

4N
T
631-417
D259
Ej.1

DETERMINACION DE COBRE, COBALTO, HIERRO Y ZINC
CAMBIABLES EN ALGUNOS SUELOS DEL TROPICO HUME-
DO EN LA INTENDENCIA NACIONAL DEL PUTUMAYO

//
CARLOS C. DAVILA CAICEDO

Tesis de grado presentada como requisito
parcial para optar el título de
"INGENIERO AGRÓNOMO"

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS
Presidencia de Tesis

RICARDO GUERRERO R., I.A., M.Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA
1.974

"Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son de responsabilidad exclusiva de su autor".

Art. 1° del Acuerdo Número 324 (Octubre 11 de 1966), emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Narino.

DEDICO : A MI PADRE DON JUAN DE LOS RIOS, L.A., R.D.

A MI MADRE DONA MARIA DE LOS RIOS, L.A., R.D.

A LOS ESFUERZOS DE MIS PADRES

A LILIAM, MI ESPOSA

A MI HIJA DONA MARIA DE LOS RIOS, L.A., R.D.

A MIS HERMANOS

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS

de la Oficina y Secretariado de Agricultura y
Ganadería del Estado.

A todas las personas que de una u otra
forma colaboraron en el desarrollo del
presente trabajo.

CONTENIDO

Página

I.	INTRODUCCIÓN	1
	AGRADECIMIENTOS A:	2
2.1	RICARDO GUERRERO RIASCOS, I.A., M.Sc.	2
2.2	FRANCISCO CITELLY PADILLA, I.A., M.Sc.	2
2.3	PEDRO LUCIO CALCEDO O., I.A., M.Sc.	3
2.4	FRANCISCO CORTES DE LA ESPERIELLA	3
2.5	GLORIA PATIÑO ROSALES	3
2.6	LA INTENDENCIA NACIONAL DEL FUTURAYO	3
2.7	El Gobierno de Cauca y Guaviare,	3
3.1	Al Personal de Laboratorio de Suelos de	4
3.2	la FACIA y Secretaría de Agricultura y	4
3.3	Ganadería del Cauca.	4
3.4	Todas las personas que de una u otra	4
3.5	forma colaboraron en el desarrollo del	4
3.6	presente trabajo.	4
III.	DEFINICIONES Y SIGLAS	5
3.1	Aspectos Generales de la región	5
3.1.1	Localización	5
3.1.2	Clima	5
3.1.3	Suelo y Vegetación	5
3.1.4	Uso de la tierra	5
3.2	Aspectos	5
3.3	Definiciones	5
3.4	Procedimientos	5

	CONTENIDO	Pag.
I.	INTRODUCCION	1
II.	REVISION DE LITERATURA	2
IV.	2.1 Cobre	2
	2.1.1 Origen	2
	2.1.2 El cobre en el suelo	2
	2.1.3 El cobre en plantas y animales ..	5
	2.2 Cobalto	6
	2.2.1 Origen	6
	2.2.2 El cobalto en el suelo	7
	2.2.3 El cobalto en plantas y animales.	8
	2.3 Hierro	8
	2.3.1 Origen	8
	2.3.2 El hierro en el suelo	10
	2.3.3 El hierro en plantas y animales .	12
	2.4 Zinc	13
	2.4.1 Origen	13
	2.4.2 El zinc en el suelo	14
	2.4.3 El zinc en plantas y animales ..	18
III.	MATERIALES Y METODOS	23
	3.1 Aspectos generales de la región	23
	3.1.1 Localización	23
	3.1.2 Geología	23
	3.1.3 Ecología y clima	23
	3.1.4 Uso de la tierra	24
	3.2 Suelos	24
	3.3 Muestreo	24
	3.4 Procedimiento analítico	25

	Pag.
3.4 Procedimiento analítico	25
3.5 Análisis estadístico	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	33
4.1 Cobre	33
4.2 Cobalto	35
4.3 Hierro	36
4.4 Zinc	38
4.5 Variabilidad de los micronutrientes ..	39
4.6 Comparación de metodologías de extrac- ción	40
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
VI. RESUMEN	54
SUMMARY	56
VII. BIBLIOGRAFIA	58
APENDICE	66
Tabla VII Concentración de micronutrientes en condiciones controladas con el 100% de pH 7 en los suelos y submuestras estudia- das (Resultados en ppm)	42
Tabla VIII Concentración de micronutrientes en condiciones controladas con el 100% de pH 4,5 en los suelos y submuestras estudia- das (Resultados en ppm)	43
Tabla IX Concentración máxima promedio y mínima de los micronutrientes estudiados en los suelos y submuestras estudiadas (Resultados en ppm)	44

	Pag.
Tabla I Distribución de cobre intercambiable en algunos suelos	19
Tabla II Distribución de cobalto intercambiable en algunos suelos	20
Tabla III Distribución de hierro intercambiable en algunos suelos	21
Tabla IV Distribución de zinc intercambiable en algunos suelos	22
Tabla V Algunas características físicas corres- pondientes a los suelos y subsuelos es- tudiados	26
Tabla VI Algunas características químicas corres- pondientes a los suelos y subsuelos es- tudiados	28
Tabla VII Concentración de micronutrientes inter- cambiables extraídos con NH_4OAc , 1N a pH 7 en los suelos y subsuelos estudia- dos (Resultados en ppm)	42
Tabla VIII Concentración de micronutrientes inter- cambiables extraídos con NH_4OAc , 1N A pH 4,8 en los suelos y subsuelos estu- diados (Resultados en ppm)	43
Tabla IX Concentración máxima promedia y mínima de los micronutrientes intercambiables en los suelos y subsuelos estudiados (Resultados en ppm)	44

		Pag.
Tabla X	Límites de confianza (95%) para el promedio de la población y coeficientes de variabilidad en los suelos y subsuelos estudiados	38
Figura 2	Utilización de los datos de muestras	45
Tabla XI	Comparación estadística entre métodos de extracción: NH_4OAc 1N pH 4,8 y NH_4OAc 1N pH 7, para suelos y subsuelos ..	46
Figura 3	Utilización en el estudio	47
TABLA XII	Comparación estadística entre las cantidades intercambiables de algunos suelos del trópico húmedo del Putumayo y otras regiones	47
Figura 4	Mapa y detalles intercambiables	48
Tabla XIII	Coefficiente de correlación entre los <u>mi</u> cronutrientes extraídos con NH_4OAc 1N pH 7,0 y algunas propiedades del suelo	48
Tabla XIV	Coefficiente de correlación entre los <u>mi</u> cronutrientes extraídos con NH_4OAc 1N pH 4,8 y algunas propiedades del suelo	49

	Pag.
Figura 1 Localización del área de estudio	30
Figura 2 Mapa geológico del área de estudio y lo- calización de los sitios de muestreo ..	31

I. INTRODUCCIÓN

Figura 3 Espectrofotómetro de absorción atómica utilizado en el estudio	32
--	----

Figura 4 Contenido promedio de hierro, zinc, co- bre y cobalto intercambiables extraídos con NH_4OAc . 1N pH 4,8 y NH_4OAc . 1N pH 7,0 en los suelos estudiados .. .	50
---	----

Figura 5 Contenido promedio de hierro, zinc, co- bre y cobalto intercambiables extraídos con NH_4OAc . 1N pH 4,8 y NH_4OAc . 1N pH 7,0 en los subsuelos estudiados .. .	51
--	----

Esta parte del proyecto de investigación en suelos de la
Universidad Nacional Agraria y Forestal tiene como objetivo la de-
terminación de los niveles intercambiables de algunos microele-
mentos y la determinación de sus niveles críticos para su pro-
ducción.

(*) Véase de grado (1966) para el método parcial para
separar el Fe de un organismo vivo, bajo la presen-
cia de ácidos húmicos húmicos, L.H. 1966.

DETERMINACION DE COBRE, COBALTO, NIQUELO Y ZINC CAMBIABLES EN ALGUNOS SUELOS DEL TROPICO HUMEDO EN LA INTENDENCIA NACIONAL DEL TUTUPAYO (")

Por

CARLOS G. DAVILA CAICEDO

1. INTRODUCCION

La problemática de los elementos menores en los suelos tropicales adquiere día a día mayor importancia. Esto se explica en razón de:

- a) Creciente información sobre posibles deficiencias de cobre, zinc, molibdeno y cobalto en suelos del trópico.
- b) El uso cada vez más generalizado de fertilizantes y enmiendas, lo cual conduce a la aparición de niveles limitantes de elementos menores, especialmente de cobre, zinc y molibdeno.
- c) La ausencia casi total en el trópico de estudios relacionados con calibración de métodos para determinar micronutrientes.

Lo anterior justifica el presente trabajo, el cual forma parte del programa de investigación en suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y tiene como objetivo la determinación de las formas cambiables de algunos micronutrientes y la comparación de dos métodos usuales para su extracción.

(") Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Ricardo Guerrero Riascos, I.A., M.Sc.

11. REVISION DE LITERATURA

2.1 Cobre

2.1.1 Origen

El cobre se encuentra en la corteza terrestre formando minerales estables, siendo más abundantes los sulfatos que los silicatos y los óxidos. Krauskopf (25) dice que los minerales más comunes que contienen este elemento son:

- a) Sulfuros simples: Calcocita: Cu_2S , Covellita: CuS .
- b) Sulfuros complejos: Calcopirita CuFeS_2 , Bornita Cu_5FeS_4 , Enargita Cu_3AsS_4 , Tetrahedrita $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$.
- c) Óxidos: Cuprita Cu_2O , Tenorita CuO .
- d) Carbonatos: Malaquita $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$; Azurita $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$.
- e) Silicatos: Chrysocola $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
- f) Sulfatos: Brochantita $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$.

De acuerdo a Taylor, citado por Soto (44), la concentración promedio de cobre en la corteza terrestre es de 55 ppm. En las rocas ígneas básicas su concentración es de 100 ppm, en tanto que en las ígneas ácidas la concentración promedio es de sólo 10 ppm. En las rocas sedimentarias su promedio es de 30 ppm en areniscas, 4 ppm en limonitas y 45 ppm en arcillolitas (25).

2.1.2 El cobre en el suelo

Según Hodgson (21), la concentración prome

dia mundial del cobre total en el suelo es de 20 ppm. Swaine, citado por Reuther y Labanauzcas (35), sostiene que en la mayoría de los suelos el cobre total oscila entre 2 y 100 ppm. Por otra parte, Krauskopf (25) indica valores del cobre total, para diferentes suelos del mundo, comprendidos entre 10 y 80 ppm.

En algunos suelos de Maricao y Putumayo se ha determinado la concentración del cobre total. Así, en suelos del Altiplano de Pasto su contenido promedio fué de 75 ppm, en suelos del Valle de Sibundoy 38 ppm y en los suelos del clima medio de Maricao el promedio encontrado fué de 11 ppm.

El cobre se encuentra en los suelos en dos estados. Uno de ellos el ión cuproso, Cu^+ , es más importante en condiciones ácidas (pH 5,0 o menos) y reductoras, mientras que el ión cúprico, Cu^{2+} , predomina en medios oxidados y menos ácidos, siendo más fácilmente disponible la forma cuprosa. Una característica importante del cobre en los suelos, es su alta reactividad con los ácidos húmicos, con los cuales forma complejos organo-metálicos. Esta situación es la responsable de la baja disponibilidad de este elemento en suelos con alto contenido de materia orgánica (18, 47).

La forma aprovechable del cobre para la planta se encuentra en la solución del suelo, o bien adsorbida en estado cambiante en el complejo coloidal, siendo fácilmente reemplazable por otros cationes (10, 14).

Reuther y Labanauzcas (35), consideran que los tipos de suelos en donde se puede presentar deficiencia o toxicidad de cobre son:

A) Deficiencia

- a) Suelos orgánicos.
- b) Suelos alcalinos y calcáreos
- c) Suelos arenosos lixiviados.
- d) Suelos ácidos lixiviados.

B) Toxicidad

- a) Suelos derivados o influenciados por yacimientos de cobre.
- b) Suelos mal drenados.
- c) Suelos en los cuales se ha utilizado durante varios años pesticidas cúpricos.

Altas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y el uso prolongado de fertilizantes fosfóricos puede producir deficiencias de cobre en algunos suelos y con ciertos cultivos (7, 26, 35).

La aprovechabilidad del cobre para las plantas se ha determinado mediante el uso de diferentes soluciones extractoras, siendo las principales: acetato de amonio 1N, ácido y neutro, EDTA, ácido clorhídrico y ácido nítrico (17).

En suelos del Brasil, Santana (40) encontró que el HCl 0,1 N y el EDTA- Na_2 1% extrajeron, en promedio, cuatro veces más cobre disponible que el acetato de amonio 1N pH 7 ó pH 4,8, mientras que la capacidad extractora del acetato de amonio ácido fue igual a la del acetato de amonio neutro.

En suelos volcánicos de Nicaragua, Soto (44) encontró una situación similar a la anterior, en el sentido de que el HCl 0,1 N extrajo seis veces más cobre que el acetato de amonio ácido, pero en este caso el acetato de amonio neutro extrajo tres veces menos cobre que el acetato de amonio ácido. Este autor sostiene que el mejor método es el que usa una solución extractora HCl 0,1N, por cuanto presentó la mejor correlación negativa con la materia orgánica.

Las soluciones de sales neutras extraen muy poco la fracción disponible, aún en suelos con alto contenido de cobre (40). Sauchelli (41) sostiene que el cobre y el zinc pueden formar complejos con el amoníaco cuando se extraen con acetato de amonio normal, dando así valores bajos. Sin embargo, Fiskell (17) señala que el cobre extraído con acetato de amonio normal pH 4,8 puede ser satisfactorio como índice del cobre disponible en el suelo y, al respecto, Cox y Kamprath (11) indican que suelos con menos de 0,2 ppm de Cu extraído con esta última solución se pueden considerar como sospechosos de deficiencia en este elemento.

En la Tabla I se presentan los contenidos promedios de cobre disponible determinados en suelos de diferentes regiones Tropicales.

