

ESTUDIO DE LA CONCENTRACION Y DISTRIBUCION
DE LOS MICRONUTRIMENTOS EN UN TRANSECTO DE
NICARAGUA

Tesis de Grado
de
Magister Scientiae

Constantino Soto González



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Abril, 1973

ESTUDIO DE LA CONCENTRACION Y DISTRIBUCION DE LOS
MICRONUTRIMENTOS DE UN TRANSECTO DE NICARAGUA

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado

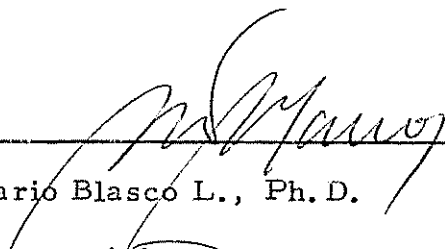
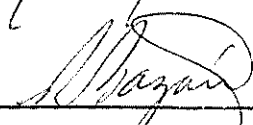
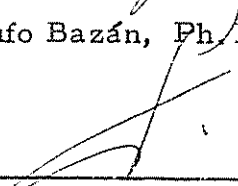
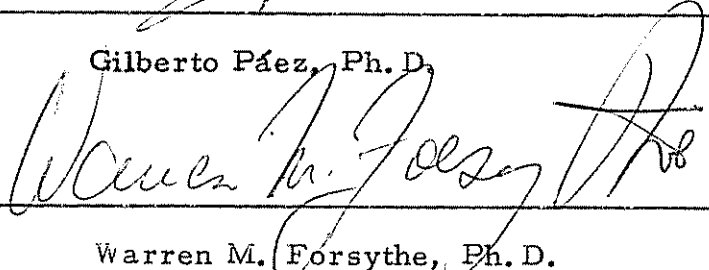
de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:

 _____ Mario Blasco L., Ph. D.	Consejero
 _____ Rufo Bazán, Ph. D.	Comité
 _____ Gilberto Pérez, Ph. D.	Comité
 _____ Warren M. Forsythe, Ph. D.	Comité

Abril, 1973

DEDICATORIA

En memoria de mi Madre
A mi Padre
A Lourdes
A Christian
A Helder
y hermanos

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento al Dr. Mario Blasco L., Consejero Principal, por la valiosa y acertada dirección en la realización de la presente investigación.

Al Dr. Rufo Bazán, miembro del Comité Consejero, por su asesoramiento y revisión del original y versión final de la tesis.

Al Dr. Gilberto Páez, miembro del Comité Consejero, por su eficiente dirección en el campo de la Estadística.

Al Dr. Warren M. Forsythe, miembro del Comité Consejero, por su colaboración en la revisión del original.

A la Dirección del Proyecto Bolivia 21 de FAO, con sede en La Paz, Bolivia, en la persona de los Ings. Agr. Carlos Chueca, Orlando Vasconcelos de Acevedo, Mario Pérez y Marcial Macías, por su apoyo, confianza y por haber brindado al autor la oportunidad de realizar estudios de Postgrado.

Al Ministerio de Agricultura, Bolivia, por haberle declarado en comisión durante el período de realización de sus estudios de Postgrado.

Al Ing. Víctor Quiróga y Sr. Manuel Zamora, del Centro de Computación y Estadística del IICA.

Al personal del laboratorio de Suelos del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, IICA-CTEI.

A la Zona Norte del IICA, por haber patrocinado la realización de la presente investigación.

A la Oficina de Catastro y Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura de Nicaragua, por su ayuda en la etapa inicial de la investigación.

Al Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA, en la persona de profesores, compañeros y amigos, que en conjunto contribuyeron a la feliz realización del presente trabajo, además de haberle brindado la oportunidad de realizar estudios de Postgrado.

BIOGRAFIA

El autor nació en Cochabamba, Bolivia, el 19 de setiembre de 1937. Realizó estudios universitarios en la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba, graduándose de Ing. Agrónomo el 8 de octubre de 1970.

Desde 1963 a 1966 prestó servicios como técnico en Suelos en el Servicio Interamericano Agrícola.

En 1966 fue transferido al Depto. de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, y desde ese año a 1968 fue transferido como Jefe de Grupo a la Oficina Regional del Ministerio de Agricultura con sede en la Ciudad de Cochabamba.

Desde junio a diciembre de 1968 ocupó la Ayudantía de Suelos en la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba y en diciembre del mismo año recibió una beca patrocinada por el Instituto de Cultura Hispánica, UNESCO y OEA para seguir un curso de especialización por espacio de siete meses en el Centro de Edafología de Sevilla, España.

Nuevamente fue transferido a la Oficina Central del Ministerio de Agricultura en la ciudad de La Paz y ocupando el cargo de contraparte de suelos en el Proyecto 208 de FAO, con sede en la Estación Experimental de Belén, La Paz desde octubre de 1970 hasta setiembre de 1971.

Ingresó a la Escuela para Graduados del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica, en octubre de 1971, concluyendo sus estudios en la especialidad de Suelos, graduándose de Magister Scientiae en abril de 1973.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Hierro	3
2.2 Manganeso	4
2.3 Cobre	6
2.4 Molibdeno	7
2.5 Cobalto	8
2.6 Zinc	10
2.7 Boro	11
3. MATERIALES Y METODOS	13
3.1 Descripción general del área en estudio	13
3.1.1 Suelos estudiados	14
3.2 Muestreo y preparación del suelo	16
3.3 Métodos analíticos	17
3.4 Análisis estadístico	20
4. RESULTADOS	22
4.1 Características de los suelos	22
4.2 Concentraciones de los micronutrientes	23
4.2.1 Hierro	23
4.2.2 Manganeso	25
4.2.3 Zinc	28
4.2.4 Cobre	30
4.2.5 Boro	33
4.2.6 Cobalto	34
4.2.7 Molibdeno	37
4.3 Estudio de las relaciones entre las diferentes fracciones de los elementos menores	39
4.4 Influencia de la distancia, altura topográfica y profundidad del perfil en la distribución de los micronutrientes en el transecto Volcanes El Chonco, San Cristobal - Océano Pacífico	47

	<u>Página</u>
4.5 Comparación entre medias de los diferentes extractantes para determinar las formas disponibles de microelementos	60
5. DISCUSION	64
6. CONCLUSIONES	76
7. RESUMEN	79
7a. SUMMARY	81
8. LITERATURA CITADA	83
APENDICE	90

LISTA DE CUADROS

<u>APENDICE</u>		<u>Página</u>
Cuadro N ^o		
1	Características químicas de los suelos de la Región Pacífica de Nicaragua	91
2	Características físicas de los suelos de la Región Pacífica de Nicaragua	93
3	Matriz de correlación entre las distintas formas de hierro, manganeso, zinc y cobre y algunas características del suelo	94
	Explicación de las variables del Cuadro 3.....	95
4	Matriz de correlación entre las distintas formas de boro, cobalto, molibdeno y algunas características del suelo	99
	Explicación de las variables del Cuadro 4	100
5	Concentración y distribución del hierro en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua	102
6	Capacidad extractora de los distintos reactivos utilizados para determinar las formas intercambiables y soluble en agua de los distintos elementos menores	103
7	Concentración y distribución de manganeso en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua	104
8	Concentración y distribución de zinc en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua	105
9	Concentración y distribución de cobre en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua	106
10	Concentración y distribución de boro en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua	107
11	Concentración y distribución de cobalto en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua	108
12	Concentración y distribución de molibdeno en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua	109

Cuadro N ^o	<u>Página</u>
13	Condiciones de operación del equipo de absorción atómica 110
14	Cálculo de la evaporación por medio de García-López y Papadakis, en comparación a la evaporación de un tanque en la zona de Chinandega 111
15	Lluvia, evaporación promedios, desviación standard y límites de confianza en la zona del Chinandega (1952-1968) 112
16	Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar hierro intercambiable .. 113
17	Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar manganeso intercambiable 113
18	Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar zinc intercambiable 114
19	Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar cobre intercambiable ... 114
20	Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar boro intercambiable 115
21	Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar cobalto intercambiable.. 115
22	Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar molibdeno intercambiable 116
23	Análisis de prueba de "t" de hierro en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.. 117
24	Análisis de prueba de "t" de manganeso en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes 118

Cuadro N^oPágina

25	Análisis de prueba de "t" de zinc en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.....	119
26	Análisis de prueba de "t" en cobre en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.....	120
27	Análisis de prueba de "t" de boro en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.....	121
28	Análisis de prueba de "t" de cobalto en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.....	121
29	Análisis de prueba de "t" de molibdeno en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.....	122

LISTA DE FIGURAS

<u>TEXTO</u>	<u>Página</u>
Figura Nº	
1 Variación de hierro extraído con ácido clorhídrico 0,1 N de muestras secadas al aire en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto ¹ Océano Pacífico-Volcanes San Cristobal y El Chonco	49
2 Variación de hierro extraído con acetato de amonio 1 N de muestras secas al aire, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Volcanes San Cristobal, El Chonco ² - Océano Pacífico....	50
3 Variación de manganeso extraído con oxalato de amonio de muestras secas al aire, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Volcanes San Cristobal, El Chonco ² Océano Pacífico....	51
4 Variación de manganeso extraído con acetato de amonio 1 N, pH 7,0 en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3) en el transecto ¹ Volcanes San Cristobal, El Chonco ³ - Océano Pacífico	53
5 Variación de zinc extraído con oxalato de amonio de muestras secas al aire, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Volcanes San Cristobal, El Chonco ² Océano Pacífico....	54
6 Variación de cobre extraído con oxalato de amonio de muestras a la humedad de campo, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto ¹ Volcanes San Cristobal, El Chonco - Océano Pacífico	55
7 Variación de cobre soluble en agua en muestra a la humedad de campo, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Volcanes San Cristobal, El Chonco ³ Océano Pacífico	57
8 Variación de cobalto extraído con oxalato de amonio de muestras a la humedad de campo, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Volcanes San Cristobal, El Chonco ² Océano Pacífico ...	58

APENDICEPágina

Figura Nº

9	Variación de la reacción del suelo en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Volcanes San Cristobal, El Chonco - Océano Pacífico	123
10	Variación del por ciento de materia orgánica en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Volcanes San Cristobal, El Chonco - Océano Pacífico	124
11	Variación del por ciento de arcilla en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Volcanes San Cristobal, El Chonco - Océano Pacífico	125
12	Variación del por ciento de arena en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Volcanes San Cristobal, El Chonco - Océano Pacífico	126
13	Curva de succión Serie La Lapa (perfil 1), horizonte superficial	127
14	Curva de succión Serie La Lapa (perfil 2), horizonte superficial	128
15	Curva de succión Serie Chinandega (perfil 3), horizonte superficial	129
16	Curva de succión Serie Chinandega (perfil 4), horizonte superficial	130
17	Curva de succión Serie La Mora (perfil 5), horizonte superficial	131
18	Curva de succión Serie La Mora (perfil 6), horizonte superficial	132
19	Curva de succión Serie Chichigalpa (perfil 7), horizonte superficial	133
20	Curva de succión Serie Chichigalpa (perfil 8), horizonte superficial	134

Figura N ^o		<u>Página</u>
21	Curva de succión Serie Telica (perfil 9), horizonte superficial	135
22	Localización de los sitios de muestreo en la Región Pacífica de Nicaragua	136

1. INTRODUCCION

Es un principio general demostrado que en el suelo las concentraciones totales de los distintos elementos menores son muy bajas y de ahí su nombre. Además, los microelementos aparecen, casi siempre, retenidos en combinaciones con la materia orgánica y compuestos inorgánicos, de manera que los niveles representados por las formas asimilables para las plantas, son, en la mayoría de los casos, bastante críticos.

Las bajas concentraciones y las interferencias de otros iones de mayor concentración dificultan las marchas químicas establecidas para detectar los elementos menores. Sin embargo es necesario establecer su cuantificación de la manera más precisa posible porque muy pequeños errores analíticos, prácticamente insignificantes en la determinación de los elementos mayores, hacen que un elemento menor pase de una concentración netamente deficitaria a niveles de toxicidad, o vice-versa, anulando cualquier esfuerzo encaminado a conseguir una adecuada fertilización del suelo y, por ende, una producción más económica de las cosechas agrícolas.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se estructuró y se realizó el presente trabajo utilizando suelos de las cinco series más importantes agrícolamente de la República de Nicaragua, derivados de cenizas volcánicas relativamente recientes, y localizados en la región del Pacífico. Los objetivos a alcanzar con este trabajo fueron:

1. Determinar las concentraciones totales e intercambiables de boro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc, en los suelos del transecto:

Volcanes San Cristobal y El Chonco - Océano
Pacífico.

2. Establecer el tipo de metodología analítica que se adapta mejor a la cuantificación química de los microelementos en estudio.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Hierro

El hierro representa, según Goldschmidt (31), el 5 por ciento de la corteza terrestre. Es el único elemento que tiene habilidad para formar numerosos compuestos estables con el azufre y el oxígeno (44). El contenido de hierro en las rocas ígneas básicas es de aproximadamente 8,6 por ciento, en las rocas ígneas ácidas 2,7 por ciento y en las rocas sedimentarias 3,3 por ciento (40). En el suelo su concentración es muy variable oscilando entre valores tan bajos como 200 ppm hasta cantidades de 100.000 ppm (67, 75). En el suelo se encuentran formando parte de las estructuras de los minerales primarios (piroxenos, anfíboles, olivinos, magnetita, etc.), de las arcillas y en combinaciones de óxidos, hidróxidos y fosfatos (37, 67).

Los óxidos libres de hierro, en condiciones de oxidación, se presentan en forma trivalente, mientras que en condiciones de reducción se encuentran en forma divalente. Değb (20) y Sánchez y Dios (65) señalan que la forma reducida se encuentra en el complejo de cambio, mientras que la forma oxidada puede estar en forma de óxidos hidratados como iones monovalentes $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ y divalentes $\text{Fe}(\text{OH})_2$ adsorbidos con frecuencia en la superficie de los coloides del suelo o formando complejos con los ácidos húmicos, siendo la forma reducida la más asimilable por las plantas.

En los trópicos la forma más importante corresponde a los sesquioxidos (Fe_2O_3) que, según Boulton y Hewitt (15), llegan a representar 60 por ciento o más de la composición mineral del suelo, en

contraste con los suelos de las zonas templadas donde los sesquioxidos férricos no alcanzan más del 2 al 6 por ciento. Por otra parte, las concentraciones de hierro intercambiable son, generalmente, bajas en relación a las cantidades de hierro total, y su extracción ha sido realizada mediante el uso de acetato de amonio 1N a pH 4,8 y 7,0 (65, 66). Los estudios recientes de Santana (66) señalaron que las concentraciones promedias de hierro intercambiable en algunos suelos ca^{ca}caeros de Bahía (Brasil) fueron de 28,9 y 2,2 ppm respectivamente. Chamorro et al (17) encontraron que esta fracción representativa, en promedio 140,6 ppm en suelos volcánicos de Nariño (Colombia), mientras que el promedio para los subsuelos era de 87,1 ppm.

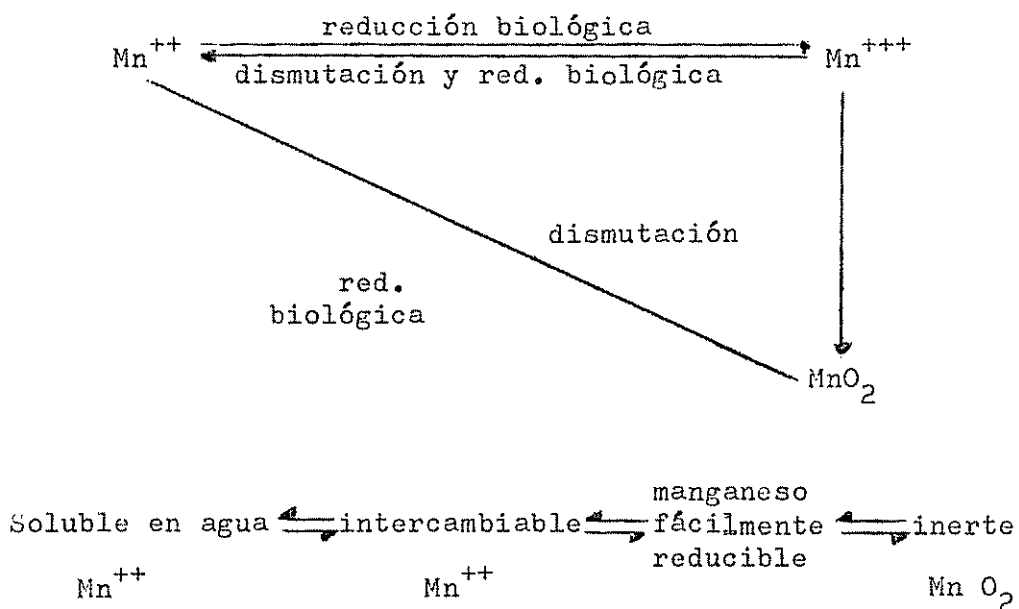
La importancia de las investigaciones sobre el hierro se deriva de que este elemento es esencial para el mantenimiento de la clorofila y es componente de muchas enzimas y citocromas, destacando su papel en la reacción de la fosforilación oxidativa (cadena respiratoria) de la cual dependen todos los procesos energéticos de plantas y animales (57). Recientes trabajos parecen confirmar que el hierro interviene en la síntesis de RNA (58).

2.2 Manganeseo

El manganeseo constituye, en promedio, el 0,09 por ciento de la corteza terrestre (31), y su concentración total en los suelos varía comúnmente, entre 20 y 3.000 ppm (44), dentro de cuyo rango se encuentran los resultados obtenidos por Castro y Blasco (16) en suelos volcánicos de Nariño, Colombia, y por Santana (66) en suelos de la región de Bahía, Brasil. De acuerdo con Taylor (74) los suelos derivados de

rocas ígneas básicas contienen cantidades más elevadas de manganeso que los originados a partir de rocas ígneas ácidas, mientras que las rocas sedimentarias proporcionan concentraciones muy variables.

Según distintos autores (8, 52, 75) el manganeso se presenta en el suelo en tres estados de valencia: Di-, tri- y tetravalente. La forma trivalente es inestable pasando a ión divalente en medios reductores, y a ión tetravalente en medios oxidantes. El equilibrio dinámico entre las tres formas iónicas quedan representado en el gráfico siguiente:



Para la determinación de las formas de manganeso asequible a las plantas ha sido utilizado ampliamente el acetato de amonio (18). Con este extractor Roldán (63) encontró una concentración media de manganeso intercambiable de 3,8 ppm en suelos aluviales y 10 ppm en latosoles de Costa Rica. Para los suelos cacaoteros de Bahía, Brasil,

Santana (66) dio un promedio de 89,7 ppm, mientras que para Nariño, Colombia el valor medio fue de 16,4 ppm. Otros autores han empleado agentes quelatizantes como EDTA, en la extracción de las formas asequibles de manganeso, sin embargo, los resultados han sido contradictorios (38). Estos autores también han utilizado como extractantes el ácido fosfórico y el fosfato de amonio.

La importancia de investigar el estado del manganeso en los suelos radica en que es un elemento esencial en la formación de la clorofila, interviene en distintas reacciones de oxidación - reducción que se llevan a cabo en las plantas y es activador de muchas enzimas (carboxilasa pirúvica, tiaminasa, enolasa, etc.), algunas de las cuales con esenciales en el ciclo de Krebs (2).

2.3 Cobre

La cantidad de cobre que constituye la corteza terrestre se estima en 55 ppm. Su concentración se aproxima a 100 ppm en las rocas ígneas básicas y solamente 10 ppm en las rocas ácidas, correspondiendo valores intermedios a las rocas sedimentarias (74). Su concentración total en los suelos se estima entre 10 y 80 ppm. Barros y Blasco (5) obtuvieron, en promedio, 38 ppm de cobre total en algunos suelos andosólicos de Colombia. Por su parte, Berlanga (7) reportó cantidades entre 110 y 468 ppm en suelos bajo pradera, en Turrialba, Costa Rica.

El cobre aparece en los suelos en dos estados: Ión cuproso, Cu^{++} , más importante en condiciones ácidas (pH 5,0 o menos) y reductores, e ión cúprico, Cu^{2+} , perteneciente a medios oxidados y menos

ácidos. Una de las características más importantes es su alta reactividad con los ácidos húmicos con los cuales forma complejos organometálicos, que determinan la baja disponibilidad del cobre en suelos con cierta abundancia de materia orgánica (30).

La asequibilidad del cobre para las plantas se ha determinado mediante el uso de diferentes soluciones extractores tales como EDTA, ácido clorhídrico, ácido nítrico y acetato de amonio principalmente (23). Utilizando acetato de amonio, Koss (43) detectó en algunos suelos de Costa Rica una concentración media para cobre intercambiable de 17,4 ppm. En suelos de Bahía, Brasil, la concentración de asequibilidad apenas llegó a 0,5 ppm (66), cifra igual (0,5 ppm, rango 0,01 - 1,6 ppm) a la reportada por Chamorro et al (17) en suelos volcánicos de Colombia.

La importancia del cobre en la nutrición vegetal se debe a que es elemento esencial de muchas oxidasas, incluyendo la citocroma oxidasa, catalizadora principal del metabolismo vegetal. Además, el cobre es componente de bastantes proteínas (58). Para una adecuada nutrición del ganado el cobre es de suma importancia ya que, conjuntamente con el hierro, es necesario para la formación de hemoglobina. Su deficiencia causa serios trastornos como diarreas, anemia, pérda de apetito, etc. (69).

2.4 Molibdeno

Dentro de los elementos menores considerados como indispensables en la nutrición de las plantas las concentraciones más bajas corresponden, tanto en rocas como en suelos al molibdeno. Según

Taylor (74), las cantidades promedias, en la corteza terrestre y las distintas clases de roca, no superan las 2 ppm. En el suelo concentración total oscila entre 0,2 y 10 ppm (44). Datos obtenidos por Barros y Blasco (5) mostraron que los suelos de la región suroeste de Colombia, poseían menos de 4 ppm de molibdeno total. De acuerdo con la literatura consultada las concentraciones más altas de molibdeno han sido reportadas por Fujimoto y Sherman (26) para suelos de Hawaii con rangos promedios de 15 - 30 ppm.

Para la determinación del molibdeno asequible se han empleado el acetato de amonio y el oxalato de amonio ácido aunque debido a las bajas concentraciones del elemento en el suelo, así como la interferencia de otros iones, todavía subsisten muchas dificultades para el establecimiento de un método adecuado (32). Hasta donde se ha po dido consultar la literatura sólo Santana (66) ha detectado trazas de molibdeno intercambiable para suelos del Trópico de América. Una característica notable del molibdeno es el aumento de su disponibili dad con el incremento del pH del suelo (40).

Por estar contenido en la nitrogenasa y la nitrato reductasa, la importancia del molibdeno radica en ser un elemento esencial para la síntesis de las proteínas. Es también necesario para la asi milación del nitrógeno por las plantas (58).

2.5 Cobalto

La representación del cobalto en la composición media de la corteza terrestre alcanza a 23 ppm. Debido a que este elemento se concentra principalmente en materiales ferromagnesianos como olivinos,

piroxenos y anfíboles, su concentración en las rocas ígneas básicas es de 45 ppm, mientras que en las rocas ígneas ácidas solamente es de 5 ppm y en las rocas sedimentarias a 23 ppm (40, 49). Se han realizado muy pocas estimaciones de su contenido total en suelos de Latinoamérica. Alba (1) reportó una concentración de hasta 76,4 ppm en suelos de pradera del Uruguay. Barros y Blasco (5) encontraron que los suelos volcánicos de Nariño, Colombia, contenían un promedio de 4,5 ppm, y en los suelos de las provincias de Buenos Aires y Tierra de Fuego (Argentina), Paoli y Lavrati (54) detectaron cantidades variables entre 0,7 y 3,0 ppm.

El cobalto asequible aparece con dos valencias: como ión Co^{2+} y en forma $\text{Co}(\text{OH})^+$. Además, al acomplejarse con la materia orgánica puede actuar como Co^{3+} . En general su comportamiento se asemeja al del hierro y manganeso, aumentando su disponibilidad a medida que dominan las condiciones reductoras y ácidas (70). Para la determinación de su asequibilidad se ha empleado acetato de amonio pH 4,8, y el ácido acético 0,5 N (77). Utilizando el acetato de amonio 1N, pH 4,8 Chamorro et al (17) encontraron que la concentración de cobalto asequible en suelos de Nariño, Colombia, era de 0,9 ppm.

El cobalto tiene una serie de funciones en la planta y en la nutrición animal. Se ha establecido que es necesario en la fijación simbiótica del nitrógeno y en la síntesis de la vitamina B_{12} . La cobalamina actúa como mantenedora de la flora intestinal en la producción de hemoglobina y, al parecer, el cobalto en dosis adecuadas, tiende a aumentar la producción de leche (1, 75).

2.6 Zinc

De acuerdo a Taylor (74), la concentración del zinc en la corteza terrestre es de 70 ppm, abundando más en la composición de las rocas ígneas básicas, 100 ppm, que en rocas ácidas, 40 ppm, o en las sedimentarias, 16 - 95 ppm. En los suelos el rango aparece comprendido entre 10 y 300 ppm. Según Igue y Bornemisza (41), en regiones tropicales y subtropicales, han sido observadas deficiencias de zinc, debido a que el tipo de arcilla, materia orgánica, concentración de fosfatos, etc., inhiben su disponibilidad de zinc, siendo el más importante la materia orgánica que acompleja al zinc y permanece este microelemento en 80 por ciento como parte de un residuo órgano-metálico, por consiguiente, es necesario intensificar estudios sobre su comportamiento de zinc en suelos tropicales.

Dentro de las metodologías propuestas para determinar la fracción de zinc asequible para las plantas, Santana (66) comprobó que las cantidades extraídas con acetato de amonio normal a pH 7,0 fueron inferiores a las extraídas con el mismo acetato de amonio $1N$, a pH 4,8, detectándose las mayores cantidades con uso de ácido clorhídrico normal y con EDTA al 1 por ciento. De la revisión presentada por Cox y Kamprath (18) se encontró que también se han utilizado mezclas de ácido clorhídrico con el ácido sulfúrico y con el sulfato de magnesio, a la vez que otros investigadores han preferido el uso de sales neutras como el nitrato de amonio, el cloruro de potasio y el cloruro de magnesio.

La disponibilidad del zinc ha sido estudiada en algunos suelos

del Trópico Americano Marinho (47), utilizando ácido clorhídrico 0,1 normal, encontró concentraciones promedias de 8,1 ppm en suelos aluviales de Costa Rica. También en este país y con el mismo extractor, Koss (43) reportó valores de 7,2 ppm para una serie de Andosoles. Santana (66) dio cifras promedio de 3,9 ppm de zinc para los suelos de Bahía, Brasil. Chamorro et al (17) obtuvieron un promedio de 1 ppm en suelos y 2 ppm en subsuelos de Nariño, Colombia. Kanehiro y Sherman (42) encontraron un promedio de 3,96 ppm para suelos Hawaiiianos derivados de cenizas volcánicas.

La necesidad del zinc en la nutrición de las plantas se debe a que este elemento es componente de distintas enzimas anhidrasas, deshidrogenasas, proteinasas y peptidasas. A la vez parece asociado con el comportamiento de las auxinas, especialmente en la síntesis del ciclo indol-acético (58). En los animales el zinc, a través de la enzima anhidrasa carbónica interviene en el equilibrio ácido - base del cuerpo, en la liberación del CO_2 por los pulmones y en la neutralización de los jugos gástricos (69).

2.7 Boro

El contenido promedio de boro de la corteza terrestre es de 10 ppm. A diferencia de lo que ocurre con los otros elementos menores el boro es más abundante en las rocas ígneas ácidas, 15 ppm que en las rocas ígneas básicas, 5 ppm. Algunas rocas sedimentarias, como "shales" pueden mostrar concentraciones de boro muy elevadas. El rango más común de boro total en los suelos se sitúa entre 7 y 80 ppm (40 y 74). Sin embargo, existe cierta controversia al respecto

ya que algunos autores (35, 59) reportan concentraciones totales en los suelos por encima de las 100 ppm y, aún, de 200 ppm.

En relación con los otros microelementos el boro presenta algunas peculiaridades derivadas de que en el suelo siempre aparece combinado con el oxígeno, comportándose por tanto, como anión (borato) en todas las reacciones. Además, es el microelemento más móvil perdiéndose fácilmente por lixiviación (44). Al respecto, Stevenson y Arkadani (73) señalan que desde el punto de vista de las prácticas de fertilidad, las pérdidas de microelementos por lixiviación son inapreciables con la excepción del boro.

La determinación de las formas asequibles de boro han estado basadas en dos tendencias: el uso de agua caliente y el empleo de ácidos como extractantes (80). Basado en los análisis con agua caliente, Reisenauer (61) ha establecido el criterio de que suelos con menos de 0,7 ppm son deficientes, entre 0,7 - 1,0 ppm adecuado, y entre 1,0 - 5,0 ppm tóxico. No obstante, análisis realizados en el Valle del Cauca (Colombia), con el método de agua caliente, dieron concentraciones muy próximas a 10 ppm y los suelos son considerados como altamente deficientes en boro (53).

Aunque existen discusiones acerca del papel que representa el boro en las plantas, de acuerdo con Giddens (29) su función más destacada es el transporte de los carbohidratos, debido a que el borato reacciona con los azúcares, que pasan así a través de las membranas celulares. Ese mismo autor destaca la necesidad de boro en la división celular.

3. MATERIALES Y METODOS

La presente investigación fue realizada en los laboratorios del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación - IICA, Turrialba, Costa Rica.

3.1 Descripción general del área en estudio

El área en estudio está localizada dentro la Región Pacífica de Nicaragua. Según Marín (46), la región se encuentra en una franja de 60 a 80 kilómetros de ancho aproximadamente, que se distribuye de N.O. a S.E., paralelamente a la costa del Pacífico, entre los 11° y 13° de latitud Norte y $85^{\circ} 30'$ y $87^{\circ} 45'$ de longitud Oeste. En la Figura 22 del Apéndice se observa la localización de los suelos estudiados. El clima de la mayor parte de la región se caracteriza por presentar temperaturas cálidas entre 22 y 37°C durante todo el año. La precipitación anual fluctúa entre 900 y 1.900 mm, distribuidas en un período húmedo de seis meses comprendido entre mayo y noviembre y un período seco entre diciembre y abril. De acuerdo al sistema de Holdridge, se encuentran las formaciones Bosque Tropical Muy Seco y Bosque Tropical Seco.

Geológicamente, permanecen intactos numerosos aparatos volcánicos del Pleistoceno, siendo la litología dominante de piroclastos y flujos lávicos; algunos de estos volcanes permanecen aún inactivos.

Los suelos se han derivado a partir de diferentes tipos de materiales volcánicos principalmente de composición básica como: diversos tipos de tobas, brechas y aglomerados, flujos lávicos basálticos

y andesíticos, lapilli de basalto, pómes, etc. Los suelos de la región se agrupan en los órdenes Vertisoles, Inceptisoles y Mollisoles.

3.1.1 Suelos estudiados

El área contemplada en este estudio donde se localizan las series que se describen a continuación, ocupa una superficie muy aproximada de 250 km².

