

31.44
259
1

CARACTERISTICAS GENERALES, CRITERIOS DE CLASIFICACION
Y DISPONIBILIDAD DE MICROELEMENTOS EN ALGUNOS SUELOS
DEL ALTIPLANO DE PASTO - COLOMBIA

Por

ALVARO ENRIQUE DAVILA MUÑOZ
CARLOS HERNANDO TORRES DAZA

Tesis de grado presentada como requi-
sito parcial para optar al titulo de

INGENIERO AGRONOMO

Presidente de tesis

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

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

PASTO - COLOMBIA

1.974

15743

"

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS "Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son de responsabilidad ex
A MIS AMIGOS clusiva de sus autores"

AL GOBIERNO DE COLOMBIA A SUS INSTITUCIONES

DESDE COMENZAR SU ESTUDIO Y CARRERA.

Art. 1o del acuerdo No 324 del 11 de Octu
bre de 1966, emanado del Honorable Conse-
jo Directivo de la Universidad de Nariño.

ALVARO ANTONIO DAVILA MUÑOZ

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A LUIS ARMANDO DAVILA M. Y EN SU MEMORIA
AL CAMPESINADO DE COLOMBIA A CUYOS INTE-
RESES CONSAGRO SU ESFUERZO Y CAPACIDADES.

DEDICO

ALVARO ENRIQUE DAVILA MUÑOZ

A LOS ESFUERZOS DE MIS PADRES

A MI ESPOSA Y MI HIJO

A MIS HERMANOS

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

DEDICO

CARLOS HERNANDO TORRES DAZA

AGRADECIMIENTOS A:

RICARDO GUERRERO R. I.A., M.Sc.
por su acertada dirección
LOUIS YANG I.A., Ph.D.
FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA
MIGUEL VIVEROS ZARAMA I.A.

ZONA MINERA DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

Todas las personas que en una u otra
forma colaboraron en el desarrollo
del presente estudio.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Generalidades sobre los suelos derivados de ma- teriales volcánicos.....	3
2.2 Cobre.....	5
2.2.1 Origen.....	5
2.2.2 El cobre en el suelo.....	6
2.2.3 Disponibilidad.....	7
2.2.4 El cobre en plantas y animales.....	9
2.3 Cobalto.....	11
2.3.1 Origen.....	11
2.3.2 El cobalto en el suelo.....	11
2.3.3 Disponibilidad.....	12
2.3.4 El cobalto en plantas y animales.....	14
2.4 Hierro.....	14
2.4.1 Origen.....	15
2.4.2 El hierro en el suelo.....	16
2.4.3 Disponibilidad.....	19
2.4.4 El hierro en plantas y animales.....	19
2.5 Zinc.....	19
2.5.1 Origen.....	20
2.5.2 El zinc en el suelo.....	21
2.5.3 Disponibilidad.....	25
2.5.4 El zinc en plantas y animales.....	25
2.6 Molibdeno.....	25
2.6.1 Origen.....	26
2.6.2 El molibdeno en el suelo.....	28
2.6.3 Disponibilidad.....	31
2.6.4 El molibdeno en plantas y animales.....	33
2.7 Boro.....	33
2.7.1 Origen.....	34
2.7.2 El boro en el suelo.....	

	Pág.
2.7.3 Disponibilidad.....	35
2.7.4 El boro en la planta.....	40
III. MATERIALES Y METODOS.....	41
3.1 Descripción general del área de estudio.....	41
3.1.1 Geología.....	41
3.1.2 Clima y ecología.....	41
3.2 Suelos.....	42
3.2.1 Suelos desarrollados sobre ceniza volcánica.....	42
3.2.2 Suelos desarrollados de materiales complejos.....	43
3.3 Localidades y muestreo.....	44
3.4 Determinaciones físico-químicas.....	44
3.5 Determinación de microelementos.....	45
3.6 Análisis estadístico.....	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	48
4.1 Características generales de los suelos.....	48
4.1.1 Suelos Andept.....	48
4.1.2 Suelos Tropept.....	49
4.2 Relaciones estadísticas entre algunas características edáficas.....	50
4.3 Algunos criterios sobre la fertilidad y el manejo de los suelos del Altiplano de Pasto.....	53
4.3.1 Suborden Andept.....	53
4.3.2 Suborden Tropept.....	55
4.4 Concentración y distribución de los microelementos disponibles.....	69
4.4.1 Cobre.....	69
4.4.2 Hierro.....	72
4.4.3 Zinc.....	76
4.4.4 Boro.....	79
4.4.5 Molibdeno.....	82
4.4.6 Cobalto.....	84
4.4.7 Variabilidad de los microelementos.....	88

- VIII -

	Pág.
V. CONCLUSIONES.....	108
VI. RECOMENDACIONES.....	110
VII. RESUMEN.....	111
SUMMARY.....	112
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	113

TABLAS

	Pág.
TABLA I. Distribución promedia de cobre disponible en algunos suelos.....	10
TABLA II. Distribución promedia de cobalto disponible en algunos suelos.....	13
TABLA III. Distribución promedia de hierro disponible en algunos suelos.....	18
TABLA IV. Distribución promedia de zinc disponible en algunos suelos.....	24
TABLA V. Distribución promedia de molibdeno disponible en algunos suelos.....	32
TABLA VI. Distribución promedia de boro disponible en algunos suelos.....	39
TABLA VII. Algunas características físicas de los suelos estudiados.....	57
TABLA VIII. Algunas características químicas de los suelos estudiados.....	59
TABLA IX. Valores promedios, límites de confianza para la media de la población y niveles tentativos de discriminación para dos subórdenes del Altiplano de Pasto.....	63
TABLA X. Contenido de microelementos disponibles en los suelos estudiados.....	89
TABLA XI. Concentraciones promedias, límites de confianza para las medias de la población y coeficientes de variación de los microelementos disponibles en los suelos estudiados.....	94
TABLA XII. Concentraciones promedias, límites de confianza para la media de la población y coeficientes de variación de cobre y hierro disponibles en las localidades estudiadas.....	95

TABLA XIII.	Concentraciones promedias, límites de confianza para la media de la población y coeficientes de variación de boro y cobalto disponibles en las localidades estudiadas.....	96
TABLA XIV.	Concentraciones promedias, límites de confianza para la media de la población y coeficientes de variación de zinc disponible en las localidades estudiadas	97
TABLA XV.	Valores de "t" y significación estadística para las comparaciones y promedios de cobre entre coberturas y localidades....	98
TABLA XVI.	Valores de "t" y significación estadística para las comparaciones de promedios de hierro entre coberturas y localidades	99
TABLA XVII.	Valores de "t" y significación estadística para las comparaciones de promedios de zinc entre coberturas y localidades..	100
TABLA XVIII.	Valores de "t" y significación estadística para las comparaciones de promedios de boro entre coberturas y localidades..	101
TABLA XIX.	Valores de "t" y significación estadística para las comparaciones de promedios de cobalto entre coberturas y localidades	102
TABLA XX.	Valores de "t" y significación estadística para las comparaciones entre los promedios de microelementos obtenidos en el Altiplano de Pasto y los encontrados en suelos de otras regiones.....	103
TABLA XXI.	Matriz de coeficientes de correlación lineal.....	104
TABLA XXII.	Matriz de coeficientes de asociación lineal.....	105
TABLA XXIII.	Coefficientes de correlación cuadrática..	106
TABLA XXIV.	Porcentajes de asociación cuadrática....	107

ILUSTRACIONES

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio.....	47
Figura 2. Relación entre pH(NaF1M) y aluminio cambia ble en suelos Trosept y Andept del Altipla no de Pasto.....	64
Figura 3. Relación entre pH(NaF 1M) y % de saturación de calcio en suelos Trosept y Andept del Al tiplano de Pasto.....	65
Figura 4. Relación entre pH(NaF 1M) y % de carbono or gánico en suelos Trosept y Andept del Alti- plano de Pasto.....	66
Figura 5. Relación entre pH(NaF 1M) y CIC en suelos Trosept y Andept del Altiplano de Pasto...	67
Figura 6. Relación entre pH(NaF 1M) y % de arcilla en suelos Trosept y Andept del Altiplano de Pasto.....	68
Figura 7. Contenido promedio de cobre disponible en los suelos estudiados.....	74
Figura 8. Contenido promedio de hierro disponible en los suelos estudiados.....	75
Figura 9. Contenido promedio de zinc disponible en los suelos estudiados.....	78
Figura 10. Contenido promedio de boro disponible en los suelos estudiados.....	81
Figura 11. Contenido promedio de cobalto disponible en los suelos estudiados.....	85

CARACTERISTICAS GENERALES, CRITERIOS DE CLASIFICACION Y DISPONIBILIDAD DE MICROELEMENTOS EN ALGUNOS SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO-COLOMBIA (")

Por

ALVARO ENRIQUE DAVILA MUÑOZ
CARLOS HERNANDO TORRES DAZA

I. INTRODUCCION

En la actualidad tiende a generalizarse el uso del sistema taxonómico de suelos conocidos como "Séptima Aproximación". Este sistema, como la mayoría de los que han propuesto, da mayor importancia a las características del subsuelo como principal criterio de agrupamiento en las categorías superiores. Esto trae como consecuencia que la clasificación a nivel de orden, suborden y gran grupo no correlacione ni con potencial de fertilidad ni con prácticas de manejo.

A partir de 1964, año en que se celebró en Tokio la reunión sobre clasificación y correlación de suelos derivados de cenizas volcánicas, se ha generado un volumen creciente de información sobre las propiedades de estos suelos. La interpretación de esta información ha permitido concluir que sus particulares condiciones físicas, químicas y mineralógicas determinan que su comportamiento frente a las prácticas tradicionales de manejo se aleje del patrón clásico conocido.

(")

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.

Por otra parte, la información existente sobre el estado y distribución de los elementos menores en los suelos volcánicos es particularmente escasa y es muy probable que su comportamiento en estos suelos también se aleje de los patrones establecidos en suelos de la zona templada.

Las anteriores consideraciones han dado base para plantear el presente trabajo cuyos objetivos son : a) Proponer algunos criterios de clasificación que tiendan a relacionar con fertilidad y prácticas de manejo y b) Ofrecer una información preliminar sobre la disponibilidad de los microelementos en suelos del Altiplano de Pasto.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Generalidades sobre los suelos derivados de materiales volcánicos

Los suelos derivados de materiales volcánicos se desarrollan dentro de una amplia gama de condiciones climáticas, pues se encuentran tanto en los climas tropicales muy húmedos como en las regiones frías y secas. Se acepta, sin embargo, que la unidad más característica o típica de estos suelos es la que corresponde a la denominación de "andosoles", los cuales tienen mayor ocurrencia en regiones cuyo clima varía de tropical-húmedo a templado-húmedo (35).

+ En la reunión de Tokio sobre clasificación y correlación de los suelos volcánicos se estableció la determinación de "andosol" para "suelos minerales, desarrollados bajo condiciones húmedas y subhúmedas, su fracción coloidal está dominada por material amorfo en un mínimo del 50%, con gran capacidad de retención de agua, alto contenido de materia orgánica, baja densidad aparente, baja pegajosidad, con un horizonte "A" de color oscuro y relativamente profundo: pueden tener un horizonte "B" y no mostrar un movimiento apreciable de arcillas" (99).

+ En el sistema taxonómico "Séptima Aproximación" se agrupan dentro del suborden Andept a los inceptisoles derivados de cenizas volcánicas que tienen una densidad aparente menor de 0,85g/ml, un complejo de intercambio dominado por material amorfo, que presenta más del 60% de cenizas volcánicas vítreas, escorias volcánicas u otros materiales piroclásticos en la fracción limo, arena o grava, que no se saturan de humedad en ninguna estación y carecen de epipedón "plaggen" (62).

+ Sin embargo, de acuerdo a Martini (69), los suelos

derivados de cenizas volcánicas han sido clasificados en América Central, América del Sur, Estados Unidos, Japón, Nueva Zelanda e Indonesia como regosoles, andosoles, pardo-forestales, aluvio y lacustre-volcánicos, podzoles y otros más, pero entre todos estos hay un grupo de suelos que se identifican plenamente con materiales parentales volcánicos, ya que condiciones pedogenéticas especiales han permitido una mayor expresión del material parental a través de propiedades muy características.

+ Besozin (15) sostiene que la composición mineralógica de los suelos de cenizas volcánicas depende esencialmente de la petrografía de las cenizas de origen y del estado de intemperización del suelo. Considerables variaciones de composición pueden presentarse a escala local según la forma como la depositación de las cenizas se haya efectuado y si han sido uno o más los volcanes los que han aportado materiales. Este mismo autor dice que las propiedades específicas de estos suelos son altamente dependientes de la fracción arcilla, tal como lo demostraron Aomine y Wada (6).

+ Para andosoles de Colombia, Luna (67) y Luna y Calhoun (68) señalan que son suelos cuya fracción arcillosa está dominada por alófana en el suelo mientras que en los horizontes inferiores se presentan además la halloysita hidratada, caolinita y gibsitita. Su pH es ácido o ligeramente ácido, saturación de bases baja, CIC alta, mayormente dependiente del pH, pH en NaF 1M superior a 9,4, contenido alto de materia orgánica, dispersión difícil y alta retención de humedad.

+ Según Martini (69), el grado de desarrollo de los andosoles de América Central es particularmente dependiente de la precipitación pluvial, indicando que a medida que esta aumenta, la morfología cambia de A-C a A-(B)-C, el contenido de materia orgánica se incrementa, los agregados del suelo se ha-

con más fuertes, el pH y el porcentaje de saturación de bases disminuyen, el secamiento irreversible se hace más fuerte y la densidad aparente disminuye.

+ El mismo autor (69) indica que las cenizas andesíticas, altas en vidrios volcánicos y bajas en cuarzo, silicio, hierro y bases, favorecen la génesis de suelos bajos en cuarzo silicio, hierro, ácidos y altos en materiales amorfos que se estabilizan con la materia orgánica, mediante la acción del aluminio, para dar el color oscuro, la textura media, la estructura esponjosa, la consistencia grasosa y la alta capacidad de cambio típica de los andosoles.

+ Para los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile, Besoain (15) considera que los minerales secundarios están representados predominantemente por alófana en las primeras etapas de intemperización y haloisita y metahaloisita en las siguientes. Refiriéndose a los mismos suelos, Valdés (99) indica que su contenido de C-orgánico es alto, el nitrógeno a provechable bajo, la CIC alta, su densidad aparente baja y su capacidad de retención de humedad alta.

+ Blasco (17) afirma que los suelos volcánicos de Na río tienen un nivel alto de materia orgánica, pH ácido o ligeramente ácido, CIC alta y mayormente dependiente de la materia orgánica, concentración de K cambiabile alta y de Mg y Ca variable.

2.2 Cobre(")

2.2.1 Origen

(") La revisión de literatura pertinente a cobre, cobalto, hierro y zinc se realizó en colaboración con Dávila (33).

El cobre se encuentra en la corteza terrestre formando minerales estables, siendo más abundantes los sulfatos que los silicatos y los óxidos. Krauskopf (63) señala 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: Chrysocolla $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- f) Sulfatos: Brochantita $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$

De acuerdo a Taylor, citado por Soto (92), la concentración promedio de cobre total en la corteza terrestre es de 55ppm. Krauskopf (63) indica que las rocas ígneas básicas tienen una concentración de 100ppm, en tanto que las ígneas ácidas la concentración promedio es de solo 10ppm. En las rocas sedimentarias su concentración promedio es de 30ppm en areniscas, 4ppm en limonitas y 45ppm en arcillolitas.

2.2.2 El cobre en el suelo

Según Hodgson (53), la concentración promedio mundial de cobre total en el suelo es de 20ppm. Swaine, citado por Reuther y Labanauzcas (81), sostiene que en la mayoría de los suelos el cobre total oscila entre 2-100ppm. Por otra parte, Krauskopf (63) indica valores de cobre total, para diferentes suelos del mundo, comprendidos entre 10-80ppm.

En algunos suelos de Narifio y Putumayo se ha determinado la concentración de cobre total así: en suelos cultivados del Altiplano de Pasto su contenido promedio fue 8,6

ppm (11), en suelos del Valle de Sibundoy 38ppm (103) y en suelos de clima medio de Nariño el promedio encontrado fué de 11 ppm (61).

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 ó menos) y reductoras, mientras que el ión cúprico Cu^{++} , 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 organometálicos, esta situación es la responsable de la baja disponibilidad de este elemento en suelos con alto contenido de materia orgánica (47, 97).

2.2.3 Disponibilidad

La forma de cobre aprovechable para la planta se encuentra en la solución del suelo, o bien adsorbido en estado cambiante en el complejo coloidal, siendo fácilmente reemplazable por otros cationes (27, 34).

De acuerdo a Reuther y Labanauzcas (81), los tipos de suelos en donde pueden presentarse deficiencias 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

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 (66, 81).

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 (42).

En suelos del Brasil, Santana (87) encontró que el HCl 0,1N y el EDTA- Na_2 1% extrajeron en promedio, cuatro veces más cobre disponible que el acetato de amonio 1N pH 7,0 o 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 (92) encontró una situación similar a la anterior, en el sentido de que el HCl 0,1N extrajo seis veces más cobre disponible que el acetato de amonio ácido, pero el acetato de amonio neutro extrajo tres veces menos que el acetato de amonio ácido. Este autor sostiene que el mejor método es el que usa una solución extractora de HCl 0,1N, por cuanto presentó la mejor correlación negativa con la materia orgánica.

Las soluciones de sales neutras extraen muy poco cobre disponible, aún en suelos con alto contenido de cobre total (87). Sauchelli (88) sostienen que el cobre y el zinc pueden formar complejos con el amoníaco cuando se extrae con acetato de amonio normal, dando así valores bajos. Sin embargo,

Fiskell (42) señala que el cobre extraído con acetato de amonio normal pH 4,8 puede ser satisfactorio como índice del cobre disponible en el suelo. Al respecto, Cox y Kamprath (28) indican que suelos con menos de 0,2ppm de Cu extraído con esta última solución se pueden considerar como deficientes en este elemento.

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

2.2.4 El cobre en plantas y animales

De acuerdo a Price y colaboradores (78), 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 Scott (89) sostiene que 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.

Reuther y Labanauzcas (81) indican que los frutales, especialmente los cítricos y las gramíneas como la avena, la cebada, el trigo y el maíz son especies muy sensibles a los 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 varían mucho de una especie a otra. Sin embargo, la clorosis, la muerte descendente y el acortamiento de los entrenudos son los síntomas más frecuentes.

TABLA I
DISTRIBUCION PROMEDIA DE COBRE DISPONIBLE EN ALGUNOS SUELOS

S u e l o s	Profundi- dad en cm	Cobre en ppm	E x t r 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	Ravikovietch (79)
Suelos aluvionales de Israel	0 - 30 30 - 60	5,5 5,2	EDTA	Ravikovietch (79)
Suelos Andosoles de Costa Rica	0 - 30 30 - 60	17,4 19,9	HCl 0,1 N	Rubinstein (83)
Suelos forestales de Escocia	6 - 20 33 - 48	0,4 0,1	Acido acético 2,5%	Swaine y Mitchell (95)
Suelos de Bahía Brasil	(ⁿ)	0,4 0,1	NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ OAc 1N pH 7,0	Santana (87)
Suelos de la Saba- na de Tâquerres		0,54	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Chamorro y Echeve- rria (29)
Suelos de la Llanu- ra del Pacífico		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 0,1 N NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ OAc 1N pH 7,0	Soto (92)
Suelos del bajo Putumayo		3,72 3,53	NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ OAc 1N pH 7,0	Dávila (33)

(ⁿ) Suelos superficiales

2.3 Cobalto

2.3.1 Origen

El cobalto se encuentra originalmente en rocas ígneas básicas, como también en rocas sedimentarias calcáreas y dolomíticas (96). Debido a que este elemento se encuentra principalmente en materiales ferromagnéticos, tales como olivinos, piroxenos y anfíboles, su concentración en las rocas ígneas básicas es de 45ppm, mientras que en las rocas ígneas ácidas solamente es de 5ppm y en las rocas sedimentarias su contenido es de 23ppm. Su concentración promedio en la corteza terrestre alcanza 23ppm (53).

2.3.2 El cobalto en el suelo

Vanselow (100) informa que el contenido de cobalto en los suelos usualmente oscila entre 1 y 40ppm, 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 5-10ppm, o menos, de cobalto total.

El contenido promedio de cobalto total para suelos del Valle de Sibundoy (Putumayo) fue de 9,4ppm (103), para los suelos del clima medio del Departamento de Nariño 9,0ppm (61) y para los del Altiplano de Pasto 4,5ppm (11).

2.3.3 Disponibilidad

El cobalto aprovechable por la planta se encuentra en los suelos en dos estados de valencia: como ión Co^{++} y en forma de $\text{Co}(\text{OH})^+$. De otra parte, al formar complejos con la materia orgánica, se presenta como Co^{+++} (53, 77). 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 (52, 108).

Según Vanselow (100), los suelos deficientes en cobalto generalmente son de los siguientes tipos:

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 0,5N (100). Soto (92), en suelos volcánicos de Nicaragua, encontró que el oxalato de amonio ácido extrajo más cobalto disponible que el HCl 0,1N, 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.

2.3.4 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 (100).

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 todos los

TABLA II

DISTRIBUCION PROMEDIA DE COBALTO DISPONIBLE EN ALGUNOS SUELOS

Suelos	Cobalto en ppm	Ex t r a c t o r	R e f e r e n c i a s
Suelos de la Sabana de Tiquerre	0,87	NH_4OAc 1N pH 4,8	Chamorro y Echeverría (29)
Suelos del Valle del Patía	0,47	NH_4OAc 1N pH 4,8	Astaiza (10)
Suelos del Altiplano de Ipiales	0,10	NH_4OAc 1N pH 4,8	Salas (85)
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 0,1 N	Soto (92)
Suelos del bajo Putumayo	1,58 1,10	NH_4OAc 1N pH 7,0 NH_4OAc 1N pH 4,8	Dávila (33)

animales (2). Es además, 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 (2, 97). 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, 71).

2.4 Hierro

2.4.1 Origen

El hierro es en conjunto, el elemento más abundante en el planeta y el cuarto 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 obispo. Krauskopf (63) señala que los principales minerales que contienen hierro son:

- a) Oxidos: Hematita Fe_2O_3 , Goethita FeOOH , Magnetita Fe_3O_4
- b) Sulfuros: Pirita 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 (92), el hierro representa el 5% de la corteza terrestre. Hodgson (53) 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 (63) indica valores de 2,7% para el granito, 8,6% para el basalto, 0,38% para

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 presenta 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 (63).

2.4.2 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 200ppm hasta contenidos de 100.000ppm (97). Krauskopf (63), al compilar información de varias fuentes, indica que la concentración de hierro total en los suelos varía entre 10.000 y 100.000ppm.

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 (92). 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 $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ y divalentes $\text{Fe}(\text{OH})_2^{++}$, con frecuencia adsorbidos a la superficie coloidal o formando complejos organo-minerales (86).

Según Buold y Hewitt (25), 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%.

2.4.3 Disponibilidad

Kliman, citado por Santana (87), corrobora la opinión general de que la forma de hierro más disponible para la planta es la ferrosa, mientras que la forma férrica es 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 adsorbida por las plantas.

Según Wallihan (105) y Lucas y Knezek (66), 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 (28) 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 0,1N y agentes acomplejantes (quelantes).

En suelos del Brasil, Santana (87) encontró que el HCl 0,1N y el Na₂-EDTA 1% extrajeron de cinco a diez veces más hierro disponible que el acetato de amonio normal y de pH 4,8, y este último diez veces más que el acetato de amonio normal y neutro. Soto (92) encontró para suelos volcánicos de Nicaragua, que la capacidad de extracción de hierro de dife

rentes soluciones fue:

	Oxalato de amonio ácido	Acido clorhídrico
décimo normal	Acetato de amonio normal pH 4,8	Acetato de
amonio normal y neutro.		

Olson (75) sostiene que las cantidades de Fe extraídas con NH_4OAc 1N 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 ácidos o mal drenados.

Soto (92) recomienda descartar los métodos que utilizan acetato de amonio neutro o ácido, ya que estos extraen menores cantidades de hierro que el agua, debido probablemente a la formación de acetato 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 complejoado con la materia orgánica y concluye que el método más recomendable es el que utiliza una solución extractora de HCl 0,1N, 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 (76) sugieren que cuando la concentración de hierro extraído con acetato de amonio normal y de pH 4,8 sea inferior a 2ppm, se puede sospechar de deficiencia en especies sensitivas al hierro.

En la Tabla III se registran las concentraciones promedias de hierro disponible obtenidas en suelos de diferentes regiones.

TABLA III

DISTRIBUCION PROMEDIA DE HIERRO DISPONIBLE EN ELGUNOS SUELOS

S u e l o s	Profundidad en 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 7,0	Sánchez y Dios (86)
Suelos foresta- les de Escocia	6 - 20 33 - 48	10,0 5,0	Acido acético 2,5%	Swaine y Mitchell (95)
Suelos de Bahía Brasil	0 - 20	28,9 2,2	NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ OAc 1N pH 7,0	Santana (87)
Suelos de la Sa- bana de Tuquerres	(")	140,6	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Chamorro y Echeve- rria (29)
Suelos del Alti- plano de Ipiiales		39,68	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Salas (85)
Suelos de la Lla- nura del Pacifico		1.766,39	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Agreda y Otero (1)
Suelos volcánicos de Nicaragua		8.857,90 1.397,90 241,70 0,09	Oxalato de amonio HCl 0,1 N NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ OAc 1N pH 7,0	Soto (92)
Suelos del bajo Putumayo		601,41 543,90	NH ₄ OAc 1N pH 7,0 NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Dávila (33)

(") Suelos superficiales

2.4.4 El hierro en plantas y animales

La esencialidad del hierro para la vida de las plantas fue demostrada hace más de cien años (105). 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 (78).