2.1.3 El cobre en plantas y animales

De acuerdo a Price y colaboradores (33), la esencialidad del cobre para la planta radica en que este elemento es constitutivo de muchas oxidasas, incluyendo la citocroma oxidasa que es la catalizadora principal del metabolismo vegetal. Además, el cobre es constituyente de

varias proteínas vegetales. De otra parte, un bajo contenido de cobre en pastos y forrajes constituye un problema para el ganado, ya que el cobre es necesario para la formación de hemoglobina y su deficiencia causa serios trastornos en los animales (42).

Reuther y Labanauzcas (35) indican que los frutales, especialmente los cítricos y las gramíneas como la avena, cebada, trigo y maíz son especies muy sensibles a bajos niveles de cobre en los suelos, en tanto que la alfalfa y los tréboles son muy sensibles a los niveles tóxicos.

No se puede hacer una descripción general de los síntomas visuales de deficiencia de cobre en las diferentes especies vegetales, pues varía mucho de una especie a otra. Sin embargo, los síntomas más frecuentes son: clorosis, muerte descendente de los tejidos terminales y acortamiento de los entrenudos.

2.2 Cobalto

2.2.1 Origen

El cobalto se encuentra originalmente en rocas ígneas básicas, como también en rocas sedimentarias calcíticas y dolomíticas (46). Debido a que este elemento se encuentra principalmente en materiales ferromagnésicos, tales como olivinos, piroxenos y anfíboles, su concentración en las rocas ígneas básicas es de 45 ppm, mientras que en las rocas ígneas ácidas solamente es de 5 ppm y en las rocas sedimentarias su contenido es de 23 ppm. Su concentración promedio en la corteza terrestre alcanza 23 ppm (21, 28).

2.2.2 El cobalto en el suelo

Vanselow (48) informa que el contenido de cobalto en los suelos usualmente oscila entre 1 y 40 ppm, pero que en algunos casos esta concentración supera ampliamente el límite superior de este rango. Este mismo autor indica que, en general, pasturas deficientes en cobalto se desarrollan en suelos que contienen entre 5 - 10 ppm, o menos, de cobalto total.

El contenido promedio de cobalto total para suelos de Valle de Sibundoy (Putumayo) fué de 9,4 ppm (52), para los suelos de la región del clima medio del Departamento de Nariño 9,0 ppm (24) y para los del Altiplano de Pasto 4,5 ppm (4).

El cobalto aprovechable por la planta se encuentra en los suelos en dos estados de valencia: como ión Co^{2+} y en forma de $\text{Co}(\text{OH})^+$. De otra parte, al formar complejos con la materia orgánica, se presenta como Co^{3+} (21, 32). En términos generales su comportamiento se asemeja al del hierro y manganeso, pues aumenta su solubilidad a medida que predominan las condiciones reductoras y ácidas (20, 55).

Los suelos deficientes en cobalto generalmente son de los siguientes tipos (48):

- a) Suelos ácidos, muy lixiviados, arenosos, con bajo nivel de cobalto total.
- b) Suelos derivados de granitos.
- c) Suelos calcáreos.
- d) Algunos tipos de suelos orgánicos.

Para la determinación de la fracción aprovechable de cobalto se ha utilizado acetato de amonio 1N pH 4,8 y ácido acético 0,5 N (48). Soto (44), en suelos volcánicos de Nicaragua, encontró que el oxalato de amonio ácido extrajo más cobalto disponible que el ácido clorhídrico 0,1 N, siendo el agua el extractante menos eficiente. El mismo autor indica que la extracción con oxalato de amonio ácido es más deseable por tener una relación más adecuada con las propiedades del suelo.

En la Tabla II se incluyen las concentraciones promedias de cobalto disponible, determinadas en suelos de diferentes regiones.

2.2.3 El cobalto en plantas y animales

No existen evidencias de que el cobalto sea indispensable para la nutrición y el desarrollo de la planta. Sin embargo, algunos investigadores han demostrado que el cobalto es requerido para la fijación simbiótica de nitrógeno en leguminosas tales como soya y alfalfa (48).

El cobalto es de gran importancia en la dieta de los rumiantes, ya que se ha demostrado que es constituyente de la vitamina B₁₂ la cual es requerida por los animales (2). Es, además, esencial en la síntesis de cobalamina, la cual actúa como factor de mantenimiento de la flora intestinal y hace posible la síntesis de la hemoglobina (2, 47). Por otra parte, uno de los aspectos más importantes del cobalto en la nutrición animal es el que influye favorablemente en la producción de leche (2).

2.3 Hierro

2.3.1 Origen

El hierro es, en conjunto, el elemento más

abundante en el planeta y el cuarto elemento más abundante en las rocas de la corteza terrestre. Desde el punto de vista geoquímico es el único elemento que forma numerosos compuestos estables, tanto con el azufre y el oxígeno como con el Silicio, lo cual le ha valido el calificativo de elemento obiquo. Krauskopf (25) dice que los principales minerales que contienen hierro son:

- a) Oxidos: hematita Fe_2O_3 , gohetita FeOOH , magnetita Fe_3O_4 .
- b) Sulfuros: pizita FeS_2 , pirrotita Fe_{1-x}S .
- c) Carbonatos: siderita FeCO_3 .
- d) Sulfatos: jarosita $\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_4$.
- e) Silicatos: numerosos compuestos, tales como la olivina $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$.
- f) Silicatos hidratados: chamosita, glauconita.

De acuerdo a Goldschmidt, citado por Soto (44), el hierro representa el 5% de la corteza terrestre, Hodgson (21) informa que el contenido de hierro en las rocas ígneas básicas es de 8,6%, en las rocas ígneas ácidas 2,7% y en las sedimentarias 3,3%, mientras que Krauskopf (25) indica valores de 2,7% para el granito, 8,6% para el basalto, 0,38% para las limonitas, 0,98% para las areniscas, 4,7% para las arcillolitas y un promedio de 5,6% para la corteza terrestre.

El hecho de que el hierro se presente en la naturaleza en forma elemental y en dos estados de valencia hace que este compuesto metálico sea un indicador muy sensitivo de las condiciones de oxidación en el medio

ambiente natural (25).

2.3.2 El hierro en el suelo

El hierro en el suelo se encuentra formando parte de las estructuras de los minerales primarios, tales como piroxenos, anfíboles, olivinos, magnetita y en minerales secundarios, tales como arcillas, óxidos, hidróxidos y fosfatos. Su concentración en el suelo es muy variable, oscilando entre valores tan bajos como 200 ppm hasta contenidos de 100.000 ppm (47). Krauskopf (25), al compilar información de varias fuentes, indica que la concentración de hierro total en los suelos varía entre 10.000 y 100.000 ppm.

Bajo condiciones de oxidación, los óxidos libres de hierro se presentan en el suelo en forma trivalente, mientras que en condiciones reductoras se encuentran en forma divalente (44). La forma reducida se encuentra en el complejo de cambio, y es más asimilable por las plantas, mientras que la forma oxidada puede estar en forma de óxidos hidratados como iones monovalentes $\text{Fe}(\text{OH})^+$ y divalentes $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, con frecuencia adsorbidos a la superficie coloidal o formando complejos órgano-minerales (39).

Según Boulton y Hewitt (8), en los suelos tropicales predominan los sesquióxidos de hierro (Fe_2O_3), los cuales llegan a representar el 60% o más de la composición mineral del suelo, en tanto que en los suelos de las regiones templadas los sesquióxidos de hierro superan el 6%.

Kliman, citado por Santana (40), corrobora la opinión general de que la forma de hierro más disponible por la planta es la ferrosa, mientras que la forma

férrica es muy poco aprovechable. El mismo autor sugiere que la forma oxidada debe ser reducida por la acción de la materia orgánica o de los microorganismos, antes de ser absorbida por las plantas.

Según Mallihan (53) y Lucas y Knezek (26), los tipos de suelos en los cuales se presentan deficiencias de hierro y las prácticas de manejo que contribuyen a generarlas o agravarlas son:

- a) Suelos calcáreos.
- b) Suelos pobremente drenados.
- c) Suelos con exceso de manganeso.
- d) Exceso de cobre en el suelo.
- e) Exceso de irrigación en suelos calcáreos.
- f) Fertilizaciones masivas en suelos alcalinos.

Cox y Kamprath (11) explican que existen pocos informes en la literatura mundial sobre evaluación de métodos para la determinación de hierro aprovechable. En general, los métodos que se utilizan para su extracción usan soluciones de acetato de amonio 1N pH 4,8 o pH 7,0, - oxalato de amonio ácido, HCl 0,1 y agentes acomplejantes - (quelantes).

En suelos del Brasil, Santana (40) encontró que el HCl 0,1 N y el $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 1% extrajeron de 5 a 10 veces más hierro disponible que el $\text{NH}_4\text{-OAc}$ 1N pH 4,8 y este último 10 veces más que el $\text{NH}_4\text{-OAc}$ 1N pH 7,0. Soto (44) encontró, para suelos volcánicos de Nicaragua, que la capacidad de extracción de hierro de diferentes soluciones fué:

Oxalato de amonio ácido $\text{HCl } 0,1 \text{ N} > \text{NH}_4\text{OAc } 1\text{N pH } 4,8 > \text{NH}_4\text{OAc } 1\text{N pH } 7,0$.

Olson (30) sostiene que las cantidades de Fe extraídas con $\text{NH}_4\text{OAc } 1\text{N pH } 7,0$ dependen del tipo de suelo; insignificantes en suelos alcalinos, debido probablemente a la hidrólisis del Fe hacia $\text{Fe}(\text{OH})_3$, pero altas en suelos muy ácidos o mal drenados.

Soto (44) recomienda descartar los métodos que utilizan acetato de amonio neutro o ácido, ya que estos métodos extraen menos cantidades de hierro que el agua, debido probablemente a la formación de acetatos de hierro insolubles. De otra parte, sugiere que el oxalato de amonio ácido extrae un exceso de hierro, en razón de que libera parte del que está acomplejado con la materia orgánica, y concluye que el método más recomendable es el que utiliza una solución extractora $\text{HCl } 0,1\text{N}$, por cuanto correlaciona muy bien con las propiedades del suelo.

En relación a los niveles críticos de hierro aprovechable, los datos existentes son particularmente escasos en la literatura; no obstante, Olson y Carlson (31) sugieren que cuando la concentración de hierro extraído con $\text{NH}_4\text{OAc } 1\text{N pH } 4,8$ sea inferior a 2 ppm, se puede sospechar de deficiencia en especies sensitivas al Fe.

En la Tabla III se registraron las concentraciones promedios de hierro disponible obtenidos en suelos de diferentes regiones.

2.3.3 El hierro en plantas y animales

La esencialidad del hierro para la vida de la planta fue demostrada hace más de cien años (53). Este

elemento es esencial para el mantenimiento de la clorofila y es componente de muchas enzimas y citocromas, como de portadores, siendo fundamental su papel en la reacción de fosforilación oxidativa, de la cual, dependen todos los procesos energéticos de plantas y animales (33).

2.3.2 El hierro en el suelo

En lo relativo al papel del hierro en la vida animal, además de su participación en los procesos energéticos, es componente de la hemoglobina y varias enzimas y portadores (42).

La coliflor es una planta sensitiva a la deficiencia de hierro, constituyéndose así en una planta indicadora adecuada. El síntoma universal de su deficiencia es la clorosis, que si bien en muchos casos se puede confundir con el síntoma de deficiencia de nitrógeno, puede distinguirse en razón de que en la mayoría de las especies esta clorosis es típicamente intervenal (53).

2.4 Zinc

2.4.1 Origen

En la corteza terrestre, el zinc se encuentra en los siguientes minerales (25):

- a) Sulfuros: esfalerita ZnS .
- b) Carbonatos: smithsonita $ZnCO_3$.
- c) Silicatos: hemimorphita $Zn_4(OH)_2Si_2O_7$.

Según Hodgson (21), en rocas básicas el contenido promedio de zinc es de 130 ppm, en rocas ácidas 60 ppm y en rocas sedimentarias 80 ppm. Krauskopf (25) indica

que la concentración promedio de zinc en la corteza terrestre es de 80 ppm, en el granito 40 ppm, en el basalto 100 ppm, en la limolita 20 ppm, en la arenisca 16 ppm y en la arcillolita 95 ppm.

2.4.2 El zinc en el suelo

El zinc total en el suelo varía entre 10 y 300 ppm (13, 25) y se encuentra formando complejos orgánicos o combinado con varios minerales del suelo, en posiciones de intercambio en la fase coloidal y en la solución del suelo (41). Krauskopf (25) indica que probablemente la mayor parte del zinc en el suelo se encuentra adsorbido en los constituyentes finos, mientras que, para suelos tropicales, Igue y Bornemisza (23) sostienen que el 80% de este elemento se encuentra formando parte de complejos organometálicos.

El zinc es fuertemente adsorbido por la materia orgánica y las arcillas y precipita como hidróxido, fosfato, carbonato o silicato, dependiendo del pH(50). Nelson y Melsted (29) indican que las arcillas minerales del tipo 2:1 retienen más zinc que las del tipo 1:1 y sostienen que esta es la causa de la deficiencia de zinc en suelos del trópico húmedo donde predominan las arcillas del tipo 1:1, favoreciendo así su pérdida por lixiviación.

De la misma manera, Tisdale y Nelson (47) señalan que el zinc es adsorbido por la superficie de carbonatos de calcio y magnesio. Al respecto, Lucas y Knezeck (26) indican que en suelos encañados el zinc puede ser fijado a la superficie de las partículas de CaCO_3 que no han reaccionado. Estas evidencias explican la baja disponibilidad de zinc en suelos calcáreos o encañados.

El zinc es un elemento que tiene muy poca movilidad en el perfil del suelo (41); sin embargo, Harrows y sus colaboradores (5) han demostrado que el movimiento del zinc varía con la textura del suelo, disminuyendo de suelos arenosos a francos.

La concentración de zinc en el suelo está asociada con el material parental. Así, Sauchelli (41) afirma que los suelos originados de rocas calcáreas tendrán un mayor contenido de zinc que los originados de gneiss o cuarcita, en tanto que en los suelos de origen aluvial habrá más zinc que en los suelos originados de pizarras. De la misma manera, suelos provenientes de material ígneo básico tendrán suficiente zinc disponible a la planta, en tanto que suelos derivados de material ígneo ácido es probable que muestren deficiencia (6).