1) Serie La Lapa: son suelos derivados de cenizas volcánicas básicas de color oscuro, profundos, pardos a pardo oscuros y bien drenados. Se encuentran sobre depósitos volcánicos más viejos de colores claros. Tienen una permeabilidad de moderada a moderadamente rápida, humedad disponible moderadamente alta, y zona radical profunda. Son moderadamente altos en materia orgánica en las capas superficiales y moderados en el subsuelo. Poseen un buen contenido de bases, los suelos. La saturación de bases del subsuelo es de al rededor del 75 por ciento. El contenido de potasio va desde medio a alto, pero el fósforo es bajo (46).

A pesar de la descripción presentada en el punto anterior, las observaciones de campo indican que el drenaje de los lotes muestreados es deficiente, ocasionado por la topografía y acumulación de arcilla en los perfiles a partir de los 30 cm de profundidad.

2) Serie Chinandega: esta serie está formada por suelos francos derivados de cenizas volcánicas recientes, profundos y bien drenados, con capacidad de humedad disponible alta, y zona radical profunda. La cantidad de materia orgánica es moderadamente alta en la superficie del suelo y moderada en los estratos subsuperficiales y en el subsuelo. Los suelos están bien provistos de bases y tienen una saturación de bases aproximadamente del 60 por ciento. Tienen alto potasio aprovechable pero son bajos en fósforo (46).

3) Serie La Mora: la forman suelos derivados de cenizas volcánicas de textura moderadamente gruesa, de profundidad moderada y bien drenados, con regular capacidad de humedad disponible, y una zona radical profunda. La superficie del suelo es moderadamente alta en materia orgánica, el subsuelo es moderado. Los suelos son moderadamente altos en bases cambiables; la saturación de bases del subsuelo va de 45 a 50 por ciento. Los suelos son bajos en fósforo aprovechable. El contenido de potasio es medio (46).

4) Serie Chichigalpa: los suelos que constituyen esta serie son francos, pardo oscuros en la superficie y con un subsuelo pardo amarillento oscuro, profundos, bien drenados, con capacidad de humedad disponible aproximadamente alta, y zona radical profunda, El

contenido de materia orgánica es moderadamente alto en la superficie y regular en el subsuelo. Los suelos tienen buena provisión de bases, y en el subsuelo la saturación de bases es mayor de 80 por ciento. Son suelos medios en potasio aprovechable pero deficientes en fósforo (46).

5) Serie Telica: está formado por suelos profundos, bien drenados, pardos muy oscuros, desarrollados de cenizas volcánicas recientes y un suelo enterrado de textura fina, con capacidad de humedad disponible que va de moderadamente alta a alta, y zona radical profunda. El contenido de materia orgánica es medio, y los suelos tienen buen abastecimiento de bases, que supera el 65 por ciento. Los suelos son bajos en fósforo aprovechable, mientras que el contenido de potasio es medio (46).

3.2 Muestreo y preparación del suelo

El muestreo se efectuó en las cinco series de suelos clasificadas por la Oficina de Catastro y Recursos Naturales de Nicaragua, considerándose dos perfiles por serie. La recolección de las muestras en la primera capa se realizó en una superficie de 30x40 m tomándose de 8 a 10 submuestras para conseguir una muestra final de 800 - 1000 gramos, para análisis físicos y químicos. El muestreo de las capas inferiores se efectuó con un barreno. Para cada serie el muestreo se realizó en el lote donde previamente la Oficina de Catastro y Recursos Naturales de Nicaragua había localizado el perfil modal, y en otro sitio intermedio.

Por separado se tomaron muestras de suelo de las primeras capas de todos los perfiles, con un juego de anillos metálicos de volumen conocido, con el objeto de determinar las curvas de desorción para las diferentes series de suelos. En forma similar se utilizaron cilindros metálicos de volumen conocido y determinar la densidad aparente.

Las muestras de suelos recolectadas tanto para determinaciones físicas y químicas fueron secadas al aire y mantenidas con su humedad de campo y pasadas por un tamíz de acuerdo a las necesidades, y tomándose una muestra para determinar la humedad gravimétrica de acuerdo con Forsythe (24).

Todos los resultados obtenidos fueron ajustados con base en suelo secado al horno, según la fórmula:

$$M_s = \frac{M}{1 + \frac{H}{100}}$$

donde:

M_s = masa de sólidos o masa del suelo secado al horno

M = masa del suelo con humedad

H = % de la humedad gravimétrica del suelo

según Forsythe (24).

3.3 Métodos analíticos

Se determinaron las concentraciones totales, intercambiables y solubles en agua de los microelementos boro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc en muestras secas al aire y en muestras

a la humedad de campo.

Como soluciones extractores se emplearon la mezcla de ácidos nítricos, clorhídrico, sulfúrico y perclórico concentrados, según el método de Ulrich et al (76), para obtener las concentraciones totales de microelementos. Para la determinación de las formas intercambiables y solubles en agua, se utilizaron los extractores acetato de amonio 1N, pH 7,0; acetato de amonio 1N, pH 4,8; ácido clorhídrico 0,1N; oxalato de amonio ácido pH 3.3 según las recomendaciones de Saíz del Río y Bornemisza (64); Veriginia (78); Viets y Boawn (79) y Grigg-Jhonson y Arkley (33).

Para la determinación de boro intercambiable se siguió el método de Hatcher y Wilcox (39), un método colorimétrico que después de la destrucción de la materia orgánica en presencia de hidroxido de calcio, el boro es determinado por absorbancia como complejo coloreado con carmín.

El cobalto se determinó siguiendo el método establecido por la Society Analytical Chemistry (72), que después de la destrucción de la materia orgánica, el cobalto es extraído con ácido clorhídrico; precipitación del hierro y fosfato producido con la adición de citrato de sodio. El cobalto es determinado en un fotocolorímetro medido en absorbancia en color anaranjado con 2 nitroso - 1 naftol en solución de tolueno.

Para la determinación de molibdeno se siguió el método de Grigg Jhonson y Arkley - Society Analytical Chemistry (34), con una modificación de ácido clorhídrico 1N + 0,5 g de cloruro férrico, cuyo

principio indica que después de la destrucción de la materia orgánica el molibdeno en la presencia de un agente reductante da un complejo de color anaranjado con tiocianato de potasio. Este complejo coloreado, el cual es soluble en solventes orgánicos tales como alcohol isoamílico extraído como solución acuosa y determinado en un fotocolorímetro medido en absorbancia.

Las determinaciones de cobre, hierro, manganeso y zinc se realizaron directamente en los extractos utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica, cuyas especificaciones de funcionamiento se indican en el Cuadro 13 del Apéndice.

Reacción del suelo: Se utilizó la relación 1:1, efectuándose las lecturas en un potenciómetro Beckman modelo 96 con electrodo de vidrio, seguido por Saíz del Río y Bornemisza (64).

Carbón orgánico: Método de Walkley - Black descrito por Saíz del Río y Bornemisza (64).

Materia orgánica: A partir del valor del carbón orgánico multiplicando por el factor 1,724.

Capacidad de intercambio catiónico: Método del cloruro de calcio propuesto por Fuentes (27).

Distribución del tamaño de partículas: Método del hidrómetro modificado por Day (19) y adaptado por Forsythe (24).

Densidad aparente: Método del cilindro descrito por Blake (10) y adaptado por Forsythe (24).

Densidad de partículas: Método de Blake (11), modificado por Forsythe (24), utilizando kerosene como líquido desplazante.

Retención de humedad: Método de Richards (60), modificado por Forsythe (24).

Balance hídrico: Método de García-López (28) y Papadakis (55), utilizando para ello el factor del cultivo de algodón según Rochester y Busch (62) y factor f modificado por Legarda y Forsythe (45), para evaporación.

3.4 Análisis estadístico

En el presente trabajo se efectuaron básicamente dos tipos de análisis:

1) Análisis de relación

a) Se efectuó análisis de correlación para conocer el grado de asociación entre las variables; que en el presente caso se refieren a las formas totales, intercambiables y solubles en agua de los micronutrientes, determinadas en muestras secas al aire y mantenidas a la humedad de campo y otras características físico-químicas, que se estudiaron para determinar en qué medida una ecuación lineal o otro tipo explica la relación entre variables.

b) El modelo de regresión fue utilizado para conocer el incremento de los contenidos totales, intercambiables y solubles en agua de los micronutrientes, como función de la distancia al volcán, profundidad del perfil y altura sobre el nivel del mar. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$Y_i = b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + b_3 X_{3i}$$

donde:

b_1 , b_2 y b_3 = Coeficientes lineales de regresión

b_0 = ordenada al origen

Y_i = variable respuesta

X_1 = distancia al volcán en km

X_2 = profundidad del perfil en cm

X_3 = altura sobre el nivel del mar

2) Análisis discriminatorio

a) Se realizó una prueba de "t" de Student, con el objeto de conocer la diferencia entre muestras secadas al aire y las conservadas a la humedad de campo. Por otra parte, se realizó un análisis de variancia con el objeto de detectar la diferencia entre los efectos de los tratamientos utilizados para liberar los micronutrientes en estudio. Finalmente, se efectuó una prueba de rangos múltiples, para comparar la eficiencia de extracción química cuantitativa de los reactivos utilizados para desplazar los micronutrientes en estudio. Los datos fueron procesados en una computadora IBM-1130 del IICA-CTEI.

4. RESULTADOS

4.1 Características generales de los suelos

Todos los datos obtenidos y que se comentan a continuación, están expresados en base al suelo secado al horno.

Los resultados obtenidos (Cuadro 1 del Apéndice) indican que estos suelos derivados de cenizas volcánicas, muestran una reacción muy próxima a la neutralidad. El pH presentó un porcentaje de asociación mediano e inverso con relación al contenido de materia orgánica. Dentro del transecto Volcanes El Chonco, San Cristobal - Océano Pacífico, los pH más elevados aparecieron en la Serie Chinandega que aproximadamente, ocupa la zona central del transecto. Los perfiles no registraron cambios bruscos de pH entre los distintos horizontes.

La capacidad de intercambio catiónico con cloruro de calcio mostró un rango de variación comprendido entre 12,12 y 34,87 m.e/100 g, presentando una fuerte dependencia positiva con el porcentaje de arcilla y una asociación negativa, también fuerte, con el porcentaje de arena. Al contrario de lo que usualmente ocurre en suelos volcánicos la CIC aumentó al disminuir el contenido de materia orgánica con quien tuvo una asociación negativa (Cuadro 3 - matriz 1 y Cuadro 4 - matriz 2 del Apéndice). De ahí que en el transecto la CIC más elevada apareciere en los perfiles de la serie La Lapa (la más próxima al Océano Pacífico) que es aquella que contuvo los porcentajes más elevados de arcilla y los menores de materia orgánica. Por el contrario, la CIC más baja se obtuvo en los perfiles

de la serie La Mora cuyos porcentajes de arena y materia orgánica son los más elevados.

En suma, para la región estudiada, los resultados demostraron que la CIC y el porcentaje de arcilla crecieron dentro del transecto, en la dirección Volcanes San Cristobal, El Chonco - Océano Pacífico. A su vez los porcentajes de arena y materia orgánica aumentaron en dirección desde la serie La Lapa (más próxima al Océano Pacífico) situada a 20 msnm hasta la serie La Mora (más próxima a los volcanes) localizada a 260 msnm.

La densidad aparente de los suelos estudiados varió entre 0,86 a 1,10 g/ml y un promedio de 0,97 g/ml. Mientras que la densidad de partículas varió entre 2,45 a 2,71 g/ml, con un promedio de 2,63 g/ml. Entre tanto, el por ciento de humedad retenida por el suelo entre 0,33 y 15 bares fluctuó entre 11,48 y 20,75 por ciento de humedad gravimétrica, siendo el promedio de 15,84 por ciento. Las curvas de retención de humedad de los suelos estudiados se encuentran en las Figuras 13 al 21 del Apéndice.

4.2 Concentraciones de los micronutrientes

4.2.1 Hierro

En el Cuadro 5 del Apéndice se presentan los resultados químicos obtenidos para el hierro total y sus formas intercambiables y solubles en agua extraídos por diferentes métodos.

El promedio de la concentración de hierro total en las muestras secas al aire fue de 75,119 ppm, con un rango que fluctuó entre 96,196,8 ppm (perfil 1) y 55.084,7 ppm (perfil 6). En las muestras

conservadas a la humedad de campo hasta la extracción, la concentración promedio de hierro total fue de 31.309 ppm, con una variación que osciló desde 120.000 ppm (perfil 6) hasta 5.500 ppm (perfil 9). Las formas de hierro intercambiable se estimaron en extractos obtenidos con los siguientes reactivos.

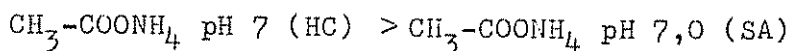
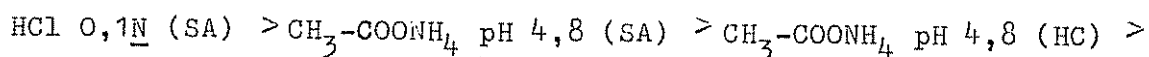
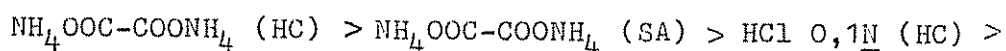
Oxalato de amonio ácido: La concentración promedio detectada en el análisis químico del extracto de las muestras secas al aire fue de 8.857,4 ppm, con una fluctuación comprendida entre un máximo de 13.562,5 ppm (perfil 2) y un mínimo de 1.310,0 ppm (perfil 5). A su vez el análisis de los extractos procedentes de las muestras conservadas a la humedad de campo dio una concentración promedio de 10.636,7 ppm, encontrándose la concentración máxima en el perfil 8 con 29.625,0 ppm, y un mínimo correspondiente al perfil 5 con 3.500 ppm.

Acido clorhídrico 0,1N: La concentración promedio encontrada en el análisis químico del extracto de las muestras secas al aire fue de 1.399,7 ppm, registrándose una concentración máxima de 2.214,7 ppm en el perfil 2, y un valor mínimo de 170,6 ppm en el perfil 5. En las muestras conservadas a la humedad de campo se encontró una concentración promedio de 2.192,0 ppm, con un rango que varió desde 3.255,8 ppm (perfil 2) hasta 473,6 ppm (perfil 5).

Acetato de amonio 1N, pH 7,0: En los extractos de las muestras secas al aire solamente se obtuvieron trazas de hierro intercambiable. En muestras mantenidas a la humedad de campo resultó una concentración promedio de 2,44 ppm, con una concentración máxima de 4,0 ppm correspondiente al perfil 1 y trazas detectadas en varios perfiles.

Acetato de amonio 1N, pH 4,8: La concentración promedio detectada en las muestras secas al aire fue 241,7 ppm, con extremos variables entre un máximo de 356,4 ppm (perfil 5) y un mínimo de 84,6 ppm (perfil 2). En las muestras analizadas con la humedad de campo el promedio resultó igual a 79,5 ppm, con una oscilación comprendida entre 180 ppm (perfil 5) y 18,52 ppm (perfil 2).

En resumen, si se establece una secuencia de la potencia extractora de los reactivos utilizados para el hierro intercambiable (Cuadro 4 del Apéndice), contemplando las muestras secas al aire (SA) y a la humedad de campo (HC) se tiene el siguiente orden decreciente:



El resumen de todas las secuencias de extracciones aparecen en el Cuadro 6 del Apéndice.

Para el hierro soluble en agua se obtuvo un máximo de 595,1 ppm (perfil 2) y un mínimo de 0,1 ppm (perfil 5) y una concentración promedio de 242,7 ppm en muestras secas al aire. En las muestras analizadas a la humedad de campo, la concentración promedio fue de 262,2 ppm, con un rango comprendido entre 615,0 ppm (perfil 2) y 0,1 ppm (perfil 5).

4.2.2 Manganeseo

En el Cuadro 7 del Apéndice se presentan los resultados

químicos obtenidos para el manganeso total y sus formas intercambia-
bles y soluble en agua en los perfiles estudiados y extraídos con di-
ferentes métodos. El promedio de la concentración de manganeso total,
en muestras que se secaron al aire previamente al análisis fue de
878,8 ppm, con un rango que fluctuó entre 1.252,6 ppm (perfil 1) y
510,2 ppm (perfil 9). En las muestras que se conservaron a la humedad
de campo hasta su extracción, la concentración promedio de manganeso
total equivalió a 793,4 ppm, con una variación que osciló desde 1.150
ppm (perfil 3) hasta 500,0 ppm (perfil 5).

Las formas de manganeso intercambiable se estimaron en extrac-
tos obtenidos con los reactivos siguientes:

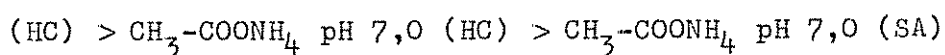
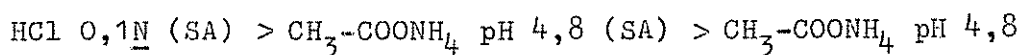
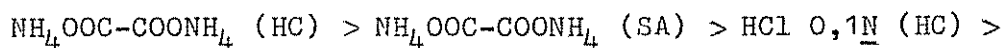
Oxalato de amonio ácido: La concentración promedio detectada
en el análisis químico del extracto de las muestras secas al aire fue
de 261,2 ppm, con una fluctuación comprendida entre un máximo de 530
ppm (perfil 7) y un mínimo de 75,3 ppm (perfil 5). A su vez, el aná-
lisis de los extractos procedentes de las muestras conservadas a la
humedad de campo dio una concentración promedio de 396,7 ppm, encon-
trándose la concentración máxima en el perfil 8 de 628,4 ppm, y un mí-
nimo correspondiente a perfil 5 con 54,8 ppm.

Acido clorhídrico 0,1 N: La concentración promedio encontrada
en el análisis químico del extracto proveniente de las muestras secas
al aire equivalió a 93,3 ppm, registrándose una concentración máxima
de 293,8 ppm (perfil 2) y un valor mínimo de 39,8 ppm en perfil 5.
En las muestras conservadas a la humedad de campo se encontró una con-
centración promedio de 129,8 ppm, con un rango que varió desde 414,0
ppm (perfil 2) hasta 42,5 ppm (perfil 7).

Acetato de amonio 1N, pH 7,0: En los extractos de las muestras secas al aire solamente dio un mínimo de 0,1 ppm (perfil 5), un valor máximo de 6,71 ppm (perfil 1) y un promedio de 2,44 ppm. En las muestras mantenidas a la humedad de campo resultó una concentración máxima de 3,89 ppm correspondiente al perfil 1 y trazas detectadas en varios perfiles, y un promedio de 1,02 ppm.

Acetato de amonio 1N, pH 4,8: La concentración promedia detectada en las muestras secas al aire fue de 24,1 ppm, con extremos variables entre un máximo de 61,31 ppm (perfil 2) y un mínimo de 9,61 ppm (perfil 7). En las muestras analizadas con su humedad de campo el promedio resultó igual a 3,77 ppm, con una oscilación comprendida entre 17,19 ppm (perfil 2) y 0,1 ppm (perfil 5).

En resumen, si se establece una secuencia de la potencia extractora de los reactivos utilizados para el manganeso intercambiable (Cuadro 7 del Apéndice), contemplando las muestras secas al aire (SA) y a la humedad de campo (HC) se tiene el siguiente orden decreciente:



El resumen de todas las secuencias de extracciones aparecen en el Cuadro 6 del Apéndice.

Para el manganeso soluble en agua se obtuvo una concentración promedia de 4,78 ppm en las muestras secas al aire, con un máximo de

13,42 ppm (perfil 2) y un mínimo de 0,1 ppm (perfil 5). En las muestras analizadas a la humedad de campo la concentración promedio fue de 6,64 ppm, con un rango comprendido entre 14,0 ppm (perfil 1) y 0,1 ppm (perfil 5).

4.2.3 Zinc

En el Cuadro 8 del Apéndice se presentan los resultados químicos obtenidos para el zinc total y sus formas intercambiables y soluble en agua en los perfiles estudiados extraídas por diferentes métodos.

El promedio de la concentración de zinc total en las muestras que se secaron al aire previamente al análisis fue de 355,2 ppm, con un rango que fluctuó entre 615,2 ppm (perfil 5) y 252,6 ppm (perfil 9). En las muestras que se conservaron a la humedad de campo hasta su extracción, la concentración promedio de zinc total equivalió a 303,1 ppm, con una variación que osciló desde 560,0 ppm (perfil 5) hasta 200,0 ppm (perfil 6).

Las formas de zinc intercambiable se estimaron en extractos obtenidos con los siguientes reactivos:

Oxalato de amonio ácido: La concentración promedio detectada en el análisis químico del extracto de las muestras secas al aire fue de 13,44 ppm, con una fluctuación comprendida entre un máximo de 29 ppm (perfil 2) y un mínimo de 4,5 ppm (perfil 1). A su vez el análisis de los extractos procedentes de las muestras conservadas a la humedad de campo dio una concentración promedio de 14,27 ppm, encontrándose la concentración máxima de 41,3 ppm (perfil 4) y un

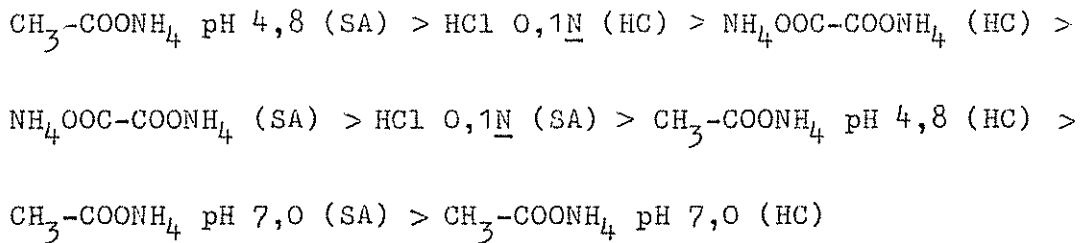
mínimo correspondiente al perfil 5 con 4,85 ppm.

Acido clorhídrico 0,1 N: La concentración promedio encontrada en el análisis químico del extracto proveniente de las muestras secas al aire equivalió a 17,97 ppm, registrándose una concentración máxima de 34,9 ppm en el perfil 2, y un valor mínimo de 7,30 ppm en el perfil 5. En las muestras conservadas a la humedad de campo se encontró una concentración promedio de 13,61 ppm, con un rango que varió desde 50,7 ppm (perfil 2) hasta 2,10 ppm (perfil 5).

Acetato de amonio 1N, pH 7,0: En los extractos de las muestras secas al aire correspondió un promedio de 6,80 ppm, registrándose una concentración máxima de 12,55 ppm que pertenece al perfil 4, y un mínimo de 5,10 ppm para el perfil 9. En las muestras mantenidas a la humedad de campo resultó una concentración promedio de 5,51 ppm, con una concentración máxima de 8,0 ppm correspondiente al perfil 4 y un mínimo de 4,00 ppm para el perfil 5.

Acetato de amonio 1N, pH 4,8: La concentración promedio detectada en las muestras secas al aire fue de 23,83 ppm, con extremos variables entre un máximo de 164,8 ppm (perfil 3) y un mínimo de 15,9 ppm (perfil 6). En las muestras analizadas a la humedad de campo el promedio resultó igual a 8,75 ppm, con una oscilación comprendida entre 25,1 ppm (perfil 5) y 2,1 ppm (perfil 6).

En resumen, si se establece una secuencia de la potencia extractora de los reactivos utilizados para el zinc intercambiable (Cuadro 6 del Apéndice), contemplando las muestras secas al aire (SA) y a la humedad de campo (HC) se tiene:



El resumen de todas las secuencias de extracciones aparece en el Cuadro 6 del Apéndice.

Para el zinc soluble en agua se obtuvo una concentración promedio de 3,64 ppm en las muestras secas al aire, con un máximo de 12,7 ppm (perfil 6) y un mínimo de 2,00 ppm (perfil 1). En las muestras analizadas a la humedad de campo, la concentración promedio fue de 3,72 ppm, con un rango comprendido entre 6,0 ppm (perfil 2) y 1,20 ppm (perfil 1).

4.2.4 Cobre

En el Cuadro 9 del Apéndice se presentan los resultados químicos obtenidos para el cobre total y sus formas intercambiables y soluble en agua en los perfiles estudiados, extraídas por diferentes métodos.

El promedio de la concentración de cobre total en las muestras que se secaron al aire previamente al análisis fue de 278,7 ppm, con un rango que fluctuó entre 360,1 ppm (perfil 7) y 245,5 ppm (perfil 6). En las muestras que se conservaron a la humedad de campo hasta su extracción, la concentración promedio de cobre total equivalió a 77,31 ppm, con una variación que osciló desde 200 ppm (perfil 9) hasta 0,1 ppm (perfil 1).

Las formas de cobre intercambiable se estimaron en extractos obtenidos con los reactivos siguientes:

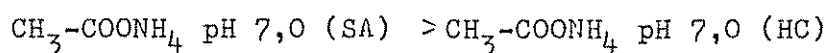
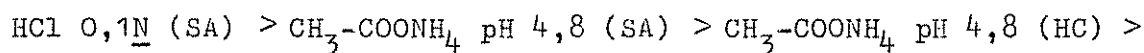
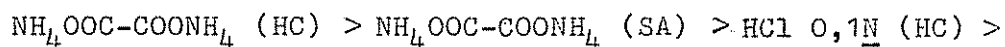
Oxalato de amonio ácido: La concentración promedio de cobre detectada en el análisis químico del extracto de las muestras secas al aire fue de 55,21 ppm, con una variación comprendida entre un máximo de 80,98 ppm (perfil 1) y un mínimo de 13,54 ppm (perfil 5). A su vez, el análisis de los extractos procedentes de las muestras conservadas a la humedad de campo dio una concentración promedio de 68,28 ppm, encontrándose la concentración máxima en el perfil 1 con 89,49 ppm, y un mínimo correspondiente al perfil 5 con 21,3 ppm.

Acido clorhídrico 0,1 N: La concentración promedio encontrada en el análisis químico del extracto proveniente de las muestras secas al aire equivalió a 47,67 ppm, registrándose una concentración máxima de 70,91 ppm en el perfil 1 y un valor mínimo de 5,43 ppm en el perfil 1. En las muestras conservadas a la humedad de campo se encontró una concentración promedio de 50,18 ppm, con un rango desde 75,96 ppm (perfil 2) hasta 18,29 ppm (perfil 5).

Acetato de amonio 1N, pH 7,0: En los extractos de las muestras secas al aire se registró un promedio de 2,07 ppm, con un rango máximo de 4,54 ppm correspondiente al perfil 1 y un mínimo de 0,1 ppm para el perfil 6. En las muestras mantenidas a la humedad de campo resultó una concentración promedio de 1,65 ppm, con una concentración máxima de 4,00 ppm correspondiente al perfil 1 y trazas en el perfil 6.

Acetato de amonio 1N, pH 4,8: La concentración promedio detectada en las muestras secas al aire fue de 6,88 ppm, con extremos variables entre un máximo de 23,33 ppm (perfil 7) y un mínimo de 0,1 ppm (perfil 2). En las muestras analizadas con su humedad de campo el promedio resultó igual a 5,51 ppm, con una oscilación comprendida entre 20,67 ppm (perfil 5) y 0,1 ppm (perfil 2).

En resumen, si se establece una secuencia de la potencia extractora de los reactivos utilizados para el cobre intercambiable (Cuadro 8 del Apéndice), contemplando las muestras secas al aire (SA) y a la humedad de campo, se tiene el siguiente orden decreciente:



El resumen de todas las secuencias de extracciones aparece en el Cuadro 6 del Apéndice.

Para el cobre soluble en agua se obtuvo una concentración promedio de 0,52 ppm en las muestras secas al aire, con un máximo de 4,02 ppm (perfil 2) y un mínimo de 0,1 ppm para los perfiles 3 al 9. En las muestras analizadas a la humedad de campo, la concentración promedio fue de 2,75 ppm, con un rango comprendido entre 4,00 ppm (perfil 2) y 1,0 ppm (perfil 5).

4.2.5 Boro

En el Cuadro 10 del Apéndice se presentan los resultados químicos obtenidos para el boro total y sus formas intercambiables en los perfiles estudiados, extraídas por diferentes métodos.

El promedio de la concentración de boro total en las muestras que se secaron al aire previamente al análisis fue de 16,08 ppm, con un rango que fluctuó entre 42,82 ppm (perfil 8) y 6,01 ppm (perfil 1).

Las formas de boro intercambiable se estimaron en extractos obtenidos con los reactivos siguientes:

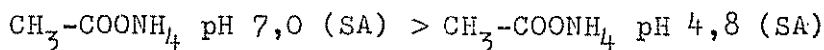
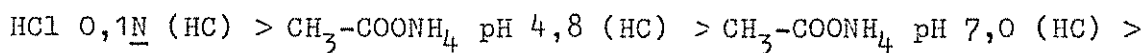
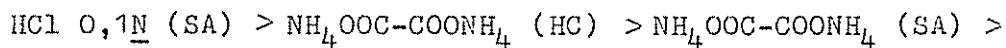
Oxalato de amonio ácido: La concentración promedio detectada en el análisis químico del extracto de las muestras secas al aire fue de 5,10 ppm, con una fluctuación comprendida entre un máximo de 13,02 ppm (perfil 7) y un mínimo de 1,96 ppm (perfil 1). A su vez, el análisis de los extractos procedentes de las muestras conservadas a la humedad de campo dio una concentración promedio de 7,66 ppm, encontrándose la concentración máxima en el perfil 1 con 25,16 ppm, y un mínimo correspondiente al perfil 1 con 1,45 ppm.

Acido clorhídrico 0,1 N: La concentración promedio encontrada en el análisis químico del extracto proveniente de las muestras secas al aire equivalió a 7,77 ppm, registrándose una concentración máxima de 10,43 ppm en el perfil 1 y un valor mínimo de 0,52 ppm en el perfil 4. En las muestras conservadas a la humedad de campo se encontró una concentración promedio de 4,79 ppm, con un rango que varió desde 11,73 ppm (perfil 9) hasta 1,34 ppm (perfil 7).

Acetato de amonio 1N, pH 7,0: En los extractos de las muestras secas al aire se obtuvo un promedio de 3,20 ppm, con un máximo de 4,21 ppm (perfil 4) y un mínimo de 0,1 ppm (perfil 3). En las muestras analizadas a la humedad de campo, el promedio registrado fue de 3,21 ppm, con un rango que fluctuó entre 5,96 ppm y un mínimo de 0,98 ppm (ambos para el perfil 3).

Acetato de amonio 1N, pH 4,8: La concentración promedio detectada en las muestras secas al aire fue de 2,78 ppm, con extremos variables entre un máximo de 4,53 ppm (perfil 3) y un mínimo de 1,84 ppm (perfil 4). En las muestras analizadas con la humedad de campo, el promedio resultó igual a 3,57 ppm, con una oscilación comprendida entre 5,25 ppm (perfil 4) y 0,1 ppm (para el mismo perfil).

En resumen, si se establece una secuencia de la potencia extractora de los reactivos utilizados para el boro intercambiable (Cuadro 9 del Apéndice), contemplando las muestras secas al aire (SA) y a la humedad de campo (HC) se tiene el siguiente orden decreciente:



4.2.6 Cobalto

En el Cuadro 11 del Apéndice se presentan los resultados químicos obtenidos para el cobalto total y sus formas intercambiables

y soluble en agua en los perfiles estudiados, extraídas por diferentes métodos.