En lo relativo al papel del hierro en la vida de los animales, además de su participación en los procesos energéticos, es componente de la hemoglobina y varias enzimas y portadores (89).

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 es típicamente intervenal (105).

2.5 Zinc

2.5.1 Origen

Krauskopf (63) sostiene que en la corteza terrestre, el zinc se encuentra en los siguientes minerales:

- a) Sulfuros: Esphalerita ZnS
- b) Carbonatos: Smithsonita $ZnCO_3$
- c) Silicatos: Hemimorphita $Zn_4(OH)_2Si_2O_7 \cdot H_2O$

Según Hodgson (53), en rocas básicas el con-

tenido promedio de zinc es de 130ppm, en rocas ácidas 60ppm y en rocas sedimentarias 80ppm. Krauskopf (63) indica que la concentración promedio de zinc en la corteza terrestre es de 70ppm, en el granito 40ppm, en el basalto 100ppm, en la limolita 20ppm, en la arenisca 16ppm, en la arcillolita 95ppm.

2.5.2 El zinc en el suelo

El zinc total en el suelo varía entre 10 y 300ppm (30,63) 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 (88). Krauskopf (63) indica que probablemente la mayor parte de zinc en el suelo se encuentra adsorbido en los constituyentes finos, mientras que para suelos tropicales, Igne y Bor nemisza (55) sostienen que el 80% de este elemento se encuentra formando parte de complejos organo-metálicos.

El zinc es fuertemente adsorbido por la materia orgánica y las arcillas y precipita como hidróxido, fosfato, carbonato o silicato, dependiendo del pH (102). Nelson y Melsted (72) 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 los 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 (97) señalan que el zinc es adsorbido por la superficie de carbonatos de calcio y magnesio. Al respecto, Lucas y Knezek (66) indican que en suelos encalados 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 encalados.

El zinc es un elemento que tiene muy poca movilidad en el perfil del suelo (88), sin embargo, Barrows y colaboradores (12) han demostrado que el movimiento del zinc varía con la textura del suelo, disminuyendo de arenosos a francós.

La concentración de zinc en el suelo está a sociada con el material parental. Así, Sauchelli (88) 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, sue los provenientes de material igneo básico tendrán suficiente zinc disponible para la planta, en tanto que los suelos prove nientes de rocas ígneas ácidas muestran deficiencia.

2.5.3 Disponibilidad

La aprovechabilidad del zinc decrece a medi da que aumenta el pH del suelo, especialmente cuando predomi na el calcio con el que forma zincatos insolubles. El punto crítico se halla entre los valores de pH 5,5 a 6,5 (30, 53, 66, 88).

Lucas y Knezek (66) y Chapman (30) sostienen que los tipos de suelos en los cuales se puede presentar deficiencia de zinc son:

- a) Suelos ácidos arenosos lixiviados con ba jo nivel de zinc total
- b) Suelos alcalinos
- c) Suelos derivados de material parental á cido (granito, gneiss, etc)
- d) Suelos calcáreos
- e) Suelos orgánicos
- f) Suelos de áreas muy lluviosas

- g) Suelos compactados
- h) Suelos "húmic-gley"

En lo que respecta a las prácticas de manejo que afectan la disponibilidad del zinc, Lucas y Knezek (66) 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 (28) las más usadas son:

- a) Acetato de amonio 1N pH 7,0
- b) Acetato de amonio 1N pH 4,8
- c) Acido clorhídrico 0,1N

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 (92).

Santana (87), en suelos del Brasil, comprobó que las cantidades extraídas con acetato de amonio 1N pH 7,0 fueron inferiores a las extraídas con el mismo acetato de amonio pero a pH 4,8; las mayores cantidades se extrajeron con HCl 0,1N y EDTA 1%.

En suelos volcánicos de Nicaragua, Soto (92) encontró que el acetato de amonio ácido y el HCl 0,1N fueron cuantitativamente más eficientes para extraer el zinc disponi-

ble 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 métodos que incluyan agentes acomplejadores.

Viets y Boawn (102) sostienen que de los métodos propuestos como índices de aprovechabilidad del 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, tal vez el zinc es el micronutriente que más atención ha recibido. Viets y colaboradores (101) establecen que la deficiencia de zinc en maíz ocurre a niveles inferiores a 0,4ppm, cuando se utiliza el método del acetato de amonio 1N pH 4,8 y Dithizona. En base al mismo método, Brown y colaboradores (23) proponen un nivel crítico de 0,55ppm para especies sensibles. Wear y Sommer, citado por Cox y Kamprath (28), en base a extracción con HCl 0,1N, establecen que 1ppm de zinc o más es suficiente para prevenir la deficiencia en el maíz.

El pH juega un papel importante en la interpretación de las concentraciones de zinc disponible. Así, Shaw y Deen (90) 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 a 7,0 cuya concentración de zinc era de 1ppm o menos, se presentó deficiencia de este elemento, en tanto que en suelos de pH igual o menos de 6,0 el nivel crítico fue de 2,5ppm.

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

TABLA IV

DISTRIBUCION PROMEDIA DE ZINC DISPONIBLE EN ALGUNOS SUELOS

Suelos	Profundi- dad en cm	Zinc en ppm	Extrac- tor	Referencia
Suelos aluviona- les de Israel	0 - 30 30 - 60	8,6 5,5	EDTA	Ravikovich (79)
Suelos Andosoles de Costa Rica	0 - 30 30 - 60	7,2 4,2	HCl 0,1 N	Rubinstein (83)
Suelos de Bahia Brasil	0 - 20	2,0	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Santana (87)
Suelos de la Saba- na de T��querres	(ⁿ)	0,97	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Chamorro y Boheve- rr��a (29)
Suelos del Valle del Patía		0,96	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Anta��za (10)
Suelos del Atipla- no de Ipi��les		10,65	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Salas (85)
Suelos de la Llanu- ra 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 HCl 0,1 N NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ ⁺ OAc 1N pH 7,0	Soto (92)
Suelos del bajo Putumayo		12,39 11,13	NH ₄ OAc 1N pH 4,8 NH ₄ ⁺ OAc 1N pH 7,0	Dávila (33)

(ⁿ) Suelos superficiales

2.5.4 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 (78).

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 (30).

En los animales, el zinc interviene en el equilibrio ácido base del cuerpo, a través de la enzima anhidrasa carbónica, también tiene que ver con la liberación del CO_2 por los pulmones y en la neutralización de los jugos gástricos. (89).

2.6 Molibdeno

2.6.1 Origen

El molibdeno es un elemento curioso desde el punto de vista geoquímico ya que sus propiedades son muy diferentes de aquellos elementos vecinos en el sistema periódico, pues mientras que todos estos de origen litófilo (presentándose especialmente en forma de óxidos), el molibdeno está relacionado más con elementos calcófilos, formando más que todo sulfuros. Los principales minerales que contienen molibdeno son:

- a) Sulfuros: Molibdenita MoS_2 .

b) Oxidos: Ilsemanita $\text{Mo}_3\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

c) Molibdatos: Wulfenita PbMoO_4 , Powellita

De acuerdo a Sauchelli (88) el molibdeno se presenta en la corteza terrestre en una concentración promedio de 2,3ppm. Krauskopf (63) señala un promedio 1,5ppm para la corteza terrestre. Este último autor, en su compilación bibliográfica cita los siguientes contenidos de molibdeno total para los diferentes tipos de rocas: granito 2ppm, basalto 1ppm, limolitas 0,4ppm, areniscas 0,2ppm, arcillolitas 2,6ppm.

2.6.2 El molibdeno en el suelo

La concentración de molibdeno total en los suelos, de acuerdo a Anderson (4), oscila entre 0,4 y 3ppm, mientras que Krauskopf (63) señala un rango entre 0,2 y 10ppm. Barros y Blasco (11) encontraron en suelos del Altiplano de Pasto un promedio menor de 4ppm de molibdeno total, situación esta similar a la encontrada por Santana (87) en suelos del Brasil, en tanto que Soto (92) encontró que suelos de Nicaragua tenían un promedio de 36ppm de Molibdeno, el cual se considera muy alto y se atribuye a la abundancia de biotita.

Hodgson (53) y Reisenauer (80) sostienen que el molibdeno se presenta en el suelo en cinco formas generales:

- Como constituyente de la estructura cristalina de los minerales primarios
- Como ión MoO_4^{2-} adsorbido a los coloides minerales del suelo, forma esta que es directamente aprovechable para la planta
- Como ión MoO_4^{2-} en la solución del suelo
- Asociado con la materia orgánica del suelo
- Ocluido en el complejo coloidal inorgánico

Además, el molibdeno también puede estar en el suelo como sales solubles, óxido de molibdato (MoO_3) y óxidos reducidos tales como Mo_2O_5 y MoO_2 , existiendo un equilibrio dinámico entre las formas de MoO_4 , MoO_3 , MoO_2 y Mo_2O_5 de las cuales los dos primeros son más fácilmente disponibles (3, 97).

Durante el desarrollo de la meteorización, el molibdeno es liberado desde los minerales primarios y posteriormente adsorbido a los coloides minerales. Conforme la meteorización avanza, una buena parte de este molibdeno intercambiable se ocluye y se torna inaprovechable para la planta. (80).

El ión molibdato, como la mayoría de los aniones, es adsorbido preferencialmente por partículas coloidales cargadas positivamente, por lo tanto podrían ser adsorbidas por $\text{Fe}(\text{OH})_3$ a valores de pH inferiores a su punto isoelectrico (aproximadamente 5). Se sabe que el rango de pH en donde ocurre la máxima adsorción está entre 3 y 6. Por encima de pH 6,0 la adsorción decae rápidamente. Esta adsorción probablemente ocurre mediante intercambio por OH^- . El molibdeno adsorbido en $\text{Fe}(\text{OH})_3$ de reciente precipitación es fácilmente intercambiable, pero conforme el precipitado envejece el molibdeno es fijado fuertemente, probablemente como ferrimolibdita (63).

La mayoría del ión molibdato está unida a la fracción férrica. Por otra parte, una proporción variable del molibdeno del suelo está asociada con la materia orgánica formando complejos con los ácidos poliprotéticos, los grupos fenólicos y con compuestos de origen vegetal y microbial (80).

Jones (59, 60) encontró que el molibdeno está fuertemente adsorbido a los óxidos hidratados de hierro y en menor grado a los óxidos de aluminio, haloisita, nontronita

y caolinita. De esto se deriva que la disponibilidad del molibdeno es mayor en los suelos jóvenes que en los viejos.

2.6.3 Disponibilidad

La aprovechabilidad del molibdeno para la planta varía entre límites muy amplios y los factores principales que la afectan son (58, 66, 80):

- a) La concentración de molibdeno en la solución del suelo
- b) Reacción del suelo: en contraste con los otros micronutrientes, la deficiencia de molibdeno está usualmente asociada con valores de pH inferiores a 5,5 debido probablemente a la reacción del molibdeno con el hierro y el aluminio, al igual de lo que ocurre con el ión fosfato. Al aumentar el pH disminuye este proceso y aumenta la solubilidad del molibdeno
- c) La cantidad y naturaleza de los hidróxidos del suelo
- d) La tensión de humedad en el suelo; la adsorción de molibdeno se incrementa cuando disminuye la succión del agua en el suelo

A pesar de que la retención del molibdeno es comparable a la del fósforo, existen algunas diferencias; así, bajo condiciones de alcalinidad el fósforo forma precipitados con el calcio, lo cual no ocurre con el molibdeno, pues bajo esas condiciones de pH la solubilidad del molibdeno continúa incrementándose.

Según Krauskopf (63), como regla general, se encuentran altos contenidos de molibdeno disponible en:

- a) Suelos alcalinos
- b) Suelos ricos en materia orgánica
- c) Suelos jóvenes derivados de materiales volcánicos

De acuerdo a Jhonson (58) y Lucas y Knezek (66), los tipos de suelos en donde se presenta usualmente deficiencia de molibdeno son:

- a) Suelos arenosos lixiviados
- b) Inceptisoles ácidos
- c) Spodosoles ácidos
- d) Orgánicos ácidos (Histosoles)
- e) Suelos viejos ricos en sesquióxidos de hierro y aluminio
- f) Suelos alofánicos (Andepts)
- g) Suelos con alto nivel de Mn cambiante

Algunas prácticas de manejo que inciden en la aprovechabilidad del molibdeno son: (66, 74, 80):

- a) Las aplicaciones de fertilizantes fosfatados incrementan la solubilidad del molibdeno en el suelo y su absorción por la planta, debido probablemente a la formación del complejo fosfomolibdico que puede ser absorbido más fácilmente por el vegetal
- b) El encalamiento, al incrementar el pH, atenúa el proceso de retención del molibdeno y aumenta sustancialmente su aprovechabilidad
- c) Las adiciones de azufre disminuyen la absorción del molibdeno
- d) Las condiciones de anegamiento disminuyen la aprovechabilidad del molibdeno probablemente a causa de la precipitación de la forma reducida del elemento. Esto es particularmente en el caso del arroz de regadío.

Con relación al efecto del encalamiento, en

suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Aragón y colaboradores (7) encontraron que la aplicación de 0,47ppm de molibdeno puede sustituir ventajosamente la aplicación de 2 ton/ha de cal en el cultivo de la coliflor.

Por otra parte al aumentar la disponibilidad del molibdeno por efecto del encalamiento, un sobre-encalado puede producir niveles tóxicos en praderas, lo cual se reflejará en molibdenosis en el ganado (58).

Grigg, citado por Soto (92), indica que para la determinación del molibdeno asequible se han empleado el acetato de amonio y el oxalato de amonio ácido, pero que existen muchas dificultades para establecer un método adecuado.

Al respecto, Reisenauer (80) sostiene que las determinaciones del molibdeno disponible en el suelo son muy complicadas debido a la influencia de las características del suelo y de otros constituyentes de los fertilizantes en la absorción y utilización del elemento por la planta. Afirma también que uno de los mayores obstáculos en la evaluación química del molibdeno disponible lo constituyen las concentraciones extremadamente pequeñas de la fracción aprovechable.

La mayor parte de los trabajos sobre determinación de niveles críticos de molibdeno aprovechable se han realizado en base a la extracción con oxalato de amonio ácido (pH 3,3). En general, se ha establecido en suelos de la zona templada que hay respuesta a la aplicación de molibdeno cuando los suelos muestran concentraciones inferiores a 0,4 ó 0,2ppm (28, 80).

En suelos del Brasil, Santana (87) utilizó el acetato de amonio 1N ácido y neutro, el HCl 0,1N y el EDTA-Na₂ 1% para extraer el molibdeno disponible, pero con to-

dos los extrantantes tan solo consiguió detectar trazas en los suelos estudiados. En suelos volcánicos de Nicaragua, Soto (92) encontró que el agua extrajo más molibdeno disponible que el oxalato de amonio ácido y el ácido clorhídrico 0,1N.

En la tabla V se compilan las concentraciones promedias de molibdeno aprovechable obtenidas en suelos de dos regiones tropicales.

2.6.4 El molibdeno en plantas y animales

Por estar formando parte de la nitrogenasa y la nitrato-reductasa, la importancia del molibdeno radica en ser un elemento esencial para la síntesis de las proteínas, siendo también necesario para la asimilación del nitrógeno por la planta. Así mismo, el molibdeno juega un papel importante en el proceso de fijación de nitrógeno mediante simbiosis de Rhizobium -- leguminosas (78).

Las diferentes especies varían grandemente de sus requerimientos de molibdeno y en su capacidad para extraerlo del suelo (80). De los cultivos anuales el tomate, la lechuga, la espinaca y todas las especies del género Brassica (coliflor, col, repollo) son muy sensibles a la deficiencia de molibdeno y exhiben síntomas característicos de fácil identificación en el invernadero o en el campo. El síntoma más obvio y temprano es similar al que presenta la deficiencia del nitrógeno (58). En la coliflor, el síntoma típico de deficiencia de molibdeno es la fasciculación y deformación de la hojas, así como un escaso desarrollo de la inflorescencia (7).

La toxicidad del molibdeno para las plantas no ha sido observada en la práctica; sin embargo, el forraje que contiene más de 10 o 20ppm de molibdeno puede ser tóxico para los rumiantes, produciéndose la enfermedad llamada "molibdenosis". Desde el punto de vista de la nutrición animal, el mo

TABLA V

DISTRIBUCION PROMEDIA DE MOLIBDENO DISPONIBLE EN ALGUNOS SUELOS

Suelos	Molibdono en ppm	Extractor	Referencia
Suelos volcani- cos de Nicaragua	0,53	Oxalato de amonio	
	0,20	HCl 0,1 N	
	1,00	NH ₄ OAc 1N pH 7,0	
	0,25	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Soto (92)
Suelos de Bahia Brasil	Trazas	HCl 0,1 N	
	Trazas	Na ₂ -EDTA 1%	
	Trazas	NH ₄ OAc 1N pH 7,0	
	Trazas	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Santana (87)

libdeno es indispensable para la síntesis de la xantina-oxidasa (80, 89).

2.7 Boro

2.7.1 Origen

El boro es el único elemento no metálico entre los micronutrientes; tiene una valencia constante de 3^+ y un radio iónico muy pequeño. Es estrictamente un elemento litofílico, sus minerales de alta temperatura son principalmente borosilicatos y boratos anhidros; sus minerales de baja temperatura son boratos hidratados. Los principales minerales de este elemento son, de acuerdo a Krauskopf (63):

- a) Boratos hidratados: Bórac $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, Kernita $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, Colemanita $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, Ulexita $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$
- b) Boratos anhidros: Ludwigita Mg_2FeBO_5 , Ktoita $\text{Mg}_3(\text{BO}_3)_2$
- c) Borosilicatos complejos: Turmalina $\text{H}_2\text{MgNa}_9\text{Al}_3(\text{BO})_2\text{Si}_4\text{O}_{20}$

La concentración promedio de boro en la corteza terrestre es de 10ppm. A diferencia de lo que ocurre con los otros elementos menores, el boro es más abundante en las rocas ígneas ácidas, 15ppm (granito) que en las rocas ígneas básicas, 5ppm (basalto). En algunas rocas sedimentarias, el contenido de boro alcanza valores altos, tal como ocurre en el caso de las arcillolitas (100ppm), mientras que en las limolitas este contenido es de sólo 20ppm y en las areniscas 35ppm. Puede considerarse como regla general, que el boro es más abundante en rocas de origen volcánico (extrusivo) que en las de origen plutónico (intrusivo), pero existe mucha variabilidad (63)

2.7.2 El boro en el suelo

La concentración total de boro en el suelo, de acuerdo a Mitchell (70), oscila entre 4 y 100 ppm, mientras que Krauskopf (63) señala un rango de concentración comprendido entre 7 y 60 ppm. Sin embargo, se han reportado datos superiores a las 100 y aún a las 200 ppm en suelos pedéslicos del Canadá (51) y en suelos de Israel (79).

En suelos tropicales son muy escasas las determinaciones de boro total. Soto (92) encontró un promedio de 16,08 ppm en suelos volcánicos de Nicaragua.

En relación con otros micronutrientes el boro presenta algunas peculiaridades derivadas de que en el suelo siempre se encuentra combinado con el oxígeno, comportándose por tanto como ion borato en todas las reacciones (92).

Otra característica del boro es la relacionada con su alta movilidad, lo cual permite que se pierda fácilmente por lixiviación (63). En relación a este fenómeno, Stevenson y Ardashani (94) explican que, desde el punto de vista de las prácticas de manejo del suelo, las pérdidas de micronutrientes por lixiviación son insignificantes salvo el caso del boro.

Según Reichenauer (80), el boro se encuentra en el suelo en cuatro estados:

- a) Formando parte de la estructura cristalina de los minerales
- b) Adsorbido o retenido por los coloides del suelo
- c) Como anión borato en la solución del suelo
- d) Asociado con la materia orgánica

El boro es adsorbido más frecuentemente por los suelos que por otros aniones, tales como el Cl^- y el NO_3^- (36). La retención del ión borato por parte de las arcillas y de los sesquióxidos es dependiente del pH, presentándose una máxima adsorción entre valores de pH comprendidos entre 7,0 y 9,0. La retención es más fuerte por parte de los sesquióxidos que por parte de los minerales arcillosos laminares y dentro de aquellos, el $\text{Al}(\text{OH})_3$ es más efectivo en la retención que el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (63).

De acuerdo a Reisenauer (80), la naturaleza química de la adsorción del ión borato se ha atribuido a:

- a) Adsorción molecular
- b) Intercambio aniónico
- c) Precipitación y formación de complejos

En lo que respecta al efecto de pH sobre la adsorción del boro al complejo coloidal mineral, este elemento se comporta distinto a la mayoría de los aniones del suelo. Así, la adsorción del ión borato es independiente del pH a valores inferiores a 7,0 pero se incrementa sustancialmente a medida que el pH aumenta sobre ese valor (80).

De acuerdo a Berger y Pratt (14), una buena parte del boro total en los suelos está asociado con la materia orgánica formando complejos en el transcurso de la síntesis de los tejidos de la planta. La materia orgánica, al ser descompuesta por los microorganismos, libera boro aprovechable a la solución del suelo desde donde puede ser tomado por las plantas.

2.7.3 Disponibilidad

Se han diagnosticado deficiencias de boro en un amplia gama de cultivos, suelos y condiciones climáticas.

Así mismo, con mucha frecuencia se ha encontrado en el suelo niveles tóxicos de este elemento. La diferencia entre nivel tóxico y el nivel adecuado es muy pequeña, quizás la más estrecha de todos los elementos esenciales; por ello es factible que en un mismo ciclo de cultivo se encuentren tanto niveles deficientes como excesivos (80).

De acuerdo a Wear y Patterson (107), las condiciones ácidas del suelo favorecen la absorción del boro por la planta, pero el efecto del pH debajo de la neutralidad es muy limitado.

Bradford (21) y Lucas y Knezek (66) señalan que los tipos de suelos en donde frecuentemente se presentan deficiencias de boro son:

- a) Suelos aluviales (Fluvents)
- b) Suelos podsólicos (Spodosoles)
- c) Suelos orgánicos (Histosoles)
- d) Suelos regosoles (Udipsaments)
- e) Suelos Low Humic-gleys (Haplaquepts)
- f) Suelos ácidos fuertemente lixiviados
- g) Suelos alcalinos y calcáreos
- h) Suelos bajos en materia orgánica

Las prácticas de manejo que pueden intensificar o atenuar la deficiencia de boro son (21, 74, 80):

- a) El sobreencalamiento de suelos ácidos resulta frecuentemente en el desarrollo de deficiencias agudas de boro.
- b) Composición del agua de riego. Cuando el contenido de boro del agua de riego está entre 0,10 y 0,20ppm las probabilidades de que se presente deficiencia de boro son remotas. Si el contenido de boro es mayor de 0,75ppm algunos

cultivos sensibles tales como los cítricos, pueden mostrar daños por toxicidad. Cuando el agua de riego es baja en boro pero alta en sales de clacio, los requerimientos de boro pueden incrementarse

c) La aplicación de abonos orgánicos puede prevenir la aparición de déficit de boro

El desarrollo de deficiencia de boro como resultado de adición de cal en dosis elevadas está relacionado, según Reisenauer (80) y Olsen (74), con varios factores o la combinación de los mismos a saber:

a) Incremento de la fijación de boro por los coloides minerales y orgánicos de los suelos mediante reacciones en medio alcalino

b) Un efecto fisiológico de los altos valores de pH y Ca sobre las raíces de las plantas que influyen en la absorción y/o translocación de este elemento

c) Un incremento en los requerimientos de boro por la planta por efecto de los altos niveles de Ca.

Bradford (21) indica que los suelos en los cuales se pueden presentar niveles tóxicos de boro son de los siguientes tipos:

- a) Suelos derivados de sedimentos marinos
- b) Suelos áridos alcalinos
- c) Suelos derivados de material parental rico en minerales de boro
- d) Suelos derivados de formaciones geológicas jóvenes

Puesto que la práctica del encalemamiento reduce la aprovechabilidad del boro, en lógico que esta misma práctica atenúe su efecto tóxico. Al respecto, Fox (44) encontró

que el algodón desarrollado en un suelo del Perú, con contenidos entre 25-50ppm de boro soluble en agua caliente, no mostraba síntomas de toxicidad en razón de un efecto combinado de pH alto y elevada concentración de calcio.

Las determinaciones del boro disponible en suelos han estado basadas en dos tendencias: la extracción con agua caliente y la utilización de ácidos como extractores pero de las dos la más utilizada es la primera (80, 106).

Los trabajos sobre comparación de métodos de extracción de boro son escasos. Recientemente, Soto (92) encontró en suelos de Nicaragua que el HCl 0,1N extrajo en promedio, cantidades similares a las extraídas por el oxalato de amonio ácido, el mismo autor recomienda el oxalato de amonio ácido por cuanto el boro extraído mediante esta solución se comporta más normalmente en relación a pH y arcillas.

Basado en la extracción con agua caliente, Reisenauer (80) ha propuesto los siguientes niveles críticos para boro:

- a) Menos de 0,1 - 0,7ppm: deficiente
- b) 0,7 - 0,1ppm: suficiente
- c) Más de 1,0 - 5,0ppm: tóxico

Sin embargo, los criterios anteriores deben ser usados con mucho cuidado, pues según trabajos realizados por Olarte y Motta (73) en el Valle del Cauca, con el método de agua caliente, los suelos altamente deficientes en boro tenían hasta 10ppm.

En la Tabla VI se incluyen las concentraciones de boro disponible obtenidas en suelos de diferentes regiones.

