

2

DETERMINACION DE ALUMINIO, BORO, COBRE, COBALTO, hierro, MANGANESO Y ZINC
INTERCAMBIABLES EN SUELOS DE LA SABANA DE TUQUERRES
DEPARTAMENTO DE NARIÑO

Por

BERNARDO CHAMORRO MORENO

CARLOS ECHEVERRIA PARRA

Tesis de grado presentada como requisito

parcial para optar al título de

INGENIERO AGRONOMO

Presidentes de tesis

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

JOAQUIN CAMBOA JAMES I.A., M.Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

PASTO - COLOMBIA

1.971

T
631.82
Ch448d

U

8600

sept 23/41

original onl autor

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

DEPARTAMENTO DE

CIENCIAS SOCIALES

INSTITUTO DE

"las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de grado,
son de responsabilidad exclusiva de sus autores".

Artículo 1º del Acuerdo N- 324 de 11 de Octubre de 1966,
emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad
de Nariño.

A MIS PADRES EDUARDO Y LUCIA

A MIS HERMANOS

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

DEDICO:

BERNARDO CHAMORRO MORENO

A LA MEMORIA DE MIS PADRES /

A MIS HERMANOS

A MIS FAMILIARES

~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~
A MIS AMIGOS

XX

XX

XX

XX

XX

XX

XX

XX

DEDICO:

CARLOS ECHEVERRIA PARRA

XX

XX

XX

AGRADECIMIENTOS A :

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

JOAQUIN GAMBOA JAINES I.A., M.Sc.

ESPERANZA RUBIO CAYCEDO

Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

Facultad de Agronomía de Palmira.

Laboratorio Químico Regional Cooperativo del Valle del Cauca CVC.

A todas las personas que en una u otra forma hicieron posible la realización del presente trabajo.

CONTENIDO

Pág.

I.	INTRODUCCION	1
II.	REVISION DE LITERATURA	3
2.1	ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA ESTUDIADA	3
2.2	SUELOS	3
2.3	MICRONUTRIMENTOS	4
2.3.1	<u>Aluminio</u>	4
2.3.2	<u>Boro</u>	6
2.3.3	<u>Cobre</u>	8
2.3.4	<u>Cobalto</u>	11
2.3.5	<u>Hierro</u>	13
2.3.6	<u>Manganeso</u>	16
2.3.7	<u>Zinc</u>	19
III.	MATERIALES Y METODOS	23
3.1	MATERIALES	23
3.2	METODOS	23
3.2.1	<u>Determinación de aluminio, boro, co</u> <u>bre, cobalto, hierro, manganeso y</u> <u>zinc intercambiables.</u>	23
3.2.2	<u>Preparación de la solución para la</u> <u>determinación de cobre, cobalto, hie</u> <u>rro, manganeso y zinc.</u>	25
3.2.3	<u>Determinación del cobre intercambiable</u>	25
3.2.4	<u>Determinación del cobalto intercambia-</u> <u>ble.</u>	25
3.2.5	<u>Determinación del hierro intercambia-</u> <u>ble.</u>	26
3.2.6	<u>Determinación del manganeso intercamb-</u> <u>iable.</u>	26

3.2.7	<u>Determinación del zinc intercambiable.</u>	26
3.2.8	<u>Determinación del aluminio intercambiable.</u>	27
3.2.9	<u>Determinación del boro intercambiable</u>	27
3.3	ANALISIS ESTADISTICO	28
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	33
4.1	ALUMINIO	33
4.2	BORO	36
4.3	COBRE	37
4.4	COBALTO	39
4.5	HIERRO	40
4.6	MANGANESO	41
4.7	ZINC	43
V.	CONCLUSIONES	59
VI.	RECOMENDACIONES	61
VII.	RESUMEN	62
	SUMMARY	64
VIII.	BIBLIOGRAFIA.	66

TABLAS

Pág.

TABLA	I. Cantidades de zinc disponibles extraídas con diferentes extractores y su deficiencia en <u>va</u> rios cultivos.	22
TABLA	II. Algunas características físicas de los suelos estudiados (Suelos).	29
TABLA	III. Algunas características físicas de los suelos estudiados (Sub-suelo).	30
TABLA	IV. Algunas características químicas de los <u>sue</u> los estudiados (Suelo).	31
TABLA	V. Algunas características químicas de los <u>sue</u> los estudiados (Sub-suelo).	32
TABLA	VI. Cantidades de micronutrientes intercambiables en los suelos y sub-suelos estudiados (Resul <u>t</u> ados en ppm).	45
TABLA	VII. Cantidades máximas, promedias y mínimas de <u>mi</u> cronutrientes intercambiables en los suelos y sub-suelos estudiados (Resultados en ppm.). .	46
TABLA	VIII. Matrix de correlación para diez y seis (16) <u>va</u> riables en los suelos estudiados.	47

FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de la zona estudiada en el departamento de Nariño. Sitios de toma de muestras.	24
Figura 2. Contenido promedio de hierro, zinc y aluminio intercambiables en los suelos y sub-suelos estudiados.	48
Figura 3. Contenido promedio de boro, cobre, cobalto y manganeso intercambiables en los suelos y sub-suelos estudiados.	49
Figura 4. Relación entre el aluminio intercambiable y el pH.	50
Figura 5. Relación entre el aluminio y hierro intercambiables	51
Figura 6. Relación entre el aluminio intercambiable y el contenido de materia orgánica.	52
Figura 7. Relación entre el pH y el contenido de materia orgánica.	53
Figura 8. Relación entre el aluminio intercambiable y el contenido de nitrógeno total.	54
Figura 9. Relación entre el pH y el contenido de nitrógeno total.	55
Figura 10. Relación entre el contenido de arcillas y el boro intercambiable.	56
Figura 11. Relación entre el calcio y el ^C _{bre} intercambiables.	57
Figura 12. Relación entre el pH y el hierro intercambiable.	58

DETERMINACION DE ALUMINIO, BORO, COBRE, COBALTO, HIERRO, MANGANESO Y ZINC
INTERCAMBIABLES EN SUELOS DE LA SABANA DE TUQUERRES

DEPARTAMENTO DE NARIÑO (+)

Por

BERNARDO CHAMORRO MORENO

CARLOS ECHEVERRIA PARRA

I. INTRODUCCION

En Colombia el estudio de los elementos menores intercambiables, ha sido escaso, a pesar de la importancia que tiene dentro de la fertilización de suelos. De ahí el interés de desarrollar investigaciones relacionadas con este aspecto.

Las estimaciones cuantitativas y cualitativas de micronutrientes en los suelos, señalan su capacidad de suministro en forma inmediata. Y así mismo permiten elaborar planes tendientes a mejorar la aplicación de fertilizantes.

El presente trabajo se desarrolló en suelos bajo condiciones de pradera de la Sabana de Túquerres; situada en el sur del Departamento de Nariño, donde predomina el clima frío.

(+) 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. y Joaquín Gamboa Jaimes I.A., M.Sc.

Se determinó la concentración de aluminio, boro, cobre, cobalto, hierro, manganeso y zinc intercambiables fácilmente solubles en agua, ácidos y bases diluidos, especialmente importantes en una acertada diagnosis de fertilidad.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA ESTUDIADA.

La Sabana de Táquerres está integrada por el Altiplano Táquerres-Ipiales y se localiza al sur-occidente de Colombia, en el Sur del Departamento de Nariño (70).

Geográficamente, la Sabana de Táquerres se encuentra al occidente del Meridiano de Greenwich, entre $0^{\circ} 52' 51''$ - $1^{\circ} 05' 25''$ de Latitud Norte; y $77^{\circ} 32' 24''$ - $77^{\circ} 47' 12''$ de Longitud (87).

La altura sobre el nivel del mar fluctúa entre 2.960 y 3.030 mts, con una precipitación media anual de 700 mm. y temperatura de 8°C . (87).

Según Espinal y Montenegro (38), de acuerdo al sistema propuesto por Holdridge, la Meseta de Táquerres se clasifica como Bosque húmedo montano (bh-M). Estos mismos autores (38), afirman que en este tipo de bosques, debido a que se presentan a mayor altitud que el bosque seco montano bajo, la temperatura es menor por lo cual aún con poca lluvia, su clima se presenta húmedo, debido a la baja eficiencia térmica que se traduce en una menor evapotranspiración.

Cerón (24), dice que las lluvias son frecuentes pero de poca intensidad y duración. El clima de la sabana constituye una zona de transición entre el piso térmico frío y el páramo bajo.

2.2 SUELOS

Los suelos de la Sabana de Táquerres, presentan un relieve ondulado, son muy profundos (90 a 180 cms) y sus rasgos son comunes a otros

suelos volcánicos. Tienen una alta capacidad de retención de humedad y elevados porcentajes de arenas. Son suelos medianamente meteorizados, con altos contenidos de materia orgánica y pH entre 5,1 y 6,6. De acuerdo a la 7a. aproximación estarían dentro de dos grandes grupos de suelos: Cryandepts y Vitrandepts (39).

2.3 MICRONUTRIMENTOS

2.3.1 Aluminio.

a) Importancia.

En los últimos años, el estudio del aluminio ha tenido gran incremento debido a la definitiva influencia que ejercen en la fertilidad y en algunas propiedades físico-químicas de los suelos (103).

Jackson (54) opina, que no abundan investigaciones que señalen el efecto fisiológico del aluminio en las plantas. Los resultados obtenidos demuestran que el aluminio es poco móvil y tiene mucha afinidad por la pectina, por lo cual se acumula en las paredes celulares. Debido a su escasa movilidad, las raíces retienen entre el 80 y 90% del aluminio existente en las plantas. El aluminio tiende a formar, en los tejidos vegetales compuestos insolubles con el fósforo, efecto que es dominado por la acción de los ácidos orgánicos mediante la formación de complejos de aluminio (58).

b) El aluminio en el suelo.

Según Bear (10), después del oxígeno y del silicio, el aluminio es el elemento que más abunda en la corteza terrestre, en las rocas ígneas y en el suelo.

El mismo autor (10) señala, que las fuentes de aluminio en el suelo son los aluminosilicatos de origen primario y secundario. Entre los minerales primarios que contienen dicho elemento se encuentran feldespatos, piroxenos, anfíboles y micas; entre los minerales secundarios se encuentran arcillas y óxidos de aluminio hidratado.

El aluminio en el suelo cumple dos funciones de especial importancia: hidrólisis y anfotrismo (93).

La acidez de los suelos, está relacionada con la actividad del aluminio de cambio a través de las reacciones de intercambio o hidrólisis, que se resumen de la siguiente manera: cuando el aluminio es desplazado de las arcillas mediante reacciones de intercambio se hidroliza en la solución del suelo produciendo hidrógeno.



El aluminio es readсорbido volviendo nuevamente a la posición de intercambio, y así sucesivamente (108).

El aluminio de cambio es un factor importante, ya que regula la fijación de fosfatos (13).

c) Contenido de aluminio en algunos suelos.

Según Jiménez y Ocampo (56), el contenido de aluminio intercambiable de los suelos nariñenses no es alto; en muchos casos no llega a 1 m.e./100 g. de suelo. Además, la concentración de aluminio intercambiable es más alta en los subsuelos que en los suelos.

Según los autores anteriores (56), en Nariño los con-

tenidos promedios de aluminio intercambiable en los suelos cultivados están comprendidos entre 11,70 ppm., al ser extraído con KCl, y 54,63 ppm. con NH_4OAc . Bajo condiciones de pradera presentan los siguientes datos: 166,86 ppm., cuando se emplea KCl y 52,75 ppm., con NH_4OAc . En suelos de bosque encontraron los siguientes promedios: 21,09 ppm., con KCl, y 52,41 ppm., cuando se utiliza NH_4OAc .

2.3.2 Boro

a) Importancia.

Se sabe que el boro es absolutamente indispensable para los vegetales; actúa principalmente como catalizador en la síntesis de elementos, e interviene en la formación de la pared celular (47).

Según Siddens (41), el boro juega un papel especial dentro de la división celular, e interviene en las enzimas de fosforilación y en la síntesis de la glutamina.

Miller (71) afirma, que el boro está asociado con la síntesis de proteínas y carbohidratos, actuando en el transporte de estos últimos; así mismo, interviene en la función fotosintética y está asociado con la actividad de los tejidos vasculares, especialmente con el floema. El boro actúa en la germinación del polen, formación de raíces, flores y frutos (55).

b) El boro en el suelo.

De los cuatro elementos esenciales para las plantas, que se presentan principalmente en forma de aniones (N, P, S y B), el que la planta necesita en menor cantidad es el boro (54).

2

Las aportaciones de boro al suelo proceden sobre todo del estiércol y de las aguas de lluvia (20 g. al año) (47).

El contenido de boro es menor en las rocas ígneas básicas que en las rocas ácidas, mientras en las rocas sedimentarias su contenido está en un punto medio de los dos anteriores (51).

La cantidad de boro soluble en agua, en los suelos cultivados, parece estar más influenciada por el pH que por otro factor qualquiera, sin embargo el contenido de materia orgánica, el contenido de coloides minerales, la edad del suelo y el sistema de irrigación que ha sido empleado en el suelo, merecen tenerse en cuenta (54).

En los suelos ácidos, el boro asimilable está en relación con la materia orgánica, en cambio en los suelos básicos de pH superior a 7,0, tiene más influencia el calcio que la materia orgánica (5).

c) Contenido de boro en algunos suelos.

El contenido de boro en el suelo normalmente oscila entre 45 y 225 kg. en la capa arable de una hectárea (8).

En los suelos del Valle del Cauca comprendidos entre Palmira y el Río Fraile, Bravo (19) llegó a la conclusión de que son pobres en boro. Olarte y Notta (76), encontraron en algunos suelos del Valle del Cauca el contenido de boro total oscilaba entre 17 y 96,25 ppm. mientras que el boro soluble en agua se encontraba en cantidades inferiores a 1 ppm.

Villota (105) encontró que los contenidos promedios de boro total en el Valle de Sibundoy, oscilaban entre 63,52 y 24,28 ppm.

En los Estados Unidos, se encontró que los suelos tienen un contenido de boro total que varía entre 4,0 y 98,0 ppm. (9).

Gupta (48), indica que en suelos podsólicos de Nueva Escocia y New Brunswick (Canadá), el boro total en el suelo oscilaba entre 66 y 105 ppm., mientras que el boro soluble en agua llegó hasta 2,8 ppm.

En relación a los niveles críticos de boro aprovechable del suelo, extraído con agua caliente, Reisenauer (84) establece los siguientes criterios:

Boro soluble en agua

ppm.

0,1 - 0,7	Deficiente
0,7 - 1,0	Adecuado
1,0 - 5,0	Tóxico

2.3.3 Cobre.

a) Importancia.

El papel del cobre en la fisiología de la planta es importante y mal conocido. (47). Parece ser necesario en la nutrición animal por cuanto interviene en los procesos de oxidación y en la transferencia de energía (4, 45).

Aunque no se conocen los efectos completos del cobre en la fisiología vegetal, Okuntsov citado por Blasco (14), señala que el cobre tiene la función especial de retardar la descomposición de la clorofila.

Según Bear (9), la mayor parte de las plantas contienen

menos de 10 ppm. de cobre, calculado sobre la materia seca, y normalmente muestra efectos tóxicos cuando se halla en una proporción de 30 ppm.

El cobre es extraído por las cosechas en cantidades muy pequeñas (alrededor de 60 g/año) (47).

b) El cobre en el suelo.

Las cantidades de cobre en los suelos son muy variables. Así, si los suelos se han desarrollado en regiones ricas en cobre o sobre yacimientos, el contenido puede ser de 0,1% (14).

Según Hodgson y Vinogradov (51, 104), la cantidad promedio mundial de cobre total en los suelos es de 20 ppm. Las rocas básicas contienen más cobre, 140 ppm. en promedio, que las rocas sedimentarias 57 ppm., y las rocas ácidas 30 ppm. (65, 100).

Blasco (14), conceptúa que el cobre tiene mucha afinidad por el humus, resultando fuertemente fijado en suelos con alto contenido de materia orgánica.