La aprovechabilidad del zinc decrece a medida que aumenta el pH del suelo, especialmente cuando predomina el calcio con el que forma zincatos insolubles. El punto crítico se halla entre los valores de pH de 5,5 a 6,5 (13, 21, 26, 41).

Los tipos de suelos en los cuales se puede presentar deficiencia de zinc son (13, 26):

- a) Suelos ácidos arenosos lixiviados con bajo nivel de zinc total.
- b) Suelos alcalinos.
- c) Suelos derivados de material parental ácido (granitos, gneiss, etc.).
- d) Suelos calcareos.
- e) Suelos orgánicos.

f) Suelos de áreas muy lluviosas.

g) Suelos compactados.

h) Suelos "humic-gley".

En lo que respecta a las prácticas de manejo que afectan la disponibilidad de zinc, Lucas y Knezeck (26) indican las siguientes:

a) El encalamiento de suelos ácidos.

b) La fertilización fosfatada en dosis altas, especialmente en condiciones de bajas temperaturas.

c) Aplicaciones altas de nitrógeno.

Se han utilizado varias soluciones extractoras de zinc disponible. De acuerdo a Cox y Kamprath (11), las más usadas son:

a) Acetato de amonio 1N pH 7,0.

b) Acetato de amonio 1N pH 4,8

c) Ácido clorhídrico 0,1 N.

También se han utilizado mezclas de ácido clorhídrico con el ácido sulfúrico y con el sulfato de magnesio, mientras que otros investigadores han preferido el uso de sales neutras como el nitrato de amonio, el cloruro de potasio y el cloruro de magnesio (44).

Santana (40), en suelos del Brasil, comprobó que las cantidades extraídas con acetato de amonio normal a pH 7,0 fueron inferiores a las extraídas con el mismo acetato de amonio a pH 4,8, pero las mayores cantidades fue

ron extraídos con HCl 0,1 N y EDTA 1%. En suelos volcánicos de Nicaragua, Soto (44) encontró que el acetato de amonio ácido y el HCl 0,1 N fueron cuantitativamente más eficiente para extraer el zinc disponible que el oxalato de amonio y el acetato de amonio neutro. El mismo autor anota que este elemento se comportó muy irregularmente en relación a las características del suelo y recomienda probar otros métodos que incluyan agentes acomplejadores.

Viets y Soawn (50) sostienen que de los métodos propuestos como índices de aprovechabilidad de zinc, solamente dos han sido calibrados suficientemente en relación a la absorción de zinc por la planta, a saber: el que utiliza como solución extractora NH_4OAc 1N pH 4,8 y la extracción con el HCl 0,1N. Sin embargo, los mismos autores indican que no hay suficiente información para decir cuál de ellos es mejor bajo diferentes condiciones regionales o locales.

En relación a la determinación de niveles críticos, talvez el zinc es el micronutrientes que más atención ha recibido. Viets, et al (51) establecen que la deficiencia del zinc en maíz ocurre a niveles inferiores a 0,4 ppm, cuando se utiliza el método del NH_4OAc 1N pH 4,8 y Dithizona. En base al mismo método, Brown y sus colaboradores (9) proponen un nivel crítico de 0,55 ppm para especies sensitivas. Wear y Sommer, citado por Cox y Kamprath (11), en base a extracción con HCl 0,1 N, establecieron que 1 ppm de cinc o más es suficiente para prevenir la deficiencia de este elemento en maíz.

El pH juega un papel importante en la in-

interpretación de las concentraciones de zinc disponible. Así, Shaw y Dean (43) utilizando una solución extractora de acetato de amonio 1N pH 4,8 y Dithizona, encontraron para varios cultivos, que en suelos de pH igual o mayor de 7,0, cuya concentración de zinc era de 1 ppm o menos, se presentó deficiencia de este elemento, en tanto que en suelos de pH igual o menor de 6,0 el nivel crítico fue 2,5 ppm.

En la Tabla IV se incluyen los valores de zinc disponible obtenidos en suelos de diferentes regiones.

2.4.3 El zinc en plantas y animales

El zinc en las plantas es componente de distintas enzimas anhidrasas, deshidrogenasas, proteinasas y peptidasas. También está asociado con el comportamiento de las auxinas, especialmente en la síntesis del ácido indolacético (33).

Los síntomas agudos de deficiencia de zinc son fácilmente distinguibles en cítricos, en los cuales se presenta una típica clorosis intervenal en las hojas. Los frutales, particularmente los cítricos, son buenas plantas indicadoras de deficiencia de este elemento. Esta sensibilidad también es usual en maíz, frijol, algodón, cebolla, sorgo y tomate. Por el contrario, el trigo, arroz, cebada y avena son insensibles al suministro de zinc (13).

En los animales, el zinc interviene en el equilibrio ácido base del cuerpo, a través de la enzima anhidrase carbónica, también tiene que ver con la liberación del CO_2 por los pulmones y en la neutralización de los jugos gástricos (42).

TABLA I

DISTRIBUCION DE COBRE INTERCAMBIABLE EN ALGUNOS SUELOS

Sue los	Profundi- dad en cm.	Cobre en ppm	Ex tr a c t o r	R e f e r e n c i a
Suelos arenosos de Israel	0 - 30 30 - 60	2,1 1,9	EDTA	Ravikovitch (34)
Suelos aluvionales de Israel	0 - 30 30 - 60	5,5 5,2	EDTA	Ravikovitch (34)
Suelos Andosoles de Costa Rica	0 - 30 30 - 60	17,4 19,9	HCl 0,1 N	Rubinstein (36)
Suelos forestales de Escocia	6 - 20 33 - 48	0,4 0,1	ACIDO ACETICO 2,5%	Swaine y Mitchell (45)
Suelos de Bahía Brasil		0,4 0,1	NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ OAc 1N pH 7	Santana (40)
Suelos de la Sabana de Túquerres		0,54	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Chamorro y Echeverría (12)
Suelos de la Llanura del Pacifico		5,54	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Agreda y Otero (1)
Suelos volcánicos de Nicaragua		54,27 46,26 7,27 2,09	Oxalato de amonio HCl 0,1N NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ OAc 1N pH 7,0	Soto (44)

TABLA II

DISTRIBUCION DE COBALTO INTERCAMBIABLE EN ALGUNOS SUELOS

Suelos	Cobalto en ppm	Extractor	Referencia
Suelos de la Sabana de Túquerres	0,87	NH_4OAc , 1N pH 4,8	Chamorro y Echeverría (12)
Suelos del Valle del Patía	0,47	NH_4OAc , 1N pH 4,8	Astaiza (3)
Suelos del Altiplano de Ipiates	0,10	NH_4OAc , 1N pH 4,8	Salas (38)
Suelos de la Llanura del Pacífico	0,64	NH_4OAc , 1N pH 4,8	Agreda y Otero (1)
Suelos volcánicos de Nicaragua	6,41 1,89	Oxalato de amonio HCl 0,1N	Soto (44)

TABLE III

DISTRIBUCION DE HIERRO INTERCAMBIABLE EN ALGUNOS SUELOS

S u e l o s	Profundi- dad cm.	Hierro en ppm	E x t r a c t o r	R e f e r e n c i a
Suelos ácidos de España	0 - 10 10 - 25	4,3 0,8	NH ₄ OAc, 1N pH 7	Sánchez y Dios (39)
Suelos forestales de Escocia	6 - 20 33 - 48	10,0 5,0	Acido acético 2,5%	Swaine y Mitchell (45)
Suelos de Bahía, Brasil	0 - 20	28,9 2,2	NH ₄ OAc, 1N pH 4,8 NH ₄ OAc, 1N pH 7	Santana (40)
Suelos de la Sabana de Túquerres		140,6	NH ₄ OAc, 1N pH 4,8	Chamorro y Echeverría (12)
Suelos del Altiplano de Ipiales		39,68	NH ₄ OAc, 1N pH 4,8	Salas (38)
Suelos de la Llanura del Pacífico		1.766,39	NH ₄ OAc, 1N pH 4,8	Agreda y Otero (1)
Suelos volcánicos de Nicaragua		8.857,90 1.397,90	Oxalato de amonio HCl 0,1N	
		241,70 0,09	NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ OAc 1N pH 7,0	Soto (44) y Soto (1)

TABLA IV

DISTRIBUCION DE ZINC INTERCAMBIABLE EN ALGUNOS SUELOS

S u e l o s	Profundi- dad en cm.	Zinc en ppm	E x t r a c c i o n	R e f e r e n c i a
Suelos aluvionales de Israel	0 - 30 30 - 60	8,6 5,5	EDTA	Ravikovietch (34)
Suelos andosoles de Costa Rica	0 - 30 30 - 60	7,2 4,2	HCl 0,1 N	Rubinstein (36)
Suelos de bahía Brasil	0 - 20	2,0	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Santana (40)
Suelos de la Saba- na de Tóquerres		0,97	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Chamorro y Beheverría (12)
Suelos del Valle del Patía		0,96	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Astaiza (3)
Suelos del Altiplano de Ipiates		10,65	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Salas (38)
Suelos de la Llanura del Pacífico		0,75	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Agreda y Otero (1)
Suelos Volcánicos de Nicaragua		13,44 17,97 24,19 6,96	Oxalato de amonio ácido HCl 0,1N NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ OAc 1N pH 7,0	Soto (44)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Aspectos generales de la región

3.1.1 Localización

La región comprendida en este estudio, se encuentra situada al noroeste de la Intendencia Nacional del Putumayo en el extremo sur-central de Colombia, entre las localidades de Mocoa y Puerto Asís (27). Geográficamente, la zona se localiza al occidente del meridiano de Greenwich, entre $0^{\circ} 30'$ a $1^{\circ} 15'$ de latitud norte y $76^{\circ} 25'$ a $76^{\circ} 40'$ de longitud (19) (Figura 1).

3.1.2 Geología

De acuerdo a Royo y Gómez, citados por Estrada y Martínez (16), la geología de la región estudiada incluye principalmente las formaciones terciario superior, cretáceo y terciario inferior (Figura 2).

3.1.3 Ecología y clima

Según sistema de Holdridge (22) usado por Espinal y Montenegro (15), en la región estudiada se encuentran las siguientes formaciones vegetales: bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST) en el área de Mocoa, El Pepino y Villagarzón y bosque muy húmedo tropical (bmh-T) en la región selvática. Según Gómez (19), la precipitación es variable y oscila entre 3.000 y 5.000 mm./año. Las lluvias son intensas y frecuentes en abril, mayo, junio y julio; menor fuertes e intermitentes en agosto, septiembre y octubre; invierno suave en marzo, noviembre y diciembre, - mientras que enero y febrero son meses de verano. La temperatura promedio anual oscila entre 24 y 30°C.

3.1.4 Uso de la tierra

La región estudiada comprende aproximadamente 20.000 hectáreas, que se hallan distribuidas en la siguiente forma; el 80% está ocupado por selva virgen, el 15% por praderas naturales y artificiales y el 5% restante se encuentra bajo cultivo de arroz, plátano, maíz, yuca y caña de azúcar (27).

3.2 Suelos

Los suelos estudiados se pueden clasificar dentro del orden oxisoles, en el sistema 7a. aproximación. Su perfil presenta colores brillantes amarillos y amarillo-rojizos, debido a la acumulación de óxido de hierro (27).

Son suelos de reacción ácida, con un pH promedio de 5,24. El contenido promedio de carbono orgánico es relativamente alto (1,99%), lo mismo que el de nitrógeno total (0,22%). Tanto las bases cambiabiles como el fósforo aprovechable se pueden calificar como bajos o muy bajos, lo que determinan que estos suelos se califiquen como de baja fertilidad (27).

En las Tablas V y VI se incluyen algunas características físicas y químicas de los suelos estudiados, las cuales fueron determinadas por Matta y Palacios (27).

3.3 Muestreo

Para el presente trabajo se utilizaron las muestras recolectadas por Matta y Palacios (27) y correspondientes a suelo y subsuelo de perfiles ubicados en las siguientes localidades de la Intendencia Nacional del Putumayo.

Mocos (pradera), El Pepino (bosque), Villagarzón (pradera), Cafelina (pradera), Urechupayaco (bosque), Puerto Caicedo (pradera), Campo Santana (pradera) y Puerto Asís (pradera), cuya localización se observa en la Figura 2.

3.4 Procedimiento analítico

Para la extracción de cobre, cobalto, hierro y zinc, en su fracción disponible, se utilizaron dos soluciones:

- a) NH_4OAc 1N pH 4,8
- b) NH_4OAc 1N pH 7,0

Los métodos analíticos utilizados en las determinaciones fueron las de Saiz del Río y Bornemisza (37) y Veriginia (49), con las modificaciones propuestas por Yang (54).

La determinación de los elementos en el extracto del suelo, se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro "VARIAN TECHRON-AA 120" (Figura 3), perteneciente a la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Cauca, cuyas condiciones de operación aparecen en la Tabla I del apéndice. Los métodos utilizados se describen detalladamente en el Apéndice.

3.5 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron criterios de correlación lineal. Se establecieron comparaciones estadísticas para las dos soluciones extractoras, mediante la prueba de "t". Además se calcularon coeficientes de variación y límites de confianza.