TABLA VI

DISTRIBUCION PROMEDIA DE BORO DISPONIBLE EN ALGUNOS SUELOS

S u e l o s	Boro en ppm	E x t r a c t o r	R e f e r e n c i a
Suelos de la Llanura del Pacifico	0,06	NH ₄ OAc 1N pH 4,8	Agrada y Otero (1)
Suelos del Valle del Patia	1,33	Agua caliente	Astaiza (10)
Suelos de la Sabana de Tiquerres	0,78	Agua caliente	Chamorro y Echeverria (29)
Suelos del Valle del Cauca	10,00	Agua caliente	Olarte y Notta (73)
Suelos volcánicos de Nicaragua	5,10 7,77 3,20 2,78	Oxalato de amonio HCl 0,1 N NH ₄ OAc 1 N pH 7,0 NH ₄ OAc 1 N pH 4,8	Soto (92)

2.7.4 El boro en la planta

A pesar de que existe acuerdo general en lo relativo a la esencialidad del boro para la vida de la planta, aún no se ha establecido con claridad su papel bioquímico esencial. La hipótesis más persistente es que el boro facilita el transporte de los azúcares a través de las membranas, en razón de que forma complejos con los mismos. Sin embargo, aún no se ha ofrecido una prueba contundente sobre la existencia de estos compuestos. También se ha planteado la hipótesis de que el boro participa en la síntesis de los ácidos nucleicos (78).

Aunque los síntomas de deficiencia de boro varían de una especie a otra, en general la deficiencia lleva a la degeneración de los tejidos meristemáticos, incluyendo el cambium; a la ruptura de las paredes celulares del parénquima y a un escaso desarrollo de los tejidos vasculares (21), lo cual conduce a malformación y reducción del limbo de las hojas excesivo crecimiento de los pecíolos y atrofia de los tejidos terminales (7).

El exceso de boro produce una necrosis progresiva de las hojas, comenzando en el ápice y en los márgenes como una clorosis (21).

Los requerimientos de boro por los cultivos varían con la especie, lo mismo que su tolerancia a niveles excesivos y su capacidad para absorber el elemento desde el suelo (80). La remolacha, la coliflor y el repollo son plantas ávidas de boro y por lo tanto constituyen buenas especies indicadoras de deficiencia, lo mismo ocurre con la alfalfa y los tréboles (21).

III. MATERIALES Y METODOS

3. 1 Descripción general del área de estudio

La región de estudio comprende el llamado Altiplano de Pasto, el cual se encuentra situado en el Departamento de Nariño, sur-oeste de Colombia, a una altitud comprendida entre 2.500 y 3.000 m (31). En esta región se encuentran el Valle de Atriz de topografía ligeramente ondulada, las vertientes del Volcán Galeras con pendientes fuertes hacia la parte superior, los flancos sur y occidental del Volcán Morasurco y los derrames fluviovolcánicos, principalmente del Galeras (68).

3.1.1 Geología

El Altiplano de Pasto está conformado por depósitos volcánicos del cuaternario constituidos por tobas andesíticas cuaternarias y modernas, andesitas y aluviones cuaternarios (82).

Los depósitos volcánicos más recientes los forman capas de ceniza proveniente de los volcanes Galeras, Morasurco, Patascoy y Bordonsillo, de espesor variable, dependiendo de la topografía, dirección del viento y proximidad de los volcanes. También se encuentran otro tipo de depósitos volcánicos formados por mezcla de ceniza y material cascajoso u otro tipo de material de origen coluvial andesítico(68).

3.1.2 Clima y Ecología

La temperatura media anual de la región estudiada está comprendida entre 10-14°C, dependiendo de la altitud, y la precipitación promedio anual es de 781mm, pero ésta aumenta en algunas localidades ubicadas en el montano bajo húmedo (31, 38).

Según el estudio de las formaciones vegetales de Colombia (38), en el Altiplano de Pasto se encuentran las siguientes: Bosque seco montano bajo y Bosque húmedo montano bajo.

3.2 Suelos

Luna y Calhoun (68), en su reciente estudio sobre la génesis y clasificación de los suelos derivados de cenizas volcánicas del Departamento de Nariño, concluyen que en el Altiplano de Pasto se encuentran los siguientes tipos de suelos:

3.2.1 Suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas

Son suelos profundos de tipo A-C o A-(B)-C en los cuales el horizonte "A" pasa de 50 cm de espesor y es de colores oscuros. Su textura es franco-arenosa, franco-limo y excepcionalmente franco-arcillosa. Su estructura es de tipo subangular media. Las estructuras de tipo granular o migajón son poco frecuentes. Su consistencia es friable y muy friable, siendo escasos los suelos de consistencia firme. El contenido de carbono orgánico es muy alto. La CIC (NH_4OAc 1N pH 7,0) es alta, pero la mayor parte de ella es dependiente del pH. La saturación de bases es baja y el hidrógeno intercambiable muy alto. El pH en agua (1:2) del horizonte "A" oscila entre 4,8 y 5,4 y el obtenido en NaF 1M es mayor de 10, lo que indica altos contenidos de coloides amorfos. La densidad aparente es menor de 0,85 g/cc y son muy pobres en fósforo aprovechable.

Desde el punto de vista mineralógico, en las arenas predominan las plagioclasas en la fracción liviana y la hornblenda en la fracción densa. El cuarzo es muy escaso, lo cual conjuntamente con otras características mineralógicas indica que la composición de la ceniza es andesítica. En la

Fracción arcillosa de los horizontes superiores predominan las arcillas amorfas y la haloisita hidratada.

La clasificación de estos suelos en el Sistema Septima Aproximación es:

Orden: Inseptisoles

Suborden: Andept

Grandes grupos: Dystrandept
Vitrandept

3.2.2 Suelos desarrollados de materiales complejos

Son suelos desarrollados sobre ceniza en combinación con otros minerales, tales como tobas, material coluvial andesítico y ceniza volcánica que ha sido trabajada previamente o transportada por acción del agua.

Morfológicamente son del tipo A-C o A-(B)-C y presentan características variadas dependiendo de la proporción y clase del material con el cual se encuentra asociada la ceniza. Comparados con los suelos del grupo anterior (Andept), los de este grupo tienen colores algo más claros, poseen estructura más desarrollada y son de consistencia firme, algo plásticos y pegajosos y poco porosos. Son ligeramente ácidos con alta saturación de bases y bajo contenido de carbono orgánico. El contenido de arcilla es mucho más alto que el encontrado para suelos derivados exclusivamente de ceniza volcánica. La densidad aparente se acerca a la unidad. El pH en NaF 1N da valores inferiores a 9,5, lo que indica que estos suelos tienen cantidades inferiores al 50% de material amorfo. La CIC es alta pero inferior a la de los suelos Andept. El fósforo aprovechable es de bajo a mediano.

Dentro de los minerales livianos, componen-

tes de las arenas, predominan los feldespatos plagioclásicos y dentro de los pesados la hornblenda. El cuarzo es muy escaso, lo que quiere decir que los materiales originales son del tipo andesítico. Dentro de las arcillas las más abundantes son la haloisita y la metahaloisita.

En el Sistema Séptima Aproximación se clasifican:

Orden: Inceptisoles

Subórden: Tropept

3.3 Localidades y muestreo

Se tomaron sesenta muestras del horizonte superior en diez localidades del Altiplano de Pasto, a razón de seis muestras por localidad, tratando de cubrir representativamente las zonas agrícolas. Las localidades incluidas en el estudio fueron: Aranda, Jongovito, El Carmen, Botana, Catambuco, Daza, Obonuco, La Laguna, Cujacal y Jenoy.

Las muestras de cada localidad se tomaron bajo dos coberturas: cultivo y pradera. En la Figura 1 se presenta la localización de la zona de estudio y la ubicación de los sitios de muestreo.

3.4 Determinaciones físico-químicas

Se realizaron las siguientes determinaciones:

Análisis granulométrico

Carbono orgánico

pH en agua (2:1)

Cationes cambiabiles (Ca, Mg, K)

Aluminio cambiabile

Saturación de bases
Saturación de calcio
Saturación de aluminio
Relación Ca/Mg

El análisis granulométrico se realizó siguiendo la técnica de Bouyoucos descrita por Silva y Olarte (91). El carbono orgánico (Walkley-Black) y el pH potenciométrico en agua (1:2), se determinó de acuerdo a las técnicas descritas por Saiz del Rio y Bornemisza (84). El Ca, K, Mg y aluminio cambiable se extrajeron con NH_4OAc 1N pH 4,8 y se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro "Varian Techtron" modelo "AA" 120. La CIC en NH_4OAc 1N pH 7,0, se determinó mediante el método de Schollenberger y Simón, descrita por Saiz del Rio y Bornemisza (84). La saturación de bases, de calcio y de aluminio se la expresó en porcentaje de la CIC. La relación Ca/Mg se la obtuvo dividiendo los me/100g de Ca entre los correspondientes al Mg.

El material amorfo se determinó mediante el método rápido de Fieldes y Perrot (41): a 1g de suelo se agregaron 50ml de NaF 1M se agitó y luego de 2 minutos se midió el pH potenciométrico; el pH mayor de 9,4 indica la presencia de más del 50% de material amorfo.

3.5 Determinación de microelementos

La forma disponible de Cu, Zn, Fe, Co y Mo se extrajo con NH_4OAc 1N pH 4,8, siguiendo la técnica descrita por Saiz del Rio y Bornemisza (84): a 2,5g de suelo seco al aire, pasado por un tamiz de 2mm, se agregaron 25ml de NH_4OAc 1N pH 4,8 y se agitó durante 60 minutos. Se filtró y en el extracto se determinó Cu, Zn, Fe, Co y Mo, mediante espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro "Varian Techtron" modelo "AA" 120, perteneciente a la Secretaría de

Agricultura y Ganadería del Cauca.

El boro disponible se extrajo con agua caliente y se determinó siguiendo la técnica de Jackson (57), de acuerdo al siguiente procedimiento:

Se pesaron 50g de suelo seco al aire, pasado por un tamiz de 2mm, se agregaron 100ml de agua destilada y se calentó hasta ebullición manteniéndola durante 5 a 10 minutos. Se dejó enfriar, se agregaron 40mg de CaCl_2 y se filtró. Del filtrado se tomaron 10ml en un crisol de porcelana se agregaron 2ml de solución saturada de hidróxido de calcio, se evaporó a sequedad y luego se calcinó a 600°C , se dejó enfriar y se adicionaron 5ml de H_2SO_4 concentrado. En un balón de 25ml se colocó una alícuota de 5ml, se adicionaron 2 gotas de HCl concentrado, 10ml de carmín y se llevó a volumen con H_2SO_4 concentrado. Se dejó reposar durante 24 horas y se determinó la transmitancia en un espectrofotómetro "Coleman" a una longitud de 610 mμ.

3.6 Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron criterios de correlación lineal y cuadrática, los cuales se calcularon en una computadora I.B.M. 1624 perteneciente a la Universidad Nacional. Se compararon promedios de concentración entre localidades, coberturas (cultivo y pradera) y regiones, para los diferentes nutrimentos, utilizando la prueba de "t". Además se calcularon límites de confianza y coeficientes de variación. En todos los casos se siguieron los procedimientos descritos por Steel y Torrie (93).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Características generales de los suelos

En la Tabla VII se presentan algunas características físicas correspondientes a los suelos estudiados. En la Tabla VIII se incluyen algunas características químicas.

De acuerdo a las tendencias generales observadas, los suelos se pueden clasificar en dos grupos, los cuales coinciden a grandes rasgos con la clasificación realizada por Luna y Calhoun (68).

4.1.1 Suelos Andept

Estos suelos se encuentran en las localidades ubicadas a mayor altitud y bajo una relativa mayor precipitación fluvial en el Valle de Atriz y son los siguientes:

EL CARMEN : 1, 2, 3, 4, 5, 6
CATAMEUCO : 1, 5
DAZA : 2, 3, 5, 6
LA LAGUNA : 1, 3, 4
CUJACAL : 1, 2, 3, 4, 5, 6

Son suelos desarrollados principalmente sobre ceniza volcánica, los cuales presentan una morfología definida y demás propiedades similares a las descritas por diferentes investigadores para los Andosoles típicos (68).

Las texturas de este grupo de suelos son generalmente livianas predominando los francos, franco-limosos y franco-arenosos. La mayoría presentan contenidos de C-orgánico mayores de 4%, alcanzando en ocasiones contenidos cercanos al 12%. El pH en NaF es mayor de 9,5 lo que indica un contenido

de materiales amorfos (especialmente alófana) mayor de 50% (41), y el pH en agua es generalmente menor de 5,8. La CIC es alta, siendo los valores más frecuentes superiores a 35 me/100 g. La saturación de bases por lo general tiende a dar valores bajos inferiores al 40% y la saturación de calcio inferiores al 30%, mientras que la saturación de aluminio tiende a dar cifras altas superiores al 10%.

La clasificación taxonómica de estos suelos según el sistema Sáptima Aproximación (62), es:

ORDEN	: Inceptisoles
SUB-ORDEN	: Andept
GRAN-GRUPO	: Dystrandept Vitrandept

4.1.2 Suelos Tropept

Son suelos que corresponden al grupo de suelos desarrollados de materiales volcánicos complejos, según la descripción de Luna y Calhoun (68), y se encuentran localizados, de preferencia, en los sectores bajos del Valle de Atlix, pues una buena parte del material de partida es coluvial. En este grupo se encuentran los siguientes suelos del estudio:

ARANDA	: 1, 2, 3, 4, 5, 6
JJONGOBITO	: 1, 2, 3, 4, 5, 6
BOTANA	: 1, 2, 3, 4, 5, 6
CATAMBUCO	: 2, 3, 4, 6
DAZA	: 1, 4
OBONUCO	: 1, 2, 3, 4, 5, 6
LA LAGUNA	: 2, 5, 6
JENOY	: 1, 2, 3, 4, 5, 6

Este grupo de suelos constituyen el 65% de

la muestra. Son suelos de una profundidad mucho menor que los del grupo Andept, de colores más claros y de textura más pesada, como resultado de un mayor contenido de arcilla. Muestran generalmente, contenidos de C-orgánico menores de 4%. El pH en NaF arroja valores inferiores a 9,5 lo que implica contenidos bajos de coloides amorfos (41), y el pH en agua muestra valores superiores a 5,5 y generalmente cercanos a 6. La capacidad de intercambio catiónico de registros inferiores a 30 me/100g: la saturación de bases es por lo general superior a 40% y la de calcio superior al 30%. La saturación de aluminio es inferior al 30%.

De acuerdo al sistema taxonómico Séptima Aproximación (62) este grupo de suelos se puede clasificar así:

ORDEN	: Inceptidoles
SUB-ORDEN	Tropept

4.2 Relaciones Estadísticas entre algunas características edáficas

En las Tablas XXI y XXII se presentan los coeficientes de correlación lineal y los coeficientes de asociación lineal, respectivamente. En las Tablas XXIII y XXIV se incluyen los coeficientes de regresión y asociación cuadráticos.

Las relaciones más interesantes son las que se presentaron entre pH en NaF 1M y algunas propiedades del suelo (a) aluminio cambiante, saturación de calcio, carbono orgánico, capacidad catiónica de cambio y % de arcilla) Estas relaciones fueron significativamente cuadráticas y se presentan en las Figuras 2 a 6.

Las anteriores relaciones son las más importantes por cuanto, de acuerdo a Fieldes y Perrot (41) el pH tomado en

Naf 1M es un indicativo del contenido de materiales amorfos, en el sentido de que cuando este parámetro excede del valor de 9,5, es un indicativo de la presencia de coloides amorfos, incluyendo alófana, a niveles superiores al 50%. De otra parte, la concentración de arcillas amorfas es el principal criterio para clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas de acuerdo con el sistema taxonómico americano Séptima Aproximación (62).

En la Figura 2 puede observarse que a partir del valor 9,5 para el pH tomado en Naf 1M, la concentración de a aluminio cambiante se incrementa sustancialmente desde 200ppm (2,22 me/100g) alcanzando hasta el nivel de las 1200ppm (13,33 me/100g) cuando el respectivo valor de pH en Naf es de 12 ($R^2 = 50\%$). Es claro, además, que por debajo de los límites anteriores, pH Naf 9,5 y 200ppm de aluminio cambiante, se sitúan la mayor parte de los suelos clasificados en el presente estudio en el suborden Tropept (señalados por un punto) y por encima de tales valores se sitúan los suelos correspondientes al suborden Andept (señalados con una cruz). Esta situación es lógica por cuanto los suelos Andept son ricos en alófana y por tanto, en aluminio. Además los suelos Andept son más lixiviados, lo que supone menor pH y por tanto, mayor concentración de aluminio cambiante ($r = -0,37^{++}$).

En la Figura 3 se presenta la relación entre pH Naf y porcentaje de saturación de calcio ($R^2 = 11\%$). En este caso, los valores altos de pH Naf ($> 9,5$) coinciden con valores bajos de saturación de calcio (suelos Andept) y por su parte, los valores bajos de pH Naf conducen a la obtención de valores altos de saturación de calcio en los Andepts se explica en razón de que aquellos se han desarrollado bajo condiciones de mayor lixiviación y, por otra parte, muestran una mayor capacidad de intercambio catiónico.

La relación que se presenta en la Figura 4 ($R^2 = 36\%$) muestra cómo valores de pH NaF superiores a 9,5 corresponden a contenidos de C-orgánico mayores de 4%, en tanto que sobre pH NaF 9,5 los porcentajes de C-orgánico se incrementan sustancialmente. Al igual que en los casos anteriores los valores bajos de ambas variables corresponden a Tropepts y los altos a Andepts. Es claro que altos valores de pH NaF indican, como ya se ha dicho, alta concentración de alófana, entre otros coloides amorfos, lo cual indica que la tasa de mineralización de la materia orgánica será baja o nula, conforme lo han demostrado Bornemisza y Pineda (20) en suelos andosólicos (Andepts) de Costa Rica, de donde consecuentemente el nivel de C-orgánico se mantendrá alto.

Con la capacidad de intercambio catiónico se manifiesta una relación similar a la anterior ($R^2 = 69\%$). Tal como se observa en la Figura 5 sobre valores de pH NaF mayores de 9,5 (Andepts) se registran valores de CIC superiores a 30 me/100g, mientras que los suelos del Suborden Tropept muestran valores inferiores a esa cifra. La mayor CIC de los suelos alofánicos se debe no solamente a la mayor CIC de la alófana (68) sino a que el método del acetato de amonio tiende a dar valores más altos en este tipo de suelos (32, 46).

Según muestra la Figura 6, los valores de pH NaF superiores a 9,5 coinciden con los suelos Andept y resultan en valores inferiores a 25% de arcillas ($R^2 = 30\%$). Es conocida la dificultad que presentan los suelos alofánicos para su dispersión (8, 16, 35, 43, 48, 67), lo cual conduce a que este tipo de suelos presente contenidos bajos de arcillas.

Vistas las relaciones anteriores, resulta sencillo dividir los suelos estudiados en dos poblaciones (Tropept y Andept) y determinar los límites discriminatorios entre ellas. Esta operación se hizo gráficamente sobre las figuras respec-

tivas y tomando en consideración los límites de confianza para la media de la población de cada característica. Los resultados se presentan en las Figuras 2 a 6 y en la Tabla IX. Se considera que esta división no solamente es importante desde el punto de vista de clasificación, sino también desde el punto de vista de manejo, como se verá más adelante. Además, es importante anotar que el pH (NaF) al correlacionar con las propiedades ya nombradas demuestra ser un criterio funcional y acertado de clasificación en el Sistema Séptima Aproximación (62).

Se presenta además otras relaciones de interés (Tabla XXI) entre diferentes características del suelo, algunas de las cuales son cuadráticas (Tabla XXIII). El aluminio, por ejemplo, relacionó directamente con el C-orgánico ($R^2=59\%$), con la CIC ($R^2=61\%$), con % de arena ($R^2=15\%$) y con el % de limo ($R^2=21\%$) e inversamente con saturación de calcio ($R^2=41\%$) y pH (agua) ($R^2=14\%$). El C-orgánico correlacionó directamente con capacidad de intercambio catiónico ($R^2=52\%$), % de arenas ($R^2=9\%$) y el % de limo ($R^2=23\%$). El contenido de arcilla correlacionó directamente con saturación de calcio ($R^2=16\%$) y pH (agua) ($R^2=11\%$) e inversamente con aluminio cambiante ($R^2=47\%$), CIC ($R^2=42\%$), y carbono orgánico ($R^2=41\%$). Sin embargo, de cualquier manera, el pH en NaF, que representa el contenido de coloides amorfos, relaciona a su vez, como ya se ha discutido, con todas las variables nombradas y, por tanto, el factor coloidal amorfo parece ser el de mayor incidencia en la expresión de las propiedades más importantes del suelo.

4.3 Algunos criterios sobre la fertilidad y el manejo de los suelos del Altiplano de Pasto

Las diferencias entre las características de los dos subordenes de suelos del Altiplano de Pasto (Tropept y Andept), lo mismo que las relaciones ya descritas entre importan

tes características del suelo y el contenido de materiales amorfos (pH NaF 1M), implican, así mismo, diferencias en el grado de meteorización y una acentuada influencia directa o indirecta del contenido de coloides amorfos sobre la fertilidad.

4.3.1 Suborden Andept ×

La presencia de un alto contenido de materiales alofánicos conlleva a altos niveles de carbono orgánico, lo cual, según, Broadbent y sus colaboradores (22), obedece al hecho de que la alófana protege a la materia orgánica de la descomposición, en virtud de la formación de complejos con los coloides amorfos. La naturaleza de estos complejos es poco conocida, pero las investigaciones de Jackman (56) sugieren que en su génesis interviene el aluminio. El papel del aluminio en la formación de estos complejos explicaría la correlación positiva lineal entre carbono orgánico y aluminio cambiante ($r=0,77^{++}$) detectada en el presente estudio y daría base a la hipótesis planteada por Arteaga y Matta (9) en el sentido de que la incubación en húmedo de suelos alofánicos libera aluminio a partir de los complejos alófana-materia orgánica. Si esto es cierto, cabe esperar que el aluminio de cambio presente acentuadas fluctuaciones estacionales en suelos Andept. En las circunstancias anteriores, conforme lo ha demostrado Viveros (104), queda claro que la influencia negativa del aluminio en la mineralización no se debe a su acción tóxica sobre los microorganismos sino a su papel como agente acomplejante.

La baja tasa de descomposición de la materia orgánica en estos suelos implica que la mineralización de los compuestos nitrogenados, azufrados, y fosforados es relativamente débil, lo que supone una baja liberación de formas disponibles a la planta. Al respecto, Blasco ofrece evidencias

experimentales para el nitrógeno (19) y el fósforo (18) que corroboran esta afirmación. En consecuencia, los requerimientos de fertilización serán altos, particularmente los de fertilización nitrogenada. A este respecto, Aomine y Kobayachi (5) han demostrado que la alófana inhibe la acción enzimática de la proteasa en el proceso de mineralización del nitrógeno.

De otra parte, la acumulación de humus, y por ende la de arcillas amorfas, tiene incidencia en otras propiedades del suelo, tales como el pH ($r=-0,34^{++}$), CIC ($r=0,72^{++}$), aluminio cambiante ($r=0,77^{++}$), etc., lo cual forzosamente se refleja en condiciones de fertilidad y manejo, tal como lo sostienen Aomine y Wada (6).

Así, los altos niveles de aluminio cambiante, que en algunos casos suponan que se alcancen saturaciones de Al superiores al 20% (Tabla VIII) y la baja saturación de calcio indican que, los suelos del suborden Andept requieren adiciones de cal en dosis bajas, tal como lo han demostrado Arteaga y Matta (9).

En lo que respecta al fósforo, es suficientemente conocida la acentuada deficiencia de este nutrimento en los Andosoles típicos, debido a su alta capacidad de fijación por hierro, aluminio y materiales alofánicos (16, 17, 35, 39, 45, 49, 50, 64, 65). Las experiencias de Hsu (54) han clarificado los mecanismos de adsorción de fosfato a coloides amorfos como la alófana, en los cuales el aluminio juega un gran papel.

Con relación a lo anterior, tal como lo afirman Buol y colaboradores (24), cabe esperar que los contenidos de coloides amorfos, determinados por el método rápido de Fiel des y Perrot (41), estén estrechamente correlacionados con la capacidad de fijación de fósforo y, por tanto, con la intensidad de respuesta a la fertilización fosfatada.

En general, la saturación de bases tiende a ser baja en los Andept (Tabla VIII) debido a su mayor grado de desarrollo y, por ende, de lixiviación.

Otro aspecto fundamental de los suelos incluidos en el Suborden Andept es el relacionado con sus características físicas. Es conocida su alta profundidad efectiva, alta porosidad, alta capacidad de retención de agua, alta estabilidad de agregados (8, 16, 17, 35, 37, 43, 64, 65, 67, 68). Desde luego, que estas cualidades tienen que ver con importantes aspectos del manejo. Así, la alta capacidad de retención de humedad implica un factor favorable de economía del agua; la gran profundidad efectiva resulta en un alto potencial de reserva de nutrimentos, tal como, lo determinan Fassbender y Guerrero (40); su alta estabilidad de agregados (37), genera según Uehara y Keng (98) por la cementación de materiales amorfos, determina una baja susceptibilidad de los suelos a la erosión, su alta porosidad seguramente previene el efecto nocivo del exceso de humedad en las épocas lluviosas y el bajo contenido de arcillas laminares (76) atenúa el apelmasamiento resultante del laboreo en húmedo.

Resumiendo, se puede decir que frente a ciertas limitaciones de tipo químico, los Andept presentan muy buenas condiciones físicas que abonan a su potencial de producción. Estas buenas condiciones físicas son, en gran parte, el resultado de la conservación de la materia orgánica. En otras palabras, el efecto inherente a la alta concentración de coloides amorfos se refleja negativamente en el balance y metabolismo de los nutrimentos pero, en cambio, es un factor que imparte y, lo que es más trascendental, conserva el potencial físico de producción.