La materia orgánica contribuye a la fijación del cobre, con el cual forma un complejo organo-metálico a partir de los ácidos húmicos y fúlvicos, y la retención por parte de la materia orgánica es mucho más fuerte que por la arcilla, probablemente se deba a que en esta última hay una mayor capacidad de retención de agua (51, 100).

+ Según estudios de Davies y Ellis (30, 37), la cantidad de cobre intercambiable es menor en suelos orgánicos y la fuerza de retención por la materia orgánica aumenta a medida que el cobre disminuye.

El cobre en forma asequible, aparece en la solución del suelo o en la posición de intercambio, y es fácilmente reemplazable por otros cationes (34, 29). Parece ser que la mayor asequibilidad del cobre está relacionada con una reacción ácida del suelo, dominando la forma Cu^{++} cuando el pH es superior a 5, mientras que en regiones más ácidas predomina la forma Cu^+ (2, 42). Los suelos orgánicos o suelos con abundante materia orgánica se consideran deficientes en cobre intercambiable (100).

c) Contenido de cobre en algunos suelos.

Barros (6), dice que los contenidos de cobre total son relativamente bajos en suelos y subsuelos del Altiplano de Pasto (aproximadamente 75 ppm.).

En suelos de clima medio, en el Departamento de Naríño se encontraron cantidades de 11 ppm. con un máximo de 30 ppm. de cobre total (59).

Villota (105), anota que el cobre total promedio en el Valle de Sibundoy es de 38,7 ppm. a una profundidad de 35 cms. y de 28 ppm. en los subsuelos a más de 35 cms. de profundidad.

El promedio de cobre disponible, extraído con NH_4OAc a pH 4,8, encontrado en los suelos de Bahía, Brasil fue de 0,5 ppm. en los suelos y subsuelos (32).

Rubinstein (89), encontró que en suelos andosoles de Costa Rica se presentaban las siguientes cantidades de cobre disponible:

Profundidad en cms.	ppm.
0 - 30	17,4
30 - 60	19,9

2.3.4 Cobalto.

a) Importancia.

El cobalto es un elemento indispensable, tanto para los animales como para los vegetales, es esencial en la síntesis de la cobalamina, la que actúa como factor de mantenimiento de la flora intestinal (15).

Otro aspecto importante del cobalto en los animales, es que hace posible la sintetización de la hemoglobina de la sangre; por esta razón, los animales han de encontrar en sus forrajes este elemento en pequeñas cantidades para evitar el riesgo de enfermedades (47).

Los requerimientos de cobalto en la nutrición animal son de 0,08 a 1,0 ppm. (1, 74). Además, el cobalto influye favorablemente en la producción lechera (38).

En las plantas, no solo es necesario para la fijación del nitrógeno en las leguminosas, por medio del género Rhizobium, sino que además interviene en la formación de la vitamina B-12 (12, 23, 100).

b) El cobalto en el suelo.

El cobalto abunda más en suelos derivados de rocas ígneas básicas, es deficiente en suelos derivados de rocas ígneas básicas, calcíticas, dolomíticas y en suelos arenosos (99).

También se encuentra cobalto asociado con el níquel en rocas básicas, ultrabásicas y unido al azufre en suelos provenientes de serpentinas. Pueden producir substituciones isomórficas en rocas básicas, por su semejanza de radio iónico con el Mg^{++} , Fe^{++} , Ni^{++} o incluso Ti^{++} .

(44, 73). Así mismo, la presencia de cobalto viene relacionada con el material parental (44, 61).

Como catión de cambio, el cobalto está en los suelos en las formas de Co^+ o como divalente Co^{++} (78). De igual manera, el cobalto aparece en la forma Co^{+++} trivalente, generalmente formando complejos orgánicos (51).

Las investigaciones de Spencer y Gieseking (94), demuestran que el cobalto en su mayor parte está retenido por el retículo cristalino de los minerales y no es rápidamente disponible para las plantas. También aparece retenido por las arcillas, siendo mayor su retención en las arcillas expandibles del tipo montmorillonita (44).

De acuerdo a Hodgeon (51), la unión entre el cobalto y la arcilla se realiza a través de los OH^- situados en las superficies basales de los minerales secundarios, e igualmente es posible su difusión sólida entre las estructuras de los minerales.

En relación con los factores que afectan el cobalto, Young (107) indica que el elemento es soluble a pH bajos, disminuyendo su solubilidad a medida que el pH aumenta. Al respecto, Hill et al (49) señalan que las malas condiciones de drenaje aumentan la solubilidad del cobalto.

Según Singh y Singh citados por Villota (105), no existe relación entre la asequibilidad del cobalto y el contenido de materia orgánica de los suelos.

c) Contenido de cobalto en algunos suelos.

En los suelos de regiones tropicales, los estudios sobre

el cobalto son relativamente escasos, Villota (105) encontró aproximadamente 9,4 ppm. de cobalto total en suelos y subsuelos del Valle de Sibundoy. Junca (59) indica, un contenido aproximado de 9,0 ppm. de cobalto total en algunos suelos de clima medio en el departamento de Mariño. Barros (6) determinó aproximadamente 4,5 ppm. de cobalto total en suelos y subsuelos volcánicos del Altiplano de Pasto.

Los estudios efectuados por Paoli y Laurati (78), en las provincias de Buenos Aires y Tierra del Fuego (Argentina), indican que el contenido total de cobalto es muy bajo y comprende valores entre 0,7 y 3,0 ppm. En los suelos de Africa Oriental, los resultados varían entre 0,2 y 9,0 ppm. de cobalto total (25, 73). En las praderas de Uruguay los valores determinados son altos, llegan hasta 76,4 ppm., en promedio de cobalto total (1).

2.3.5 Hierro.

a) Importancia.

A pesar de que casi todos los suelos contienen hierro en cantidad suficiente para cubrir las necesidades de las plantas, en ciertos casos se encuentra en forma tal que es inasequible, para las plantas y, si es absorbido en diversas formas, no es translocado y, por lo tanto, no útil para los vegetales (5).

El problema del hierro radica sobre todo en la facilidad para su asimilación y utilización por la planta cuando el pH baja, produciéndose así niveles tóxicos. La planta necesita absorber hierro para desarrollarse normalmente y especialmente para sintetizar la clorofila, así como en los animales para la hemoglobina (47).

Según Hill y Lehman (50), el hierro precede siempre a la clorofila en su aparición y descomposición; pero este no está directamente en la estructura de la misma (96). El hierro es necesario para las regiones meristemáticas, en donde las células se multiplican y crecen rápidamente. Es necesario para las enzimas de mitocondria y para el crecimiento de los cloroplastos (46).

De la misma manera, el hierro se halla localizado en el embrión o endosperma, durante la germinación es empleado por la planta en la formación del núcleo de las células de los tejidos de crecimiento. Así mismo, el hierro activo afecta a la proteína Fe-porfirina que actúa como transportadora de electrones, de oxígeno, activa el O_2 y descompone el peróxido de hidrógeno (H_2O_2). También es un importante catalizador y actúa en las reacciones de oxidación-reducción (14).

b) El hierro en el suelo.

El hierro está presente en el suelo en grandes cantidades y su promedio, en los latosoles, oscila entre 0,5 y 5%. En los suelos ferruginosos el contenido de hierro puede llegar a más del 60% (14, 17).

El hierro en el suelo se presenta en las formas iónicas, ferrosa Fe^{++} y férrica Fe^{+++} , siendo más soluble la primera forma que predomina en los suelos de pH más bajos, (14).

La distribución del hierro en el perfil de los suelos minerales, puede estar asociada con las arcillas minerales depositadas durante los procesos de formación y desarrollo de los suelos. En el caso del hierro, este puede estar asociado mayormente, con la distribución de óxidos hidratados de hierro y aluminio (72).

Según Blasco (14), en los suelos tropicales, los óxidos de hierro y sus hidratos: hematita, limonita, gohetita, etc., constituyen una gran mayoría en los perfiles, interviniendo directamente en la brillantez y coloración de los mismos.

El hierro en el suelo proviene de los minerales primarios como hornblenda, biotita y clorita; y de los minerales secundarios como óxidos e hidróxidos (91).

A medida que el pH del suelo va aumentando, el hierro se precipita insolubilizándose, pudiendo ocurrir algunas deficiencias en las plantas (14).

Según Bear (10), al reaccionar los carbonatos (CO_3) con el hierro, se reduce la aprovechabilidad de éste, por que el ión ferroso Fe^{++} , asimilable por las plantas en suelos de pH elevado, ha pasado a ión férrico Fe^{+++} no asequible para las plantas.

e) Contenido de hierro en algunos suelos.

De Santana (32) en Bahía, Brasil, encontró que el contenido promedio de hierro disponible extraído con $\text{NH}_4\text{OAc.H}$ pH 4,8, en los suelos fué de 28,9 ppm. y en los subsuelos de 20,8 ppm.

En suelos aluviales de California, Bradford et al., citados por De Santana (32) encontraron a las siguientes profundidades: 0-30, 30-96 y 96-180 cms. cantidades respectivas de hierro total equivalentes a 24.400, 23.000 y 24.000 ppm.

Sanchez y Dios (90), determinaron en suelos ácidos de España las siguientes cantidades de hierro disponible extraídas con NH_4

OAc. pH 7:

Profundidad cms.	ppm.
0 - 10	4,3
10 - 25	0,8
25 - 54	0,7
54 - 90	4,0
+ de 90	Trazas

En suelos forestales de Escocia, Swind y Mitchell (98) encontraron las siguientes cantidades de hierro disponible extraídas con ácido acético 5% :

Profundidad cms.	ppm.
6 - 20	10,0
33 - 48	5,0
60 - 76	5,0
90 - 106	5,0

2.3.6 Manganeso.

a) Importancia.

La importancia fisiológica del manganeso, especialmente para la formación de la clorofila, ha sido puesta de manifiesto en muchos trabajos.

Burger y Hauge (21), señalan que el manganeso incrementa el contenido de caroteno de las hojas. También aumenta el contenido de ácido ascórbico de las partes verdes de la planta (67).

El manganeso retenido para el desarrollo del ciclo de

Krebs, tiene influencia directa en los procesos de oxidación-reducción, además interviene en diversas reacciones enzimáticas, principalmente glicólisis y es requerido para el funcionamiento de muchas enzimas, tales como peptidasa y carboxilasa, etc. (3).

Gros (47), dice que la mayoría de las plantas extraen pequeñas cantidades de manganeso (400 a 500 g.), y que el contenido en el suelo en este elemento puede ser ampliamente suficiente para satisfacer esas necesidades; sin embargo, el manganeso del suelo puede estar en forma no asimilable, dando lugar a la aparición de carencia del elemento.

b) El manganeso en el suelo.

Según Goldschmit (43) el manganeso constituye el 0,09% de la corteza terrestre. Las cantidades totales más generalizadas se hallan comprendidas entre 0,005 a 0,05%, con un promedio cercano al 0,1% en los suelos agrícolas, presentándose en forma de Mn^{++} , Mn^{+++} y Mn^{++++} (14).

Como se anota anteriormente, el manganeso puede estar presente en el suelo en las formas di, tri y tetravalentes, de las cuales se considera útil para las plantas únicamente la forma divalente o reducida. Las plantas no pueden aprovechar las otras dos (100).

Leeper (64), indica que en los suelos bien aireados y con pH entre 6,0 y 7,5, los microorganismos del suelo pueden oxidar la forma divalente del manganeso, siendo este proceso muy rápido; en suelos mal drenados ocurre el proceso contrario. En suelos alcalinos, gran parte del manganeso se puede presentar en la forma trivalente, siendo considerada como primer producto de la oxidación del manganeso divalente del suelo (33).

La aprovechabilidad del manganeso depende del pH del suelo, del contenido de cal y fósforo y de la presencia de ciertos compuestos reductores y oxidantes (5).

En cuanto al pH del suelo, existe una buena asociación con el contenido de manganeso disponible, ya que a medida que aumenta el pH, el contenido de manganeso disponible disminuye (90).

La forma intercambiable del manganeso en el suelo corresponde al MnO , mientras que las formas insolubles son MnO_2 y Mn_2O_3 ; aunque este último puede reducirse parcialmente, pasando a la posición de intercambio (35).

Blasco (14), dice que los suelos arcillosos contienen una mayor cantidad de manganeso que los suelos arenosos y que el manganeso en la mayoría de los casos se acumula en el horizonte A_1 .

c) Contenido de manganeso en algunos suelos.

Según Roldán (88), en suelos latosólicos y suelos aluviales de Costa Rica, existen 3,8 y 10,0 ppm. respectivamente, de manganeso disponible extraído con NH_4OAc pH 7,0, con muestras tomadas a 20 cms. de profundidad.

En suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil, se encontró que las cantidades promedio de manganeso disponibles extraídas con HCl 0,1N, Na_2EDTA al 1% y NH_4OAc 1N a pH 4,8 y 7,0 son respectivamente 238,4, 413,4, 89,7 y 31,7 ppm. Para los subsuelos los valores fueron 223,9, 99,4, 17,5 y 6,7 ppm. (32).

De acuerdo a Castro (22), el contenido total de manganeso en suelos volcánicos de Nariño, presenta un promedio de 1.099,6 ppm., para los suelos y 1.111,1, para los subsuelos. El mismo autor (22) anota, que en los suelos de clima medio nariñense hay abundancia de manganeso,

3

pero que por su distribución geográfica, es bastante irregular. El manganeso de cambio en suelos volcánicos nariñenses presenta un promedio de 16,4 ppm. en suelos de clima medio con extracción efectuada con NH_4OAc normal y neutro, y 8,9 ppm. en los subsuelos.

El contenido de manganeso total para la sabana de Bogotá es de 259,9 ppm. en promedio (11).

2.3.7 Zinc.

a) Importancia.

El papel que desempeña el zinc como activador de, por lo menos, nueve sistemas enzimáticos en las plantas, ha sido establecido claramente según estudios de Muller, citado por Igue y Bornemisza (53).

El zinc al igual que el cobre, actúa como catalizador y regulador del metabolismo, particularmente en lo que respecta a los procesos de oxidación-reducción (47).

Stiles (95), señala que el zinc influye en el funcionamiento de la cisteína y en las reacciones de oxidación-reducción de la planta. Además, el zinc entra en la composición de la molécula de la enzima anhidrasa carbónica.

b) El zinc en el suelo.

La abundancia de zinc en la corteza terrestre es de 80 ppm. Su contenido en los suelos es de 40 ppm., aproximadamente, con un rango para la mayor parte de los suelos entre 100 y 200 ppm. (72).

El zinc es un elemento que contribuye poco a la composición total de los suelos, ya que la mayoría de los minerales que lo contie-

(4)

non se meteorizan con facilidad (72).

Según Jones et al., citados por De Santana (32), el zinc es un elemento mineral que se mueve muy poco en el perfil del suelo.

Según Sauchelli (91), el zinc se encuentra en el suelo formando complejos orgánicos o combinado con varios minerales, en posiciones de intercambio de los coloides del suelo y en equilibrio dinámico con la fracción existente en la solución del suelo.

La retención del zinc en los coloides del suelo, en relación con los cationes presentaría el siguiente esquema (100):



Teniendo en cuenta las características de la roca madre, los suelos provenientes de material ígneo básico tendrán suficiente zinc en la generalidad de los casos, en cambio en los suelos con material parental ígneo ácido es probable que se presente deficiencia de zinc (10). Sin embargo, Powers citado por De Santana (32), dice que en suelos de reacción ácida o neutra el contenido de zinc es mayor que en suelos de reacción alcalina.

Vinogradov (104) indica, que en los suelos de mayor permeabilidad, como sucede con los de textura liviana o en las lateritas de los trópicos, el contenido de zinc tiende a ser bajo.

Elgabaly (36), demostró que en los suelos en los cuales las arcillas tienen la relación Si-Mg baja, el zinc se fija en forma no asequible para las plantas, al menos en forma rápida.

(5)

Barrows y colaboradores (17), señalan que el movimiento del zinc en los suelos varía con la textura, disminuyendo de suelos arenosos a francos.

c) Contenido de zinc en algunos suelos.