El promedio de la concentración de cobalto total en las muestras que se secaron al aire previamente al análisis fue de 16,55 ppm con un rango que fluctuó entre 28,07 ppm (perfil 4) y 3,46 ppm (perfil 4).

Las formas de cobalto intercambiable se estimaron en extractos obtenidos con los reactivos siguientes:

Oxalato de amonio ácido: La concentración promedio detectada en el análisis químico del extracto de las muestras secas al aire fue de 6,43 ppm, con una fluctuación comprendida entre un máximo de 20,28 ppm (perfil 1) y un máximo de 0,58 ppm (perfil 5). A su vez, el análisis de los extractos procedentes de las muestras conservadas a la humedad de campo dio una concentración promedio de 6,21 ppm, encontrándose la concentración máxima en el perfil 2 con 18,10 ppm y un mínimo correspondiente al perfil 5 con un 0,85 ppm.

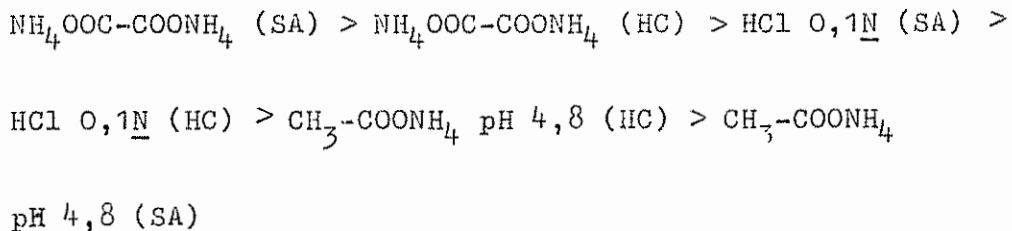
Acido clorhídrico 0,1 N: La concentración promedio encontrada en el análisis químico del extracto proveniente de las muestras secas al aire equivalió a 2,39 ppm, registrándose una concentración máxima de 8,14 ppm en el perfil 7, y un valor mínimo de 0,69 ppm en el perfil 9. En las muestras conservadas a la humedad de campo se encontró una concentración promedio de 2,35 ppm, con un rango que varió desde 6,16 ppm (perfil 2) hasta 0,57 (perfil 5).

Acetato de amonio 1N, pH 7,0: En los extractos secos al aire, como a capacidad de campo se obtuvieron trazas de cobalto intercambiable.

Los datos obtenidos demuestran que el uso del acetato de amonio 1N, de reacción neutra debe descartarse para extraer cobalto.

Acetato de amonio 1N, pH 4,8: La concentración promedio detectada en las muestras secas al aire fue de 0,302 ppm, con extremos variables entre un máximo de 0,44 ppm (perfil 3) y un mínimo de 0,1 ppm (perfil 4). En las muestras analizadas con su capacidad de campo, el promedio resultó igual a 0,255 ppm, con una oscilación comprendida entre 0,46 ppm (perfil 3) y 0,1 ppm (perfil 4).

En resumen, si se establece una secuencia de la potencia extractora de los reactivos utilizados para el cobalto intercambiable (Cuadro 11 del Apéndice), contemplando las muestras secas al aire (SA) y a la humedad de campo (HC), se tiene el siguiente orden decreciente:



El resumen de todas las secuencias de extracciones aparece en el Cuadro 6 del Apéndice.

Para el cobalto soluble en agua se obtuvo un máximo de 0,10 ppm (perfil 2) y trazas (varios perfiles) y una concentración promedio de 0,032 ppm en las muestras secas al aire. En las muestras analizadas a la humedad de campo, la concentración promedio fue de 0,017 ppm, con un rango comprendido entre 0,45 ppm (perfil 4) y trazas

(perfil 9).

4.2.7 Molibdeno

En el Cuadro 12 del Apéndice se presentan los resultados químicos obtenidos para el molibdeno total y sus formas intercambiables y soluble en agua en los perfiles estudiados, extraídas por diferentes métodos.

El promedio de la concentración de molibdeno total, en muestras que se secaron al aire previamente al análisis fue de 36,07 ppm, con un rango que fluctuó entre 275,25 ppm (perfil 2) y 6,14 ppm (perfil 4). En las muestras que se conservaron a la humedad de campo hasta su extracción, la concentración promedio de molibdeno total equivalió a 16,82 ppm, con una variación que osciló desde 56,0 ppm (perfil 1) hasta 3,00 ppm (perfil 3).

Las formas de molibdeno intercambiable se estimaron en extractos obtenidos con los reactivos siguientes:

Oxalato de amonio ácido: La concentración promedio detectada en el análisis químico del extracto de las muestras secas al aire fue de 0,53 ppm, con una fluctuación comprendida entre un máximo de 2,16 ppm (perfil 7) y un mínimo de 0,01 ppm (perfil 5). A su vez, el análisis de los extractos procedentes de las muestras conservadas a la humedad de campo dio una concentración promedio de 0,80 ppm, encontrándose la concentración máxima en el perfil 2 con 2,35 ppm, y un mínimo correspondiente al perfil 5 con 0,01 ppm.

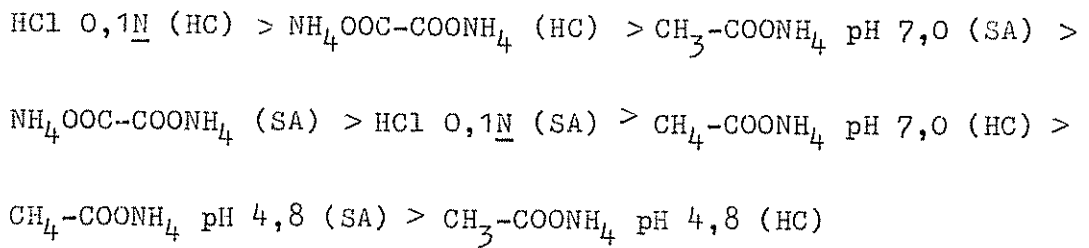
Acido clorhídrico 0,1 N: La concentración promedio encontrada en el análisis químico del extracto proveniente de las muestras secas

al aire equivalió a 0,20 ppm, registrándose una concentración máxima de 1,46 ppm en el perfil 8, y un mínimo de 0,01 ppm en el perfil 4. En las muestras conservadas a la humedad de campo se encontró una concentración promedia de 0,95 ppm, con un rango que varió desde 8,09 ppm (perfil 4) hasta 0,01 ppm (perfiles 7-9).

Acetato de amonio 1N, pH 7,0: En los extractos de las muestras secas al aire, el promedio correspondió a 1,0 ppm, con un valor máximo de 2,21 ppm (perfil 4) y un mínimo de 0,01 ppm (perfil 3). En las muestras mantenidas a la humedad de campo resultó una concentración promedia de 0,075 ppm, con una concentración máxima de 1,12 ppm correspondiente al perfil 4 y 0,01 ppm al perfil 3.

Acetato de amonio 1N, pH 4,8: La concentración promedia detectada en las muestras secas al aire fue de 0,25 ppm, con extremos variables entre un máximo de 0,67 ppm (perfil 3) y un mínimo de 0,01 ppm (perfil 3). En las muestras analizadas con su humedad de campo el promedio resultó igual a 0,26 ppm, con una oscilación comprendida entre 0,51 ppm (perfil 3) y 0,01 ppm (perfil 3).

En resumen, si se establece una secuencia de la potencia extractora de los reactivos utilizados para el molibdeno intercambiable (Cuadro 12 del Apéndice), contemplando las muestras secas al aire (SA) y a la humedad de campo (HC), se tiene el siguiente orden decreciente:



El resumen de todas las secuencias de extracciones aparece en el Cuadro 6 del Apéndice.

Para el molibdeno soluble en agua se obtuvo una concentración promedio de 1,67 ppm en las muestras secas al aire, con un máximo de 8,12 ppm (perfil 2) y un mínimo de 0,01 ppm (perfil 1). En las muestras analizadas a la humedad de campo la concentración promedio fue de 1,86 ppm, con un rango comprendido entre 4,81 ppm (perfil 4) y 0,20 ppm (perfil 5).

4.3 Estudio de las relaciones entre las diferentes fracciones de los elementos menores

De acuerdo con la matriz de correlación múltiple presentada en el Cuadro 2 del Apéndice, debe destacarse en primer término, que entre las determinaciones de hierro total en muestras secas al aire MSA (X_1) y en muestras a la humedad de campo MHC (X_2), no existe asociación alguna ($r = 0,00$). Por otro lado, el hierro total, tanto en MSA como en MHC, presentó una asociación positiva mediana y baja respectivamente, con el manganeso total en MSA (X_{13}) y en MHC (X_{14}). Con el resto de los elementos estudiados en sus distintas formas, así como con las propiedades químicas, el hierro total extraído en MSA y MHC demostró tener porcentajes de asociación muy bajas, con

las excepciones de los establecidos entre el hierro total en MSA con el cobre intercambiable (X_{40} y X_{42}) y con la CIC (X_{49}), que fueron bajos.

Los resultados parecen demostrar que el hierro total determinado en MSA tiene más conexión con las propiedades del suelo que el detectado en los extractos de las MHC, en razón de que el primero tiende a aumentar con la presencia de arcillas ($r = 0,42$) y disminuye con el aumento de los contenidos de materia orgánica ($r = - 0,42$) y arena ($r = - 0,43$), mientras que para el hierro de las MHC las correlaciones fueron prácticamente inexistentes.

Contrariamente a lo ocurrido con el hierro total se observó (Cuadro 2 del Apéndice) un porcentaje de asociación fuerte para el hierro intercambiable determinado en MSA (X_3) y MHC (X_4) con ácido clorhídrico. En ambos tipos de muestras la concentración de hierro intercambiable dependió positivamente del contenido de arcilla (X_{53}) y de limos (X_{54}), detectándose una asociación negativa, mediana a fuerte, con los contenidos de materia orgánica (X_{52}) y arena (X_{55}). Asimismo, mostraron una asociación media positiva con la CIC (X_{49}). Con las otras formas y elementos que aparecen en el Cuadro 2 del Apéndice, las mejores correlaciones del hierro intercambiable fueron con el hierro soluble en agua (X_{11} y X_{12}) y con el manganeso soluble en agua, tanto en MSA como en MHC (X_{25} y X_{26}).

La correlación del hierro intercambiable extraído con oxalato de amonio ácido en MSA (X_5) y MHC (X_6) fue bastante baja ($r = 0,22$). Siguiendo la tónica del caso anterior aunque con porcentajes de

asociaciones más bajas, el hierro intercambiable obtenido con este método también mostró asociaciones positivas con la CIC (X_{49}), arcillas (X_{53}) y limos (X_{54}), y negativas con la materia orgánica (X_{52}) y arena (X_{55}). Así también el hierro procedente de las MSA presentó una asociación media positiva con el manganeso soluble en agua de MSA y MHC (X_{23} y X_{24}).

Los resultados obtenidos para el hierro intercambiable extraído con acetato de amonio 1N, pH 7,0 (X_7 y X_8), son bastante contundentes. El proveniente de las MSA no obtuvo correlación con ninguna de las variables estudiadas porque este reactivo fue incapaz de extraer hierro. El panorama no mejora mucho al utilizar dicho extractante en MHC porque la correlación negativa más alta sólo fue de $r = -0,49$ con el hierro determinado con acetato de amonio pH 4,8 en MHC (X_{10}) y la mejor correlación positiva sólo alcanzó a $r = 0,38$ con el manganeso determinado con ácido clorhídrico en MHC (X_{18}).

El porcentaje de asociación del hierro extraído con acetato de amonio 1N, pH 4,8, en MSA (X_9) y MHC (X_{10}) fue medio. El comportamiento de esta extracción es un tanto errático en relación a la CIC, porcentaje de materia orgánica y separados del suelo, aunque los resultados parecen sugerir que el acetato de amonio ácido extrae el hierro de la fracción arena (X_{55}) y no de la arcilla (X_{53}) con lo cual muestra una asociación negativa. El hierro proveniente de este tipo de extracción presentó una asociación baja con el resto de las variables.

Para la fracción de hierro soluble en agua se detectó una asociación positiva fuerte entre las extracciones procedentes de las

MSA (X_{11}) y MHC (X_{12}). Esta fracción, al igual que el hierro intercambiable extraído con oxalato de amonio ácido y con ácido clorhídrico, presentó asociación positiva con la CIC (X_{49}) y con los porcentajes de arcilla y limo (X_{53} , X_{54}) siendo negativa con la materia orgánica (X_{52}) y con la fracción arena (X_{55}). Destacan sus porcentajes de asociación positiva, fuerte en conjunto, con las extracciones del manganeso soluble en agua (X_{23} , X_{24}), con el zinc soluble en agua procedente de MHC (X_{36}) y con la fracción cobre pero en MSA (X_{47}).

Para el manganeso total se detectó un porcentaje de asociación positivo bajo entre las extracciones procedentes de las MSA (X_{13}) y MHC (X_{14}). En relación a las propiedades del suelo tuvo un comportamiento muy similar al del hierro aumentando su contenido con la CIC (X_{49}), arcillas (X_{53}) y limos (X_{54}) y disminuyendo con el aumento de los porcentajes de materia orgánica (X_{52}) y arena (X_{55}), si bien el tipo de asociación es de mediana a bajo. Aparte de su conexión con el hierro previamente mencionada, el manganeso total mostró asociaciones bajas con las otras variables, siendo entre ellas las mejores encontradas con el cobre intercambiable detectado en MHC extraídas con ácido clorhídrico (X_{42}).

Las extracciones de manganeso intercambiable determinado con oxalato de amonio ácido en MSA (X_{15}) y MHC (X_{16}) dieron un porcentaje de asociación positiva baja. Al igual que el manganeso total la fracción intercambiable tiende a aumentar con el CIC (X_{49}), arcillas (X_{53}) y limos (X_{54}), disminuyendo con la presencia de la materia orgánica (X_{52}) y arenas (X_{55}). El manganeso proveniente de las MHC

tuvo una correlación de $r = 0,70$ con el cobre extraído en las mismas muestras con igual reactivo. Las otras correlaciones son más bajas.

Las determinaciones de manganeso extraído con ácido clorhídrico en MSA (X_{17}) y MHC (X_{18}) dieron porcentajes de asociación muy fuerte. Un cambio en relación al procedimiento anterior fue que la fracción caracterizada con el ácido clorhídrico mostró un porcentaje de asociación positivo, si bien bajo, con la materia orgánica (X_{52}). A la vez, se observaron asociaciones positivas fuertes con el manganeso obtenido por medio del acetato de amonio 1N, pH 4,8 (X_{21} , X_{22}).

Se observó una asociación negativa baja entre las concentraciones de manganeso obtenidas con acetato de amonio 1N, pH 7,0, a partir de MSA (X_{19}) y MHC (X_{20}). Su comportamiento en relación a CIC y separados del suelo fue contrastante, con asociaciones bajas positivas en MSA cuando en las muestras a la humedad de campo eran negativas y viceversa, con la materia orgánica no se encontró asociación. Cuando se utilizó acetato de amonio 1N, pH 4,8, el porcentaje de asociación fue positivo y fuerte entre las extracciones procedentes de MSA (X_{21}) y MHC (X_{22}) y las mejores correlaciones se establecieron con la materia orgánica (X_{52} $r = 0,50$ para MSA, y $r = 0,61$ para MHC).

Se estableció una asociación positiva media entre las fracciones de manganeso soluble en agua a partir de MSA (X_{23}) y MHC (X_{24}). Su asociación fue positiva media con la CIC (X_{49}), con las arcillas (X_{53}) y limos (X_{54}) y negativa con respecto de la materia orgánica (X_{52}) y las arenas (X_{55}), concordando en este comportamiento con el obtenido para el manganeso total y el intercambiable obtenido con

oxalato de amonio y ácido clorhídrico.

Entre el zinc total extraído en MSA (X_{25}) y en MHC (X_{26}) se observó una asociación positiva baja. Este elemento en ambos tipos de muestras dio asociaciones bajas a muy bajas con todas las variables comprendidas en la matriz 2 del Cuadro 3 del Apéndice.

La asociación establecida entre el zinc intercambiable determinado con oxalato de amonio ácido en las MSA (X_{27}) y MHC (X_{28}) fue baja y positiva. Con las otras variables las asociaciones fueron bajas a muy bajas, destacándose como mejor entre ellas la establecida con el zinc obtenido con ácido clorhídrico en MSA (X_{30}). Lo mismo ocurrió cuando se extrajo el zinc con ácido clorhídrico a excepción de la asociación establecida entre las determinaciones en MSA (X_{29}) y MHC (X_{28}) que fue media positiva. Asimismo, las asociaciones fueron bajas cuando se utilizaron como extractantes los acetatos de amonio neutro y ácido.

No hubo asociación alguna entre el zinc soluble en agua extraído de MSA (X_{35}) y MHC (X_{36}). Aquí hubo una diferencia de comportamiento, pues mientras las asociaciones del zinc determinado a partir de MSA siguieron la tónica general de este elemento en relación a las variables, el zinc que se obtuvo de las MHC dio asociaciones medias positivas con el manganeso soluble en agua de MHC (X_{23}) y con el hierro soluble en agua (X_{11} , X_{12}) e intercambiable (X_3 , X_4), este último por el método del ácido clorhídrico.

Para el cobre total determinado en MSA (X_{37}) y MHC (X_{38}), no se detectó asociación alguna. Al igual que ocurrió con el zinc total,

el resto de sus asociaciones con las otras variables del Cuadro 3 del Apéndice, fueron bajas a muy bajas.

Se detectó una asociación baja y positiva entre las determinaciones de cobre intercambiable con el método del oxalato de amonio en MSA (X_{39}) y MHC (X_{40}). Aparte de las asociaciones indicadas previamente, el cobre procedente de las MHC tuvo una asociación fuerte positiva con el cobre extraído con ácido clorhídrico en MHC (X_{42}) y con la CIC (X_{49}), media positiva con el porcentaje de arcilla (X_{53}) y media negativa con el porcentaje de arena (X_{55}). Su concentración tendió a disminuir a medida que aumentó el contenido de materia orgánica. Se estableció una asociación fuerte positiva entre las determinaciones de cobre intercambiable con el método del ácido clorhídrico en MSA (X_{41}) y MHC (X_{42}), y siguió en líneas generales lo observado para el método del oxalato de amonio ácido aplicado a las MHC. Con el uso del acetato de amonio neutro, la asociación entre MSA (X_{43}) y MHC (X_{44}) fue baja y positiva, mientras que fue media y positiva cuando se empleó el acetato de amonio ácido (X_{45} , X_{46}). El acetato de amonio neutro marca mejor las tendencias con respecto a la arcilla, positiva, la materia orgánica y arena, negativa, que el acetato de amonio ácido.

La asociación entre el cobre soluble en agua proveniente de MSA (X_{47}) y MHC (X_{48}) fue baja y positiva. Al igual que en los casos del cobre intercambiable su concentración disminuyó con la presencia de materia orgánica y arenas con las que presentó asociaciones medias a bajas negativas, y aumentó con las arcillas y limos (asociaciones

bajas positivas).

Como puede apreciarse en la matriz de correlación múltiple que aparece en el Cuadro 4 del Apéndice, los porcentajes de asociación entre las determinaciones de cobalto (X_1), boro (X_8) y molibdeno totales (X_{13} y X_{14}) con las otras variables son bajas o muy bajas, con las excepciones del cobalto total, con el molibdeno intercambiable obtenido con ácido clorhídrico (X_{17}) el boro total con el cobalto soluble en agua en MSA (X_6) y el molibdeno total con el cobalto intercambiable extraído con oxalato de amonio ácido en MHC (X_3) que son asociaciones medias positivas, y el molibdeno total con el cobalto intercambiable por el método del ácido clorhídrico en MHC (X_5).

Entre el cobalto intercambiable extraído con el oxalato de amonio ácido en MSA (X_2) y MHC (X_3) se estableció una asociación media positiva. Para todos los restantes métodos y en los tres elementos, las asociaciones entre las concentraciones cambiables procedentes de las MSA y MHC fueron bajas o muy bajas.

Los resultados demuestran que el cobalto intercambiable obtenido con oxalato de amonio ácido en MSA y MHC muestran asociaciones bajas positivas con la CIC (X_{21}), medias positivas con la arcilla (X_{25}) y negativas con la materia orgánica (X_{24}) y arenas (X_{27}). A su vez, el cobalto procedente de MHC dio correlaciones medias con el cobalto determinado en las mismas muestras con ácido clorhídrico (X_5) y soluble en agua (X_7). El cobalto extraído con ácido clorhídrico en MSA (X_4) estableció una asociación muy fuerte con el cobalto soluble en agua en MHC (X_7), y el cobalto de las MHC (X_5) tuvo

una asociación fuerte positiva con el molibdeno total extraído en MSA. El resto de las asociaciones entre esos tres elementos menores fueron bajas a muy bajas.

Los resultados del estudio demostraron que el pH de los suelos (X_{50} , Cuadro 3, y X_{22} , Cuadro 4 del Apéndice) mostró asociaciones bajas, positivas o negativas, con relación a los distintos elementos menores y otras estudiadas. Las excepciones las constituyen el hierro total (X_1), intercambiable con ácido clorhídrico (X_3 y X_4) y soluble en agua (X_{12}), el manganeso soluble en agua (X_{23} , X_{24}), y el cobre intercambiable en MHC con oxalato de amonio ácido (X_{40} , X_{42}), en donde hubo una asociación media positiva.

Para finalizar el comentario de las dos matrices de correlación, se observó que la CIC mostró una asociación positiva con las arcillas y fuerte negativa con las arenas. Asimismo, una dependencia baja negativa de la materia orgánica, y una asociación media positiva con la reacción del suelo.

4.4 Influencia de la distancia, altura topográfica y profundidad del perfil en la distribución de los micronutrientes en el transecto Volcanes El Chonco, San Cristobal - Océano Pacífico

La evaluación se efectuó por medio de un análisis de superficie de respuesta, considerando el transecto mencionado, donde están ubicados los perfiles de 1 a 5 correspondientes a las series La Lapa, Chinandega y La Mora, según los fotomapas de la Oficina de Catastro y Recursos Naturales de Nicaragua (51).

Como se puede apreciar en la Figura 1, la concentración del hierro intercambiable extraído con ácido clorhídrico 0,1N en muestras secas, aumenta a medida que la distancia al volcán es mayor y la localización altimétrica del perfil es menor. Asimismo, la concentración del hierro tiende a aumentar con la profundidad del perfil. Es decir, de acuerdo con este método el hierro intercambiable será más abundante a medida que, sobre el transecto, se aproximen los suelos al Océano Pacífico. De acuerdo con los datos que aparecen en la ecuación 1 de la Figura 1, el factor más crítico en la variación del hierro es la altura, ya que su concentración disminuye 5,82 ppm por cada metro de elevación. El segundo factor más importante fue la profundidad del perfil y el tercero la distancia a los Volcanes San Cristobal y El Chonco.

Por el contrario, si se utiliza el acetato de amonio 1N, pH 7,0 para determinar el hierro intercambiable en muestras secas al aire como se observa en la Figura 2, su concentración aumenta a medida que su distancia al volcán es mayor, por el contrario en función de la profundidad del perfil disminuye su concentración, y lo propio ocurre con la altura, de acuerdo a la ecuación 2 de la Figura 2, el factor más crítico es la distancia, altura y profundidad, aunque los aumentos son muy leves.

El manganeso extraído con oxalato de amonio ácido de muestras secas al aire, se observa en la Figura 3; su concentración aumenta a medida que se aleja más del volcán y su localización altimétrica es menor, en cambio en función de profundidad del perfil disminuye

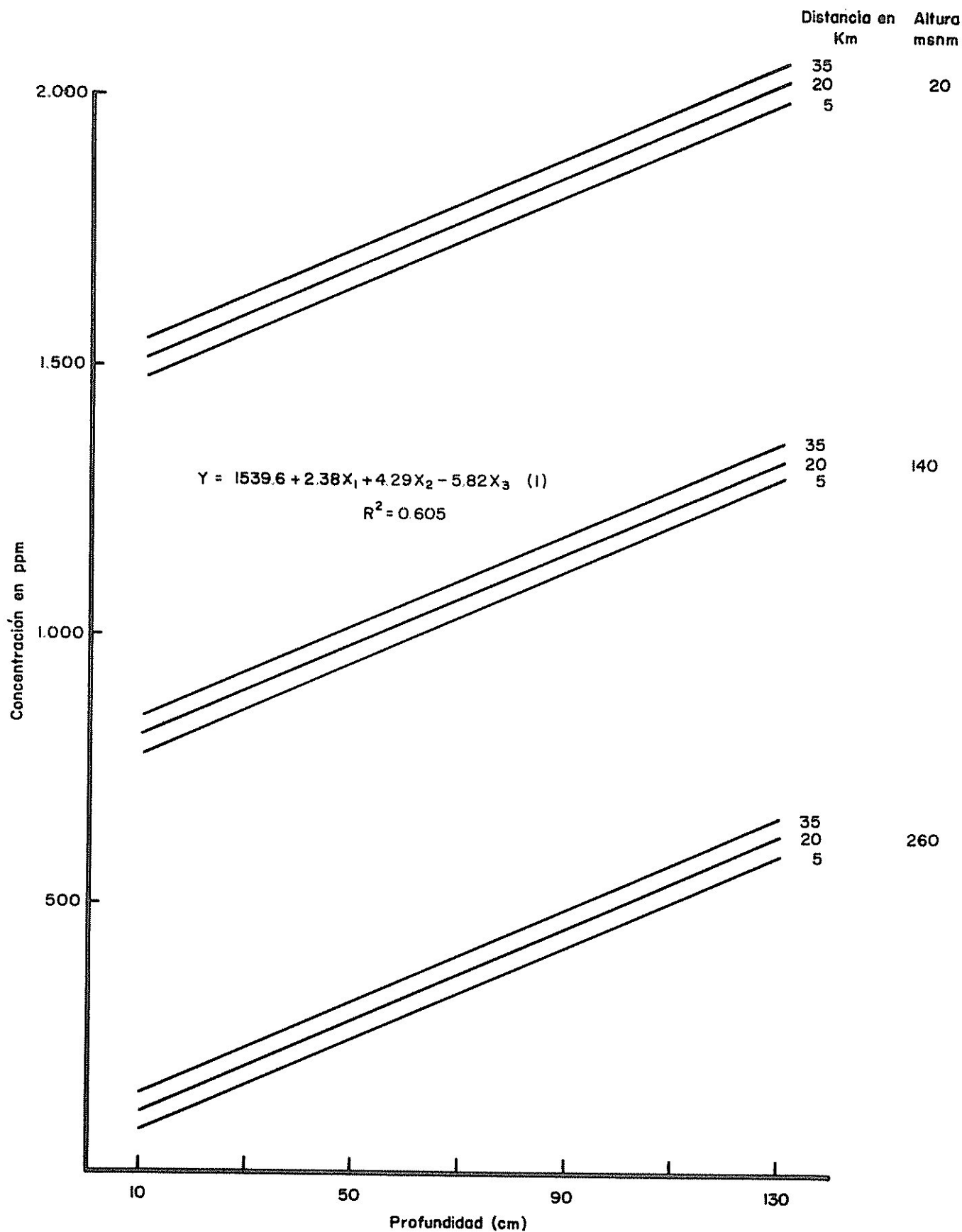


Fig. 1. Variación de hierro extraído con ácido clorhídrico 0.1 N de muestras secadas aire en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Océano Pacífico - volcanes San Cristóbal y El Chonco.

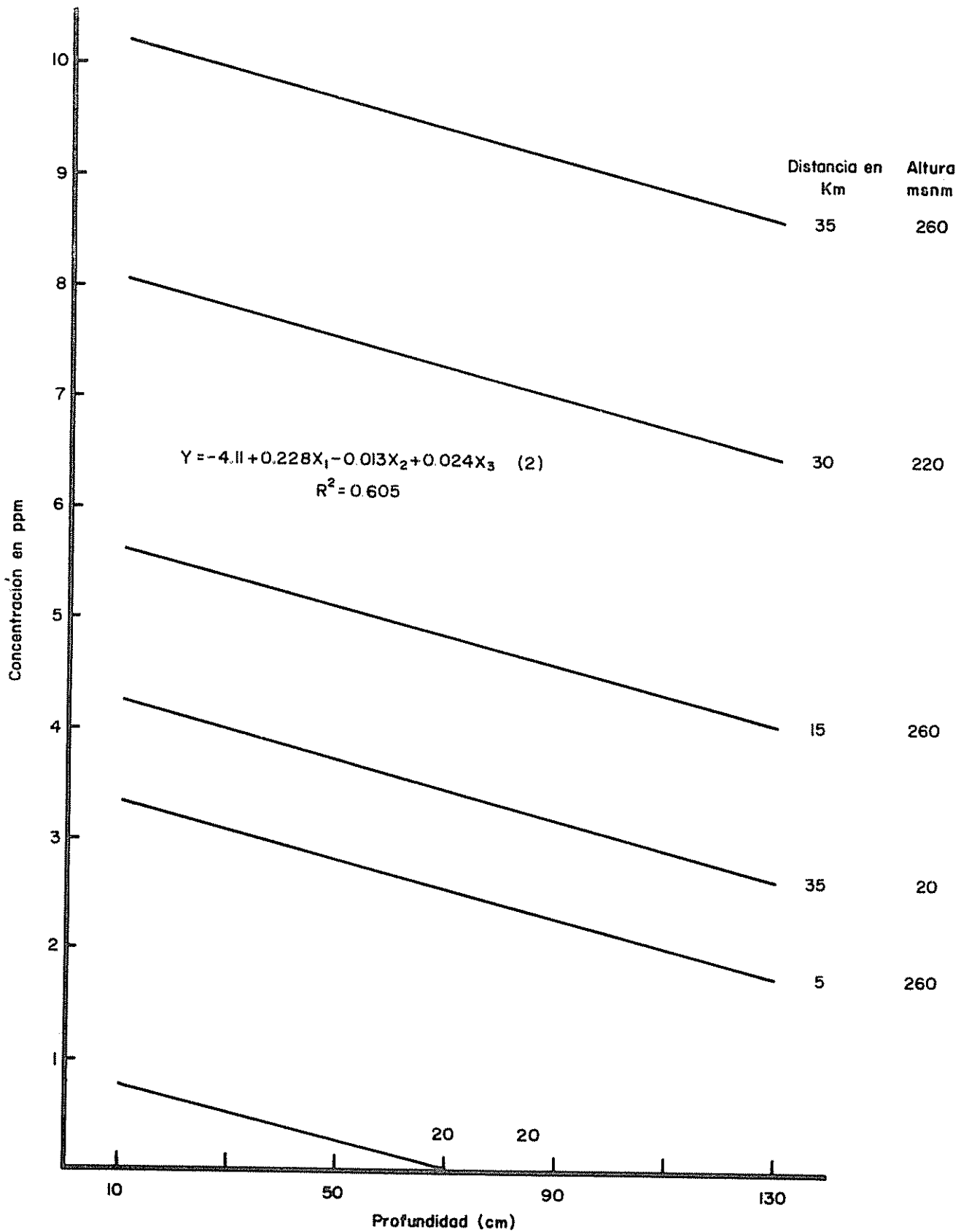


Fig. 2. Variación del hierro extraído con acetato de amonio 1 N de muestras secas al aire en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto volcanes San Cristóbal, El Chonco - Océano Pacífico.