TABLA V

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS CORRESPONDIENTES A LOS SUELOS
Y SUBSUELOS ESTUDIADOS (")

Nombre de la muestra	Horizonte	Profundidad cms	Altitud msnm	Humedad Sug lo seco al aire X	C o l o r	
					En seco	húmedo
MOCCA	Suelo	0 - 20	760	4,66	7,5YR-6/4	7,5YR-4/4
	Subsuelo	20 - 70		6,95	2,5YR-6/6	5YR-4/8
EL PEPINO	Suelo	0 - 26	810	10,17	5YR-6/4	2,5YR-4/4
	Subsuelo	26 - 88		4,95	2,5YR-6/4	2,5YR-5/4
VILLACANZON	Suelo	0 - 08	640	7,52	10YR-7/6	5YR-5/4
	Subsuelo	08 - 52		5,25	2,5YR-6/8	5YR-5/8
CAPELINA	Suelo	0 - 12	580	14,81	10YR-5/2	10YR-3/2
	Subsuelo	12 - X ⁹		15,40	10YR-6/3	10YR-4/2
URCHUPAYACO	Suelo	0 - 07	540	13,00	10YR-5/6	10YR-4/4
	Subsuelo	07 - 80		5,17	10YR-7/8	7,5YR-5/8
PUERTO CAICEDO	Suelo	0 - 15	480	19,57	10YR-5/3	10YR-3/4
	Subsuelo	15 - 120		2,31	2,5YR-7/4	10YR-5/4
CAMPO SANTANA	Suelo	0 - 05	480	10,33	10YR-5/4	10YR-4/2
	Subsuelo	05 - 38		8,54	7,5YR-5/8	5YR-5/6
PUERTO ASIS (Río Putumayo)	Suelo	0 - X ⁹	480	1,68	10YR-6/3	10YR-4/3

X⁹ - Profundidad a más de 90 cm

(") - Tomado de Matra y Palacios (27).

TABLA V

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS CORRESPONDIENTES A LOS SUELOS
Y SUBSUELOS ESTUDIADOS
(Continuación)

Nombre de la Muestra	Horizonte	Arenas %	Arcillas %	Limos %	Textura
MCCOA	Suelo	31,60	40,11	28,28	Fco. Arcilloso
	Subsuelo	15,64	52,90	31,46	Arcilloso
EL PEPINO	Suelo	18,88	48,68	32,44	Arcilloso
	Subsuelo	14,32	49,12	36,56	Arcilloso
VILLACARZON	Suelo	41,04	35,96	23,00	Fco. Arcilloso
	Subsuelo	30,68	50,96	18,36	Arcilloso
CAFELINA	Suelo	56,72	15,12	28,16	Fco. Arenoso
	Subsuelo	64,28	18,36	19,36	Fco. Arenoso
URCHUPAYACO	Suelo	33,44	48,96	17,60	Arcilloso
	Subsuelo	26,16	55,68	18,16	Arcilloso
PUERTO CAICEDO	Suelo	63,76	10,24	26,00	Fco. Arenoso
	Subsuelo	53,48	16,82	29,70	Fco. Arenoso
CAMPO SANTANA	Suelo	25,04	46,96	28,00	Arcilloso
	Subsuelo	14,68	70,11	15,20	Arcilloso
FUERTE ASIS (Río Putumayo)	Suelo	53,96	13,39	32,65	Franco

TABLA VI

ALGUNAS CARACTERISTICAS QUIMICAS CORRESPONDIENTES A LOS SUELOS
Y SUELOS ESTUDIADOS (")

Nombre de la muestra	Profundidad cm	pH	Carbono %	Nitrógeno %	N.O. %	C/N	G. I. G. meq/100 gr.suelo
MOCOA	0 - 20	5,30	2,01	0,20	3,46	10,05	18,84
	20 - 70	5,40	0,26	0,09	0,44	2,89	22,04
EL PEPINO	0 - 26	4,90	2,38	0,30	3,10	7,93	20,38
	26 - 88	5,20	0,88	0,09	1,52	9,78	18,38
VILLACARZON	0 - 08	4,95	2,32	0,25	4,00	9,28	12,90
	08 - 52	5,25	0,76	0,12	1,31	6,33	8,85
CAFELINA	0 - 12	5,40	6,20	0,67	10,69	9,25	30,52
	12 - X ⁴	5,75	2,91	0,13	5,01	22,38	18,92
URCHUPAYACO	0 - 07	4,70	2,44	0,33	4,21	7,39	13,67
	07 - 80	5,30	0,63	0,07	1,09	9,00	11,15
PUESTO CAIGEDO	0 - 15	4,70	3,01	0,43	4,20	7,00	17,69
	15 - 120	5,10	0,37	0,06	0,63	6,17	8,39
CAMPO SANTANA	0 - 05	4,90	4,85	0,51	8,37	9,51	32,21
	05 - 58	5,50	0,78	0,12	1,35	65,00	14,76
PUESTO ASIS (Río Putumayo)	0 - X ⁴	6,25	0,12	0,06	0,21	2,40	95,56

X⁴ - Profundidad a más de 90 cm.

(") - Tomado de Matra y Palacios (27).

TABLA VI
ALGUNAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS CORRESPONDIENTES A LOS SUE-
LOS Y SUBSUELOS ESTUDIADOS
(Continuación)

Nombre de la Muestra	Profundidad cm	Bases cambiables en ppm			
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
MOCOA	0 - 20	222,40	35,63	112,51	16,22
	20 - 70	53,47	24,48	102,67	18,72
EL PEPINO	0 - 26	81,53	34,84	123,94	27,54
	26 - 88	22,04	17,87	44,60	10,49
VILLACARZON	0 - 08	22,58	14,71	102,14	17,20
	08 - 52	11,05	20,80	39,47	16,31
CAPELINA	0 - 12	47,07	29,53	93,00	32,15
	12 - X ^o	12,12	19,65	58,85	15,00
URCHUPAYACO	0 - 07	9,04	29,06	50,85	32,20
	07 - 80	5,26	14,39	19,46	13,15
PUESTO CAICEDO	0 - 15	19,13	20,36	52,61	25,11
	15 - 120	10,74	14,00	26,60	10,74
CAMPO SANTANA	0 - 05	10,74	39,91	179,30	19,86
	05 - 58	11,40	14,85	22,80	15,19
PUESTO ASIS (Río Putumayo)	0 - X ^o	305,04	36,78	73,72	39,15

X^o - Profundidad a más de 90 cm.

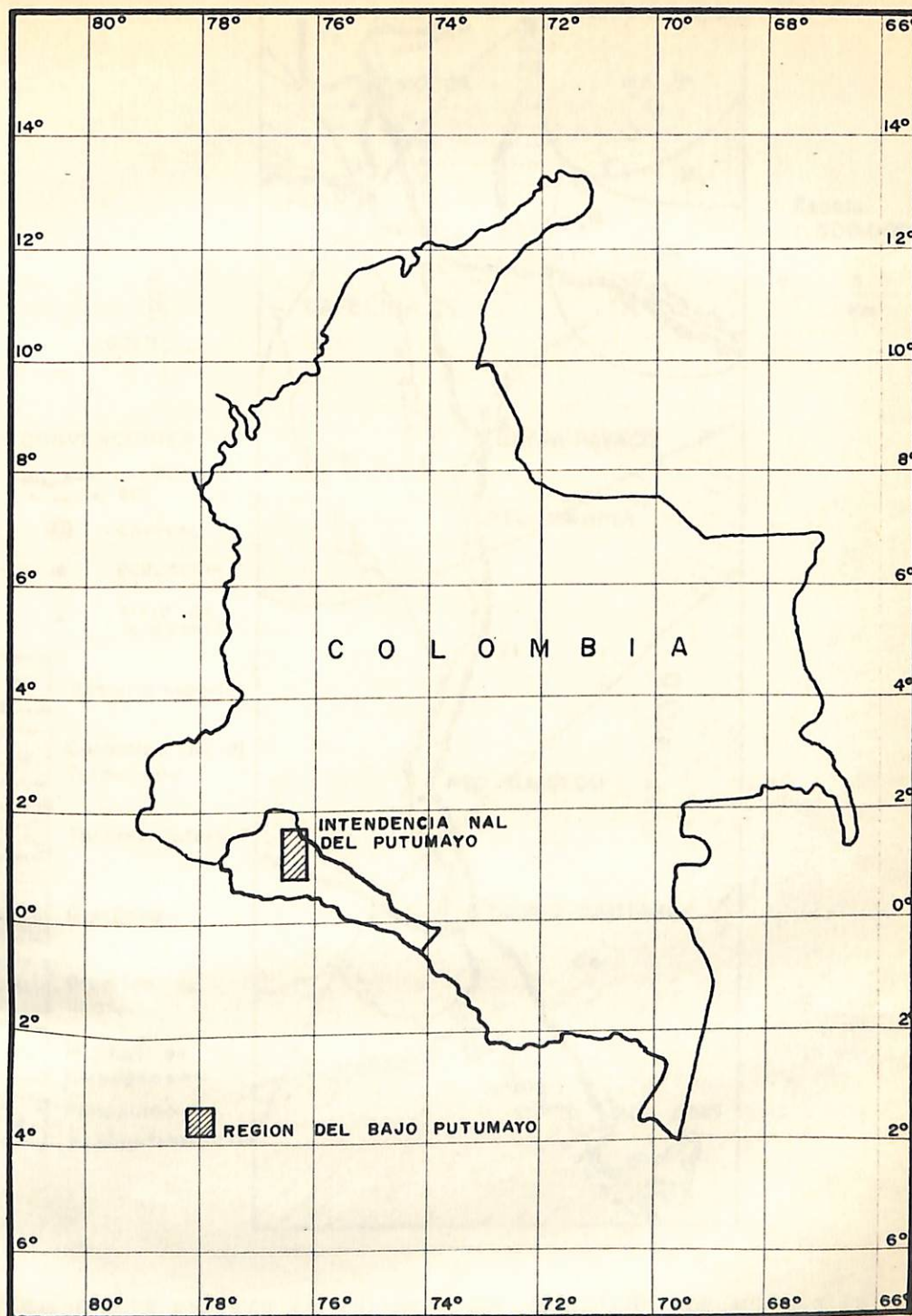


Fig. 1 Localización del área de estudio.