Rubinstein (89), encontró que en suelos andosoles de Costa Rica el contenido de zinc disponible extraído con HCl 0,1N era:

Profundidad cms.	ppm.
0 - 30	7,2
30 - 60	4,9
60 - 90	3,8

En Costa Rica, Marinho (66) indica que el contenido de zinc disponible en suelos aluviales a una profundidad de 20 cms, era de 8,1 ppm. al determinarse con HCl 0,1N.

De Santana (32), en suelos de la región caacatera de Bahía, Brasil, encontró que los promedios de zinc total para los horizontes A, B-C eran respectivamente, 40,4, 34,4 y 33,8 ppm. Para el zinc disponible el mismo autor (32) encontró que los promedios generales eran: 3,9, 2,2 y 0,1 ppm., extraídos con NH_4OAc pH 4,8.

En suelos arenosos de Israel, Ravikovitch et al. (82), encontraron que las cantidades de zinc disponible extraídas con EDTA a diferentes profundidades eran:

Profundidad cms.	ppm.
0 - 30	4,3
30 - 60	3,3
60 - 90	3,3

6

En suelos muy variables, Igue y Bornemisza (53), indican que se ha observado parte de zinc en plantas que necesitan de este elemento. Explican además, que la razón principal de esta situación reside, no tanto en las cantidades totales bajas del elemento, sino más bien en la baja disponibilidad del zinc presente, causado por una variedad de razones, incluyendo una retención bastante fuerte del zinc con la materia orgánica y por el complejo coloidal de las arcillas.

Los mismos autores (53) compilan algunos criterios para niveles deficientes y normales, obtenidos por diferentes autores en varios cultivos. Estos criterios se presentan en la siguiente tabla.

TABLA 1. Cantidades de zinc disponibles extraídas con diferentes extractores y su deficiencia en varios cultivos.

Cultivo	Zinc disponible ppm.		Método de extracción
	Deficiente	Normal	
Piña	1,00	1,0 - 2,6	NH ₄ OAc -dithisona
Piña	0,07	0,07- 0,12	H ₂ O saturado con CO ₂
Frijol	1,4 - 11,7	4,4 -19,0	Dithisona
Frutas	2,6 - 5,9	3,4 - 6,03	HCl 0,1N
Maiz	0,55-	0,55	NH ₄ OAc Dithisona
Sorgo perla	0,26	0,4	MgCl ₂ 2N.
Varios illinois	0,6 - 2,88	1,6 - 21,05	Aspergillus niger
26 cultivos	0,05	0,27	NH ₄ OAc Dithisona
26 cultivos	0,93	1,8	HCl 0,1N.

Tomado de Igue y Bornemisza, (53).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIALES

La presente investigación se realizó utilizando las mismas muestras de suelos empleadas por Feuillet y Feuillet (39).

Se tomaron muestras de los primeros horizontes, en 10 perfiles de suelos diferentes, bajo condiciones de pradera en la Sabana de Táquerres.

Los sitios escogidos fueron: El Espino, Recta de Guachuca, Entrada a Guachuca, Recta a Cumbal, Tasmá (Vía a Miraflores), Providencia (Vía a Panam), Puente de San Juan (Vía a Sapuyes), Puente de Cuallanquiza, San Roque (Vía a Olaya) y Táquerres, Figura 1.

Las características generales de estos suelos aparecen en las Tablas II, III, IV y V, la determinación de dichas propiedades fueron realizadas por Feuillet y Feuillet (39).

3.2 METODOS

3.2.1 Determinación de aluminio, boro, cobre, cobalto, hierro, manganeso y zinc intercambiables.

Para la determinación de aluminio, boro, cobre, cobalto, hierro, manganeso y zinc intercambiables, se siguieron los métodos de Chang y Jackson con las modificaciones propuestas por Yang (+).

(+) Información personal. Palmira.

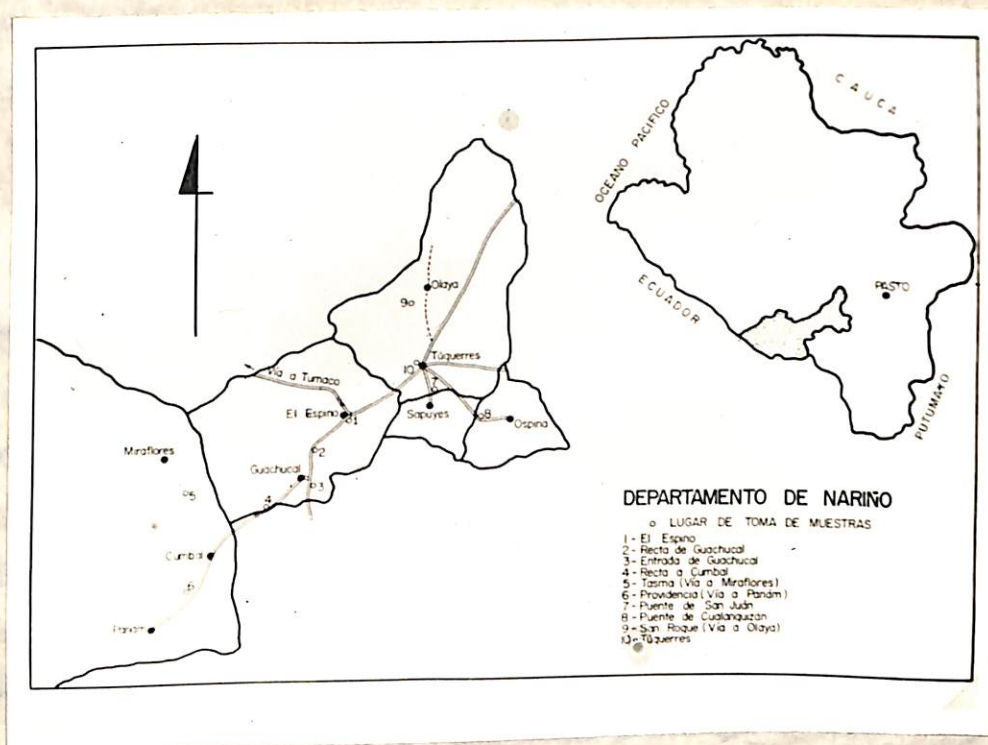


Figura 1. Localización de la zona estudiada en el departamento de Nariño. Sitios de toma de muestras.

Fotocopia: A. Duarte

(NaOH) 2N; se recoge en balones para leer en el espectrofotómetro con una longitud de onda de 420 mμ. Se lleva un blanco, con el procedimiento anterior.

3.2.5 Determinación del hierro intercambiable.

En un balón de 25 ml. se agregan 10 ml. de la solución A; donde se adicionan 0,5 ml. de clorhidrato de hidroxilamina ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$), un ml. de 0-fenantrolina y se agita; enseguida se adicionan 3 ml. de acetato de amonio y se enrasa con agua destilada. Se lee con una longitud de onda de 515 mμ. Se lleva un blanco.

3.2.6 Determinación del manganeso intercambiable.

Se toman 10 ml. de la solución A, en un erlenmeyer de 250 ml., se llevan a sequedad y se enfrían. Se adicionan 2 ml. de agua oxigenada del 30%; 3 ml. de ácido nítrico concentrado y se pone a hervir hasta que los vapores sean tensos; luego se lleva a sequedad en la plancha. En estas condiciones se agregan a cada una de las muestras 10 ml. de ácido fosfórico (H_3PO_4) y nuevamente se coloca en la plancha, hasta que comience la ebullición, se deja enfriar hasta una temperatura de 50°C. Se adicionan luego 10 ml. de agua y se agita; 2 ml. de peróxido de sodio, se calienta al baño María hasta que aparezca el color púrpura y se fija. Se lee con una longitud de onda de 540 mμ. Se lleva un blanco para determinar la pureza de los reactivos.

3.2.7 Determinación del zinc intercambiable.

Se toman 5 ml. de la solución A, y se colocan en un embudo de separación, luego se agrega 10 ml. de agua destilada. Se añaden 2 ml. de citrato de sodio bien mezclado, 5 ml. de acetato de sodio, 3 ml. de carbonato de sodio,* más 3 gotas de azul de timol a cada muestra. Se controla el pH entre 8,5 y 8,8 con hidróxido de amonio y ácido

clorhídrico. Luego se adiciona 10 ml. de dithizona, se agita durante 10 minutos, se lava con agua y sulfito de sodio hasta que la solución quede incolora, se lee a 540 mμ. Se lleva un blanco.

3.2.8 Determinación del aluminio intercambiable.

Se pesan 10 grs. de suelo, se pasa a erlenmeyers de 250 ml., se agregan 50 ml. de cloruro de potasio (KCl) y se agitan durante 5 minutos. Se filtra, se lava unas 5 veces con porciones de 10 ml. de cloruro de potasio, se termina de lavar con agua.

Se agregan 5 gotas de anaranjado de metilo; en estas condiciones se titula con hidróxido de sodio 0,05 N (NaOH), hasta que se presente una coloración rosada. Se obtiene el resultado de acuerdo a la siguiente fórmula: m.e./100 g de aluminio = $V.N.100/100$.
V = volumen, N = normalidad.

Los m.e./100 gr. de aluminio se multiplican por el factor 90, para determinar las partes por millón en el suelo.

3.2.9 Determinación del boro intercambiable.

Se pesan 50 grs. de suelo de cada una de las muestras, se agregan 50 ml. de agua destilada y se calienta hasta ebullición en un lapso comprendido entre 5 y 10 minutos. Se deja enfriar, se adicionan 40 mg. de cloruro de calcio (CaCl_2) y se filtra hasta que éste quede limpio.

Se toman 10 ml. del filtrado en un crisol de porcelana y se agregan 2 ml. de solución saturada de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$): se evapora a sequedad y luego se calcina a 600°C , se deja enfriar y se agregan 5 ml. de ácido sulfúrico concentrado.

En un balón aferado, de 25 ml. , se toman 5 ml. de la alícuota, se adicionan 2 gotas de ácido clorhídrico concentrado, 10 ml. de carmín y se lleva a volúmen, con ácido sulfúrico. Se deja que el color se fije, por espacio de 24 horas y se mide en el espectrofotómetro con una longitud de onda de 610 mμ. El blanco y los patrones llevan el mismo procedimiento.

3.3 ANALISIS ESTADISTICO

Para el análisis estadístico de los resultados, se utilizaron criterios de regresión y correlación.

Los análisis de asociación, representados en las correlaciones y los análisis de tendencia, caracterizados por las ecuaciones de regresión, fueron efectuados en una computadora electrónica I.B.M.

TABLA II

ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS (SUELO)

Nombre de la muestra	Prof. en cms.	Humedad %	C O L O R		Arena %	Arcillas %	Limos %	Textura
			En seco	En húmedo				
EL ESPINO	0 - 90	34,34	10YR-3/2	10YR-2/1	63,80	11,40	24,80	F - A (+)
HECTA DE GUACHUCAL	0 - 60	29,57	10YR-4/1	10YR-3/1	61,44	9,60	28,96	F - A
ENTRADA A GUACHUCAL	0 - 70	31,84	10YR-4/1	10YR-3/1	56,08	15,20	28,72	F - A
HECTA A CUMBAL	0 - 100	25,69	10YR-3/1	7,5YR-2/0	56,20	13,40	30,40	F
TASMA	0 - 100	16,97	10YR-4/1	10YR-3/1	52,40	13,60	34,00	F
PROVIDENCIA	0 - 180	44,72	10YR-3/1	7,5YR-2/0	69,20	10,80	20,00	F - A
PUNTE DE SAN JUAN	0 - 70	15,02	10YR-3/1	7,5YR-2/0	48,40	16,80	34,80	F
PUNTE DE CUALANQUIZAN	0 - 110	12,64	10YR-4/1	10YR-2/1	49,60	30,40	20,00	F - Ar
SAN ROQUE	0 - 120	64,96	10YR-3/1	7,5YR-2/0	68,40	23,60	8,00	F - Ar - A
TUQUERMA	0 - 90	36,13	10YR-7/2	10YR-4/3	71,60	8,80	19,60	F - A

(+) F = Franco; A = Arenoso; Ar = Arcilloso.

TABLA III

ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS (SUB-SUELO)

Nombre de la muestra	Prof. en cms.	Humedad %	C O L O R		Arena %	Arcillas %	Limos %	Textura
			En seco	En húmedo				
EL ESPINO	90 - 130	4,94	10YR-6/4	7,5YR-4/4	75,96	6,20	16,84	A - F(+)
RECTA DE GUACHUCAL	60 - 150	17,51	10YR-6/2	10YR-3/3	54,32	11,00	34,68	F
ENTRADA A GUACHUCAL	70 - 150	21,77	10YR-5/3	10YR-3/3	51,84	24,08	24,08	F - Ar - A
RECTA A CUMBAL	100 - 170	8,37	2,5YR-8/2	10YR-6,3	43,60	19,60	46,70	F
TASHA	100 - 250	29,44	10YR-8/4	10YR-4/4	42,40	13,60	34,00	F
PROVIDENCIA	180 - 210	9,71	10YR-5/4	10YR-3/3	36,00	14,00	50,00	F - L
PUNTE DE SAN JUAN	70 - 120	23,85	10YR-6/8	7,5YR-5/6	34,00	39,60	26,40	F - Ar
PUNTE DE GUALANQUIZAN	110 - 260	26,04	10YR-7/2	2,5YR-5/2	46,80	32,40	20,80	F - Ar
SAN ROQUE	120 - 145	28,61	10YR-7/3	7,5YR-4/4	60,00	8,80	31,20	F - A
TUQUERRES	90 - 130	21,07	10YR-8/1	2,5YR-6/2	37,20	38,80	24,00	F - Ar

(+) F = Franco; A = Arenoso; Ar = Arcilloso; L = Limoso

TABLA IV

ALGUNAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS (SUELO)

Nombre de la muestra	pH	C %	N %	M.O. %	C/N	C.C.O. m.c./ 100 gr	Iones cambiables en ppm.			
							K	Ca	Mg	Na
EL ESPINO	5,1	1,61	0,51	2,77	3,15	20,22	104,11	161,20	490,06	39,63
RECTA DE GUACHUCAL	6,2	5,45	0,37	9,39	14,50	16,10	237,31	816,29	617,17	84,87
ENTRADA A GUACHUCAL	6,3	3,60	0,24	6,20	14,40	16,60	723,37	4.144,60	2.019,16	117,68
RECTA A GUMRAL	5,5	5,30	0,34	9,13	15,40	23,63	125,69	3.946,66	2.026,62	144,54
TASMA	5,7	4,21	0,35	7,25	11,82	16,00	479,57	1.087,82	961,49	94,16
PROVIDENCIA	5,6	6,94	0,38	11,96	17,90	16,64	151,95	3.111,48	1.101,61	89,73
PUEBLO DE SAN JUAN	5,9	2,76	0,35	4,75	7,73	19,84	609,60	2.748,97	1.398,64	47,16
PUEBLO DE CUALANQUIZAN	5,8	2,25	0,11	3,87	19,90	21,51	444,93	3.108,86	1.953,17	114,89
SAN ROQUE	5,9	5,77	0,38	9,94	15,10	19,50	276,31	280,43	1.604,73	885,83
TUQUERRES	6,6	0,33	0,10	0,56	3,11	22,05	775,94	4.097,51	1.903,64	110,94

TABLA V

ALGUNAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS (SUB-SUELO)

Nombre de la muestra	pH	C %	H %	M.O. %	C/N	C.O.G. m.e./ 100 gr	Bases cambiabiles en p.p.m.			
							K	Ca	Mg	Na
EL ESPILO	6,8	0,94	0,07	1,62	12,70	13,54	123,30	41,97	283,37	34,11
RECTA DE GUACHUCAL	5,8	1,65	0,11	2,84	15,00	9,05	185,07	763,81	680,14	79,32
ENTRADA A GUACHUCAL	6,6	1,82	0,08	3,13	20,70	15,16	627,02	2.289,27	1.741,31	172,91
RECTA A CUMERAL	6,7	0,39	0,08	0,67	4,48	8,70	387,42	574,36	956,69	141,96
TASMA	6,4	0,77	0,12	1,32	6,40	11,20	152,09	1.301,34	1.378,79	331,37
PROVIDENCIA	5,8	1,32	0,10	2,27	13,20	4,50	82,29	104,22	434,89	32,91
FUENTE DE SAN JUAN	6,5	0,30	0,05	0,51	15,30	12,70	603,89	2.501,77	1.771,05	215,45
FUENTE DE GUALANQUIZAN	6,1	0,75	0,09	1,29	8,30	6,30	286,74	3.478,70	306,53	159,44
SAN ROQUE	6,2	1,93	0,13	3,32	14,50	12,98	623,76	874,54	860,14	279,73
TUQUERRES	6,7	1,16	0,05	2,00	20,71	12,83	709,47	1.816,05	1.068,80	63,56

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla VI. En las Figuras 2 y 3, se observan los contenidos promedios de los elementos estudiados para suelos y subsuelos.

