suelo en las diferentes series de Inceptisoles del CNIA Tibaitatá, y de acuerdo con los niveles reportados por Cox y Kamprat (4), se consideran adecuados; los de Cu y B disponibles son bajos, sin embargo, no hubo respuesta de la avena (*Avena sativa* L.) bajo condiciones de invernadero y campo en el estado verde ni lechoso a la aplicación de estos micronutrientos.

2. En términos generales, la determinación de micronutrientos disponibles del suelo: Mn, Cu, Fe y Zn, utilizando como extractante el EDTA + NaHCO₃ correlacionó mejor con lo extraído por la planta de avena que el DTPA. La correlación entre el B disponible del suelo determinado con agua caliente y el extraído por las plantas de avena fue no significativa.

3. La determinación del contenido foliar de los micronutrientos Mn, Cu, Fe y Zn mediante la técnica de Hunter (9), resulta adecuada y más rápida que la corriente, de combustión húmeda. Lo mismo se dice para el P foliar. Es recomendable para análisis de rutina.

4. El efecto de los tratamientos MnSO₄.H₂O, CuSO₄.5H₂O, FeSO₄, ZnSO₄, H₃BO₃ y Na₂MoO₄. 2H₂O, a razón de 25, 30, 25, 15, 10 y 2 kg/Ha. de fuente, respectivamente, sobre los rendimientos de la avena bajo condiciones de invernadero y microparcels de campo fue no significativo. Sería conveniente ampliar el área de exploración en las series utilizando varios niveles.

5. El contenido de micronutrientos disponibles en los Inceptisoles de Tibaitatá, el de micronutrientos foliares y los rendimientos de la avena, fueron muy similares bajo condiciones de invernadero y microparcels de campo. Ello demostraría la bondad de las dos pruebas para evaluar la fertilidad de los suelos.

6. El uso y manejo de los suelos y sus características físico-químicas incidieron en parte sobre los rendimientos, contenido y disponibilidad de los micronutrientos en las distintas series de Inceptisoles de Tibaitatá.

7. Los resultados de la caracterización de las formas totales de los micronutrientes Mn, Cu, Fe y Zn, indican que los Inceptisoles de Tibaitatá tienen buenas reservas de Mn, Fe y Zn y medianas de Cu, de acuerdo con los niveles reportados por Tisdale (18).

6. RESUMEN

En el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá, localizado en la sabana de Bogotá, Mosquera (Cundinamarca), a 2.640 m.s.n.m., temperatura promedio anual 13.2°C y precipitación de 631 mm. anual, se efectuaron ensayos de invernadero y microparcels de campo, utilizando avena (*Avena sativa* L.), variedad ICA Soracá, como planta indicadora, con el objeto de determinar el contenido total o intercambiable de los micronutrientes, utilizando dos extractantes EDTA + NaHCO₃ y DTPA en cinco series de suelos y estimar con base en rendimientos en estado verde y lechoso, las respuestas de la avena a la aplicación de los micronutrientes en las diferentes series de Inceptisoles.

Los resultados indicaron que los contenidos de Mn, Fe y Zn disponibles del suelo en las diferentes series de Inceptisoles del CNIA Tibaitatá y de acuerdo a los niveles reportados por Cox y Kamprath (4), se consideran adecuados; los de Cu y B disponibles son bajos, sin embargo no hubo respuesta de la avena (*Avena sativa* L.) bajo condiciones de invernadero y microparcels de campo en el estado verde ni lechoso a la aplicación de estos micronutrientes.

En términos generales, la determinación de los micronutrientes disponibles del suelo: Mn, Cu, Fe y Zn, utilizando como extractante el EDTA + NaHCO₃, correlacionó mejor con lo extraído por la planta de avena que el DTPA. No hubo correlación entre el B disponible del suelo determinado con agua caliente y el extraído por las plantas de avena.

La determinación del contenido foliar de los micronutrientes Mn, Cu, Fe y Zn, mediante la técnica de Hunter, resulta adecuada y más rápida que la corriente, de combustión húmeda. Lo mismo se dice para el P foliar. El efecto de las aplicaciones de micronutrientes, sobre los rendimientos de la avena en invernadero y microparcels de campo no fue significativo. Sería conveniente ampliar el área de exploración en las series utilizando varios niveles.

El contenido de micronutrientes disponibles en los Inceptisoles de Tibaitatá, el de micronutrientes foliares y los rendimientos de la avena, fueron muy similares bajo condiciones de invernadero y microparcels de campo. Los resultados de la caracterización de las formas totales de los micronutrientes, indican que los Inceptisoles de Tibaitatá tienen buenas reservas de Mn, Fe y Zn y medianas de Cu, de acuerdo con los niveles reportados por Tisdale.

7. SUMMARY

Green-house and micro-plot experiments were conducted at Tibaitatá (Mosquera - Cundinamarca) using oats (*Avena sativa* L.) as indicator, to investigate some aspects related with micronutrient availability in some soils.

Tibaitatá is located at an elevation of 2640 m. above the sea level, where the mean annual temperature is 13.2°C and

the mean annual rainfall is 631 mm. The main objectives of the study were: to determine the total content and extractable micronutrients in five soil series, evaluation two extraction methods: EDTA + NaHCO₃ (Ethylen diamine-tetracetic acid + sodium bicarbonate) and DTPA (Diethylen triamine - pentacetic acid) in the determination of exchangeable micronutrients; to estimate the yield response of the oats, variety ICA-Soracá in the green and milky state, to the application of micronutrients in different series of Inceptisoles.

The exchangeable Mn, Fe and Zn content found for all of the soils might be considered adequate and Cu and B might be deficient according to the criteria of Cox Kamprath (4). However there was not yield response of oats to the application of micronutrient either in the green house nor in the field experiments. In general, the extraction of available micronutrients (Mn, Cu, Fe and Zn) from the soils with EDTA + NaHCO₃ was better correlated with the micronutrients taken up by the plant than the extraction with DTPA. There was not correlation between soil available B, extracted with boiling water, and the B taken up by the plant.

The determination of foliar micronutrients (Mn, Cu, Fe and Zn) content using the technique described by Hunter (9) was found adequate and faster than the standard wet combustion determination. The same applies to the Foliar P determination. There was not significant effect of the applied micronutrients on the yield of oats growing in the green-house nor in the field. It seems convenient to investigate severe application rates of the micronutrients in these soils. The exchangeable content micronutrients in the Inceptisols, the foliar content and the oats yield were very similar in the green-house study as in the field study. According to the values reported by Tisdale (18), the total content of Mn, Fe and Zn the Inceptisols at Tibaitatá may indicate good reserves of the elements and medium reserves of Cu.

BIBLIOGRAFIA

1. ALVIN, P. de T. Curso internacional de bases fisiológicas de la producción agrícola. La nutrición de las plantas por Ludwig Muller. Lima, IICA, 1959. p. irr.
2. BELTRAN, J. Determinaciones de Boro en los suelos y en los tejidos vegetales. In: M.L., Jackson. Análisis Químico de Suelos. Barcelona, Omega, 1964. pp. 500-523.
3. BRUGES, J. A. Evaluación general de los micronutrientes en la Estación Caribia. Tesis M.S. Bogotá, UN-ICA. 1975. 117 p. (mimeografiado).
4. COX, F. E. and E. J. KAMPRATH. Micronutrient soil test. F. E. Cox. Micronutrients in agriculture. Wisconsin, Soil Sci. Soc. of Amer., 1972. pp. 289-318.
5. CHAPMAN, H. D. Zinc. In: Diagnostic criteria for plant and soil. Berkely, California, Universidad of California. Div. of Agr. Sci. 1966. pp. 484-499.
6. De REMER, E. D. and R. L. SMITH. A preliminary study on the nature of zinc deficiency in beans as determined by radio active zinc. Agron. Jour. 56: 67-70. 1964.
7. GIDDENS, F. Functions of boron in plant grown micronutrients and crop production. Georgia, Agricultura Experiment Station, 1964. pp. 36 (Bulletin, No. 126).

8. HODGSON, J. F. Chemistry of the micronutrient elements in soils, In: A. G. Norman, ed. *Advances in Agronomy*, New York, Academic Press, 1963, pp. 119-159.
9. HUNTER, A. H. Methods commonly used for routine soil analysis in cooperating countries. International soil fertility Evaluation and Improvement Project. North Carolina, State University. 1973. pp. 1-6.
10. IGUE, K. y E. BORMENIZA. El problema de zinc en suelos y plantas de regiones tropicales y de zonas templadas. *Fitotecnica Latinoamericana (Costa Rica)* 4(1): 29-44. 1967.
11. JOHNSON, C. M. and A. ULTICH. Determination of Boron. II Analytical Methods for use in plant analysis. Davis, University of California, Div. of Agric. Sci. 1959. 78 p. (Bulletin No. 766).
12. KRAUSKOFF, B. K. Geochemistry of micronutrient. In: A Vinogrador. *Micronutrients in agriculture*. Wisconsin, Soil Sci. Soc. of Amer. 1972. pp. 7-36.
13. LABANAUSKAS, CH. K. Manganese, In; Chapman, H., ed. *Diagnostic criteria for plants and soils*. Riverside, University of California. 1966. pp. 264-285.
14. LINDSAY, W. L. and W. A. NORVELL. Development of a DTPA micronutrients soil test. *Agronomy abstracts*; 1969; Annual Meetings. Detroit, American Society of Agronomy, 1969. p. 84.
15. LOS CULTIVOS COBRAN vida con aplicaciones de elementos traza. *La Hacienda*, 66(8): 12. 1971.
16. MARTINI, J. A. 1969. La microparcela de campo como un método biológico rápido para evaluar la fertilidad del suelo. *Turrialba (Costa Rica)* 19(2): 216-266. 1969.
17. REISENAERR, H. M. Methods of soil analysis. *Madison Agr. Am. Soc.*, 1965. pp. 1051-1057.
18. TISDALE, S. L. y W. L. NELSON. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, Montaner y Simón. 1970. pp. 310-382.

RESPUESTA DE LA APLICACION FOLIAR DE LOS ELEMENTOS MENORES EN FORMA DE QUELATOS Y DEL BORO SOBRE LA VARIEDAD DE CEBADA MOCHACA (*Hordeum vulgare*).

*Jaime Fernandez Hernández**

1. INTRODUCCION

El objeto del trabajo es presentar algunos aspectos relacionados con la Fertilización Foliar a base de micronutrientes para demostrar las ventajas de esta técnica de fertilización en el cultivo de la cebada.

Los suelos agrícolas están cada día más empobrecidos por el continuo laboreo, implantación del minifundio y tenencia de la tierra, y por lo tanto hay necesidad de establecer y estudiar nuevas técnicas de fertilización para aumentar los rendimientos y mejorar la calidad de las variedades obtenidas.

La cebada ocupa el segundo lugar entre los cultivos de clima frío y suministra la materia prima para la industria maltera y cervecera, así como para la industria de alimentos con destino al consumo humano y animal.

La capacidad de producción de cebada se puso a prueba en el país, desde cuando se obtuvo por parte de Bavaria S.A. la primera variedad mejorada "Funza" con características sobresalientes de precocidad, rendimiento y calidad, comparada con las variedades comunes Raspa, Pocha, Común y otras. Con una producción siempre ascendente, el país pudo autoabastecerse en 1960, éxito este que se logró gracias al mayor rendimiento de la variedad denominada "Funza" y a la política de las empresas cerveceras de esta-

blecer con anticipación precios remunerativos para el grano y desarrollar campañas de Fomento y Asistencia técnica adecuada.

Los programas de mejoramiento que viene desarrollando la Industria Cervecera a través de Agrofomento S.A., últimamente han sido factor definitivo, para que de nuevo el cultivo vaya en ascenso y el país llegue a autoabastecerse gracias a la obtención de nuevas variedades como Mochacá y otras.

La fertilización en cebada, es una práctica que se halla en pleno desarrollo y requiere seguir evolucionando tanto por vía radicular como foliar y de ahí la importancia que reviste el uso de micronutrientes. Por tales razones se tuvieron como puntos fundamentales del presente trabajo los siguientes:

1. Estudiar la influencia de los quelatos de hierro (Fe); Zinc (Zn); Cobre (Cu); Manganese (Mn); Magnesio (Mg); y Boro (B) comparada con micronutrientes.

2. Estudiar la influencia de los quelatos sobre la resistencia al vuelco, número de macollas por planta y reacción a enfermedades soliares.

3. Estudiar la influencia de los quelatos sobre algunos caracteres de la calidad de la cebada como la proteína, amilasa potencial y el extracto.

4. Estudiar su influencia sobre el rendimiento, peso bushel! puntaje y peso de mil (1000) granos.

* I. A. División de investigaciones Agrícolas de Bavaria. Tesis de Grado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 MATERIALES.

2.2.1. Localización.

El trabajo de campo se llevó a cabo en la Granja Experimental de Tinguavita, municipio de Paipa, Departamento de Boyacá. De propiedad de la Facultad de Agronomía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, la cual se encuentra a 2.590 metros sobre el nivel del mar.

También se replicó en el Centro Experimental de Cebada Tundama, municipio de Mosquera, Km. 19, carretera de Facativá, Departamento de Cundinamarca, propiedad de Agrofomento S.A.

2.1.2. Relieve.

En ambas granjas experimentales, predomina la topografía plana y una pendiente del 1 - 2o/o, aunque la granja de Tinguavita se presenta con suelos de topografía inclinada ligeramente erosionados, con pendientes de 7.2 y 2.5o/o.

2.1.3. Geología y suelos.

Los suelos se presentan desarrollados sobre la Formación Sabana, de Cuaternario, formado en ambiente Lacustre, sobre gran parte del río Chicamocha, está caracterizado por gredas, arenas y conglomerados sueltos; en alrededores de Paipa esta formación en su parte superior, hay una delgada capa de pocos centímetros de sales, debidas a las influencias de aguas Hialchidrotermas abundantes en esta área.

Se aprecian en el suelo algunos procesos pedagenéticos, como: acumulación, lavado, pardificación y glaciación en forma principal y en menor cantidad pedoturbación, descalcificación, descomposición y síntesis entre otros. Se puede observar un epipedón ócrico en el perfil que descansa sobre un endopedón cámbico por desarrollo del color, queda originado un suelo con clasificación posible por características, observando un perfil, al subgrupo Fluventic tropacuepts.

La zona en donde está localizada la Granja Experimental de Tundama pertenece a la Serie de los suelos de Tibaitatá que a su vez pertenecen al subgrupo Andic humitropept, que son cenizas volcánicas sobre una superficie ondulada de arcillas lacustrinas del Cuaternario. El color del suelo es pardo grisáceo a muy negro oscuro. pH varía 5.0 - 5.8. Una profundidad de 45 cms. de perfil. Drenaje natural moderado, con pendiente de 0 - 1o/o. De fertilidad natural moderada, altura 2.640 m.s.n.m. con una aptitud óptima para cultivos, con una temperatura de 16°C, con una precipitación 700 - 1000 mm anuales. Hay dos estaciones lluviosas bien definidas, una de Marzo a Junio y la otra de Octubre a Diciembre.