4.3.2 Suborden Tropept

Los suelos de este grupo tienen bajo contenido

dos de coloides amorfos lo que, de acuerdo a lo discutido anteriormente significa, en relación al grupo Andept:

a) Mayor tasa de mineralización de nitrógeno y, por tanto requerimiento relativamente menor de fertilización nitrogenada

b) Menor capacidad de fijación de fosfatos y, por tanto, menor necesidad de fertilización fosfatada

c) Concentraciones menores de aluminio y mayores saturaciones de calcio, lo que explica la ausencia de respuesta al encalamiento encontrada por Arteaga y Matta (9) y Burbano y López (26)

d) Mayor saturación de bases en razón de su menor grado de desarrollo y lixiviación

e) Menor profundidad efectiva (68) que se refleja en menor potencial de reserva de nutrimentos

f) Menor capacidad de retención de humedad y menor porosidad (8), lo cual incide en una relativa baja capacidad de almacenamiento y conservación de la humedad y, seguramente en el desarrollo de aireación limitante durante períodos de abundante precipitación

g) Mayor concentración de arcillas laminares (68), lo cual incrementa la susceptibilidad al deterioro estructural por apelmazamiento

Es muy probable que el escaso acomplejamiento de la materia orgánica imparta a estos suelos una menor estabilidad de sus condiciones físicas y una mayor susceptibilidad a la erosión y al deterioro por efecto del laboreo. Por otra parte, Luna Calhoun (68) señalan que frecuentemente en este grupo de suelos se presentan horizontes endurecidos que impiden el movimiento del agua y generan condiciones de drenaje indeseables; sería el caso conocido de algunos suelos de Botana y Jongovito.

TABLA VII
ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

Localidad	Suelo	Cobertura	% Humed.	% Arenas	% Limos	% Arcilla	Textura
Aranda	1	Cultivo	4,44	37,64	34,67	27,69	Fco. Arcill.
"	2	"	5,93	39,64	28,67	31,69	" "
"	3	"	5,59	39,64	32,67	27,69	" "
"	4	"	5,97	38,64	31,67	29,69	" "
"	5	Pradera	6,75	54,31	22,00	23,69	Fco. Arc. Are.
"	6	"	5,15	35,64	32,67	31,69	Fco. Arcill.
Jongovito	1	Cultivo	5,74	35,64	32,67	31,69	" "
"	2	"	5,13	35,64	36,00	28,36	" "
"	3	"	5,32	37,23	31,63	31,14	" "
"	4	"	5,32	39,64	32,00	28,36	" "
"	5	Pradera	4,82	33,98	34,63	31,39	" "
"	6	"	6,58	32,86	36,00	31,14	" "
El Carmen	1	Cultivo	5,88	40,86	48,37	10,77	Franco
"	2	"	13,29	38,86	48,00	13,14	" "
"	3	"	11,38	37,23	52,41	10,36	Fco. Limoso
"	4	"	13,37	32,31	56,30	11,39	" "
"	5	Pradera	12,45	40,86	46,00	13,12	Franco
"	6	"	14,03	40,31	48,00	11,69	" "
Botana	1	Cultivo	12,99	32,31	40,00	27,69	Fco. Arcill.
"	2	"	7,39	36,31	34,00	29,69	" "
"	3	"	5,84	36,31	43,67	20,02	Franco
"	4	Pradera	5,14	30,31	38,00	31,69	Fco. Arcill.
"	5	"	6,25	31,98	40,33	27,69	" "
"	6	"	6,08	36,31	40,00	23,69	Franco
Catambuco	1	Cultivo	6,04	35,98	36,00	28,02	Fco. Arcill.
"	2	"	9,00	35,64	40,00	24,36	Franco
"	3	"	7,72	35,64	40,00	24,36	" "
"	4	"	5,21	41,64	36,00	22,36	" "
"	5	Pradera	4,87	37,64	44,00	18,36	" "
"	6	"	11,81	39,64	38,00	22,36	" "
"			5,79				

TABLA VII
ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS
(Continuación)

Localidad	Suelo	Cobertura	% Humed.	% Arenas	% Limos	% Arcilla	Textura
Daza	1	Cultivo	6,25	32,31	36,30	31,39	Fco. Arcill.
"	2	"	12,38	52,31	37,67	10,02	Fco. Arenoso
"	3	"	13,86	44,31	38,00	17,69	Franco
"	4	"	6,87	42,31	33,67	24,02	"
"	5	Pradera	15,00	48,31	36,30	15,39	"
"	6	"	14,39	52,31	38,30	9,39	Fco. Arenoso
Obonuco	1	Cultivo	4,93	37,64	35,59	26,77	Fco. Arcill.
"	2	"	6,03	35,64	37,59	26,77	" "
"	3	"	5,23	43,64	34,00	22,36	Franco
"	4	Pradera	6,06	37,64	43,59	18,77	"
"	5	"	5,89	43,98	40,33	15,69	"
"	6	"	6,17	43,98	38,63	17,39	"
La Laguna	1	Cultivo	9,77	34,31	42,30	23,39	"
"	2	"	7,22	44,31	34,00	21,69	"
"	3	"	9,88	32,31	42,57	25,12	"
"	4	"	8,33	36,61	39,70	23,69	"
"	5	Pradera	9,80	33,98	38,00	28,02	"
"	6	"	8,83	40,31	42,30	17,39	Fco. Arcill.
Gujacal	1	Cultivo	7,35	44,31	36,00	19,69	Franco
"	2	"	7,92	45,64	40,00	14,36	"
"	3	"	7,07	35,64	38,34	26,02	"
"	4	"	5,42	39,64	40,34	20,02	"
"	5	Pradera	8,92	41,64	40,34	18,02	"
"	6	"	6,96	37,23	30,75	32,20	"
Jenoy	1	Cultivo	5,01	38,31	39,57	22,12	"
"	2	"	4,73	38,31	40,30	21,39	"
"	3	"	4,76	35,64	40,67	23,69	"
"	4	"	6,19	37,64	38,67	23,69	"
"	5	Pradera	6,08	39,64	42,34	18,02	"
"	6	"	5,48	38,31	34,57	27,12	"

TABLA VIII

ALGUNAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

Locali- dad	Cober- tura	pH Agua	pH NaF	% C Organ.	C I C me/100g	Bases camb.me/100g		K	Al me/100g	% de Saturación Bases+	Relación Ca/Mg	
						Ca	Mg				Ca	Al
1	Cult.	6,80	9,00	1,63	21,42	11,81	1,33	1,78	0,22	69,65	55,13	1,03
2	"	6,00	9,60	2,29	24,15	8,51	1,74	2,43	1,51	52,50	35,24	6,24
3	"	5,30	8,70	2,66	20,35	10,31	1,01	1,01	1,64	60,58	50,66	8,04
4	"	5,40	8,90	2,29	23,00	6,19	1,25	1,28	1,81	37,91	26,91	7,87
5	Prad.	5,10	8,80	6,02	21,65	5,21	1,76	0,57	2,34	34,82	24,06	10,81
6	"	5,70	8,70	2,40	20,80	6,13	1,61	1,30	1,04	43,46	29,47	5,01
ARANDA												
1	Cult.	6,40	8,70	1,90	27,20	8,94	2,73	2,51	0,41	52,13	36,18	1,78
2	"	7,00	8,60	1,26	25,10	10,51	3,70	2,74	0,14	67,52	41,87	0,56
3	"	6,80	8,60	1,63	28,00	12,77	3,36	1,58	0,14	63,25	45,61	0,50
4	"	7,30	8,30	2,15	29,60	10,22	3,95	2,42	0,11	56,09	34,53	0,38
5	Prad.	6,20	8,80	2,94	29,20	9,54	3,44	1,23	0,79	48,66	32,67	2,71
6	"	6,20	8,30	3,18	21,10	9,71	4,48	3,08	0,21	81,84	31,22	0,68
JONGOVITO												
1	Cult.	5,30	11,50	9,38	42,94	8,06	1,54	0,72	11,31	29,03	18,77	26,33
2	"	5,40	11,00	8,29	49,95	9,90	2,11	1,07	7,01	26,18	19,82	14,03
3	"	5,40	11,50	8,50	45,20	6,14	1,57	1,38	11,79	20,11	13,58	26,09
4	"	5,40	11,50	9,45	46,70	10,17	0,77	0,34	11,85	24,15	21,78	25,38
5	Prad.	5,30	11,50	11,62	53,46	5,36	0,70	0,60	3,34	12,45	10,03	6,24
6	"	5,60	11,60	8,80	49,61	4,36	0,55	0,76	2,39	11,42	8,79	4,81
CARMEN												
1	Cult.	5,30	11,50	9,38	42,94	8,06	1,54	0,72	11,31	29,03	18,77	26,33
2	"	5,40	11,00	8,29	49,95	9,90	2,11	1,07	7,01	26,18	19,82	14,03
3	"	5,40	11,50	8,50	45,20	6,14	1,57	1,38	11,79	20,11	13,58	26,09
4	"	5,40	11,50	9,45	46,70	10,17	0,77	0,34	11,85	24,15	21,78	25,38
5	Prad.	5,30	11,50	11,62	53,46	5,36	0,70	0,60	3,34	12,45	10,03	6,24
6	"	5,60	11,60	8,80	49,61	4,36	0,55	0,76	2,39	11,42	8,79	4,81

+ = Bases: Ca, Mg, K.

TABLA VIII

ALGUNAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

(Continuación)

Locali- dad	Cober- tura	pH Agua	pH NaF	% C Organ.	C me/100g	I me/100g	O me/100g	Bases camb.me/100g		Al Camb, me/100g	% de Saturación		Relación
								Ca	Mg		Bases+	Ca	Al
1	Cult.	5,70	8,80	1,93	24,18	8,33	3,05	2,03	1,19	55,45	34,45	4,94	2,73
2	"	6,10	8,40	1,27	17,49	9,11	3,32	1,48	0,52	79,53	52,09	2,99	2,74
3	"	5,60	8,40	3,40	22,99	8,69	3,18	2,11	0,96	60,80	37,80	4,18	2,73
4	Prad.	5,80	8,60	2,04	21,73	8,77	2,88	0,95	0,63	57,98	40,36	2,93	3,04
5	"	5,90	8,60	2,54	23,32	7,05	3,38	0,71	1,13	47,77	30,23	4,83	2,09
6	"	5,70	9,00	3,18	24,38	7,91	2,29	0,76	1,77	44,95	32,44	7,25	3,45
1	Cult.	5,80	10,90	6,87	45,12	16,27	2,75	2,86	4,91	48,49	36,06	10,89	5,91
2	"	6,10	9,80	2,46	29,59	14,72	2,70	2,61	1,19	67,69	49,75	4,03	5,45
3	"	6,30	9,00	2,40	24,99	15,67	2,27	1,50	0,52	77,79	62,71	2,07	6,90
4	"	6,30	8,90	2,14	23,10	12,77	2,59	1,50	0,48	72,98	55,28	2,10	4,93
5	Prad.	5,70	11,10	9,40	46,62	14,77	2,59	0,84	8,49	39,03	31,68	18,21	5,70
6	"	5,90	8,50	2,41	24,06	10,32	2,72	1,29	1,05	59,55	42,89	4,37	3,79
1	Cult.	5,10	8,70	2,68	34,55	7,48	1,39	1,64	2,36	30,41	21,65	6,84	5,38
2	"	5,80	11,80	8,36	47,93	6,09	0,95	0,52	11,36	15,77	12,71	23,69	6,41
3	"	5,90	10,30	4,78	37,29	11,46	2,33	1,82	4,25	41,86	30,73	11,40	4,92
4	"	5,40	8,90	2,56	22,25	4,17	1,05	1,02	1,83	28,04	18,74	8,23	3,97
5	Prad.	5,80	11,70	9,25	55,20	8,58	1,09	0,69	12,38	18,76	15,14	22,42	7,87
6	"	6,00	11,70	9,88	53,35	8,04	1,45	0,56	11,96	18,83	15,07	22,43	5,54

+ = Bases: Ca, Mg, K.

TABLA VIII

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS
(Continuación)

Locali- dad	Cober- tura	pH Agua	pH NaF	% C Organ.	C me/100g	I me/100g	C me/100g	Bases Ca Mg	me/100g	Al me/100g	% Saturación Base+ Ca	Relación Al Ca/Mg
1	Cult.	6,00	8,70	1,76	21,52	12,04	1,59	1,18	0,38	68,81	55,95	1,75 7,57
2	"	6,20	8,70	1,91	22,57	11,61	2,84	1,61	0,26	71,15	51,94	1,15 4,09
3	"	5,90	9,10	1,51	19,32	9,54	2,00	1,36	0,67	66,77	49,38	3,48 4,77
4	Prad.	6,10	8,40	3,05	28,09	11,18	2,62	0,91	0,74	52,36	39,80	2,65 4,27
5	"	6,00	8,80	2,67	26,50	9,90	2,64	0,86	0,94	50,56	37,36	3,54 3,75
6	"	6,00	8,50	4,20	23,60	10,85	4,40	1,72	0,24	71,90	45,97	1,04 2,47
1	Cult.	6,20	10,60	3,16	32,12	10,71	2,29	2,58	2,64	48,50	33,34	8,22 4,68
2	"	5,90	9,90	2,06	28,89	12,15	3,12	0,58	2,17	54,86	42,06	7,53 3,89
3	"	5,20	10,30	2,77	32,34	7,32	1,75	1,89	3,45	33,88	22,63	10,68 4,18
4	"	5,40	10,20	3,38	31,32	6,59	1,65	1,20	2,85	30,14	20,98	9,11 3,99
5	Prad.	5,70	9,20	4,57	32,04	5,57	2,38	1,29	0,97	28,83	17,38	3,04 2,34
6	"	5,30	9,20	3,42	25,85	8,21	1,77	0,56	3,63	40,77	31,76	14,03 4,64
1	Cult.	6,00	11,10	4,53	32,29	6,59	1,98	1,46	4,68	31,06	20,38	14,50 3,33
2	"	5,80	9,90	4,62	33,17	8,33	1,55	1,54	6,96	34,42	25,11	20,99 5,37
3	"	5,70	9,10	2,40	21,94	6,40	1,93	2,29	3,83	48,40	29,17	17,48 3,32
4	"	5,50	10,70	3,61	29,63	9,20	1,55	0,85	1,26	39,14	31,05	4,25 5,94
5	Prad.	5,40	10,70	6,27	39,56	3,11	2,25	1,99	9,06	18,57	7,86	22,91 1,38
6	"	5,90	9,30	3,34	24,93	7,98	2,07	1,62	1,63	46,81	32,00	6,53 3,85

+ = Bases: Ca, Mg, K.

TABLA VIII

ALGUNAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

(Continuación)

Locali- dad	Cober- tura	pH Agua	pH NaF	% C Organ	C I U me/100g	Bases Camb.me/100g		K	Al camb. me/100g	% de Saturación		Relación Ca/Mg	
						Ca	Mg			Bases+	Ca		Al
1	Cult.	5,80	9,00	3,02	23,62	8,69	1,56	1,15	0,81	48,26	36,79	3,44	5,57
2	"	6,10	8,80	2,64	18,16	7,41	2,06	1,57	0,42	60,79	40,80	2,34	3,60
3	"	5,90	8,80	2,76	21,42	9,81	1,51	1,40	0,33	59,38	45,80	1,55	6,50
4	"	6,10	8,70	5,35	21,20	9,63	1,84	1,60	0,34	61,65	45,42	1,62	5,23
5	Prade	5,80	9,00	3,31	22,26	7,05	2,87	0,99	0,34	49,01	31,67	1,55	2,46
6	"	5,70	8,80	3,29	22,57	6,40	2,18	0,86	0,88	41,82	28,36	3,91	2,94

+ = Bases: Ca, Mg, K.

TABLA IX

VALORES PROMEDIOS, LÍMITES DE CONFIANZA PARA LA MEDIA DE LA POBLACION
Y NIVELES TENTATIVOS DE DISCRIMINACION PARA DOS SUBORDENES DE SUELOS
DEL ALTIPLANO DE PASTO

	T R O P E E P T			A N D E P T		
	$\bar{X}$	Límites de con- fianza 95%	Nivel tenta- tivo Discr.	$\bar{X}$	Límites de confianza 95%	Nivel tenta- tivo Discr.
% de Arcillas	26,22	24,90 - 27,53	23	17,70	14,68 - 20,72	23
pH Agua	5,96	5,80 - 6,11	5,8	5,64	5,51 - 5,76	5,8
pH NaF	8,83	8,71 - 8,94	9,5	10,85	10,50 - 11,20	9,5
% C-Organico	2,69	2,36 - 3,01	4,0	6,60	5,29 - 7,91	4,0
C I C	24,14	22,93 - 25,34	30	40,51	36,02 - 45,00	30
% Saturacion de Bases	55,84	31,24 - 60,34	30	30,33	24,73 - 35,93	50
% Saturacion de Calcio	39,03	35,93 - 42,53	33	21,76	17,81 - 25,71	33
Aluminio Camb. me/100 g	0,97	0,72 - 1,21	2,8	6,54	4,75 - 8,33	2,8

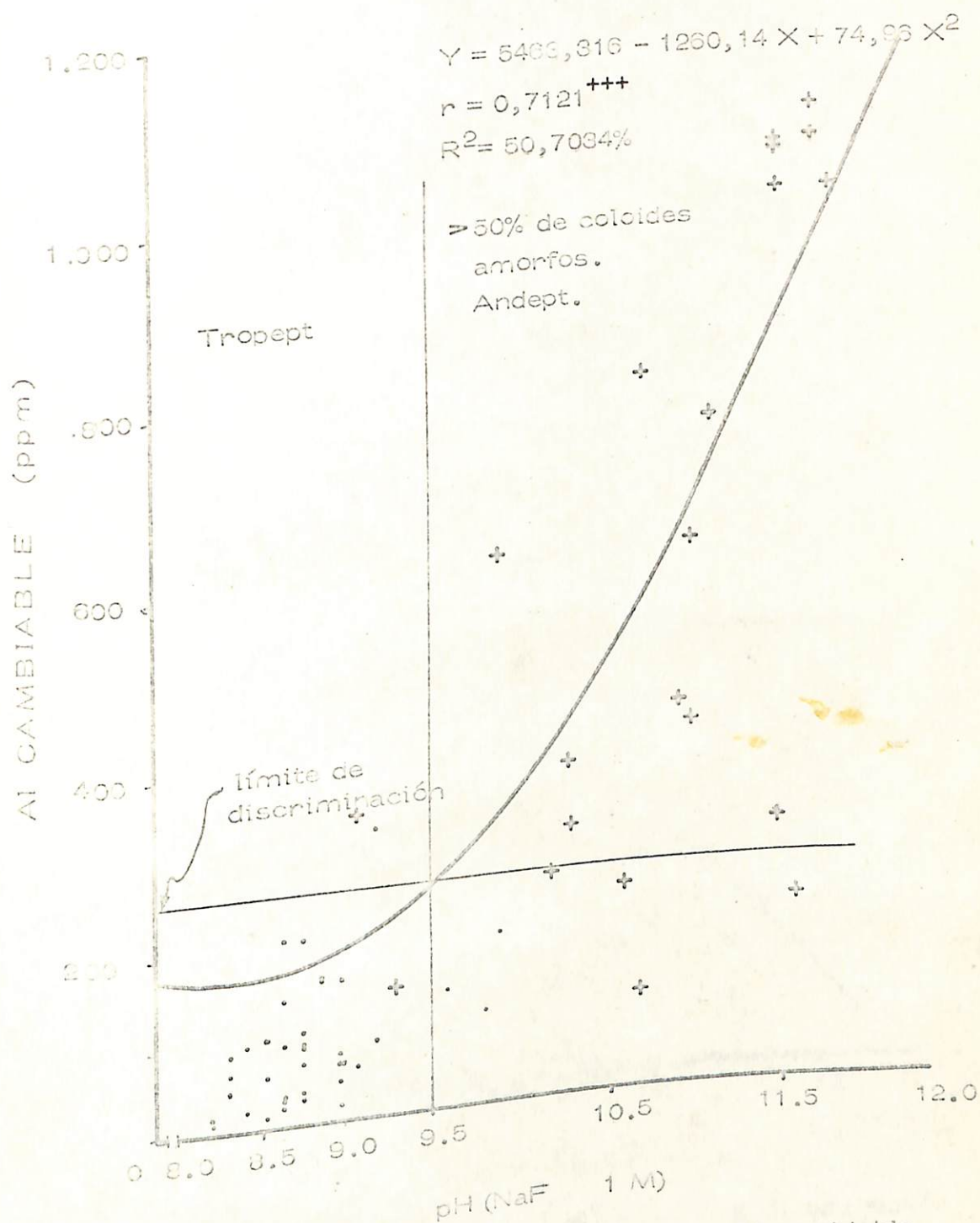


FIGURA 2. Relación entre pH (NaF 1 M) y Al cambiable en suelos Tropept (.) y Andept (+) del Altiplano de Pasto.

15744

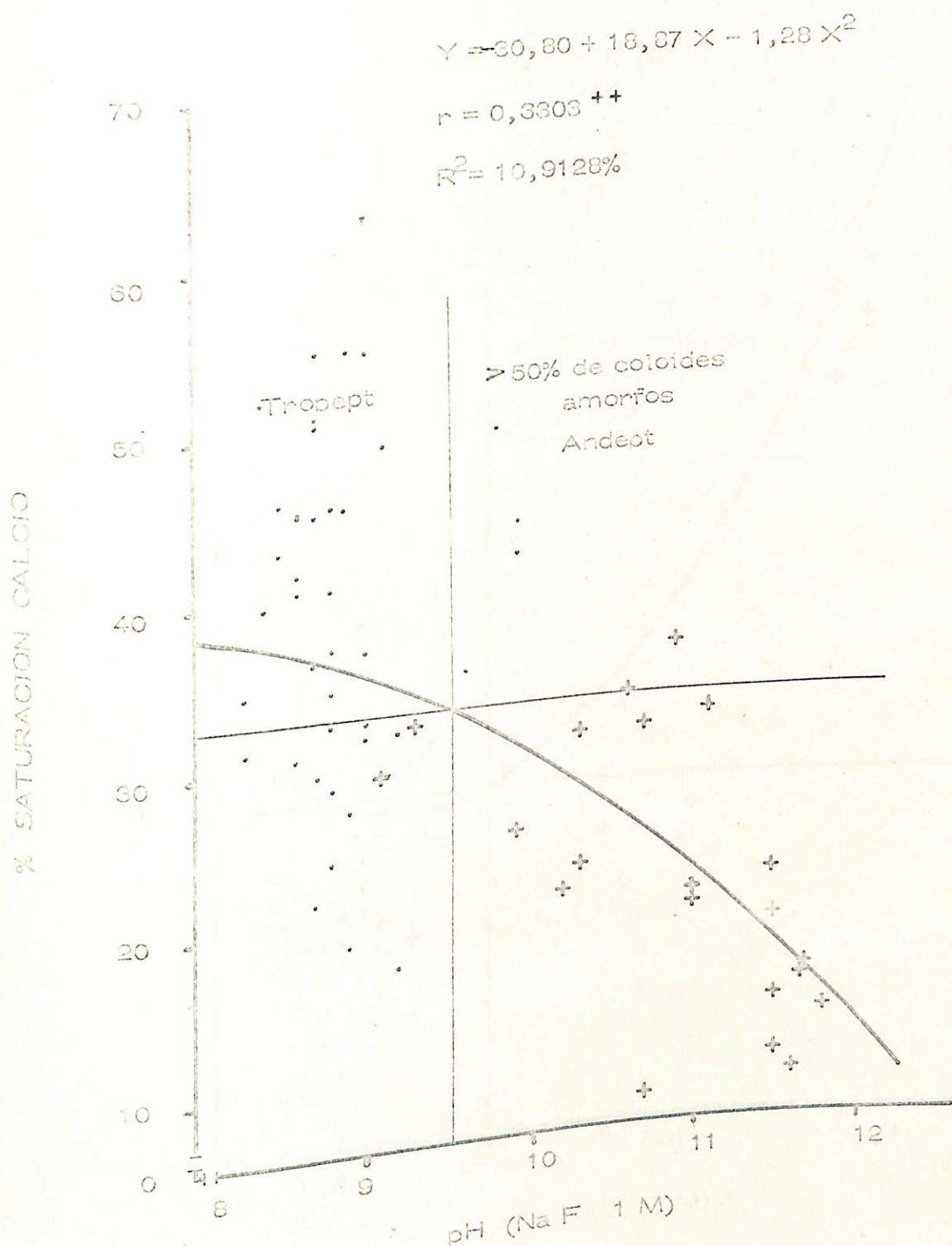


FIGURA 3. Relación entre pH (Na F 1 M) y % de saturación de Ca en suelos Tropept (.) y Andept (+) del Altiplano de Pasto.