Los valores máximos, promedios y mínimos de los microelementos estudiados se encuentran en la Tabla VII.

En la Tabla VIII se presenta la matrix de correlaciones para las variables estudiadas.

4.1 ALUMINIO

El aluminio de cambio en los suelos, tuvo un promedio de 84,0 ppm. con un máximo de 157,5 ppm. (Recta de Guachuca) y un mínimo de 29,25 ppm. (Entrada a Guachuca). En los subsuelos, el promedio fué de 57,36 ppm., con un máximo de 139,5 ppm. (Recta de Guachuca) y un mínimo de 33,48 ppm. (Entrada a Guachuca y Recta a Cumbal).

Los anteriores valores son, en promedio, inferiores a los encontrados por Jiménez y Ocampo (56), al estudiar varios suelos de Maricao bajo condiciones de Pradera.

Se puede concluir que los suelos de la Sabana de Tóquerres presentan cantidades relativamente bajas de aluminio intercambiable, pues solo cuatro de los diez suelos estudiados superan la concentración de un m.e./100 g. de suelo.

En todos los perfiles, con excepción del correspondiente al de Entrada a Guachuca, los contenidos de aluminio fueron más altos en

los suelos que en los subsuelos. Lo anterior coincide con los valores más bajos del pH en los suelos que en los subsuelos (Tablas IV y V).

Los resultados obtenidos, concuerdan con la conclusión presentada por Jiménez y Ocampo (56), en el sentido de que los suelos del área andina fría del departamento de Mariño no están afectados por problemas de toxicidad de aluminio. Además, es muy probable, que los suelos estudiados no respondan a las aplicaciones de cal tal como lo demostraron Burbano et al. (20) y Revelo y Revelo (86), en suelos del Altiplano de Pasto. Así, Reeve y Sumner (83), demuestran que en la mayoría de los suelos ácidos, los efectos benéficos del encalado se deben, en gran parte, a la neutralización del aluminio intercambiable. No obstante, es importante tener en cuenta que los valores máximos del aluminio intercambiable, que son tolerables por la planta, dependen no solo de la especie sino también de las condiciones del suelo.

Por otra parte, según el criterio de Kamprath (60), en suelos cuyo aluminio intercambiable no represente por lo menos el 15% de la capacidad de intercambio catiónico, no es necesario encalar. Tal sería el caso de los suelos estudiados.

Como era de esperar, el aluminio intercambiable correlacionó significativamente ($P < 0,01$) y negativamente con el pH (Figura 4). Esta circunstancia está de acuerdo con la moderna teoría de la acidez del suelo.

De igual manera, al aumentar el aluminio disminuyeron el potasio, calcio, magnesio y sodio intercambiables (Tabla VIII).

En la Figura 5 se observa la correlación altamente significativa

tiva y positiva entre el aluminio de cambio y el hierro de cambio. Esta última correlación, se explica a causa de la correlación negativa entre pH y hierro cambiante ($r = -0,407$, Figura 12).

En la Figura 6 se presenta la correlación obtenida entre aluminio intercambiable y el contenido de materia orgánica. Esta relación fue estadísticamente detectable ($P < 0,05$) y positiva.

El fenómeno anterior, se podría explicar con base en la relación entre aluminio intercambiable y pH. Así, al aumentar el aluminio de cambio el pH disminuye (Figura 4), disminuyendo también la actividad microbial y manteniéndose, por lo tanto, el contenido de materia orgánica. En efecto, la relación entre pH y el contenido de materia orgánica fue negativa y significativa ($r = -0,510^{**}$) Figura 7. De la misma manera, se podría explicar la relación positiva ($r = 0,56^{**}$) entre aluminio de cambio y nitrógeno total (Figura 8); con base en la relación pH y nitrógeno total (Figura 9).

Sin embargo, lo anterior estaría en desacuerdo con lo encontrado por Ibarra y Melo (52), quienes al agregar aluminio a suelos volcánicos de Haríño, no encontraron alteración alguna en la mineralización del nitrógeno.

Según Bornemiza y Pineda (16), el contenido de alófana de los suelos volcánicos correlaciona inversamente con la intensidad de descomposición de la materia orgánica, por cuanto la alófana forma complejos órgano-minerales de difícil descomposición, disminuyendo, así, la mineralización de los compuestos orgánicos. Como la alófana es un co-loide de aluminio sílice y hierro, se supone que entre mayor aluminio hay en el suelo, mayor será el contenido de alófana, y, por tanto, mayor

(7)

el de materia orgánica y el de nitrógeno. Esta explicación, para el caso presente, no sería muy convincente por cuanto la relación entre aluminio de cambio y porcentaje de arcillas fue negativa, aunque no significativa ($P > 0,05$).

Una última explicación, más sencilla, sería que al aumentar el contenido de materia orgánica aumenta la capacidad de cambio y, por ende, la cantidad de Al^{+++} intercambiable.

4.2 BORO

Los contenidos de boro intercambiable en los suelos estudiados fueron bastante homogéneos. En efecto, el promedio para los suelos fue de 0,78 ppm., con un mínimo de 0,62 ppm. (Recta a Cumbal) y un máximo de 1 ppm. (Puente de Cualanquizán). El promedio para los subsuelos fue de 0,81 ppm., con un mínimo de 0,62 ppm. (El Espino) y un máximo de 1 ppm. (Táquerres).

Como puede comprobarse, si bien el promedio en los subsuelos es ligeramente mayor que en los suelos, el rango de variación es el mismo.

Estos niveles presentan cierta similitud con los encontrados por Olarte y Motta (76) en suelos del Valle del Cauca, y de acuerdo al criterio establecido por Reisenauer (84) serían adecuados para el desarrollo normal de la mayoría de las plantas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que los requerimientos del boro, según Malavolta et al. (65), varían grandemente con la especie cultivada, y la variación entre niveles adecuado y tóxico es muy reducida. Así, según Bradford (18), cuando en el suelo se presenta un contenido de boro soluble en agua menor de 0,5 ppm. la alfalfa puede sufrir por deficiencia de este elemento.

El boro extraído con agua caliente, correlacionó positivamente ($P = 0,01$) con el contenido de arcillas. En la Figura 10 se puede observar esta relación, en donde el porcentaje de asociación fue de 46,6. No se encontró correlaciones significativas con la materia orgánica ni con el pH, lo cual está en desacuerdo con lo encontrado por algunos investigadores (5, 54).

Por otra parte, se detectó una correlación positiva y canónica significativa entre el boro y potasio intercambiables ($r = 0,412$) Tabla VIII. Esta correlación podría tener cierta importancia práctica, puesto que al determinarse el potasio de cambio se estaría estimando el nivel del boro, siempre y cuando la correlación sea válida para un gran número de suelos.

4.3 COBRE

Los resultados obtenidos indican que el cobre intercambiable tiene un contenido promedio, en los suelos, de 0,535 ppm. con un máximo de 1,583 ppm. (Táquerres) y un mínimo de 0,015 ppm. (Providencia). En los subsuelos el promedio fue de 0,684 ppm. con un máximo de 1,66 ppm. (Puente de Cuanquizán) y un mínimo de 0,166 ppm. (El Espino, Providencia y Táquerres).

Las cantidades antes anotadas son muy bajas en comparación a los contenidos encontrados por Rubinstein (89), en andosoles de Costa Rica. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el mencionado autor efectuó la extracción con HCl 1N, en tanto que en la presente investigación la extracción se efectuó con NH_4OAc 1N pH 4,8, método que, según De Santana (32), extrae cantidades más bajas. No obstante, Fiskel, citado por De Santana (32), sostiene que el cobre extraído con NH_4OAc 1N pH 4,8 puede ser satisfactorio como índice del cobre disponible en el suelo.

Es algo difícil decidir si los valores encontrados son o no deficientes en relación a la planta, pues la cantidad extraída varía mucho con el método de extracción utilizado. Así, Reuther y Labanauskas (85), sostienen que hasta el momento no se ha desarrollado un método preciso para la determinación del cobre aprovechable.

No obstante, valores como los obtenidos en el suelo Providencia (0,015 ppm.), en el suelo Tasmá (0,025 ppm.) y en suelo Recta a Guachucal (0,034 ppm.), pueden considerarse como bajos y cabría esperar un déficit de cobre aprovechable.

Prácticamente, la correlación obtenida entre el cobre cambiante y el pH fué nula ($r = 0,09$). Esta situación, aunque está en desacuerdo con lo sostenido por algunos autores (2, 42, 92) concuerda con lo encontrado por investigadores citados por Tisdale y Nelson (100).

El coeficiente de correlación obtenido entre el cobre intercambiable y el contenido de materia orgánica fué de $r = -0,349$, el cual no fué significativo ($P > 0,05$), pero no sugiere una relación inversa entre estas dos variables. En efecto, los suelos con mayor contenido de materia orgánica: Providencia (11,96%) y Recta de Guachucal (9,39%), presentaron bajos contenidos de cobre intercambiable.

La situación anterior, indicaría la ocurrencia de la formación de complejos órgano-metálicos de cobre, los cuales contribuirían a la fijación del cobre y, por ende, a la disminución del cobre disponible para la planta (14, 54, 100).

Sería de gran interés desarrollar trabajos de investigación utilizando diferentes métodos de extracción de cobre y relacionarlos con la extracción efectuada por una planta indicadora, sobre todo en aquellos sug

los que como en Providencia, Tasmá y Recta de Guachucal presentaron valores bajos de este micronutriente. De esta manera, se podría decidir con seguridad sobre una posible deficiencia y sobre el método más adecuado para las condiciones de los suelos volcánicos del área.

La correlación positiva y significativa ($P < 0,05$) obtenida entre el cobre intercambiable y el calcio intercambiable (Figura 11) no registra antecedentes en la literatura, pero normalmente debía esperarse una relación inversa. Se piensa que sería de interés estudiar más a fondo esta relación, puesto que tendría una evidente aplicación práctica, ya que permitiría hacer un estimativo del cobre de cambio en función del calcio de cambio (Figura 11).

Así, al ser consistente esta relación, sería muy improbable encontrar deficiencia de cobre intercambiable en muchos de los suelos del área interandina del departamento de Nariño, puesto que se ha demostrado que presentan grandes cantidades del calcio intercambiable (20, 40, 79).

4.4 COBALTO

Los contenidos de cobalto, para los suelos estudiados, tuvieron un promedio de 0,874 ppm., con un máximo de 0,906 ppm. (Tasmá y Puente de San Juan) y un mínimo de 0,833 ppm. (Táquerres). En el caso de los subsuelos, el promedio fue de 0,858 ppm., con un máximo de 0,900 ppm. (Entrada a Guachucal y Puente de Cullanquizán) y un mínimo de 0,800 ppm. (Táquerres).

Las cantidades antes anotadas son similares a las reportadas por Vanselow (102), quien indica que cuando se utiliza como solución extractora el ácido acético 0,5 N, se obtienen valores que usualmente oscilan entre 0,1 y 1,0 ppm.

El mismo autor anota que cuando se emplea como solución extractora el acetato de amonio normal y neutro, las cantidades de cobalto extraídas son menores. Pese a que en la literatura no se encontraron criterios que permitan hacer un diagnóstico sobre los valores de cobalto aprovechable, se presume que los niveles encontrados en los suelos estudiados sean suficientes como para suplir los requerimientos del ganado.

Ninguna de las correlaciones estudiadas entre el cobalto y otras variables (Tabla VIII), resultó significativa. Sin embargo, se insinúa una relación inversa con el pH y directa con la materia orgánica.

4.5 HIERRO

El hierro intercambiable, extraído con acetato de amonio 1N, pH 4,8, tuvo un promedio, para los suelos, de 140,66 ppm. con un máximo de 293,33 ppm. (Recta de Guachucal) y un mínimo de 15,0 ppm. (Táquerres). Para los subsuelos, el promedio fue de 87,18 ppm., con un máximo de 293,33 ppm. (Recta de Guachucal) y un mínimo de 8,66 ppm. (Táquerres).

Los valores antes citados fueron muy superiores, en promedio, a los obtenidos por Jiménez y Ocampo (56), en varios suelos de Nariño.

También superaron ampliamente los determinados por De Santana (32), en suelos de la Región cacaotera de Bahía, Brasil, como también a los valores obtenidos por Sánchez y Díez (90) en suelos ácidos de España y a los detectados por Swine y Mitchell (98), en suelos forestales de Egipto. Esta situación resulta particularmente interesante, por cuanto el promedio de los suelos estudiados supera al encontrado aún en suelos latosólicos, como en el caso del estudio realizado por De Santana (32).

Cabe esperar, por tanto, que los suelos estudiados sean bien

abastecidos de hierro aprovechable, pues en la literatura no se encuentra valores críticos sobre la aprovechabilidad de este elemento. Sin embargo, Tisdale y Nelson (100) y Malavolta et al. (65), sostienen que los valores del hierro aprovechable por sí mismo, pueden tener poco significado en la absorción del hierro por la planta y que es necesario tener en cuenta su balance con otros iones tales como cobre y manganeso, sugiriendo que un exceso de cobre y manganeso puede conducir a un déficit de hierro.

De igual manera, De Santana (32), sostiene que el desbalance de iones tales como cobre, hierro y manganeso en el suelo, podría sugerir el establecimiento de una relación $Fe/(Cu + Mn)$ pudiéndose esperar deficiencias de hierro si esta relación es baja. Resultaría, entonces, de interés un estudio, para diferentes cultivos y suelos, sobre la validez de esta relación.

El hierro intercambiable correlacionó significativamente y en forma positiva, con el aluminio intercambiable (Figura 5). Esta relación tiene sin duda sus nexos en el pH. En efecto, la relación obtenida entre el pH y hierro de cambio fué negativa ($r = 0,407$) (Figura 12). Este resultado concuerda con los obtenidos por varios autores (14, 106, 100, 65).

4.6 MANGANESO

Los valores del manganeso, extraídos con NH_4OAc pH 4,8, tuvieron un promedio, en los suelos, de 0,526 ppm., con un máximo de 0,833 ppm. (Puente de San Juan) y un mínimo de trazas (Entrada a Guachuca, San Roque y Tiquerres). Para el subsuelo, el promedio fué de 0,692 ppm., con un máximo de 1,966 ppm. (Tiquerres) y un mínimo de trazas (El Espino y Recta de Guachuca).

Los contenidos de manganeso intercambiable obtenidos para los

suelos estudiados, son inferiores a los encontrados por Roldán (88), en suelos andosoles y aluviales de Costa Rica (extracción con NH_4OAc pH 7,0). Esta inferioridad se acentúa cuando se comparan con los valores obtenidos por Swaine y Mitchell (98), en suelos forestales de Escocia. Sin embargo, en este último caso, la extracción se efectuó con ácido acético al 2,5%. Al comparar los valores obtenidos, con los determinados por De Santana (32) en suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil, se observa que son muy inferiores, a pesar de que en ambos casos se utiliza como extractor el NH_4OAc pH 7,0. Es seguro que estas diferencias amplias, 89,7 ppm. (Brasil) vs. 0,751 ppm. (Sabana de Tiquerres) se debe a la diferencia entre los suelos (oxisoles y ultisoles, Brasil vs. andepts, Sabana de Tiquerres).