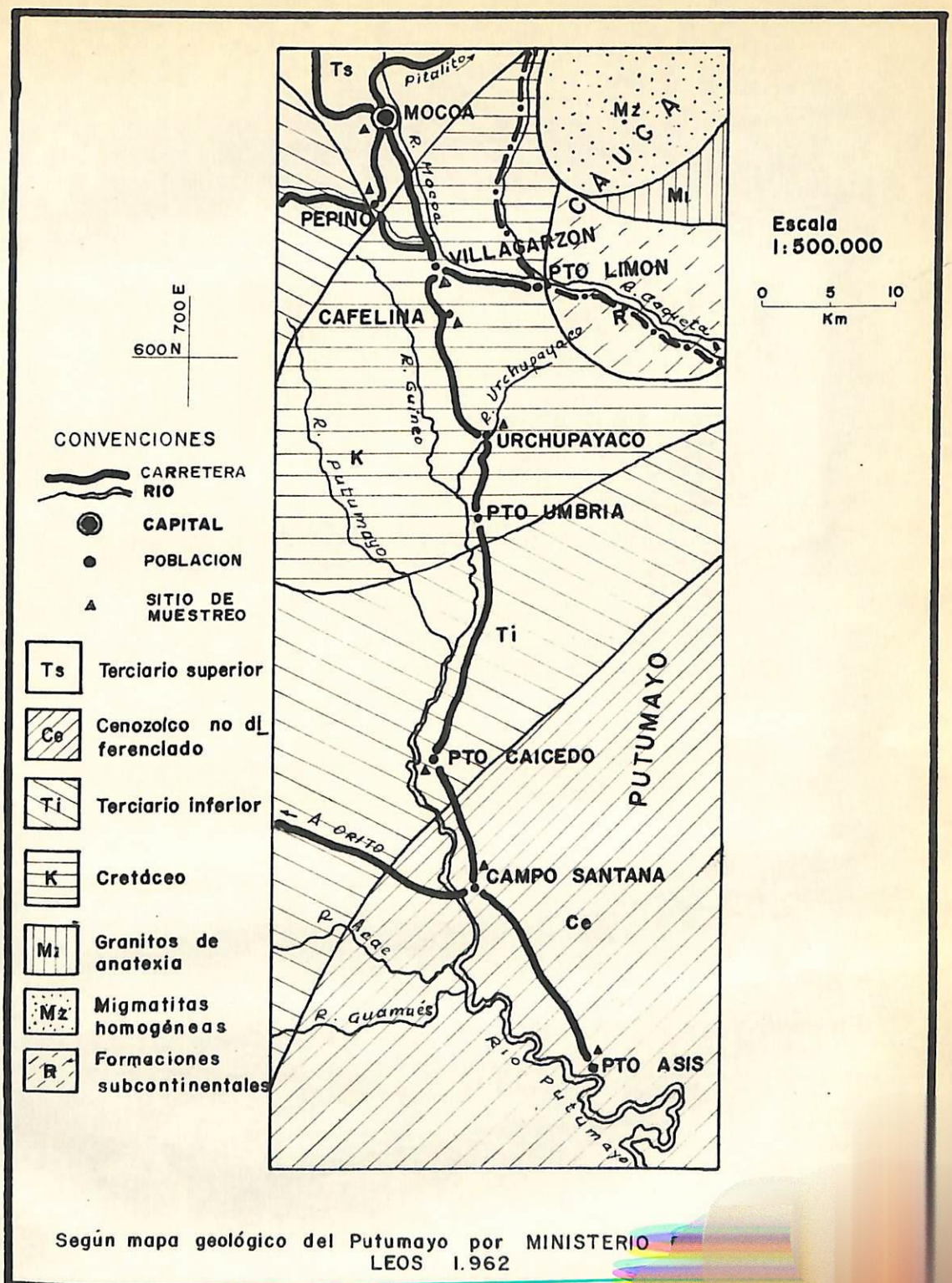


Fig. 2 Mapa geológico del área de estudio y sitios de muestreo

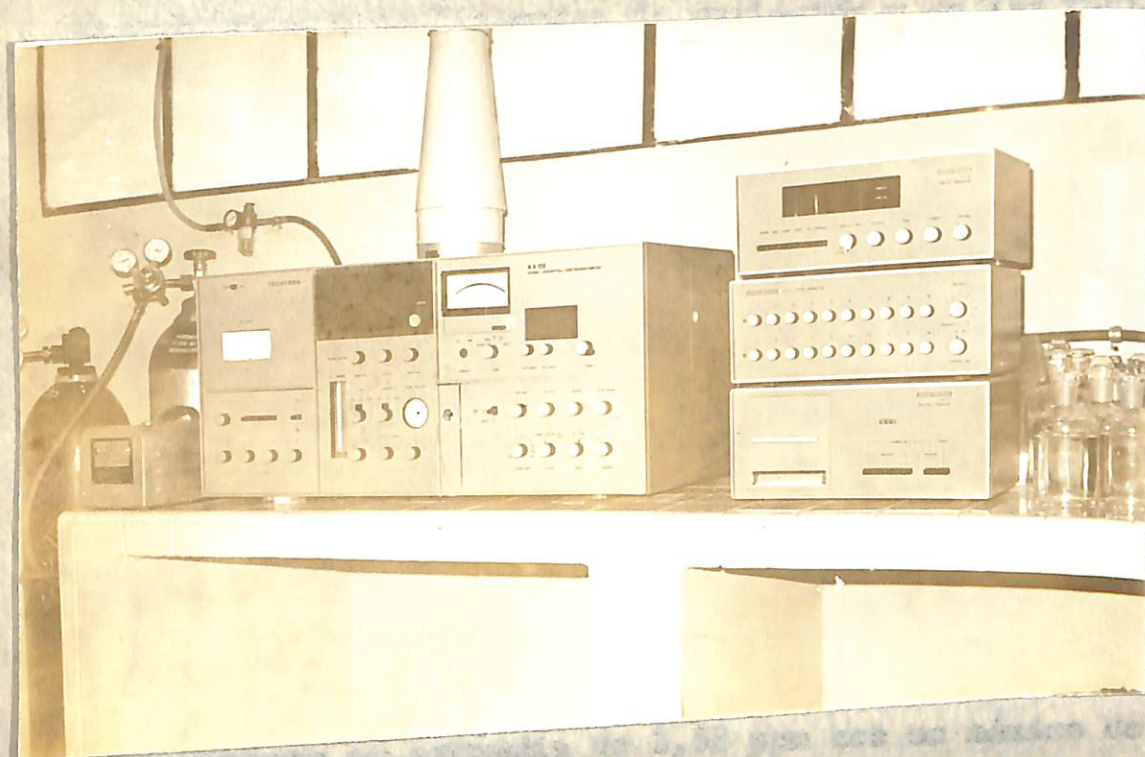


Figura 3. Espectrofotómetro de absorción atómica utilizado en el estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados generales de la investigación se incluyen en las Tablas VII y VIII. En la Tabla IX se presentan las concentraciones máximas, promedias y mínimas de los micronutrientes estudiados. La Tabla X muestra los límites de confianza y coeficientes de variación y en las Tablas XI a XV los resultados de las comparaciones estadísticas entre métodos y regiones, lo mismo que los resultados del análisis de correlación. En las Figuras 4 y 5 se grafican las concentraciones promedias obtenidas para suelos y subsuelos, respectivamente.

4.1 Cobre

La concentración promedio de cobre extraído con acetato de amonio ácido fué de 3,72 ppm en el suelo y 3,04 ppm en el subsuelo. Los valores para suelos oscilaron entre 1,00 ppm (Cafelina) y 12,43 ppm (Mocoa) y para subsuelos entre 0,39 ppm (Campo Santana) y 7,08 ppm (Puerto Caicedo). Cuando el extractor fué acetato de amonio neutro, los suelos mostraron un promedio de 3,52 ppm con un máximo de 7,28 ppm (Mocoa) y un mínimo de 0,90 ppm (Villagarzón) y los subsuelos un promedio 2,04 ppm con un máximo de 6,59 ppm (Puerto Caicedo) y un mínimo de 0,43 ppm (Campo Santana).

El promedio de cobre intercambiable obtenido para los suelos (NH_4OAc 1N pH 4,8) es superior al encontrado en la Sabana de Tùquerres (12) e inferior al determinado en suelos de la Llanura del Pacífico (1). Sin embargo, la comparación estadística establecida (Tabla XII) indica que estas diferencias no son confiables al nivel del 95% de probabilidad. De otra parte, la concentración promedio de este elemento en los suelos estudiados es superior a la encontrada

da en suelos del Brasil (40) e inferior a la obtenida en suelos volcánicos de Nicaragua (44), cuando el extractor utilizado fué acetato de amonio ácido (Tabla I). Si se toma en cuenta el límite crítico de 0,2 ppm propuesto para este elemento por Cox y Kamprath (11), cuando se utiliza acetato de amonio ácido como solución extractora, ninguno de los suelos estudiados presentaría deficiencia de cobre para la planta.

Las correlaciones estadísticas establecidas con materia orgánica y pH no fueron significativas ($P > 0,05$) y los respectivos coeficientes de asociación muy bajos (Tablas XIII y XIV). Esta situación indicaría, de acuerdo a Soto (44), que ninguna de las dos soluciones extractoras utilizadas da un buen margen de confiabilidad en lo relativo a su bondad o eficiencia como método de determinación de cobre aprovechable para la planta. Esta apreciación se basa en el hecho comprobado de que el cobre se acompleja con los ácidos húmicos y, por lo tanto, un buen método de extracción debería resultar en correlaciones negativas con alto porcentaje de asociación con la materia orgánica.

De otra parte, se detectaron correlaciones negativas entre cobre intercambiable y contenido de arcillas, siendo significativa ($P < 0,01$) la obtenida cuando se utilizó NH_4OAc 1N pH 7,0 como extractante. Esta relación es contraria a la esperada y detectada por algunos autores como Soto (44) y corrobora la baja confiabilidad de las soluciones extractoras utilizadas, especialmente la del acetato de amonio neutro.

4.2 Cobalto

En los suelos, el contenido de cobalto cambiante

extraído con NH_4OAc 1N pH 4,8 osciló entre trazas (Campo - Santana) y 2,80 ppm (Urchupayaco), con un promedio de 1,10 ppm. En los subsuelos el promedio fué de 0,31 ppm con un máximo de 0,77 ppm (Mocoa) y un mínimo de trazas (Villagarzon, Cafelina, Campo Santana). Cuando el extractor fué NH_4OAc 1N pH 7,0, el promedio para suelos fué de 1,58 ppm, con una variación comprendida entre trazas (Campo Santana) y 3,07 ppm (Urchupayaco); para los subsuelos el promedio fué de 0,46 ppm con un máximo de 1,54 ppm (Mocoa) y un mínimo de trazas (Villagarzón, Cafelina, Campo Santana).

De lo anterior resulta claro que para las dos soluciones extractoras, la concentración de cobalto cambiabile tiende a ser menor en los subsuelos que en los suelos.

Si se observa la Tabla II, se encuentra que la concentración promedio de cobalto obtenida para los suelos estudiados es superior a la encontradas en el Altiplano de Ipiales (38), Sabana de Túquerres (12), Valle del Patía - (3) y Llanura del Pacífico (1), pero las diferencias no son confiables a nivel estadístico significativo ($P > 0,05$) - (Tabla II).

En la literatura no se reportan datos sobre niveles críticos de cobalto cambiabile, en relación a la nutrición del ganado. Sin embargo, se podría sospechar que en los suelos que muestran trazas en su concentración se presente déficit de cobalto. Tal sería el caso del suelo Campo Santana.

De las correlaciones estadísticas establecidas con algunas propiedades del suelo, ninguna fué detectable a nivel estadístico significativo ($P > 0,05$) (Tablas XIII)

y XIV), contrastando esta situación con la registrada por Soto (44) en suelos de Nicaragua. Esto da pie a pensar que las soluciones extractoras utilizadas no son suficientemente confiables al no discriminar la extracción en relación a propiedades del suelo tales como pH, % de materia orgánica y % de arcilla.

4.3 Hierro

Cuando se utilizó el acetato de amonio ácido como solución extractora, el promedio de hierro cambiante en los suelos fue de 543,90 ppm, la concentración máxima se obtuvo en el suelo Cafelina (681,97 ppm) y la mínima en el suelo Puerto Asís (370,93 ppm); en los subsuelos el promedio fue de 279,60 ppm, con un máximo de 558,54 ppm (Cafelina) y un mínimo de 86,06 ppm (El Pepino). Cuando la extracción se efectuó con acetato de amonio neutro, el promedio en los suelos fue de 601,41 ppm, el valor máximo se detectó en el suelo Campo Santana (694,89 ppm) y el mínimo en el suelo Puerto Caicedo (480,67 ppm); en los subsuelos el promedio fue de 245,44 ppm con un máximo de 535,46 ppm (Cafelina) y un mínimo de 52,76 ppm (Villagarzón).

Salta a la vista que la concentración de hierro en el suelo por lo menos duplica a la del subsuelo, tanto para la solución ácida como para la solución neutra.

Al establecer las comparaciones estadísticas entre las concentraciones promedio de hierro extraídas con NH_4OAc a pH 4,8 y las obtenidas en suelos de la Sabana de Túquerres, Altiplano de Ipiales y Llanura del Pacífico se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Tabla XII). De acuerdo a esto y a los valores registrados en la Tabla III, la secuencia de concentraciones sería:

Llanura del Pacífico (1.766 ppm) > Intendencia del Putumayo (543 ppm) > Sabana de Tóquerres (140 ppm) > Altiplano de Ipiales (39 ppm).

Es lógico que los suelos latosólicos de los trópicos húmedos de la Llanura del Pacífico e Intendencia del Putumayo presenten una mayor concentración de hierro que la registrada en los suelos volcánicos de Tóquerres e Ipiales. Así mismo, el promedio obtenido para los suelos del Putumayo supera con mucho al registrado en suelos del Brasil (40).

A pesar de que algunos autores (30, 44) sostienen que el acetato de amonio es un extractante inadecuado del hierro intercambiable, por formar acetatos de hierro insolubles que conducen a una baja extracción de este elemento, los resultados obtenidos llevan a descartar cualquier posibilidad de deficiencia de hierro en los suelos estudiados. La anterior afirmación se explica por cuanto a pesar de la baja capacidad extractora del acetato de amonio en comparación a otras soluciones extractoras (44), las concentraciones registradas son altas, superando ampliamente el nivel crítico de 2 ppm propuesto por Olson y Carlson (31) para este tipo de extractante.

La concentración de hierro intercambiable relacionó en forma directa ($P < 0,01$) con el contenido de materia orgánica para las dos soluciones extractoras utilizadas, mostrando coeficientes de asociación cercanos a 40%. Esta circunstancia es contraria a la esperada, pues tal como lo encontró Soto (44), cuando utilizó como extractantes HCl 0,1 N y oxalato de amonio ácido, la relación debería ser inversa. Lo anterior corrobora la opinión de que el acetato de amonio no es un extractante adecuado para este elemento. De

otra parte, la explicación a la relación directa con la materia orgánica podría ser que el acetato de amonio extrae parte del hierro acompañado con la materia orgánica, lo cual, a su vez, explica la mayor concentración de Fe intercambiable en el suelo.

4.4 Zinc.

Al utilizar como solución extractora el acetato de amonio ácido, el promedio obtenido para los suelos estudiados fué de 12,39 ppm con un máximo de 18,63 ppm en el suelo Mocoa y un mínimo de 8,66 ppm en el suelo Puerto Cabello; para los subsuelos el promedio fué de 12,93 ppm, con un máximo de 16,23 ppm (El Pepino) y un mínimo de 8,20 ppm (Urchupayaco). Cuando la solución extractora utilizada fué el acetato de amonio neutro, el promedio para los suelos fué de 11,13 ppm, con un máximo de 15,04 ppm (Campo Santa-na) y un mínimo de 8,39 ppm (Villagarzón); para los subsuelos el promedio obtenido fué de 10,49 ppm, el máximo se registró en Villagarzón (13,89 ppm) y el mínimo en Campo Santana (6,82 ppm).

A la vista de los resultados anteriores, es evidente que la concentración de zinc intercambiable en el subsuelo es similar a la del suelo.

Tal como se muestra en la Tabla XII, se detectaron diferencias estadísticamente confiables entre los valores obtenidos en los suelos estudiados, a partir de extracción con acetato de amonio ácido, y los encontrados en los suelos de la Sabana de Túquerres, Llanura del Pacífico y Valle del Patía, pero la diferencia no fué confiable en el caso del Altiplano de Ipiales. De la observación a la Tabla IV se obtiene la siguiente secuencia aproximada de

concentración:

Putumayo (12 ppm) $\geq$ Altiplano de Ipiales (10 ppm) $>$ Sabana de Túquerres (0,97 ppm) $\geq$ Valle del Patía (0,96 ppm) $\geq$ Llanura del Pacífico (0,75 ppm).

En estas circunstancias, mientras la concentración promedio obtenida para Túquerres, Patía y Llanura del Pacífico se califica como baja, aunque no deficiente, la obtenida en suelos del Putumayo es muy alta, probablemente la más alta registrada en Colombia. Con base en lo anterior y más alta registrada en Colombia. Con base en lo anterior y llevando en cuenta que los niveles críticos sugeridos por algunos autores (9, 5) oscilan entre 0,4 ppm y 1,0 ppm (para extracción con NH_4OAc 1N pH 4,8), se puede afirmar que los suelos estudiados están muy bien abastecidos de zinc, aún tomando en cuenta el límite de confianza inferior para la medida de la población 8,94 ppm, (Tabla X).

Entre las correlaciones estadísticas obtenidas con diferentes características edáficas, destaca la positiva y significativa obtenida con el % de arcillas 73 % de asociación, (Tabla XIV) cuando el extractante usado fué acetato de amonio ácido, relación ésta que resulta lógica y abona a la bondad del método.

4.5 Variabilidad de los micronutrientes

En la Tabla X se observan los coeficientes de variación y límites de confianza para los diferentes micronutrientes estudiados.

En todos los casos, la variabilidad fué mayor cuando el extractante utilizado fué el NH_4OAc 1N pH 4,8. El anterior resultado supone que este método de extracción provee

de un mayor índice discriminatorio que el que utiliza NH_4OAc 1N pH 7,0.

Para las dos soluciones extractoras utilizadas, la secuencia de variabilidad de los micronutrientes fué aproximadamente:

Cobre $\geq$ Cobalto $>$ Zinc $>$ Hierro

Puesto que la confiabilidad de la media es inversamente proporcional a la variabilidad obtenida, la secuencia de confiabilidad sería:

Hierro $>$ Zinc $>$ Cobalto $\geq$ Cobre

Esta secuencia supone que para aumentar la sensibilidad de las comparaciones estadísticas para cobalto y cobre es necesario aumentar el número de observaciones o muestras.