Las tablas 1 y 2 muestran la constitución química tanto de los suelos de la Granja de Tinguavita como de los del Centro Experimental de cebada Tundama.

TABLA 1. Constitución química de los suelos de la Granja de Tinguavita. Segundo semestre de 1974 y primero de 1975

Constitución	2o. Semestre de 1974	1o. Semestre de 1975
Profundidad	0 - 25 cms.	0 - 25 cms.
Textura	Franco-arcillosa.	Franco-arcillosa.
pH pasta	5.55	5.50
C.I.C. me/100 gr.	28.7	28.78
Ca me/100 gr.	8.0	8.0
Mg me/100 gr.	4.2	4.2
K me/100 gr.	0.8	0.371
Na me/100 gr.	0.24	0.23
Bt me/100 gr.	13.24	12.80
St o/o	46.13	4.4
S Ca o/o	27.8	27.8
S Mg o/o	14.6	14.6
Sk o/o	2.7	1.2
M. O. o/o	3.8	3.7
P ppm (Bray II)	17.17	17.78
Al me/100 gr.	0.1	1.0

TABLA 2. Constitución química de los suelos de la Granja de Tundama. Primer semestre de 1975.

Constitución	1o. Semestre de 1976.
Profundidad	0 - 25 cms.
Textura	Franco-arcillosa
pH	5.9
C. I. C. me/100 gr.	38.70
Ca me/100 gr.	11.30
Mg me/100 gr.	5.20
K me/100 gr.	0.308
Na me/100 gr.	0.375
Bt me/100 gr.	17.23
St o/o	44.52
S Ca o/o	28.94
S Mg o/o	13.43
S.K o/o	0.95
M. O. o/o	5.54
P ppm (Bray II)	100.
Al me/100 gr.	

2.1.4. Semilla.

Se utilizó semilla certificada de la variedad Mochacá, obtenida por el I.A.M.S. José a. Sierra F., en el Programa de Fitomejoramiento que viene adelantando la industria maltera y cervecera a través de Agrofomento S.A. en su Centro Experimental de Tundama, situado en Mosquera (Cundina-

marca), desde el año de 1970. Esta variedad posee excelentes calidades para su uso industrial tanto en maltería como en cervecera, consumo humano y animal. Se sembraron 3.360 grs. en una área de 1.008 mts. cuadrados, correspondiendo a una densidad de siembra de 33.34 kgs/Ha.

2.1.5. Fertilizantes.

2.1.5.1. Cantidad de fertilizantes completos (N-P-K) utilizados.

Se emplearon 17.280 grs. de fertilizantes grado 10-20-20 en 48 parcelas que suman un área de 864.00 metros cuadrados. Correspondiendo a una aplicación de 200 Kgs/Ha, y se aplicaron 10.80 grs. de 10-20-10 en 4 parcelas a razón de 150 Kgs/Ha, según costumbre del agricultor de la región.

2.1.5.2. Elementos menores.

Se aplicaron quelatos de Manganeso (Mn 4o/o, S 4o/o), Zinc (Zn 7o/o, S 4o/o), Cobre (Cu 5o/o, S 4o/o), Magnesio (Mg 4o/o, S 4o/o) y mezcla comercial de quelatos que se compone de Mg 1.4o/o, Zn 1.5o/o, Hierro 1.0o/o, Mn 0.75o/o, S 4o/o y también se aplicó Boro soluble al 66o/o. Se aplicaron 2 litros y 3/4 de cada quelato lo mismo que de la mezcla general por hectárea. El boro se aplicó a razón de 18.75 Kg/Ha.

2.1.6. Encalamiento.

Se aplicaron 500 Kg/Ha de Calfos, por lo que le correspondieron 50.4 Kg/Ha a los 1008 metros cuadrados del experimento en la granja de Tinguavita, con el fin de elevar el pH y neutralizar el contenido de aluminio intercambiable en los suelos.

En la granja Tundama no se aplicó ningún correctivo, puesto que el análisis químico mostro un pH de 5.9 y buenas cantidades de Fósforo asimilable.

2.1.7. Análisis de suelos.

Se hizo un análisis físico-químico de los suelos para conocer las propiedades del mismo y obtener los informes necesarios para llevar a cabo una fertilización adecuada. Los análisis completos se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

2.2. METODOS

2.2.1. Métodos utilizados en el campo.

El experimento se montó con 10 tratamientos de quelatos y uno de boro y 3 tratamientos como testigos.

Diseño Experimental: Bloques al azar.

Tratamientos: Se utilizaron los siguientes tratamientos:

- I - Testigo absoluto.
- II - Testigo regional (150 Kg/Ha de Fertilizante. 10-30-10).
- III - N - P₂O₅ - K₂O (200 Kg/Ha de Fertilizantes 10-20-20) más Klip mezcla general de quelatos (Mg 1.4o/o, Zn 1.5o/o, Fe 1.0o/o y Mn 0.75o/o y S 4o/o).

IV - N - P₂O₅ + Mg Cu: Klip Cu + Klip Mg; (Mg 4o/o, Cu 5o/o, S 8o/o).

V - N - P₂O₅ + Fe/Mn: Klip Fe + Klip Mn (Fe 5.0o/o, Mn 4o/o, S 8o/o).

VI - N P₂O₅ + Fe + Cu: Klip Fe + Klip Cu (Fe 5.0o/o, Cu 5o/o, S 8o/o).

VII - N - P₂O₅ + Zn: Klip Zn, (Zn 7o/o, S 4o/o).

VIII - N - P₂O₅ + Mn: Klip Mn, (Mn 4o/o, S 4o/o).

IX - N - P₂O₅ + Fe: Klip Fe (Fe 5o/o, S 4o/o).

X - N - P₂O₅ + Mg: Klip Mg (Mg, 5o/o, S 4o/o).

XI - N - P₂O₅ + Cu: Klip Cu, (Cu 5o/o, S 4o/o).

XII - N - P₂O₅ + B: Solubor, (B 66o/o).

XIII - N - P₂O₅ + Zn + B: Klip Zn + SOB (Zn 7o/o, S, 4o/o, B 66o/o).

XIV - N - P₂O₅ - K₂O (200 Kgs/Ha de 10-20-20).

Aplicaciones: Se aplicaron por vía foliar y se utilizó una bomba de espalda Cálímax de 20 litros. Se emplearon 5 litros de agua por parcela y 2.700 por hectárea.

Replicaciones: De acuerdo al Diseño se utilizaron 14 tratamientos, con cuatro replicaciones. La investigación se realizó en la Granja de Tinguavita durante el segundo semestre de 1974 y primer semestre de 1975. Se realizó igualmente en el centro experimental de cebada Tundama en el primer semestre de 1975, con los mismos tratamientos y replicaciones de la granja anteriormente citada.

Tamaño de las parcelas: Cada parcela tiene un área de 18.00 metros cuadrados. (3.60 m de ancho y 5.00 m de largo), consta de 12 surcos y una distancia entre surco y surco de 0.30 m.

Número total de parcelas: Se utilizaron 14 parcelas de las dimensiones descritas para los 14 ensayos y 4 replicaciones dando un total de 56 parcelas.

Distancia entre bloques: La distancia entre bloques fue de 1.50 metros y de 1.00 metros entre parcela y parcela.

Area total sembrada: Se sembró un área total de 1.008.00 metros cuadrados.

Cantidad de semilla sembrada por surco: Se sembraron 5 grs, por surco, o sea 60 grs. por cada parcela.

Epocas de aplicación de los diferentes tratamientos: La aplicación de los productos se llevó a cabo en las siguientes épocas. Primera aplicación antes del macollaje; la segunda aplicación en el momento del macollaje y la tercera aplicación al espigado.

Distribución: Primera aplicación. Cuando la planta presentaba 20 cms de altura aproximadamente 20 días después de la germinación.

Dosis: se aplicó a la dosis de un litro por hectárea de klip (micronutrientes) para cada tratamiento. En los tratamientos en que se empleo Solubor (Boro 66o/o como H₃BO₃) se usaron 15 gramos de éste por parcela o sea el equivalente a 18.00 kilogramos por hectárea.

Segunda aplicación: Se hizo antes de terminar el macollamiento, o sea los 40 días después de la germinación.

Dosis: 3/4 (750 cm³) litros de klip (micronutrientes) por hectárea. 7.5. grs. de solubor (Boro 66o/o como H₃BO₃) a los tratamientos tratados con la mezcla de zinc y boro.

Tercera aplicación: antes del espigado terminado el encañado, o sea, a los 65 días después de la germinación.

Dosis: un litro de klip (micronutrientes) por hectárea y

15 grs. de solubor (Boro 66o/o como H_3BO_3) por hectárea, a los tratamientos donde se utilizó este último.

3. CONCLUSIONES

En el estudio realizado acerca de los factores, número de macollas por planta, altura de la planta, número de granos por espiga, rendimiento de los diferentes tratamientos, peso de mil granos e influencia de la calidad maltera utilizando los quelatos orgánicos naturales, después de haber realizado el análisis de varianza y la prueba de Duncan se encontró.

3.1. NUMERO DE MACOLLAS POR PLANTA.

El experimento montado en la Granja de Tinguavita, tanto en el segundo semestre de 1974 como en el primer semestre de 1975, los tratamientos: IV (Klip : Mg - Cu); VI (Klip: Fe - Cu); V (Klip: Fe - Mn); III (Klip mezcla general de quelatos); XII (Solobur: Boro); X (Klip Mg); XI (Klip Cu); IX (Klip Fe); y XIII (Klip Zn - Solobur: Zn - B), fueron los que produjeron mayores rendimientos en cuanto a este factor se refiere porque mostraron diferencia altamente significativa en relación con los tratamientos: I (Testigo absoluto); II (Testigo regional), 150 kgs. por hectárea de 10-30-10; XIV (200 kilogramos por hectárea de 10-20-20 según análisis de suelos) y los tratamientos VII (Klip: Zn) y VIII (Klip Mn), éstos últimos según los resultados obtenidos parece que no tienen influencia en aumentar el rendimiento de la cantidad de macollas por planta, o que por motivos climáticos, drenajes deficientes en el sitio que le correspondió a las parcelas de estos tratamientos, no hayan sido tomados por las plantas para surtir el efecto en discusión; en cuanto se refiere a los suelos de esta Granja los tratamientos que dieron mejores resultados en cuanto al número de macollas por planta en el Centro Experimental de Cebada Tundama en el primer semestre de 1975 fueron los siguientes: VI (Klip: Fe - Cu); X (Klip Mg); IV (Klip: Mg - Cu); III (Klip mezcla general de quelatos); IX (Klip Fe); XIII (Klip Zn - Solobur B: Zn - B); y CIII (Klip Mn). Estos tuvieron una diferencia altamente significativa en comparación con los testigos I (Testigo absoluto). II (Testigo regional de 50 kilogramos por hectárea de 10-30-10); XIV (200 kilogramos por hectárea de 10-20-20 según análisis de suelos) y VIII (Klip Mn), que presentaron menores rendimientos en cuanto al número de macollas por planta.

Como se puede observar, la aplicación de micronutrientes si tuvo efecto en los suelos de las granjas en donde se realizó el experimento, puesto que en ambos semestres los resultados fueron semejantes y respondieron en igual forma los tratamientos seguidos, aumentaron el número de macollas por planta en comparación con los testigos, ya que éstos tuvieron rendimientos menores en cuanto a este factor hace referencia. Por tanto, se puede concluir que a pesar de ser suelos ácidos y de las condiciones físicas y químicas señaladas en las Tablas 1 y 2, responden a la aplicación de micronutrientes, por lo tanto al aumentar el número de macollas por planta y teniendo en cuenta que durante el resto del

período vegetativo haya buenos factores de fertilización y climáticos se obtendrán buenos resultados de producción.

3.2. ALTURA DE LAS PLANTAS.

En la Granja de Tungavita en el segundo semestre de 1974 se presentó una diferencia altamente significativa tanto en la prueba F del análisis de variancia y la prueba Duncan de los tratamientos VI (Klip Fe - Cu); III (Klip: mezcla general de quelatos); XIII (Klip Zn - Solobur: Zn - B); IV (Klip: Mg - Cu); V (Klip Fe - Mn); XI (Klip Cu); X (Klip Mg); VIII (Klip Mn); IX (Klip Fe) y II (testigo regional de 150 Kg/Ha de 10-30-10—, fueron los que dieron más crecimiento a las plantas en comparación con los tratamientos I (Testigo absoluto); XIV (200 Kg/Ha de 10-20-20) y VII (Klip Zn), que mostraron menos desarrollo de las plantas.

En el primer semestre de 1975 en la Granja Tinguavita, los tratamientos no presentaron diferencia significativa entre sí, excepto con el testigo absoluto, causa que se puede atribuir a escasez de agua para el cultivo en el período más crítico del crecimiento como es el del macollamiento al "puyamiento", como también a indisponibilidad de los micronutrientes por factores que se desconocen.

Halladas las pruebas de estadística para el Centro Experimental de Cebada Tundama en el primer semestre de 1975, se observó que los tratamientos III (Klip: mezcla general de quelatos); IX (Klip: Fe); IV (Klip: Mg - Cu); XIV (200 Kg/Ha. de 10-20-20 según análisis de suelos); V (Klip: Fe - Mn); VI (Klip: Fe - Cu) y VIII (Klip: Mn), presentaron diferencia altamente significativa con la diferencia entre medios de los tratamientos I (Testigo absoluto); II (Testigo regional); XI (Klip: Cu); X (Klip: Mg); VII (Klip Zn) y VIII (Klip: Mn). Se observa que en los tratamientos XI (Klip Cu); X (Klip Mg) VII (Klip: Zn) y XIII (Klip Zn - Solobur: Zn - B), y XIII (Solobur: B) no influyeron en el crecimiento de las plantas como los otros tratamientos del experimento, tal vez debido a fenómenos climáticos sucedidos inmediatamente después de la aplicación (lluvias), disponibilidad insuficiente para la absorción de la planta durante el período crítico de crecimiento de ésta, así como también han podido influir inadecuados drenajes a las parcelas que les correspondió estos tratamientos, demasiada humedad del suelo, problemas de malexas u otros que se pueden presentar en forma imprevista en el período vegetativo del cultivo. También se puede concluir que si se aplica suficiente cantidad de macroelementos y en el suelo se encuentran disponibles los micronutrientes se tiene iguales resultados que los de los tratamientos tratados con macro y micronutrientes.