A pesar de que, según Labanauskas (63), niveles menores de 1,0 ppm. de manganeso intercambiable en el suelo, pueden significar deficiencias de este elemento en el caso de los cereales y cítricos, resulta un tanto difícil concluir sobre una posible deficiencia de manganeso en los suelos estudiados. La razón está en el hecho de que la cantidad de manganeso intercambiable extraída de un suelo depende del método utilizado (32) y en este caso sería necesario efectuar experimentos con plantas indicadoras, para saber si el método usado en este estudio es el adecuado o, para buscar el más exacto.

No obstante, se cree que es de importancia tener en cuenta que los suelos estudiados son relativamente altos en materia orgánica y que, de acuerdo a Tisdale y Nelson (100), la presencia de grandes cantidades de materia orgánica, en suelos ácidos, puede llevar a la aparición de deficiencias de manganeso a causa de la formación de complejos del tipo Mn^{++} -materia orgánica, que son inasequibles por las plantas.

(2)

Solo un estudio particular para los suelos que presentaron trazas en su nivel de manganeso de cambio, mediante la utilización de varias técnicas de extracción, podría despejar la duda que se plantea.

4.7 ZINC.

El zinc intercambiable, para los suelos estudiados, presentó un promedio de 0,966 ppm., con un máximo de 5,0 ppm. (Tasmá) y un mínimo de trazas (en seis de los suelos estudiados). Para los subsuelos, el promedio fue de 2,09 ppm., con un máximo de 9,16 ppm. (Entrada a Guachucal) y un mínimo de trazas (en seis de los suelos estudiados).

Las cantidades promedias de zinc disponible encontrada en los suelos estudiados, son relativamente inferiores a las encontradas por Rubinstein (89), en andosoles de Costa Rica y por Marinho (66) en suelos aluviales del mismo país. Igualmente, son inferiores a las encontradas por Ravikovitch (82), en suelos arenosos y aluviales de Israel.

De nuevo, y tal como ocurre en el caso del manganeso, los resultados antes citados han sido obtenidos mediante la utilización de soluciones extractoras diferentes a las usadas en este estudio. Por ello, la base de comparación no es la misma. De Santana (32), demostró que las cantidades de zinc intercambiables en suelos del Brasil, extraídas con NH_4OAc 1N, pH 4,8, fueron inferiores a las extraídas cuando se utilizó HCl 0,1 N y $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 1%, pero fueron superiores a las extraídas con NH_4OAc N pH 7,0.

No obstante, al comparar los resultados con los obtenidos por De Santana (32) en suelos del Brasil, quien utilizó la misma solución extractora usada en este estudio, se observa que el promedio para los suelos todavía es inferior (0,96 ppm., en suelos de la Sabana de Tiqueres).

vs. 2,0 ppm. en suelos de Bahía, Brasil). Por el contrario, al comparar los subsuelos se observa que los obtenidos en los perfiles estudiados son mayores a los obtenidos por De Santana (32), (2,09 ppm. vs. 0,5 ppm).

Si se tiene en cuenta los criterios compilados por Igue y Bornemisza (53) Tabla I y los sugeridos por Chapman (26), quienes indican que para una amplia gama de cultivos cantidades de 0,05 ppm. de zinc disponible en los suelos (extraídas con NH_4OAc - dithizona), o menores, son un índice de deficiencia de este elemento, tendríamos que concluir que 6 de los suelos estudiados podrían presentar deficiencia de zinc. Sin embargo, una conclusión acertada al respecto, solo podría hacerse previa investigación utilizando diferentes métodos de extracción de zinc disponible y una planta indicadora adecuada (podría ser maíz).

Las bajas cantidades de zinc intercambiable obtenidas para la mayoría de los suelos y subsuelos estudiados, pueden deberse por lo menos en parte, al elevado contenido de materia orgánica de estos suelos; insinuándose, así, la formación de quelatos que inmovilizan o fijan el zinc en el suelo, mecanismo que ha sido comprobado por Baughman, Himes, De Remer y Smith y otros investigadores citados por Igue y Bornemisza (53).

Es también importante tener en cuenta que Melton et al. (69) y otros investigadores, incluyendo a Fox y Plunknett, citados por Igue y Bornemisza (53) quienes trabajaron con suelos tropicales, han demostrado que el encalamiento puede inducir en suelos ácidos fuertes deficiencias de zinc. De esta manera, y para fines prácticos, el encalamiento en los suelos estudiados con bajos niveles de zinc intercambiable, debería ser muy cuidadoso o, mejor, eliminado como práctica agronómica.

TABLA VI

CANTIDADES DE MICRONUTRIENTES INTERCAMBIABLES EN LOS SUELOS Y SUBSUELOS ESTUDIADOS (Resultados en ppm.)

LUGAR	HORIZONTE	ALUMINIO	BORO	COPRE	COBALTO	HIERRO	MANGANESO	ZINC
EL ESPINO	Suelo	112,50	0,760	0,534	0,850	46,667	0,666	Trazas
	Subsuelo	34,20	0,620	0,166	0,833	51,666	Trazas	Trazas
RECTA DE GUACHUCAL	Suelo	157,50	0,720	0,084	0,883	293,333	0,666	Trazas
	Subsuelo	139,50	0,760	1,333	0,866	293,333	Trazas	Trazas
ENTRADA A GUACHUCAL	Suelo	29,25	0,760	0,534	0,876	80,000	Trazas	Trazas
	Subsuelo	33,48	0,680	1,333	0,900	31,666	0,766	9,166
RECTA A CUMAL	Suelo	99,50	0,620	1,166	0,873	225,000	0,833	Trazas
	Subsuelo	33,48	0,720	0,580	0,833	60,000	0,666	Trazas
TASMA	Suelo	108,00	0,720	0,025	0,906	206,667	0,666	5,000
	Subsuelo	51,75	0,800	0,433	0,873	58,333	0,666	4,666
PROVIDENCIA	Suelo	67,50	0,760	0,015	0,850	46,667	0,766	Trazas
	Subsuelo	51,75	0,720	0,166	0,876	101,666	0,666	Trazas
PUENTE DE SAN JUAN	Suelo	60,75	0,800	0,543	0,906	200,000	0,833	Trazas
	Subsuelo	40,50	0,960	0,666	0,833	28,333	0,766	Trazas
PUENTE DE CUAJANQUIZAN	Suelo	69,75	1,000	0,450	0,866	256,666	0,833	0,333
	Subsuelo	60,75	0,960	1,667	0,900	38,333	0,766	Trazas
SAN ROQUE	Suelo	85,80	0,920	0,433	0,893	36,666	Trazas	1,666
	Subsuelo	60,75	0,960	0,334	0,816	200,000	0,666	Trazas
TUQUERRES	Suelo	49,50	0,800	1,583	0,833	15,000	Trazas	2,666
	Subsuelo	67,50	1,000	0,166	0,800	8,666	1,966	7,166

TABLA VII

CANTIDADES MAXIMAS, PROMEDIAS Y MINIMAS DE MICRONUTRIENTES INTERCAMBIABLES EN LOS SUELOS Y SUBSUELOS
ESTUDIADOS (Resultados en ppm.)

ELEMENTO	S U E L O			S U B - S U E L O		
	MAXIMO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	MINIMO
ALUMINIO	157,500	84,000	29,250	139,500	57,360	33,480
BORO	1,000	0,780	0,620	1,000	0,810	0,620
COBRE	1,583	0,535	0,015	1,667	0,684	0,166
COBALTO	0,906	0,873	0,833	0,900	0,858	0,800
HIERRO	293,333	140,660	15,000	293,333	87,190	8,666
MANGANESO	0,833	0,526	Trazas	1,966	0,692	Trazas
ZINC	5,000	0,966	Trazas	9,166	2,099	Trazas

TABLA VIII

MATRIX DE CORRELACION PARA DIEZ Y SEIS (16) VARIABLES EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

	Cu ppm.	Fe ppm.	Co ppm.	B ppm.	Al ppm.	pH	N %	H ₂ O. %	C.I.C. m.e. 100 g.	K ppm.	Ca ppm.	Mg ppm.	Na ppm.	A. %	Ar. %	L. %
Cu	1.000	-0.100	0.171	0.011	-0.079	0.090	-0.293	-0.349	0.159	0.170	0.480 ⁺	0.237	0.005	0.003	0.144	-0.132
Fe		1.000	0.255	-0.129	0.659 ⁺⁺	-0.407 ^{NS}	0.251	0.340	0.064	-0.163	-0.064	-0.044	-0.207	0.024	-0.314	0.298
Co			1.000	-0.324	0.152	-0.283	0.338	0.304	-0.202	-0.196	0.039	0.050	0.165	-0.103	-0.057 ⁺⁺	0.209
B				1.000	-0.111	0.094	-0.288 ⁺⁺	-0.222	0.058	0.412	0.154	0.134	0.336	-0.331	0.683 ⁺⁺	-0.321
Al					1.000	-0.580 ⁺⁺	0.564 ⁺⁺	0.463 ⁺	0.175	-0.402	-0.273	-0.286	-0.029	0.210	-0.265	-0.008
pH						1.000	-0.736 ⁺⁺	-0.510 ⁺⁺	-0.199	0.492	0.028	0.096	0.023	-0.150	0.246 ^{NS}	-0.041
N							1.000	0.747 ⁺⁺	0.299	-0.322	-0.066	-0.022	0.122	0.459 ⁺	-0.414	-0.149
H ₂ O.								1.000	0.209	-0.245	0.117	0.180	0.264	0.428	-0.269	-0.255 ⁺
C.I.C.									1.000	-0.048	0.195	0.364	0.165	0.408	-0.042	-0.479 ⁺
K										1.000	0.458 ⁺	0.519 ⁺	-0.025	-0.172	0.367	-0.107
Ca											1.000	0.659 ⁺	-0.175	-0.025	0.246	-0.242
Mg												1.000	0.284	-0.052	0.257	-0.230
Na													1.000	0.150	0.178	-0.419 ⁺⁺
A.														1.000	-0.638 ⁺⁺	-0.580
Ar.															1.000	-0.204
L.																1.000

+ Significativo al 5%: 0,433

++ Significativo al 1%: 0,549

GL Grados de Libertad: 19

NS No significativo

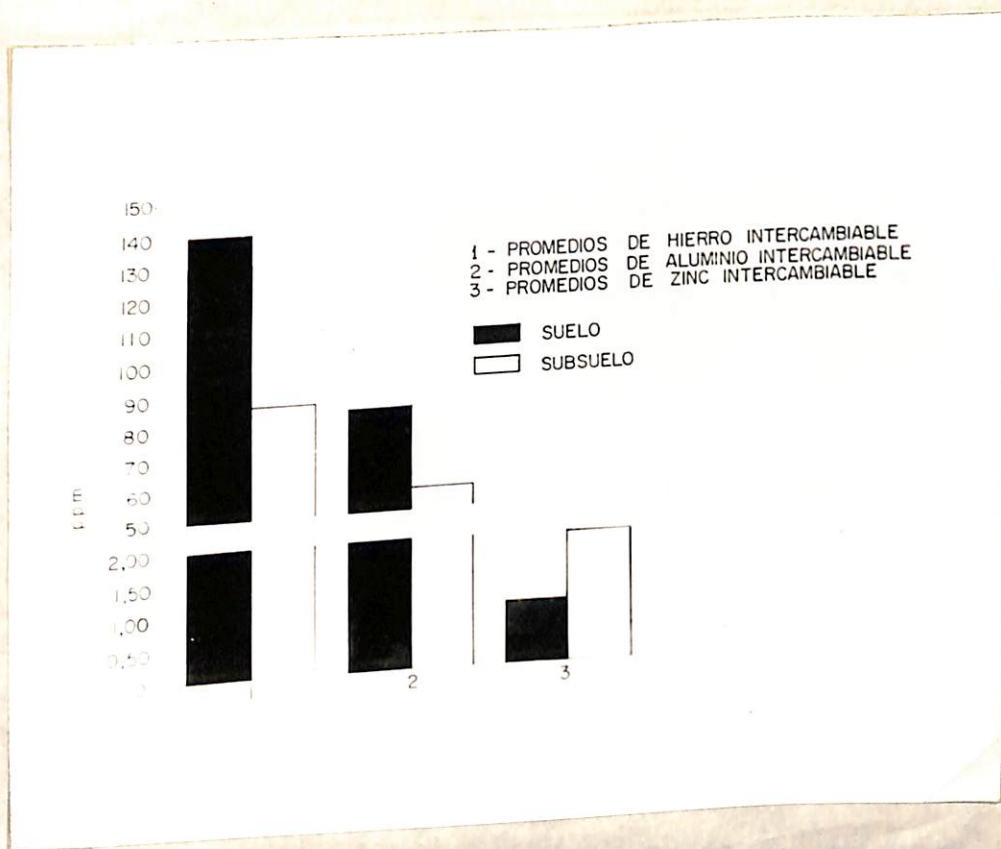


Figura 2. Contenido promedio de hierro, aluminio y zinc intercambiables en los suelos y subsuelos estudiados.

Fotocopia: A. Duarte

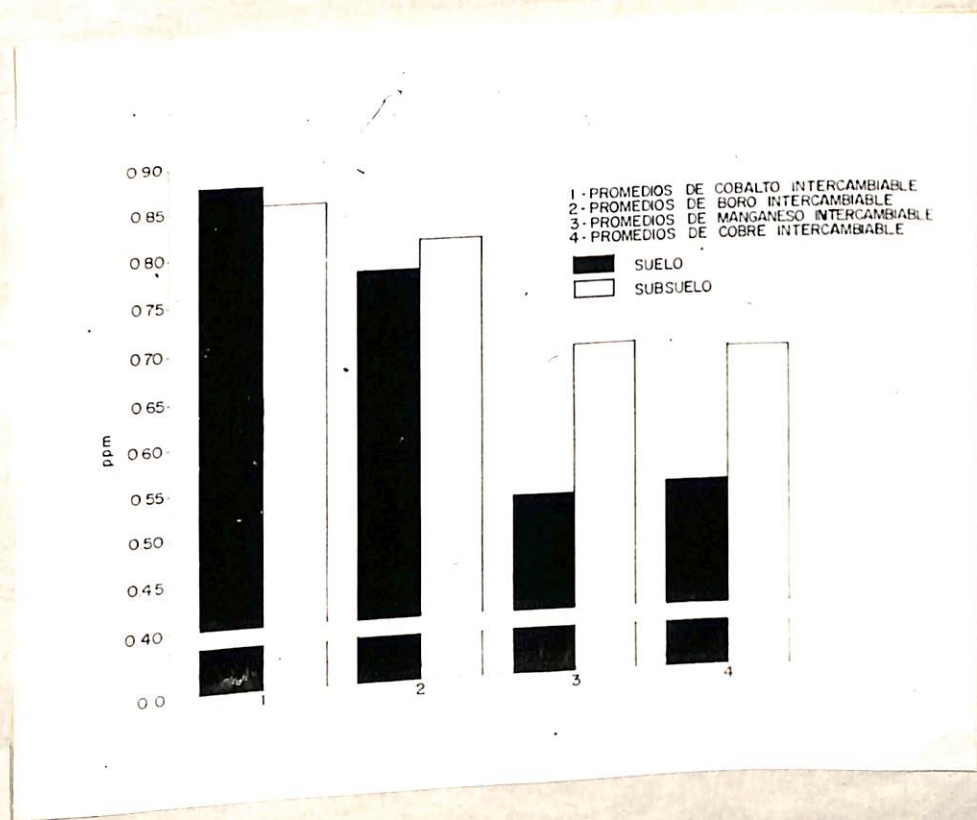


Figura 3. Contenido promedio de cobalto, boro, manganeso y cobre intercambiables en los suelos y subsuelos estudiados.