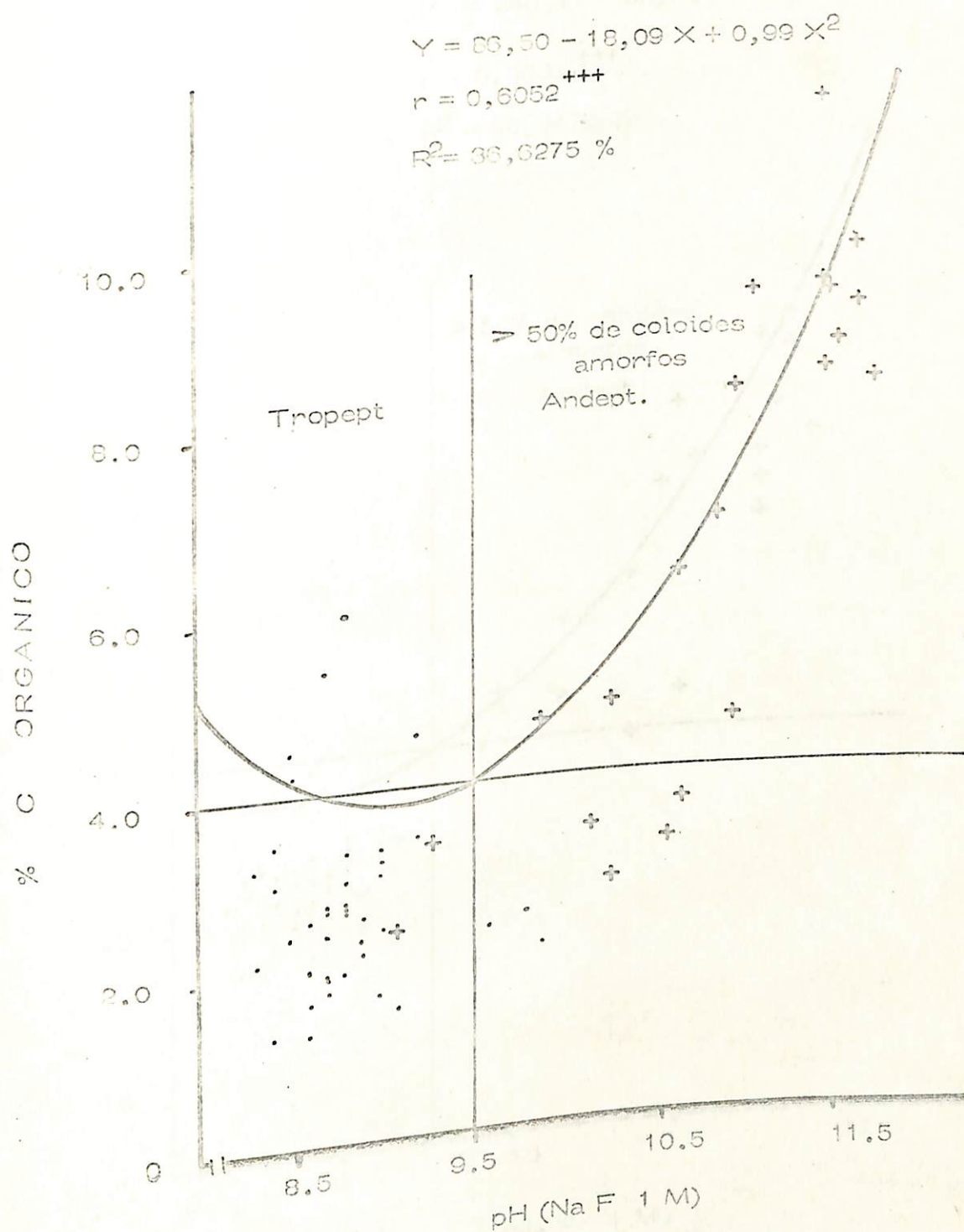


FIGURA 4. Relación entre pH (Na F 1 M) y % C orgánico en suelos Tropept (.) y Andept (+) del Altiplano de Pasto.

$$Y = 243,17 - 50,30 X + 2,93 X^2$$

$$r = 0,8303^{+++}$$

$$R^2 = 68,9476 \%$$

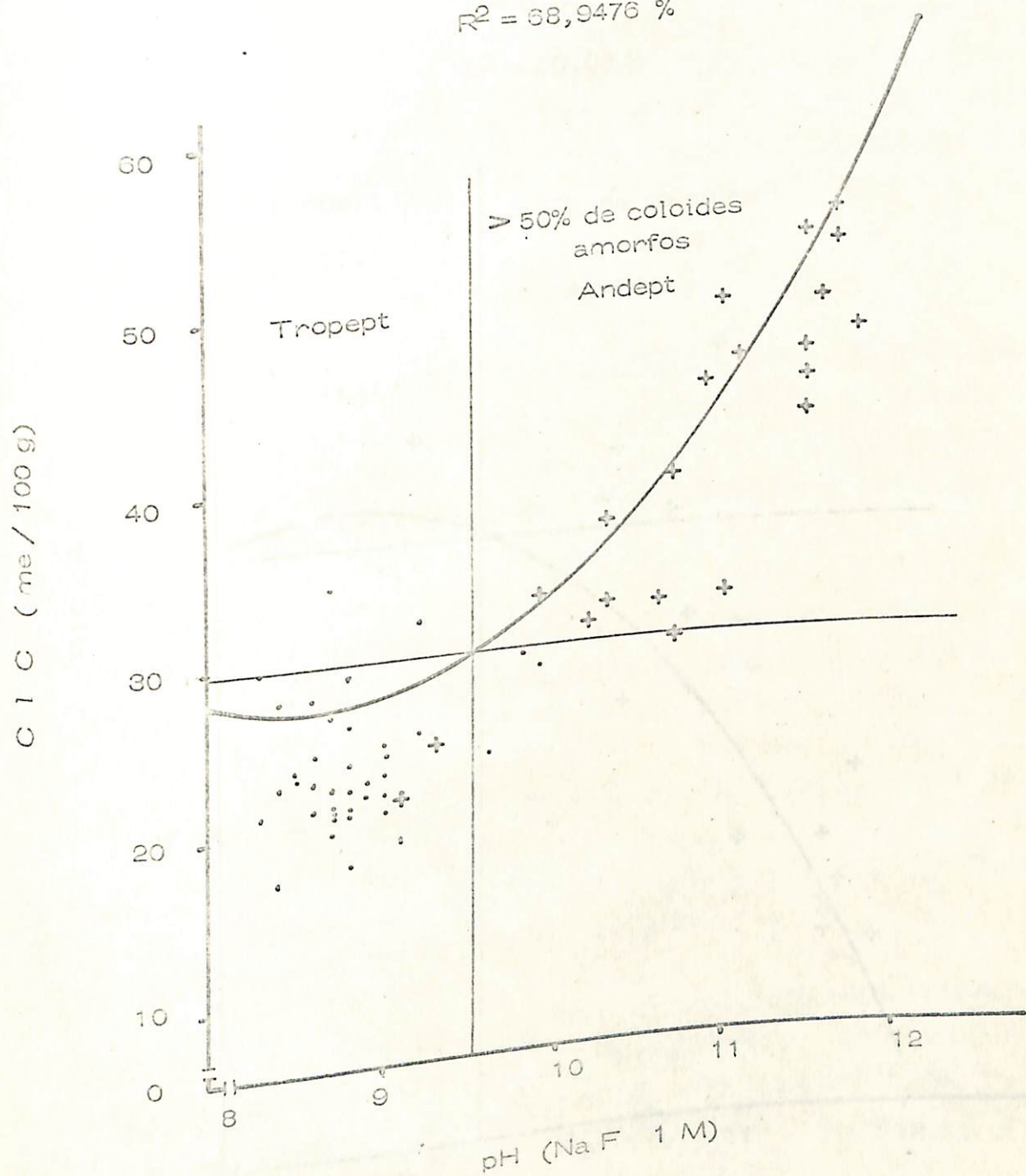


FIGURA 5. Relación entre pH (Na F 1 M) y C1C en suelos Tropept (.) y Andept (+) del Altiplano de Pasto.

$$Y = -103,21 + 29,07X - 16,6 X^2$$

$$r = 0.548^{+++}$$

$$R^2 = 30.03 \%$$

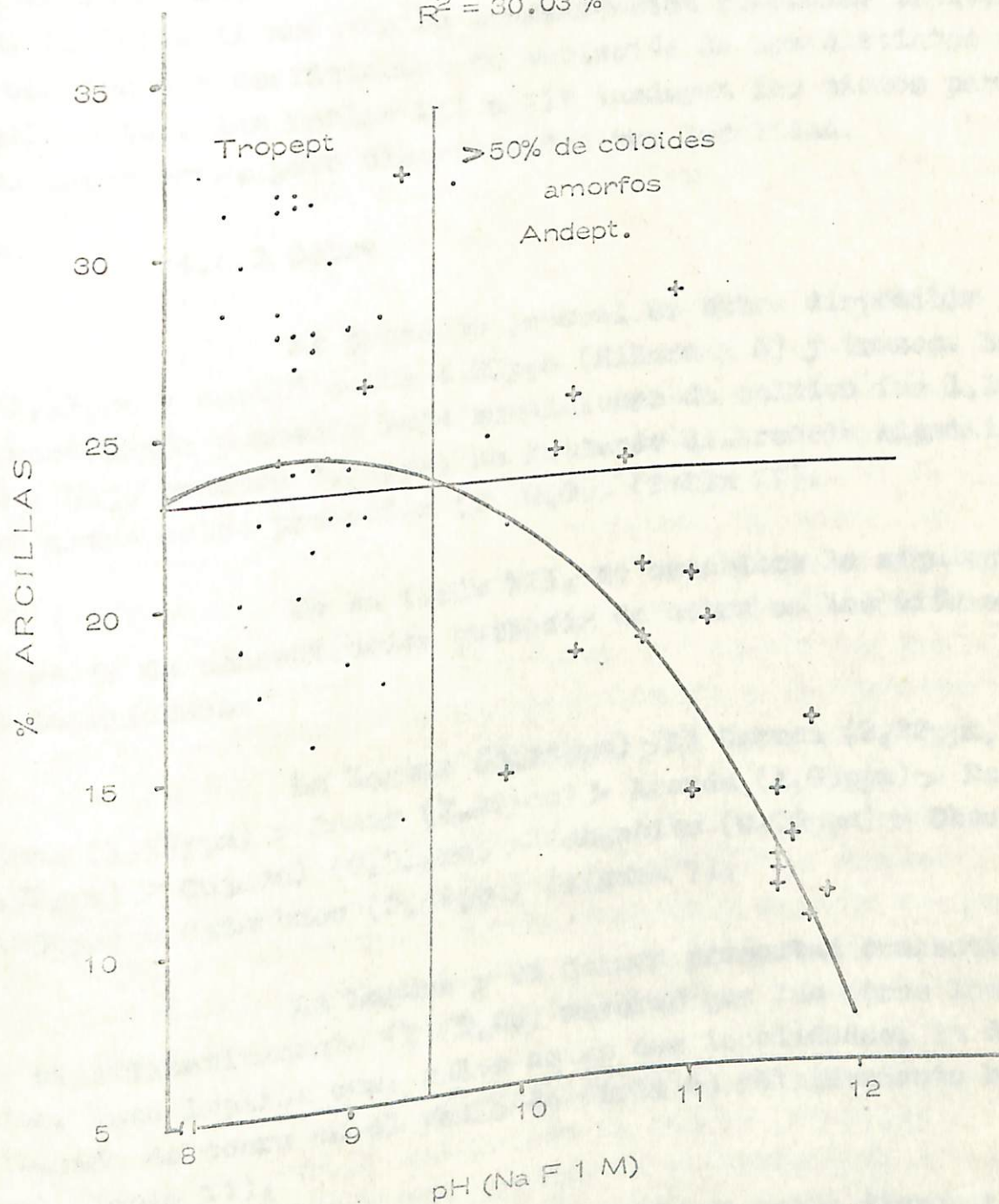


FIGURA 6. Relación entre pH (Na F 1M) y % de arcilla en suelos Tropept (.) y Andept (+) del Altiplano de Pasto.

4.4 Concentraciones y Distribución de los microelementos disponibles

En la Tabla X se presentan los resultados para el contenido de microelementos disponibles en los suelos estudiados. La Tabla XI muestra la concentración promedio, límites de confianza y coeficientes de variación de los distintos microelementos, las Tablas XII a XIV incluyen los mismos parámetros anteriores, pero discriminados por localidad.

4.4.1 Cobre

El promedio general de cobre disponible fue de 1,31ppm y osciló entre 4,21ppm (El Carmen 6) y trazas. La concentración promedio bajo condiciones de cultivo fue 1,19 ppm y bajo pradera 1,52ppm, no habiendo diferencia significativa entre estos promedios ($P = 0,05$) (Tabla XV).

De la Tabla XII, se establece la siguiente secuencia de concentración promedio de cobre en las diferentes localidades:

La Laguna (3,15ppm) > El Carmen (2,22ppm) > Botana (1,57ppm) > Jenoy (1,22ppm) > Arenda (1,05ppm) > Daza (0,92ppm) > Cujacal (0,91ppm) > Jongobito (0,76ppm) > Obonuco (0,65ppm) > Catambuco (0,62ppm) (Figura 7).

La Laguna y El Carmen presentan concentraciones significativamente ($P < 0,05$) mayores que las otras localidades. Esto implica que, salvo estas dos localidades, la distribución de cobre en el Valle de Atriz es relativamente homogénea (Tabla XV).

La mayor concentración de cobre disponible en los suelos de La Laguna y El Carmen, los cuales demuestran

características de típicos Dystrandepts (68), se debe probablemente a la mayor acidez reinante en esos suelos, lo cual seguramente resulta en una predominancia del ión cuproso (47, 97).

La distribución promedia de cobre disponible en suelos de diferentes regiones sigue, en términos generales la siguiente distribución (Tabla I).

Llanura del Pacífico (5,54ppm) > Bajo Putumayo (3,52ppm) > Altiplano de Pasto (1,31ppm) > Sabana de Tiquerres (0,54ppm).

Es evidente que, en promedio, la concentración de cobre disponible tiende a ser mayor en los suelos de los trópicos húmedos que en los de los suelos volcánicos. Esta situación está asociada, posiblemente, con un predominio de condiciones reductoras y una mayor acidez de los suelos del trópico húmedo del Putumayo y el Pacífico. Así mismo, el promedio general registrado para los suelos estudiados es inferior al determinado en suelos volcánicos de Nicaragua. No obstante, la concentración registrada en los suelos del Valle de Atriz solo fue significativamente diferente a la encontrada en la Llanura del Pacífico y Sabana de Tiquerres (Tabla XX).

En las Tablas XXI y XXIII se presentan los coeficientes de correlación lineal y cuadrática, respectivamente, entre los diferentes microelementos y algunas características edáficas y en las Tablas XXII y XXIV se incluyen los correspondientes coeficientes de asociación.

El cobre disponible relaciona inversamente y en forma lineal con la saturación de calcio ($R^2=7,38\%$), lo que implica que a medida que aumenta la participación de calcio en la cobertura coloidal tiende a disminuir el cobre disponible. Esta relación se explica probablemente en el hecho

de que conforme aumenta la saturación de calcio aumenta linealmente el pH ($R^2=27\%$), disminuyendo, por tanto, el cobre disponible (47, 97). Se registra también una relación lineal directa ($R^2=7\%$) entre limo y cobre, lo cual sugeriría que una proporción de la forma disponible de este elemento proviene de esa fracción, o bien que al aumentar el limo disminuye el pH ($R^2=9\%$) y, consecuentemente, aumenta el cobre.

Las correlaciones encontradas son lógicas, ya que de una u otra forma interrelacionan con la reacción del suelo. Sin embargo, al no registrarse la correlación negativa con C-orgánico, como era de esperarse (47, 92, 97), la validez del método de extracción en suelos volcánicos es dudosa, conforme lo plantea Soto (92). De otra parte, el hecho de que no haya correlación con el pH en NaF, indica que la metodología utilizada no discrimina la extracción de cobre disponible entre los dos subordenes de suelos dominantes en la región.

Tomando en cuenta el nivel crítico de 0,2 ppm propuesto por Cox y Kamprath (28) para extracciones con AcNH_4 LN pH 4,8 se concluye que once de los sesenta suelos de la muestra (18%) podrían presentar deficiencia de cobre, sobre todo para el caso de trigo y cebada. Estos suelos deficientes se encuentran en las localidades de Aranda 3, 4, 6; Jongovito 1, 4; Catambuco 3, 4; Daza 3; Obonuco 1, 3; Cujacal 3. De los once suelos deficientes nueve son Tropept lo que significa mayores probabilidades de deficiencia de cobre en este suborden que en el Andept. La razón de lo anterior podría estar en el hecho de que los suelos Tropept tienen niveles de pH relativamente mayores que los Andept.

Además, al hacer la inferencia estadística hacia el promedio de las diferentes poblaciones (localidades) (Tabla XII) se encuentra que existe un alto porcentaje de pro

babilidades (95%) de encontrar suelos deficientes en cobre en las localidades de Catambuco, Jongovito y Aranda, en donde los límites de confianza inferiores para la media de la población son negativos. Es importante insistir en que los suelos de las tres localidades antes dichas son típicamente Tropept

Si se toma en cuenta los bajos niveles de Cu total encontrado por Barros y Blasco (11) en Catambuco (1,2 ppm) y Jongovito (0,7 ppm), se puede concluir que las probables deficiencias de Cu en esos suelos estarían asociadas, al menos en parte, a una concentración baja de reservas.

4.4.2 Hierro

La concentración mínima de hierro disponible se registró en Jongovito 4 (8,40 ppm) y la mayor en la Laguna 6 (275,55 ppm). El promedio general fue de 101,07 ppm. En promedio, bajo condiciones de pradera se registró más del doble (165,02 ppm) (P 0,01) de hierro disponible que bajo cultivo (63,75 ppm), lo cual se puede interpretar en el sentido de que las gramíneas tienen una menor capacidad para extraer este elemento, o que en la rizosfera de los pastos se genera una mayor meteorización de los minerales ferromagnésicos en razón de un predominio de condiciones reductoras.

Por otra parte, es posible que las condiciones de cultivo generen una mayor movilidad del hierro hacia los horizontes inferiores, pues de acuerdo a Luna y Calhoun (68), la movilidad de éste elemento es alta en los suelos estudiados.

La secuencia de concentración promedio en las diferentes localidades fue la siguiente (Tabla XII):

El Carmen (193 ppm) > Botana (148 ppm) > La

Laguna (120ppm) > Aranda (110ppm) > Obonuco (100ppm) > Catambuco (94ppm) > Jongovito (75ppm) > Jenoy (62ppm) > Cujacal (55ppm) > Daza (49ppm) (Figura 8).

Sin embargo, las diferencias sólo fueron estadísticamente detectables para: El Carmen con Daza, Cujacal y Jenoy; Botana con Daza y Cujacal y Jongovito con Botana y el Carmen y para Jenoy con Botana (Tabla XVI).

No se observa, sin embargo, una tendencia definida en la concentración de hierro disponible entre los suelos Andept y Tropept, pues los dos grupos de suelos son ricos en minerales ferromagnéticos del tipo hornblenda (68). En estas circunstancias parece que la concentración de éste elemento está más relacionada con condiciones del suelo (cobertura) que con factores genéticos, aunque es posible que las reservas y las condiciones de oxidación-reducción jueguen un papel importante.

De la Tabla III se establece la siguiente distribución de hierro en varias regiones:

Llanura del Pacífico (1776ppm) > Bajo Putumayo (543ppm) > Sabana de Tóquerres (140ppm) > Altiplano de Pasto (100ppm) > Altiplano de Ipiales (39ppm).

Desde el punto de vista estadístico (Tabla XX) la concentración encontrada en Pasto fue inferior ($P < 0,01$) a la de la Llanura del Pacífico y Putumayo, superior ($P < 0,01$) a la de Ipiales y similar a la de Tóquerres. Es apenas lógico que la concentración de hierro disponible sea mayor en los suelos del trópico húmedo del Pacífico y Putumayo que en los suelos jóvenes de los Altiplanos.

Las relaciones significativas encontradas en

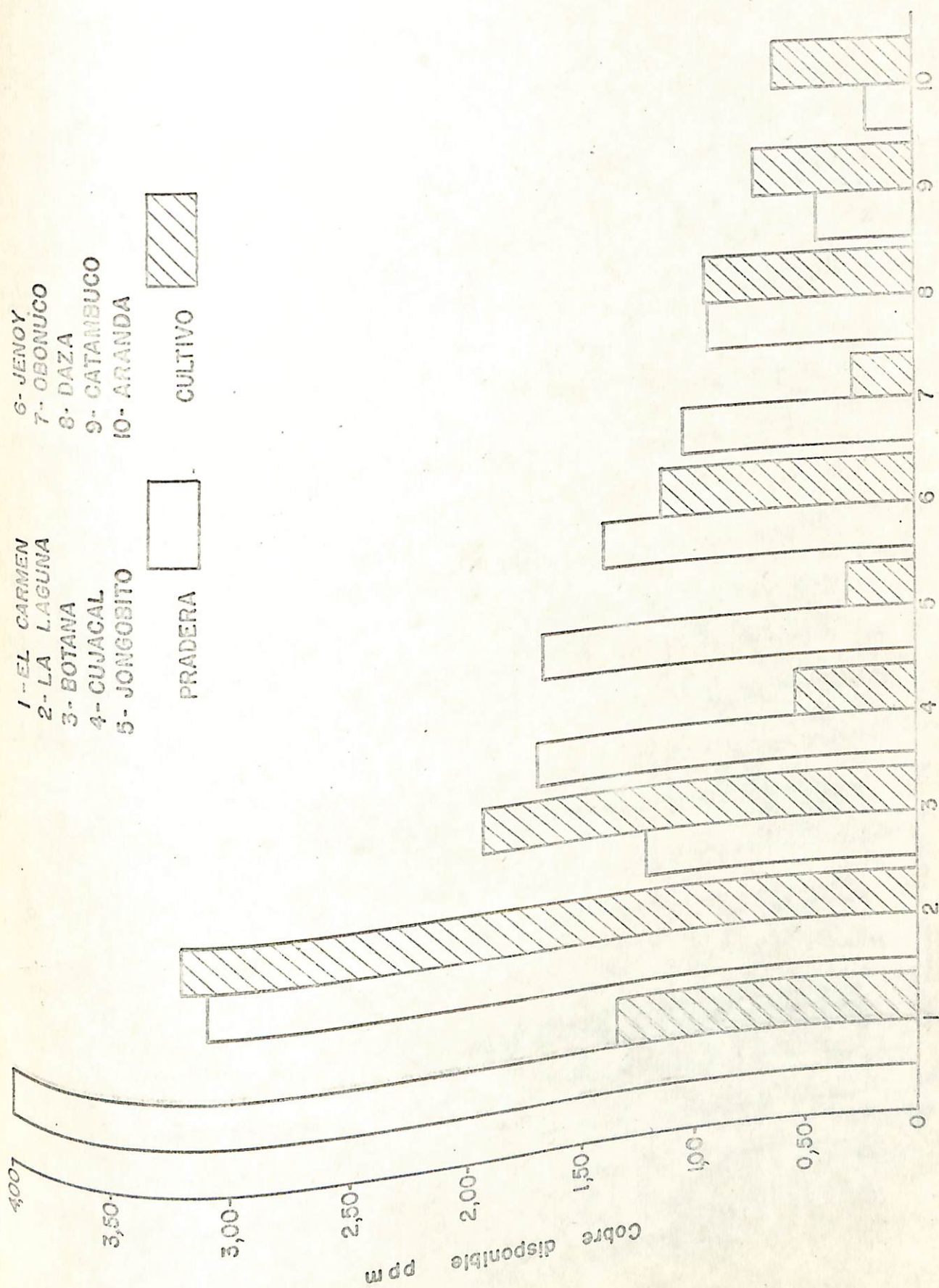


Fig. 7 Contenido promedio de Cobre disponible en los suelos estudiados

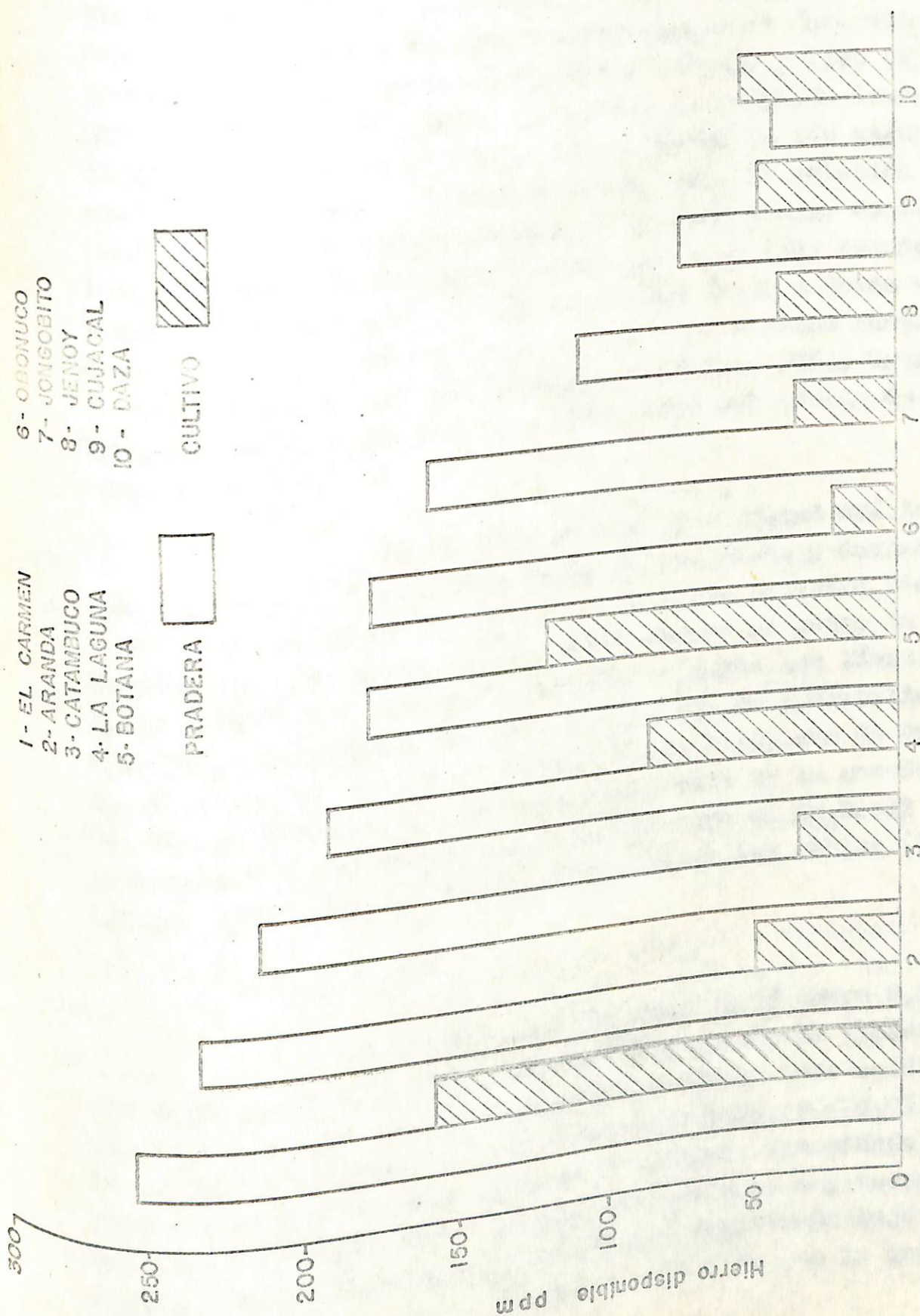


Fig. 3 Contenido promedio de Hierro disponible en los suelos estudiados

tre algunas variables del suelo y hierro disponible fueron todas de tipo lineal. La forma aprovechable de éste elemento relacionó directamente con C-orgánico ($R^2=12\%$) y limo ($R^2=7\%$) e inversamente con pH (agua) ($R^2=20\%$). La relación inversa con el pH se explica en razón de que el hierro es más soluble bajo condiciones ácidas y reductoras (86, 92). La relación con C-orgánico debería ser, contraria a lo encontrado, de tendencia inversa, tal como las registradas por Soto (92) cuando la extracción se hizo con oxalato de amonio ácido o ácido clorhídrico 0,1N, pues es conocido que el hierro forma complejos órgano-minerales con los compuestos húmicos (86). Esta circunstancia significaría una baja eficiencia del método de extracción utilizado.