3.3. NUMERO DE GRANOS POR ESPIGA.

Realizadas las pruebas de estadística en la Granja de Tinguavita se obtuvo, que en el segundo semestre de 1974 los tratamientos IV (Klip: Mg - Cu); VIII (Klip: Mn); XI (Klip: Cu); XIII (Klip Zn - Solobur: Zn - B); XII (Solobur: B), III (Klip: Mezcla general de quelatos) y X (Klip: Mg) fueron los que mejor respondieron en producir más granos por es-

piga, correspondiéndoles una diferencia significativa respecto a los tratamientos XIV (200 – Kg/Ha grado 10-20-20); V (Klip: Fe – Mn); II (Testigo regional: 150 Kg/Ha grado 10-30-10); I (Testigo absoluto); VII (Klip Zn) y IX (Klip Fe) que tuvieron rendimientos significativamente menores. Por lo anterior podemos observar que la aplicación de micronutrientes tienen efecto en la producción de granos por espiga, habiendo buenas condiciones ambientales y demás factores que contribuyen al buen desarrollo de las plantas. Los quelatos a base de Zinc, Hierro y la mezcla de Hierro y Manganeseo, no intervinieron en igual forma a los demás tratamientos en forma de quelatos y Solobur, puesto que tuvieron los mismos resultados de los tres testigos.

En el primer semestre de 1975 en la misma Granja anterior se observó que los tratamientos: VII (Klip Zn); III (Klip mezcla general de quelatos); V (Klip: Fe – Cu); VIII (Klip Mn); VI (Klip: Fe – Cu); XIII (Klip Zn – Solobur: Zn – B); XI (Klip: Cu) y XII (Solobur: B), tuvieron una diferencia altamente significativa en relación con los promedios de los tratamientos siguientes: IX (Klip Fe); XIV (200 Kg/Ha de 10-20-20); II (Testigo regional: 150 Kg/Ha de 10-30-10); I (Testigo absoluto) y X (Klip Mg).

Resumiendo los análisis de los dos semestres en que se realizó el experimento en Tunguavita se concluye que el Hierro no respondió en el rendimiento de granos por espiga en ningún semestre, y los otros que no actuaron indistintamente en cada semestre como el Zinc, Boro, Magnesio y Mezcla de Hierro y Manganeseo, quizá el motivo se debió a escasa disponibilidad en el suelo y la dosis aplicada fue insuficiente para alcanzar los rendimientos deseados u otro factor que ha podido influir fue el lavado por lluvias inmediatamente después de ser aplicado.

En el Centro Experimental de Cebada Tundama en el primer semestre de 1975 los tratamientos que dieron más rendimiento en cuanto al número de granos por espiga fueron X (Klip: Mg); XIII (Klip Zn – Solobur: Zn – B); VII (Klip Zn); V (Klip: Fe – Mn); IV (Klip: Fe – Mn); XI (Klip Cu) y XII (Solobur: B). Estos presentan una diferencia altamente significativa respecto a la diferencia de los promedios de los tratamientos: IX (Klip Fe); XIV (200 Kg/Ha de 10-20-20); VIII (Klip: Fe – Cu); II (Testigo regional: 150 Kg/Ha de 10-30-10) y I (Testigo absoluto).

Comparando los datos obtenidos en ambas Granjas se observa que el tratamiento a base de Hierro no actuó en ninguna de las repeticiones del experimento es decir, que los suelos de Paipa y Mosquera éste elemento no funciona en el aumento de los granos por espiga que puede ser debido a motivos ya comentados anteriormente, o que este elemento es poco usado en la formación del número de granos por espiga. También se puede observar el Manganeseo, la Mezcla de Hierro y Manganeseo, Hierro, Cobre, influyen poco en el rendimiento de granos por espiga. Es de observar que los tratamientos tratados con fertilizantes compuestos y micronutrientes. De todas maneras al tener mayor número de granos por espiga, tendremos una mayor producción de granos en el cultivo y por lo tanto una mayor producción, contando con todas las condiciones necesarias para sacar un buen rendimiento del cultivo de Cebada.

3.4. RENDIMIENTOS DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.

Tanto en la Granja de Tunguavita como en el Centro Experimental de Cebada Tundama, en ningún semestre de los que se realizó el experimento se presentó diferencia significativa entre el promedio de las diferencias entre los tratamientos, de manera que todos dieron un rendimiento semejante, excepto en comparación con el testigo absoluto y los tratamientos IV (Klip: Mg – Cu) y VIII (Klip: Mn), que presentaron los menores rendimientos en comparación con los restantes tratamientos del experimento. Se puede decir que el motivo por el cual no se presentaron diferencias entre los tratamientos han podido ser los fenómenos ambientales que se presentaron en el momento en que el grano estaba en estado pastoso no favoreciendo la buena formación de éste; ya que como se mostró anteriormente hubo tratamiento que aumentaron el número de macollas por planta, lo mismo que el número de granos por espiga por lo tanto debían de dar un mayor rendimiento.

3.5. PESO DE MIL GRANOS.

En el segundo semestre de 1974 en la Granja de Tunguavita el peso de mil granos se vió influenciado por la aplicación/de quelatos en los tratamientos VI (Klip: Fe – Cu); XIII (Klip: Zn – Solobur: Zn – B); VIII (Klip Mn); V (Klip Fe – Mn); IX (Klip Fe); XI (Klip Cu); III (Klip: mezcla general de quelatos); XIV (200 Kg/Ha grado 10-20-20 según análisis de suelos) y VII (Klip Zn), estos tratamientos se consideran como los mejores en relación con los tratamientos X (Klip Mg); II (Testigo regional: 150 Kg/Ha grado 10-30-10); XII (Solobur: B); IV (Klip: Mg – Cu); y I (Testigo absoluto), puesto que entre los primeros y los últimos nombrados existe una diferencia significativa. Los tratamientos tales como: el Magnesio y el Boro, la Mezcla Magnesio – Cobre, no respondieron en aumentar el peso de mil granos, porque tuvieron la misma respuesta que el testigo absoluto, los motivos que han podido ocurrir pueden estar por fenómenos de exceso de humedad, como el ocasionado por fuertes lluvias que se presentaron cuando el grano estaba en estado lechoso, o simplemente que estos elementos no influyen en el aumento de peso del grano.

En el primer semestre de 1975, en la Granja Tunguavita y en el Centro Experimental de Cebada Tundama, no se presentó diferencia significativa entre la diferencia de los promedios de los tratamientos, por lo que se concluye que todos los tratamientos produjeron un rendimiento similar excepto el del tratamiento testigo absoluto que muestra diferencia significativa con los demás tratamientos del experimento.

Por lo anteriormente expuesto se puede concluir que únicamente se aprecia cómo la falta de nutrientes del suelo no es el único obstáculo para la productividad, éstos pueden ser agregados como fertilizantes, una vez investigados los niveles adecuados de fertilización, en cambio las diferencias en algunas características de orden climático como la lluvia, pueden presentarse inundaciones y por lo tanto el amarillamiento, las oscilaciones de temperatura, altas y bajas tem-

peraturas no permiten una formación normal del grano debido a que se impide la absorción de nutrientes, lo cual trae como resultado de un promedio de rendimiento bajo en kilogramos por hectárea.

Como conclusión general se dice que la cebada si responde a la aplicación de micronutrientes especialmente en forma de quelatos orgánicos naturales y Solobur B, puesto que las variables como: el número de macollas por planta especialmente las de los tratamientos que se aplicaron las mezclas (Hierro - Cobre, Magnesio - Cobre, Hierro - Magnesio y general de quelatos), los tratados con Hierro, Cobre y Boto tuvieron un aumento altamente significativo en relación con los tres testigos (no se administro micronutrientes), teniendo estas mismas plantas a su alcance todos los factores necesarios para su buen desarrollo, como son:

condiciones favorables de luz, humedad, temperatura, suministro de las cantidades apropiadas de micronutrientes y macronutrientes especializados en cada factor de producción, hasta alcanzar el momento del beneficio o cosecha, se irán a transformar en número de espigas, (mayor número de granos por espigas) (micronutrientes anteriormente nombrados, Zinc y Manganese), más granos llenos con mayor densidad de peso (los tratamientos dieron mayor rendimiento en el peso de mil granos como son a base de las mezclas:

Hierro - Cobre, Zinc - Bogor, general de quelatos, los tratados con Hierro, Zinc y Manganese). Las condiciones físicas de la cebada mejoraron y desde luego también las propiedades químicas que conjuntamente dan una mayor calidad maltera y un gran rendimiento de grano por hectárea.

PROBLEMAS DE ELEMENTOS MENORES EN SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGOS ATLANTICO III (SANTA LUCIA - MALAMBITO)

Adel Gonzalez M. y Colaboradores ()*

INTRODUCCION

En la región Sur del Departamento del Atlántico unas 60.000 Has., estaban retiradas de un aprovechamiento agro-económico por ser zonas inundadas. Mediante obras de adecuación han sido parcialmente drenadas y hoy forman parte del área comprendida dentro del Distrito de Riegos Atlántico III, unas 45.570 Has. Son por su ubicación geográfica suelos cuaternarios recientes de origen fluvial, lacustre y fluvio-lacustre, de fertilidad variable.

Sin embargo, se han venido presentando pérdidas en cultivos a causa de clorosis y muerte descendente en los mismos. Los cultivos más afectados han sido cítricos, maíz, soya, algodón, sorgo. El arroz de riego bajo inundación mostró altos niveles de producción.

Hasta el momento se han reportado en la literatura asociaciones de los problemas con aspectos de posibles niveles muy altos de fósforo, con uno o varios de los elementos menores y aun con contenidos altos de sales y/o sodio.

Por consiguiente, las decisiones acertadas sobre las prácticas de manejo de estos suelos dependerán no solo de sus características físicas y químicas, sino de sus relaciones de fertilidad o capacidad de producir cosechas.

Por las anteriores razones esta investigación se orientó a despejar algunas dudas en cuanto a los altos contenidos de

fósforo total reportado en la literatura, la mineralogía de la fracción primaria de los suelos como su material parental y a su capacidad de liberar cationes mayores y menores bajo una condición simulada de meteorización. Además a observar si el boro soluble y el boro asimilable podían encontrarse en niveles tóxicos para las plantas.

REVISION DE LITERATURA

Fósforo: Generalmente se acepta que el P., por su bajo contenido en los suelos, unido a su escasa solubilidad y alto grado de fijación es de los elementos nutritivos mayores el más problemático de entender.

En los suelos del Distrito de Riegos Atlántico III, Fullerton et al (1973) atribuyeron los problemas de desordenes fisiológicos de la zona a excesos de fósforo en vista de que fueron encontrados valores altos de este elemento, especialmente con P total. Se reportaron para Malambito hasta 1.60/o de P total. Olsen y Christiansen (1974) trataron de corregir los desordenes fisiológicos presentados en frutales mediante reducción de la salinidad.

Por su parte Rubink (1973) trabajando en los mismos suelos sugirió estudios implicando los microelementos por cuanto estudios de corrección de la salinidad no mejoraron el estado de las plantas.

Según Bear (1969), Henwall (1957), Hall (1961), el fósforo total como P_2O_5 varía de 0.05 a 0.250/o y a veces a 0.50/o.

Fasbender et al (1968) hallaron en suelos de América

(*) U.N. Facultad Agronomía, Palmira. Granados, Armando; Nuñez, Antonio; Torres, Octavio; Arrieta, Guillermo; Daza, Dairo; Cabello, Miguel; Aramendiz, Hermes; Zuiuaga, Javier.

Central valores de P total entre 193 y 2.540 ppm., fósforo orgánico entre 10 y 2.316 ppm. y P inorgánico entre 122 y 1.713 ppm. Fasbender (1975) para la América Latina reporta extremos de P orgánico de 3 y 85o/o, siendo los valores de mayor frecuencia entre 25 y 85o/o.

Marín y León (1971) reportaron para la Costa Atlántica un promedio de P asimilable de 98.17 ppm. En suelos de Valledupar, Tafur (1969) encontró 415 ppm., de P total y 114 ppm. de P orgánico, siendo éste aproximadamente un 27o/o del total. Aparte las formas de P en el suelo (P - Ca, P - Fe, P - Al) se encuentran en cantidades muy variables, Fasbender (1975) anotó como línea divisoria entre la presencia de unos y otros la de pH CaCl_2 a 4.9, siendo más importante el P - Ca a pH encima de 4.9.

La fijación es otro factor muy importante en relación con la presencia del fósforo, según Donahue (1958) la fijación del P oscila entre 75 y 98o/o del fósforo asimilable aplicado al suelo. Castro y Osorio (1968) encontraron que suelos del Valle del Cauca y Departamento del Cauca fijaron hasta de 97o/o del P aplicado, siendo mayor la fijación a medida que se aumentaban la dosis de P asimilable aplicado.

James et al (1976) en su conclusión más importante anclaron que el P asimilable fue de moderado a muy alto en su contenido. Además que el fósforo total fue extremadamente alto y el Fe, Cu, Zn, C, Ni, extractables, fueron altos a

muy altos. Todos estos elementos fueron indígenas al suelo.

Mineralogía: La fracción de arena, en particular en los suelos aluviales recientes, juega un papel muy importante en la fertilidad de los suelos. Sus estudios mineralógicos se realizan en la subfracción conocida como arena muy fina, y se dividen en una fracción liviana si su densidad es menor de 2.85 y pesada si es mayor de 2.85 g/cc. Se conoce que los minerales pesados más comunes no son más de 60 y constituyen por peso aproximadamente 0.5o/o de la fracción detritica (Malagán, 1975).

Según Corral (1954), en estudios realizados en Australia, los minerales pesados en la fracción de arena del suelo suministraron un significado útil para el reconocimiento del material parental de esos suelos y anotaron además que hubo buena correlación entre el contenido de minerales ferromagnésicos de los residuos de arena y la alta riqueza en contenidos de Cu de las especies de Trebol subterráneo que crecieron en tales suelos.