Fotocopia: A. Duarte

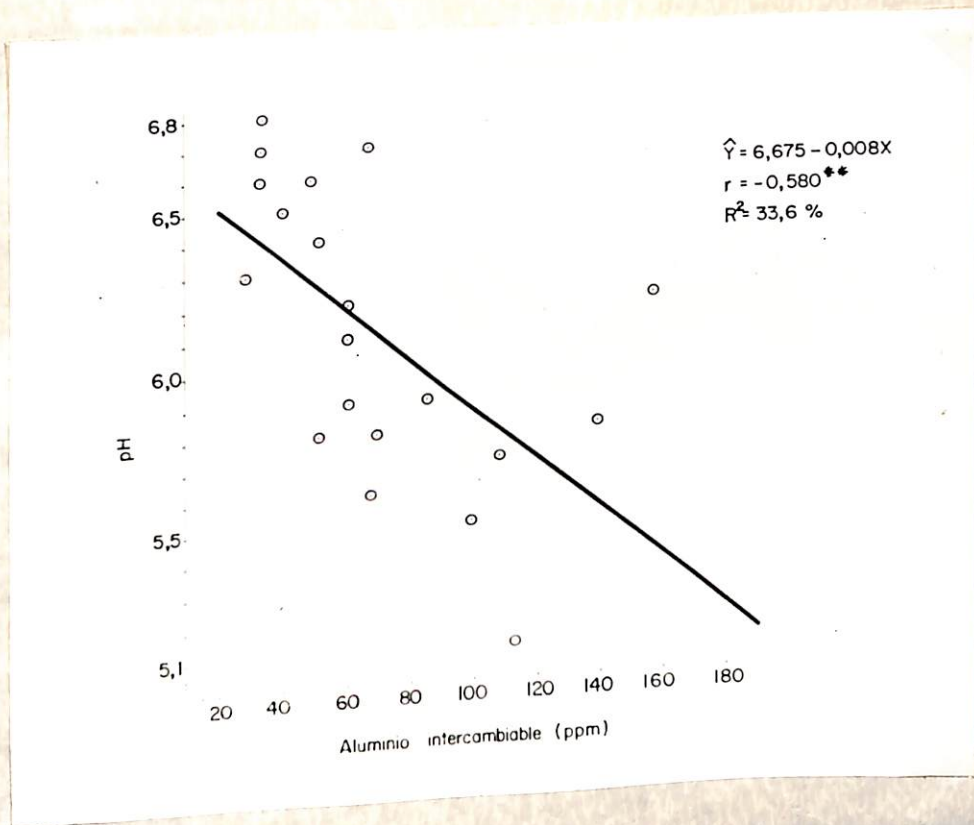


Figura 4. Relación entre el aluminio intercambiable y el pH.

Fotocopia: A. Duarte

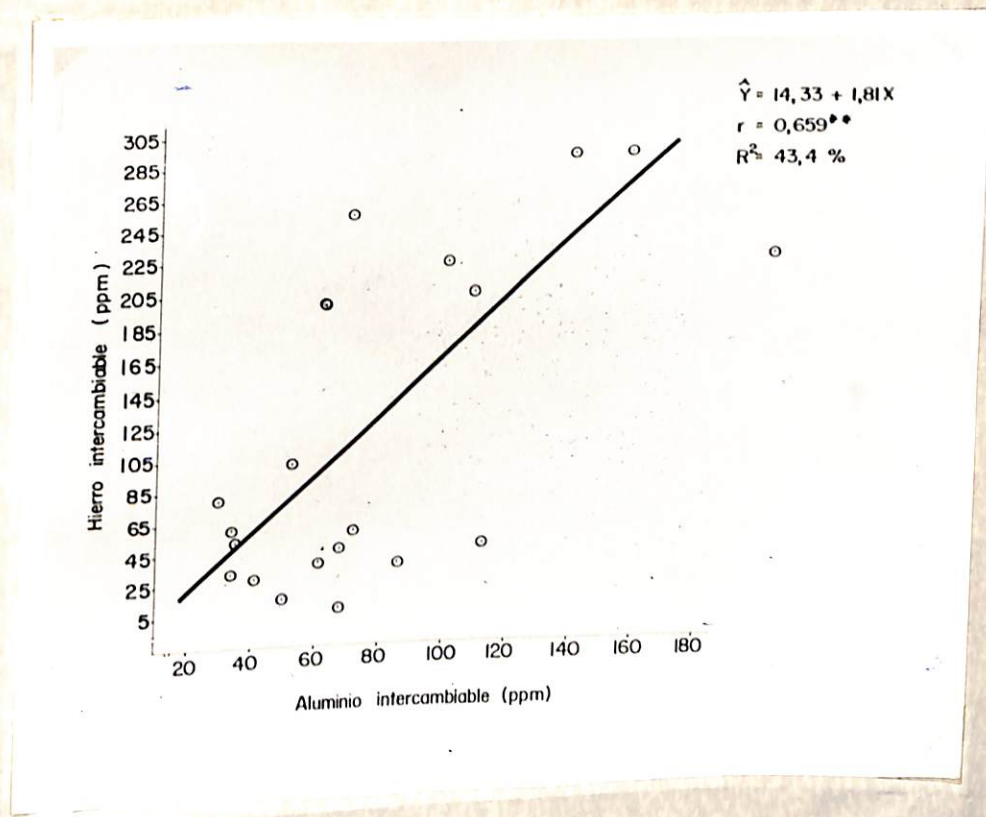


Figura 5. Relación entre el aluminio y hierro intercambiables.

Fotocopia: A. Duarte

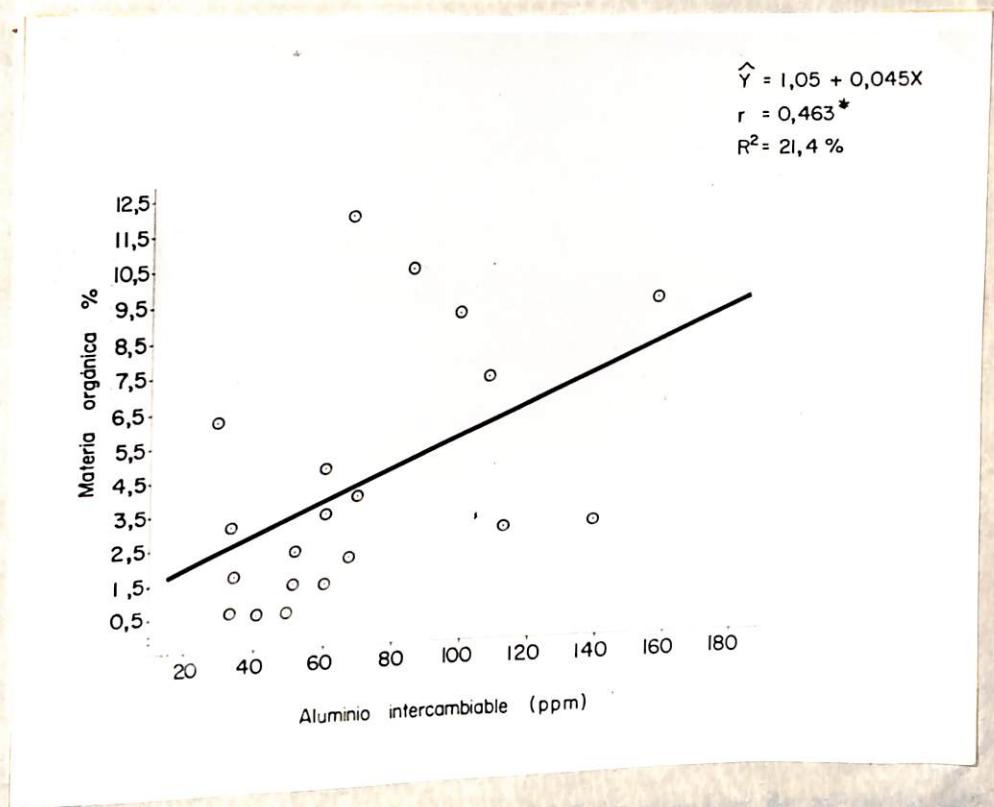


Figura 6. Relación entre el aluminio intercambiable y el contenido de materia orgánica.

Fotocopia: A. Duarte

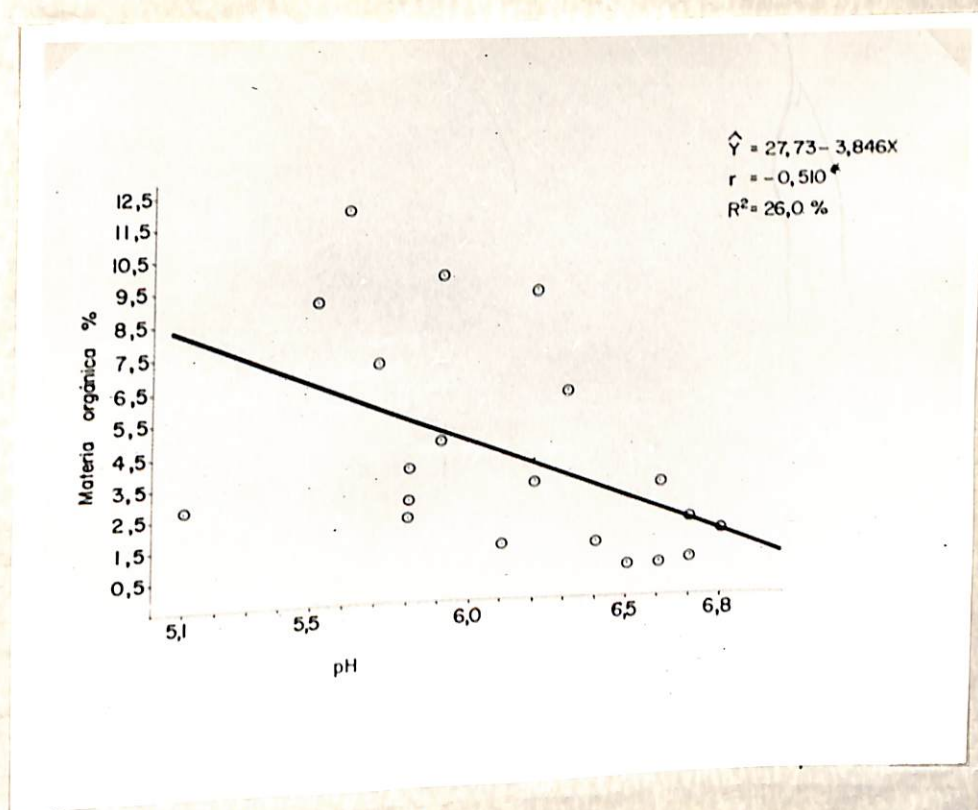


Figura 7. Relación entre el pH y el contenido de materia orgánica.

Fotocopia: A. Duarte

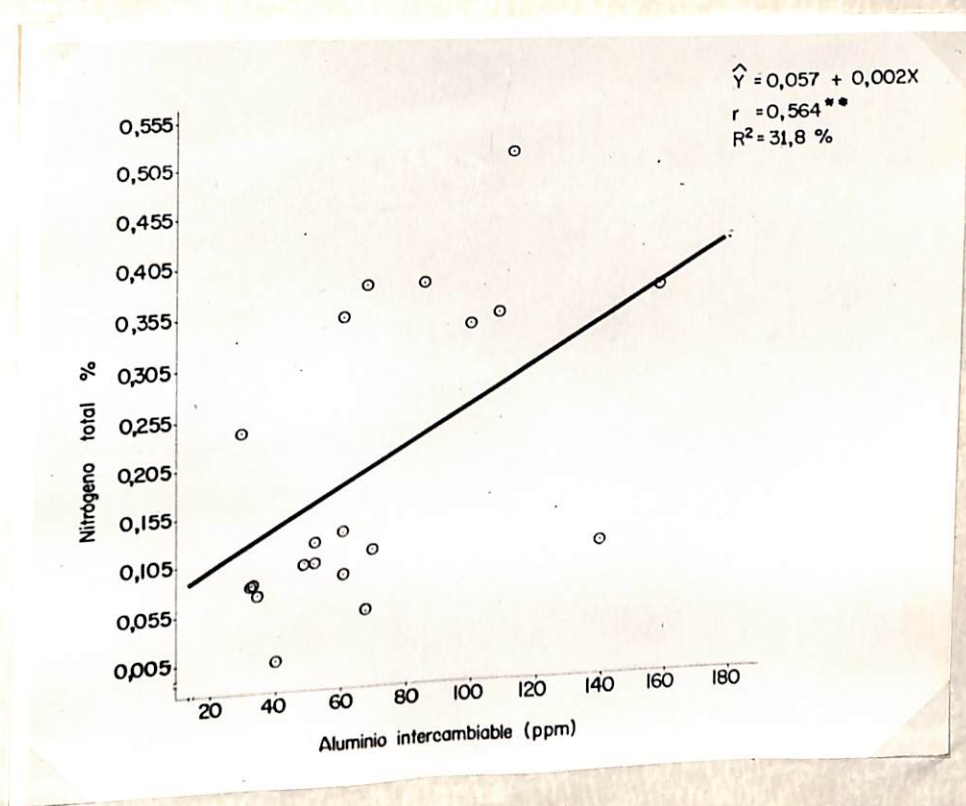


Figura 8. Relación entre el aluminio intercambiable y el contenido de nitrógeno total.

Fotocopia: A. Duarte

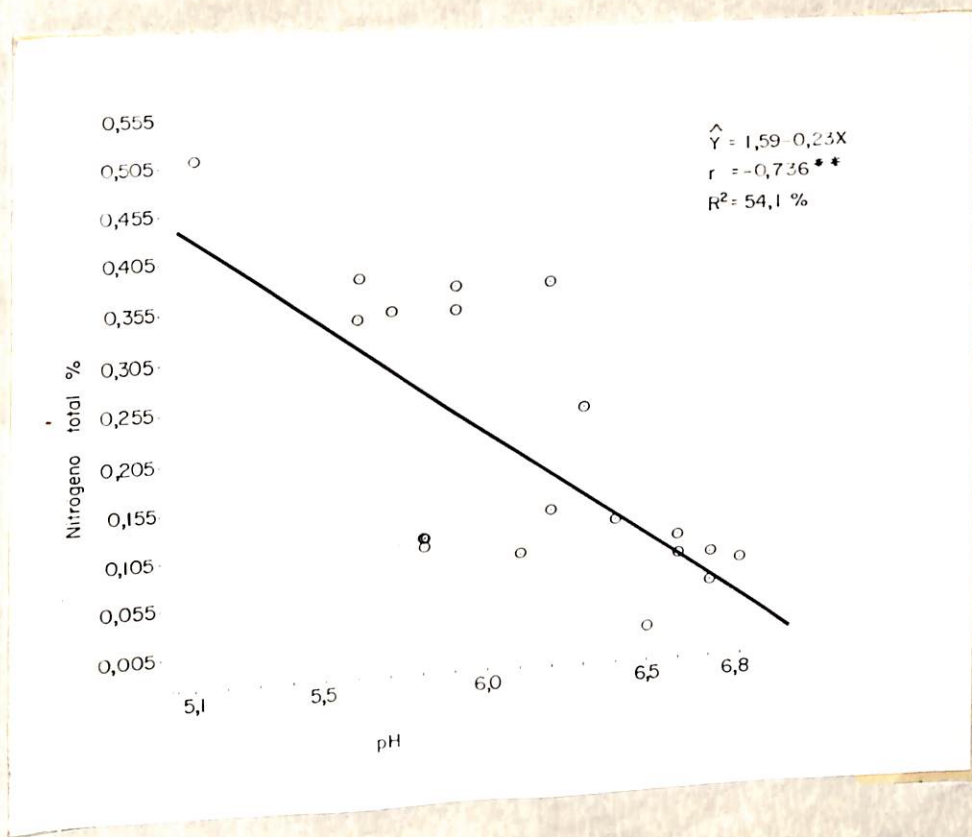


Figura 9. Relación entre el pH y el contenido de nitrógeno total.