Si se toma en cuenta el nivel crítico de 2 ppm para hierro disponible sugerido por Olson y Carlson (76) todos los suelos de la muestra estudiados estarían bien abastecidos de este elemento. Lo mismo ocurre al hacer la inferencia estadística hacia la población mediante los límites de confianza, pudiéndose afirmar con un 95% de probabilidades que no hay deficiencia de hierro en el Altiplano de Pasto. Esto, aún a sabiendas de la baja eficiencia de la metodología de extracción utilizada, pues se sabe que el NH_4OAc pH 4,8 extrae cantidades bajas en comparación a las reales (92).

4.4.3 Zinc

El contenido de zinc varió entre 2,04ppm (La Laguna 5) y 0,14ppm (Obonuco 5), siendo el promedio general de 0,62ppm. La concentración promedia bajo condiciones de pradera (0,76ppm) fue significativamente ($P < 0,05$) superior a la obtenida bajo cultivo (0,54ppm). Conociendo que la movilidad del zinc en el perfil del suelo es muy escasa, la explicación de la menor concentración registrada bajo cultivo podría estar en el hecho comprobado (66) de que la fertiliza-

ción fosfatada y el encalamiento, practicadas muy comunes en el Altiplano de Pasto, reducen acentuadamente la disponibilidad de zinc. Por otra parte, el ciclo del zinc planta-suelo es más favorable, desde el punto de vista de la conservación del elemento, bajo cobertura de pradera que bajo cultivo.

La secuencia de distribución promedia de Zn en las diferentes localidades del estudio se establece en la siguiente forma (Tabla XIV):

Aranda (0,88ppm) > La Laguna (0,80ppm) >
Botana (0,71ppm) > Jenoy (0,67ppm) > El Carmen (0,64ppm) >
Catambuco (0,61ppm) > Jongovito (0,49ppm) > Daza (0,47ppm) >
Obonuco (0,47ppm) > Cujacal (0,44ppm) (Figura 9).

Desde el punto de vista estadístico (Tabla XVII) sólo se presentaron diferencias entre Cujacal, El Carmen, Botana y Catambuco y entre Daza y Botana. Como en el caso del hierro, no se observa tendencia clara en cuanto a la distribución de concentración de este elemento en los grupos Andept y Troept, tal como era de esperarse.

Para suelos de diferentes regiones, la distribución de zinc disponible es como sigue (Tabla IV):

Bajo Putumayo (12,3ppm) > Altiplano de Ipi-
les (10,6ppm) > Sabana de Tíqueres (0,97ppm) > Valle del Pa-
tía (0,96ppm) > Llanura del Pacífico (0,75ppm) > Altiplano de
Pasto (0,62ppm).

Al plantear la comparación de promedios mediante la prueba estadística de "t" (Tabla XX) se encontró que las concentraciones promedias del Altiplano de Ipi-ales y el Bajo Putumayo son superiores ($P < 0,01$) a las del Altiplano de Pasto, lo cual está probablemente relacionado con la natu-

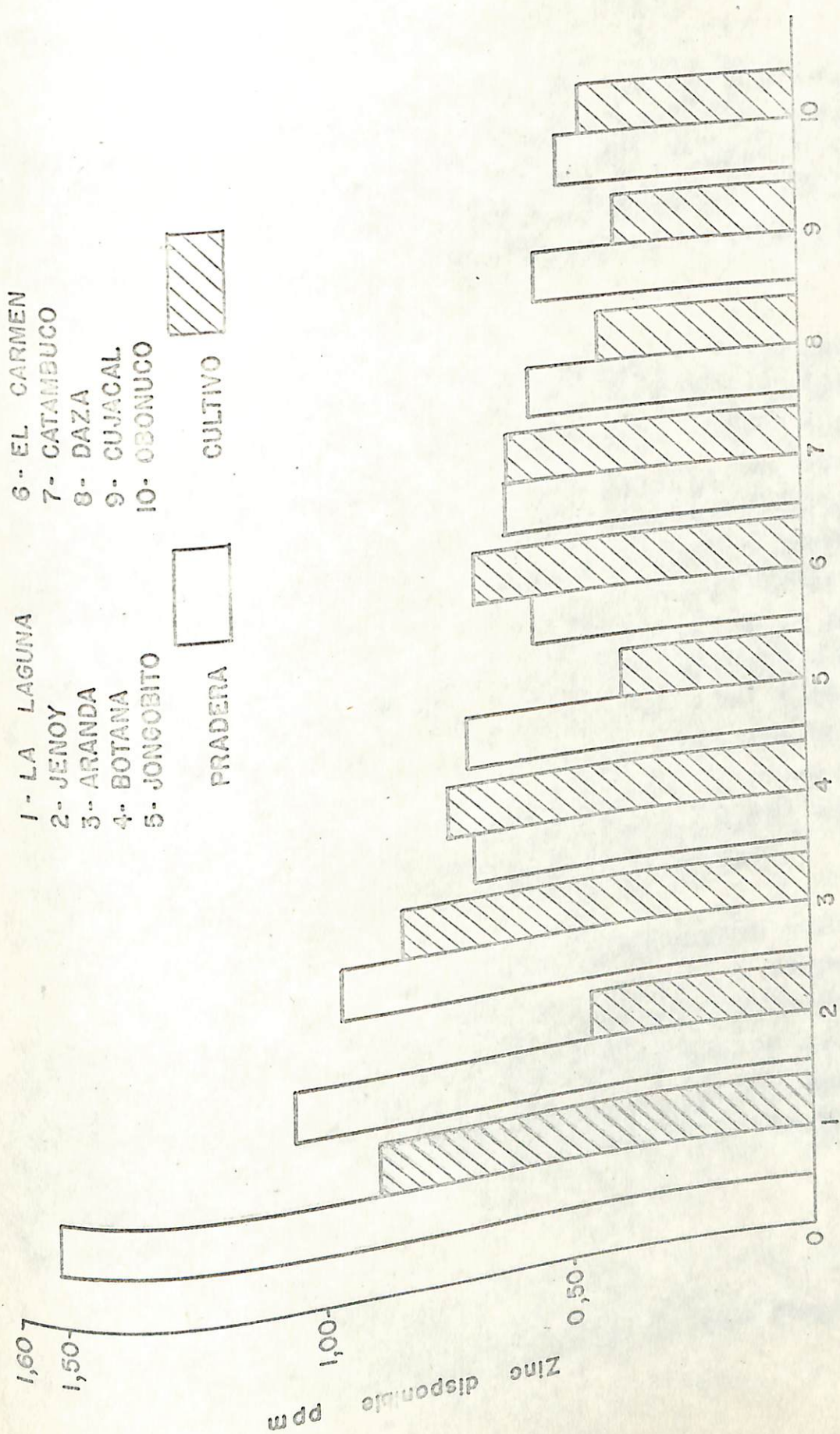


Fig. 9 Contenido promedio de Zinc disponible en los suelos estudiados

raleza mineralógica del material parental.

No se registraron correlaciones significativas entre el zinc disponible y las variables del suelo (Tablas XXI y XXIII), lo cual indica que la metodología no es eficiente para discriminar la extracción de acuerdo a las características del suelo. Esta conclusión también fue obtenida por Soto (92).

De acuerdo al criterio establecido por Viets y colaboradores (101), quienes concluyen que la deficiencia de zinc se presenta cuando la concentración es inferior a 0,4ppm (extracción con NH_4OAc IN pH 4,8), dieciseis de los sesenta suelos (26%) de la muestra podrían presentar deficiencia de este elemento, sobre todo para el caso de maíz y hortalizas (30). Se resalta el hecho de que de los suelos deficientes catorce están bajo cultivo, lo cual da base para reiterar la opinión de que las fuertes aplicaciones de fertilizantes fosfatados y el encalamiento, prácticas estas usuales en el Altiplano (26), pueden estar incidiendo en una precipitación del zinc como fosfato, carbono ó zincato de calcio (66, 102). No se descarta sin embargo que las probables deficiencias estén también asociadas a un bajo contenido de reservas totales.

Al efectuar la extrapolación estadística hacia los promedios de la población (Tabla XIV) se encuentra que existe un buen porcentaje de probabilidades de encontrar suelos deficientes de zinc para las poblaciones de suelos correspondientes a las localidades Daza, Cujacal, La Laguna, Obonuco, Jongovito, Aranda y Jenoy. Es decir siete de las diez localidades estudiadas.

4.4.4 Boro

El promedio general de boro disponible fue

de 1,49ppm, la menor concentración se registró en Daza 3(0,42 ppm) y la mayor en Botana 5(2,29ppm). La concentración promedio obtenida bajo pradera (1,75ppm) fue significativamente ($P < 0,01$) mayor que la obtenida bajo cultivo (1,34ppm). Esto podría estar asociado con una o varias de las siguientes causas

a) El ciclo de B suelo- planta es obviamente más favorable para la conservación del elemento bajo pradera

b) Siendo el ión susceptible de lixiviación intensa (63, 94), es probable que este fenómeno sea más acentuado bajo cobertura de cultivo

c) La adición de cal, práctica común en varios cultivos de la zona (26), puede incrementar la fijación de B por los coloides minerales y orgánicos (74,80)

Para las diferentes localidades del estudio, la secuencia de concentración promedio de B disponible fue (Tabla XIII).

El Carmen (1,95ppm) > Botana (1,60ppm) > Je-
noy (1,56ppm) > Obonuco (1,55ppm) > Cujacal (1,54ppm) > Aranda
(1,47ppm) > Jongovito (1,38ppm) > Catambuco (1,33ppm) > La La-
guna (1,27ppm) > Daza (1,25ppm) (Figura 10).

De las diferencias anteriores, solamente fueron significativas estadísticamente (Tabla XVIII) las registradas entre El Carmen y las demás localidades, excepto Obonuco y Botana. Este resultado sugiere que la concentración de boro disponible en el Altiplano de Pasto es bastante homogénea, tal como lo sugieren los promedios anteriores.

Para suelos de diferentes regiones, la secuencia de boro disponible extraído con agua caliente fue (Tabla VI)
Altiplano de Pasto (1,49ppm) > Valle del Pa-

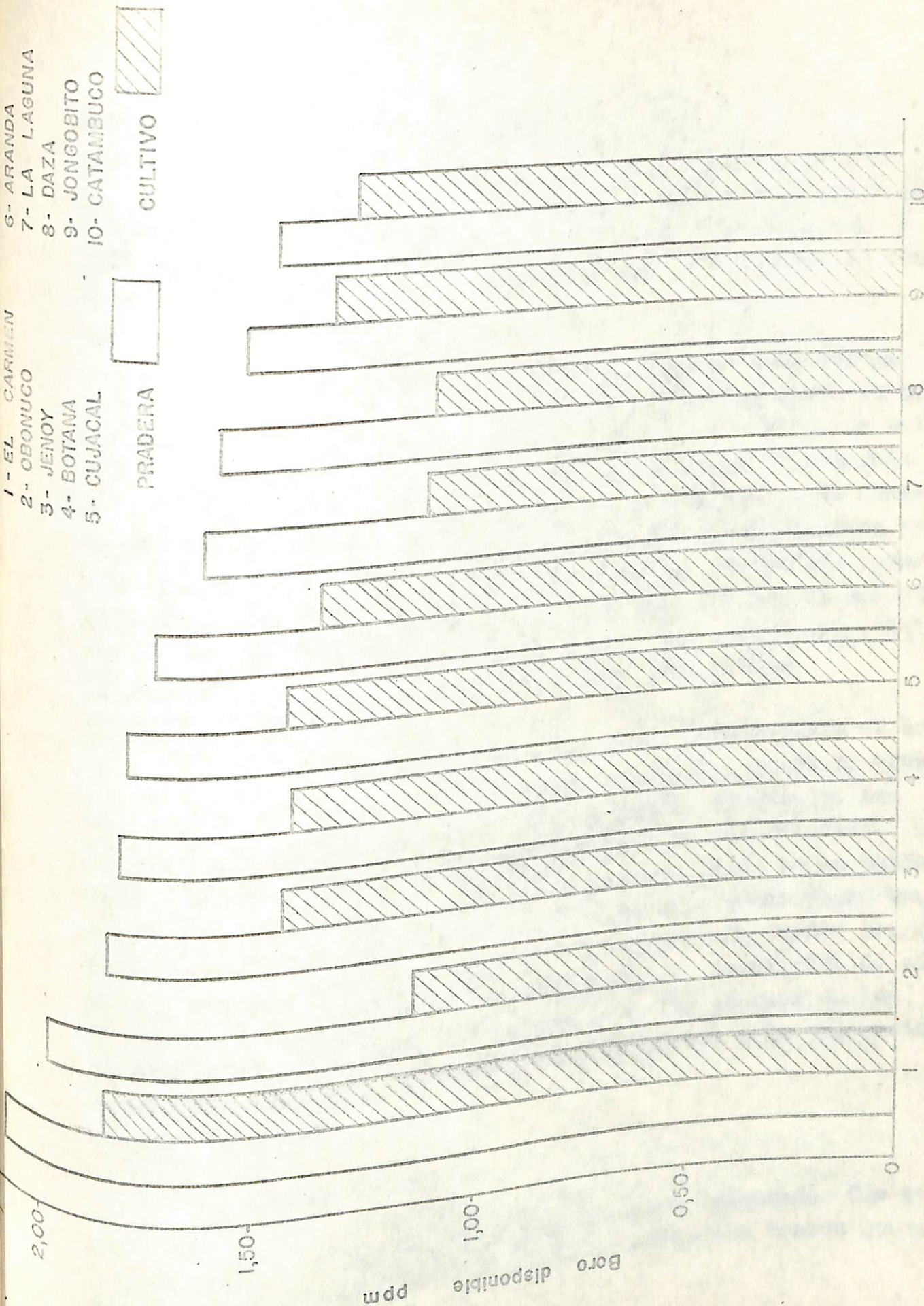


Fig. 10 Contenido promedio de Boro disponible en los suelos estudiados

tía (1,33ppm) > Sabana de Túquerres (0,78ppm).

La diferencia entre el Altiplano de Pasto y Túquerres fue significativa ($P < 0,01$) y podría explicarse por diferencias en la composición del material parental, por el tipo de coloide dominante o por una mayor lixiviación en los suelos de Túquerres.

El boro disponible relacionó directamente con C-orgánico ($R^2=17\%$) y limo ($R^2=8\%$) e inversamente con saturación de calcio ($R^2=16\%$) y relación Ca/Mg ($R^2=6\%$). La relación directa con C-orgánico podría indicar que la solución extractora solubiliza parte del boro acomplejado en la materia orgánica. La relación directa con limo podría indicar que esta fracción es rica en minerales de boro. La relación inversa con la saturación de calcio es probable que sea el reflejo de un incremento en la fijación de boro por acción del calcio, tal como lo sugieren Reisenauer (80) y Olsen (74).

Si aceptamos como nivel crítico para el boro disponible el sugerido por Reisenauer (80), quien lo estima en 0,4ppm (promedio entre 0,1 y 0,7ppm), ninguno de los suelos de la muestra presentaría déficit de este elemento. Asimismo, los límites de confianza para la media de la población sugieren que con un 95% de confianza se puede descartar que la media poblacional de las diferentes localidades sea deficiente. Esta conclusión concuerda con los resultados de campo obtenidos por Aragón y colaboradores (7) quienes en los suelos del Altiplano no encontraron respuesta a la aplicación de este elemento.

4.4.5 Molibdeno

En ninguno de los suelos estudiados fue posible detectar molibdeno, presentando solamente trazas todas

las determinaciones (Tabla X). Hasta donde se ha podido consultar la literatura, solamente Soto (92) ha logrado registrar cuantitativamente el molibdeno disponible en suelos volcánicos de Nicaragua, utilizando diferentes métodos de extracción.

El hecho de no haberse detectado molibdeno disponible en los suelos del Altiplano de Pasto puede deberse a uno de los siguientes factores o a la combinación de los mismos:

a) Bajos niveles de reservas totales, pues según Barros y Blasco (11) el contenido de molibdeno total en suelos del Altiplano de Pasto oscila entre trazas y 2,1ppm (promedio 1,04ppm). Lo anterior es corroborado por Luna y Calhoun 968) quienes señalan que los suelos estudiados son pobres en biotita, mineral que es la fuente principal de molibdeno.

b) Reacción ácida o ligeramente ácida de los suelos estudiados (58, 66, 80).

c) Presencia de alófana en los suelos estudiados, lo cual produce una fuerte adsorción del molibdeno (58, 59, 60).

d) "Fijación" del molibdeno por parte del hierro y el aluminio tal como ocurre con el ión fosfato (58, 63, 80).

e) Baja capacidad extractora del acetato de amonio ácido. Puesto que la solubilidad del molibdeno se incrementa con el pH, los extractantes ácidos tienen baja capacidad de extracción (92).

De cualquier manera, los resultados obtenidos indican que, con un alto porcentaje de probabilidades, los suelos del Altiplano de Pasto tienen niveles deficientes de molibdeno, deficiencia que ha sido comprobada bajo condi-

ciones de campo por Aragón y colaboradores (7). Esta situación es particularmente trascendente en el caso de los cultivos hortícolas (lechuga, col, repollo, coliflor, remolacha, zanahoria) y de las leguminosas (58, 80).

Una segunda etapa de este trabajo debe incluir la comparación de métodos de extracción de Mo disponible y una tercera, la calibración de métodos y la determinación de niveles críticos. Otro tanto se podría decir, aunque con menos grado de prioridad y urgencia, para el caso del zinc y el cobre.

4.4.6 Cobalto

Es conocido que el cobalto no es esencial para el desarrollo de la planta, pero que si es requerido para la fijación simbiótica del nitrógeno en leguminosas (100) y para diferentes funciones del metabolismo animal, incluyendo la síntesis de la leche en el ganado vacuno (2, 97). Por estas razones se incluyó este elemento en el presente estudio.

El promedio general de cobalto disponible en los suelos estudiados fue de 0,90ppm, presentándose un rango de variación comprendido entre 0,21ppm (Jenoy 3) y 2,35ppm (Aranda 5). Bajo cobertura de cultivo el promedio fue de 0,87ppm, y bajo pradera 0,96ppm (Tabla XI), pero no se registró diferencia significativa entre estos dos valores (Tabla XIX).

Para las diferentes localidades, la secuencia de concentración promedio de cobalto disponible fue la siguiente (Tabla XIII).

El Carmen (1,44ppm) > Aranda (1,33ppm) > La Laguna (1,10ppm) > Catambuco (0,86ppm) > Botana (0,83ppm) > Daza (0,80ppm) > Obonuco (0,75ppm) > Jongovito (0,74ppm) > Cuajal (0,65ppm) > Jenoy (0,49ppm) (Figura 11).

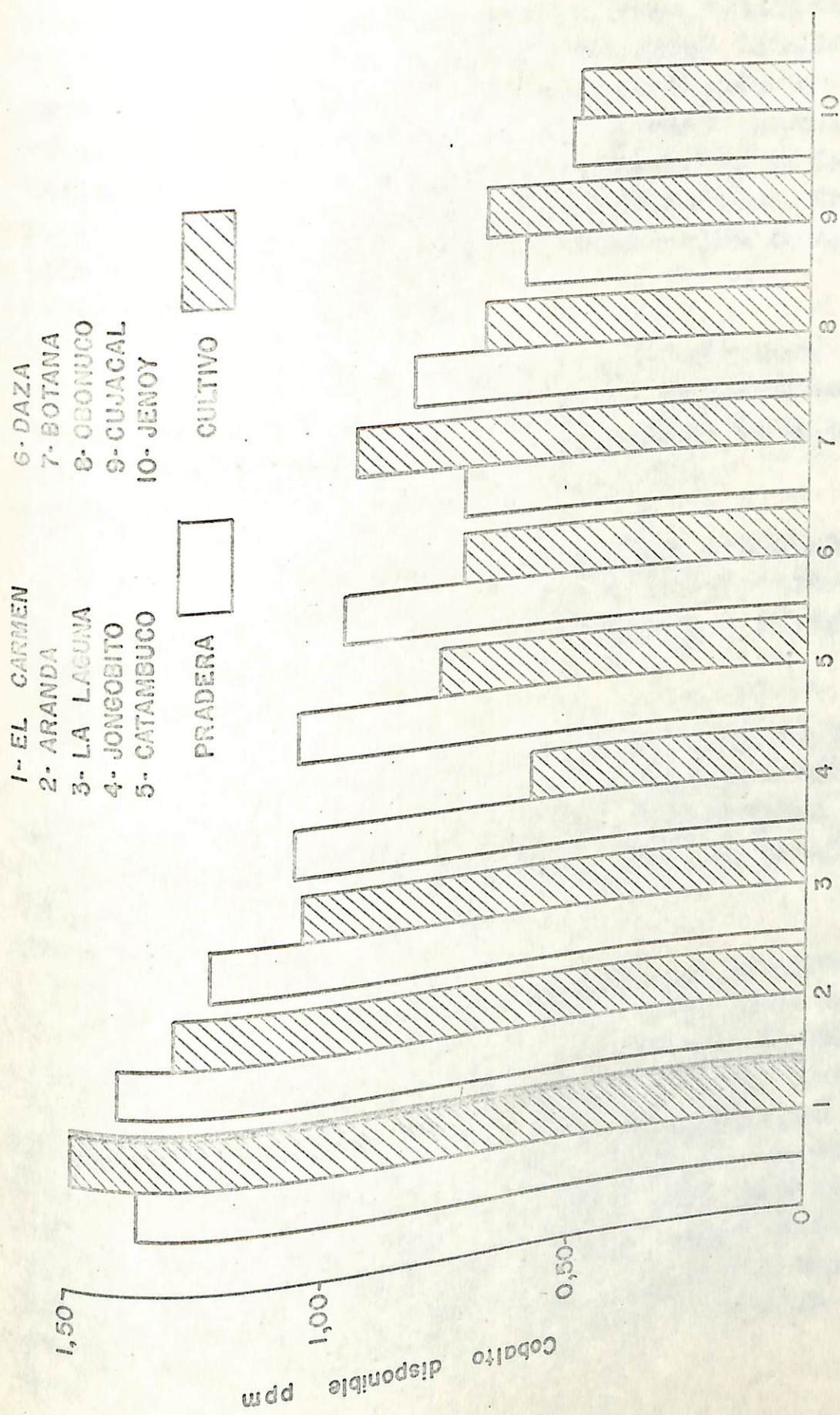


Fig. 11 Contenido promedio de Cobalto disponible en los suelos estudiados

Desde el punto de vista estadístico (Tabla XIX), solamente entre El Carmen y las demás localidades, excepto Aranda, Catambuco y La Laguna, se registran diferencias estadísticamente confiables (99%). La mayor concentración relativa de cobalto disponible en los suelos de El Carmen podría estar relacionada en parte, con su mayor acidez. Sin embargo, no existe una tendencia clara de distribución de este elemento entre Tropepts y Andepts.

Si se considera la concentración promedio de cobalto disponible en suelos de otras regiones estudiadas dentro del Programa de Investigación en Suelos de la FACIA, se encuentra la siguiente secuencia (Tabla II):

Bajo Putumayo (1,10ppm) > Altipalmo de Pasto (0,90ppm) > Sabana de Tíqueres (0,87ppm) > Llanura del Pacifico (0,64ppm) > Valle del Patía (0,47ppm) > Altiplano de Ipiales (0,10ppm).

Estadísticamente (Tabla XI), el Altiplano de Pasto presentó menor concentración de cobalto disponible ($P < 0,01$) que el Bajo Putumayo y mayor que el Altiplano de Ipiales, diferencias que pueden estar relacionadas con la naturaleza mineralógica del material parental.

El cobalto disponible fue el elemento que dentro del estudio más relacionó con las propiedades del suelo (Tabla XXI). Se detectaron relaciones directas lineales, a nivel estadístico confiable, entre cobalto disponible y aluminio cambiante, C-orgánico y C-útil, e inversas con saturación de calcio y pH. Las dos últimas se explican en razón de que el cobalto es más soluble a valores de pH bajos (5,2, 10,8). Otro tanto podría decirse de la relación directa con el aluminio cambiante, pues a mayor concentración de éste hay mayor acidez y mayor aprovechabilidad del cobalto. Por otra parte, la relación directa con

carbón orgánico se podría atribuir a que el extractante solubiliza parte del cobalto acomplejado en la materia orgánica, o bien a la relación inversa entre C-orgánico y pH.