González (1975) simulando procesos de meteorización al poner en contacto arenas lavadas y libres de óxidos férricos con una solución 0.1 M de ácido acético reportó para el Valle del Cauca la influencia de dos materiales parentales en la fertilidad de sus suelos. Anotó que la rociabasa en la misma solución tuvo un orden de liberación catiónica de Mg Ca Na K y para las arenas de suelos desarrollados de cenizas

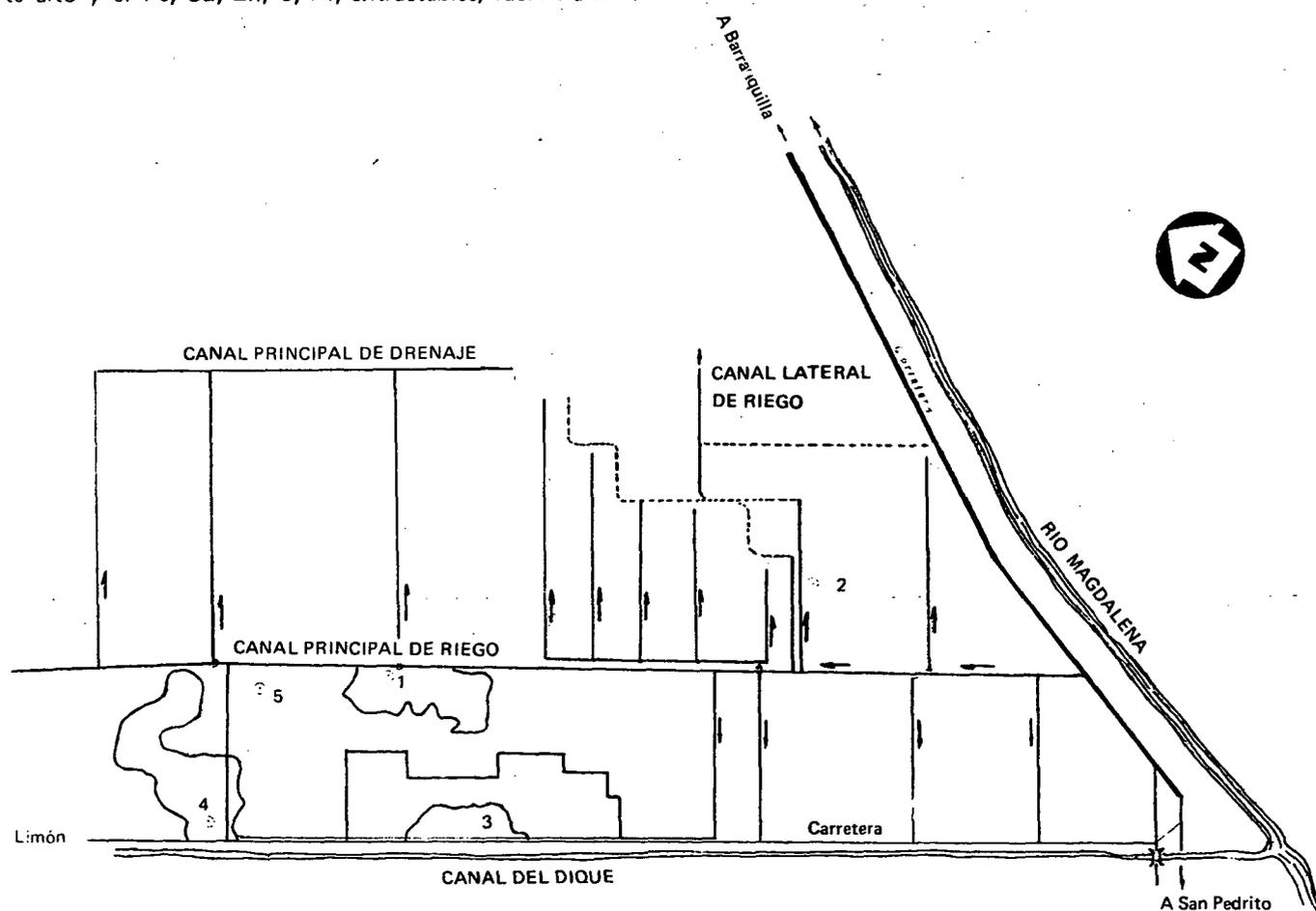


FIGURA 1. Localización Sitios de Muestreo. Distrito de Riegos Santa Lucía. Proyecto Atlántico 3. Escala 1:40.000.

volcánicas un orden de Na Ca Mg K. Agregó que la presencia de arcillas Vermiculitas y montmorillonitas en los suelos de las terrazas bajas del Valle guardaban relación con los ordenes encontrados de liberación catiónica por cuanto la literatura científica anotaba la afinidad de la Vermiculita por el Mg y la montmorillonita por el sodio, con las consecuencias que geológicamente eran de esperar en relación con las propiedades físicas de los suelos. Además, sugería que estas circunstancias podrían explicar la presencia en los suelos del Valle (de parte plana) de las relaciones invertidas de Ca a Mg.

Según Jackson (12), el boro soluble en agua caliente puede variar de 0.2 a 1.5 ppm, pero Sobrinho (18) analizando suelos del estado de Sao Paulo encontró valores de 0.05 a 0.32 ppm.

Garavito (1976) reportó para el suelo del Valle del Cauca valores de Boro total que variaron de 7.5 a 141 ppm. y de boro asimilable, determinado por el método de Hunter entre 0.12 y 0.34 ppm.

MATERIALES Y METODOS

Los suelos estudiados se encuentran dentro del triángulo formado por el Río Magdalena, el canal del Dique y una línea imaginaria que une las poblaciones de Reolón y Puerto Giraldo. Tiene un clima tropical húmedo y seco con temperatura media de 28°C y precipitación media anual de 1.000 mm. con humedad ambiental que oscila entre 50o/o durante el día y 98o/o durante la noche.

De acuerdo con el mapa representado en la figura No. 1 se localizaron cinco sitios cuyas características de profundidad y naturaleza química se presentan en la Tabla No. 1.

Las diferentes formas de fósforo y la capacidad de fijación se estudiaron en las cinco capas u horizontes superficiales. Las observaciones mineralógicas de simulación de la fracción de arenas se realizaron en las capas u horizontes (superficiales).

Las formas de fósforo en el suelo se determinaron siguiendo el método de Chang y Jackson. (1947) con modificaciones de otros autores entre ellos Williams (1967).

La capacidad de fijación se determinó según el método que se describe en el apéndice.

La obtención de las arenas para estudios mineralógicos y de solubilidad se consiguió mediante su fraccionamiento con exametafosfato de sodio como para la determinación textural, separando los limos y arcillas por decantaciones sucesivas. Seguidamente se hicieron tratamientos con H₂O₂ para la eliminación de m. o. Después de otros lavados de la fracción de arenas se hizo un tratamiento con detionito de sodio con el fin de separar los óxidos ferricos, cuidando que la reacción no ocurriera a temperaturas mayores de 80°C para evitar pérdidas de hierro estructural. Estos últimos tratamientos fueron seguidos de lavados sucesivos con agua desmineralizada después de un lavado con HCl. 0.1 N, hasta que el filtrado estaba libre de Cloruros.

La fracción entre 50 y 100 micras de uso para las observaciones mineralógicas y la determinación de minerales pesados (2.9 g/cc), por medio de la técnica con bromofomo.

Con el fin de estudiar la capacidad de las arenas para li-

TABLA No. 1 Nomenclatura de los materiales de suelos estudiados.

P ₁ 0 - 25	Horizonte A de un suelo aluvial con características químicas salino-sódicas.
P ₁ 55 - 80*	Subsuelo correspondiente al horizonte A denominado P ₁ 0 - 25, con características químicas similares.
P ₂ 0 - 40	Horizontes A de un suelo aluvial con características químicas normales.
P ₂ 40 - 95	Subsuelo correspondiente al horizonte A denominado P ₂ 0 - 40, con características similares.
P ₃ 0 - 40	Horizonte A de un suelo aluvial con características químicas salino-sódicas.
P ₃ 40 - 90	Subsuelo correspondiente al horizonte A denominado P ₃ 0 - 40, con características químicas similares.
P ₄ 0 - 18	Horizonte A de un suelo aluvial con características químicas normales.
P ₄ 18 - 60	Subsuelo correspondiente al horizonte A denominado P ₄ 0 - 18 con características químicas similares.
P ₅ 0 - 18	Horizonte A de un suelo aluvial con características químicas normales.
P ₅ 18 - 90	Subsuelo correspondiente al horizonte A denominado P ₅ 0 - 18 con características químicas similares.

* No se tomó la de 25-55 por cuanto aparecía más homogénea la de 55-80 aunque entre las dos (Ver apéndice) no se encontró diferencias apreciables.

berar cationes en una solución 0.1 M de ácido acético, se agregaron a cada 10 grs de arena seca 100 cc de dicha solución. Así, cada 12 - 24 - 48 - 72 - 96 - 120 - 168 - 240 - 336 horas se fue decantando cada frasco plástico y la solución usada en la determinación de Ca - Mg - K - Na - Fe - Mn - Cu - Zn. Estas determinaciones se hicieron con aparato de absorción atómica.

El boro asimilable se determinó por extracción con agua caliente y el boro soluble se midió también colonimétricamente en un extracto de saturación (Wear, 1965).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se presentan en el siguiente orden: A. Estudio con fósforo. B. Estudio mineralógico. C. Estudio de Liberación de cationes.

A. Estudio con fósforo: Las cinco capas superficiales o vegetales fueron tratadas con 0 - 50 - 100 - 200 y 400 ppm de P como fosfato ácido de potasio. Posteriormente se hizo la extracción de P y se midió el o/o de recuperación. La Ta-

bla No. 2 muestra los o/o de P fijado. En la Tabla No. 3 se presentan los resultados obtenidos al medir las formas de P en los suelos, antes y después de agregar 100 y 200 ppm de P en forma de fosfato ácido de potasio.

De acuerdo con estos resultados los suelos mostraron un alto grado de fijación que vario de 31.37 a 96.47o/o, siendo menor la fijación en los suelos salino-sódicos que en los normales. Además, en todos los suelos la fijación aumentó con los incrementos de P.

En la Tabla No. 3, se puede observar para los diferentes suelos las diferentes formas de fósforo en ellos, aun cuando se agregaron 100 y 200 ppm. de P como fosfato ácido de potasio. Se puede destacar que no se encontró fósforo unido al Al; las diferentes formas de fósforo mostraron incrementos cuando se agregaron 100 ppm pero disminuyeron con las aplicaciones de 200 ppm, excepto en las cosas de fósforo fácilmente reemplazable de los suelos P₃ y P₄. Obsérvese que el fósforo fácilmente reemplazable no se detecto bajo las condiciones originales de los diferentes suelos.

TABLA No. 2 Fosforo (P) fijado en cinco suelos del Distrito de Riegos Atlántico III.
(Las observaciones se hicieron en los horizontes A de los cinco perfiles estudiados).

Muestra y Tratamiento	o/o P fijado	Clasificación
P ₁ - Testigo	-	Suelo salino-sódico
P ₁ - 50 ppm.	49.00	
P ₁ - 100 ppm.	68.52	
P ₁ - 200 ppm.	79.33	
P ₁ - 400 ppm.	86.24	
P ₂ - Testigo	-	Suelo normal.
P ₂ - 50 ppm.	72.18	
P ₂ - 100 ppm.	77.90	
P ₂ - 200 ppm.	88.12	
P ₂ - 400 ppm.	83.00	
P ₃ - Testigo	-	Suelo salino-sódico.
P ₃ - 50 ppm.	31.37	
P ₃ - 100 ppm.	45.94	
P ₃ - 200 ppm.	48.90	
P ₃ - 400 ppm.	62.00	
P ₄ - Testigo	-	Suelo normal
P ₄ - 50 ppm.	90.10	
P ₄ - 100 ppm.	94.62	
P ₄ - 200 ppm.	95.60	
P ₄ - 400 ppm.	96.47	
P ₅ - Testigo	-	Suelo normal.
P ₅ - 50 ppm.	69.46	
P ₅ - 100 ppm.	78.42	
P ₅ - 200 ppm.	85.60	
P ₅ - 400 ppm.	84.35	

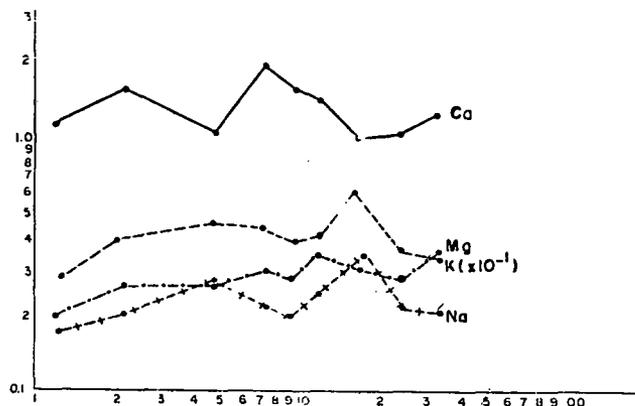


FIGURA 2. Iones disueltos de Ca, Mg, Na y K de la fracción de arenas, libres de óxidos ferricos, de muestras de suelo (Horizontes A) del distrito de riegos Atlántico III, después de estar en contacto con una solución 0.1M de ácido acético. Resultados expresados en me/l.

Las formas de fósforo unidas al Calcio, tanto apatíticas como no apatíticas, se observan en proporciones que no difieren apreciablemente unas de otras sino en contados casos como el del suelo P₅, en donde la preferencia del fosfato agregado fue hacia las formas de Ca no apatítico.

Excepto en el suelo P₁ la forma de P - Fe fue menos alta que la forma de P - Ca (total), sin embargo, bajo condiciones naturales del suelo el P - Fe ocupó una alta proporción en comparación con el P - Ca (total).

B. Estudio con la fracción de arenas. Con arenas alrededor de las 150 micras de diámetro equivalente, libres de óxido férrico, se procedió a la determinación de los minerales pesados y estimaciones de contenidos de cuarzo, plagioclasa y ortoclasa por medio de procesos de tinción.

Los minerales pesados constituyeron porcentajes altos se-

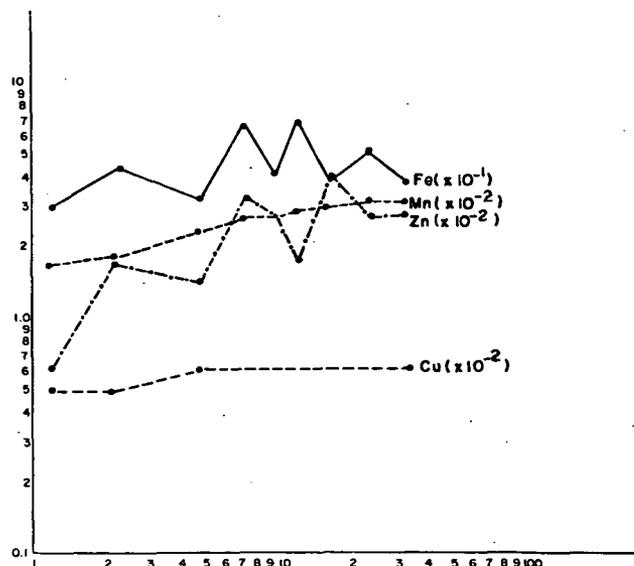


FIGURA 3. Iones disueltos de Fe, Mn, Zn y Cu de la fracción de arenas, libres de óxidos ferricos, de muestras de suelo (Horizontes A) del distrito de riegos Atlántico III, después de estar en contacto con una solución 0.1M de ácido Acético. Resultados expresados en me/l.