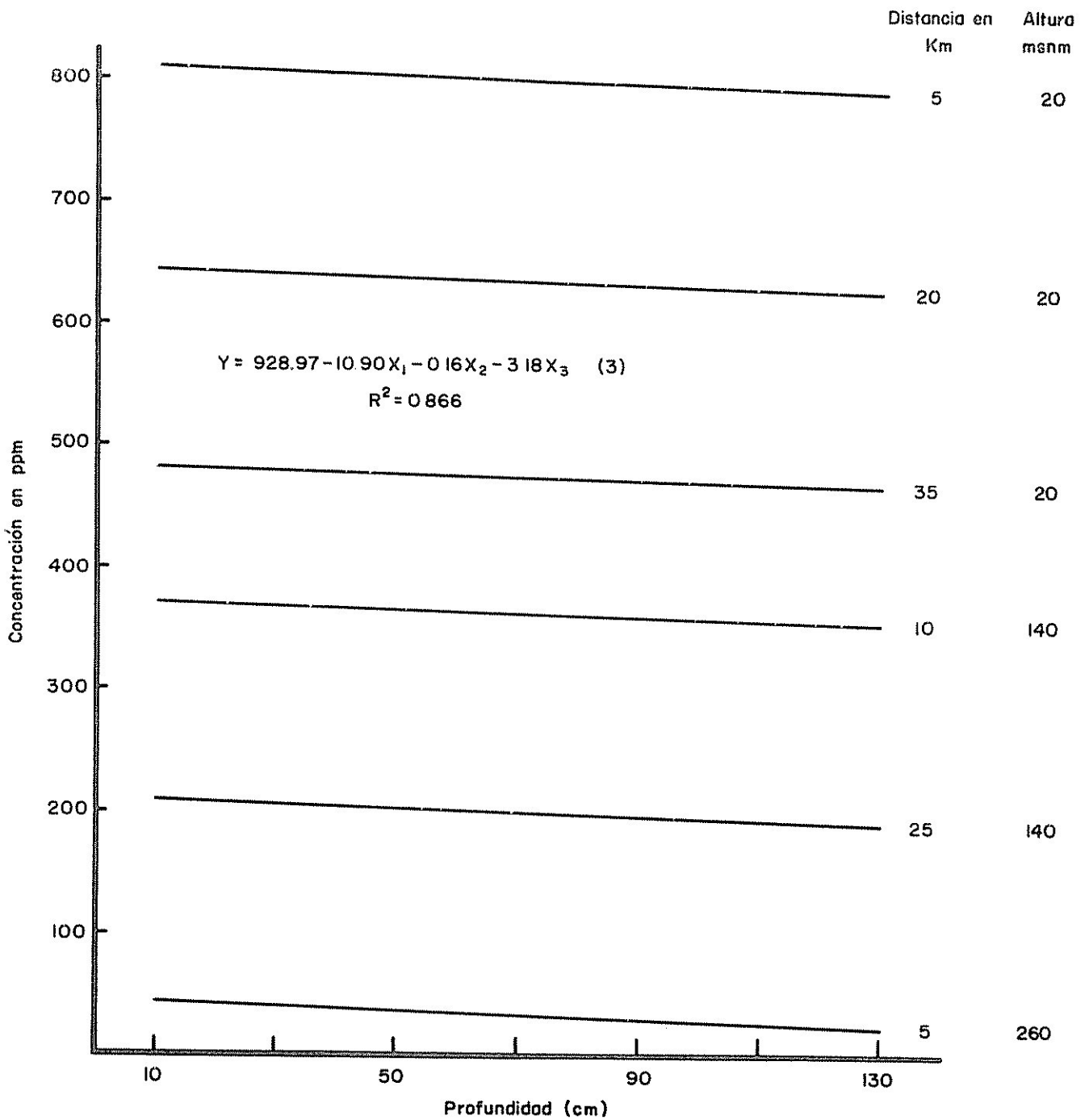


Fig. 3. Variación de manganeso extraído con oxalato de amonio de muestras secas al aire, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto volcanes San Cristóbal, El Chonco - Océano Pacífico.

su contenido. Según la ecuación 3 de la Figura 3, se ve que el factor más crítico es la distancia, la cual disminuye 10,10 ppm por cada kilómetro que se aleja del volcán, luego 3,18 ppm por cada metro de elevación y 0,16 ppm por cada centímetro que se profundiza.

El manganeso extraído con acetato de amonio 1N, pH 7,0, se presenta en idéntica forma que el caso anterior, de acuerdo a la ecuación 4 de la Figura 4, siendo el factor más crítico la distancia, profundidad y altura respectivamente, aunque los decrementos son muy suaves.

Por el contrario, si se utiliza el oxalato de amonio ácido para determinar el zinc intercambiable de muestras secas al aire, como se observa en la Figura 5, su concentración aumenta a medida que su distancia al volcán es mayor, es decir, que aquellos suelos que se aproximan al Océano Pacífico tendrán mayor contenido de zinc. Asimismo el zinc aumenta en relación a la profundidad. De acuerdo a la ecuación 5 de la Figura 5, el factor más crítico es la distancia, luego la profundidad y finalmente la altura.

Si se utiliza el oxalato de amonio ácido para extraer cobre intercambiable de muestras mantenidas a la humedad de campo, se observa en la Figura 6, que a medida que se aleja más del volcán el aumento es muy leve, siendo el factor más crítico de acuerdo a la ecuación 6 de la Figura 6, es la distancia y la disminución alcanza a 1,53 ppm por cada kilómetro de alejamiento del volcán, el segundo factor es la altura, finalmente la profundidad del perfil, aunque estos últimos son de decremento muy suave.

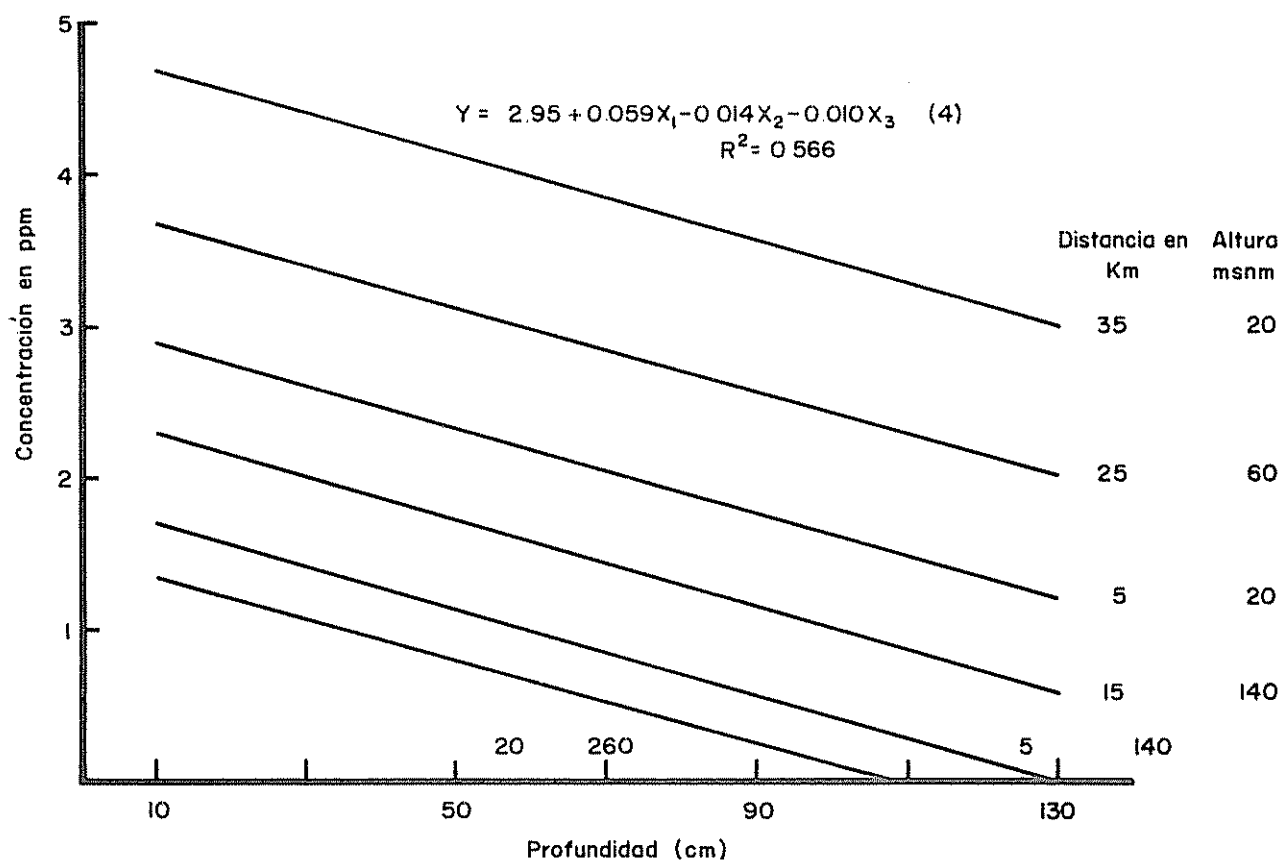


Fig. 4. Variación de manganeso extraído con acetato de amonio 1 N, pH 7,0 en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto volcanes San Cristóbal, El Chonco - Océano Pacífico.

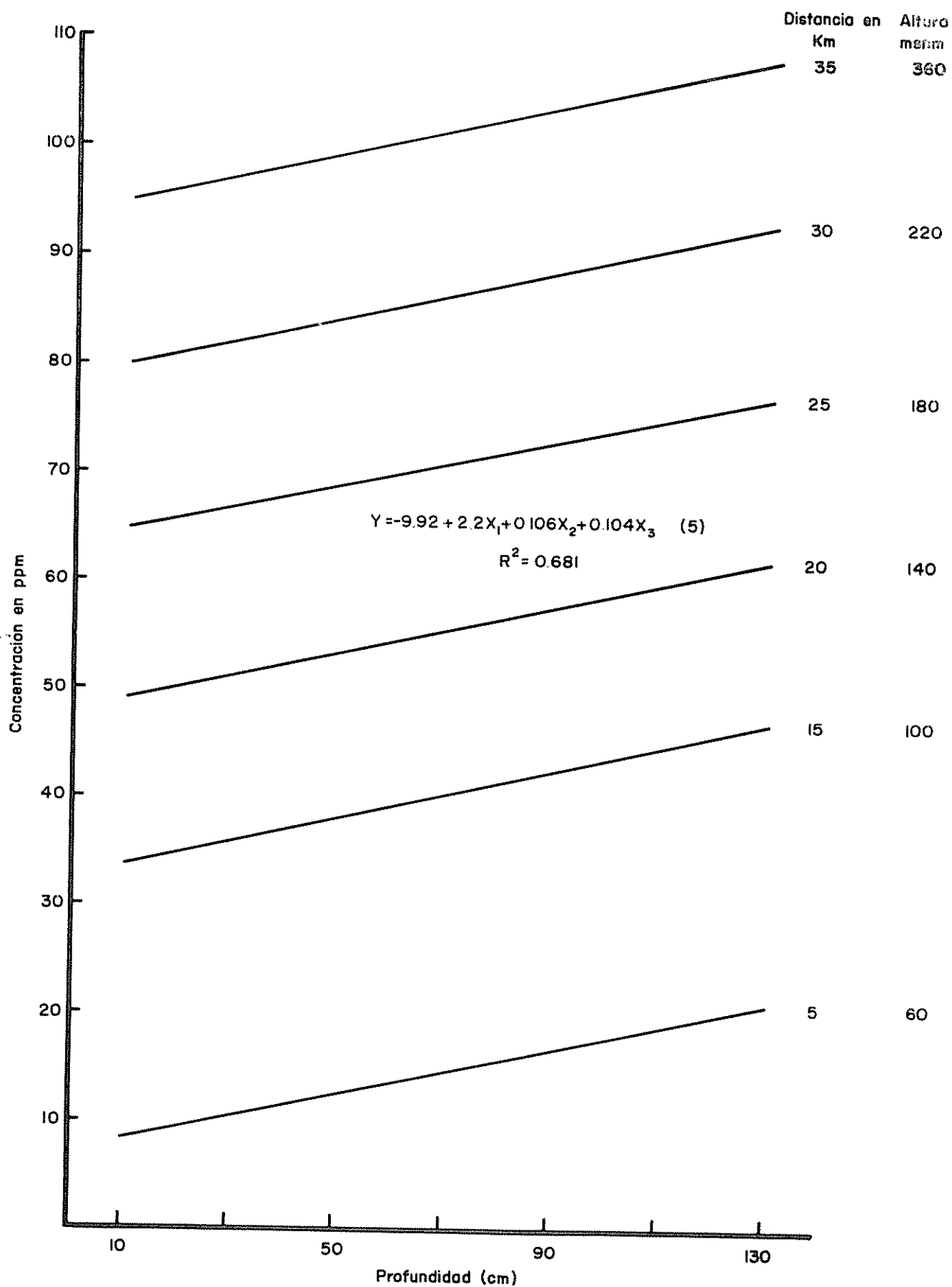


Fig. 5. Variación de zinc extraído con oxalato de amonio de muestras secas al aire, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto volcanes San Cristóbal, El Chonco - Océano Pacífico.

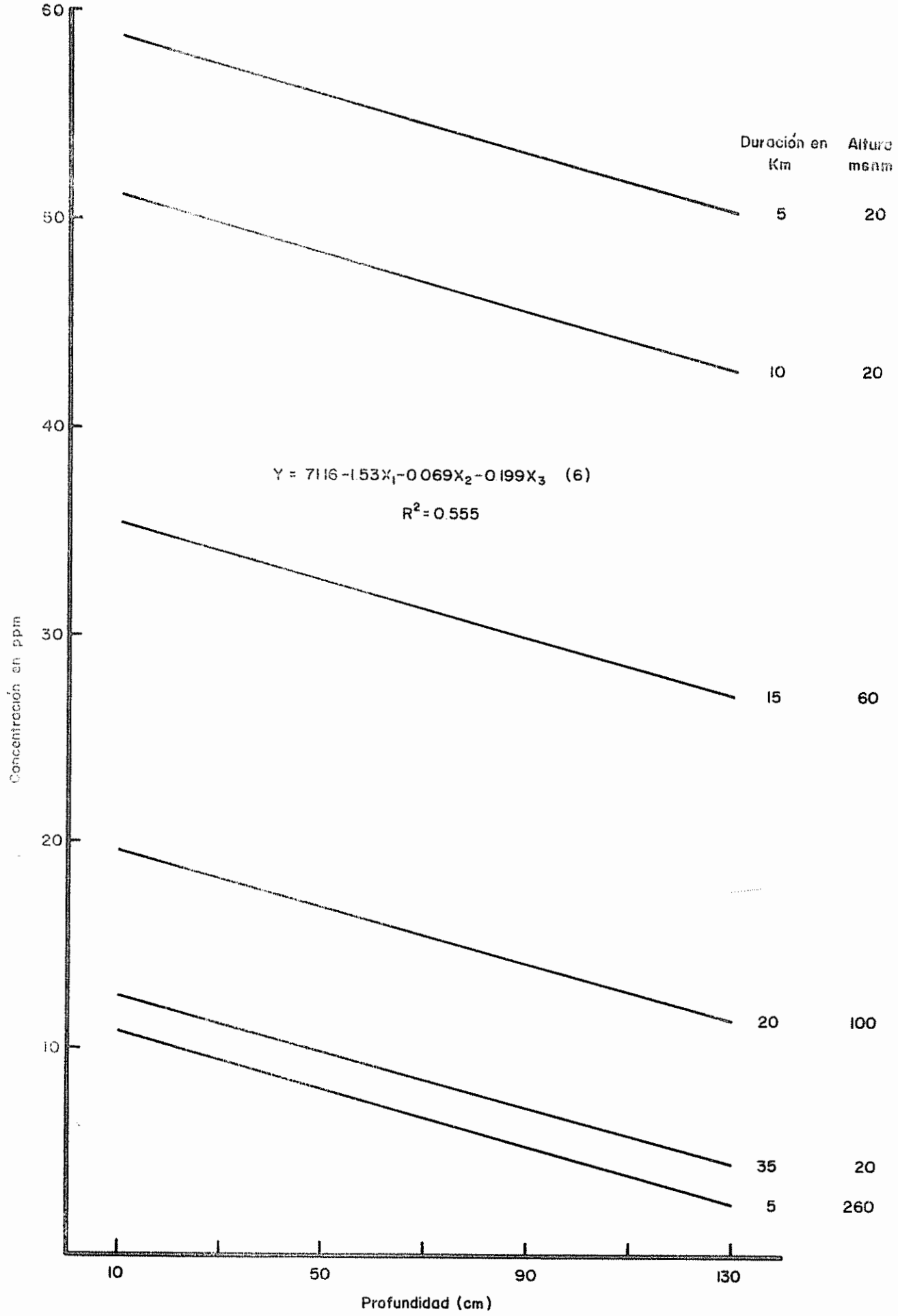


Fig. 6. Variación de cobre extraído con oxalato de amonio de muestras a la humedad de campo, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto volcanes San Cristóbal, El Chonco - Océano Pacífico.

Si utilizamos el agua como extractante para el cobre, como se observa en la Figura 7, de muestras conservadas a la humedad de campo, aumenta su concentración a medida que se aleja más del volcán, o sea, aquellos suelos más próximos al Océano Pacífico tendrán mayor contenido de cobre que los cercanos al volcán. Asimismo aumenta con la profundidad del perfil, por el contrario, en función de altura disminuye su concentración. De acuerdo a la ecuación 7 de la Figura 7, los incrementos para los primeros y disminución para el tercero, son muy insignificantes para el cobre soluble en agua.

Si se utiliza el oxalato de amonio para extraer el cobalto intercambiable. de muestras conservadas a la humedad de campo, como se observa en la Figura 8, su concentración aumenta a medida que la distancia del volcán es mayor y su localización altimétrica es menor, o sea, aquellos suelos que se aproximan más al Océano Pacífico tendrán mayor contenido en relación a los más cercanos al volcán. Por el contrario, disminuye su proporción en relación a profundidad del perfil. De acuerdo a la ecuación 8 de la Figura 8, los coeficientes de incremento, disminución y aumento luego, son muy débiles para los factores considerados.

Como se puede observar en la Figura 9 del Apéndice, la reacción de suelo, a medida que su distancia al volcán es mayor y su localización altimétrica es menor, el pH del suelo aumenta. Asimismo, incrementa con relación a profundidad del perfil, o sea, aquellos suelos más próximos al Océano Pacífico, tendrán más pH que los cercanos al volcán. Según la ecuación 9 de la Figura 9 del Apéndice, los coeficientes de aumento para los tres factores considerados, incrementan

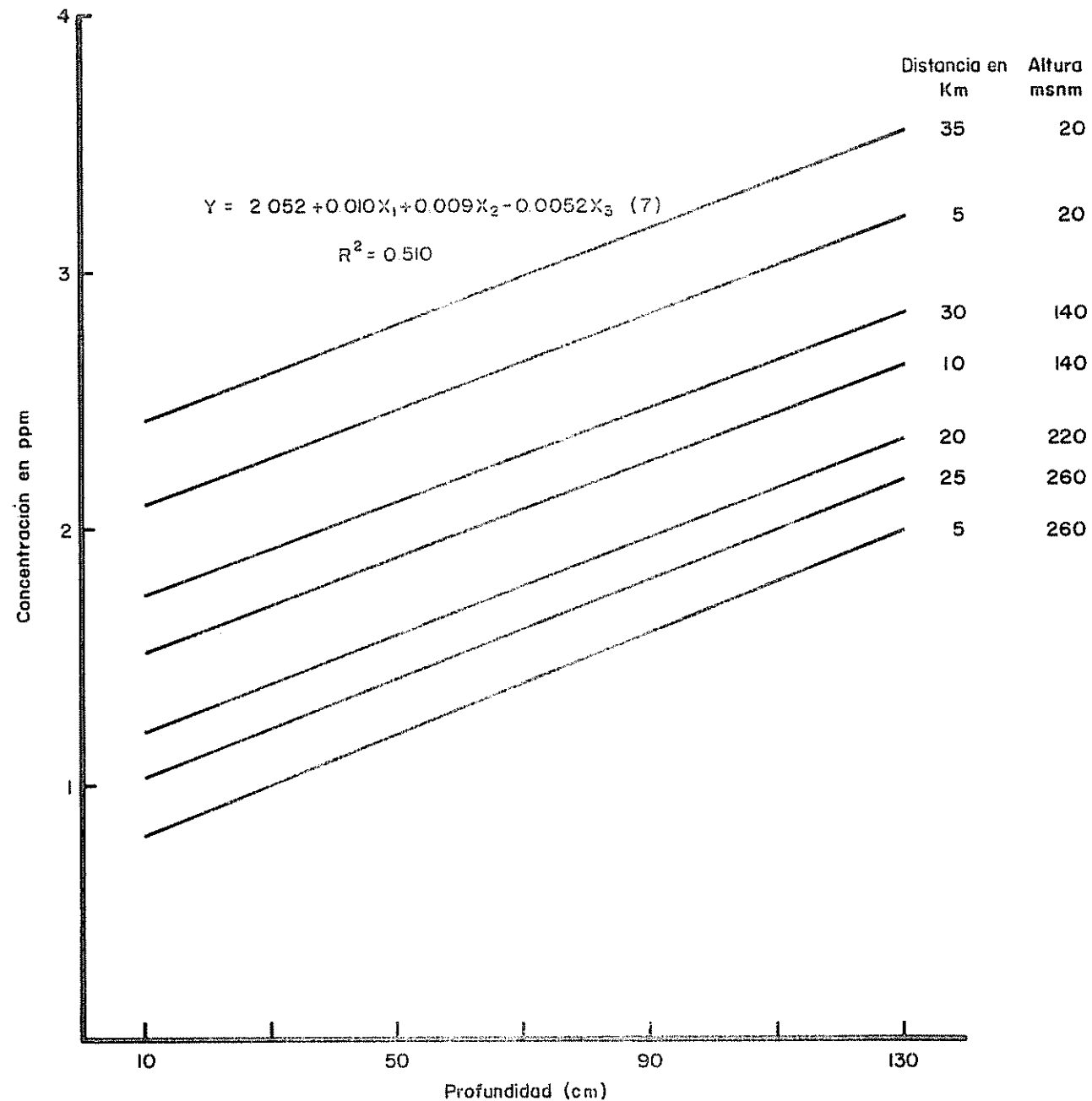


Fig. 7. Variación de cobre soluble en agua de muestra a la humedad de campo, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto volcanes San Cristóbal, El Chonco - Océano Pacífico

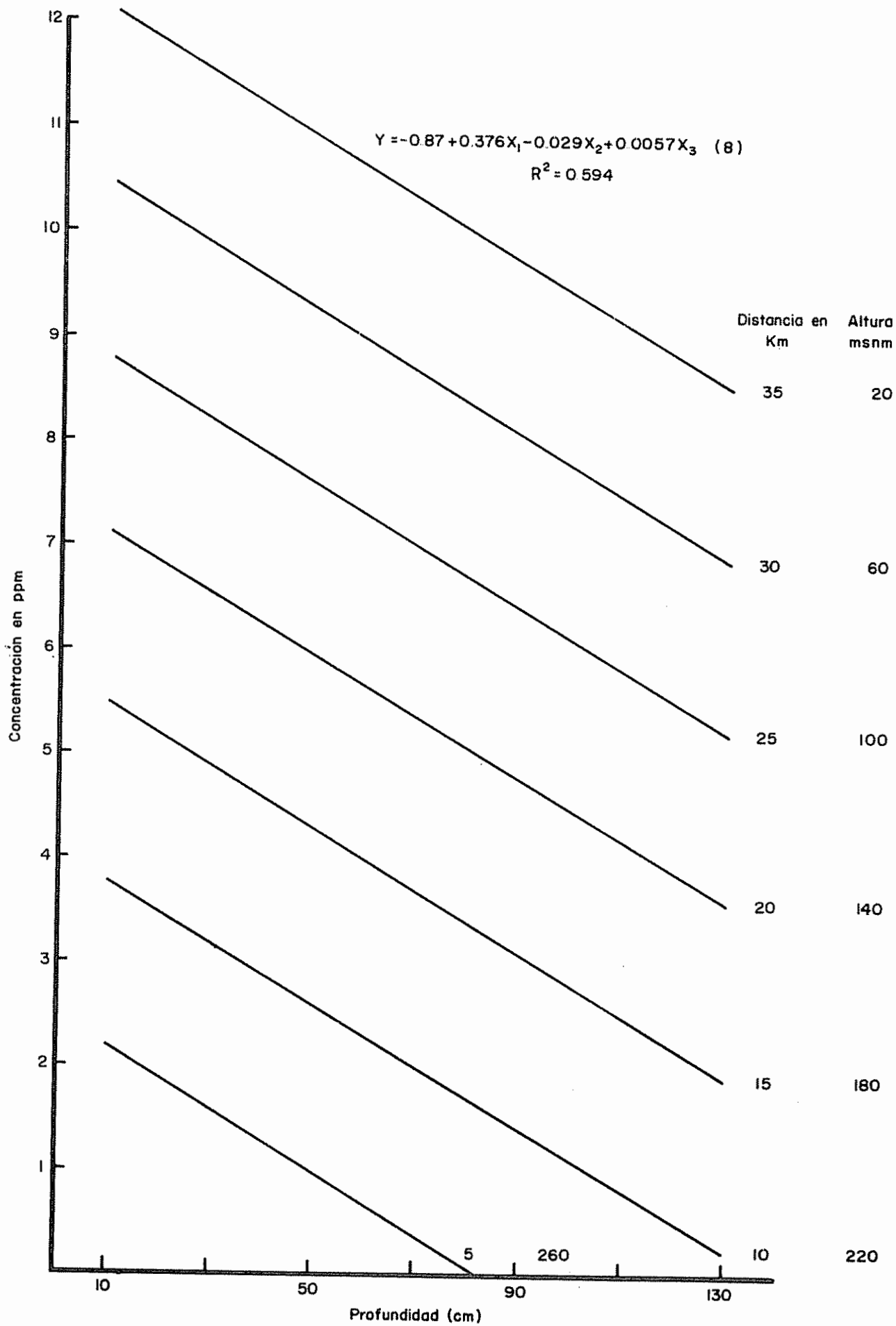


Fig. 8. Variación de cobalto extraído con oxalato de amonio de muestras a la humedad de campo, en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el trãnsito volcanes San Cristóbal, El Chonco - Océano Pacífico.

muy levemente, de los cuales el mayor es para la distancia, luego profundidad y finalmente altura.

El contenido de materia orgánica como puede observarse en la Figura 10 del Apéndice, su proporción aumenta a medida que su distancia del volcán es menor, con relación a profundidad del perfil, disminuye el por ciento de materia orgánica, en cambio a su localización altimétrica aumenta cuando la altura es mayor y disminuye cuando la altura es menor. De acuerdo a la ecuación 10 de la Figura 10 del Apéndice, los factores críticos de incremento son, distancia, altura y decremento para la profundidad.

El por ciento del contenido de arcilla como puede observarse en la Figura 11 del Apéndice, la proporción de arcilla se incrementa a medida que su distancia al volcán es mayor y su posición altimétrica es menor, o sea, que aquellos suelos más próximos al Océano Pacífico, tendrán mayor contenido de arcilla que los más cercanos al volcán. En cambio, con relación a profundidad, el por ciento de arcilla disminuye. Según la ecuación 11 de la Figura 11 del Apéndice, el factor crítico de incremento es para la distancia y los restantes disminuyen y aumentan muy levemente.

El contenido de arena disminuye su proporción a medida que su alejamiento del volcán es mayor y su posición altimétrica es menor, o sea, que los suelos cercanos al Océano Pacífico tendrán menos arena que los suelos cercanos al volcán. Por el contrario, en relación a profundidad del perfil aumenta el por ciento de arena. De acuerdo a la ecuación 12 de la Figura 12 del Apéndice, el factor crítico de

disminución es para la distancia y los demás coeficientes incrementan muy poco el contenido de arena.

Las características físicas, químicas y límites de coeficiencia para lluvia y evaporación, se presentan en los Cuadros 1, 2, 14 y 15 del Apéndice.

4.5 Comparación entre medias de los diferentes extractantes para determinar las formas disponibles de microelementos

La comparación entre medias de los diferentes extractantes para la forma disponible de hierro, usando la prueba de Duncan (0,05 por ciento de p), indican que el oxalato de amonio ácido, es el extractor cuantitativamente más eficiente. El segundo lugar está ocupado por el ácido clorhídrico 0,1N, seguido por el acetato de amonio 1N, pH 4,8 y finalmente por el acetato de amonio neutro.

Oxalato de amonio ácido	Acido clorhídrico 0,1N	Acetato de amonio 1N pH 4,8	Acetato de amonio 1N pH 7,0
8.857,9	1.397,99	241,71	0,09

La comparación entre medias de los diferentes extractantes utilizados para determinar la forma intercambiable de manganeso y soluble en agua, usando la prueba de Duncan (0,05 por ciento de p), indican que el oxalato de amonio ácido es el extractor cuantitativamente más eficiente. El segundo lugar está ocupado por ácido clorhídrico

0,1N, luego el acetato de amonio N pH 4,8, agua y acetato de amonio N a pH 7,0.

Oxalato de amonio	Acido clorhídrico 0,1 <u>N</u>	Acetato de amonio 1 <u>N</u> , pH 4,8	Agua	Acetato de amonio 1 <u>N</u> , pH 7,0
261,22	93,27	24,14	4,78	2,44
<hr/>				
<hr/>				

La comparación entre medias de los diferentes extractantes utilizados para determinar la forma disponible de zinc y soluble en agua, usando la prueba de Duncan (0,05 por ciento de p), indican que el acetato de amonio N pH 4,8 es el extractor cuantitativamente más eficiente, el segundo lugar está ocupado por el ácido clorhídrico 0,1N, oxalato de amonio ácido, acetato neutro y agua, respectivamente.

Acetato de amonio ácido	Acido clorhídrico 0,1 <u>N</u>	Oxalato de amonio ácido	Acetato de amonio neutro	Agua
24,19	17,97	13,44	6,96	3,25
<hr/>				
<hr/>				

La comparación entre medias de los diferentes extractantes utilizados para la forma disponible de cobre y soluble en agua,

usando la prueba de Duncan (0,05 por ciento de p), indican que el oxalato de amonio ácido es el extractor cuantitativamente más eficiente, seguido por el ácido clorhídrico 0,1N, luego el acetato de amonio ácido, acetato de amonio neutro y finalmente el agua.

Oxalato de amonio ácido	Acido clorhídrico 0,1 <u>N</u>	Acetato de amonio ácido	Acetato de amonio neutro	Agua
54,27	46,26	7,27	2,09	0,52
<hr/>				

La comparación entre medias de los dos extractantes utilizados para la forma disponible de boro, usando la prueba de Duncan (0,05 por ciento de p), indican que hay significancia entre los extractantes usados (oxalato de amonio ácido y ácido clorhídrico 0,1N).