Fotocopia: A. Duarte

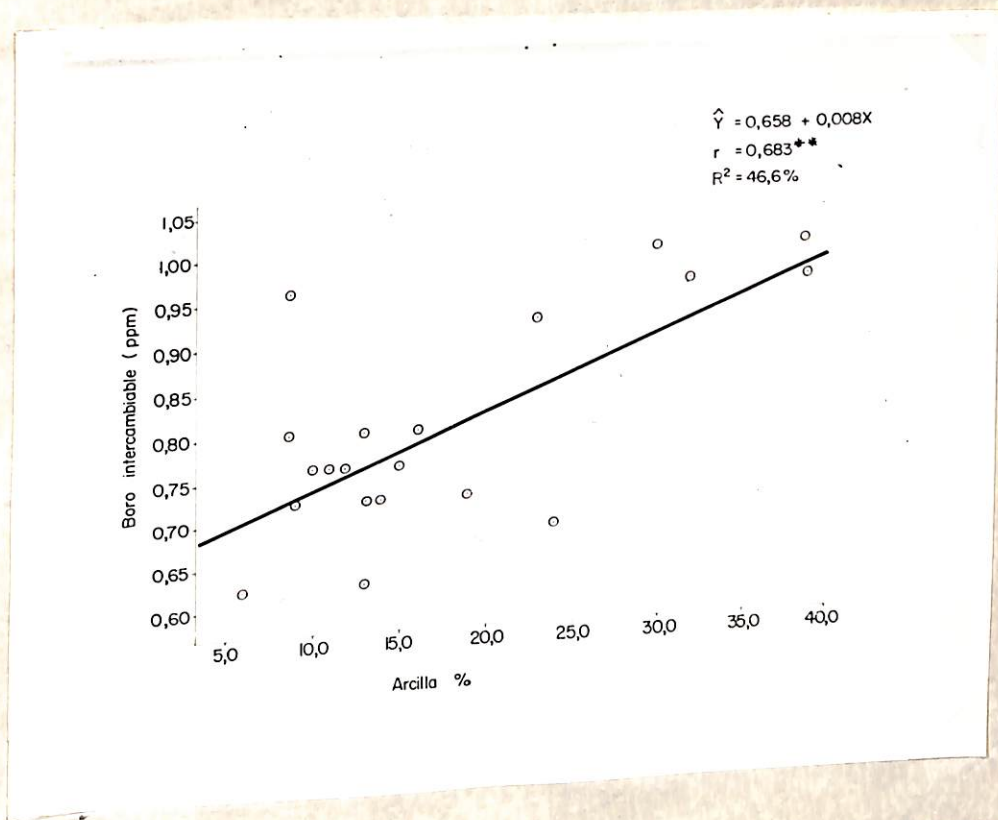


Figura 10. Relación entre el contenido de arcilla y el boro intercambiable.

Fotocopia: A. Duarte

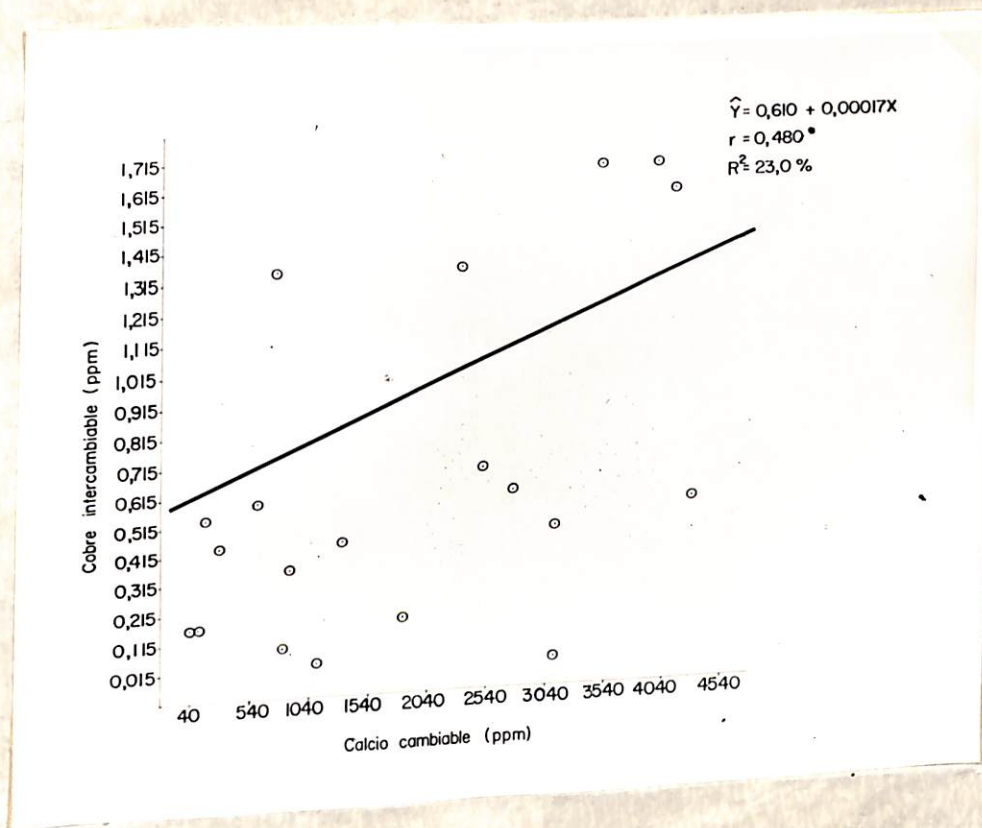


Figura 11. Relación entre el calcio y el cobre intercambia-
bles.

Fotocopia: A. Duarte

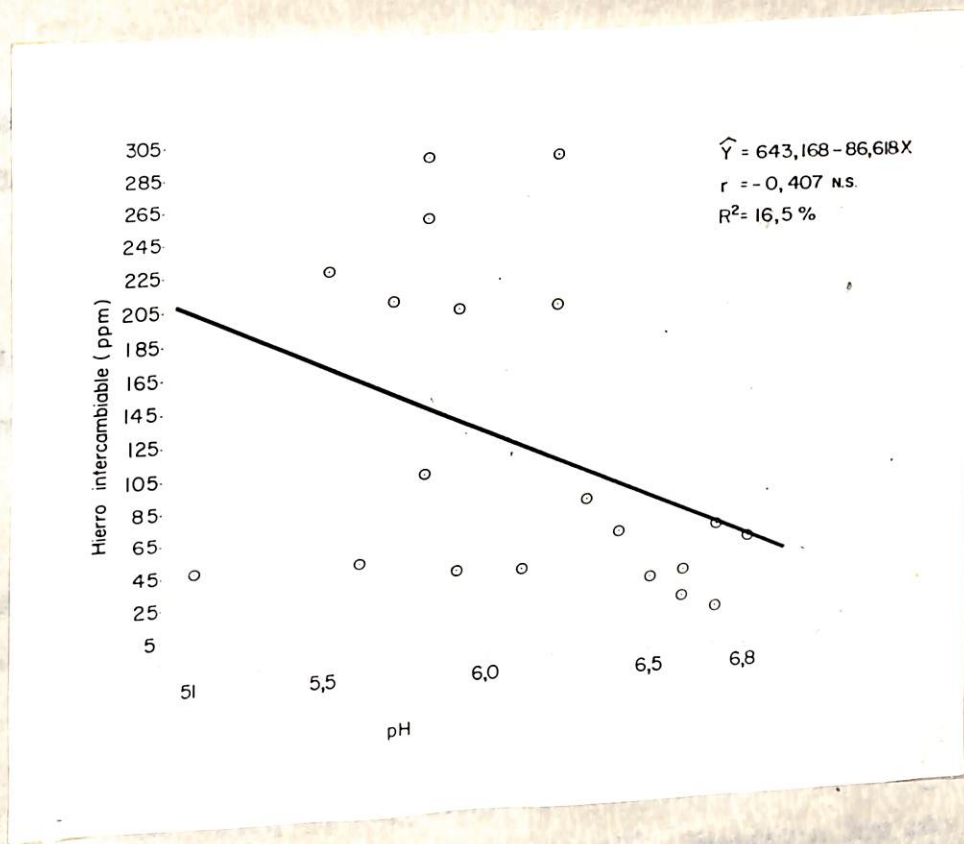


Figura 12. Relación entre el pH y el hierro intercambiable.

Fotocopia: A. Duarte

V. CONCLUSIONES

1. Con excepción del aluminio, hierro y cobalto, la forma disponible de los oligoelementos estudiados, se encuentra con mayor concentración en los sub-suelos.
2. Los suelos estudiados presentaron concentraciones relativamente bajas de aluminio intercambiable y, por tanto, no están afectados por problemas de toxicidad por aluminio.
3. La correlación entre el aluminio intercambiable y el pH fue significativa y negativa, circunstancia que está de acuerdo con la moderna teoría de la acidez del suelo.
4. Los contenidos de boro y hierro intercambiables en los suelos estudiados, se presumen adecuados para el normal desarrollo de la planta. Por su parte, el cobalto intercambiable presentaría niveles suficientes para suplir los requerimientos del ganado.
5. Los suelos que presentaron los más altos contenidos de materia orgánica (Providencia y Recta de Guachucal), mostraron los más bajos niveles de cobre intercambiable y cabría esperar para ellos un déficit de cobre aprovechable.
6. En los suelos que presentaron trazas en sus concentraciones de manganeso y zinc, podrían ocurrir deficiencias de éstos elementos para la planta.
7. Las posibles deficiencias de cobre, manganeso y zinc, en algunos de los suelos estudiados, solo podrían confirmarse previa investigación de diferentes métodos de extracción y su correlación con las canti-

dades extraídas por plantas indicadoras adecuadas.

X 8. La materia orgánica correlacionó positivamente con el aluminio cambiabile ($r = 0,463^+$), y negativamente ($r = -0,349^{NS}$) con el cobre intercambiabile. No hubo correlación significativa de la materia orgánica con el boro, cobalto y hierro.

9. El boro correlacionó ($r = 0,412^+$) con el potasio cambiabile y el cobre con el calcio de cambio ($r = 0,480^+$).

VI. RECOMENDACIONES

1. De los resultados obtenidos para el aluminio de cambio, se concluye que no es necesaria la práctica del encalado en los suelos estudiados; por el contrario, en aquellos suelos que presentaron bajos niveles de zinc intercambiable, el encalamiento puede inducir serias deficiencias de este nutrimento.
2. Es importante efectuar evaluación de métodos para la extracción de cobre, hierro, manganeso y zinc en los suelos volcánicos de Nariño.
3. Se recomienda estudiar el efecto de la relación $Fe/(Cu+Mn)$, sobre la absorción de hierro por la planta, utilizando suelos de diferentes áreas del Departamento.

VII. RESUMEN

Se estudiaron diez suelos y subsuelos de la Sabana de Tiquerres, situada al Sur-occidente de Colombia en el departamento de Nariño. La Sabana está localizada a 3.000 m.s.n.m., tiene 8°C. de temperatura media anual y 700 mm. de precipitación.

Se determinaron las fracciones cambiables de los microelementos aluminio, boro, cobre, cobalto, hierro, manganeso y zinc. Como solución extractora para cobre, cobalto, hierro, manganeso y zinc se utilizó NH_4OAc pH 4,8, el boro se extrajo con agua caliente y el aluminio con KCl 1N.

Los contenidos promedios de los micronutrientes estudiados fueron: aluminio: 84,00 ppm. en el suelo y 57,36 ppm. en el sub-suelo. El boro presentó 0,78 ppm. en el suelo y 0,81 ppm. en el subsuelo. Cobre: 0,535 ppm. en el suelo y 0,664 ppm. en el sub-suelo. El contenido de cobalto en los suelos tuvo un promedio de 0,873 ppm. y en los subsuelos de 0,858 ppm. Para el hierro los contenidos fueron de 140,66 ppm. y de 87,19 ppm. en el suelo y sub-suelo, respectivamente. Manganeso: 0,526 ppm. en el suelo y 0,692 ppm. en el sub-suelo. Los promedios para el zinc fueron de 0,966 ppm. y 2,09 ppm. en el suelo y sub-suelo respectivamente.

Los suelos estudiados no están afectados por toxicidad del aluminio. Los niveles del boro y hierro cambiables se presumen adecuados para un normal desarrollo de la planta. Por el contrario, cabe esperar que se presenten deficiencias de cobre, manganeso y zinc en algunos de los suelos. El cobalto intercambiable podría calificarse como suficiente para suplir los requerimientos del ganado.

El pH correlacionó negativa y significativamente con el aluminio de cambio. La materia orgánica correlacionó positivamente con el Al^{+++} de

cambio ($r = 0,463^+$) y negativamente con el cobre cambiante. No hubo correlación significativa de la materia orgánica con los contenidos de boro, cobalto y hierro cambiantes. Las correlaciones obtenidas entre boro, potasio y cobre con calcio fueron positivas y significativas.

Se recomienda prescindir por innecesario, de la práctica del encañado en los suelos estudiados y efectuar investigaciones que permitan, mediante la utilización de diferentes métodos de extracción, confirmar posibles deficiencias de cobre, manganeso y zinc.

SUMMARY

Ten soils and subsoils from the Tuquerres Plateau, S.W. of Colombia 9830 feet above sea level, 46.4 of (8°C) annual mean temperature and 27.5 inches of water (700 mm) are studied in the present work.

Exchangeable fraction from micronutrients such as Aluminium, boron, copper, cobalt, Iron, manganese and zinc were determined NH_4OAc with a pH of 4.8, was used to extract copper, cobalt, iron, manganese and zinc. Hot water was used to extract boron and KCl 1N, to extract the aluminium fractions.

These were mean micronutrient contents found: 84.0 ppm. and 57.36 ppm. for aluminium in the soil and subsoil, respectively, 0.535 ppm. and 0.684 ppm. for copper in the soil and subsoil respectively. The mean cobalt content in the soil was 0.873 ppm. in the subsoil and 0.858 ppm. in the subsoil. The iron content in the soil was 140.66 ppm. and 87.19 ppm. in the subsoil. Manganese 0.526 ppm. and 0.692 ppm. in the soil and subsoil respectively. The mean zinc content in the soil was 0.966 ppm. in the soil and 2.09 ppm. in the subsoil.

There was no presence of toxicity caused by aluminium in the soils studied. The boron and iron exchangeable are considered to be adequate for a normal plant grow. In the other hand, it is expected to exist some deficiencies in copper, manganese and zinc in some soils. The exchangeable cobalt is considered to be enough for cattle requirements.

The correlation between pH and exchangeable aluminium contents in the soil was significantly negative. Organic matter correlation with exchangeable Al^{+++} ($r = 0.463^+$) was positive although negative with exchangeable copper. There was no significant correlation between organic matter

and exchangeable boron, cobalt and iron contents. The correlation between boron, potash and copper with calcium were significantly positive.

It is not recommended the liming in the soils studied. The authors recommend to perform studies that will permit, by using different extraction methods, to confirm possible copper, manganese and zinc deficiencies.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Alba, J. de. 1968. Alimentación del ganado en América Latina. Prensa Med. México. 336p.
2. Anderson, J.H. 1965. Studies on the oxidation of ammonia to hydroxylamine by the Nitrosomonas. Biochem. Jour. 95: 688-698.
3. Anderson, O.E. 1964. Manganese. Georgia Agricultural Experiment Stations. University of Georgia. College of Agriculture. bull. 126: 33-36.
4. Anónimo. 1968. Boletín de guanos y fertilizantes de México. México. 12(54): 23-32.
5. Baro, M.L. 1963. Manual de tierras y fertilizantes. Aedos. Barcelona. 288p.
6. Barros, M.P. 1969. Determinación de Molibdeno, Cobre y Cobalto en algunos suelos del Altiplano de Pasto. Tesis Ing. Agr. (no publicada). Universidad de Nariño. ITA. Pasto. 106p.
7. Barrows, H.L. et al. 1970. Effect of soil type on movility on zinc in the soil and its availability from zinc sulfate to tung. Soil Science Society of America Proceedings. 24:367-372.
8. Bear, F.E. 1963. Suelos y fertilizantes. Trad. J. Dozal. 2a. ed. Omega. Barcelona. 438p.
9. Bear, F.E. 1957. Toxic elements in soils. U.D. Departament of Agriculture. Soil. 1957:168-171.