TABLA No. 3 Distribución (o/o) de las formas de P en suelos del Distrito de Riegos Atlántico III, antes y después de agregar 100 y 200 ppm. de P como fosfato ácido de potasio. (Las observaciones se hicieron en los horizontes A de los cinco perfiles estudiados).

P agregado ppm	P Fácilmente reemplazable	P - Ca no apatítico	P - Ca apatítico	P - Ca total	P - Fe	P - Al
0	0.00	2.94	3.55	6.49	21.02	0
P ₁ 100	1.87	21.25	16.25	37.5	60.62	0
200	0.74	8.34	16.69	25.04	74.21	0
0	0.00	4.15	4.02	8.18	7.14	0
P ₂ 100	5.12	35.89	33.33	69.23	25.64	0
200	1.08	33.69	19.56	53.26	45.65	0
0	0.00	5.18	5.85	11.03	6.76	0
P ₃ 100	6.45	55.91	25.80	81.71	11.82	0
200	6.99	24.47	43.35	67.83	25.17	0
0	0.00	7.48	7.06	14.55	5.51	0
P ₄ 100	2.66	36.0	48.0	84.0	13.33	0
200	3.30	43.80	23.96	67.76	28.92	0
0	0.00	7.12	3.39	10.52	7.24	0
P ₅ 100	7.69	61.53	15.38	76.92	15.38	0
200	4.37	41.57	13.56	55.14	40.48	0

gún se aprecia en la Tabla No. 4. Además, todos los minerales pesados respondieron fuertemente al magnetismo.

Garaviyo (1976) para cuatro perfiles del Valle del Cauca reporto para los horizontes A un promedio de 8.2o/o y para las capas inmediatamente subyacentes un promedio de 5.2o/o.

Tal parece que los suelos aluviales recientes de la región tropical colombiana son ricos en minerales pesados y ello influye en su alta fertilidad.

C. Liberación de Cationes: En la tabla 5, se incluyen los valores de las concentraciones de Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Zn, Cu, medidas a los diferentes tiempos de reacción. Las figuras 2 y 3, que representan dichos valores, muestran mas

TABLA No. 4 Promedios en capas superficiales y subsuperficiales de minerales livianos y pesados.

	Cuarzo o/o	Plagioclasa o/o	Ortoclasa o/o	Minerales pesados o/o
Horizontes A (Superiores)	84.91	7.94	2.39	4.77
Horizontes B (Subsuperficiales)	88.16	4.39	2.65	7.62

claramente como el orden de liberación fue Ca Mg Na K en el caso de los elementos mayores y Fe Mn Zn Cu en el de los menores. En el caso de los elementos mayores no se observan relaciones inversas de Ca a Mg; pero, en el caso de los elementos menores si parece que pudiese descartarse el Cu por ser el elemento que siempre se encuentra en más baja cantidad. Por otra parte, el Fe que apareció como el más alto en concentración fue el que se encontró asociado en forma apreciable con el P como P - Fe y debio formar parte importante de los minerales pesados debido a su alto magnetismo.

En la Tabla No. 6 se observan los valores obtenidos para el Boro asimilable y Boro soluble. Los promedios generales no muestran que este elemento químico pudiera ser el causante de las fallas fisiológicas de los cultivos.

Los niveles más altos se encontraron en los suelos salino-sódicos, sin ser excesivamente altos.

RESUMEN

Los suelos de las fincas Santa Lucía y Malambito, dentro del Distrito de Riegos, presentan problemas de fertilidad que se han venido estudiando hace algún tiempo. Plantaciones de cítricos, maíz, soya y otras plantas muestran serios disturbios fisiológicos que han sido atribuidos a problemas de salinidad y/o alcalinidad como también a problemas de elementos menores. En consecuencia se procedió a estudiar en cinco perfiles de suelos escogidos de acuerdo con un ma-

TABLA No. 5 Iones disueltos de la fracción de arenas libres de óxidos férricos de cinco muestras de suelo (Horizontes A) del Distrito de Riegos Atlántico III, después de estar en contacto con una solución 0.1 M de ácido acético durante varios tiempos. Resultados expresados en me/1.

Horas:	12	24	48	72	96	120	168	240	336
Ca	1.130	1.529	1.039	1.932	1.550	1.424	0.997	1.013	1.268
Mg	0.199	0.256	0.250	0.296	0.284	0.352	0.308	0.280	0.375
Na	0.169	0.202	0.272	0.221	0.201	0.252	0.357	0.215	0.208
K	0.029	0.040	0.047	0.043	0.039	0.042	0.064	0.037	0.035
Fe	0.030	0.044	0.032	0.065	0.040	0.066	0.038	0.050	0.038
Mn	0.017	0.018	0.023	0.026	0.026	0.027	0.028	0.031	0.031
Zn	0.007	0.017	0.014	0.031	0.026	0.017	0.039	0.027	0.028
Cu	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006

TABLA No. 6 Determinaciones de Boro en diez muestras del suelo (horizontes superficiales y subsuperficiales) del Distrito de Riegos Atlántico III. Boro asimilable y Boro soluble determinados por extracción con agua caliente y extracto de pasta saturada, respectivamente.

	Boro Asimilable ppm	Boro soluble ppm
P ₁ 0 – 25 cm	1.43	1.38
P ₁ 55 – 80 cm	0.90	0.65
P ₂ 0 – 40 cm	0.28	0.14
P ₂ 40 – 95 cm	0.32	0.27
P ₃ 0 – 40 cm	0.55	0.31
P ₃ 40 – 90 cm	0.61	0.33
P ₄ 0 – 18 cm	0.29	0.29
P ₄ 18 – 60 cm	0.28	0.10
P ₅ 0 – 18 cm	0.39	0.05
P ₅ 18 – 90 cm	0.35	0.02
\bar{X} (Horizontes A)	0.58	0.43
\bar{X} (Horizontes B)	0.51	0.27

pa de suelos de la zona, algunos aspectos que consistieron en analizar.

1. La mineralogía de la fracción de arenas en cuanto a la determinación de su fracción pesada, encontrándose que ésta fue del orden de 4.77o/o para el horizonte superficial y de 7.62o/o para el horizonte subyacente. Además que esta fracción pesada respondió marcadamente a los ensayos de magnetismo.

2. La capacidad de los suelos (horizontes superiores) para dejar fosfatos y el fraccionamiento de sus formas naturales de fósforo, encontrándose que tuvieron una fijación que varió del 31 a 96o/o, mientras que su fraccionamiento mostró que el 63.4o/o estaba unido al calcio (apatítico más no

apatítico) y 32o/o unido al hierro. No se detectó fósforo unido al aluminio.

3. Se estudió la capacidad de sus arenas para liberar cationes en una solución 0.1 molar de ácido acético encontrándose que el orden de liberación hasta 336 horas de reacción fue para los elementos mayores Calcio, Mn, Na, K en los horizontes superiores. Por otra parte los para elementos menores estudiados el orden de liberación fue Fe. Zn. Mn. Cu, en los horizontes superiores. Se aceptó que los elementos menores que podrían estar envueltos en los problemas de fertilidad de la zona serían el hierro y el Zinc.

BIBLIOGRAFIA

1. BEAR, P. E. 1963. Química del suelo. Trad. J de la Rubia Pacheco. Interciencias. Madrid 1o. Ed. 435 p.
2. CARROL, D. (1944) Mineralogical examination of some soils from south western Australia. Jour Dept. Agric. West Aust 21:85-93.
3. CASTRO, E. y M. OSORIO (1968) Fijación de P en dos suelos ácidos de Colombia con o sin aplicaciones de Cal. Tesis Facultad de C. Agrop. Palmira. Sin publicar.
4. DONAHUE, R. L. (1958). An introduction to the soils and plant growth. Prentice Hall 349 p.
5. FASBENDER, H. W. et al 1968. Estudio del P en América Central II. Formas y su relación con las plantas. Turrialba. Costa Rica 18(4): 333-341.
6. FASBENDER, H. W. (1975) Química de Suelos II. Costa Rica. 398 p.
7. FULLERTON, T. M. et al. 1973. Terminal report on form water management Research program. el tah st. Univ. 46 p.
8. GARAVITO, F. 1976. Propiedades del suelo en relación con deficiencias de Boro en el Valle del Cauca, Tesis Programas de graduados U. Nal. I.C.A. Bogotá. Colombia. Sin publicar.
9. GONZALEZ A. 1975 Influencia de los materiales parentales en la fertilidad de los suelos del Valle del Cauca (Parte plana) Colombia S.A. Tesis de promoción sin publicar.
10. HALL, A. D. 1961. Estudio científico de Suelos. Trad. J. García V. Aguilar. Madrid 5a. Ed. 312 p.

11. HENWALL, J. B. 1957. The fixation of P by soil. In advances in Agronomy. Acad. Press. New York. 9:95-111.
12. JACKSON, M. L. 1958. Soil chemical analysis. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J.
13. JAMES, D. et al. 1976. Chemical and physical characterization of problem soils in the Atlantico III. Irrigation District. Atlantico, Colombia. UTAH st. Univ.
14. MALAGON, C. D. 1975. Mineralogía de suelos IGAG. Vol. XI. No. 1. Bogotá, D.E.
15. MARING G. A. LEON. 1971. Generalidades sobre la fertilidad de los suelos Colombianos ICA. Bol. Tec. 24 p.
16. ALSEN, EC y J. Christiansen, 1974. Land drainage and soil reclamation procedure. Utah st. Univ. 127 p.
17. TUBINK, W. L. 1973. An intensive edaphological characterization of the soil of malambilo Expp Sta. and its implication in future agriculture research, Tesis M.Sc. Utah St. Univ. 81 p.
18. SOBRINHO, BRASIL, M. P. C. 1965. Levantamiento do teor de Boro en alguns solos do Estado de Sao Paulo. Piracicula. Tesis. 135 pp mimeografadas.
19. TAFUR, N. V. 1969. Fraccionamiento del P en algunos suelos del Valle del Sinú. Cordoba. Revista ICA (Colombia) 4(2): 59- 69.
20. WEAR, John. 1965. Boron. In: Methods of soil analysis. Agronomy 9. part 2. p. 1059 - American Soc. of Agron.
21. WILLIAMS, J. D. 1967. Fractionation of soil inorganic phosphate by a modification of Chang and Jackson's procedure sss Anar. Proc. 31: 736.

APENDICE

CAPACIDAD DE FIJACION DE P POR LOS SUELOS

Se pesan 20 grs. de suelo seco al aire y tamizado.

Se colocan en 5 erlenmeyers de 250 ml. c/u. Se añade a cada erlenmeyers con suelo, 10 ml. de c/u. de las soluciones conteniendo 50, 100, 200 y 400 ppm. P. Se incluye un blanco al que solo se le añade 10 ml. de agua destilada.

Se incuban los suelos durante 48 hs. a 35°C. Se secan los suelos al aire y se les extrae al P con 80 ml. del reactivo de Melich, (HCL 0.05 N + H₂SO₄ 0.025 N), después de agitarse por 5 min. y filtrar.

Se desarrolla color para P, en una alícuota de 2 ml. a la cual se añaden 18 ml. de la solución para desarrollar el color. A los 20 min. se lee en el colorimétrico a 660 micras.

P fijado = (P del suelo + P añadido) - P extraído.

El P del suelo y el P extraído se determinan extrayéndolo con el reactivo de Melich. El P del suelo corresponde al tratamiento testigo o blanco.

SOLUCIONES

Solución para desarrollar el color.

a) Solución Steck de Molidato de Amonio en 200 ml. de agua destilada. Si es necesario caliente a unos 60°C hasta que la solución se torne clara, y deje enfriar (no queda totalmente clara). Disuelva 1.455 grs. de Tartrato de Sb y K, en la solución de Molibdato. Se añaden lentamente 700 ml. de H₂SO₄ metiendo el recipiente en agua por ser de reacción violenta y cuidándose de los gases. Enfríe y diluya a un volumen final de 1000 ml. Esta solución es azul pero desaparece el color cuando se diluye para su uso. Guardarla en la oscuridad y bajo refrigeración.

b) Solución Stock de Acido Ascorbico.

Disolver 132 grs. de Acido Ascorbico, en agua destilada y diluya a un volumen final de 1000 ml. Guardar en la oscuridad y bajo refrigeración.

c) Solución de Trabajo.

A preparar el día que la necesite, añadiendo 25 ml. de la solución (a) en unos 800 ml. de agua destilada, agitar y añadir 10 ml. de la solución (b) y completar a 1000 ml.

DETERMINACION DE SELENIO EN SUELOS Y MATERIAL VEGETAL, ESTUDIO DE LA INHIBICION DE SU ABSORCION EN RAYGRASS (*Lolium multiflorum*)*

Clara Inés Torres M.; Manuel Jiménez G.;

Rodrigo Lora Silva; Josué Quintero Q. **

1. INTRODUCCION

El exceso de selenio en el suelo produce una enfermedad denominada seleniosis en los animales y humanos que ingieren la vegetación que crece en él.

En Colombia se ha reportado seleniosis en extensas zonas, las cuales permanecen marginadas, a pesar de poseer características apropiadas para ser explotadas por el sector agropecuario. Este problema es grave si se considera que la producción de carne y leche puede reducirse en más del 50% en las regiones afectadas.

Es, por tanto, necesario investigar, técnicas para resolver el problema de los suelos seleníferos teniendo como punto de mira principal reducir el contenido de selenio de las plantas.

Los objetivos del presente estudio son:

a) Optimizar una técnica práctica, sensible y precisa para la determinación de selenio en suelos y material vegetal.

b) Determinar el efecto de sulfato de calcio, cloruro de calcio, sulfato de bario y cloruro de bario como inhibidores de la absorción de selenio por plantas.

c) Estudio del selenio disponible en el suelo, extraído por dos métodos diferentes.

El presente trabajo es parte del proyecto de Micronutrientes que adelanta la cátedra de Química Agrícola en la Universidad Nacional y corresponde a la primera fase del proyecto "Estudio de la seleniosis en Colombia", que adelanta el Programa de Suelos del ICA, con ayuda financiera de COLCIENCIAS.

II. REVISION DE LITERATURA

Los suelos con contenidos de selenio total mayor de 0.5 ppm son catalogados como seleníferos y considerados, capaces de producir vegetación selenífera, es decir, vegetación altamente tóxica para animales y humanos (1) (2).

En Colombia han sido reportadas zonas seleníferas en regiones de Villa de Leyva, Puerto Boyacá, Utica, Villera, Sasaima, Marfa La Baja y, en general, en toda la región a orillas del Río Negro (3).