Acido clorhídrico 0,1 <u>N</u>	Oxalato de amonio ácido
7,28	7,10

La comparación entre medias de los diferentes extractantes utilizados para determinar la forma disponible de cobalto y soluble en agua, usando la prueba de Duncan (0,05 por ciento de p), indican que el oxalato de amonio ácido es el extractor cuantitativamente más eficiente, seguido por el ácido clorhídrico 0,1N y agua, respectivamente.

Oxalato de amonio ácido	Acido clorhídrico 0,1 <u>N</u>	Agua
6,41	1,89	0,04
<hr/>		<hr/>

La comparación entre medias de los diferentes extractantes utilizados para la forma disponible de molibdeno y soluble en agua, usando la prueba de Duncan (0,05 por ciento de p), indican que el agua es el extractor cuantitativamente más eficiente, seguido por oxalato de amonio ácido y ácido clorhídrico 0,1N, respectivamente.

Agua	Oxalato de amonio ácido	Acido clorhídrico 0,1 <u>N</u>
1.67	0,45	0,25
<hr/>		<hr/>

Los resultados del análisis de variancia para cada microelemento y prueba de "t" se encuentran en los Cuadros 16 al 22 y 23 al 29 respectivamente, del Apéndice.

5. DISCUSION

En relación con las características generales del suelo aparece bien claro que una de sus propiedades más importantes es, por gobernar la disponibilidad de los elementos en la fase de intercambio, la CIC, es dependiente de la fracción arcilla y no de la materia orgánica como generalmente ocurre en los suelos volcánicos tal como demostró Fuentes (27). La reacción del suelo de débilmente ácida a débilmente alcalina propicia, como señala Millot (48), la formación de arcillas tipo 2:1 con una capacidad de carga superior a la que corresponde a la haloisita y metahaloisita, propias de desarrollo pedogenético de la alófana en suelos volcánicos netamente ácidos. Es posible que la montmorillonita sea una de las arcillas presentes ya que Be-soain (9) la considera frecuente en suelos volcánicos localizados en áreas un tanto áridas, ricas en bases y con drenaje impedido. Esto último es especialmente cierto para los perfiles localizados en la serie La Lapa, proximidades del Océano Pacífico, mientras que la aridez relativa es propia de toda la zona.

Así como el porcentaje de arcilla aumenta en el transecto en dirección al Océano Pacífico, las arenas dominan a medida que los suelos se aproximan a los volcanes El Chonco y San Cristobal, probablemente porque en sus inmediaciones se depositaron los materiales más gruesos, mientras que las partículas más finas, bien por acción del agua o de los vientos, fueron transportados a mayores distancias.

Se podría decir, reforzando lo dicho por Marín (46), que en las proximidades de los volcanes, debido a la presencia de materiales

vítreos gruesos, se desarrollan los vitrandeptos, mientras que en la costa, hay condiciones para la formación de los eutrandeptos.

La cantidad de materia orgánica en la región estudiada es, en conjunto, baja. En ello influyen las temperaturas altas, el sistema de cultivos, como el algodón, en hileras que desprotegen a los suelos de la acción directa del sol, y probablemente reacciones metabólicas de tipo bioquímico. Es posible que la mayor acumulación de la materia orgánica en las áreas más cercanas a los volcanes se deba a la disminución de la temperatura del ambiente, ya que la elevación (260 msnm) puede suponer el descenso de unos 2°C con respecto al litoral Pacífico. Teniendo en cuenta la secuencia de curvas propuestas por Mohr (37), cabe suponer que la región más próxima al volcán es más propicia para la acumulación de materiales orgánicos, mientras que en la región del Pacífico la tasa de descomposición supera a la de la acumulación.

La densidad aparente obtenida en el presente estudio es mayor que la propuesta por Forsythe et al (25) para el promedio de los suelos derivados de cenizas volcánicas, por el contrario, la densidad de sólidos encontrados es inferior al promedio representativo de este tipo de suelos.

Como uno de los objetivos de esta tesis es tratar de ayudar a avanzar en la elección de algunos métodos que permiten mejorar los conocimientos, actualmente muy escasos, de los elementos menores en las regiones tropicales, a continuación se presentan sugerencias con base en las siguientes características:

Para decidirse por un extracto determinado debe considerarse su capacidad para detectar algunas propiedades del suelo. En general, se acepta que la asequibilidad de los elementos menores disminuye a medida que el porcentaje de materia orgánica aumenta en los suelos (79), debido a que los microelementos son acomplejados por las sustancias húmicas. Por otra parte, los elementos menores, con la excepción del boro y molibdeno, que se comportan como aniones (boratos, molibdatos) intervienen en las reacciones de intercambio como cationes siendo, por tanto, favorecida su asequibilidad por un incremento de la CIC (21). Esta CIC, como ha sido comprobado en este trabajo, en la región estudiada es dependiente de la arcilla, por lo cual el intercambio aumentará con su presencia. En cambio los materiales gruesos (arenas) disminuyen su asequibilidad.

La reacción del suelo que es también otro de los factores determinantes de asequibilidad de los microelementos (75), ha sido puesta en duda por diferentes trabajos (40), salvo para el caso del molibdeno. En el presente estudio no tiene mayor influencia debido, posiblemente, a que el pH del suelo es débilmente ácido en la mayoría de las muestras propicia para la asequibilidad normal de los elementos menores.

En relación con el hierro, su concentración total media se encuentra dentro el rango dado por Krauskoff (44) para los suelos, superando las cantidades reportadas por Santana (66) para los suelos de Bahía, Brasil, y por Berlanga (7) para suelos de Turrialba, Costa Rica. Llama la atención que la concentración del hierro total en

las muestras secas al aire fuese más del doble en promedio que la correspondiente a las muestras mantenidas a la humedad de campo. Ha biéndose empleado el mismo reactivo, el de Ulrich et al (76) cabe su poner que la lectura del hierro presente en el extracto provenientes de las muestras húmedas tenga interferencias de otros iones o compuestos orgánicos, que reducen la capacidad de su detección. Asimismo el estudio realizado por Forsythe et al (25) señala que la absorción del agua en muestras secas al aire se reduce, de ahí que probablemente la capacidad de extracción de los elementos menores en dichas muestras aumente.

En cuanto al hierro intercambiable, en primer término debe señalarse que este estudio tiende a señalar que deben descartarse los métodos que emplean el acetato de amonio tanto neutro como ácido, porque neutralizan la concentración de intercambio al extraer este reactivo menos cantidad de hierro que el agua. No cabe aceptar que el hierro intercambiable sea menor que el soluble en agua puesto que éste es parte de aquél. Muy posiblemente la poca eficacia del acetato de amonio se debe a qué forma acetatos de hierro cuya insolubilidad aumenta con el pH, concordando así con los resultados obtenidos previamente por Peech (56). Tampoco se descarta que al menos en parte la ineficacia del acetato se debe a su adsorción física por los materiales inorgánicos amorfos, tal como demostraron Bornemisza y Fuentes (14), en suelos volcánicos de Costa Rica al determinar la CIC.

Podría sugerirse que de los extractores utilizados el más consistente es el ácido clorhídrico. En primer término funciona muy

similarmente en muestras secas y húmedas y además, refleja mejor que el oxalato de amonio ácido las propiedades del suelo, de las cuales en definitiva depende el complejo de intercambio. Si bien no se ha encontrado una escala que delimite la deficiencia o superávit del hierro intercambiable referido al uso del ácido clorhídrico en suelos volcánicos, se puede pensar que el hierro no es limitante para el crecimiento de las plantas, por cuanto la cantidad encontrada supera a las necesidades requeridas por algunos cultivos típicos (sorgo, frijol, hortalizas, etc.), de acuerdo a la recopilación de literatura realizada por Murphy y Walch (50). Es de anotar también que la concentración de hierro intercambiable supera con mucho a la reportada en la misma región para el azufre y el nitrógeno* intercambiables de por sí cuantitativamente más necesarios para la planta.

El oxalato de amonio parece valorar en exceso la cantidad de hierro intercambiable. Los datos del estudio sugieren que el oxalato es capaz de liberar parte del hierro acomplejado por la materia orgánica.

La cantidad de manganeso total en estos suelos se puede considerar dentro del rango general promedio establecido en los suelos para dicho elemento y, al menos en las muestras analizadas después de secarlas al aire, muestra una relación Mn/Fe:1/50-70, característica

* Burbano, H. y Hernández, J. M. IICA-CTEI. Comunicación personal.

de los materiales ígneos (44). Al igual que ocurrió con el hierro total, la mezcla de Ulrich et al (76) extrajo menos manganeso de las muestras húmedas que de las secas. Una explicación podría ser la misma que la ofrecida previamente.

El acetato de amonio 1N, pH 7,0 no funciona puesto que las extracciones fueron menores que el uso del agua. Es decir, el acetato de amonio neutro no llega a extraer ni siquiera el manganeso fácilmente reducible. Fuera de la diferenciación cuantitativa, los métodos del oxalato de amonio ácido y del agua funcionan con bastante similitud ya que ambos se comportan de la misma manera ante las características del suelo. Posiblemente las mayores cantidades obtenidas con el oxalato de amonio se deban a que incluye todo el manganeso activo. Anderson y Boswell (3) señalan que el uso de agua es un buen indicador del estado del manganeso en el suelo con relación a las cosechas de algodón, que es el principal producto agrícola de la zona estudiada. Según esos autores, el algodón responde a aplicaciones de manganeso cuando su concentración medida con agua, bajo de 2,3 ppm. De acuerdo con este dato podrían existir algunas deficiencias de manganeso en la serie Chichigalpa.

Parece, por tanto, que existen bases para recomendar el uso del agua como solución extractora. El ácido clorhídrico y el acetato de amonio ácido no reflejan tan claramente la acción de las arcillas y de la materia orgánica, como el agua y el oxalato.

Las cantidades promedias totales de zinc tienden a superar las consideradas dentro del rango normal de los suelos (40). La abundancia

del zinc total vendría explicada por el hecho de que su concentración se eleva considerablemente en las rocas ígneas básicas, material que de acuerdo a Besoain (9) predominan en el cinturón volcánico circunpacifico.

En el caso del zinc asequible, el agua fue el extractor menos eficiente. Es también el elemento donde las extracciones se comportaron más irregularmente conforme a las características del suelo. Muy posiblemente se requiera probar otros métodos que introduzcan agentes acomplejadoras. Por el momento, teniendo en cuenta los trabajos de distintos autores recopilados por Cox y Kamprath (18), se podría sugerir el uso del ácido clorhídrico. Probablemente en la región estudiada no hay deficiencias de zinc, puesto que los trabajos mencionados señalan, por ejemplo, que cantidades de zinc intercambiable por encima del 1 ppm son suficientes para prevenir su deficiencia en el cultivo del maíz.

La concentración de cobre total está por encima del rango que se considera normal para los suelos (44). Es bastante marcada la diferencia entre el cobre total extraído en muestras secas al aire y muestras húmedas. Considerando la gran estabilidad del cobre en sus complejos con los ácidos fúlvicos(68), cabe convenir que el secamiento de las muestras favorece la liberación de los iones acomplejados por los ácidos húmicos, cosa que no ocurre en las muestras húmedas. Al ser atacados los suelos por la mezcla de ácidos propuesta por Ulrich et al (76), no consigue romper en su totalidad esos complejos que al ser más abundantes en las muestras húmedas, producen interferencias

en las lecturas. Es interesante anotar que en todos los elementos que se leyeron en el aparato de absorción atómica ocurrió así (hierro, manganeso, zinc y cobre).

En el caso del cobre intercambiable necesariamente el extractante que debe preferirse es aquél que muestre mejor la influencia negativa de la materia orgánica en la asequibilidad. Dentro de los suelos estudiados sería el ácido clorhídrico, y también el agua, en el caso de muestras húmedas. El ácido clorhídrico ha sido utilizado por varios autores (36, 43, 66). Los resultados obtenidos por ellos permiten señalar que los suelos estudiados no muestran deficiencia de cobre.

El boro total de los suelos se aproxima más al límite inferior del rango dado para ese elemento en los suelos. Probablemente se debe a que en concentración es mayor en rocas ígneas ácidas que en las básicas (40), estas últimas son las comunes en la región estudiada.

El boro presenta serios problemas en su determinación porque calentando los extractos ácidos por encima de los 55 - 60°C puede perderse por volatilización (80). Para prevenir esa pérdida se utiliza calcio que a veces afecta con turbidez las soluciones de lectura. A diferencia de lo indicado por la literatura, el desarrollo del color con carmín fue completo a partir de los 10 - 15 minutos. Los acetatos fueron menos eficientes en la extracción que el oxalato y el ácido clorhídrico, probablemente porque la acidez de aquellos reactivos fue menor y el conocido (71) que la retención del boro tiende a ser dependiente del pH.

Parece recomendable utilizar la extracción con oxalato de amonio ácido ya que el boro tiende a comportarse más normalmente considerando las características de pH y arcillas.

El cobalto total muestra cantidades comprendidas en el rango en promedio de los suelos (6). De los métodos utilizados para detectar el cobalto asimilable, la extracción con oxalato de amonio ácido parece más deseable por tener una relación más adecuada con las propiedades del suelo. Con las cantidades obtenidas es improbable una deficiencia de cobalto. Estudios realizados por Borchart (13) demuestran que el cobalto es bastante abundante en suelos derivados de cenizas volcánicas. Por otra parte, su necesidad en la nutrición de las plantas es muy pequeña (6).

La concentración de molibdeno total es alta, superando con mucho el promedio que muestran los suelos en casi la generalidad de los casos (61). Esto presumiblemente se debe a que la región estudiada sea rica en biotita, como componente de las rocas ígneas, ya que este mineral es el que muestra más alta concentración de molibdeno (44).

A pesar de la elevada concentración de molibdeno total su asequibilidad disminuye mucho, y de los métodos utilizados la extracción más eficiente resultó ser el agua. El método ha sido recomendado por Barshad (4). Debido a que el molibdeno aumenta su solubilidad con el pH, es lógico pensar que reactivos ácidos disminuyan su extracción. A pesar de todo, el método más utilizado es el oxalato de amonio (Grigg, citado por Reisenauer [61]), habiéndose establecido que su deficiencia comienza cuando el nivel de concentración es inferior a 0,2 ppm.

Con base en esta cifra podrían existir ciertas deficiencias de molibdeno en los suelos estudiados. Aun la extracción con agua de valores inferiores a ese límite en algunos casos. Por el momento se recomendaría el uso del oxalato de amonio ácido.

Es evidente que el uso de muestras secas al aire y a la humedad de campo conduce a obtener concentraciones distintas para un mismo elemento y forma. Los datos obtenidos a partir de muestras secas al aire se ajustó mejor con las características de suelos estudiados, arcilla, materia orgánica, etc., mientras que se apreció más variación en los datos provenientes de las muestras analizadas a la humedad de campo. No obstante, debe insistirse en seguir las investigaciones con muestras a la humedad de campo ya que en ese estado representan el habitat natural de las plantas. A nivel de reacciones bioquímicas (mineralización, inmovilización, etc.) la diferenciación entre ambos tipos de muestras tiene importancia, por cuanto la actividad microbial viene muy relacionada con el estado de tensión de humedad en los suelos (12).

En relación al panorama de conjunto sobre el comportamiento de los elementos menores en la región del Pacífico de Nicaragua es que en general, sus niveles de asequibilidad son aceptables, lo cual cabe atribuirse al predominio de materiales volcánicas básicos. Según se aprecia en las recopilaciones de literatura sobre elementos menores (40, 44), la concentración de los mismos tiende a aumentar considerablemente cuando el material parental es de naturaleza básica, como ocurre en Nicaragua. La excepción a esta regla la constituye el boro al cual, a pesar de que los métodos aplicados no detectaron

deficiencias, habría que tener muy en cuenta en pruebas de campo e invernadero.

Asimismo, se observó que la asequibilidad de los elementos menores dentro del transecto, aumentó con el porcentaje de los separados finos del suelo, lo cual confirma lo encontrado por Brochart (13) en los suelos volcánicos de Mazama, Oregón, en el sentido de que la disponibilidad de los microelementos aumentó con la meteorización de esos suelos. Esto significa que los niveles de los elementos menores mejorarán en la dirección hacia el Océano Pacífico quedando, por tanto, los suelos próximos a los Volcanes El Chonco y San Cristobal más expuestos a que se produzcan algunas deficiencias si se establece el tipo de agricultura intensiva. Vale decir que con el aumento de altitud se produce un emprobecimiento en la concentración de los elementos menores.

A diferencia de lo que ocurrió con los sulfatos cuya asequibilidad dependió de la materia orgánica*, los elementos menores resultaron depender de la fracción coloidal inorgánica. La materia orgánica más bien disminuye la disponibilidad debido a la formación de complejos organo-metálicos. En el caso de la región estudiada, la poca cantidad de materia orgánica de la región favorece los niveles de intercambio de los microelementos.

* Burbano, H. IICA-CTEI. Comunicación personal.

En cuanto a la profundidad del perfil el comportamiento de los distintos elementos menores no es definido. Una de las probables causas podría ser la heterogeneidad de los distintos eyecciones volcánicas. También cabe considerar que en algunos casos, como el hierro, han existido migraciones del elemento a través del perfil. En otros como ocurre con el cobre, la concentración fue mayor en la primera capa, debido probablemente al acomplejamiento por la materia orgánica.

6. CONCLUSIONES

1. Los suelos de la Región del Pacífico de Nicaragua muestran un pH próximo a la neutralidad, bajo contenido de materia orgánica, con una capacidad de intercambio catiónico dependiente del porcentaje de arcilla, una densidad aparente comprendida entre 0,86 - 1,10 g/ml y con un porcentaje de humedad gravimétrica que fluctúa entre 11,48 y 20,74 por ciento en el rango de 0,33 y 15 bares.
2. El estudio demostró que las concentraciones totales de los microelementos de la Región Pacífica de Nicaragua oscilaron dentro de los rangos siguientes:

	Muestras secas al aire	Muestras a la humedad de campo
	←----- ppm -----→	
Hierro	55.084,70 - 96.196,80	5.500,0 - 120.000,0
Manganeso	510,20 - 1.252,60	500,0 - 1.150,0
Zinc	252,60 - 615,20	200,0 - 560,0
Cobre	245,50 - 360,10	0,1 - 200,0
Boro	6,01 - 42,82	- - -
Cobalto	3,46 - 28,07	- - -
Molibdeno	6,14 - 275,25	3,0 - 16,8

3. Las concentraciones de las formas intercambiables de los elementos menores fueron:

	Muestras secas al aire		Muestras a la humedad de campo
	←----- ppm -----→		
a)			
Hierro	170,60 - 2.214,70		473,60 - 3.255,80
Zinc	7,97 - 34,90		2,10 - 50,70
Cobre	5,43 - 70,91		18,29 - 75,96
b)			
Boro	1,96 - 13,02		1,45 - 25,16
Cobalto	0,58 - 20,28		0,85 - 18,10
Molibdeno	0,01 - 2,16		0,01 - 2,35
c)			
Manganeso	0,10 - 13,42		0,10 - 14,10

4. Con relación a las propiedades del suelo las concentraciones de los micronutrientes tendieron a aumentar con la CIC y el porcentaje de arcilla. A su vez disminuyeron al incrementarse los porcentajes de materia orgánica y arena.
5. No se encontró correlación entre la reacción del suelo y la distribución de los microelementos.
6. Las concentraciones totales de los microelementos determinados en muestras secas al aire superaron a las provenientes de muestras a la humedad de campo.

7. Con relación a la influencia de las variables distancia a los volcanes, profundidad del perfil y altura topográfica en el transecto Volcanes San Cristobal, El Chonco - Océano Pacífico, se encontró que los factores más críticos para las concentraciones de los microelementos eran: La altura para hierro y la distancia para los demás microelementos.
8. Con base en el presente estudio se recomienda utilizar los siguientes extractantes:
- | | |
|--------------|--------------------------------|
| a) Hierro | Acido Clorhídrico 0,1 <u>N</u> |
| Zinc | Acido Clorhídrico 0,1 <u>N</u> |
| Cobre | Acido Clorhídrico 0,1 <u>N</u> |
| b) Boro | Oxalato de amonio ácido |
| Cobalto | Oxalato de amonio ácido |
| Molibdeno | Oxalato de amonio ácido |
| c) Manganeso | Agua destilada |

El reactivo de menor capacidad extractora fue el acetato de amonio 1N, pH 7,0.

7. RESUMEN

El estudio se realizó en la Región Nicaragüense localizada entre el Océano Pacífico y los Volcanes San Cristobal y El Chonco, situada entre los 11° y 13° de latitud Norte y $85^{\circ} 30'$ y $87^{\circ} 45'$ de longitud Oeste, correspondiendo a la zona agrícola más importante de aquél país.

El clima de la región se caracteriza por presentar temperaturas cálidas entre 22 y 37°C durante todo el año, una precipitación anual entre 900 y 1900 mm distribuida en dos períodos bien marcados; de acuerdo con el Sistema Holdridge, el área en estudio pertenece a la formación de Bosque Tropical Muy Seco a Bosque Tropical Seco.

En la investigación se utilizaron los suelos pertenecientes a las series La Lapa, Chinandega, La Mora, Chichigalpa y Telica, derivados de cenizas volcánicas y clasificadas previamente por la Oficina de Catastro y Recursos Naturales de Nicaragua.

En muestras secas al aire y a la humedad de campo, se determinaron las concentraciones totales, intercambiables y solubles en agua de hierro, zinc, cobre, cobalto, manganeso y molibdeno respectivamente, empleándose para ello diferentes extractantes, de los cuales se recomienda el ácido clorhídrico $0,1\text{ N}$ para extraer hierro, zinc y cobre; oxalato de amonio ácido para boro, cobalto y molibdeno y agua para manganeso.

El estudio también demostró que la distribución de los microelementos presenta una correlación positiva con el porcentaje de arcilla y negativa con el porcentaje de materia orgánica y arena. La

concentración de los microelementos aumenta en el transecto Volcanes - Océano Pacífico.

El análisis de regresión demostró que en el transecto considerado, los factores críticos fueron: altura, para hierro y manganeso; distancia, para manganeso, hierro, zinc, cobre y cobalto y variación muy leve para otras características del suelo (pH, materia orgánica, arcilla y arena, etc.).

Los resultados correspondientes a muestras secas al aire fueron siempre superiores a los valores de muestras a la humedad de campo.

Se sugiere continuar con las investigaciones en campo e invernadero y cuantificar los límites de deficiencia y toxicidad para los extractantes considerados en la presente investigación.

7a. SUMMARY

The present investigation was carried out with soils from Nicaragua located in an area between the Pacific Ocean and the San Cristobal and El Chonco volcanoes, at 11° N and $85^{\circ} 30'$ and $87^{\circ} 45'$ W, which corresponds to the most important agricultural area of the country. The climate is regarded as mild, with 22° and 37° C mean annual minimum and maximum temperatures respectively, and rainfall of 900 to 1900 mm distributed into two well defined periods. According to the Holdridge classification system, the studied area is located in the very dry and dry tropical forest region.

Representative soil samples from the La Lapa, Chinandega, La Mora, Chichigalpa and Telica soil series, were collected. All of these series are considered to be derived from volcanic ash material.

Laboratory analysis, included total, exchangeable and water soluble iron, zinc, copper, boron, cobalt, manganese and molybdenum. Different soil extractants were employed.

The micronutrient concentration of the soil samples was positively correlated with percent clay, and negatively correlated with organic matter and percent sand. There was an increase in micronutrient concentration going from the volcanoes San Cristobal and El Chonco toward the Pacific Ocean.

Factors affecting nutrient concentration appeared to be high for iron and manganese and distance for manganese, iron, zinc, copper and cobalt. Other properties such as pH, organic matter, clay and sand content were less variable.

Hydrochloric acid (0,1 N) appeared to be good extractant for iron, zinc and copper; ammonium acid oxalate for boron, cobalt and molybdenum and water for manganese.

Higher concentrations of all micronutrients were obtained in air dried soil samples as compared to field moist samples.

More research at field and greenhouse conditions is recommended in order to establish critical levels for soil micronutrient concentrations.

8. LITERATURA CITADA

1. ALBA, J. de. Alimentación del ganado en América Latina. México, D.F., Prensa Médica Mexicana, 1958. 336 p.
2. ANDERSON, D. E. Manganese. Georgia Agricultural Experimental Station. Bulletin no. 126. 1964. pp. 33-36.
3. ANDERSON, D. F. y BOSWELL, F. C. Boron and manganese effects on cotton yield, lint quantity and earliness of harvest. *Agronomy Journal* 60:488-493. 1968.
4. BARSHAD. I. Factors affecting the molybdenum content of pasture plants. I. Nature of molybdenum, growth of plants, and soil pH. *Soil Science* 71:297-313. 1951.
5. BARROS, M. P. y BLASCO, M. Cobalto, cobre y molibdeno totales en los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia)* 3:23-28. 1971.
6. BEESON, K. C., KUBOTA, J. y LAZAR, V. A. Cobalt. *In* Black, C. A. *et al.*, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1969. v. 2, pp. 1064-1076.
7. BERLANGA, I. M. Estudio de la fertilidad de los suelos del área de Ganadería, IICA-CTEI, Turrialba, Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 83 p.
8. BESOAIN, E. Curso de Mineralogía de suelos. Turrialba, Costa Rica. IICA. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, 1970. 347 p.
9. _____. Mineralogía de las arcillas de suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. *In* Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina, Turrialba, 1969. Trabajos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969.
10. BLAKE, G. R. Bulk density. *In* Black, C. A. *et al.*, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1969. pp. 211-223.
11. _____. Particle density. *In* Black, C. A. *et al.*, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1969. pp. 371-390.
12. BLASCO, M. Curso de microbiología de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 247 p.

13. BORCHART, G. A. Neutron activation analysis for correlation volcanic ash soils. Ph.D. Thesis. University of Oregon, 1970. 219 p.
14. BORNEMISZA, E. y FUENTES, R. Cation exchange capacity of Costa Rica soils and subsoils at different pH values in the presence of organic matter of after its destruction. In Agronomy Abstract of the American Society of Agronomy, New Orleans, 1968. 80 p.
15. BOULD, C. y HEWITT, E. J. 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.
16. CASTRO, J. P. y BLASCO, M. Manganese in volcanic soils of Nariño, Colombia. Agrochimica 16(4-5):336-341. 1972.
17. CHAMORRO, B. et al. Aluminio, boro, cobre, cobalto, hierro, manganeso y zinc disponibles en suelos volcánicos de la Sabana de Tuqueres. Departamento de Nariño, Colombia. Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia) 4:23-39. 1972.
18. COX, F. R. y KAMPRATH, E. J. Micronutrients soils tests. In Mortvedt, J. J. et al., eds. Micronutrients in Agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 289-317.
19. DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1969. v. 2. pp. 545-566.
20. DEB, B. C. The movement and precipitation of iron oxide in podzol soil. Journal of Soil Science 1:112-122. 1949.
21. ELLIS, B. y KNEZEK, B. D. Adsorption reactions of micronutrients in soils. In Mortvedt, J. J. et al. Micronutrients in Agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 59-78.
22. FASSBENDER, H. Curso de química de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1966. 266 p.
23. FISKEL, J. G. A. Copper. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1969. pp. 1090-1101.
24. FORSYTHE, W. Manual de laboratorio de física de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 217 p.

25. FORSYTHE, W., GAVANDE, S. A. y GONZALES, M. A. Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas considerando algunos suelos de América Latina. In Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina, Turrialba, 1969. Trabajos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969.
26. FUJIMOTO, G. y SHERMAN, G. D. Molybdenum content of typical soil and plants of the Hawaiian Islands. Agronomy Journal 43:70-71. 1951.
27. FUENTES, R. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en algunos suelos ácidos de origen volcánico. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 171. 107 p.
28. GARCIA, B. J. y LOPEZ, D. J. Fórmula para cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico (15° N - 15° S). Agronomía Tropical (Venezuela) 20:325-345. 1970.
29. GIDDENS, S. E. Boron. Georgia Agricultural Experimental Station. Bulletin no. 126. 1964. pp. 13-21.
30. GILBERT, F. Copper in nutrition. Advances in Agronomy 4:156-187. 1952.
31. GOLDSCHMIDT, V. M. Geochemistry. London, Oxford University Press, 1958. 730 p.
32. GRIGG, J. L. Determination of available molybdenum of soil. New Zealand Journal Science Technological. Section A. 34:405-414. 1953.
33. _____, JHONSON, C. M. y ARKLEY, T. H. Determination of molybdenum in plant tissue. Analisis Chemical 26:572-575. 1954.
34. _____, JHONSON, C. M. y ARKLEY, T. H. SOCIETY ANALYTICAL CHEMISTRY. Determination of trace elements, with special reference to fertilisers and feeding stuffs. Cambridge, Heffer, 1963. 39 p.
35. GUPTA, U. Relationship of total and hot-water soluble boron, and fixation of-from-to properties of podzol soils. Soil Science Society of America Proceedings 32:45-48. 1968.
36. _____ y MACKAY, D. C. Extraction of water-soluble copper and molybdenum from podzol soil. Soil Science Society of America Proceedings 29:323. 1965.

37. HARDY, F. Suelos tropicales. Trad. por Rufo Bazán. México, D. F., Herrero, 1970. 324 p.
38. HAMMES, J. K. y BERGER, K. C. Chemical extraction and crop removal of manganese from air-dried and moist soils. Soil Science Society of American Proceedings 24:361-364. 1960.
39. HATCHER, J. T. y WILCOX, L. V. Colorimetric determination of boron using carmin. Analytical Chemistry 22(4):567-569. 1963.
40. HODGSON, J. F. Chemistry of the micronutrients elements in soils. Advances in Agronomy 15:119-159. 1963.
41. IGUE, K. y BORNEMISZA, E. El problema del zinc en suelos y plantas de regiones tropicales y de zona templadas. Fiotecnica Latinoamerica 4(1):29-44. 1967.
42. KANEHIRO, Y. y SHERMAN, D. G. Distribution of total and 0,1 N normal hydrochloric acid-extractable zinc in Hawaiian soil profiles. Soil Science Society of America Proceedings 31:394-399. 1967.
43. KOS RUBINSTEIN, J. Determinación de cobre y zinc en suelos y plantas de café por espectrofotometría de absorción atómica. Tesis de Lic. Quim. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias y Letras, 1965. 61 p.
44. KRAUSKOFF, K. B. Geochemistry of micronutrients. In Mortvedt, J. J. et al. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. pp. 7-36.
45. LEGARDA, L. y FORSYTHE, W. Estudio comparativo entre la evaporación calculada por varias fórmulas y la evaporación de tanques, medida en tres lugares tropicales. Turrialba 22(3):282-292. 1972.
46. MARIN, E. Geología y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la región pacífica de Nicaragua. In Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina, Pasto, Colombia, 1972. Trabajos. (En prensa).
47. MARINHO, M. L. Influencia do fósforo e sesquioxidos livres na adsorcao de ^{65}Zn por milhoem solos tropicais. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 80 p.
48. MILLOT, G. Geología des argiles. Paris, Masson, 1964. 499 p.