4.6 Comparación de metodologías de extracción

La Tabla XI ilustra sobre los resultados de la comparación estadística de las soluciones extractoras NH_4OAc 1N pH 4,8 y NH_4OAc 1N pH 7,0. Como se vé, ni en suelo ni en sub suelo se detectan diferencias significativas ($P > 0,05$) en ninguno de los nutrientes estudiados. Esto no coincide con lo encontrado por Santana (40) en suelos del Brasil y por Soto (44) en suelos de Nicaragua.

Desde el punto de vista cualitativo lo anterior no quiere decir que las dos soluciones sean igualmente eficientes en la extracción de los micronutrientes estudiados. Solamente significa que no hay base estadística para afirmar que una de las soluciones sea cuantitativamente más eficiente.

te en la extracción de las formas disponibles o intercambiables de esos elementos.

Sin embargo, ya se discutió el hecho de que la extracción con NH_4OAc 1N pH 4,8 provee de un mayor índice discriminatorio y relaciona mejor con algunas propiedades del suelo (especialmente para el caso del zinc) que la extracción con NH_4OAc 1N pH 7,0. Esto, de acuerdo a Soto (44) implicaría una relativa mayor eficiencia cualitativa del acetato de amonio ácido.

Hay que insistir, no obstante, en el hecho de que ninguna de las dos soluciones estudiadas ofrece, en conjunto, una buena capacidad de discriminación con respecto a las propiedades del suelo, especialmente a la materia orgánica y arcilla, lo cual coincide con lo observado por Soto (44).

Al respecto, resulta inquietante que a nivel tropical no existan estudios de calibración de métodos de extracción para elementos menores, a pesar de que en muchas regiones se reportan deficiencias. Se considera que la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, a través de su programa de investigación en suelos a generado suficiente conocimiento básico como para que emprenda varias investigaciones en este sentido.

TABLA VII

CONCENTRACION DE MICRONUTRIENTES INTERCAMBIABLES EXTRAIDOS
CON NH_4OAc , IN a pH 7 EN LOS SUELOS Y SUBSUELOS ESTUDIADOS
(Resultados en ppm)

L u g a r	Horizonte	Profundidad cm	C o b r e	C o b a l t o	H i e r r o	Z i n c
MOCO A	Suelo	0 - 20	7,28	2,59	646,38	11,72
	Subsuelo	20 - 70	0,56	1,54	200,64	8,77
EL PEPINO	Suelo	0 - 26	2,03	0,48	621,36	13,84
	Subsuelo	26 - 88	2,77	0,29	239,29	13,64
VILLACARZON	Suelo	0 - 08	0,90	0,30	533,30	8,39
	Subsuelo	08 - 52	1,05	Trazas	52,76	13,89
CAPELLINA	Suelo	0 - 12	1,65	0,83	683,35	9,18
	Subsuelo	12 - X^4	2,08	Trazas	535,46	10,52
URCHUPAYACO	Suelo	0 - 07	3,07	3,07	639,58	9,72
	Subsuelo	07 - 80	0,80	0,76	405,97	9,68
PUERTO CAICEDO	Suelo	0 - 15	5,93	2,96	480,67	8,75
	Subsuelo	15 - 120	6,59	0,61	149,78	10,11
CAMPO SANTANA	Suelo	0 - 05	1,28	Trazas	694,89	15,04
	Subsuelo	05 - 58	0,43	Trazas	134,15	6,82
PUERTO ASIS (Río Putumayo)	Suelo	0 - X^4	6,02	2,40	512,06	12,40

X^4 - Profundidad a más de 90 cm.

TABLA VIII

CONCENTRACION DE MICRONUTRIENTES INTERCAMBIABLES EXTRAIDOS CON
 NH_4OAc , 1N A PH 4,8 EN LOS SUELOS Y SUBSUELOS
 ESTUDIADOS (Resultados en ppm)

L u g a r	Horizonte	Profundi- dad cm	C o b r e	Cobalto	H i e r r o	Z i n c
MOCOA	Suelo	0 - 20	12,43	0,33	468,88	18,63
	Subsuelo	20 - 70	1,84	0,77	96,68	12,45
EL PEPINO	Suelo	0 - 26	1,37	0,97	425,26	18,42
	Subsuelo	26 - 88	5,67	0,29	86,06	16,23
VILLACARZON	Suelo	0 - 08	4,26	0,30	492,79	13,46
	Subsuelo	08 - 52	2,83	Trazas	487,50	13,93
CAFELINA	Suelo	0 - 12	1,00	0,50	681,97	8,95
	Subsuelo	12 - X^4	1,01	Trazas	558,54	12,69
URCHUPAYACO	Suelo	0 - 07	1,08	2,80	593,02	9,72
	Subsuelo	07 - 80	2,44	0,63	359,68	8,20
PUERTO CAICEDO	Suelo	0 - 15	3,20	2,03	643,76	8,66
	Subsuelo	15 - 120	7,08	0,45	205,03	11,83
CAMPO SANTANA	Suelo	0 - 05	1,10	Trazas	674,59	12,13
	Subsuelo	05 - 58	0,39	Trazas	163,68	15,20
PUERTO ASIS	Suelo	0 - X^4	5,34	1,85	370,93	9,15

X^4 - Profundidad a más de 90 cm.

TABLA IX

CONCENTRACION MAXIMA PROMEDIA Y MINIMA DE LOS MICRONUTRIENTES
INTERCAMBIABLES EN LOS SUELOS Y SUBSUELOS ESTUDIADOS

(Resultados en ppm)

	SUELOS			SUBSUELO		
	NH ₄ OAc 1N pH 4.8			NH ₄ OAc 1N pH 7		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
COBRE	12.43	3.72	1.00	7.08	3.04	0.39
COBALTO	2.80	1.10	Trazas	0.77	0.31	Trazas
HIERRO	681.97	543.90	370.93	558.54	279.60	86.06
ZINC	18.63	12.39	8.66	16.23	12.93	8.20
COBRE	7.28	3.52	0.90	6.59	2.04	0.43
COBALTO	3.07	1.58	Trazas	1.54	0.46	Trazas
HIERRO	694.89	601.41	480.67	535.46	245.44	52.76
ZINC	15.04	11.13	8.39	13.89	10.49	6.82

TABLA X

LIMITES DE CONFIANZA (95%) PARA EL PROMEDIO DE LA POBLACION Y
COEFICIENTES DE VARIABILIDAD EN LOS SUELOS Y SUBSUELOS ESTUDIADOS

Elemento	Extracción con NH_4OAc IN PH 4,8					
	SUELOS			SUBSUELOS		
	L. I.	L. S.	C. V. %	L. I.	L. S.	C. V. %
COBRE	0,46	6,98	104,30	0,76	5,35	80,90
CORALTO	0,25	1,95	91,80	0,02	0,60	100,00
HIERRO	453,29	654,51	21,70	103,69	455,67	68,00
ZINC	8,94	15,79	33,40	10,51	15,35	20,00

Extracción con NH_4OAc IN PH 7					
COBRE	1,44	5,60	71,00	0,03	4,05
CORALTO	0,52	2,64	81,65	-0,05	0,97
HIERRO	533,29	669,61	13,60	89,44	311,95
ZINC	9,05	13,21	22,40	8,14	12,84

Suelos: 7 G L

Subsuelos: 6 G L

TABLA XI

COMPARACION ESTADISTICA ENTRE METODOS DE EXTRACCION:

NH_4OAc 1N PH 4,8 Y NH_4OAc 1N PH 7, PARA SUELOS Y SUBSUELOS

Elemento	Suelo	Subsuelo
COBRE	0,12 NS	0,81 NS
COBALTO	0,84 NS	0,62 NS
HIERRO	1,12 NS	0,36 NS
ZINC	0,74 NS	1,78 NS

NS: No significativo

Suelos: 7 G L

Subsuelos: 6 G L

TABLA XII

COMPARACION ESTADISTICA ENTRE LAS CANTIDADES INTERCAMBIABLES DE
ALGUNOS SUELOS DEL TROPICO HUMEDO DEL PUTUMAYO Y OTRAS REGIONES 1/

Elementos	Sabana de Túquerres	Altiplano de Ipiales	Llanura del Pacífico.-	Valle del Patía
COBRE	2,30 NS	(-)	1,46 NS	(-)
CORALTO	0,66 NS	0,88 NS	1,24 NS	1,80 NS
HIERRO	7,59 ++	11,72 ++	2,48 +	(-)
ZINC	7,37 ++	0,75 NS	9,39 ++	7,77 ++

1/ En todos los casos la comparación se estableció con base en los valores obtenidos mediante extracción con NH_4OAc 1N pH 4,8.

(-) Sin datos

NS: No significativo

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

TABLA XIV

COEFICIENTE DE CORRELACION ENTRE LOS MICRONUTRIENTOS EXTRAIDOS CON
NH₄OAc IN PH 4,8 Y ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO

Variables	COBRE			COBALTO			HIERRO			ZINC			
	%	obtenido	r ² %	%	obtenido	r ² %	%	obtenido	r ² %	%	obtenido	r ² %	
MATERIA ORG.	%	-0,293	NS	8,58	-0,041	NS	0,17	0,638	++	40,69	-0,217	NS	4,73
PH	%	0,099	NS	0,98	-0,202	NS	4,10	-0,289	NS	8,38	0,094	NS	0,88
ARENAS	%	0,099	NS	0,98	0,231	NS	5,36	0,511	+	26,14	-0,581	+	33,77
ARCILLAS	%	-0,225	NS	5,04	-0,263	NS	6,90	-0,411	NS	16,89	0,857	++	73,39
LIMOS	%	0,394	NS	15,54	0,046	NS	0,21	-0,268	NS	7,20	0,224	NS	5,01

++ Significativo al 1% r = 0,623

+ Significativo al 5% r = 0,497

NS: No significativo

14 C L

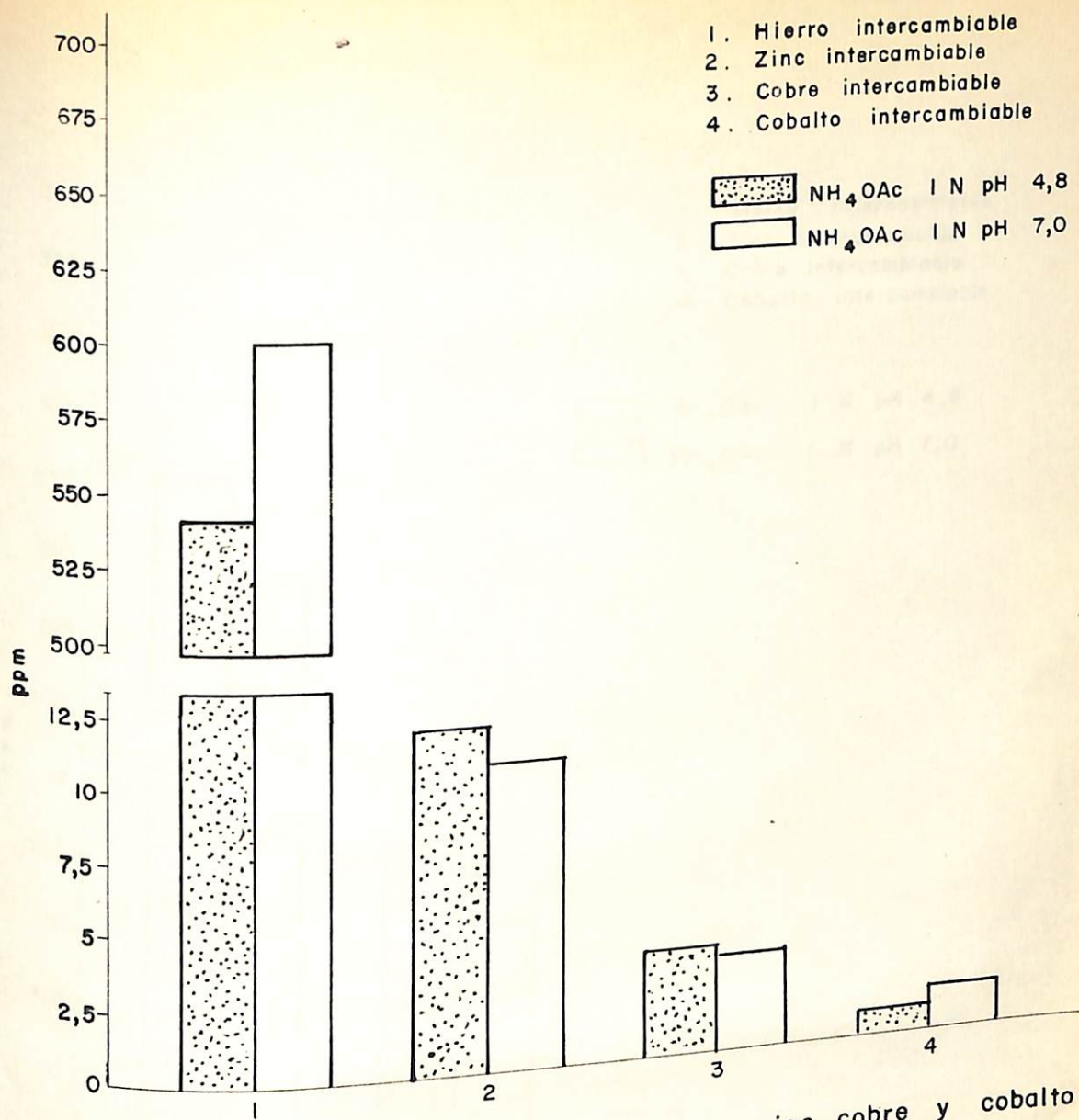


Fig. 4 Contenido promedio de hierro, zinc, cobre y cobalto intercambiables extraídos con NH_4OAc 1 N pH 4,8 y NH_4OAc 1 N pH 7,0 en los suelos estudiados.