La intoxicación con selenio se presenta en dos formas:

a) Envenenamiento crónico o "alkali disease". Ocurre cuando los animales consumen plantas que contienen de 3 a 20 ppm de selenio por un tiempo prolongado.

b) Envenenamiento agudo o "blind staggers". Ocurre cuando los animales consumen plantas que contienen de 400 a 800 ppm de selenio. En ambos casos se presentan

trastornos audiovisuales, pérdida de peso, pérdida de vitalidad, cojera, problemas respiratorios y del miocardio y, por último, sobreviene la muerte (4).

Numerosos ensayos han hecho los investigadores en este campo para la rehabilitación de suelos seleníferos. Entre los principales se tienen:

1. Lixiviando el elemento al formar compuestos solubles (5).

2. Fijando el elemento en el suelo al formar compuestos definitivamente insolubles. Método utilizado por Ravikovich y Margoling los cuales adicionaron a suelos seleníferos de Israel diferentes niveles de cloruro de bario, sulfato de calcio y bifosfato de calcio. Encontraron respuesta altamente positiva a la inhibición de la absorción de selenio en alfalfa con las dos primeras sales.

3. Adicionando sulfatos al suelo, los cuales presentan competencia radicular con los selenatos y disminuyen, por tanto, el contenido del elemento en la planta (7).

En la evaluación de microcantidades de selenio se utilizan técnicas colorimétricas, de cromatografía de gases de espectrofotometría de absorción atómica, polarográficas, de fluorescencia de rayos X, fluorométricas y de activación neutrónica (8). En la actualidad los dos últimos métodos son los más utilizados y, aunque, ambos tienen precisión y sensibilidad comparables, los primeros requieren equipo más sencillo y fácilmente se ajustan a las necesidades de una técnica de rutina (8).

En estos se cuantifica la fluorescencia debida a los piase lenoles o complejos formados al reaccionar el selenio (IV) con el 2.3 diaminonaftaleno o con la 3.3 diaminobencidina (8). El primero presenta algunas ventajas, pero tiene como grave inconveniente su consecución en el mercado nacional. El otro es más exigente en condiciones pero se consigue con relativa facilidad (8).

III. MATERIALES Y METODOS

III.1. PREPARACION DE LAS MUESTRAS.

III.1.1. Muestras de suelo.

Se secaron en una estufa con ventilación a 50°C, durante 48 horas, luego se molieron y tamizaron sobre una malla de 2 mm.

III.1.2. Muestras de tejido vegetal.

Las muestras recién cortadas se lavaron con agua destilada y desmineralizada. Luego guardadas en bolsa de papel, previamente perforadas y colocadas en una estufa con ventilación, hasta peso constante 72 horas. Luego fueron molidas y tamizadas.

III.2. PROCEDIMIENTO DE DIGESTION MODIFICADA, PARA MUESTRAS DE SUELO Y TEJIDO VEGETAL.

En un balón de digestión se pesan 0.2000 gr de muestra

* Contribución del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia, y de la División de Agronomía (Programa de Suelos) del Instituto Colombiano Agropecuario.

** Respectivamente: Estudiantes egresados del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia, Ingeniero Químico M.S., Programa de suelos Instituto Colombiano Agropecuario, Profesor Asociado del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia.

seca, molida y tamizada y se añaden 3 ml de HNO_3 conc. Se agita suavemente y se deja en reposo durante la noche. Luego se añaden unas perlas de vidrio previamente lavadas con HNO_3 conc. y 7 ml de CH_3OH . Se calienta suavemente y se va incrementando la temperatura hasta obtener 50°C .

Esta temperatura se mantiene hasta que la efervescencia en el balón desaparezca. Se enfría y se añaden lentamente y por las paredes del balón 2 ml de HClO_4 al 70o/o y se calienta entre 60 y 70°C , hasta que del balón de digestión no salgan vapores amarillo-rojizos. Se incrementa luego la temperatura hasta 125 - 130°C y se mantiene esta temperatura hasta que aparezcan en el balón humos blancos permanentes y 15 minutos más. Se deja enfriar y se añaden lentamente y por las paredes del balón 2 ml de agua destilada y desmineralizada. Se agita suavemente y se calienta entre 125 - 130°C hasta que aparezcan en el balón blancos permanentes y 5 minutos más. Se enfría y se adicionan nuevamente 2 ml de agua destilada y desmineralizada y se repite la operación.

III.3. REDUCCION DEL SELENIO PRESENTE EN EL DIGERIDO A ESTADO + 4

Una vez diferida la muestra se adicionan al balón de digestión 10 ml de HCl 4.5 N y se calienta a ebullición durante 10 minutos y luego se enfría.

III.4. DETERMINACION FLUOROMETRICA DEL SELENIO PRESENTE.

Una vez fría la muestra diferida y reducida, se le agregan en estricto orden: 1 ml de HCOOH conc., 10 ml de EDTA 0.1 M y 2 gotas de púrpura de metacrisol. Se titula lentamente con NH_4OH 6 N hasta un pH entre 2.0-2.4 (viraje amarillo-rojizo del indicador) y se añade 1 ml de solución al 0.3o/o de 3-3' diaminobencidina. Se agita suavemente y se deja en reposo y en la oscuridad por 30 minutos y luego se titula lentamente en semioscuridad (luz de tungsteno de baja intensidad) con NH_4OH 6N hasta un pH entre 7.0 y 7.4 (viraje violeta suave del indicador). Se añaden 5 ml de tolueno, se tapa y se agita fuertemente por 30 segundos. Se deja en reposo, el tiempo mínimo necesario para que se separen las capas y se extrae la capa orgánica, a la cual se le determina su porcentaje de fluorescencia, contra un "blanco" preparado en las mismas condiciones, utilizando un fluorímetro Turner 110 con los siguientes filtros: 2A +47B para el filtro primario y 2A - 12 para el filtro secundario. El contenido de selenio presente se obtiene al interpolar la fluorescencia de la muestra en una curva de calibración previamente preparada utilizando Na_2SeO_3 , la cual ha sido sometida a igual proceso.

III.5 ESTUDIO DE LA INHIBICION DE LA ABSORCION DE SELENIO EN RAYGRASS Y ESTUDIO DE LA DISPONIBILIDAD DEL SELENIO EN EL SUELO.

III.5.1. Descripción del suelo utilizado.

Es proveniente del municipio de Puerto Boyacá a orillas del río Negro. Es un suelo casi neutro, con un contenido normal de materia orgánica, un contenido medio de fósforo

disponible, alta capacidad catiónica de cambios y alta saturación de calcio. Contiene 13.90 ppm de selenio total; 0.99 ppm del selenio extractable por el método de Williams (9) y 2.90 ppm del selenio extractable por el método de Cary y Giessel-Nielsen (7).

III.5.2. Planta indicadora.

Fue utilizada como planta indicadora, pasto raygrass *Lolium multiflorum*.

III.5.3. Ensayo de invernadero.

Se mostraron dos ensayos paralelos de invernadero; en ellos se estudió el efecto del sulfato de calcio, cloruro de calcio, sulfato de bario y cloruro de bario, adicionados a un suelo selenífero en 7 niveles diferentes, como inhibidores de la absorción del selenio por la planta y además se determinó el efecto de estos correctivos sobre el selenio "disponible" del suelo extraído por dos métodos diferentes.

Los niveles usados en todos los casos fueron: 2; 250; 500; 750; 1000; 1250 y 1500 kg/Ha y en ambos ensayos se siguió un diseño de bloques al azar.

Los materiales se incorporaron al suelo, el cual previamente, había sido seco al aire, molido y tamizado sobre malla de 2 mm; se dejaron en incubación por 18 días a una humedad equivalente a la capacidad de campo y luego se sembró pasto raygrass (*Lolium multiflorum*), 45 días después se efectuó el corte.

En el ensayo A (4 replicaciones) se determinó:

- Rendimiento en base seca.
- Contenido de selenio del tejido vegetal.

En el ensayo B (3 replicaciones) cada 15 días se tomaba muestra de suelo de cada pote y se determinaba:

- pH
- Contenido de selenio extractable, según Williams.
- Contenido de selenio extractable, según Giessel-Nielsen y al tejido vegetal proveniente del corte se le determinó contenido de selenio.

En ambos casos los resultados se analizaron estadísticamente de acuerdo al diseño seguido.

III.5.4. Método de Williams y Thronton (9), para determinar selenio disponible en un suelo.

En un erlenmeyer se pesan 20 gramos de suelo seco, molido y tamizado sobre malla de 2 mm y se añaden 100 ml de una solución de EDTA 0.05 m se coloca en un agitador mecánico y se deja en extracción por 24 horas, luego de las cuales se centrifuga a 2000 R.P.M. por 20 minutos.

Se toma una alícuota del sobrenadante, se digiere para eliminar materia orgánica y se determina su contenido de selenio siguiendo el método descrito.

III.5.5. Método de Cary y Gissel-Nielsen (7) para determinar selenio disponible en un suelo.

En un erlenmeyer se pesan 20 gr de suelo seco, molido y tamizado sobre malla de 2 mm y se añaden 100 ml de una solución de CaCl_2 0.01 m. Se agita mecánicamente durante 5 minutos y se centrifuga por 20 minutos a 2000 R.P.M. Se toma una alícuota del sobrenadante y se determina selenio siguiendo el método descrito.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

IV.1. DETERMINACION DE SELENIO EN SUELOS Y FORRAJES.

IV.1.1. Determinación fluorométrica con 3,3' diamino-bencidina.

a. Al tomar los espectros de activación y emisión del complejo Se-DAB y del blanco de reactivos se encontró que la longitud de onda de activación de dicho complejo es 420 nm y emite luz de longitud de onda igual a 560 nm.

b. El pH del medio, tanto en el momento de la reacción como en el momento de la extracción del complejo con tolueno desempeña, un papel muy importante en la determinación. Se encontró un rango de pH óptimo de reacción entre 2.0 - 2.5 y un rango de pH óptimo de extracción entre 6.8 - 7.5.

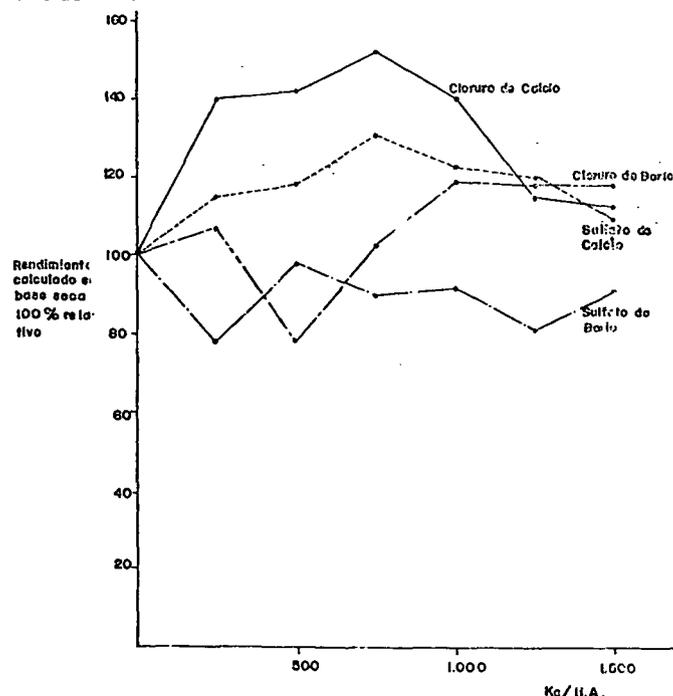
c. El tiempo óptimo de reacción es de 30 minutos.

d. Para la formación del complejo Se-DAB, es necesario que el selenio se encuentre en forma (IV).

e. El tiempo de agitación para la extracción del complejo con tolueno no tiene mayor importancia en la determinación y se obtienen buenos resultados con 1 minuto.

f. Al efectuar las determinaciones de fluorescencia en fluorímetro Turner 110 se encontró una sensibilidad de 0.03 de Se/5 ml de tolueno y el método es confiable para determinación cuantitativa de selenio en un rango de 0.03-7.50g.

g. Es necesario efectuar la reacción en oscuridad y proteger el complejo de la acción de la luz haciendo las medidas de fluorescencia en semioscuridad con luz de tungsteno de baja intensidad, en los siguientes 30 minutos después de la extracción.



GRAFICA 1. Efecto de la adición de cloruro de calcio, sulfato de calcio, cloruro de bario, y sulfato de bario, a un suelo selenífero, sobre los rendimientos producidos por el lolium multiflorum. Rendimiento vs Kg/Ha.

IV.1.2. Reducción cuantitativa de selenio (VI) a selenio (IV).

Al reducir alícuotas de selenio (VI), provenientes de Na_2SeO_4 , con HCINH y ebullición por 10 minutos se encontró reducción cuantitativa del elemento a su estado (IV).

IV.1.3. Digestión de muestras de suelo y tejido vegetal.

Mezcla de digestión: $\text{HNO}_3 + \text{MeOH} + \text{HClO}_4$. El procedimiento de digestión se describió en el numeral III-2.

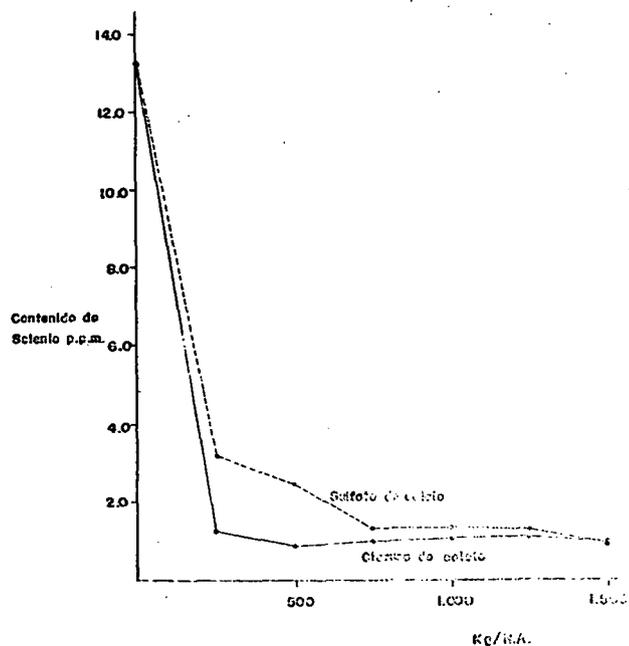
La adición de MeOH a la mezcla de digestión evita excesos de temperatura en las primeras fases de la digestión y minimiza, por tanto, las pérdidas durante el proceso.

Con este procedimiento de digestión se encontró un porcentaje de recuperación promedio de 98.50/o.

IV.1.4. La desviación standar del método (incluyendo los procesos de digestión, reducción y determinación fluorométrica es ± 0.011 ug, equivalente a un 50/o de tolerancia en la medida.