La literatura disponible no ofrece elementos de juicio para calificar los niveles de cobalto disponible en el presente estudio, así sea en una forma tentativa y aproximada. Tomando en cuenta los trabajos de Vanselow (100), quien indica que pasturas deficientes se pueden desarrollar en suelos que tengan menos de 5ppm de cobalto total; la investigación de Barros y Blasco (11), quienes determinaron en promedio 4ppm, de cobalto total en el Altiplano de Pasto y el trabajo de Muñoz y colaboradores (71), quienes encontraron incrementos sustantivos en el rendimiento de leche cuando se agregó cobalto a la dieta de tres hatos en el Altiplano de Pasto, se podría esperar que algunos suelos de esta región sean deficientes en este elemento.

En conjunto, se puede decir que la extracción de la forma disponible de los elementos menores mediante NH_4Ac en pH 4,8 deja mucho que desear, pues aunque se obtuvo una correlación negativa con el pH (agua) los coeficientes de asociación fueron bajos y no se observó una relación definida con C-orgánico. Sin embargo, la metodología parece funcionar más eficientemente en los suelos estudiados que en los del Bajo Putumayo (33).

Cualquiera que sea el trabajo de investigación que se emprenda sobre calibración de métodos para determinar cobalto disponible, en relación al cobalto extraído por las gramíneas y sobre determinaciones de niveles críticos, aunque este último es un poco complicado, se justifica ampliamente pues constituiría un valioso aporte a la edafología tropical.

4.4.7 Variabilidad de los microelementos

La variabilidad de los microelementos estudiados se estableció por medio de los coeficientes de variación (Tablas XI a XIV).

Para los diferentes micronutrientes estudiados, la secuencia de variabilidad fue:

Cobre (93%) > Hierro (75%) > Zinc (59%) > Cobalto (54%) > Boro (25%).

Lo anterior supone que la secuencia de confiabilidad de los promedios de la muestra como representativos del promedio de la población es exactamente inversa a la anterior. Por otra parte, parece claro que la variabilidad obtenida depende de la localidad. Así, para cobre y hierro, la mayor variación se obtuvo en Obonuco, Catambuco, Jongovito y Aranda (principalmente Tropepts).

El hecho de que en el caso del cobre y del hierro se hayan registrado los mayores valores de variabilidad, implica que para estos elementos es necesario trabajar con una muestra mayor en relación a los otros.

TABLA X

CONTENIDO DE MICROELEMENTOS DISPONIBLES EN LOS SUELOS
ESTUDIADOS (ppm)

Localidad	Sue	Cobertura	Cobre	Hierro	Zinc	Boro	Molibdeno	Cobalto
Aranda	1	Cultivo	3,45	13,73	1,08	1,17	Trazas	2,02
"	2	"	2,46	23,32	1,61	1,33	Trazas	1,87
"	3	"	Trazas	73,35	0,22	1,57	Trazas	0,64
"	4	"	Trazas	85,65	0,45	1,33	Trazas	0,64
"	5	Pradera	0,43	273,92	1,50	1,68	Trazas	2,35
"	6	"	Trazas	191,94	0,42	1,75	Trazas	0,46
Jongovito	1	Cultivo	Trazas	93,70	0,42	1,24	Trazas	0,97
"	2	"	0,42	22,68	0,39	1,56	Trazas	0,29
"	3	"	0,84	13,02	0,39	1,32	Trazas	0,63
"	4	"	Trazas	8,40	0,35	1,18	Trazas	0,46
"	5	Pradera	1,41	172,48	0,98	1,36	Trazas	1,07
"	6	"	1,91	143,72	0,42	1,67	Trazas	1,06

TABLA X

CONTENIDO DE MICROELEMENTOS DISPONIBLES EN LOS SUELOS

ESTUDIADOS (ppm)

(Continuación)

Localidad	Sue _{lo}	Cobertura	Cobre	Hierro	Zinc	Boro	Molibdeno	Cobalto
El Carmen	1	Cultivo	9,90	154,13	0,85	1,68	Trazas	1,22
"	2	"	0,44	134,53	0,64	2,00	Trazas	1,29
"	3	"	0,90	196,62	0,63	1,78	Trazas	1,40
"	4	"	3,14	144,26	0,60	1,86	Trazas	2,06
"	5	Pradera	3,78	274,06	0,62	2,26	Trazas	1,87
"	6	"	4,21	259,84	0,50	2,17	Trazas	0,85
Botana	1	Cultivo	2,48	107,43	0,57	1,25	Trazas	0,81
"	2	"	2,46	112,36	0,91	1,24	Trazas	0,89
"	3	"	0,84	138,60	0,75	1,75	Trazas	1,13
"	4	Pradera	0,85	172,14	0,60	1,33	Trazas	0,81
"	5	"	1,40	192,07	0,46	2,29	Trazas	0,47
"	6	"	1,40	171,30	1,01	1,76	Trazas	0,89

TABLA X

CONTENIDO DE MICROELEMENTOS DISPONIBLES EN LOS SUELOS

ESTUDIADOS (ppm)

(Continuación)

Localidad Sue- lo	Cobertura	Cobre	Hierro	Zinc	Boro	Molibdeno	Cobalto
Catambuco 1	Cultivo	1,44	48,40	0,74	1,96	Trazas	1,44
" 2	"	1,43	50,54	0,45	1,21	Trazas	0,30
" 3	"	Trazas	17,22	0,54	1,18	Trazas	0,46
" 4	"	Trazas	22,68	0,73	0,76	Trazas	0,88
" 5	Pradera	0,44	193,14	0,51	1,65	Trazas	1,64
" 6	"	0,42	233,62	0,71	1,24	Trazas	0,47
Daza 1	Cultivo	1,40	60,63	0,69	1,19	Trazas	0,55
" 2	"	1,48	47,94	0,39	1,41	Trazas	0,85
" 3	"	Trazas	28,43	0,15	0,42	Trazas	0,77
" 4	"	0,86	74,04	0,48	1,35	Trazas	0,73
" 5	Pradera	0,92	40,02	0,47	1,81	Trazas	1,24
" 6	"	0,91	43,78	0,65	1,33	Trazas	0,68

TABLA X

CONTENIDO DE MICROELEMENTOS DISPONIBLES EN LOS SUELOS

ESTUDIADOS (ppm)

(Continuación)

Localidad	Sue- lo	Cobertura	Cobre	Hierro	Zinc	Boro	Molibdeno	Cobalto
Obonuco	1	Cultivo	Trazas	16,38	0,43	0,76	Trazas	1,05
"	2	"	0,85	19,08	0,63	1,43	Trazas	0,38
"	3	"	Trazas	32,34	0,29	1,23	Trazas	0,63
"	4	Pradera	1,40	154,34	0,64	1,91	Trazas	0,98
"	5	"	0,85	180,20	0,14	2,10	Trazas	1,06
"	6	"	0,85	199,28	0,72	1,91	Trazas	0,47
La Laguna	1	Cultivo	3,08	30,36	0,35	1,24	Trazas	0,66
"	2	"	3,55	79,61	0,58	1,20	Trazas	0,81
"	3	"	3,65	146,96	0,57	0,79	Trazas	1,10
"	4	"	2,50	83,38	0,29	1,21	Trazas	1,60
"	5	Pradera	2,55	106,48	2,04	1,98	Trazas	1,71
"	6	"	3,62	275,55	0,99	1,23	Trazas	0,74

TABLA X

CONTENIDO DE MICROELEMENTOS DISPONIBLES EN LOS SUELOS

ESTUDIADOS (ppm)

(Continuación)

Localidad	Sue ^{lo}	Cobertura	Cobre	Hierro	Zinc	Boro	Molibdeno	Cobalto
Cujacal	1	Cultivo	0,43	29,10	0,25	1,20	Trazas	0,38
"	2	"	0,86	38,45	0,37	1,21	Trazas	0,73
"	3	"	Trazas	46,22	0,37	1,67	Trazas	0,90
"	4	"	0,84	70,98	0,55	1,63	Trazas	0,71
"	5	Pradera	1,44	74,12	0,75	1,96	Trazas	0,83
"	6	"	1,93	73,19	0,35	1,59	Trazas	0,38
Jenoy	1	Cultivo	2,44	47,04	1,00	1,63	Trazas	0,55
"	2	"	0,84	42,00	0,33	1,56	Trazas	0,80
"	3	"	0,42	34,02	0,29	1,23	Trazas	0,21
"	4	"	0,85	34,71	0,23	1,33	Trazas	0,38
"	5	Pradera	1,40	95,40	1,34	1,91	Trazas	0,72
"	6	"	1,39	120,96	0,87	1,73	Trazas	0,29

TABLA XI

CONCENTRACIONES PROMEDIAS, LÍMITES DE CONFIANZA PARA LAS MEDIAS DE LA POBLACION Y
COEFICIENTES DE VARIACION DE MICROELEMENTOS DISPONIBLES EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

ELEMENTO	G E N E R A L			C U L T I V O			P R A D E R A		
	$\bar{X}$	Límites de con fianza (95%)	C V (%)	$\bar{X}$	Límites de con fianza (95%)	C V (%)	$\bar{X}$	Límites de con fianza (95%)	C V (%)
C o b r o	1,31	1,63 - 1,00	93,13	1,19	2,55 - 0,17	91,60	1,52	2,02 - 1,02	73,68
Hierro	101,07	120,85 - 81,29	75,12	63,75	79,66 - 47,84	75,00	165,52	196,84 - 134,20	41,67
Z i n c	0,62	0,76 - 0,48	59,68	0,54	0,64 - 0,44	53,70	0,76	0,95 - 0,57	56,58
B o r o	1,49	0,59 - 1,39	25,50	1,34	1,44 - 1,24	24,63	1,75	1,90 - 1,60	18,29
Cobalto	0,90	1,02 - 0,78	54,44	0,87	1,03 - 0,71	54,02	0,96	1,71 - 1,21	55,21

TABLA XII

CONCENTRACIONES PROMEDIAS, LÍMITES DE CONFIANZA PARA LA MEDIA DE LA POBLACION Y COEFICIENTES DE VARIACION DE COBRE Y HIERRO DISPONIBLES EN LAS LOCALIDADES ESTUDIADAS

Localidad	C O B R E				H I E R R O			
	ppm	Límites de confianza(95%)	C V (%)		ppm	Límites de confianza(95%)	C V (%)	
El Carmen	2,22	0,48 - 3,96	74,77		193,90	130,12 - 257,68	31,24	
Daza	0,92	0,39 - 1,45	56,41		49,14	32,21 - 66,07	32,72	
Cujacal	0,91	0,20 - 1,62	75,27		55,34	34,45 - 76,23	35,88	
La Laguna	3,15	2,62 - 3,68	16,82		120,39	30,91 - 209,87	70,58	
Otonuco	0,65	0,09 - 1,21	84,15		100,27	9,25 - 191,29	86,20	
Botana	1,57	0,80 - 2,34	46,75		148,98	112,31 - 185,65	23,37	
Catambuco	0,62	0,04 - 1,28	105,64		94,26	- 4,83 - 193,35	99,83	
Jongovito	0,76	0,03 - 1,55	101,84		75,66	0,34 - 150,98	94,54	
Aranda	1,05	0,51 - 2,61	143,80		110,31	2,61 - 218,01	92,71	
Jenoy	1,22	0,51 - 1,93	57,37		62,36	23,71 - 101,01	58,86	

TABLA XIII

CONCENTRACIONES PROMEDIAS, LÍMITES DE CONFIANZA PARA LA MEDIA DE LA POBLACION Y COEFICIENTES DE VARIACION DE BORO Y COBALTO DISPONIBLES EN LA LOCALIDADES ESTUDIADAS

Localidad	B O R O			C O B A L T O		
	ppm	Límites de Confianza(95%)	C V (%)	ppm	Límites de Confianza(95%)	C V (%)
El Carmen	1,95	1,75 - 2,15	10,25	1,44	1,01 - 1,87	29,86
Daza	1,25	0,79 - 1,71	35,20	0,80	0,57 - 1,03	27,50
Cujacal	1,54	1,26 - 1,82	18,18	0,65	0,45 - 0,85	30,76
La Laguna	1,27	0,92 - 1,62	26,77	1,10	0,64 - 1,56	40,00
Obonuco	1,55	1,04 - 2,06	32,25	0,75	0,47 - 1,03	37,33
Botana	1,60	1,19 - 2,01	25,00	0,83	0,63 - 1,03	24,09
Catambuco	1,33	0,92 - 1,74	30,82	0,86	0,30 - 1,42	63,95
Jongovito	1,38	1,23 - 1,53	12,31	0,74	0,44 - 1,04	41,89
Aranda	1,47	1,27 - 1,67	13,60	1,33	0,46 - 2,20	62,40
Jenoy	1,56	1,33 - 1,79	14,10	0,49	0,26 - 0,72	44,89

TABLA XIV

CONCENTRACIONES PROMEDIAS, LÍMITES DE CONFIANZA PARA LA MEDIA DE LA POBLACION Y
COEFICIENTE DE VARIACION DE ZINC DISPONIBLE EN LAS LOCALIDADES ESTUDIADAS

Localidad	Z I N C			p p m	Límites de confianza(95%)	σ _v (%)
	Z	I	N	C		
El Carmen				0,64	0,54 - 0,74	15,62
Daza				0,47	0,32 - 0,62	36,17
Cujacal				0,44	0,32 - 0,56	31,81
La Laguna				0,80	0,14 - 1,46	80,00
Obonuco				0,47	0,24 - 0,70	51,06
Botana				0,71	0,61 - 0,81	14,08
Catambuco				0,61	0,51 - 0,71	16,39
Jongovito				0,49	0,26 - 0,72	44,89
Aranda				0,88	0,27 - 1,49	67,04
Jenoy				0,67	0,21 - 1,13	65,67

TABLA XV

VALORES DE "t" Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS COMPARACIONES
DE PROMEDIOS DE COBRE ENTRE COBERTURAS Y LOCALIDADES

	Cultivo	El Carmen	Aranda	Jongovito	Botana	Jenoy	Cujacal	Catambuco	Obonuco	La Laguna
PRADERA	1,10 ^{NS}									
D A Z A	1,83	0,20	0,41	1,71	0,83	0,03	0,86	0,90	7,43 ⁺⁺	
LA LAGUNA	1,31	3,18 ⁺	6,13 ⁺⁺	4,16 ⁺⁺	5,36 ⁺⁺	6,22 ⁺⁺	7,23 ⁺⁺	8,33 ⁺⁺		
OBONUCO	2,18	0,61	0,28	2,42 ⁺	1,58	0,72	0,09			
CATAMBUCO	2,19	0,64	0,34	1,94	1,54	0,74				
CUJACAL	1,77	0,21	0,36	1,61	9,77					
J E N O Y	1,35	0,25	1,09	0,85						
BOTANA	0,88	0,75	1,84							
JONGOVITO	1,95	0,42								
ARANDA	1,27									

NS - No es significativo

+ - Significativo al 95%

++ - Significativo al 99%

TABLA XVI

VALORES DE "t" Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS COMPARACIONES
DE PROMEDIOS DE HIERRO ENTRE COBERTURAS Y LOCALIDADES

	Cultivo	Aranda	Catambuco	Obonuco	La Laguna	Jongovito	El Carmen	Jenoy	Botana	Cujacal
PRADERA	6,12 ⁺⁺									
D A Z A	1,45	1,16	1,42	2,02	0,89	5,66 ⁺⁺	0,81	6,37 ⁺⁺	0,59	
CUJACAL	1,29	0,99	1,24	1,83	0,67	5,32 ⁺⁺	0,41	5,72 ⁺⁺		
BOTANA	0,88	1,34	1,28	0,76	2,26 ⁺	1,57	4,19 ⁺⁺			
J E N O Y	1,08	0,77	0,99	1,54	0,41	4,55 ⁺⁺				
EL CARMEN	1,72	2,18	2,17	1,73	3,09 ⁺					
JONGOVITO	0,68	0,38	0,54	0,98						
LA LAGUNA	0,19	0,50	0,41							
OBONUCO	0,18	0,11								
CATAMBUCO	0,28									

+ = Significativo al 95%

++ = Significativo al 99%

TABLA XVII

VALORES DE "t" Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS COMPARACIONES
DE PROMEDIOS DE ZINC ENTRE COBERTURAS Y LOCALIDADES

Cultivo	La Laguna	Aranda	Jeney	Obonuco	Jongovito	Daza	Cujacal	Catambuco	Botana
PRADERA	2,20 ⁺								
EL CARMEN	0,59	0,97	0,16	1,57	1,50	2,09	2,86 ⁺	0,52	1,21
BOTANA	0,33	0,69	0,21	2,22	2,20	2,96 ⁺	3,86 ⁺⁺	1,72	
CATAMBUCO	0,71	1,10	0,32	1,29	1,20	1,72	2,43 ⁺		
CUJACAL	1,32	1,77	1,20	0,26	0,46	0,32			
D A Z A	1,20	1,63	1,02	-	0,17				
JONGOVITO	1,10	1,51	0,88	0,14					
O BONUCO	1,16	1,57	0,96						
G E N O Y	0,12	0,69							
ARANDA	0,22								

+ = Significativo al 95%

++ = Significativo al 99%

TABLA XVIII

VALORES DE "t" Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS COMPARACIONES
DE PROMEDIOS DE BORO ENTRE COBERTURA Y LOCALIDADES

	Cultivo	Obunuco	Daza	Catambuco	Botana	La Laguna	Cujacal	Jenoy	Aranda	El Carmen
PRADERA	4,56 ⁺⁺									
JONGOVITO		0,79	0,66	0,27	1,23	0,69	1,18	1,56	0,83	5,27 ⁺⁺
EL CARMEN		1,81	3,50 ⁺⁺	3,31 ⁺⁺	1,92	4,17 ⁺⁺	2,90 ⁺	3,17 ⁺	4,17 ⁺⁺	
ARANDA		0,36	1,10	0,74	0,71	1,22	0,49	0,73		
J E N O Y		0,04	1,51	1,20	0,21	1,72	0,13			
CUJACAL		0,04	1,34	1,02	0,30	1,48				
LA LAGUNA		1,13	0,08	0,27	1,65					
BOTANA		0,19	1,42	1,14						
CATAMBUCO		0,83	0,32							
D A Z A		1,09								

+ = Significativo al 95%

++ = Significativo al 99%

TABLA XIX

VALORES DE "t" Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS COMPARACIONES
DE PROMEDIOS DE COBALTO ENTRE COBERTURA Y LOCALIDADES

	Cultivo	Aranda	Catambuco	La Laguna	El Carmen	Jongovito	Obonuco	Jenoy	Daza	Botana
PRADERA	0,69	NS								
CUJACAL	1,95	0,91	2,25 ⁺	4,05 ⁺⁺	0,59	0,70	1,30	1,21	1,56	
BOTANA	1,43	0,12	1,35	3,12 ⁺	0,59	0,56	2,76 ⁺	0,24		
DAZA	1,51	0,24	1,47	3,20 ⁺⁺	0,37	0,34	2,40 ⁺			
JENOY	2,40 ⁺	1,51	2,99 ⁺⁺	4,75 ⁺⁺	1,58	1,79				
OBOUUCO	1,62	0,43	1,62	3,25 ⁺⁺	0,05					
JONGOVITO	1,62	0,46	1,60	3,18 ⁺⁺						
EL CARMEN	0,29	2,01	1,33							
LA LAGUNA	0,59	0,82								
CATAMBUCO	1,14									

NS - No es significativo

+ - Significativo al 95%

++ - Significativo al 99%

TABLA XX

VALORES DE "t" Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS COMPARACIONES ENTRE LOS
 PROMEDIOS OBTENIDOS EN EL ALTIPLANO DE PASTO Y LOS ENCONTRADOS EN SUELOS DE Q

TRAS REGIONES

Elementos	Llanura del Pacífico	Sabana de Tóqueres	Valle del Patía	Bajo Pu tumayo	Altiplano de Ipiiales
COBRE	6,40 ⁺⁺	3,54 ⁺⁺		1,75 ^{NS}	
hierro	5,72 ⁺⁺	1,44		10,77 ⁺⁺	4,93 ⁺⁺
ZINC	1,27 ^{NS}	0,63 ^{NS}	1,92 ^{NS}	18,30 ⁺⁺	5,59 ⁺⁺
BORO	28,69 ⁺⁺	12,06 ⁺⁺	1,07 ^{NS}		
COBALTO	1,93 ^{NS}	0,48 ^{NS}	3,07 ⁺	0,30 ^{NS}	11,77 ⁺⁺

NS - No es significativo

+ - Significativo al 95%

++ - Significativo al 99%

TABLA XXI

MATRIZ DE COEFICIENTES DE CORRELACION LINEAL

	Co- bre	Hie rro	Zinc	Cobal- to	Alu- minio	%Sat. Ca	C Organ.	pH Agua	CIC	Arena	Limo	Arci- lla	pH NaF	Ca/Mg
B	0,16	0,50 ⁺⁺⁺	0,21	0,22	0,17	-0,40 ⁺⁺	0,41 ⁺⁺⁺	-0,22	0,17	-0,08	0,29 ⁺	-0,18	0,08	-0,25 ⁺
Cu		0,28 ⁺	0,32 ⁺	0,34 ⁺⁺	0,04	-0,27 ⁺	0,17	0,17	0,17	-0,22	0,27 ⁺	-0,06	0,21	0,00
Fe			0,24	0,31 ⁺	0,00	0,00	0,34 ⁺⁺	-0,44 ⁺⁺⁺	0,06	-0,07	0,26 ⁺	-0,17	0,01	0,28 ⁺
Zn				0,47 ⁺⁺⁺	0,05	-0,10	0,03	-0,16	-0,02	-0,01	-0,10	0,07	-0,07	-0,19
Co				0,32 ⁺		-0,30 ⁺	0,44 ⁺⁺⁺	-0,26 ⁺	0,33 ⁺⁺	0,09	0,15	-0,20	0,11	0,10
Al						-0,64 ⁺⁺⁺	0,77 ⁺⁺⁺	0,38 ⁺⁺	0,78 ⁺⁺⁺	0,38 ⁺⁺	0,45 ⁺⁺⁺	-0,69 ⁺⁺⁺	0,82 ⁺⁺⁺	0,14
%Sat.Ca							0,63 ⁺⁺⁺	0,51 ⁺⁺⁺	0,59 ⁺⁺⁺	-0,20	-0,27 ⁺	0,39 ⁺⁺⁺	-0,56 ⁺⁺⁺	0,21
C-Organ.								-0,34 ⁺⁺	0,72 ⁺⁺⁺	0,30 ⁺	0,47 ⁺⁺⁺	-0,64 ⁺⁺⁺	0,71 ⁺⁺⁺	0,18
pH agua									0,27 ⁺	-0,10	-0,30 ⁺	0,34 ⁺⁺	0,37 ⁺⁺	0,10
C I C										0,28 ⁺	0,50 ⁺⁺⁺	-0,65 ⁺⁺⁺	0,88 ⁺⁺⁺	0,28 ⁺
Arena										-0,24	-0,55 ⁺⁺⁺	0,35 ⁺⁺	0,22	
Limo											-0,67 ⁺⁺⁺	0,51 ⁺⁺⁺	0,05	
Arcilla											-0,70 ⁺⁺⁺	-0,22		
Ca/Mg														0,33 ⁺⁺

+ = Significativo al 95%

++ = Significativo al 99%

+++ = Significativo al 99,9%

MATRIZ DE COEFICIENTES DE ASOCIACION LINEAL

[illegible]

TABLA XXIII

COEFICIENTE DE CORRELACION CUADRATICA

Boro	Co- bre	Hie rró	Zinc	Cobal to	Alu- minio	%Sat. Ca	C Organ	pH Agua	C I C	Arena	Limo	Arcil lla	%Sat. Al	pH NaF	Ca/Mg	
B	1,00	0,03	0,27 ⁺	0,05	0,07	0,03	0,18	0,20	0,05	0,05	0,00	0,12	0,05	0,00	0,02	0,06
Cu	0,08	1,00	0,09	0,16	0,11	0,01	0,08	0,03	0,03	0,05	0,04	0,07	0,00	0,04	0,05	0,44 ⁺⁺⁺
Fe	0,28 ⁺	0,08	1,00	0,06	0,10	0,01	0,13	0,12	0,27 ⁺	0,01	0,07	0,13	0,03	0,00	0,00	0,13
Zn	0,05	0,12	0,11	1,00	0,22	0,02	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,06	0,03	0,05	0,01	0,03
Co	0,05	0,11	0,09	0,24	1,00	0,14	0,11	0,20	0,08	0,15	0,01	0,09	0,06	0,00	0,14	0,01
Al	0,03	0,03	0,03	0,00	0,11	1,00	0,49 ⁺⁺⁺	0,59 ⁺⁺⁺	0,33 ⁺	0,61 ⁺⁺⁺	0,14	0,21	0,47 ⁺⁺⁺	0,00	0,70 ⁺⁺⁺	0,02
%Sat.CaO	0,16	0,07	0,13	0,01	0,10	0,46 ⁺⁺⁺	1,00	0,46 ⁺⁺⁺	0,26 ⁺	0,37 ⁺⁺	0,05	0,09	0,19	0,03	0,35 ⁺⁺	0,14
C-Org.	0,17	0,04	0,11	0,01	0,20	0,59 ⁺⁺⁺	0,42 ⁺⁺⁺	1,00	0,19	0,53 ⁺⁺⁺	0,10	0,23	0,41 ⁺⁺⁺	0,00	0,51 ⁺⁺⁺	0,09
pH	0,05	0,03	0,20	0,02	0,08	0,14	0,28 ⁺	0,12	1,00	0,08	0,01	0,09	0,12	0,03	0,13	0,01
C I C	0,03	0,04	0,00	0,00	0,11	0,62 ⁺⁺⁺	0,36 ⁺⁺	0,54 ⁺⁺⁺	0,07	1,00	0,15	0,26 ⁺	0,45 ⁺⁺⁺	0,02	0,78 ⁺⁺⁺	0,15
Arena	0,01	0,06	0,05	0,01	0,05	0,19	0,11	0,14	0,02	0,09	1,00	0,07	0,31 ⁺	0,01	0,12	0,08
Limo	0,11	0,07	0,15	0,07	0,34 ⁺⁺	0,28 ⁺	0,12	0,32 ⁺	0,15	0,28 ⁺	0,08	1,00	0,46 ⁺⁺⁺	0,01	0,29 ⁺	0,00
Arcill.	0,04	0,00	0,04	0,00	0,07	0,60 ⁺⁺⁺	0,27 ⁺	0,52 ⁺⁺⁺	0,11	0,58 ⁺⁺⁺	0,30 ⁺	0,45 ⁺⁺⁺	1,00	0,00	0,57 ⁺⁺⁺	0,04
%Sat.AlO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	-0,00	0,03
pH NaF	0,08	0,07	0,04	0,01	0,11	0,71 ⁺⁺⁺	0,33 ⁺	0,60 ⁺⁺⁺	0,16	0,83 ⁺⁺⁺	0,13	0,27 ⁺	0,54 ⁺⁺⁺	0,01	1,00	0,11
Ca/Mg	0,16	0,00	0,09	0,05	0,02	0,03	0,04	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01	0,08	0,53 ⁺⁺⁺	0,16	1,00