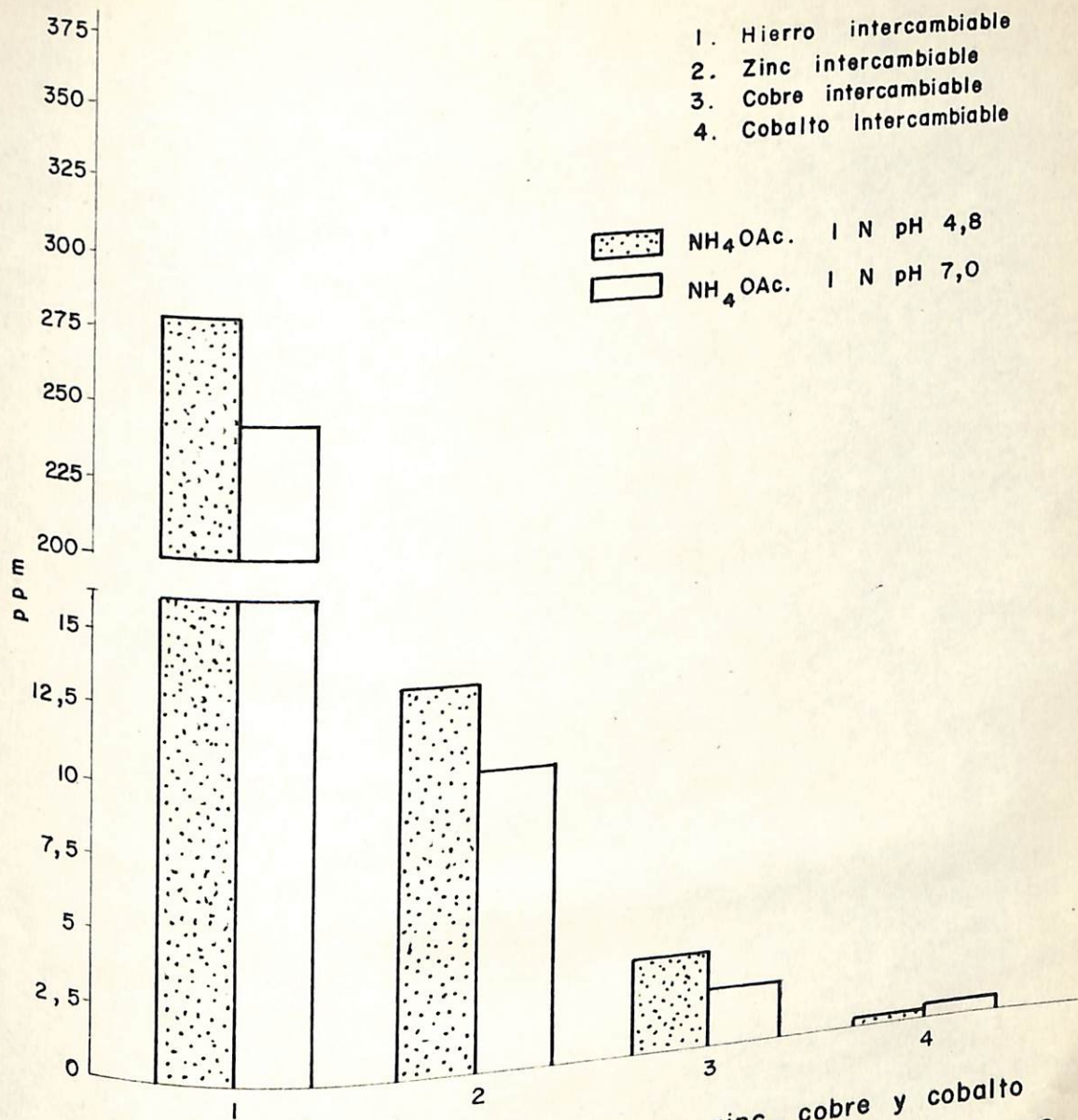


Fig. 5 Contenido promedio de hierro, zinc, cobre y cobalto intercambiables extraídos con NH₄OAc I N pH 4,8 y NH₄OAc I N pH 7,0 en los subsuelos estudiados.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La concentración de los micronutrientes en los suelos del Bajo Putumayo osciló entre los siguientes valores (NH_4OAc 1N pH 4,8): Cobre 1,0 ppm - 12,4 ppm, Cobalto trazas - 2,8 ppm, Hierro 370 ppm - 681 ppm, Zinc 8,6 ppm - 18,6 ppm. Para extracción con NH_4OAc 1N pH 7,0: Cobre 0,9 ppm - 7,2 ppm, Cobalto trazas - 3,0 ppm, Hierro 480 ppm - 694 ppm, Zinc 8,3 ppm - 15,0 ppm.
2. No existe base estadística para afirmar que hayan diferencias significativas entre las concentraciones de cobre obtenidas en el Putumayo y las encontradas en la Sabana de Túquerres y Llanura del Pacífico. Lo mismo ocurre en el caso del cobalto con respecto a los promedios obtenidos en Altiplano de Ipiales, Sabana de Túquerres, Valle del Patía y Llanura del Pacífico.
3. Las secuencias de concentración de hierro y zinc en diferentes regiones fueron las siguientes:

Hierro:

Llanura del Pacífico > Bajo Putumayo > Sabana de Túquerres > Altiplano de Ipiales.

Zinc:

Bajo Putumayo > Altiplano de Ipiales > Sabana de Túquerres > Valle del Patía > Llanura del Pacífico.

4. Salvo el caso aislado de un suelo (Campo Santana), que podría presentar un déficit de cobalto, en ninguno de los suelos estudiados se detecta deficiencia de Cu, Co, Fe y Zn, pero al respecto es necesario tener en cuenta las limitaciones encontradas a los métodos de extracción utilizados.

5. Para las dos soluciones extractoras utilizadas, la secuencia de variabilidad aproximada para los distintos micronutrientes fué:

Cobre $\geq$ Cobalto $>$ Zinc $>$ Hierro

6. No hay base estadística para afirmar que una de las soluciones extractoras utilizadas sea cuantitativamente más eficiente en la extracción de las formas cambiables de los elementos menores estudiados.
7. Ninguna de las dos soluciones estudiadas ofrece una buena capacidad discriminatoria con respecto a las propiedades del suelo, especialmente a contenido de materia orgánica y arcilla. Sin embargo, en el caso del cobre y el zinc, el acetato de amonio ácido presenta un relativo mayor índice de discriminación.
8. Se considera que el programa de investigación en suelos de la FACIA (Universidad de Nariño) debe incluir investigaciones sobre calibración de métodos para determinar la fracción disponible de algunos micronutrientes (Zn, Cu, Mo), ya que al respecto los estudios a nivel tropical son escasos o no existen.
9. Se recomienda efectuar la determinación de la forma total de los elementos estudiados.

VI. RESUMEN

En 8 suelos y 7 subsuelos del tipo latosol-húmico de la Intendencia Nacional del Putumayo (Bajo Putumayo) se determinaron las formas cambiables de Cu, Co, Fe y Zn, utilizando dos soluciones extractoras (NH_4OAc 1N pH 4,8 y NH_4OAc 1N pH 7,0) y espectrofotometría de absorción atómica.

La concentración de los micronutrientes en los suelos del Bajo Putumayo osciló entre los siguientes valores (NH_4OAc 1N pH 4,8): Cobre 1,0 ppm - 12,4 ppm, Cobalto trazas 2,8 ppm, Hierro 370 ppm - 681 ppm, Zinc 8,6 ppm - 18,6 ppm. Para extracción con NH_4OAc 1N pH 7,0: Cobre 0,9 ppm - 7,2 ppm, Cobalto trazas 3,0 ppm, Hierro 480 ppm - 694 ppm, Zinc 8,3 ppm - 15,0 ppm. Con base en estos resultados y salvo en el caso aislado de un suelo (Campo Santana) que podría presentar déficit de cobalto, en ninguno de los suelos estudiados se presenta deficiencia de Cu, Co, Fe o Zn, pero al respecto es necesario tener en cuenta las limitaciones encontradas a los métodos de extracción utilizados.

No hay base estadística que permita afirmar que la concentración de cobre y cobalto detectada en los suelos del Bajo Putumayo sea diferente a la obtenida en otras regiones (Sabana de Túquerres y Llanura del Pacífico para el Cu y Sabana de Túquerres, Llanura del Pacífico, Valle del Patía y Altiplano de Ipiales para el Co). La concentración de hierro y zinc es estadísticamente superior a la detectada en suelos de otras regiones (Sabana de Túquerres y Llanura del Pacífico).

No hay base estadística para afirmar que una de las soluciones extractoras utilizadas sea cuantitativamente más eficiente en la extracción de las formas cambiables de los

lementos menores estudiados. Ninguna de las dos soluciones estudiadas ofrece una buena capacidad discriminatoria con respecto a las propiedades del suelo, especialmente a contenido de materia orgánica y arcilla. Sin embargo, en el caso del cobre y el zinc el acetato de amonio ácido presenta un relativo mayor índice de discriminación.

Microelement concentrations in soils from the Atlantic coast of Mexico are presented in Table I (pp. 4, 5). The results show that the concentrations of the elements studied are generally low. The concentrations of copper, iron, and zinc are in the range of 0.1 to 1.0 ppm, while those of cobalt and manganese are in the range of 0.01 to 0.1 ppm. The concentrations of these elements are generally lower than those reported for soils from other regions of Mexico. This may be due to the low content of organic matter and clay in the soils studied. In general, the concentrations of microelements in soils are related to the type of soil, the climate, and the parent material. In this case, the low concentrations of microelements in the soils studied may be due to the low content of organic matter and clay in the soils.

There is no statistical basis for assuming that the concentrations of microelements in soils from the Atlantic coast of Mexico are different from those reported for soils from other regions of Mexico. The results show that the concentrations of the elements studied are generally low, which is in agreement with the results reported for soils from other regions of Mexico. This may be due to the low content of organic matter and clay in the soils studied. In general, the concentrations of microelements in soils are related to the type of soil, the climate, and the parent material. In this case, the low concentrations of microelements in the soils studied may be due to the low content of organic matter and clay in the soils.

There is no statistical basis for assuming that the concentrations of microelements in soils from the Atlantic coast of Mexico are different from those reported for soils from other regions of Mexico. The results show that the concentrations of the elements studied are generally low, which is in agreement with the results reported for soils from other regions of Mexico. This may be due to the low content of organic matter and clay in the soils studied. In general, the concentrations of microelements in soils are related to the type of soil, the climate, and the parent material. In this case, the low concentrations of microelements in the soils studied may be due to the low content of organic matter and clay in the soils.

SUMMARY

Exchangeable Cu, Co, Fe y Zn forms from eight soils and seven subsoils, lathosolic humid type from Intendencia Nacional del Putumayo (Low Putumayo) were determined utilizing two extractive solutions (NH_4OAc 1N pH 4,8 and NH_4OAc 1N pH 7,0) and spectrophotometry of atomic absorption.

Micronutrient concentration in soils from low Putumayo oscilated between the next figures (NH_4OAc 1N pH 4,8): Copper 1,0 ppm - 12,4 ppm, Cobalt traces - 2,8 ppm, Iron 370 ppm - 681 ppm, Zinc 8,6 ppm - 18,6 ppm. For NH_4OAc 1N pH 7,0 extraction: Copper 0,9 ppm - 7,2 ppm, Cobalt traces 3,0 ppm, Iron 480 ppm - 694 ppm, Zinc 8,3 ppm - 15,0 ppm. Based upon these results and except the isolated case of one type of soil (Campo Santana) wich might show a Cobalt deficiency, it is evident that there is no diferency of Cu, Co, Fe or Zn, in any of the studied soils, but is necessary to consider the limitations founded for the utilization extraction methods.

There is no statistical base that allows to assure that copper and cobalt determined concentrations from Low Putumayo to be different to that obtained from other areas (Sabana de Túquerres and Llanura del Pacífico for Cu and Sabana de Túquerres, Llanura del Pacífico, Valle del Patía and Altiplano de Ipiales for Co). Iron and Zinc concentrations are statistically better than that found in soils from other areas (Sabana de Túquerres and Llanura del Pacífico).

There is not statistical base to assure that one of the extraction methods be more efficient in the extraction of exchangeable forms of the studied micronutrients. None of the two studied solutions offers a good dis-

criminative capacity with respect to soil properties, specially with organic matter and clay contents. With reference to copper and zinc, however, the ammonium acid acetate presents a relative greater discrimination index.