IV.2. EFECTO DE LA ADICION DE CLORURO DE CALCIO, SULFATO DE CALCIO, CLORURO DE BARIO Y SULFATO DE BARIO, A UN SUELO SELENIFERO, SOBRE LOS RENDIMIENTOS PRODUCIDOS, POR EL LOLIUM MULTIFLORUM.

La gráfica No. 1 muestra que la adición de las sales de calcio al suelo favorecen el rendimiento. Este incremento es mayor al adicionar cloruro de calcio. En ambos casos, se obtiene un máximo de rendimiento con 750 kg de sal/Ha, por encima de los cuales comienza a disminuir debido, probablemente, a antagonismos con el Mg o con algún micro-nutriente.



GRAFICA 2. Efecto de la adición del cloruro de calcio y de sulfato de calcio, a un suelo selenífero, sobre el contenido de selenio en Lolium multiflorum. Contenido de selenio ppm vs Kg/Ha.

TABLA No. 1 VALORES DE F, PARA LAS DIFERENCIAS ESTADISTICAS ENTRE NIVELES, PARA LOS CONTENIDOS DE Se EN EL FORRAJE, POR LA PRUEBA DE SCHEFFE.

F	CaCl ₂	CaSo ₄	BaCl ₂	BaSo ₄
F ₁₂	1672.8 *	1209.05 *	1642.98 *	1773.81 *
F ₁₃	1796.26 *	1394.16 *	1774.32 *	1833.95 *
F ₁₄	1869.27 *	1711.78 *	1936.9 *	1908.98 *
F ₁₅	1725.2 *	1727.45 *	1967.16 *	1912.08 *
F ₁₆	1723.79 *	1754.67 *	1964.04 *	1914.41 *
F ₁₇	1766.96 *	1822.93 *	1997.65 *	1934.59 *
F ₂₃	2.19	6.59	2.52	0.50
F ₂₄	0.95	43.60 *	12.08	2.48
F ₂₅	0.40	46.12 *	14.58	2.59
F ₂₆	0.38	50.66 *	14.32	2.68
F ₂₈	1.29	62.80 *	17.51 *	2.49
F ₃₄	0.26	16.28 *	3.56	0.75
F ₃₅	0.72	17.84 *	5.03	0.81
F ₃₆	0.75	20.70 *	4.82	0.86
F ₃₇	0.12	0.03	0.12	0.001
F ₄₅	0.12	0.26	0.09	
F ₄₆	0.02	1.75	0.47	0.08
F ₄₇		0.11	0.001	
F ₅₆	0.25	1.28	0.12	0.07
F ₅₇				
F ₆₇	0.26	0.65	0.14	0.65

$$FT = 2.57 \times 6 = 15.42 \text{ Scheefe.}$$

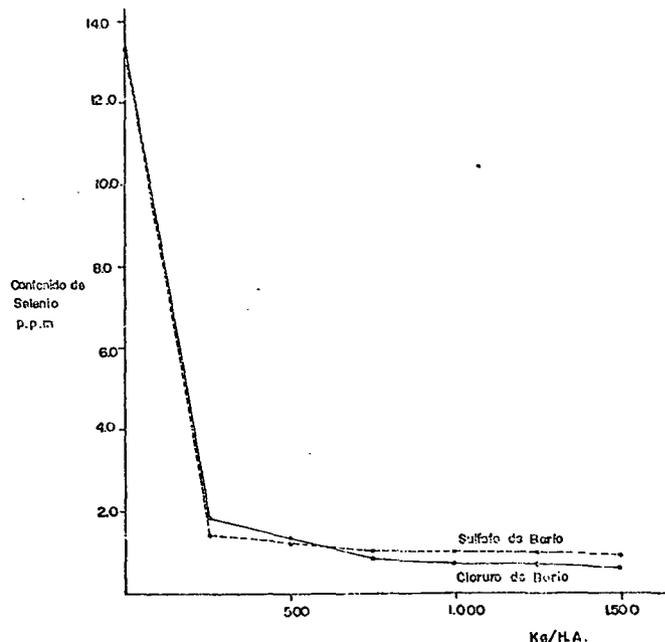
En la misma gráfica se muestra el efecto de las sales de bario. El sulfato de bario disminuye el rendimiento y el cloruro de bario lo favorece ligeramente, excepto cuando se adiciona en dosis de 500 kg/Ha.

IV.3. EFECTO DE LA ADICION DE CLORURO DE CALCIO, SULFATO DE CALCIO, CLORURO DE BARIO Y SULFATO DE BARIO, A UN SUELO SELENIFERO SOBRE LOS CONTENIDOS DE SELENIO EN LOLIUM MULTIFLORUM.

La gráfica No. 2 muestra que la aplicación de las sales de calcio al suelo inhiben la absorción de selenio por la planta. En ambos casos, se obtiene la máxima rata de inhibición con 250 kg/Ha, pero el efecto es mucho más marcado cuando se adiciona cloruro.

Con 500 kg/Ha de CaCl₂ se obtienen ya forrajes inocuos a animales y humanos, es decir forrajes por debajo de 1 ppm de selenio; en contraste con el sulfato el cual requiere de dosis de 1500 kg/Ha.

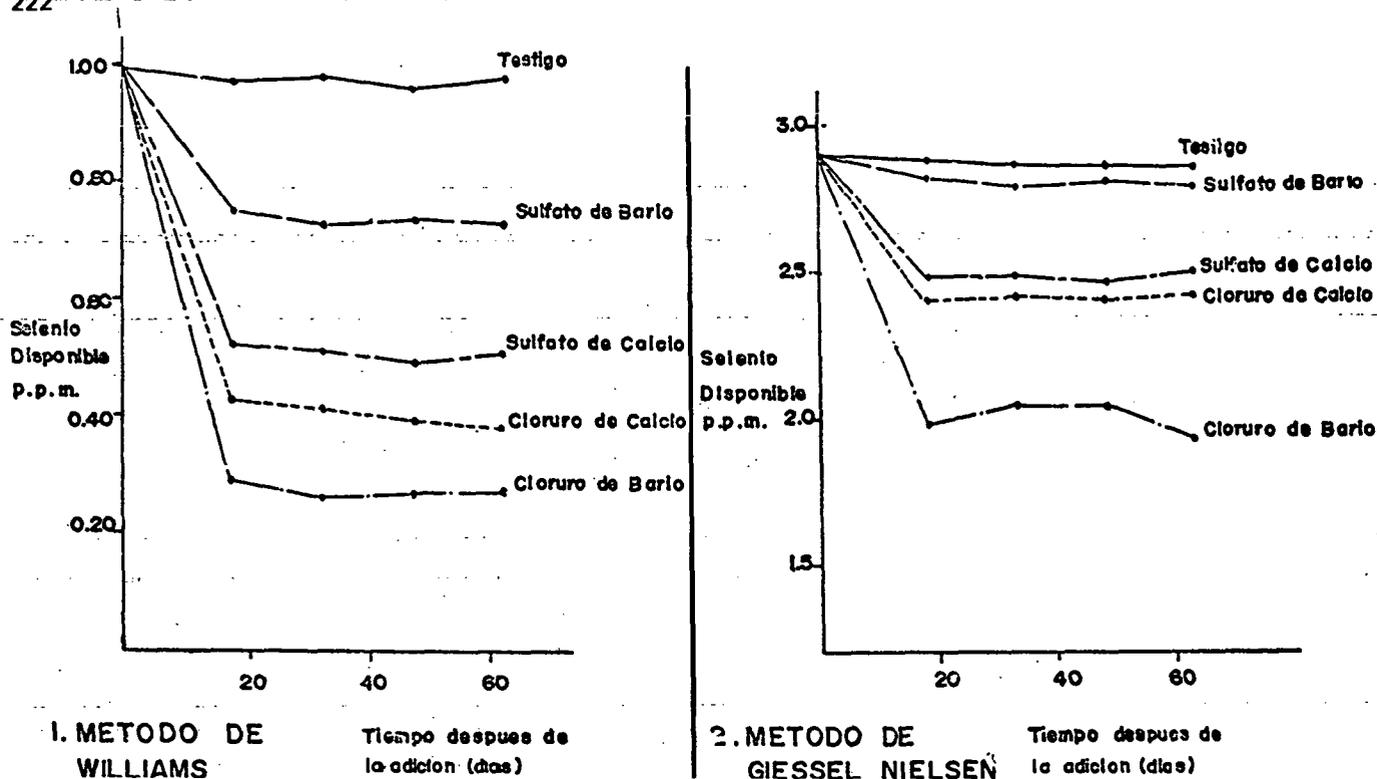
En la gráfica No. 3 se observa que la adición de cloruro y sulfato de bario a un suelo selenífero disminuye el contenido de selenio en la planta. En ambos casos, se obtiene la máxima rata de inhibición con 250 kg/Ha y comienzan a obtenerse forrajes inocuos para animales y humanos con dosis de 750 kg/Ha encontrándose los menores contenidos con cloruro de bario. El análisis estadístico de los resultados se resume en la Tabla No. 1; en ella se tiene: testigo = 0,250 kg/Ha = 1 etc.



GRAFICA 3. Efecto de la adición de cloruro de bario y de sulfato de bario, a un suelo selenífero, sobre el contenido de selenio en Lolium multiflorum. Contenido de selenio ppm vs Kg/Ha.

IV.4. VARIACION DEL SELENIO "DISPONIBLE" EN EL SUELO POR ACCION DE LAS SALES.

La gráfica No. 4 muestra el efecto de las sales sobre el contenido de "selenio disponible" del suelo extraído por el



GRAFICA 4. Efecto de la adición de 250 kg/Ha de sulfato de calcio, sulfato de bario, cloruro de calcio, y cloruro de bario, sobre los contenidos de selenio disponible, métodos de Williams y Fiessel-Nielsen.

método de Williams (Fig. 4) y extraído por el método de Cary y Gissel - Nielsen (Fig. 4).

Estas gráficas, en general, son muy semejantes y muestran dos cosas fundamentales.

1. Las sales afectan en diferente grado los contenidos de selenio disponible del suelo. En su orden los mayores efectos se tienen: cloruro de bario, cloruro de calcio, sulfato de calcio, sulfato de bario.

2. A partir del primer muestreo los contenidos de selenio disponible permanecieron, aproximadamente, constante; es decir, que 18 días de incubación de los materiales en el suelo fue tiempo suficiente para que reaccionaran y estabilizaran los diferentes formas del elemento.

IV.5. Con base a lo discutido en los numerales IV-3 y IV-4, se propone la siguiente explicación para el efecto de inhibición producido por las cuatro sales.

Para los suelos tratados con sales de calcio, la posible formación del selenito de calcio (CaSeO_3) en el suelo, en forma de precipitado produce la fijación de selenio al suelo. En el caso de los suelos tratados con sales de bario, la formación del selenato de bario (BaSeO_4), insoluble, produce el mismo efecto.

Además, este efecto podría estar sumado, a un efecto de competición radicular entre los aniones sulfato, selenato y cloruro.

V. CONCLUSIONES

V.1. La técnica estandarizada en el presente trabajo permite en labores de rutina, determinar selenio en suelos y

material vegetal con alta sensibilidad y precisión, aparte de ventajas como utilizar tan solo 0.2000 gr de muestra y no utilizar equipo demasiado especializado en la determinación.

V.2. La adición de sulfato de calcio, cloruro de calcio, cloruro de bario y sulfato de bario, a un suelo selenífero, disminuyen el contenido de selenio en la planta. Los mejores resultados, los presenta las sales de calcio en especial el cloruro.

VI. RESUMEN

Se optimizó una técnica fluorométrica para la determinación de selenio con 3-3' diaminobencidina, estudiando alguna de las variables que intervienen en esta reacción: Método de digestión, longitudes de onda de activación y emisión del complejo fluorescente; pH de reacción y extracción; tiempo de reacción, estabilidad a la acción de la luz; valencia; sensibilidad y rango óptimo de concentración.

Se obtuvo un método muy reproducible y con una sensibilidad de 0.03 μg de Se/5 ml de tolueno.

A un suelo de Puerto Boyacá se añadieron sulfatos y cloruros de calcio y bario en dosis equivalentes a 0, 250, 750, 1000, 1250 y 1500 kg/Ha, bajo condiciones de invernadero, utilizando Raygrass (*Lolium multiflorum*) como planta indicadora, con el fin de disminuir la absorción.

Se determinaron rendimientos, contenidos de selenio en forrajes y selenio del suelo extractable con EDTA 0.05 M y CaCl_2 0.01 M.

En todos los casos se encontró inhibición altamente significativa en especial, con dosis de 250 kg/Ha. Aunque, en todas las sales se obtuvieron forrajes con contenidos de se-

lenio inocuos para animales y humanos, los mejores resultados se obtuvieron con las de calcio, en especial, con el cloruro.

BIBLIOGRAFIA

1. MEJIA, L., CORDOBA, H., (1970). Reconocimiento de áreas seleníferas en un sector del Valle del Río Guaguaqui "Colombia Geográfica. Instituto Geográfico de Colombia. Bogotá. 1(1): 111.
2. CARY, E.E., WIECZOREK, G. A., ALLAWAY, W.H., (1967). Reactions of selenite added to soils that produce low-Se forrajes. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31:32-26.
3. BENAVIDES, S.T. SILVA, F. (1959). Seleniosis: Ocurrencia de selenio en rocas, suelos y plantas. Intoxicación por selenio en animales y humanos. Publicación IT3. Instituto Geográfico de Colombia Bogotá.
4. OLDFIELD, J.E., ALLAWAY, W.H., DRAPER, H.H, FROST D, JENSEN, L. SCOTT, M.L. WRIGHT, P.L. 1971. Selenium in nutrition, National Academy of Sciences. Washington D.C.
5. BROWN, M., CARTER, D.L. (1969). Leaching of added selenium from alkaline soils as influenced by sulfate. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33- 563-565.
6. RAVIKOVITCH, S., MARGOLIN, M. 1959. The effect of barium chloride, and calcium sulphate in hindering selenium absorption by Lucerne. Emp. Journal of Exper. Agric. 27 (27): 235-240.
7. CARY, E.E., GISSEL- NIELSEN, G. 1973. Effect of fertilizer anions on the solubility of native and applied selenium in soil, Soil Sci. Am. Proc. 37: 590-503.
8. WATKINSON, J.H. 1967. Analytical methods for selenium in biological material. In: Symposium: Selenium in Biomedicine. AVI Pub. Co.
9. WILLIAMS Y THORONTON. 1973. Use of soil extractants to estimate plant available molybdenum and selenium in potentially toxic soils. Plant and Soil 39: 149-159.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL V COLOQUIO NACIONAL DE SUELOS SOBRE "POTASIO Y MICRONUTRIENTES EN LA AGRICULTURA COLOMBIANA"

POTASIO

CONCLUSIONES

1. El K intercambiable determinado por el método del acetato de amonio, no debe considerarse como el único parámetro existente para evaluar la disponibilidad del K en el suelo.
2. El uso del K intercambiable, como base para la recomendación de fertilizantes ha dado lugar a respuestas inconsistentes.
3. No existen en Colombia estudios suficientes sobre la interacción del K con otros cationes y aniones de la solución del suelo.
4. Los estimativos para la fertilización potásica del algodónero, teniendo en cuenta la relación (Ca + Mg) /K, han sido promisorios en las regiones agrícolas de los valles del Magdalena, Cauca, Sinú y Cesar.
5. Una gran proporción de los suelos de la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia, presentan severas deficiencias de K después de que se produce la segunda cosecha.
6. En una alta proporción de los suelos de la altillanura plana (área de Carimagua) se encontró que para el cultivo de yuca el K_2SO_4 o alternativamente el KCl más S, dio resultados mucho mejores en cuanto se utilizó solamente KCl como fuente de K.
7. En la Costa Atlántica los suelos en general, acusan contenidos medianos a altos de K, y no se ha observado una respuesta notoria a la aplicación de K en algodón, arroz, fríjol y ajonjolí.