+ = Significativo al 95%

++ = Significativo al 99%

+++ = Significativo al 99,9%

TABLA XXIV

PORCENTAJES DE ASOCIACION CUADRATICA

Boro	Co- bre	Hie rró	Zinc	Cobal to	Alu- minio	%Sat. Ca	C Organ	pH Agua	C I C	Arena	Limo	Arci- lla	%Sat. Al	pH NaF	Ca/Mg
B	100	0,14	7,76	0,31	0,50	0,10	3,40	4,19	0,28	0,26	0,00	1,62	0,33	0,00	0,02 0,41
Cu	0,77	100	0,91	2,68	1,39	0,02	0,68	0,10	0,11	0,32	0,24	0,60	0,00	0,24	0,31 0,30
Fe	8,03	0,75	100	0,38	1,01	0,02	1,90	1,65	7,60	0,01	0,59	1,74	0,09	0,00	0,00 1,92
Zn	0,25	1,48	1,43	100	5,26	0,07	0,01	0,00	0,12	0,03	0,00	0,48	0,09	0,27	0,01 0,13
Co	0,27	1,38	0,95	6,20	100	2,13	1,34	4,14	0,74	2,42	0,02	0,95	0,48	0,00	2,15 0,01
Al	0,10	0,13	0,14	0,00	1,40	100	24,64	35,63	11,01	38,14	2,24	4,46	22,75	0,00	49,26 0,04
%Sat.	2,79	0,62	1,82	0,01	1,01	21,47	100	21,28	7,21	14,06	0,32	0,81	3,72	0,14	12,85 2,06
C-Org.	3,02	0,19	1,40	0,02	4,34	35,58	18,41	100	3,66	28,51	1,03	5,49	17,10	0,00	26,05 0,97
pH	0,31	0,09	4,04	0,07	0,68	2,20	8,13	1,50	100	0,69	0,01	0,98	1,47	0,14	1,92 0,01
C I C	0,15	0,23	0,00	0,00	1,22	38,45	13,31	29,74	0,60	100	2,55	6,81	21,11	0,04	61,19 2,51
Arena	0,02	0,44	0,31	0,03	0,28	3,61	1,42	2,23	0,08	0,84	100	0,56	9,93	0,01	1,60 0,69
Limo	1,21	0,56	2,35	0,58	12,02	8,11	1,45	10,68	2,43	8,08	0,76	100	21,88	0,03	8,70 0,00
Arc.	0,24	0,00	0,16	0,00	0,52	37,14	7,32	27,21	1,37	34,22	9,37	20,58	100	0,00	32,76 0,24
%SatAl	--	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	100	0,00 0,04
pH NaFO	7,3	0,60	0,23	0,02	1,43	50,70	10,91	36,62	2,60	68,94	1,90	7,76	30,02	0,01	100 1,32
Ca/Mg	2,66	0,00	0,90	0,26	0,04	0,14	0,22	0,37	0,01	1,00	0,33	0,03	0,66	28,20	2,61 100

+ = Significativo al 95%

++ = Significativo al 99%

+++ = Significativo al 99,9%

V. CONCLUSIONES

1. Las características generales de los suelos estudiados y las relaciones entre éstas y la concentración de coloides amorfos (pH NaF 1M) permiten clasificar los suelos del Al tiplano de Pasto en los subórdenes Andept y Tropept del orden Inceptisol y establecer criterios de discriminación entre ellos.
2. La acentuada influencia del contenido de arcillas amorfas sobre importantes propiedades del suelo (CIC, % C-orgánico, % arcillas, Al cambiable, saturación de Ca, pH y saturación de bases) se refleja en criterios diferenciales de manejo para los Andepts y Tropepts.
3. El rango general de variación en la concentración de la fracción disponible de los diferentes microelementos fue: cobre trazas - 4,21ppm; hierro 8,4 - 275,5ppm; zinc 0,14 - 2,04ppm; boro 0,42 - 2,29ppm; molibdeno trazas - trazas; cobalto 0,21 - 2,35ppm.
4. La concentración promedio de hierro, zinc y boro disponibles fué significativamente mayor bajo cobertura de pradera que bajo cultivo, lo que indica que la disponibilidad de estos nutrimentos está relacionada con condiciones de manejo.
5. No se registró una tendencia definida que permita discriminar la concentración de los micronutrimentos estudiados entre Andepts y Tropepts, pero los suelos del Carmen (Andepts) están mejor abastecidos de cobre, hierro, boro y cobalto.
6. Pueden presentarse deficiencias de molibdeno, cobre y zinc en los suelos estudiados. Las probabilidades de deficien-

de cobre son mayores en el suorden Tropept que en el Andept y la deficiencia de zinc es más probable que ocurra bajo cultivo que bajo prader.

7. Se consideran remotas las posibilidades de deficiencia de hierro y boro en los suelos estudiados, pero no se descarta que existan deficiencias en cobalto.
8. Salvo el caso de los bajos coeficientes de asociación registrados con el pH, la extracción de la forma disponible de los microelementos estudiados con NH_4OAc 1N pH 4,8 no relacionó adecuadamente con las características del suelo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se considera importante el desarrollo de trabajos que permitan correlacionar el pH en NaF con las respuestas a nitrógeno y fósforo.
2. Se debe estudiar la posibilidad de incluir el pH en NaF dentro de las determinaciones rutinarias de fertilidad en los suelos estudiados o similares.
3. Una segunda etapa de este trabajo debe incluir la calibración de métodos de extracción de molibdeno, zinc, cobre y cobalto, en ese orden de prioridad.
4. La planeación de investigaciones e interpretación de resultados sobre aspectos edafológicos o de manejo en los suelos del Altiplano de Pasto deben tener en consideración la ubicación taxonómica de los suelos.

VII. RESUMEN

Se estudiaron las características generales y la concentración de microelementos disponibles, extraídos con acetato de amonio 1N pH 4,8, en sesenta suelos superficiales de diez localidades agrícolas del Altiplano de Pasto.

En base a las características generales y a la concentración de coloides amorfos, estimada a través del pH en NaF 1M, los suelos estudiados se agruparon dentro de los subórdenes Tropept y Andept del orden Inceptisol. La acentuada influencia de la concentración de arcillas amorfas sobre importantes propiedades físico-químicas se refleja en criterios diferenciales de manejo para los Andepts y Tropepts.

La concentración de la forma disponible de los diferentes microelementos varió entre los siguientes límites: cobre: trazas - 4,21ppm; hierro: 8,4 - 275,5ppm; zinc: 0,14 - 2,04 ppm; boro: 0,42 - 2,29ppm; molibdeno: trazas - trazas; cobalto: 0,21 - 2,35ppm. La concentración promedio de hierro, zinc y boro fue mayor bajo pradera que bajo cultivo, pero no se registró una tendencia definida que permita discriminar la concentración de los microelementos estudiados entre Andepts y Tropepts.

Pueden presentarse deficiencias de molibdeno, cobre, zinc y cobalto en los suelos estudiados. Las probabilidades de deficiencia de cobre son mayores en el suborden Tropept y las de zinc bajo condiciones de cultivo. Se consideran remotas las deficiencias de hierro y boro en los suelos estudiados. La eficiencia del método de extracción se considera baja.

Se recomienda establecer correlaciones entre pH en NaF 1M y respuestas a aplicaciones de nitrógeno y fósforo con miras a incluir esa característica en los análisis rutinarios de fertilidad. Así mismo se recomienda calibrar métodos de extracción de molibdeno, cobre, zinc y cobalto.

GENERAL CHARACTERISTICS, CLASSIFICATION CRITERIAS AND AVAILABILITY OF MICROELEMENTS OF SOME FROM PASTO HIGHLAND - COLOMBIA.

SUMMARY

General characteristics and available microelements contents extracted with 1N amonium acetate pH 4,8, were studied in sixty topsoils from ten Pasto Highland's locations.

Studied soils were grouped, according to their general characteristics and their amorphous colloids content, measured by 1M NaF pH determination, into Tropept and Andept suborders of Inceptisol order. The high influence of amorphous clay content over important physical and chemical soil properties reflects con differential management criterias for Andepts and Tropepts.

Available microelements amounts varied between the next boundaries: cooper: traces - 4,21ppm; iron: 8,4 - 275,5 ppm; zinc: 0,14 - 2,04ppm; boron: 0,42 - 2,29ppm; molybdenum: traces - traces; cobalt: 0,21 - 2,35ppm. Iron, zinc and boron average concentrations were larger under pasture than culture cover, although no clear tendency was registered in order to set up differences between Andepts and Tropepts according to their microelements amounts.

It may occur Mo, Cu, Zn and Co defficiencies in the studied soils. Cooper defficiencie is most probable into Tropept suborder and zinc defficiencie under cropping land conditions. Iron and boron defficiencies is less probable in the studied soils. Efficiency of extraction method is considered low.

It advises to set up correlations between 1M NaF pH and responses to nitrogen and phosphorus aditions, in order to include this measurement in the ordinary fertility soil tests. Just like this, it is important to carry out calibrations for extraction methods for Molybdenum, cooper, zinc and cobalt.

VIII. 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 Pacifico. Departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1973. 88p.
2. ALBA, J. Alimentación del ganado en América Latina. México, D.F., Prensa Médica, 1968. 336p.
3. AMIN, J. V. y H. E. JOHAN. A molybdenum cycle in the soil. *Soil Science* 85(3):156-160. 1958
4. ANDERSON, A. J. Molybdenum as a fertilizer. *Advances in Agronomy* 8:163-202. 1956.
5. AOMINE, S. y Y. KOBAYACHI. Effects of allophanic clays on the enzymatic activity of protease. *Soil Science and Plant Nutrition* 10(1):28-32. 1964.
6. AOMINE, S. y K. WADA. Grade of weathering and fertility of volcanic ash soils of Aso volcano. *Soil Science and Plant Nutrition* 12(2):27-37. 1966.
7. ARAGON, V., A. MONTAÑO y R. R. GUERRERO. 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. *Pitotecnica Latinoamericana* 7(2):17-31. 1972.
8. ARIAS, H. A. y R. R. GUERRERO. Algunas propiedades físicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Pasto, Colombia, determinados por diferentes métodos. *Turrialba* 21(4):393-403. 1971.

9. ARTEAGA, O. L. y O. M. MATTA. Respuesta de algunas propiedades químicas a la aplicación de niveles de cal en dos suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1973. 80p.
10. ASTAIZA, M. J. Determinación de boro, cobalto, zinc y a luminio intercambiables en los suelos del Valle del Patía, Departamento del Cauca. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1972. 56p.
11. BARROS, M. P. y L. 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.
12. BARROWS, H. L., M. S. NEFF y N. GAMMON. 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.
13. BEAR, F. Chemistry of the soil. New York, Reinold, 1958. 373p.
14. BERGER, K. C. y P. F. PRATT. Advances in secondary and micronutrient fertilization. In McVICKAR, H. M., et al., eds. Fertilizer technology and usage. Madison, Soil Science Society of America, 1963. pp.287-340.
15. BESOAIN, E. Mineralogía de las arcillas de suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. pp.B.1.1-B.1.17.

16. BIRREL, K. S. Some properties of volcanic ash soils. In FAO Report No 14, on meeting on classification and correlation on soils from volcanic ash. Tokyo, 1964. pp.74-81.
17. BLASCO, L. M. Características químicas de los suelos volcánicos de Nariño, Colombia. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. pp.B.8.1-B.8.10.
18. ————. El fósforo orgánico y su metabolismo en los suelos. In III Coloquio de Suelos El fósforo en zonas tropicales. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1973. (En prensa).
19. ————. Mineralización del nitrógeno en suelos tropicales y volcánicos. In II Coloquio de Suelos El uso del nitrógeno en el trópico. Palmira, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1972. pp.83-89.
20. BORNEMISZA, E. y R. PINEDA. Minerales amorfos y mineralización del nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. pp.B.7.1-B.7.7.
21. BRADFORD, R. G. Boron. In CHAPMAN, D. H., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp.33-61.
22. BROADBENT, I. E., R. H. JACKMAN y J. MANICOLL. Mineralization, carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. Soil Science 98(2):118-128. 1964.

23. 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.
24. BUOL, S. W., et al. Clasificación de suelos en base a su fertilidad. In BORNEMISZA, E., ed. El manejo de suelos y el desarrollo de la América Tropical. Panamá, CIAT, 1974. (En prensa).
25. BUOLD, C. y E. HEWITT. Mineral nutrition of plants in soils and in culture media. In STEWARD, F. C., ed. Plant physiology. New York, Academic Press, 1963. v.3. pp. 15-153.
26. BURBANO, O. H. y R. H. LOPEZ. Algunos aspectos del enca-lamiento en suelos del Altiplano de Pasto, Nariño, Co-lombia. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universi-dad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, 1968. 91p.
27. COLLINGS, G. Comercial fertilizer; their sources and use. 5th ed. New York, McGraw Hill, 1955. 617p.
28. COX, R. F. y J. E. KAMPATH. Micronutrient soil tests. In MORTVEDT, J. J., ed. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America Proceedings, 1972. pp. 289-317.
29. CHAMORRO, B. y C. ECHEVERRIA. Determinación de aluminio, boro, cobalto, cobalto, hierro, manganeso y zinc inter-cambiables en suelos de la Sabana de Túquerres, Depar-tamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1971. 78p.

30. CHAPMAN, D. H. Zinc. In CHAPMAN, D. H., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp.484-499.
31. CHAVES, N., et al. Estudio socioeconómico de Nariño. Bogotá, Ministerio del Trabajo, Division de Seguridad Social Campesina, 1959. 218p.
32. CHAVES, E., R. PAZOS y L. LEGARDA. Comparación de la capacidad de intercambio catiónico total determinada por cuatro métodos en suelos del Altiplano de Pasto. Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia) 5(1-2):63-73. 1973.
33. DAVILA, C. C. Determinación de cobre, cobalto, hierro y zinc cambiables en algunos suelos del trópico húmedo en la Intendencia Nacional del Putumayo. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1974. 67p.
34. DRAKE, N. Chemistry of the soil; soil chemistry and plant nutrition. 2nd ed. New York, Reinold, 1965. 424p.
35. DUDAL, R. Correlation of soils derived from volcanic ash. In FAO Report No 14, on meeting on classification and correlation on soils from volcanic ash. Tokyo, 1964. pp.134-137.
36. ELLIS, G. B. y D. B. KNEZEK. Adsorption reaction of micronutrients in soils. In MORTVEDT, J. J., et al., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. pp.59-78.

37. ESCOBAR, C., R. JURADO y R. GUERRERO. Propiedades físicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas del altiplano de Pasto, Narino, Colombia. *Turrialba* 22(3):338-346. 1972.
38. ESPINAL, F. L. y E. MONTENEGRO. Formaciones vegetales de Colombia; memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1963. 201p.
39. FASSBENDER, H. V. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. pp.B.4.1-B.4.10.
40. FASSBENDER, H. V. y R. R. GUERRERO. Identificación de fosfatos y equilibrios catiónicos en suelos derivados de cenizas volcánicas de Pasto y Calima, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia)* 5(1-2): 5-18. 1973.
41. FIERRES, M. y I. FERROT. The nature of allophanic in soils. III. Rapid field and laboratory test for allophanic. *New Zealand Journal of Soil Science* 9(3):623-639. 1966.
42. FISKEILL, J. G. A. Copper. In BLACK, C. A., et al., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1969. pp.1090-1101.
43. FORSYTHE, W., S. GAVANDE y M. GONZALEZ. Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas considerando algunos suelos de América Latina. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. pp.B.3.1-

B.3.6.

44. FOX, R. L. La fertilización de los suelos de cenizas volcánicas de Hawaii. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. pp.C.6.1-8.6.14.
45. ———. The effect of calcium and pH on boron uptake from high concentration of boron by cotton and alfalfa. Soil Science 106:435-439. 1968.
46. FUENTES, R. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en algunos suelos ácidos de origen volcánico. Tesis de M. Sc., Turrialba, Costa Rica, IICA-OEA, 1972. 107p.
47. GILBERT, F. Copper in nutrition. Advances in Agronomy 4:156-187. 1952.
48. GUERRERO, R. M. Suelos de Colombia y su relación con la 7a Aproximación. Bogotá, Instituto Geográfico "Augustin Codazzi", 1965. 196p.
49. GUERRERO, R. R. Formas de fósforo y sus relaciones con la fertilidad de los suelos. In III Coloquio de Suelos. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1973. (En prensa).
50. GUERRERO, R. R., H.J. BURBANO y G. T. CABRERA. Estado y fijación del fósforo en suelos volcánicos del Sur de Colombia. In II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, IICA-Universidad de Nariño, 1972. (En prensa).
51. GUPTA, U. Relationship of total and hotwater soluble boron, and fixation of from-to properties of podzol

- soils. Soil Science Society of America 32(1):45-48. 1968.
52. 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 Proceedings. 76:237-284. 1963.
53. HODGSON, J. F. Chemistry of the micronutrient elements. Advances in Agronomy 15:119-159. 1963.
54. HSU, P. O. Fixation of phosphate by aluminium and iron in acidic soils. Soil Science 99:398-402. 1965.
55. IGUE, K. y E. BORNEMISZA. El problema del zinc en suelos y plantas de regiones tropicales y de zonas templadas. Fitotécnica Latinoamericana 4(1):29-44. 1967.
56. JACKMAN, R. H. Organic phosphorus in New Zealand soils under pasture. II. Relation between organic phosphorus content and some soils characteristics. Soil Science 79:293-299. 1955.
57. JACKSON, M. L. Análisis químico de suelos. 2a ed. Trad. por J. Beltrán. Barcelona, Omega, 1970. 662p.
58. JOHNSON, M. C. Molybdenum. In CHAPMAN, D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp.286-301.
59. JONES, L. H. P. Interaction of molybdenum and iron in soils. Science 123:1116. 1956.
60. ———. The solubility of molybdenum in simplified system and aqueous soil suspensions. Journal of Soil Science 8(2):313-327. 1957.

61. JUNCA, S. C. Determinación de cobalto, cobre y molibde~~no~~ en algunos suelos de clima medio en el Departemen~~to~~ de Narin~~o~~. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Uni~~versidad~~ de Narin~~o~~, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1970. 101p.
62. KNOX, E. Criterios para clasificación de suelos según la Septima Aproximación en las tres categorías superiores. Publicación Miscelanea No 78. Turrialba, Costa Rica, IICA-OEA, 1971. pp.1-29.
63. KRAUSKOPF, K. B. Geochemistry of micronutrients. In MORTVEDT, J. J., et al., eds. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. pp.7-40.
64. LETELIER, E. Respuesta a la fertilización de los suelos volcánicos Chilenos (Trumaos), según resultados de en~~sayos~~ de campo. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. pp.C.3.1-C.3.14.
65. LOPEZ, A. M. Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. pp.C.1.1-C.1.8.
66. LUCAS, E. R. y D. B. KNEZEK. 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, 1972. pp.265-288.

67. LUNA, Z. C. Aspectos genéticos de andesoles en Colombia. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. A.3.1-A.3.13.
68. LUNA, Z. C. y G. F. CALHOUN. Suelos derivados de ceniza volcánica del Departamento de Nariño. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Dirección Agrológica, 1973. 157p.
69. MARTINI, J. A. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Centro América. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. pp.A.5.1-A.5.19.
70. MITCHELL, R. L. Trace elements in soils. In BEAR, F. E. ed. Chemistry of the soil. 2nd ed. New York, Reinold, 1964. pp.320-368.
71. MUÑOZ, H. H., M. J. TOBAR y C. S. BENAVIDES. Influencia del cobalto en la producción de leche. Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia) 6(1); 1974. 'En prensa).
72. 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.
73. OLARTE, L. I. y B. MOTTA. Deficiencia de boro en algunos suelos del Valle del Cauca. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1961. 27p.
74. OLSEN, S. R. Micronutrient interactions. In MORTVEDT, J. J., et al., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. pp.

243-264.

75. OLSON, V. R. Iron. In BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pp.962-973.
76. _____ y C. 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.
77. PAOLI, A. y M. LAURATI. Consideraciones sobre la importancia de los oligoelementos en el suelo. Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología, 1962. 177:6-14.
78. PRICE, C. A., et al. Functions of micronutrients in plants. In MORTVEDT, J. J., et al., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. pp.231-264.
79. RAVIKOVITCH, S., et al. Microelements in soils of Israel. Soil Science Society of America Proceedings 92(2):85-89. 1961.
80. REISENAUER, H. M. Availability assays of the secondary and micronutrient anions. In STELLY, M., ed. Soil testing and plants analysis. Part. I. Soil testing. Madison, Soil Science Society of America, 1967. pp. 71-102.
81. REUTHER, W. y K. LABANAUSZCAS. Copper. In CHAPMAN, M., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp.157-179.

82. ROYO, A. y J. GOMEZ. Datos para la geología económica de Nariño y Alto Putumayo. In Compilación de estudios geológicos oficiales en Colombia. Bogotá, Ministerio de Minas y Petroleos, 1949. pp.53-260.
83. RUBISTEIN, J. K. Determinación de cobre y zinc en suelos y plantas de café por espectrofotómetro de absorción atómica. Tesis Lic. Quim. San José, Universidad de Costa Rica, 1968. 68p.
84. 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. 107p.
85. SALAS, S. L. Determinación de cobalto, hierro, manganeso y zinc intercambiables en suelos del Altiplano de Ipiales, Departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1973. 76p.
86. SANCHEZ, B. y R. DIOS. Estudio químico de suelos naturales y agrícolas gallegos y de las reacciones entre su contenido en nutrientes; manganeso, hierro y aluminio. Anales de Edafología y Agrobiología 23:411-430. 1960.
87. SANTANA, CH. DE. Formas totales y disponibles de zinc, cobre, hierro, manganeso y molibdeno en los suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA-OEA, 1971. 86p.
88. SAUCHELLI, V. Trace elements in agriculture. New York, Reinold, 1969. 248p.

89. SCOTT, M. L. Trace elements in animal nutrition. In MORTVEDT, J. J., et al., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. pp.555-591.
90. 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.
91. SILVA, F. y M. OLARTE. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 2a ed. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1963. 144p.
92. SOTO, C. Estudio de la concentración y distribución de los micronutrientes en un trasecto de Nivara. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA-OEA, 1973. 139p.
93. STEEL, R. y J. TORRIE. Principles and procedures of statistics. New York, McGraw Hill, 1960. 481p.
94. STEVENSON, F. J. y M. S. ARDAKANI. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In MORTVEDT, J. J., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. pp. 79-114.
95. SWAINE, D. J. y R. L. MITCHELL. Trace elements distribution in soils profiles. Journal of Soil Science 11(2):347-368. 1960.
96. THOMPSON, L. M. Soil and soil fertilizer. 2nd ed. New York, McGraw Hill, 1957. 451p.

97. TISDALE, L. S. y W. L. NELSON. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. por Jorge Blasch y Carmen Biha. Barcelona, Montaner y Simón, 1970. 760p.
98. UEHARA, G. y J. KENG. Relaciones entre mineralogía y el manejo de los suelos en la América Latina. In BORNEMISZA, E., ed. El manejo de suelos y el desarrollo de la América Tropical. Palmira, CIAT, 1974. (En prensa).
99. VALDES, F. A. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. In IICA Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. pp.A.1.1-A.1.14.
100. VANSELOW, A. P. Cobalt. In CHAPMAN, H., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp.142-156.
101. VIETS, G. F., et al. Zinc deficiency in corn in Central Washington. Agronomy Journal 45:559-565. 1956.
102. _____ y C. L. BOAWN, Zinc. In BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pp.1090-1101.
103. VILLOTA, M. J. Determinación de boro, cobre, cobalto y molibdeno en suelos del Valle de Sibundoy, Intendencia Nacional del Putumayo. Tesis Ing. Agr. Pasito, Colombia, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, 1970. 74p.
104. VIVEROS, Z. M. Efecto del aluminio en la mineralización del nitrógeno en algunos suelos del Altiplano

de Pasto. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Narino, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1973. 107p.

105. WALLIHAN, F. E. Iron. In CHAPMAN, D. H., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp.203-212.
106. WEAR, J. I. Boron. In BLACK, C. A., et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1969. v.2. pp.1059-1065.
107. ———. y R. M. PATTERSON. Effect of soil, pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil. Soil Science Society of America Proceedings 26:344-346. 1962.
108. YOUNG, R. A. Some factors affecting the solubility of cobalt. Soil Science Society of America Proceedings 13:122-126. 1949.

ANT UNIVERSIDAD DE NARIÑO

631.44

Inventario: 15744

D 259

Autor: Dávila Muñoz, Alvaro E.

Título: Características generales,
criterios de-----

FECHA DEV.	NOMBRE	CARNET
	Sandra Flores	150
	Miguel Alvarez	23171246

AN
T
631.44
D259



15743

15743