49. MITCHELL, R. L. Cobalt and nickel in soils and plants. *Soil Science* 60:63-70. 1945.
50. MURPHY, L. S. y WALSH, L. M. Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. In Mortvedt, J. J. et al., eds. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. 1972. pp. 347-387.
51. NICARAGUA. CATASTRO E INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES. Fotomapa. Los suelos y clasificación de la Tierra. Managua, Instituto Geográfico Nacional, 1971. Esc. 1:20000.
52. NIKITIN, A. A. Technological aspects of trace elements usage. *Advances in Agronomy* 6:183-197. 1954.
53. OLARTE, L. I. y MOTTA, B. Deficiencia de boro en algunos suelos del Valle del Cauca. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1961. 27 p.
54. PAOLI, A. y LAURATI, M. Consideraciones sobre la importancia de los oligoelementos en el suelo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Boletín no. 177. 1962. pp. 6-14.
55. PAPADAKIS, J. *Climates tables for the world*. Buenos Aires, Papadakis, 1961. 110 p.
56. PEECH, M. Chemical methods for assessing soil fertility. In Kitchen, H. B., ed. *Diagnostic techniques for soils and crops*. Washington, D. C., American Potash Institute, 1968. pp. 1-52.
57. PRICE, C. A. Iron compounds and plant nutrition. *Annual Review of Plant Physiology* 19:239-248. 1968.
58. _____ et al. Functions of micronutrients in plants. In Mortvedt, J. J. et al. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 231-264.
59. RAVICOVITCH, S., MRAGOLIN, M. y NAVROT, J. Microelements in soils of Israel. *Soil Science* 92:85-89. 1961.
60. RICHARDS, L. A. Physical condition of water in soil. In Black, C. A. et al., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1969. pp. 128-152.

61. REISENAUER, H. M. Availability essays for the secondary micro-nutrients anions. In American Society of Agronomy. Soil testing and plant analysis. I. Madison, Wisconsin, 1967. pp. 71-102.
62. ROCHESTER, E. W. y BUSCH, C. D. An irrigation scheduling model which incorporates rainfall predictions. Water Resources Bulletin 8(1):608-613. 1972.
63. ROLDAN, J. A. Diferentes formas de manganeso en suelos de la región oriental de la Meseta Central. Tesis Lic. Quim. San José, Universidad de Costa Rica, 1969. 61 p.
64. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. S. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 107 p.
65. SANCHEZ, B. y DIOS, R. Estudio químico de suelos naturales y agrícolas Gallegos y de las reacciones entre su contenido en nutrientes. IV. Manganeso, hierro y aluminio. Anales de Edafología y Agrobiología 23:411-430. 1964.
66. SANTANA, Ch. de. Formas totales y disponibles de zinc, cobre, manganeso, hierro y molibdeno en suelos cacaotero de Bahía, Brasil. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 86 p.
67. _____ e IGUE, K. Formas de micronutrientes em solos de região cacauceira da Bahia. Turrialba 22:73-80. 1972.
68. SCHNITZER, M. y SKINNER, S. I. M. Organo-metallic interactions in soils: 5: Stability constants of Cu^{++} Fe^{++} and Zn^{++} -fulvic acid. Soil Science 102:361-365. 1966.
69. SCOTT, M. L. Trace elements in animal nutrition. In Mortvedt, J. J. et al., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 555-591.
70. SLATER, C. S. y HOLMES, R. S. Trace elements in soil. U S. Department of Agriculture. Technical Bulletin no. 552. 1937. 23 p.
71. SIMS, J. R. y BINGHAM, F. T. Retention of boron by silicates, sesquioxides, and soils materials. Soil Science Society of American Proceeding 31:728-732. 1967.
72. SOCIETY ANALYTICAL CHEMISTRY. Determination of trace elements, with special reference to fertilisers and feeding stuffs. Cambridge, Heffer, 1963. 39 p.

73. STEVENSON, F. J. y ARDAKANI, M. S. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In Mortvedt, J. J. et al., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. pp. 79-114.
74. TAYLOR, S. R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. Geochimica et Cosmochimica Acta 28:1273-1286. 1964.
75. TISDALE, L. S. y NELSON, W. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. por Jorge Blasch y Carmen Piña. Barcelona, España, Montaner y Simón, 1970. 760 p.
76. ULRICH, B., HEMPLER, K. y BENZLER, J. H. Zur analytischen Bestimmung von Gesamtposphorseure und laktatloeslicher phosphorseure in bodenproben. Die Phosphorseure 20: 344-347. 1960.
77. VANSELOV, A. P. Cobalt. In Chapman, H., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. pp. 142-256.
78. VERIGINIA K. V. Methods for determination of some trace-elements and iron in soil. In Academy of Science of the USSR, VV. Dokuchaev Institute of Soil Science. Agrochemical methods in study of soils. Trad. del ruso. 4a. ed. Washington, D. C., Indian National Scientific Documentation Centre, 1969. pp. 559-591.
79. VIETS Jr., F. G. y BOAWN, L. F. Zinc. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1969. v. 2. pp. 1090-1101.
80. WEAR, J. I. Boron. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1969. v. 2. pp. 1059-1065.

A P E N D I C E

Cuadro 1. Características químicas de los suelos de la
región Pacífica de Nicaragua.*

Perfil Nº	Profundidad en cm	CIC meq/100 gr de suelo	pH relación 1:1	% C. orgánico	% M. orgánica
SERIE LA LAPA					
1	0- 14	26,42	6,45	1,83	3,15
	14- 31	33,56	6,85	1,01	1,74
	31- 86	33,48	6,85	1,17	2,01
	86-122	29,12	6,85	0,74	1,27
2	0- 16	31,05	6,35	2,91	5,03
	16- 31	31,92	6,55	2,18	3,75
	31- 90	30,22	6,60	1,09	1,88
	90-120	32,86	7,05	0,93	1,61
SERIE CHINANDEGA					
3	0- 55	28,47	7,20	2,60	4,49
	55-130	33,55	7,25	1,44	2,48
	130-150	32,78	7,40	1,24	2,14
	150-160	32,42	7,25	0,97	1,68
4	0- 52	16,48	6,75	1,78	3,08
	52-127	21,75	6,95	1,28	2,21
	127-146	21,57	7,05	1,09	1,88
	146-157	22,56	6,75	0,04	0,07
SERIE LA MORA					
5	0- 28	13,33	5,85	4,90	8,44
	28- 74	12,62	6,55	1,79	3,08
	74-135	17,12	6,45	3,46	5,96
6	0- 30	12,44	5,95	2,06	3,55
	30- 77	18,67	6,55	2,96	3,28
	77-128	21,85	6,70	1,01	1,74

continúa.....

* Resultados corregidos en base a suelo secado al horno (105°C).

Cuadro 1 (continuación)

Perfil Nº	Profundidad en cm	CIC meq/100 gr de suelo	pH relación 1:1	% C. orgánico	% M. orgánica
SERIE CHICHIGALPA					
7	0- 19	22,13	6,20	2,68	4,62
	19- 44	23,83	6,35	1,83	3,15
	44- 87	26,76	6,70	0,74	1,27
8	0- 22	27,76	6,40	3,11	5,36
	22- 49	29,46	6,65	1,90	3,28
	49- 90	34,87	6,75	1,83	3,15
SERIE TELICA					
9	0- 18	16,26	6,35	1,67	2,88
	18- 31	22,70	6,55	2,02	3,48
	31- 84	22,36	6,65	0,78	1,34
Intermedio	0- 45	21,35	6,50	2,06	3,55

Cuadro 2. Características físicas de los suelos de la Región Pacífica de Nicaragua.

Perfil Nº	Profundidad en cm	Densidad aparente g/ml	Humedad suelo seco al aire %	Densidad de sólidos g/ml	Retención de humedad en muestras no alteradas (humedad gravimétrica) 0,33 bares	Retención de humedad en muestras no alteradas (humedad gravimétrica) 15 bares	Distribución del tamaño de partículas*			Clase textural
							Arena %	Limo %	Arcilla %	
SERIE LA LAPA										
1	0-14	0,95	4,17	2,58	37,3	22,30	38,73	37,62	23,65	Franco
	14-31		11,85	2,62			26,15	43,85	30,00	Franco arcilloso
	31-86		11,61	2,59			28,38	47,01	24,61	Franco
	86-122		13,64	-			34,90	35,50	29,60	Franco arcilloso
2	0-16	1,00	5,71	2,51	39,0	23,98	41,55	38,22	20,23	Franco
	16-31		7,53	2,55			35,27	41,00	23,73	Franco
	31-90		9,89	2,63			27,21	41,91	30,88	Franco arcilloso
	90-120		11,86	2,62			30,22	39,55	30,23	Franco arcilloso
SERIE CHINANDEGA										
3	0-55	0,86	5,94	2,57	37,0	19,42	46,45	39,56	14,99	Franco
	55-130		8,46	2,60			32,84	44,01	23,15	Franco
	130-150		11,11	2,61			39,79	46,31	13,90	Franco
	150-160		10,37	2,61			39,31	47,85	12,84	Franco
4	0-52	0,99	5,26	2,60	33,0	16,29	53,19	33,81	13,00	Franco arenoso
	52-127		5,26	2,64			57,44	31,92	10,64	Franco arenoso
	127-146		4,60	2,64			59,73	30,73	9,54	Franco arenoso
	146-157		6,16	2,66			61,56	32,03	6,41	Franco arenoso
SERIE LA MORA										
5	0-28	0,99	6,61	2,45	37,0	18,42	65,73	27,95	6,42	Franco arenoso
	28-74		4,82	2,55			84,61	22,00	13,19	Areno franco
	74-135		11,61	2,50			77,56	2,17	20,27	Areno franco
6	0-30	1,04	2,04	2,63	24,0	11,73	72,45	24,37	3,18	Areno franco
	30-77		4,82	2,62			68,32	27,46	4,22	Franco arenoso
	77-128		5,94	2,64			68,08	27,66	4,26	Franco arenoso
SERIE CHICHIGALPA										
7	0-19	0,97	4,17	2,61	33,8	18,39	49,65	37,51	16,67	Franco
	10-44		5,94	2,66			59,30	34,62	15,73	Franco
	44-87		6,84	2,60			42,85	32,13	8,57	Franco arenoso
8	0-22	0,87	5,26	2,54	43,5	22,76	41,95	41,93	16,12	Franco
	22-49		5,94	2,63			48,74	39,51	11,75	Franco
	49-90		7,30	2,52			29,16	42,06	28,78	Franco arcilloso
SERIE TELICA										
9	0-18	1,10	2,04	2,65	26,0	14,52	58,32	32,30	9,38	Franco arenoso
	18-31		5,26	2,63			57,86	32,64	9,48	Franco arenoso
	31-84		4,60	2,71			64,20	29,48	6,32	Franco arenoso

Explicación de las variables del Cuadro 3.

 X_i

- 1 Hierro total extraído en muestras secas al aire
- 2 Hierro total extraído en muestras húmedas.
- 3 Hierro intercambiable extraído con HCl 0,1 N en muestras secas al aire
- 4 Hierro intercambiable extraído con HCl 0,1 N en muestras húmedas
- 5 Hierro intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ en muestras secas al aire
- 6 Hierro intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ en muestras húmedas
- 7 Hierro intercambiable extraído con NH_4OAc pH 7,0 muestras secas al aire
- 8 Hierro intercambiable extraído con NH_4OAc pH 7,0 muestras húmedas
- 9 Hierro intercambiable extraído con NH_4OAc pH 4,8 muestras secas al aire
- 10 Hierro intercambiable extraído con NH_4OAc pH 4,8 muestras húmedas
- 11 Hierro soluble en agua en muestras secas al aire
- 12 Hierro soluble en agua en muestras húmedas
- 13 Manganeso total en muestras secas al aire
- 14 Manganeso total en muestras húmedas
- 15 Manganeso intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ en muestras secas al aire
- 16 Manganeso intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ en muestras húmedas

- 17 Manganeso intercambiable extraido con HCl 0,1 N de muestras secas al aire
- 18 Manganeso intercambiable extraido con HCl 0,1 N de muestras húmedas
- 19 Manganeso intercambiable extraido con NH_4OAc pH 7,0 de muestras secas al aire
- 20 Manganeso intercambiable extraido con NH_4OAc pH 7,0 de muestras húmedas
- 21 Manganeso intercambiable extraido con NH_4OAc pH 4,8 de muestras secas al aire
- 22 Manganeso intercambiable extraido con NH_4OAc pH 4,8 de muestras húmedas
- 23 Manganeso soluble en agua extraido de muestras secas al aire
- 24 Manganeso soluble en agua extraido de muestras húmedas
- 25 Zinc total extraido de muestras secas al aire
- 26 Zinc total extraido de muestras húmedas
- 27 Zinc intercambiable extraido de muestras secas al aire por $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$
- 28 Zinc intercambiable extraido de muestras húmedas por $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$
- 29 Zinc intercambiable extraido de muestras secas al aire con HCl 0,1 N
- 30 Zinc intercambiable extraido con HCl 0,1 N de muestras húmedas
- 31 Zinc intercambiable extraido con NH_4OAc pH 7,0 de muestras secas al aire

- 32 Zinc intercambiable extraído con NH_4OAc pH 7,0 de muestras húmedas
- 33 Zinc intercambiable extraído con NH_4OAc pH 4,8 de muestras secas al aire
- 34 Zinc intercambiable extraído con NH_4OAc pH 4,8 de muestras húmedas
- 35 Zinc soluble en agua extraído de muestras secas al aire
- 36 Zinc soluble en agua extraído de muestras húmedas
- 37 Cobre total extraído de muestras secas al aire
- 38 Cobre total extraído de muestras húmedas
- 39 Cobre intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ de muestras secas al aire
- 40 Cobre intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ de muestras húmedas
- 41 Cobre intercambiable extraído con Cl H O,1 N de muestras secas al aire
- 42 Cobre intercambiable extraído con Cl H O,1 N de muestras húmedas
- 43 Cobre intercambiable extraído con NH_4OAc pH 7,0 de muestras secas al aire
- 44 Cobre intercambiable extraído con NH_4OAc pH 7,0 de muestras húmedas
- 45 Cobre intercambiable extraído con NH_4OAc pH 4,8 de muestras secas al aire
- 46 Cobre intercambiable extraído con NH_4OAc pH 4,8 de muestras húmedas
- 47 Cobre soluble en agua extraído de muestras secas al aire

- 48 Cobre soluble en agua extraído de muestras húmedas
- 49 Capacidad de intercambio catiónico en meq/100 g de suelo
- 50 Reacción del suelo relación 1:1
- 51 Por ciento de carbón orgánico
- 52 Materia orgánica en %
- 53 Arcilla en %
- 54 Limo en %
- 55 Arena en %

x ₁	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
2	0.01																									
3	0.11	0.52																								
4	0.22	0.20	0.56																							
5	-0.10	0.17	0.71	0.24																						
6	-0.15	0.02	-0.06	-0.07	-0.09																					
7	0.16	0.22	0.72	0.94	0.53	-0.09																				
8	-0.08	-0.17	-0.01	-0.03	0.18	0.61	0.02																			
9	-0.28	-0.07	-0.29	-0.30	-0.16	0.18	-0.31	0.29																		
10	-0.19	0.43	0.20	0.31	0.15	0.10	0.32	0.01	0.42																	
11	0.46	-0.00	0.25	0.21	0.31	-0.12	0.29	0.04	-0.35	-0.05																
12	-0.03	0.02	0.18	0.02	0.08	-0.05	0.04	-0.02	-0.18	0.15	0.30															
13	-0.05	0.18	0.65	0.03	0.82	-0.02	0.30	0.09	-0.10	0.11	0.12	0.06														
14	0.01	-0.08	0.02	-0.00	0.06	-0.06	0.01	0.10	0.01	-0.05	-0.15	-0.13	-0.06													
15	0.05	-0.01	-0.07	-0.04	-0.04	0.00	-0.04	-0.09	-0.01	-0.15	0.09	-0.04	-0.05	-0.21												
16	0.03	0.20	0.23	-0.07	0.14	0.18	-0.02	0.16	0.28	-0.03	0.05	0.17	-0.12	0.41	0.19											
17	-0.56	-0.18	-0.22	-0.14	-0.13	0.46	-0.17	0.41	0.44	0.25	-0.37	-0.13	-0.12	0.01	-0.00	0.14										
18	-0.24	0.26	0.09	-0.08	0.10	-0.04	-0.03	-0.15	0.01	0.03	-0.33	0.16	0.27	-0.34	-0.06	0.09	-0.31									
19	-0.02	0.00	-0.14	-0.18	-0.11	0.25	-0.20	0.33	0.33	-0.13	-0.06	-0.17	-0.11	-0.01	0.12	0.01	0.12	0.05								
20	0.16	0.15	0.28	0.29	0.20	-0.16	0.31	-0.27	-0.12	0.11	0.05	0.22	0.17	-0.30	0.05	0.42	-0.31	0.37	-0.26							
21	0.07	0.54	0.64	0.25	0.27	0.21	0.30	0.12	-0.15	0.06	0.02	0.13	0.33	-0.08	-0.09	0.42	0.01	0.07	0.05	0.20						
22	0.17	0.32	0.22	0.08	-0.04	0.07	0.06	-0.04	-0.46	-0.28	-0.02	0.24	0.07	-0.32	0.02	0.28	-0.21	0.38	0.09	0.25	0.56					
23	-0.10	-0.47	-0.23	-0.16	-0.00	0.01	-0.14	-0.06	0.14	0.06	0.10	0.11	0.09	-0.05	-0.14	-0.19	0.08	-0.12	-0.29	0.02	-0.33	-0.61	0.99			
24	-0.10	-0.47	-0.23	-0.16	-0.00	0.01	-0.14	-0.03	0.14	0.06	0.10	0.11	0.09	-0.05	-0.14	-0.19	0.08	-0.12	-0.29	0.02	-0.33	-0.61	0.99			
25	0.15	0.62	0.67	0.34	0.33	0.23	0.40	0.14	-0.22	0.13	0.11	0.10	0.26	-0.10	-0.20	0.31	-0.09	0.11	0.02	0.18	0.81	0.40	-0.23	-0.23		
26	-0.16	0.41	0.54	0.24	0.24	0.11	0.28	-0.11	0.06	0.27	-0.11	0.14	0.24	0.11	-0.14	0.20	0.20	-0.01	0.03	0.24	0.66	0.15	-0.18	0.51		
27	-0.02	-0.60	-0.68	-0.33	-0.32	-0.19	-0.38	-0.03	0.12	-0.20	0.01	-0.13	-0.29	0.02	0.21	-0.33	-0.06	-0.06	-0.03	-0.26	-0.87	-0.37	0.26	-0.90	-0.80	
x _j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Cuadro 4. Matriz de correlación entre las distintas formas de boro, cobalto, molibdeno y algunas características del suelo.*

* Explicación de las variables, página siguiente.

Explicación de las variables del Cuadro 4.

 X_i

- 1 Cobalto total determinado en muestras secas al aire
- 2 Cobalto intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ de muestras secas al aire
- 3 Cobalto intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ de muestras húmedas
- 4 Cobalto intercambiable extraído con Cl H O,1 N de muestras secas al aire
- 5 Cobalto intercambiable extraído con Cl H O,1 N de muestras húmedas
- 6 Cobalto soluble en agua extraído de muestras secas al aire
- 7 Cobalto soluble en agua extraído de muestras húmedas
- 8 Boro total determinado en muestras secas al aire
- 9 Boro intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ de muestras secas al aire
- 10 Boro intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ de muestras húmedas
- 11 Boro intercambiable extraído con HCl O,1 N de muestras secas al aire
- 12 Boro intercambiable extraído con HCl O,1 N de muestras húmedas
- 13 Molibdeno total extraído de muestras secas al aire
- 14 Molibdeno total extraído de muestras húmedas
- 15 Molibdeno intercambiable extraído con $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ de muestras secas al aire

- 16 Molibdeno intercambiable extraido con $(\text{NH}_4)_2 \text{C}_2\text{O}_4$ de muestras húmedas
- 17 Molibdeno intercambiable extraido con HCl 0,1 N de muestras secas al aire
- 18 Molibdeno intercambiable extraido con HCl 0,1 N de muestras húmedas
- 19 Molibdeno soluble en agua extraido de muestras secas al aire
- 20 Molibdeno soluble en agua extraido de muestras húmedas
- 21 Capacidad de intercambio catiónico en meq/100 g de suelo
- 22 Reacción del suelo relación 1:1
- 23 Carbón orgánico en %
- 24 Materia orgánica en %
- 25 Arcilla en %
- 26 Limo en %
- 27 Arena en %

Cuadro 5. Concentración y distribución del hierro en ppm en la región Pacífica de Nicaragua.*

Serie	Perfil	Profundidad en cm	Distancia Volcanes-O. Facífico en km	Altura msnm	Humedad suelo seco al aire		Humedad a la humedad de campo		Total		I H T (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ S.A.	R C A M D HCl O ₂ H H.C.	I A B L E NH ₄ OAc pH 7,0 NH ₄ OAc pH 4,8 S.A.	Soluble en agua						
					%	%	S.A.	H.C.	S.A.	H.C.				S.A.	H.C.					
La Lapa	1	0-14	32,5	20	4,17	29,87	85,594,9	60,000	12,577,5	11,287,5	1,377,9	2216,3	T	4,0	167,0	46,75	294,4	255,0		
		14-31			11,64	41,64	96,196,8	27,500	10,682,5	12,575,0	2058,2	3201,1	58,07	539,1	T	3,6	290,8	58,07	539,1	430,0
		31-86			11,61	47,49	79,241,0	37,500	10,267,5	13,225,0	2120,5	3244,8	47,19	531,2	T	3,6	234,3	47,19	531,2	540,0
		86-122			13,64	37,93	80,681,8	60,000	13,067,3	14,500,0	2068,2	3121,5	52,48	506,8	T	3,6	340,9	52,48	506,8	555,0
Chinandega	2	0-16	32,2	20	5,71	32,27	75,052,8	19,500	12,947,5	13,125,0	1141,6	2275,1	T	3,6	84,6	18,52	224,1	180,0		
		16-31			7,53	34,05	69,892,4	27,500	13,440,0	13,250,0	1612,9	2680,1	37,53	363,4	T	3,6	172,0	37,53	363,4	327,4
		31-90			9,89	29,03	78,021,8	32,500	11,922,5	24,850,0	2197,8	3255,8	49,09	527,5	T	3,6	175,8	49,09	527,5	476,5
		90-120			11,86	33,33	79,418,3	23,700	13,562,5	12,662,5	2211,7	3066,6	50,66	595,1	T	2,0	234,9	50,66	595,1	615,0
Chinandega	3	0-55	30,6	45	5,94	38,12	77,330,6	15,000	10,722,5	10,250,0	1292,4	2375,7	T	2,0	169,5	35,98	144,1	230,0		
		55-130			8,46	41,18	86,767,8	37,500	8,595,0	10,125,0	1475,0	2388,8	50,00	253,8	T	2,0	260,3	50,00	253,8	301,0
		130-150			11,11	40,84	81,111,1	63,700	7,582,5	8,125,0	1511,1	2309,8	67,60	220,0	T	2,0	288,8	67,60	220,0	301,0
		150-160			10,37	45,35	90,507,7	37,500	6,732,5	9,625,0	1788,1	2267,4	63,95	169,9	T	2,0	231,8	63,95	169,9	285,0
La Mora	4	0-52	18,7	75	5,26	31,58	74,842,1	23,700	10,867,5	8,625,0	736,8	2763,1	T	2,0	294,7	115,78	541,0	175,0		
		52-127			5,26	31,23	74,736,3	23,700	10,710,0	7,125,0	1831,6	2624,6	94,48	185,3	T	2,0	294,7	94,48	185,3	312,0
		127-146			4,60	28,86	87,866,1	15,600	10,800,0	8,375,0	1757,3	2525,7	95,36	267,8	T	2,0	251,0	95,36	267,8	305,0
		146-157			6,16	29,03	75,371,5	30,000	11,375,0	9,625,0	1823,9	2609,6	87,85	337,6	T	2,0	254,7	87,85	337,6	360,0
La Mora	5	0-28	6,8	240	6,61	31,58	59,701,4	22,500	2,185,0	4,625,0	170,6	473,6	T	3,6	319,8	121,05	21,3	20,0		
		28-74			4,82	21,71	71,278,8	27,500	1,782,5	4,000,0	566,0	1121,9	163,41	21,1	T	2,0	356,4	163,41	21,1	2,0
		74-135			11,61	66,67	82,589,2	23,700	1,310,0	3,500,0	223,2	1333,3	180,00	T	3,6	267,8	180,00	T	T	
		0-30			2,04	24,48	75,510,2	15,000	6,607,5	4,825,0	632,6	957,6	93,26	69,4	T	3,0	214,3	93,26	69,4	72,0
Chichiguispa	7	0-19	19	40	4,17	24,48	64,583,3	13,700	10,312,5	6,250,0	1520,8	2189,0	T	3,6	333,3	129,35	108,3	152,0		
		19-44			5,94	26,45	65,677,9	21,200	9,215,0	7,125,0	1228,8	2128,6	92,96	233,0	T	3,6	338,9	92,96	233,0	215,0
		44-87			6,84	25,00	75,854,7	30,000	5,982,5	27,375,0	1666,7	2035,0	67,50	408,1	T	3,6	256,4	67,50	408,1	385,0
		0-22			5,26	34,41	64,210,5	24,500	6,525,0	29,625,0	1052,6	1827,9	75,26	84,2	T	3,6	210,5	75,26	84,2	132,0
Telica	9	0-18	25	165	3,04	13,64	59,183,6	19,500	9,642,5	6,250,0	1224,5	1613,6	T	2,0	122,4	65,91	81,6	175,0		
		18-31			5,26	14,94	70,736,8	39,500	5,525,0	7,750,0	1389,4	1839,1	85,05	170,5	T	2,0	210,5	85,05	170,5	230,0
		31-84			4,60	15,47	74,736,8	5,500	10,825,0	9,750,0	1637,6	1986,1	84,45	179,9	T	2,0	219,6	84,45	179,9	285,0

* Resultados corregidos en base a suelo secado al horno.

Cuadro 6. Capacidad extractora de los distintos reactivos utilizados para determinar las formas intercambiables y soluble en agua de los distintos elementos menores.*

	NH ₄ OOC-COONH ₄		HCl 0,1 N		CH ₃ -COONH ₄ -N pH 7,0		CH ₃ -COONH ₄ -N pH 4,8		Agua	
	S.A.	H.C.	S.A.	H.C.	S.A.	H.C.	S.A.	H.C.	S.A.	H.C.
Hierro	2	1	4	3	9	10	7	8	6	5
Manganeso	2	1	4	3	9	10	5	8	7	6
Zinc	4	2	6	3	7	8	1	5	9	10
Cobre	1	2	4	3	8	9	5	6	10	7
Boro	3	2	1	4	7	6	8	5	7	8
Cobalto	1	2	3	4	3	10	5	6	2	1
Molibdeno	6	5	9	4	3	3	8	7	2	1

* El número 1 indica el reactivo que más extrajo, el número 2 el segundo y así sucesivamente.

Cuadro 7. Concentración y distribución de manganeso en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua.*

Serie	Perfil	Profundidad en cm	Distancia Volcans-O. Pacífico en km	Altura manm	Humedad		Total		I	H	T	E	R	C	A	M	B	I	A	B	L	E	Soluble en agua					
					seco al aire %	humedad de campo %	Ulrich et al. S.A.	H.C.															NH ₄ Ocn pH4,8 S.A.	H.C.	NH ₄ Ocn pH4,8 S.A.	H.C.		
La Lapa	1	0-14	32,5	20	4,17	29,87	1.252,6	1.100,0	347,0	470,0	470,0	148,20	205,19	2,50	5,89	45,93	7,79	4,38	14,0									
		14-31			11,85	41,64	1.006,7	800,0	371,9	538,2	87,24	122,97	1,42	21,23	1,42	1,42	21,23	1,42	1,42	1,18	5,0							
		31-86			11,61	47,49	1.116,0	800,0	590,6	427,7	82,58	165,48	1,47	17,86	1,47	1,47	17,86	1,47	1,47	1,10	9,0							
		86-122			13,64	37,93	1.193,1	790,0	431,8	387,4	95,45	187,84	4,54	35,22	1,38	1,38	35,22	1,38	1,38	11,0	9,09							
	2	0-16	32,2	20	5,71	32,27	898,5	610,0	396,4	522,5	522,5	293,87	414,02	6,34	61,31	61,31	17,19	4,44	4,0									
		16-31			7,53	34,05	860,2	900,0	403,2	609,9	126,88	201,07	3,22	36,55	3,22	3,22	36,55	3,22	3,22	9,0	7,53							
		31-90			9,89	29,05	1.208,7	900,0	271,9	443,6	135,19	224,80	2,42	28,58	2,42	2,42	28,58	2,42	2,42	11,0	9,01							
		90-120			11,86	33,33	1.230,4	800,0	335,5	446,6	109,61	205,30	2,46	31,31	2,67	2,67	31,31	2,67	2,67	13,0	13,42							
Chinandega	3	0-55	30,6	45	5,94	38,12	847,5	820,0	307,2	552,5	552,5	236,2	287,29	6,35	57,20	57,20	16,58	4,45	8,0									
		55-130			8,46	41,18	1.138,6	900,0	385,0	508,9	73,92	106,94	2,17	20,61	2,77	2,77	20,61	2,77	2,77	10,0	6,51							
		130-150			11,11	40,84	1.166,1	1.100,0	306,6	499,3	48,80	67,60	2,22	12,22	1,41	1,41	12,22	1,41	1,41	8,0	6,67							
		150-160			10,37	45,35	938,2	1.150,0	289,7	385,1	57,39	58,14	2,21	15,45	2,03	2,03	15,45	2,03	2,03	8,0	2,21							
	4	0-52	18,7	75	5,26	31,58	842,1	710,0	265,8	500,0	500,0	50,52	100,00	4,21	26,31	26,31	1,31	6,10	7,0									
		52-127			5,26	31,58	789,5	820,0	177,7	479,2	65,26	74,80	2,10	15,79	1,31	1,31	15,79	1,31	1,31	10,0	4,21							
		127-146			4,60	28,86	784,5	600,0	222,3	499,3	54,39	85,05	2,09	14,64	1,29	1,29	14,64	1,29	1,29	10,0	7,32							
		146-157			6,16	29,03	796,2	710,0	233,5	523,2	46,70	67,18	1,06	10,61	1,29	1,29	10,61	1,29	1,29	11,0	6,37							
La Mora	5	0-28	6,8	240	6,61	31,58	586,4	500,0	101,2	59,2	59,2	89,55	118,20	T	4,31	34,54	11,84	1,0										
		28-74			4,82	21,71	681,3	500,0	94,3	54,8	39,85	46,34	T	1,22	13,63	1,46	1,46	13,63	1,46	1,46	10,0	4,21						
		74-135			11,61	66,67	1.171,8	900,0	75,3	100,0	51,33	148,30	T	1,67	16,74	T	1,67	16,74	T	1,67	16,74	10,0	7,0					
		0-30			2,04	24,48	765,3	500,0	91,8	261,8	64,26	89,78	T	1,25	18,36	4,98	4,98	18,36	4,98	4,98	2,2	2,2						
Chichigalpa	7	0-19	19	40	4,17	24,48	677,1	890,0	148,4	413,5	413,5	181,25	211,44	4,17	1,99	57,29	12,43	2,08	4,0									
		19-44			5,94	26,45	794,5	690,0	182,7	486,2	65,67	75,38	1,69	14,83	1,76	1,76	14,83	1,76	1,76	6,0	4,24							
		44-87			6,84	25,00	694,4	890,0	530,0	256,2	42,73	42,50	1,71	1,25	9,61	T	8,55	9,0	8,55	9,0	8,55							
		0-22			5,26	34,41	684,2	710,0	480,0	302,0	148,42	173,39	3,79	1,34	35,78	4,83	35,78	4,83	4,83	4,0	1,05							
Telica	9	0-16	25	165	5,26	32,27	847,4	610,0	211,8	343,9	343,9	76,27	75,40	3,18	1,32	19,07	7	2,2	6,0									
		16-31			7,30	38,89	965,7	1.000,0	273,6	628,4	72,96	63,89	3,22	1,39	14,58	2,77	14,58	2,77	2,77	9,0	4,29							
		31-84			13,64	13,64	510,2	610,0	130,1	301,1	95,91	104,54	1,84	1,14	18,37	4,09	18,37	4,09	4,09	4,0	1,02							
		84-120			4,60	15,47	684,2	690,0	203,4	442,4	44,97	53,12	1,88	2,31	10,46	1,15	10,46	1,15	10,46	1,15	10,46	7,0	4,18					

* Resultados corregidos en base a suelo seco al horno.