8. En las terrazas altas y en el piedemonte del Valle del Cauca, el contenido de K parece ser deficiente. En esta área, cultivos como la caña de azúcar y el algodón, acusan síntomas de deficiencia de este elemento, en particular, los que representan altos contenidos de Ca y Mg.
9. En cafetales, a plena exposición solar o con sombrero regulado, se ha encontrado respuesta al K, principalmente durante la etapa de producción.
10. En suelos con contenidos de K mayores de 0,35 me/100 g de suelo, la probabilidad de respuesta del cafeto al K es muy baja.
11. En el cultivo del cafeto sin sombrero, no se observa diferencia alguna en la calidad de los granos, cuando se utiliza como fuente de K el cloruro o el sulfato.
12. La respuesta de gramíneas y leguminosas a la aplicación de potasio no ha sido consistente en regiones de clima frío y templado. Se obtuvieron respuestas a la fertilización potásica en los pastos imperial y guinea y en la alfalfa.
13. De acuerdo con los resultados de análisis de suelos, se ha encontrado que el contenido de K intercambiable es muy bajo para el Oriente Antioqueño. En el Altiplano de Pasto se encontraron contenidos más altos.
14. El estudio del "factor capacidad – intensidad" de potasio en suelos de la Sabana de Bogotá y de la Amazonía demuestra que los suelos amazónicos tienen una "relación de actividad de K" menor que la de los suelos de la Sabana influidos por ceniza volcánica.

Los suelos amazónicos tienen una capacidad menor para mantener un nivel más adecuado de K en la solución del suelo.
15. La "capacidad potencial buffer" se encontró baja en todos los suelos (Sabana y Amazonía), excepto en el suelo de la Sabana, que posee menor influencia de ceniza volcánica. Por consiguiente, la mayoría de los suelos liberan fácil y rápidamente el K sin reemplazarlo y por lo mismo, son susceptibles al agotamiento rápido del potasio.
16. Se encuentra una correlación altamente positiva y significativa entre la relación de actividad del K, el K intercambiable y la saturación del K.
17. Los valores del K retenido en las superficies planares de los minerales de arcilla son mayores en los suelos derivados de ceniza volcánica que en los de la Amazonía.
18. La relación "cantidad potencial buffer" de potasio/g arcilla señala que cinco de los suelos amazónicos estudiados tienen mineralogía caolínítica y cuatro mezclada.
19. Las formas de K no cambiante constituyen un buen estimativo de las reservas a corto y mediano plazo de este elemento, así como de su capacidad de restitución.
20. Suelos estudiados en la zona Andina de Nariño, debido a sus altos niveles de disponibilidad inmediata (K intercambiable) y mediata (K no cambiante) y a su facilidad de restitución, hacen pensar que sus reservas de K son adecuadas por el momento y que el aporte debe limitarse a mantener el nivel actual de este elemento.
21. El K determinado por los métodos de Barbier (Acido Cítrico al 20/o) Egnér – Riehm (Lactado cálcico 0.04N) y Bray II da excelentes correlaciones con el método biológico de Neubauer, mientras que con el de K intercambiable (NH_4OAc) solo da correlación al 50/o. Los datos del método Schachtstchabel quedan por debajo del margen significativo.

22. De los suelos boyacenses estudiados, las series Río Chicamocha, Monas y Bojacá son fijadores de K. Con estos suelos falla el Método del K intercambiable.
23. Los métodos de Koltirman — Truog, Wood — Turk y Schachtschabel para determinar el potasio fácilmente disponible no dan resultados homólogos con la prueba de Neubauer, ni con la respuesta a la fertilización según Jenny.
24. Los métodos de Wood — Turk y Schachstchabel correlacionan entre sí, e indican que los suelos de las series Nemocón, Monas, Río Chicamocha y Bojacá tienen reservas de K.

RECOMENDACIONES

1. Para evaluar la capacidad de suministro de K, se deben tener en cuenta, además del K intercambiable determinado por el método del NH_4OAc los datos apartados por otras metodologías, tales como:
 - a) Estudios mineralógicos de las fracciones arcilla y arena.
 - b) Estudios de la capacidad de restitución del K.
 - c) Concentración del K en la solución del suelo.
 - d) Estudio del K no intercambiable.
2. Se reconoce la necesidad de adelantar investigaciones básicas sobre las reservas reales de K en el suelo, mediante la utilización de metodologías tales como:
 - Estudio del factor capacidad — intensidad, relaciones de actividades, capacidad potencial buffer, etc., correlacionadas con estudios mineralógicos de la fracción arena, limo y arcilla.
3. Se sugiere a las instituciones Oficiales, responsables de las recomendaciones en materia de fertilización, revisar los valores que se utilizan actualmente como niveles críticos para el K, teniendo en cuenta el clima, cultivos y propiedades físico-químicas de los suelos.
4. Se recomienda a los laboratorios adelantar estudios acerca de soluciones extractoras que permitan la determinación simultánea de varios elementos, como por ejemplo: P, K, etc., con el fin de conseguir mayor rapidez y bajo costo, dentro de límites confiables.
5. Buscar entre los laboratorios de suelos del país la unificación de las metodologías conducentes a la determinación de K y otros macroelementos, teniendo en cuenta los factores que afectan la eficiencia de las soluciones extractoras (pH, fijación de cationes, presencia de carbonatos, etc.).
6. Intensificar estudios sobre la interacción del K y otros elementos (cationes y aniones) en la solución del suelo.
7. Adelantar estudios sobre el valor más adecuado de la relación $(\text{Ca} + \text{Mg})/\text{K}$ para cultivos diferentes al algodón. Para zonas algodonerías de clima cálido, se recomienda como promisorio el valor de la relación $(\text{Ca} + \text{Mg})/\text{K}$ encontrada por la Federación de Algodoneros.
8. Para una alta proporción de los suelos de la altillanura plana de los Llanos Orientales (área de Carimagua), se recomienda usar K_2SO_4 o alternativamente KCl más S como fuentes de potasio para el cultivo de la yuca.
9. Cuando se realicen estudios de fertilización potásica, se recomienda evaluar la influencia de este elemento, no solamente en el rendimiento, sino también en otras características que inciden en la calidad de los productos cosechados.
10. En la implantación de pasturas mixtas de gramíneas y leguminosas se deben seleccionar las especies

adecuadas, teniendo en cuenta que su requerimiento de nutrientes sea similar o, por lo menos, que no se creen desequilibrios en cuanto a los requerimientos de una y otra especie.

11. Se recomienda a las instituciones vinculadas al conocimiento de suelos adelantar estudios conducentes a establecer las pérdidas del K en los suelos por concepto de lixiviación, erosión o cualquier proceso que incida en la economía del K.
12. Se recomienda al gobierno nacional la utilización de estudios existentes respecto a yacimientos o fuentes de K potencialmente explotables, que podrían eventualmente ser una base para la fabricación de fertilizantes potásicos.

MICRONUTRIENTES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se presentaron los aspectos principales acerca del origen de los micronutrientes en los suelos, formas químicas y contenidos críticos que causan deficiencia en los cultivos. Se mostró que el análisis de micronutrientes en tejidos vegetales constituye un buen índice de la disponibilidad de estos elementos en el suelo, aunque debe relacionarse con otros factores que la afectan.
2. Es necesario intensificar las investigaciones sobre micronutrientes en América Latina. Los trabajos no deben limitarse a la determinación de las concentraciones de los elementos, sino que deben incluir una discusión sobre el estado de los micronutrientes, las causas de las deficiencias, las relaciones con las propiedades de los suelos, los métodos de extracción y calibración, etc.
3. Los estudios de calibración de métodos para la determinación de micronutrientes son importantes y deben intensificarse, incluyendo experimentación de campo para encontrar niveles críticos. Estos trabajos deben incluir la correlación con el rendimiento del cultivo y la determinación de la concentración de los elementos en la planta y en el suelo. El método de Hunter para análisis foliar es recomendable.
4. La investigación realizada hasta el momento, permite recomendar la extracción con EDTA + NaHCO₃ o con DTPA para hierro, zinc y cobre; con agua destilada para manganeso, cobalto y molibdeno, se observa que el acetato de amonio a pH 7, ha sido poco confiable. Se requiere continuar las investigaciones para llegar a recomendaciones más precisas sobre métodos de extracción.
5. En la investigación sobre micronutrientes deben tomarse numerosas precauciones, que incluyen los procesos de toma de muestras, el manejo de las mismas, la marcha analítica, etc.
Debe evitarse la contaminación de las muestras del material foliar.
6. Hasta el presente, hay muy pocas investigaciones encaminadas al estudio del efecto residual de los micronutrientes en el suelo. Por tal razón, se requiere incluir este aspecto dentro de las investigaciones prospectadas para un futuro.
7. A pesar de que no es pertinente recomendar una especie vegetal única como planta indicadora de deficiencias de micronutrientes, se ha encontrado aceptable el empleo del maíz para pruebas de zinc; la soya, el maíz y el aldonero, para pruebas de manganeso; el sorgo, para pruebas de hierro y la leguminosa para boro y molibdeno.
8. Se ha encontrado que la determinación de molibdeno disponible con resinas de intercambio iónico es un método promisorio por lo cual se sugiere continuar su estudio.
9. El método fluorométrico es práctico para determinación de selenio en suelos y plantas.

10. El uso de cloruro o sulfato de calcio o de magnesio es promisorio para lograr la inhibición de la absorción de selenio por las plantas en suelos seleníferos.
11. Como fuentes de micronutrientes se cuenta con sales inórganicas, quelatos, complejos orgánicos y vidrios. No se puede generalizar sobre el uso de estas fuentes. La aplicación de micronutrientes puede hacerse por aspersión foliar, recubrimientos de semillas o mezclas con los fertilizantes portadores de elementos mayores. La selección de la fuente y la forma de aplicación dependen de la especie química que se aplica y del tipo de planta. Este aspecto debe estudiarse cuidadosamente.
12. En otros países, especialmente en Estados Unidos, los quelatos metálicos han sido una buena fuente de micronutrientes y su uso se ha intensificado en los últimos años por razones de economía en la aplicación y porque se ha comprobado que son más activos que las sales inórganicas.
13. Los desechos y residuos industriales deben ser estudiados como posibles fuentes de micronutrientes y como portadores de metales pesados, que pueden causar contaminación.
14. Se está observando en los últimos años un incremento en el consumo de fertilizantes foliares, líquidos y sólidos.
15. El ICA realiza en Colombia la supervisión y comercialización de fertilizantes.
16. Se han encontrado deficiencias de micronutrientes en la Sabana de Bogotá (Series Cabrera y Bermeo) y en el Altiplano de Pasto. Parece que la disponibilidad de Fe, Cu, Mn y Co está controlada principalmente por los coloides amorfos.
17. Se recomienda realizar investigaciones con énfasis en el estudio de Mo, B, Cu, Co y Zn en suelos volcánicos.

Esta publicación ha sido realizada con el patrocinio
del Fondo Colombiano de Investigaciones
Científicas y Proyectos especiales

"FRANCISCO JOSE DE CALDAS"

COLCIENCIAS

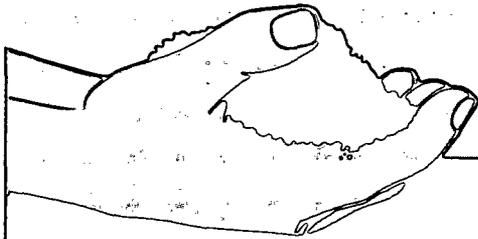
Establecimiento público adscrito al
Ministerio de Educación Nacional,
cuyo objetivo principal es:

**IMPULSAR EL DESARROLLO
CIENTIFICO Y TECNOLOGICO DE COLOMBIA**

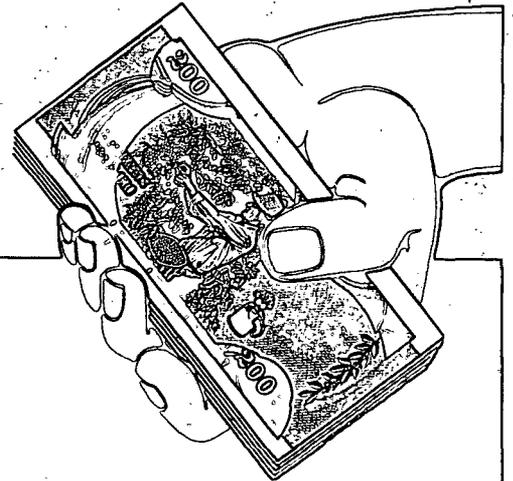
la gran diferencia

En sus ganancias

En su tierra



En su cultivo



Los Abonos Nutrimón, son los de más alta solubilidad que existen en Colombia.

Esto representa más rápido y vigoroso crecimiento de sus plantas.

Mejor calidad y mayor producción de sus cosechas.

Esa es la gran diferencia.

Compruébelo en su cultivo.

Estos son algunos de los grados de abonos Nutrimón, que producen más ganancias en los diferentes cultivos.

13-26-6 para papa, caña panelera, cebada y en general cultivos de clima frío y también arroz.

15-15-15 para café, algodón, sorgo, maíz y otros cultivos de ladera.

12-12-17-2 para tabaco.

12-6-22-2 para café, plátano y banano.

Sulfato de Amonio para arroz, algodón, palma y caña de azúcar.

**Y PROXIMAMENTE
ABONO NUTRIMON 15-38-10
EL PRIMER ABONO
SUPERCONCENTRADO
DE COLOMBIA**
para más alta producción a más bajos costos

Abonos
NUTRIMON
LOS SOLUBLES!
Producen más ganancias