1. *Estudio de los suelos de la zona del Valle del Cauca, Departamento de Cauca, Colombia. Informe de la Comision de Estudios Agronomicos, 1954. 40 p. (Incompleto).*
2. *Allen, S. D. Attention to the soil as a source of nutrients. - Science, N. Y., 1949, 84, 371-372.*
3. *Alonso, J. Caracteristicas de los suelos, cultivo, agua y clima de la zona del Valle del Cauca, Departamento de Cauca, Colombia. Informe de la Comision de Estudios Agronomicos, 1954. 40 p. (Incompleto).*
4. *Alonso, J. P. y H. Alonso. Estudio sobre y analisis de los suelos de la zona del Valle del Cauca, Departamento de Cauca, Colombia. Informe de la Comision de Estudios Agronomicos, 1954. 40 p. (Incompleto).*
5. *Alonso, J. P. y H. Alonso. Estudio sobre y analisis de los suelos de la zona del Valle del Cauca, Departamento de Cauca, Colombia. Informe de la Comision de Estudios Agronomicos, 1954. 40 p. (Incompleto).*
6. *Alonso, J. P. y H. Alonso. Estudio sobre y analisis de los suelos de la zona del Valle del Cauca, Departamento de Cauca, Colombia. Informe de la Comision de Estudios Agronomicos, 1954. 40 p. (Incompleto).*
7. *Alonso, J. P. y H. Alonso. Estudio sobre y analisis de los suelos de la zona del Valle del Cauca, Departamento de Cauca, Colombia. Informe de la Comision de Estudios Agronomicos, 1954. 40 p. (Incompleto).*
8. *Alonso, J. P. y H. Alonso. Estudio sobre y analisis de los suelos de la zona del Valle del Cauca, Departamento de Cauca, Colombia. Informe de la Comision de Estudios Agronomicos, 1954. 40 p. (Incompleto).*
9. *Alonso, J. P. y H. Alonso. Estudio sobre y analisis de los suelos de la zona del Valle del Cauca, Departamento de Cauca, Colombia. Informe de la Comision de Estudios Agronomicos, 1954. 40 p. (Incompleto).*
10. *Alonso, J. P. y H. Alonso. Estudio sobre y analisis de los suelos de la zona del Valle del Cauca, Departamento de Cauca, Colombia. Informe de la Comision de Estudios Agronomicos, 1954. 40 p. (Incompleto).*

VII. BIBLIOGRAFIA

1. AGREDA, L. y D. OTERO. Estudio de los elementos menores intercambiables bajo condiciones de cultivo, bosque y pradera en los suelos de la Llanura del Pacífico, Departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1973. 88p. (Mecanografiada).
2. ALBA, J. Alimentación del ganado en América Latina, - México, D. F., Prensa Médica, 1968. 336 p.
3. ASTAIZA, J. Determinación de boro, cobalto, zinc y aluminio intercambiables en los suelos del Valle del Patía, Departamento del Cauca. Tesis Ing. Agr. Pasto Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1972. 56 p. (Mecanografiada).
4. BARROS, M. P. y M. BLASCO. Cobalto, cobre y molibdeno totales en los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia) 3 (1): 23-29. 1971.
5. BARROWS, H. L., M. S. NEFF, y H. CAMMON. Effect of soil type on mobility of zinc in the soil and on its availability from zinc sulfate to tung. Soil Science Society of America Proceedings 24:367-372. 1960.
6. BEAR, F. E. Chemistry of the soil. New York, Reinold, 1958. 373 p.
7. BINGHAM, F. T., et al. Effect of phosphorus fertilization of California soils on minor-element nutrition of citrus. Soil Science. 86:24-31. 1958.

8. BOULD, C. y E. J. HEWITT. Mineral nutrition of plants in soils and in culture media. In. F. C. STEWARD ed. Plant Physiology. New York, Academic Press, 1963. V. 3, pp. 15-153.
9. BROWN, A. L., B. A. KRANTZ y P. E. MARTIN. Plant uptake and fate of soil applied zinc. Soil Science Society of America Proceedings 26:167-170. 1962.
10. COLLINGS, G. Comercial fertilizer, their sources and use. 5th ed. New York, Mc Graw Hill, 1955. 617 p.
11. COX, R. F. y J. E. KAMPARATH. Micronutrient soil tests. In MORTVET, J. J., ed. Micronutrients in agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 289-317.
12. CHAMORRO, B. y C. ECHEVERRIA. Determinación de aluminio, boro, cobre, cobalto, hierro, manganeso y zinc intercambiables en suelos de la Sabana de Túquerres, Departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1971. 78 p. (Mecanografiada).
13. CHAPMAN, D. H. Zinc. In. CHAPMAN, D. H. ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp. 484 - 499.
14. DRAKE, N. Chemistry of the soil; soil chemistry and plant nutrition. 2nd ed. New York, Reinold, 1965. 424 p.
15. ESPINAL, T. L. y E. MONTENEGRO. Formaciones vegetales de Colombia; memoria explicativa sobre el mapa geo-

- lógico. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1963. 210 p.
16. ESTRADA, E. y J. MARTINEZ. Características generales de algunos suelos del sector Volcán Galeras-Puerto Asis, en relación con las formaciones vegetales, Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, 1970. 167 p. (Mimeografiada).
17. FISKEILL, J. G. A. Copper. In BLACK, C. A., et al. eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1969. pp. 1090-1101.
18. GILBERT, F. Copper sin nutrition. Advances in Agronomy 4:156-187. 1952.
19. GOMEZ, E. Diccionario geográfico del Sur. Bogotá, 1962 20 p.
20. HILL, A. C., et al. Cobalt status of New Jersey soils and forage plants and factors affecting the cobalt content of plants. Soil Science Society of America Proceeding 76:273-284. 1963.
21. HODGSON, J. F. Chemistry of the micronutrient elements. Advances in Agronomy 15:119-159. 1963.
22. HOLDRIDGE, L. R. Curso de ecología vegetal. San José, Costa Rica, IICA, 1958. 45 p. (Mimeografiado).
23. IGUE, K. y E. BORNEMISZA. El problema del zinc en suelos y plantas de regiones tropicales y de zonas templadas. Fitotecnia Latinoamericana 4(1):29-44. 1967.

24. JUNCA, S., C. Determinación de cobalto, Cobre y Molibdeno en algunos suelos de clima medio en el Departamento de Nariño. Tesis de Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1970. 101 p.
25. KRAUSKOPE, K. B. Geochemistry of micronutrients. In MORTVEDT, J. J., et al., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 7-40.
26. LUCAS, E. R. y D. B. KNEZEK. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In MORTVEDT, J. J., et al. Micronutrients in agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 265-288.
27. MATTA, A. y J. PALACIOS. Estudio del nitrógeno, fósforo y potasio en los suelos tropicales de la Intendencia Nacional del Putumayo. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia. Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, 1970. 148 p. (Mecanografiada).
28. MITCHELL, R. L. Cobalt and nickel in soils and plants. Soil Science 60:63-70. 1945.
29. NELSON, Z. L. y S. W. MELSTED. The chemistry of zinc added to soil and clays. Soil Science Society of America Proceedings 19(4):439-443. 1955.
30. OLSON, V. R. Iron. In BLACK, C. A. ed Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 962-973.

31. OLSON, V. R. y G. W. CARLSON. Iron chlorosis of sorghum and trees as related to extractable soil iron and manganese. Soil Science Society of America - Proceedings 14:109-112. 1950.
32. PAOLI, A. A. y M. LAURATI. Consideraciones sobre la importancia de los oligoelementos en el suelo. Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología, 177:6-14. 1962.
33. PRICE, C. A., et al. Functions of micronutrients in plants. In MORTVEDT, J. J., et al. Micronutrients in agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 231-264.
34. RAVICOVITCH, S., et al. Microelements in soils of Israel. Soil Science Society of America Proceeding 92(2):85-89. 1967.
35. REUTHER, W. y K. CH. LABANAUZCAS, Copper. In CHAPMAN, M., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp. 157-179.
36. RUBINSTEIN, J. R. Determinación de cobre y zinc en suelos y plantas de café por espectrofotómetro de absorción atómica. Tesis Lic. Quím. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, 1968. 68 p.
37. SAIZ DEL RIO, J. F. y E. S. BORNEMISZA. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 107 p.

38. SALAS, S. L. Determinación de cobalto, hierro, manganeso y zinc intercambiable en suelos del Altiplano de Ipiales. Departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1973. 76 p. (mecanografiada).
39. SANCHEZ, B. y R. DIOS. Estudio químico de suelos naturales y agrícolas gallegos y de las reacciones entre su contenido en nutrientes. IV manganeso, hierro y aluminio. Anales de Edafología y Agrobiología, 23:411-430. 1960.
40. SANTANA, CH. DE. Formas totales y disponibles de zinc, cobre, manganeso, hierro y molibdeno en los suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 86 p.
41. SAUCHELLI, V. Trace elements in agriculture. New York, Reinold, 1969. 248 p.
42. SCOTT, M. L. Trace elements in animal nutrition. In MORTVEDT, J. J., et al., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 555-591.
43. SHAW, E. y L. A. DEAN. Use of dithizone as an extractant to estimate the zinc nutrient status of soils. Soil Science 73:341-347. 1952.
44. SOTO, C. Estudio de la concentración y distribución de los micronutrientes en un trasecto de Nicaragua. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 139 p.

45. SWAINE, D. J. y R. L. MITCHELL. Trace elements distribution in soils profiles. *Journal of Soil Science* 11(2):347-368. 1960.
46. THOMPSON, L. M. Soil and soil fertilizar. 2nd. ed. New York, Mc Graw Hill, 1957. 451 p.
47. TISDALE, L. S. y W. L. NELSON. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. por Jorge Blasch y Carmen Piña. Barcelona, Montaner y Simon, 1970. 760 p.
48. VANCELOW, A. P. Cobalt. In CHAPMAN, H., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp. 142-156.
49. VERIGINIA, K. V. Methods for determination of some trace-elements and iron in soil. In Academy of Science of the USSR, V. V. Dokuchaev, Insitute of soil science., ed. Agrochemical methods in study of soils. Trad. russo. 4th ed. Washington, D. C., Indian National Scientific Documentation Center, 1969. pp 559-591.
50. VIETS, G. F. y C. L. BOAWN, Zinc. In BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American society of Agronomy, 1965. pp. 1090-1101.
51. VIETS, F. G., et al. Zinc deficiency in corn in central Washington. *Agronomy Journal* 45:559-565. 1953.
52. VILLOTA, M. J. Determinación de boro, cobre, cobalto y molibdeno en suelos del Valle de Sibundoy, Intendencia Nacional del Putumayo. Tesis Ing. Agr. Pas

to, Colombia, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, 1970. 74 p. (mecnografiada).

53. WALLIHAN, F. E. Iron. In CHAPMAN, D. H., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp. 203-212.
54. YANG, L. Estudio sobre seis elementos menores. Popayán, Colombia. Secretaría de Agricultura y Ganadería del Cauca, 1972. 11p.
55. YOUNG, R. A. Some factors affecting the solubility of cobalt. Soil Science Society of America Proceeding 13:122-126. 1949.

EXPERIMENTOS DE REACCIÓN

Se toman 100 ml de agua destilada y se agregan 10 ml de ácido clorhídrico (10%), con agitación por vertido y se agregan 10 ml de ácido nítrico (10%), con agitación por vertido y se agregan 10 ml de ácido sulfúrico (10%), con agitación por vertido.

Se agregan 100 ml de agua destilada y se agregan 10 ml de ácido clorhídrico (10%), con agitación por vertido y se agregan 10 ml de ácido nítrico (10%), con agitación por vertido y se agregan 10 ml de ácido sulfúrico (10%), con agitación por vertido.

Se agregan 100 ml de agua destilada y se agregan 10 ml de ácido clorhídrico (10%), con agitación por vertido y se agregan 10 ml de ácido nítrico (10%), con agitación por vertido y se agregan 10 ml de ácido sulfúrico (10%), con agitación por vertido.

A P E N D I C E

Se agregan 100 ml de agua destilada y se agregan 10 ml de ácido clorhídrico (10%), con agitación por vertido y se agregan 10 ml de ácido nítrico (10%), con agitación por vertido y se agregan 10 ml de ácido sulfúrico (10%), con agitación por vertido.

Se agregan 100 ml de agua destilada y se agregan 10 ml de ácido clorhídrico (10%), con agitación por vertido y se agregan 10 ml de ácido nítrico (10%), con agitación por vertido y se agregan 10 ml de ácido sulfúrico (10%), con agitación por vertido.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Método con NH_4OAc 1N a pH 4,8: se siguió la técnica descrita por Veriginia, y citada por Santana (40), con modificaciones suplementarias propuestas por Yang (54).

Se pesan por duplicado 50 gramos de suelo secado al aire, en frascos de 150 cc de capacidad y se le agregan 100 ml de NH_4OAc 1N a pH 4,8 cerrando bien los frascos. Después se agitan las muestras mecánicamente por 120 minutos y se filtra através de un embudo provisto con papel filtro cinta azul.

Del filtrado se toman 50 ml en un "beaquer" de 250 ml. Se lleva a la plancha de calor y se evapora a completa sequedad. Luego de enfriar el recipiente se adicionan 5 ml de ácido nítrico concentrado con el objeto de destruir la materia orgánica y se lleva a sequedad. Una vez el precipitado esté frío, se añaden 5 ml de ácido nítrico concentrado y se vuelve a llevar a sequedad. Si se observan cristales con residuos oscuros, significa que la materia orgánica no se ha destruido totalmente, en cuyo caso se repite este último procedimiento. Luego, se añade 5 ml de ácido clorhídrico 6N y se lleva a sequedad, se deja enfriar y se humedece con 1 ml de ácido clorhídrico concentrado, el cual se calienta suavemente. Cuando se haya evaporado casi a sequedad (aspecto amarillento cristalizado), se recupera con 10 ml de ácido clorhídrico N/10 y, calentando suavemente, se añaden 25 ml de agua destilada.

La solución anterior se filtra con papel filtro cinta azul y se lava con poca agua destilada. Al filtrado se adi-

cionan 5 ml de citrato de amonio al 40% y se enrraza en un balón aforado a 100 ml. En el extracto así obtenido se determina zinc, cobre, hierro y cobalto intercambiable en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Método con NH_4OAc 1N a pH 7: se siguió la técnica descrita por Saiz del Río y Hornemisa y citados por Santana, con modificaciones suplementarias propuestas por Yang (54).

Se siguieron las mismas indicaciones que en el método anterior, con la diferencia que se utilizó como solución extractora: NH_4OAc 1N a pH 7,0.

TABLA I

CONDICIONES DE OPERACION DEL EQUIPO DE ABSORCION ATOMICA

Condiciones de Operación	Unidades	Cobre	Cobalto	Hierro	Zinc
Longitud de onda	mμ	240,73	324,75	248,33	213,86
Abertura	Λ°	2,5	10,0	5,0	10,0
Cátodo hueco	mA	5	3	5	6
Aire	lb/pulg ²	4,0	4,0	4,0	4,0
Acetileno	lb/pulg ²	10	10	10	15

AN	15739	
T	Davila Caicedo, Carlos	
631.417	Determinación de Co-	
D259	bre, cobalto, hierro y	
Ej. 1	Zinc.....	
		VENCE
NOMBRE	Daira Recalde	
No. del Carnet	170	
NOMBRE	Liliana Tosa	
No. del Carnet	224	
NOMBRE	Jenny Castro	
No. del Carnet	265	
NOMBRE	Jenny Castro	21031265
No. del Carnet		
NOMBRE	Angel Chiles	

AN 15739
T
631.417
D259
Ej. 1

Universidad de Nariño
BIBLIOTECA
ALBERTO QUIJANO GUERRERO

15739-