Cuadro 13. Concentración y distribución de boro en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua. *

Serie	Perfil	Profundidad en cm	Distancia Volcanes-O. Pacífico en km	Altura en m	Humedad		Total S.A.	I N T E R C A M B I A B L E		NH ₄ AOC N pH 4,8	NH ₄ AOC N pH 7	S.A.	S.A.	H.C.	H.C.				
					seco al aire %	en humedad de campo %		Oxalato de amonio S.A.	H.C.							S.A.	H.C.		
La Lapa	1	0-14	32,5	20	4,17	29,87	6,01	7,83	25,16	7,53	3,77								
		14-31			11,85	41,64	12,86	1,96	18,04	2,97									
		31-86			11,61	47,49	6,42	3,91	2,23	2,96									
		86-122			13,64	37,93	6,53	3,41	8,92	2,90									
	2	0-16	32,2	20	5,71	32,27	14,59	11,77	7,93	7,92	5,29								
		16-31			7,53	34,05	22,26	5,91	12,17	3,38									
		31-90			9,89	29,03	23,15	4,94	6,13	2,32									
		90-120			11,86	33,33	23,15	3,96	2,00	4,67									
Chinandega	3	0-35	30,6	45	5,94	38,12	12,23	4,23	4,49	10,18	4,15								
		35-130			8,46	41,18	12,47	5,42	5,55	8,13									
		130-150			11,11	40,84	23,00	3,88	7,77	2,96									
		150-160			10,37	45,35	6,35	3,86	1,45	6,73									
	4	0-52	18,7	75	5,26	31,58	6,05	6,21	9,87	7,89	4,13								
		52-127			5,26	31,23	21,10	5,78	9,55	7,78									
		127-146			4,60	28,86	12,02	10,98	9,98	0,52									
		146-157			6,16	29,03	20,75	10,09	9,35	9,56									
La Mora	5	0-28	6,8	240	6,61	31,58	6,13	5,86	9,87	9,59	3,66								
		28-74			4,82	21,71	24,11	3,04	1,98	8,38									
		74-135			11,61	66,67	16,68	1,67	7,81	3,32									
	6	0-30	10	110	2,04	24,48	23,47	11,32	5,92	8,16	2,73								
		30-77			4,82	26,26	12,05	4,71	3,15	7,34									
		77-138			5,94	28,20	11,89	6,88	3,84	8,46									
Chichigalpa	7	0-19	19	40	4,17	24,48	17,97	13,02	7,59	7,29	2,48								
		19-44			5,94	26,45	12,23	9,66	13,19	7,41									
		44-87			6,84	25,00	12,29	4,68	7,37	6,41									
	8	0-22	22	45	5,26	34,41	19,37	11,43	10,08	4,21	7,93								
		22-49			5,94	32,27	22,02	11,74	14,54	7,41									
		49-90			7,30	38,69	42,82	11,22	13,19	5,89									
Telica	9	0-18	25	165	2,04	13,64	19,95	10,22	11,08	3,06	11,73								
		18-31			5,26	14,94	20,58	9,99	10,23	6,31									
		31-84			4,60	15,47	12,11	10,04	10,96	6,27									

* Resultados corregidos en base a suelo secado en horno.

Cuadro 11. Concentración y distribución de cobalto en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua.*

Serie	Perfil	Profundidad en cm	Distancia Volcán O. Pacífico en km	Altura msnm	Humedad suelo seco al aire %	Humedad a la humedad de campo %	Total S.A.	I N T E R C A M B I A B L E		Soluente en agua			
								(NH ₄) ₂ CO ₃ H.C.	HCl 0.1 M S.A.	Acetato n pH 7 H.C.	Acetato n pH 4,8 S.A.	S.A.	H.C.
La Lapa	1	0-14	32,5	20	4,17	29,87	12,52	20,86	6,77	2,78	2,97	T	0,08
		14-31			11,85	41,64	26,10	10,08	17,29	1,12	2,85	T	0,03
		31-86			11,61	47,49	18,60	11,33	9,36	2,41	3,29	T	0,07
	2	86-122			13,64	37,93	18,94	12,69	8,90	2,83	4,60	T	0,35
		0-16	5,71	32,27	24,70	6,75	9,90	5,45	6,16	T			
		16-31	7,53	34,05	12,90	8,09	18,10	2,99	3,24	T			0,33
Chinandega	3	31-90			9,89	29,03	10,99	10,17	10,32	2,64	3,44	T	0,03
		90-120	11,86	33,33	18,64	9,72	8,14	2,32	3,56	T			0,27
		0-55	5,94	38,12	17,65	5,69	8,28	3,69	4,23	T	0,35	0,27	0,01
	4	55-130			8,46	41,18	21,69	6,25	5,12	1,08	1,20	T	0,36
		130-150	11,11	40,84	25,92	6,38	4,05	0,74	0,85	T	0,44	0,28	0,21
		150-160	10,37	45,35	24,76	5,50	5,71	1,07	0,89	T	0,22	0,39	0,01
La Mora	5	0-52			5,26	31,58	24,56	4,46	3,75	0,84	1,48	T	0,07
		52-127	5,26	31,23	28,07	6,69	2,95	0,77	1,28	T			0,21
		127-146	4,60	28,86	3,46	8,00	4,02	1,18	1,12	T	0,14	0,03	0,45
	6	146-156			6,16	29,03	24,76	8,87	4,51	0,85	1,07	T	0,07
		0-28	6,61	31,58	14,22	0,63	0,85	2,30	1,50	T			0,19
		28-74	4,82	21,71	17,47	0,58	3,05	0,69	0,57	T			0,05
	7	74-135			11,61	66,67	18,60	1,74	1,33	0,97	2,22	T	0,06
		0-30	2,04	24,48	20,41	1,79	2,32	0,84	1,03	T			0,43
		30-77	4,82	26,26	12,58	1,89	2,35	0,69	1,04	T			0,37
Chichigalpa	8	77-138			5,94	28,20	18,36	6,10	3,99	0,70	1,25	T	0,44
		0-19	4,17	24,48	22,22	3,90	2,63	3,12	3,53	T			0,37
		19-44	5,94	26,45	24,72	4,89	3,54	1,07	1,25	T			0,03
	9	44-87			6,84	25,00	13,56	4,67	6,09	8,14	1,08	T	0,25
		0-22	5,26	34,41	10,52	3,80	5,44	2,93	3,13	T			0,01
		22-49	5,94	32,27	7,45	5,30	3,79	1,13	1,32	T			0,26
Telica	9	49-90			7,30	38,89	10,71	7,49	5,21	0,71	1,57	T	0,07
		0-18	2,04	13,64	8,68	4,32	2,39	2,20	2,26	T			0,18
		18-31	5,26	14,94	7,71	3,85	2,43	1,06	1,15	T			0,18
	9	31-84			4,60	15,47	10,52	9,57	4,65	0,69	1,31	T	0,01

* Resultados corregidos en base a suelo secado al horno.

Cuadro 13. Concentración y distribución de molibdeno en ppm en la Región Pacífica de Nicaragua.*

Serie	Perfil	Profundidad en cm	Distancia Volcán O. Pacífico en km	Altura msnm	Humedad		Total (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ ácido H.C. S.A.	HCl o/n H.C. S.A.	Acetato pH 7 H.C. S.A.	Acetato pH 4,8 H.C. S.A.	Soluble en agua H.C. S.A.					
					Humedad suelo seco al aire %	Humedad a la humedad de campo %										
La Lapa	1	0-14	32,5	20	4,17	29,87	45,40	15,0	0,36	0,22	T	1,93	0,21	2,09		
		14-31			11,85	41,64	48,22	15,0	0,02	T	0,38	T	0,58	T	3,72	
		31-86			11,61	47,49	41,85	56,0	T	T	0,36	T	0,36	T	0,28	2,02
		86-122			13,64	37,93	14,21	6,0	0,39	0,85	1,03	0,19	0,85	T	0,97	0,97
Chinandega	2	0-16	32,2	20	5,71	32,27	101,72	10,0	0,28	2,35	0,15	0,82	0,79	3,63		
		16-31			7,53	34,05	27,25	18,5	1,34	1,67	1,03	0,14	1,67	0,93	2,51	
		31-90			9,89	29,03	41,12	31,0	0,73	1,29	1,61	T	1,29	1,29	1,78	3,70
		90-120			11,86	33,33	41,92	6,0	0,36	0,33	0,33	T	1,49	1,49	8,12	0,33
Chinandega	3	0-55	30,6	45	5,94	38,12	59,33	3,0	1,00	1,06	0,05	2,07	0,34	3,10		
		55-130			8,46	41,18	60,74	12,5	0,16	0,98	0,98	T	1,21	0,67	2,08	
		130-150			11,11	40,84	24,99	6,0	0,39	1,29	0,05	1,23	0,13	1,07	0,51	2,12
		150-170			11,11	40,84	24,99	6,0	0,39	1,29	0,05	1,23	0,13	1,07	0,51	2,12
La Hora	4	0-52	18,7	75	5,26	31,58	6,14	6,0	0,16	1,20	T	1,31	0,30	3,43		
		52-127			3,26	31,23	26,32	6,0	0,74	0,93	T	0,92	T	0,06	0,26	4,09
		127-146			4,60	28,86	65,37	6,0	0,26	0,75	T	8,09	1,36	0,12	2,46	3,70
		146-156			6,16	29,03	31,58	37,5	1,68	0,91	T	T	2,21	T	4,37	1,77
La Hora	5	0-28	6,8	240	6,61	31,58	15,99	15,0	T	T	0,28	0,13	1,20	3,43		
		28-74			4,82	21,71	6,30	43,5	T	T	0,13	0,13	0,91	1,06		
		74-135			11,61	66,67	69,75	18,5	0,50	T	0,19	0,70	0,97	0,97	0,20	
		135-156			11,61	66,67	69,75	18,5	0,50	T	0,19	0,70	0,97	0,97	0,20	
Chichigalpa	6	0-30	10	110	2,04	24,48	10,20	22,5	0,17	0,21	T	T	1,27	0,62		
		30-77			4,82	26,26	15,72	22,5	0,31	0,31	T	0,31	T	1,18	1,26	
		77-138			5,94	28,20	24,57	22,5	0,26	1,39	0,28	0,26	2,78	2,39		
		138-156			5,94	28,20	24,57	22,5	0,26	1,39	0,28	0,26	2,78	2,39		
Chichigalpa	7	0-19	19	40	4,17	24,48	19,27	31,0	2,16	0,56	0,28	T	2,21	0,77		
		19-44			5,94	26,45	19,59	31,0	0,53	0,25	T	0,25	T	2,65	1,57	
		44-87			6,34	25,00	33,12	43,5	0,09	0,07	0,93	T	2,14	0,57		
		87-122			6,34	25,00	33,12	43,5	0,09	0,07	0,93	T	2,14	0,57		
Telica	8	0-22	22	45	5,26	34,41	10,52	25,0	0,70	1,00	0,65	T	1,44	2,51		
		22-49			5,94	32,27	6,35	22,5	0,18	0,98	0,92	T	2,12	1,15		
		49-90			7,30	38,89	40,24	16,6	0,48	1,48	1,46	T	3,10	1,21		
		90-120			7,30	38,89	40,24	16,6	0,48	1,48	1,46	T	3,10	1,21		
Telica	9	0-18	25	165	2,04	13,64	44,39	21,5	0,55	1,00	1,39	T	2,29	1,56		
		18-31			5,26	14,94	10,53	6,0	0,74	0,51	1,05	T	1,44	1,57		
		31-84			4,60	15,47	15,79	6,0	1,54	1,56	0,64	T	2,54	1,01		
		84-120			4,60	15,47	15,79	6,0	1,54	1,56	0,64	T	2,54	1,01		

* Resultados corregidos en base a suelo secado al horno.

Cuadro 13. Condiciones de operación del equipo de absorción atómica.

Condiciones de operación	Unidades	Hierro	Manganeso	Zinc	Cobre
Longitud de onda	m	248	279	214	325
Abertura	A	3	5	5	4
Cátodo hueco	ma	20	15	15	15
Aire	lb/pulg ²	9	9	9	9
Acetileno	lb/pulg ²	8,0	6,0	6,5	6,5

Cuadro 14. Cálculo de la evaporación por medio de García-López y Papadakis, en comparación a la evaporación de un tanque en la zona de Chinandega. *

Meses lluvia	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A
Lluvia en mm	148,63	405,25	227,33	199,25	389,83	427,66	101,91	10,54	0,34	2,92	4,5	29,54
Lluvia-evaporación	16,97	274,33	80,50	72,84	277,67	248,75	- 2,50	-117,07	-149,2	-150,6	-72,1	-133,9
Lluvia- f x evap.		359,43	101,05	74,10	281,53	316,74						
García-López	151,93	130,74	135,09	135,09	130,24	125,09	128,51	130,74	128,5	133,7	159,6	170,0
Papadakis	441,03	441,03	468,05	441,03	468,05	417,69	469,28	399,26	530,7	474,2	479,5	469,2
Evaporación de tanque	133	131	147	126	122	179	104	128	150	153	176	164

*Evaporación de tanque tipo A.

Cuadro 15. Lluvia, evaporación promedios, desviación standard y límites de confianza en la zona de Chinandega (1952-1968).

Mes	Lluvia promedio en mm	Desviación standard	L I M I T E S												
			0,01	0,05	0,20	0,40	0,60	0,80	D	E	0,80	0,60	0,40	0,20	0,05
Mayo	148,63	129,39	558,68	426,92	326,16	262,37	218,76	182,27	114,99	78,50	34,90	- 28,8	-139,64	-261,40	
Junio	405,25	185,96	982,86	814,56	658,72	568,15	505,67	453,60	356,89	304,82	242,34	151,77	- 4,06	-172,36	
Julio	227,33	120,08	600,30	491,63	391,00	332,52	292,17	258,55	296,11	162,48	122,14	63,66	- 36,96	-145,63	
Agosto	199,25	101,71	515,16	423,11	337,88	288,34	234,17	225,69	172,80	144,32	110,15	60,61	- 24,61	-116,66	
Setiembre	386,83	75,69	624,94	551,44	493,00	456,14	430,70	409,51	370,15	348,95	323,52	286,65	223,22	154,71	
Octubre	427,66	113,71	780,87	677,96	582,66	527,28	489,27	457,23	398,09	366,25	328,04	272,66	177,37	74,45	
Noviembre	101,91	80,43	351,74	278,95	211,54	172,37	145,35	133,82	81,00	58,48	31,45	- 7,71	- 75,11	-147,90	
Diciembre	10,54	18,50	67,08	50,86	35,63	26,69	20,51	15,33	5,74	0,56	- 5,61	- 14,55	- 29,78	- 45,99	
Enero	0,34	0,88	3,08	2,28	1,58	1,11	0,81	0,57	- 0,11	- 0,13	- 0,43	- 0,86	- 1,60	- 2,40	
Febrero	2,92	6,08	21,83	16,32	11,22	8,26	6,21	4,51	1,34	- 0,35	- 2,40	- 5,36	- 10,46	- 15,97	
Marzo	4,50	9,63	34,44	25,72	17,64	12,95	9,71	7,01	2,00	- 0,69	- 3,93	- 8,63	- 16,70	- 25,43	
Abril	29,54	41,88	159,63	121,72	86,63	66,23	52,16	40,43	18,65	6,93	- 7,13	- 27,53	- 62,63	-100,53	
Evaporación															
Mayo	131,66	51,54	291,77	245,12	201,92	176,82	159,50	145,06	118,26	103,83	86,51	61,40	18,21	- 26,44	
Junio	130,91	62,40	343,38	281,47	224,15	190,84	167,85	148,70	113,13	93,97	70,99	37,67	- 19,64	- 81,55	
Julio	146,83	38,84	267,49	232,33	199,78	180,86	167,81	156,93	136,73	125,85	112,80	93,88	61,32	26,15	
Agosto	126,41	28,64	215,37	189,45	165,43	151,50	141,88	133,86	118,97	118,95	101,32	87,37	63,37	37,45	
Setiembre	112,16	34,20	218,41	187,45	158,79	142,13	130,63	121,06	103,27	93,69	82,20	65,50	36,87	5,91	
Octubre	178,91	221,30	866,29	606,01	480,55	372,78	298,42	236,65	121,37	59,41	- 14,94	-122,72	-308,18	-508,46	
Noviembre	104,41	22,39	173,96	153,69	134,93	124,03	116,50	110,23	98,59	92,32	84,80	73,89	53,13	34,97	
Diciembre	127,61	33,56	230,71	200,76	173,13	156,93	145,70	136,30	118,92	109,50	98,30	82,09	54,46	25,06	
Enero	149,58	34,85	257,84	226,30	197,09	180,11	168,40	158,64	140,53	130,76	119,04	102,07	72,86	41,51	
Febrero	153,53	32,96	254,25	225,37	198,24	182,31	171,30	162,07	145,00	135,70	129,72	108,85	81,70	52,82	
Marzo	176,66	51,55	336,80	290,14	246,93	221,83	204,50	190,07	163,26	148,80	131,89	106,39	63,19	16,53	
Abril	163,50	62,20	365,68	304,20	249,43	218,43	197,27	179,73	147,26	129,70	108,55	77,46	22,78	- 36,68	

Cuadro 16. Análisis de variancia entre los extractantes
utilizados para desplazar hierro intercambiable.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 1%
Tratamientos	3	1693603269.50000	564534423.00000	199.64	3.78**
Error	124	350639812.37500	2827740.42187		
Total	127	2044243081.00000			

Cuadro 17. Análisis de variancia entre los extractantes utilizados
para desplazar manganeso intercambiable.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 1%
Tratamientos	4	1529650.510742	382162.62768	104.82	3.32**
Error	155	565079.127441	3645.67179		
Total	159	2093729.637695			

* * Altamente significativo.

Cuadro 18. Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar zinc intercambiable.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 1%
Tratamientos	4	9008.738994	2252.1847	14.63	3.32**
Error	155	23847.053726	153.8519		
Total	159	32855.792739			

Cuadro 19. Análisis de variancia entre extractantes utilizados para desplazar cobre intercambiable.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 1%
Tratamientos	4	86575.452239	21643.863059	170.87	3.32**
Error	155	19633.550674	126.668068		
Total	159	106209.002899			

**Altamente significativo.

Cuadro 20. Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar boro intercambiable.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 5%
Tratamientos	1	0.509471	0.509471	0.063	4.00 NS
Error	62	501.056732	8.081560		
Total	63	501.566204			

Cuadro 21. Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar cobalto intercambiable.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 1%
Tratamientos	2	687.070435	343.535217	54.14	4.79**
Error	93	590.053212	6.344658		
Total	95	1277.123648			

NS No significativo.

** Altamente significativo.

Cuadro 22. Análisis de variancia entre los extractantes utilizados para desplazar molibdeno intercambiable.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 1%
Tratamientos	2	36.52086	18.26040	19.01	4.79**
Error	93	89.29565	0.96016		
Total	95	125.81646			

** Altamente significativo.

Cuadro 23. Análisis de prueba de "t" de hierro en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.

	Tratamiento		Tratamiento	Promedio		Extractante
	A	B		A	B	
t calculada	-44.180	t tabular	2.040	75.119.000	31.581.000	Ulrich*
"	- 1.627	"	"	8.857.892	10.636.798	Oxalato de amonio ácido NS
"	-12.599	"	"	1.397.991	2.192.065	Acido clorhídrico 0.1 N*
"	-10.860	"	"	0.09	2.446	Acetato de amonio neutro*
"	17.964	"	"	241.712	79.555	Acetato de amonio ácido*
"	- 1.202	"	"	242.749	262.293	Agua destilada NS

* Significativo al 5%.

NS No significativo.

Cuadro 24. Análisis de prueba de "t" de manganeso en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.

	Tratamiento A	Tratamiento B	Promedio A	Promedio B	Extractante
t calculada	2.725	t tabular	2.040	293.437	Ulrich*
"	- 5.369	"	2.040	396.292	Oxalato de amonio ácido
"	- 5.752	"	2.040	129.894	Acido clorhídrico 0,1 N
"	3.525	"	2.040	1.029	Acetato de amonio neutro
"	10.629	"	2.040	3.775	Acetato de amonio ácido
"	- 3.300	"	2.040	6.641	Agua destilada *

* Significativo al 5%.

Cuadro 25. Análisis de prueba de "t" de zinc en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.

	Tratamiento		Tratamiento	Promedio		Extractante
	A	B		A	B	
t calculada	2.870	t tabular	2.040	355.237	303.125	Ulrich*
"	- 0.577	"	2.040	13.440	14.279	Oxalato de amonio ácido NS
"	4.075	"	2.040	17.971	13.615	Acido clorhídrico 0,1 N ⁺
"	4.526	"	2.040	6.807	5.518	Acetato de amonio neutro ⁺
"	3.135	"	2.040	24.190	8.753	Acetato de amonio ácido*
"	- 0.127	"	2.040	3.250	3.728	Agua destilada NS

* Significativo al 5%.

NS No significativo.

Cuadro 26. Análisis de prueba de "t" de cobre en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.

	Tratamiento A	Tratamiento B	Promedio A	Promedio B	Extractante
t calculada	13.036	t tabular	244.887	77.312	Ulrich *
"	1.465	"	54.271	68.280	Oxalato de amonio ácido NS
"	- 1.433	"	46.260	50.182	Acido clorhídrico 0,1 <u>N</u> NS
"	0.966	"	2.070	1.650	Acetato de amonio neutro NS
"	1.781	"	6.881	5.514	Acetato de amonio ácido NS
"	- 4.581	"	1.339	2.759	Agua destilada *

* Significativo al 5%.

NS No significativo.

Cuadro 27. Análisis de prueba de "t" de boro en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.

	Tratamiento		Promedio A	Promedio B	Extractante
	A	B			
t calculada	1.559	t tabular 2.040	5.919	7.662	Oxalato de amonio ácido NS
"	4.956	" " 2.040	7.775	4.796	Acido clorhídrico 0,1 N ⁺

Cuadro 28. Análisis de prueba de "t" de cobalto en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.

	Tratamiento		Promedio A	Promedio B	Extractante
	A	B			
t calculada	0.306	t tabular 2.040	6.436	6.212	Oxalato de amonio ácido NS
"	0.145	" " 2.040	2.397	2.352	Acido clorhídrico 0,1 N ⁺ NS
"	- 3.456	" " 2.040	0.302	0.255	Agua destilada [*]

^{*} Significativo al 5%.
NS No significativo.

Cuadro 29. Análisis de prueba de "t" de molibdeno en ppm determinados en muestras secas al aire y a la humedad de campo, con diferentes extractantes.

	Tratamiento A	Tratamiento B	Promedio A	Promedio B	Extractante
t calculada	2.115	t tabular	36.070	16.822	Ulrich*
"	1.887	"	0.537	0.800	Oxalato de amonio ácido NS
"	- 2.736	"	0.200	0.950	Acido clorhídrico 0,1 N ⁺
"	- 0.795	"	1.670	1.864	Agua destilada NS

* Significativo al 5%.

NS No significativo.

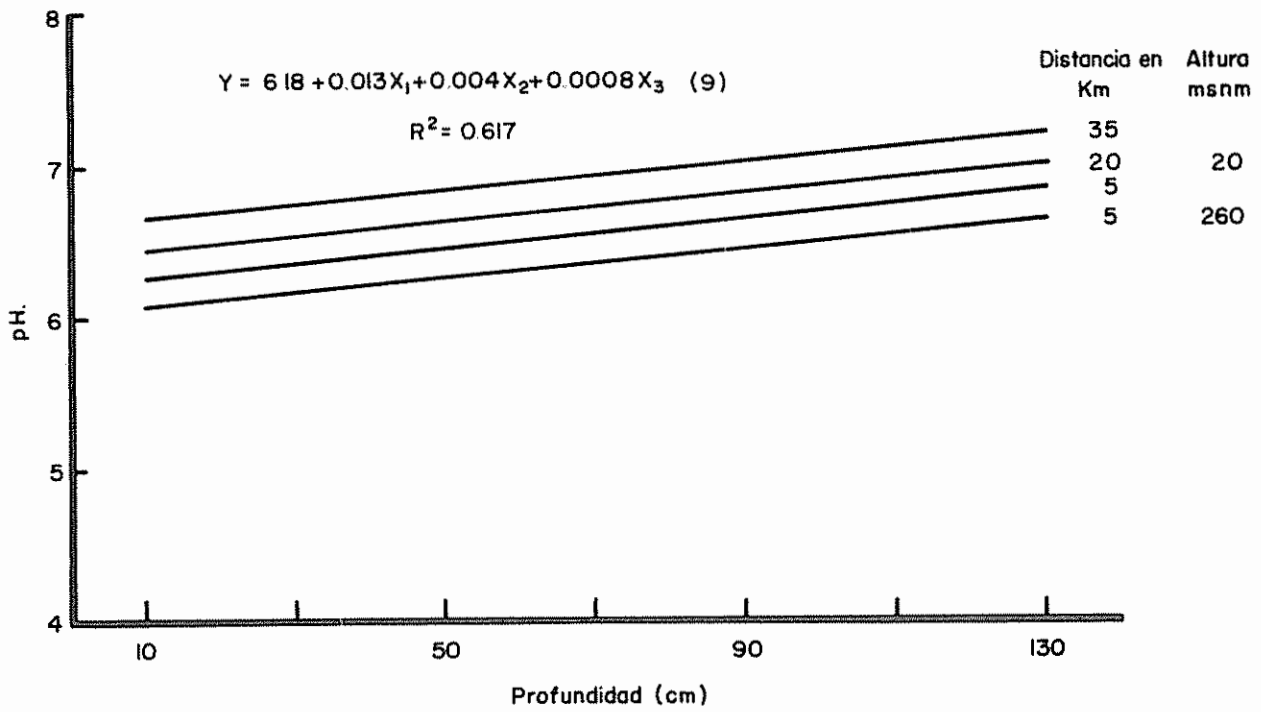


Fig. 9 Variación de la reacción del suelo en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto volcanes San Cristóbal, El Chonco - Océano Pacífico.

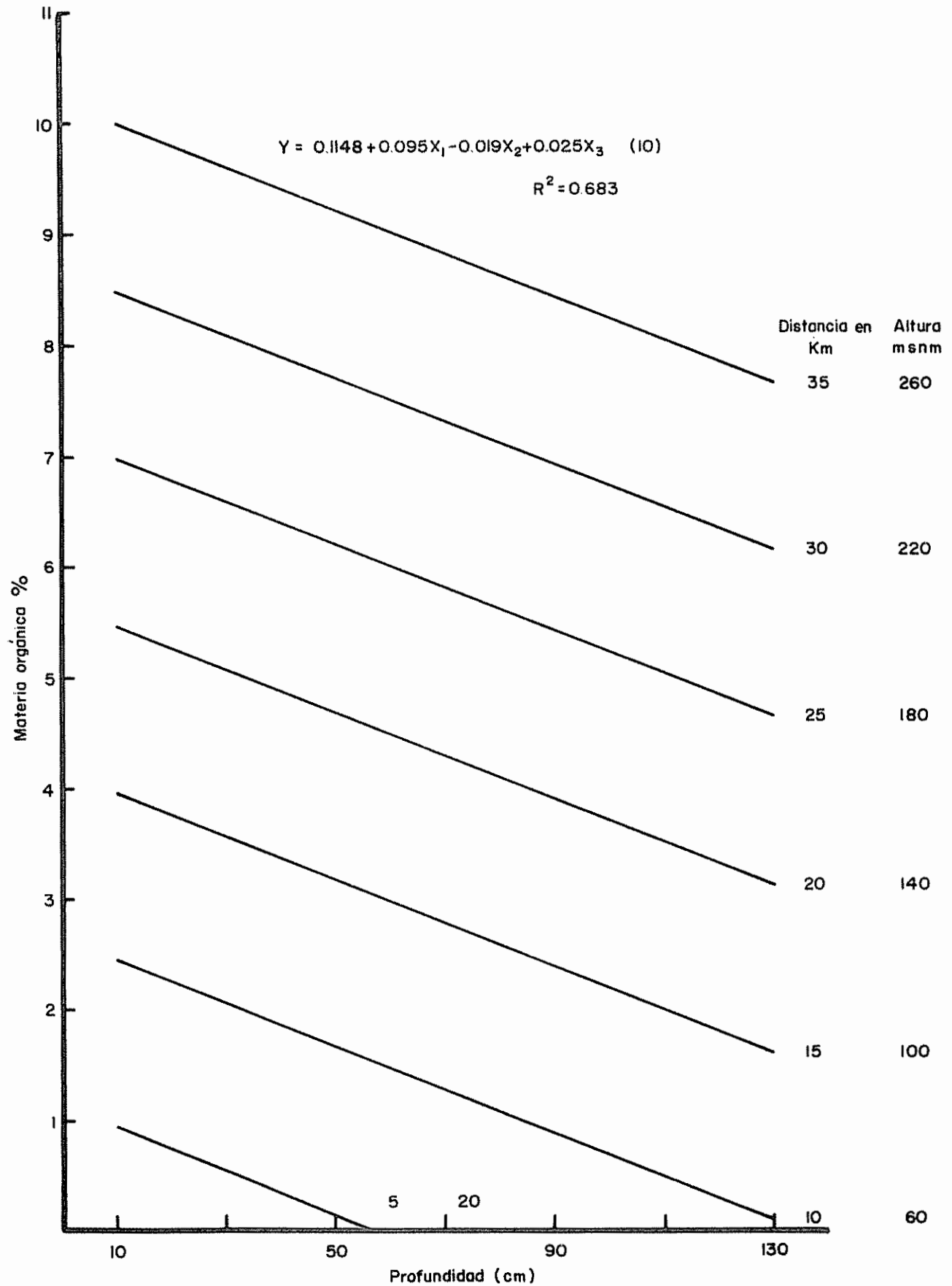


Fig. 10. Variación del porcentaje de materia orgánica en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto Volcanes San Cristóbal, EL Chonco - Océano Pacífico.