- 8 10. Bear, F.E. 1958. Chemistry of the soil. Reinold. New York. 373p.
11. Benavides, S.T. 1958. Estado del manganeso en suelos de la Sabana de Bogotá. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. 49p.
12. Bergersen, F. 1960. Biochemical pathways in legume root nodule nitrogen fixation. C.S.I.R.O. Canberra. 24:246-250.
- 9 13. Blanchet, S. et al. 1960. Acidité d'Exchange et aluminium libre ou Exchangeable des soils. Annales agronomiques.
14. Blasco, L.M. 1963. Curso de Suelos. (conferencias). Facultad de Agronomía. Palmira. 427p.
15. Blasco, L.M. y N. Bohórquez. 1967. Estudios sobre la composición química del ramio. (Bohemeria nivea. Gaud). Agr. Trop. Bogotá. 23:813-818.
16. Bornemisza, E. y R. Pineda. 1969. Minerales amorfos y mineralización del nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. In Panel sobre Suelos derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. IICA/FAO. Turrialba, Costa Rica. P.B-7.1.
17. Bould, C. y E.J. Hewitt. 1963. Mineral nutrition of plants in soils and in culture media. In F.C. Steward. ed. Plant Physiology. Academic Press. New York. Vol. 3. pp.15-133.
18. Bradford, G.R. 1966. Boron. In: Diagnostic criteria for plants and soils Ed. H. Chapman. Riverside, California. University of California. pp.33-61.

19. Bravo, R. 1956. Determinación biológica del boro en ocho suelos del Valle del Cauca. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional. Facultad de Agronomía. Palmira. 53p.
20. Burbano, H. et al. 1969. Algunos aspectos del encalamamiento en suelos del Altiplano de Pasto, Nariño, Colombia. Rev. de Ciencias Agrícolas. 1:51-64.
21. Burger, O.J. y S.M. Hauge. 1951. Relation of manganese in the catenotens and vitamin contents of growing crop plants. Soil Science Society of America Proceedings. 72:303-313.
22. Castro, P.J. 1969. Formas de manganeso en suelos de clima medio en el departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. (no publicada). Universidad de Nariño. ITA. Pasto. 73p.
23. Carter, R. 1964. Micronutrients and crop production in Georgia. What are micronutrients. Georgia Agricultural Experiment Stations. bull. 126:7-12.
24. Cerón, E. 1968. Plan de crédito supervisado para la zona de Tárquenes e Ipiales. Incora. Pasto. (mecanografiado). 120p.
25. Chamberlain, J. 1969. Trace elements in some East African Soils and plants. Afr. Agric. J. Kikuyu. 25:121-125. (En. ass. Soils and fertilizers. 23:41. 1960).
26. Chapman, H.D. 1966. Zinc. In Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. H. Chapman. Riverside, California. University of California. pp.484-499.

27. Chaverre, H. y G. Marín. 1959. Los elementos menores y su importancia en la agricultura. Agr. Trop. Bogotá. 15:239-247.
28. Coleman, N.T. y G.W. Thomas. 1964. Buffer curves of acid clays as affected by the presence of ferric iron and aluminium. Soil Science Society of America Proceedings. 28:187-190.
29. Collings, G. 1955. Commercial fertilizers. Their sources and use. 5th. ed. McGraw Hill. New York. 617p.
30. Davies, R.I., M.V. Cheshire y I.J. Graham-Bryce. 1969. Retention of low levels of cooper by humic acid. Jour Soil Science. 20: 65-71.
31. Demolon, A. 1968. Dinámica del suelo. Trad. J. Pérez Mallá. Vol. I. Omega. Barcelona. 523p.
32. De Santana, Ch. 1971. Formas totales y disponibles de zinc, cobre, manganeso, hierro y molibdeno en suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil. Tesis de M.Sc. Centro Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. Turrialba, Costa Rica. 86p.
33. Dion, H.G. y P.J. Mann. 1946. Three-valent manganese in soils. Journal of Agricultural Science. 36(4)-239-245.
34. Drake, M. 1965. Chemistry of the soil. Soil chemistry and plant nutrition. 2th. ed. Reinold. New York, 424p.
35. Duchaufour, P. 1965. Précis de pédologie. Masson. Paris. 481p.
36. Elgabaly, M.M. 1950. Mechanism of zinc fixation by colloidal clays

- and related minerals. Soil Science Society of America Proceedings. 69:167-173.
37. Ennis, M.T. y J.C. Brogan. 1961. The availability of copper from copper humic acid complexes. Irish Jour. Agric. Res. 1:35-42.
38. Espinal, T.L. y E. Montenegro. 1963. Formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. 210p.
39. Feuillet, C.E. y A.D. Feuillet. 1971. Fraccionamiento de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos de la Sabana de Tiquerres, bajo condiciones de pradera. Tesis Ing. Agr. (no publicada). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto. 121p.
40. Gadbán, J. 1971. Algunos aspectos del calcio en el Altiplano de Pasto. Tesis Ing. Agr. (no publicada). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto. 61p.
41. Giddens, J. 1964. Functions of boron in plant growth micronutrients and crop production in Georgia Agricultural Experiment Stations. bull. 126.
42. Gilbert, F. 1952. Copper in nutrition. Adv. in Agr. Acad. Press. New York. 4:156-157.
43. Goldschmidt, V.M. 1958. Geochemistry. Oxford University Press. London. 730p.
44. González, F. y A. M. García. 1964. Geoquímica del cobalto en los suelos de Andalucía occidental. I. Contenido de cobalto total y

45. González, G., et al. 1959. Composición botánica, características generales y proporción de hierro, manganeso, cobre y cobalto en hierba y suelos de pradera de la Provincia de Pontevedra en relación con la presentación de ciertas enfermedades del ganado. *Anales de edafología y fisiología vegetal*. Madrid. 18:241-173.
46. Granick, S. 1958. Iron metabolism in animals and plants. *In*. Trace elements, ed. by C.A. Lamb et al. Academic Press. Inc. New York. pp.365-382.
47. Gros, A. 1967. Abonos, guía práctica de la fertilización. 4a. ed. Trad. R. Olaquiaga Soriano. Mundi Prens. Madrid. 545p.
48. Gupta, U.C. 1968. Relationship total and hotwater soluble boron, and fixation of added boron, to properties to podzol soil. *Soil Science Society America Proceedings*. 32:43-48.
49. Hill, A.C., J.Toth. y F.B. Bear. 1963. Cobalt status of New Jersey soils and forage plants and factors affecting the cobalt content of plants. *Soil Science Society of America Proceedings*. 76:273-284.
50. Hill, R. y H. Lehman. 1951. Studies on iron in plants with special observations on the chlorophyll; iron ratio. *Biochem. Jour.* 35: 1190-1199. (Res. in Bibliography minor elements Vol. I: 927).
51. Hodgson, J.F. 1963. Micronutrients in soils. *Adv. in Agr. Acad. Press.* New York. 15:119-159.
52. Ibarra, A. y L. Melo. 1971. Mineralización del nitrógeno, en presencia de aluminio, hierro, cobalto y molibdeno en algunos suelos

de Nariño. Colombia. Tesis Ing. Agr. (no publicada). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto. 116p.

53. Igau, K. y B. Bornemisza. 1967. El problema del zinc en suelos y plantas de regiones tropicales y de zonas templadas. *Fitotecnia Latinoamericana*. 4(1):29-44.
54. Jackson, M.L. 1970. Análisis químico de suelos. 2a. ed. Trad. J. Beltrán M. Omega. Barcelona. 662p.
55. Jacob, A. and H. Uerkull. 1961. Fertilización. Trad. L. López M. Veemmy y Zonen, Wageningen. 626p.
56. Jiménez, P.J. y C.M. Ocampo. 1970. El aluminio como factor de acidez en varios suelos del departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. (no publicada). Universidad de Nariño. ITA. Pasto. 93p.
57. Jones, H.W., et al. 1956. The reaction of zinc sulfate with the soil Florida Agricultural Experiment Station. Bull 298. 43p.
58. Jones, L.P.H. 1961. Aluminium uptake and toxicity in plants. *Plant and soil*. 13:297-310.
59. Junca, C. 1970. Determinación de cobalto, cobre y molibdeno en algunos suelos de clima medio en el departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. (no publicada). Universidad de Nariño. ITA. Pasto. 101p.
60. Kamprath, E.J. 1970. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Science Society of America Proceedings*. 34(2):252-254.

61. Karlson, P. 1965. Manual de Bioquímica. Trad. F. Pulido. Main. Barcelona. 386p.
62. Kliman, S. 1937. The importance of ferrous iron in plants and soils. Soil Science Society of America Proceedings. 2:385-392.
63. Labanauskas, Ch.K. 1966. Manganese. In. Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. H. Chapman. Riverside, California. University of California. pp.264-285.
64. Leeper, G.W. 1947. The forms and reactions of manganese in the soil. Soil Science Society of America Proceedings. 63:79-94.
65. Malavolta, E., et al. 1964. La nutrición mineral en algunas cosechas tropicales. Berna, Instituto Internacional de la Potasa. 163p.
66. Marinho, M.L. 1967. Influencia de fósforo e sesquióxidos livres. na absorcao de 65 zinc por milho em solos tropicales Tesis de la U.E.A., M.Sc. Centro Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 80p.
67. Matton, J. 1947. The influence of manganese ions in the synthesis of ascorbic in the green parts of higher plantas. Biol. Jaarboek koninkl. Nat. Gen. Dod. Gent. 14:109-150.
68. McLean, E.C., M.R. Heddleson., R.J. Barlett. and N. Hollowaychuk. 1958. Aluminium in soils. I. Extractions methods and magnitudes in lays. Soil Science Society of America Proceedings. 22:382-387.

69. Melton, J.R., et al. 1970. Zinc, phosphorus and lime interactions with yield and zinc uptake by Phaseolus vulgaris. Soils Science Society of America Proceedings. 34(1):91-93.
70. Ministerio del Trabajo. 1959. Atlas de Mariño. Arco. Bogotá 34p.
71. Millar, G.E. 1955. Soil fertility. Willey, New York. 436p.
72. Mitchell, R.L. 1964. Trace elements in soils. In. F. Bear Chemistry of the soil. 2a. ed. Reinold. New York. pp.320-368.
73. Mitchell, R.L. 1966. Los oligoelementos y la encaladura. Rev. de potasa. Instituto Internacional de la potasa. Berna. 34:1-6.
74. Norrinson, F.B. 1951. Alimentos y alimentación del ganado. Trad. J.L. Loma. 2da. ed. inglesa. Uthaha. México. 722p.
75. Okuntsov, M.M. 1947. The influence of copper on the formation of chlorophyll. Doklady akad Nauk. S.S.S.R. 57:407-408. (Res. on Bibliography minor elements. Vol. II: 102. 1952).
76. Olarte, L.I. y B. Motta. 1961. Deficiencia de boro en algunos suelos del Valle del Cauca. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. Publ. IT-10. 27p.
77. Ozanne, P.G. ; E. Greenwood and T.C. Shaw. 1963. The cobalt requirement of subterranean clover in the field. Australian. Jour. of Agric. Res. Melbourne. 14(1):39-50.
78. Paoli, A. y M. Laurati. 1962. Consideraciones sobre la importancia de los oligoelementos en el suelo. Inst. Nal. de Tecnología. Buc

nos Aires. V. 177:6-14.

79. Parra, A. 1971. Fraccionamiento del calcio en suelos del Altiplano de Ipiales. Tesis Ing. Agr. (no publicada) . Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto. 39p.
80. Paterson, J.B. y R. Ede. 1970. Suelos y abonado en horticultura. Trad. L. Heras C. Acribia. Zaragoza. 150p.
81. Powers, W.L. and S.T. Pang. 1941. Status of zinc in relation to Oregon soil fertility. Soil Science Society of America Proceedings. 51:473-486.
82. Ravikovitch, S., et al. 1967. Microelements in soils of Israel. Soil Science Society of America Proceedings. 92(2):85-89.
83. Reeve, N.G. and M. Sumner. 1970. Lime requirements of natal oxisols based on exchangeable aluminium. Soil Science Society of America Proceedings. 34(4):595-598.
84. Reisenauer, H.M. 1967. Availability assays for the secondary and micronutrient anions. In. Soil testing and plant analysis. Part. I. Soil testing. Madison, Wisconsin. Soil Science Society of America Inc., Publisher. pp.71-102.
85. Reuther, W. and Ch. Labanauskas. 1966. Copper. In. Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. H. Chapman. Riverside, California. University of California. pp.157-179.
86. Revelo, D.C. y M.D. Revelo. 1968. Estudio de fertilidad en invernadero en algunos suelos del Altiplano de Pasto. Tesis Ing Agr.

- (no publicada). Universidad de Nariño. ITA. Pasto. 93p.
87. Rodríguez, G.I. 1961. Geografía económica de Nariño. Sur Colombiana. Pasto. Vol. I-II.
88. Roldán, R.J.A. 1969. Diferentes formas de manganeso en suelos de la región oriental de la Meseta Central. Universidad de Costa Rica. San José. 61p.
89. Rubinstein, J.K. 1968. Determinación de cobre y zinc en suelos y plantas de café por espectrofotometría de absorción atómica. Tesis Lic. Quím. Universidad de Costa Rica. San José. 68p.
90. Sánchez, B. y R. Dios. 1964. Estudio químico de los suelos naturales y agrícolas Gallegos y las relaciones entre su contenido y nutrientes. IV. Manganeso, hierro y aluminio. Anales de Edafología y Agrobiología. 23:411-430.
91. Sauchelli, V. 1969. Trace elements in agriculture. Reinold. New York. 248p.
92. Semb, G. and A. Oien. 1966. Investigation on the copper content in samples of Norwegian soils. Forsk Fors. Landbr. Norway. 17: 209-226. (En abs. Soils and fertilizers. 30:19. 1967).
93. Sienko, M. and R. Plane. 1961. Chemistry. 2th. ed. McGraw Hill, New York. pp. 354-361.
94. Spencer, W.F. and J.R. Gieseking. 1954. Cobalt adsorption and release in cation-exchange systems. Soil Science Society of America Proceedings. 78:267-276.

95. Stiles, W. 1948. Trace elements in plants and animals. Mc Millan. New York. 189p.
96. Stoklasa, J. 1951. The physiological function of iron in plants. Compt. Rend. Acad. Sci. Paris. 127(5):282-283. (Res. in Bibliography minor elements. V. I: 1020).
97. Swaine, D.J. 1955. The trace elements content of soils. Commonwealth Bureau of soil science. Technical Communication No. 48. 157p.
98. Swaine, D.J. and R.L. Mitchell. 1960. Trace elements distribution in soil profiles. Journal of Soil Science. 11(2):347-368.
99. Thompson, L.M. 1957. Soil and soil fertility. 2th. ed. Mc Graw Hill. New York. 451p.
100. Tisdale, L.S. and W.L. Nelson. 1966. Soil fertility and fertilizers. 2th. ed. Mc Millan. New York. 694p.
101. Trear, D. 1969. Química agrícola. Trad. A. Rancasío. Salvat. Barcelona. 693p.
102. Vanselow, A.P. 1966. Cobalt. In. Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. H. Chapman. Riverside, California. University of California. pp.142-256.
103. Vargas, E. 1964. El aluminio de cambio en suelos de los Llanos Orientales. Tesis quín. (mimeografiada). Universidad Nacional. Facultad de Química. Bogotá. 55p.
104. Vinogradov, A.P. 1959. The geochemistry of rare and dispersed che

mical elements in soils. 2th. ed. Bureau Inc. New York. 209p.
(Translated from russian).

105. Villota, M.J. 1970. Determinación de boro, cobre, cobalto y molibdeno en suelos del Valle de Sibundoy. Intendencia Nacional del Putumayo. Tesis Ing. Agr. (no publicada). Universidad de Nariño. ITA. Pasto. 74p.
106. Wallihan, E.F. 1966. Iron. In. Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. H. Chapman. Riverside, California. University of California. pp.203-212.
107. Young, R.A. 1949. Some factors affecting the solubility of cobalt. Soil Science Society of America Proceedings. 13:122-126.
108. Yuan, T.L. 1963. Some relation-ships among hydrogen, aluminium and pH in solution and soil system. Soil Science Society of America Proceedings. 25:155-163.

T
631.82
C448d
Ej. 1

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Inventario: 8524

Autor: Bernardo Chamorro, Carlos E

Título: Determinación de aluminio,



T
631.82
C448d
Ej. 1

8524

Universidad de Nariño
Pasto (Nariño)

8524

8 5 2 4

Universidad de Nariño
BIBLIOTECA
ALBERTO QUIJANO GUERRERO