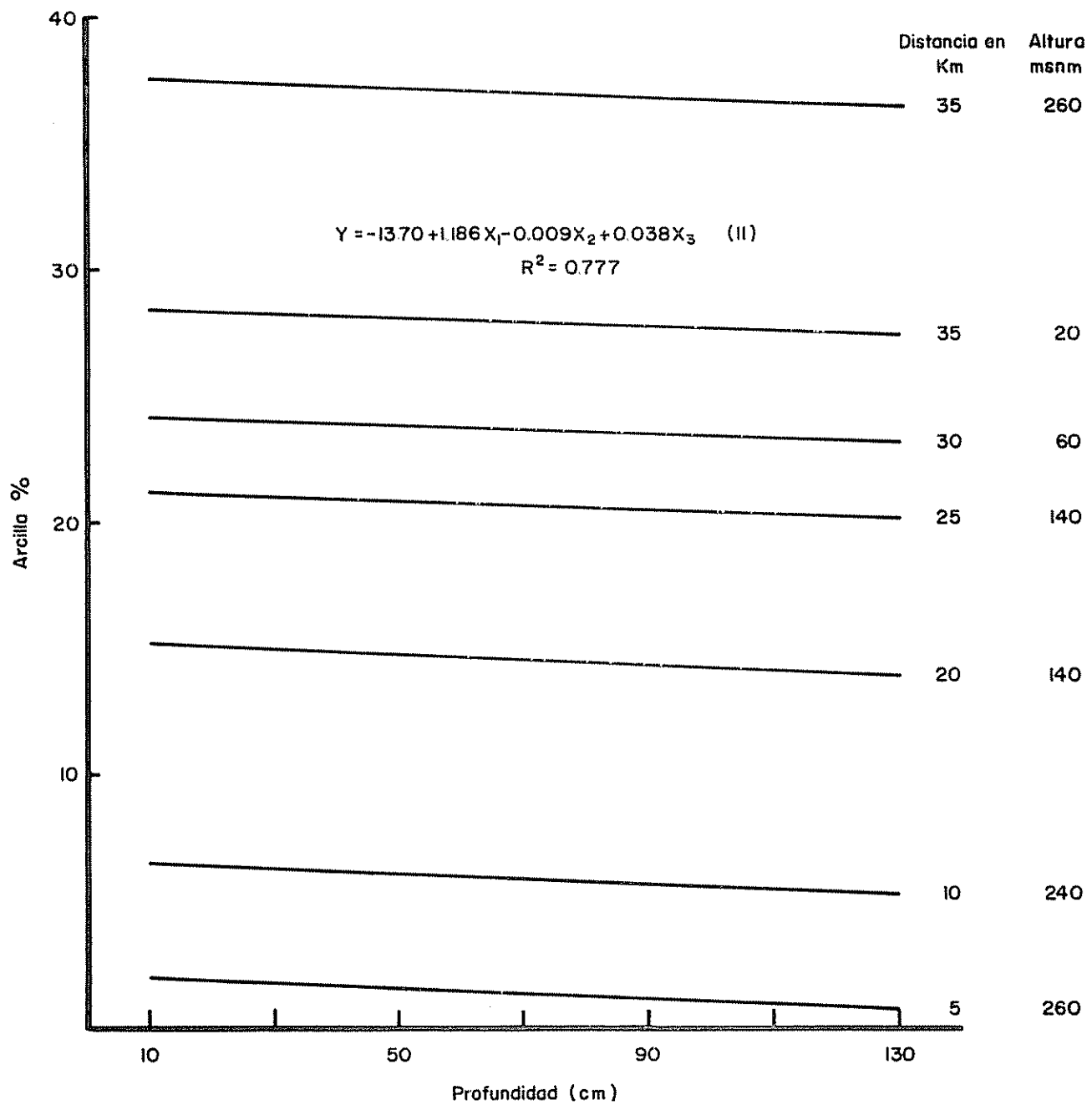


Fig II. Variación del porcentaje de arcilla en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto volcanes San Cristóbal, El Chonco - Océano Pacífico.

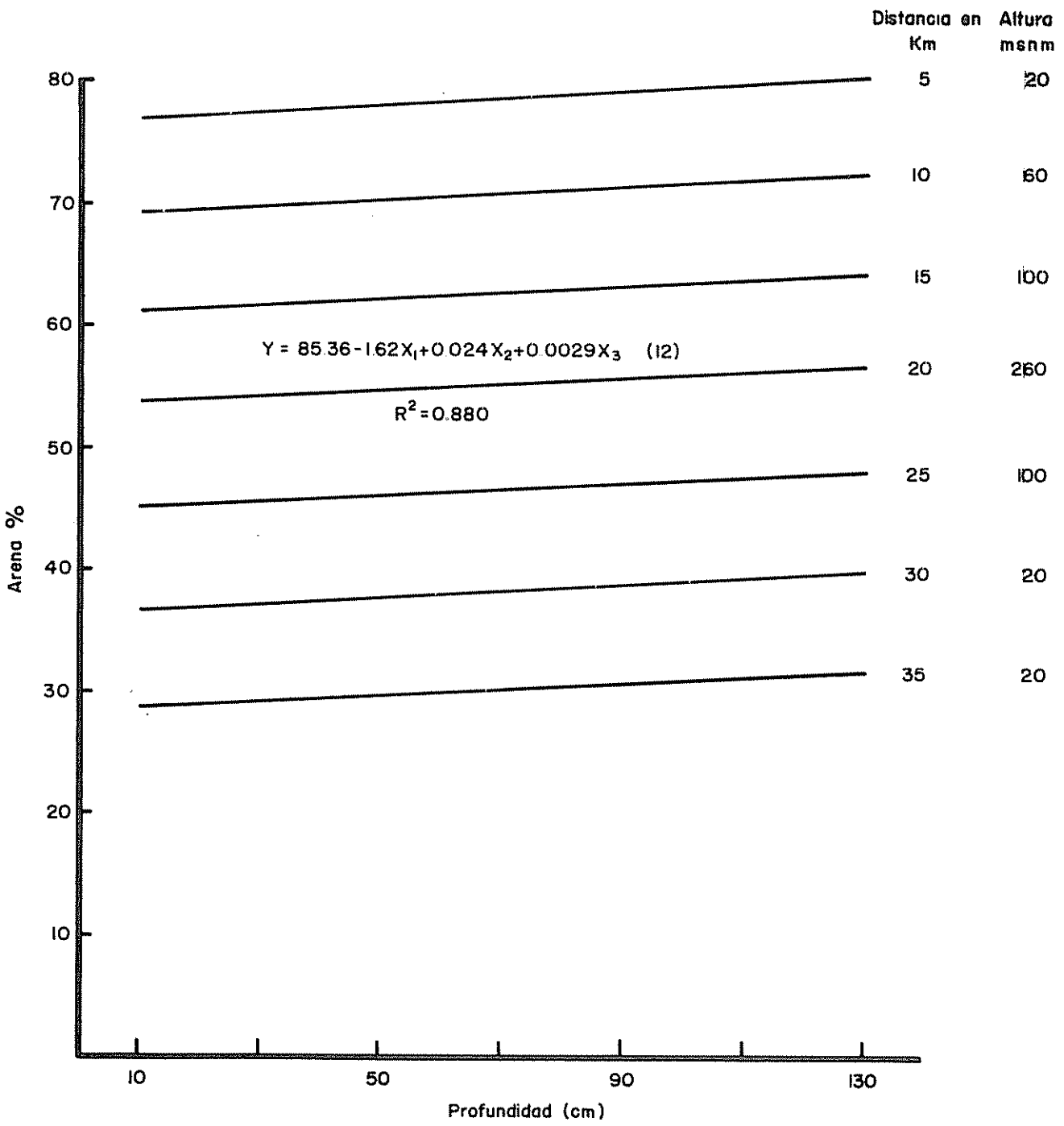


Fig. 12. Variación del porcentaje de arena en función de distancia (X_1), profundidad (X_2) y altura (X_3), en el transecto volcanes San Cristóbal, El Chonco - Océano Pacífico.

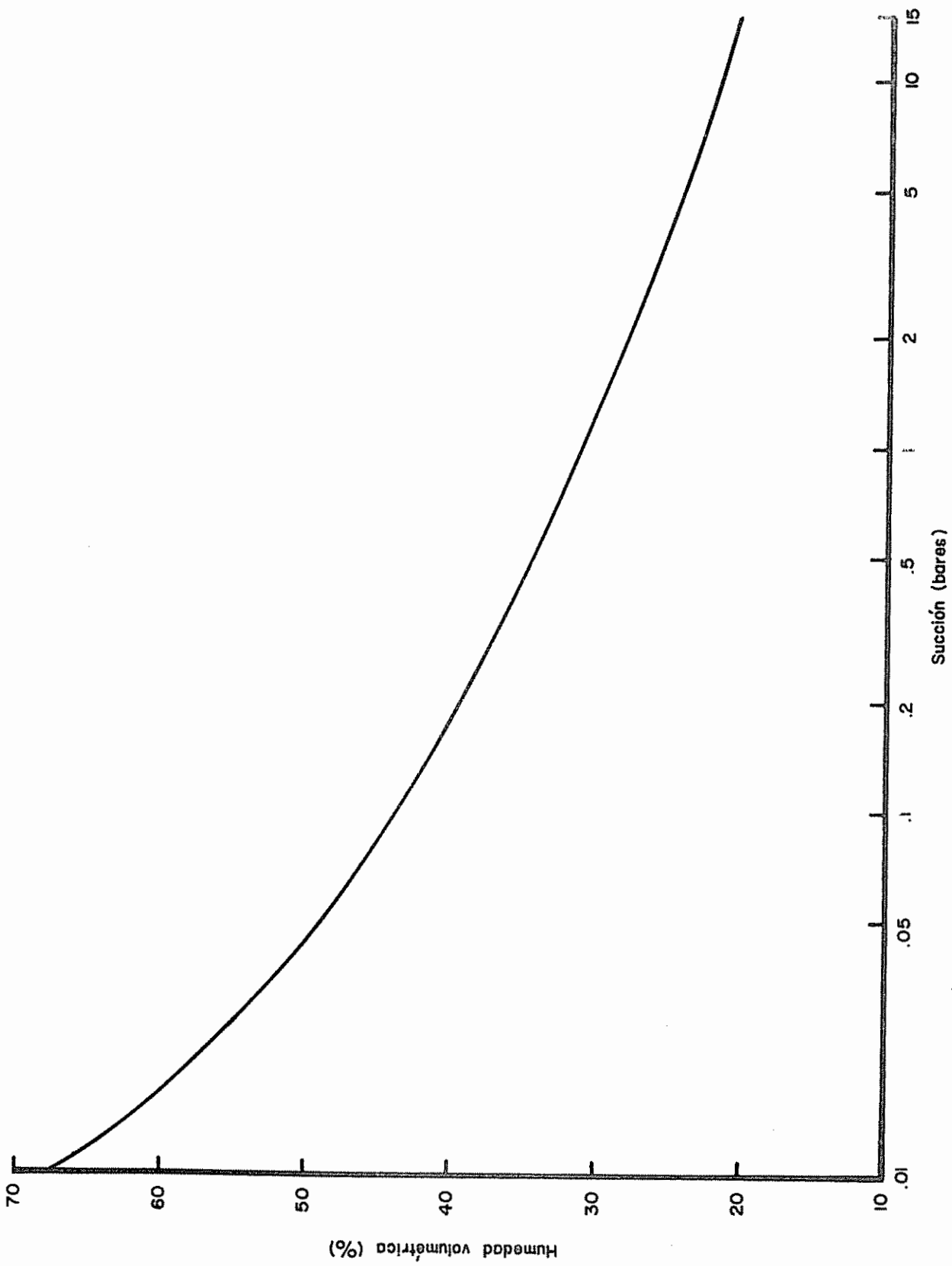


Fig. 13. Curva de succión
Serie La Lapa (perfil I) Horizonte superficial

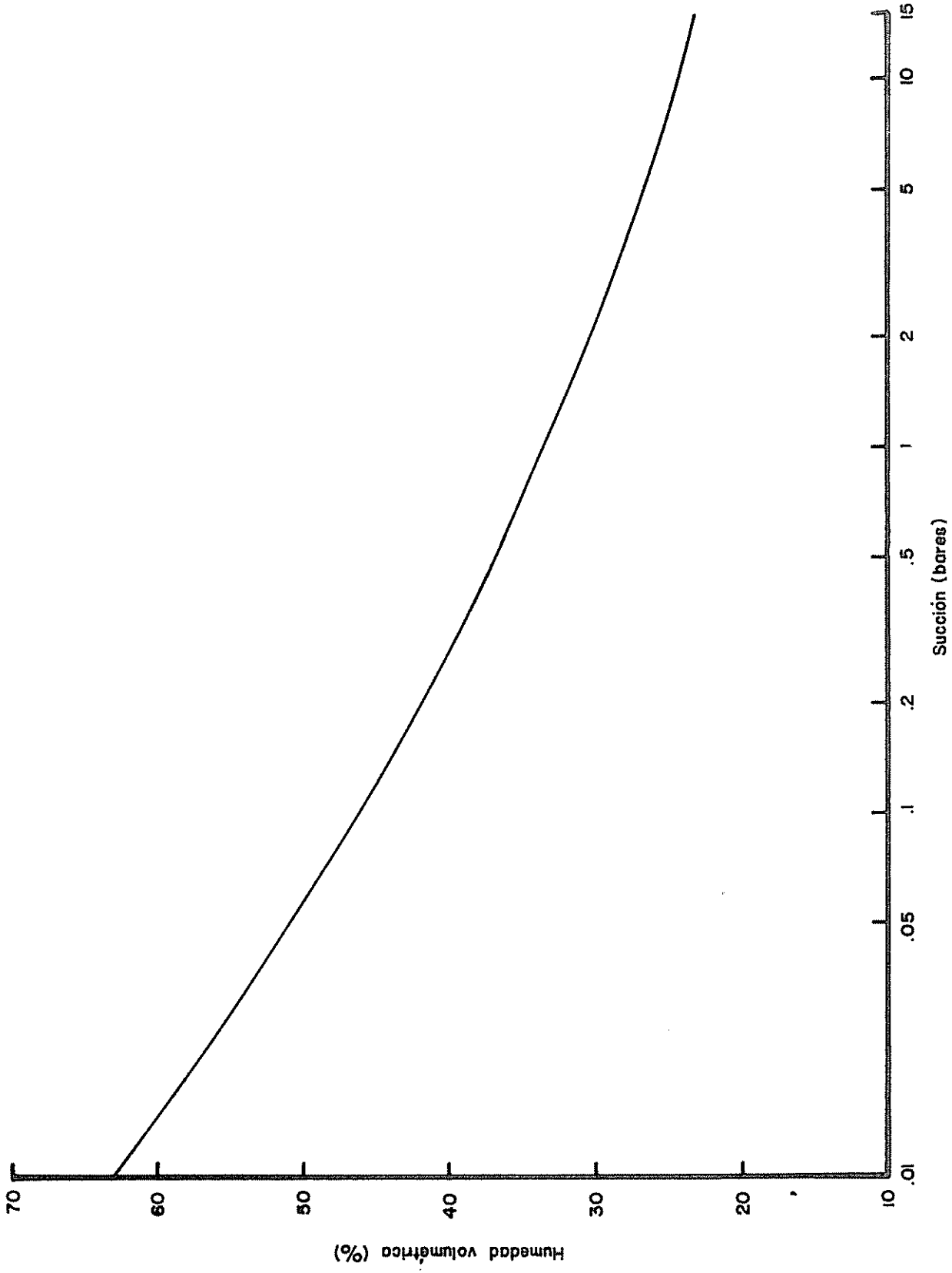


Fig. 14. Curva de succión
 Sario La Lapa (perfil 2)
 Horizonte superficial

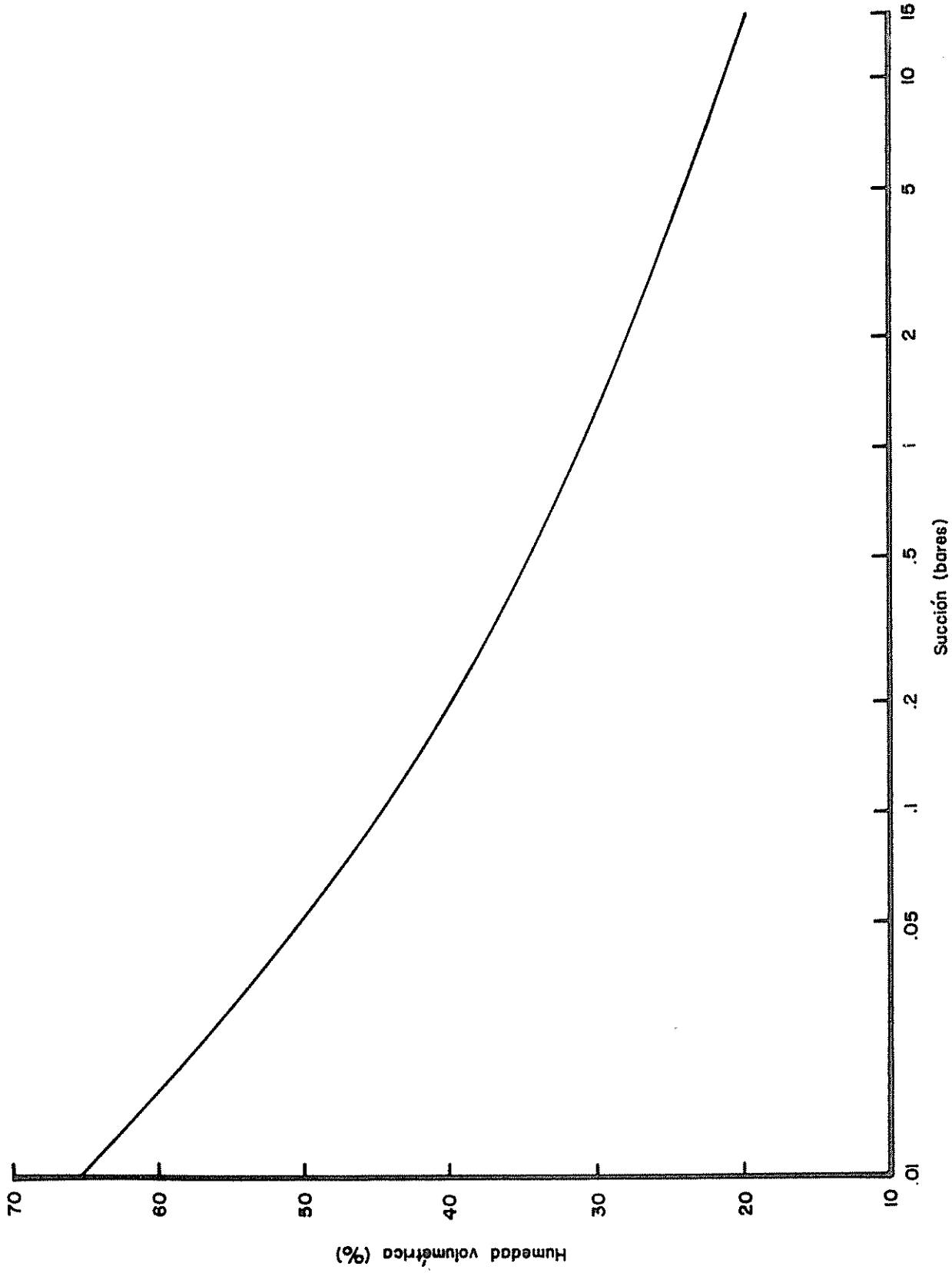


Fig. 15. Curva de succión
 Serie Chinandega (perfil 3) Horizonte superficial

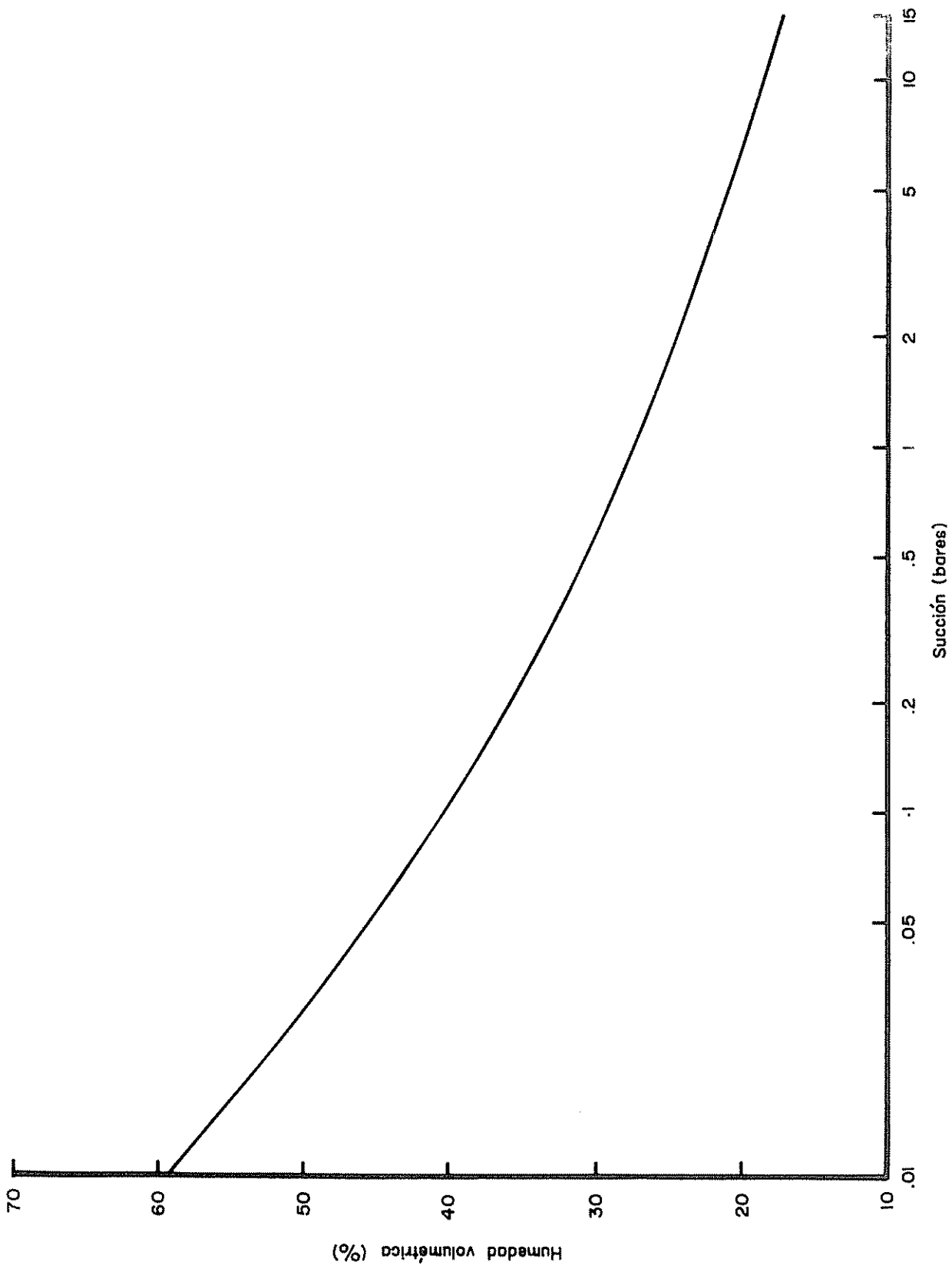


Fig. 16. Curva de succión
 Serie Chinandega (perfil 4) Horizonte superficial

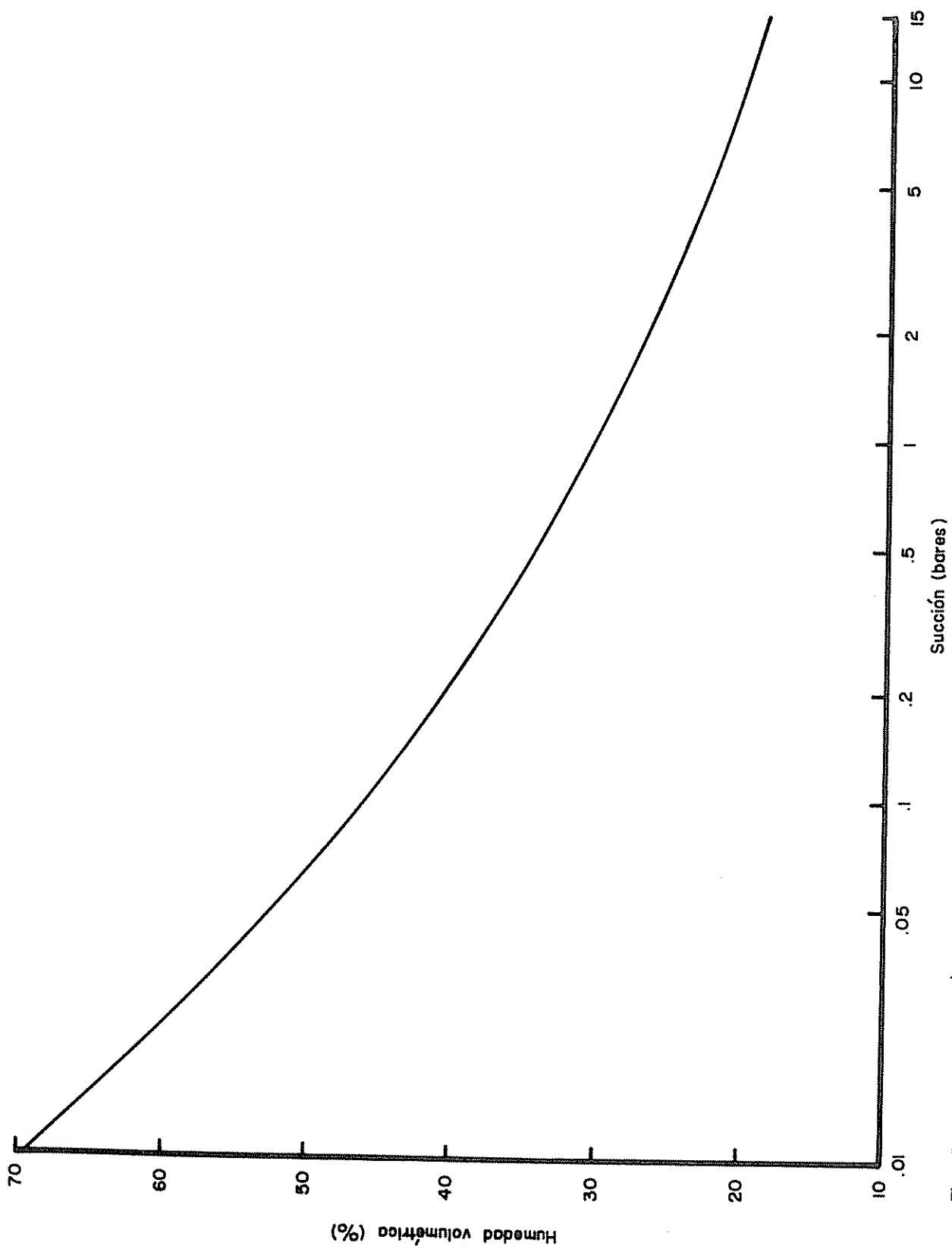


Fig. 17. Curva de succión
 Serie La Mora (perfil 5)
 Horizonte superficial

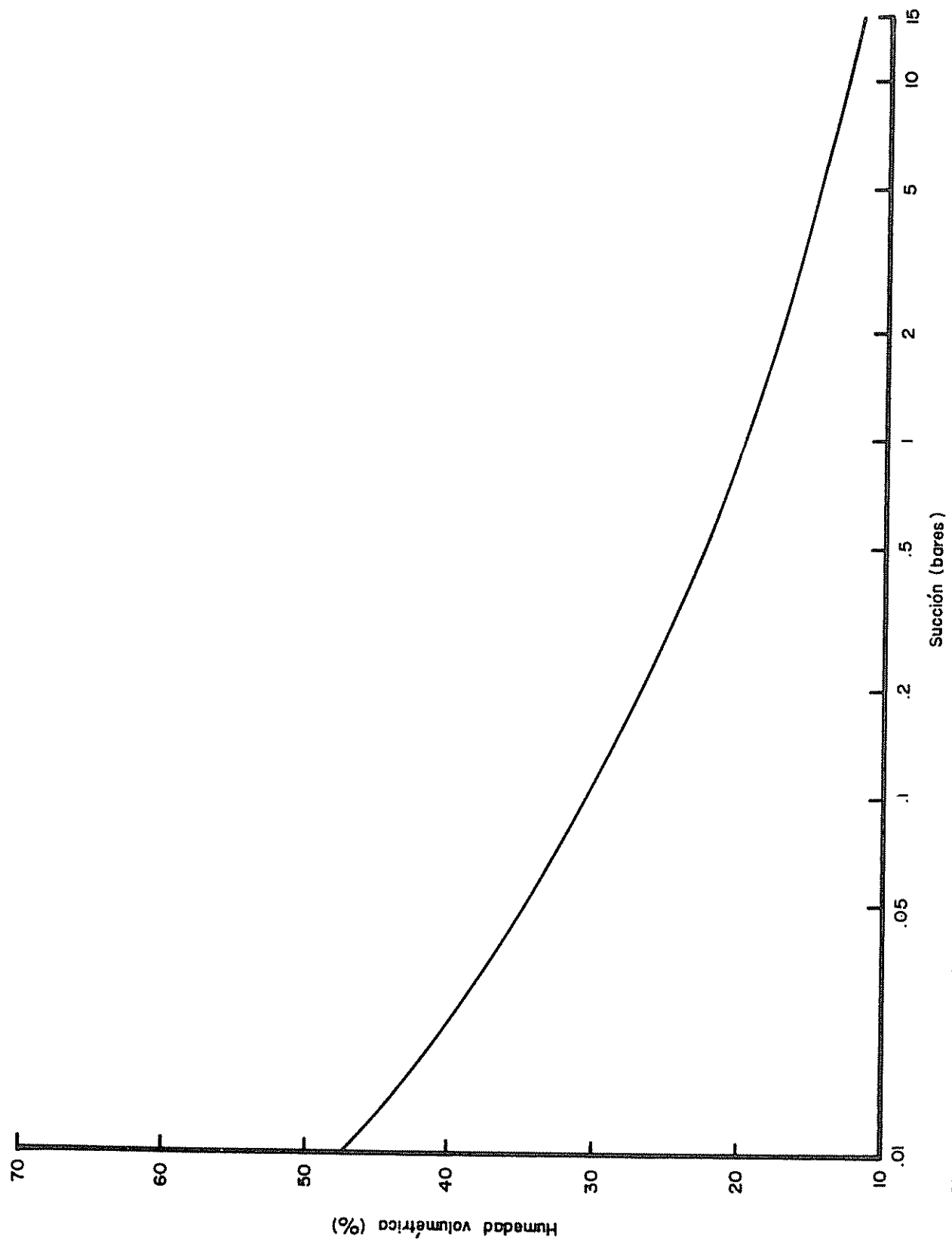


Fig. 18. Curva de succión
 Serie La Mora (perfil 6) Horizonte superficial

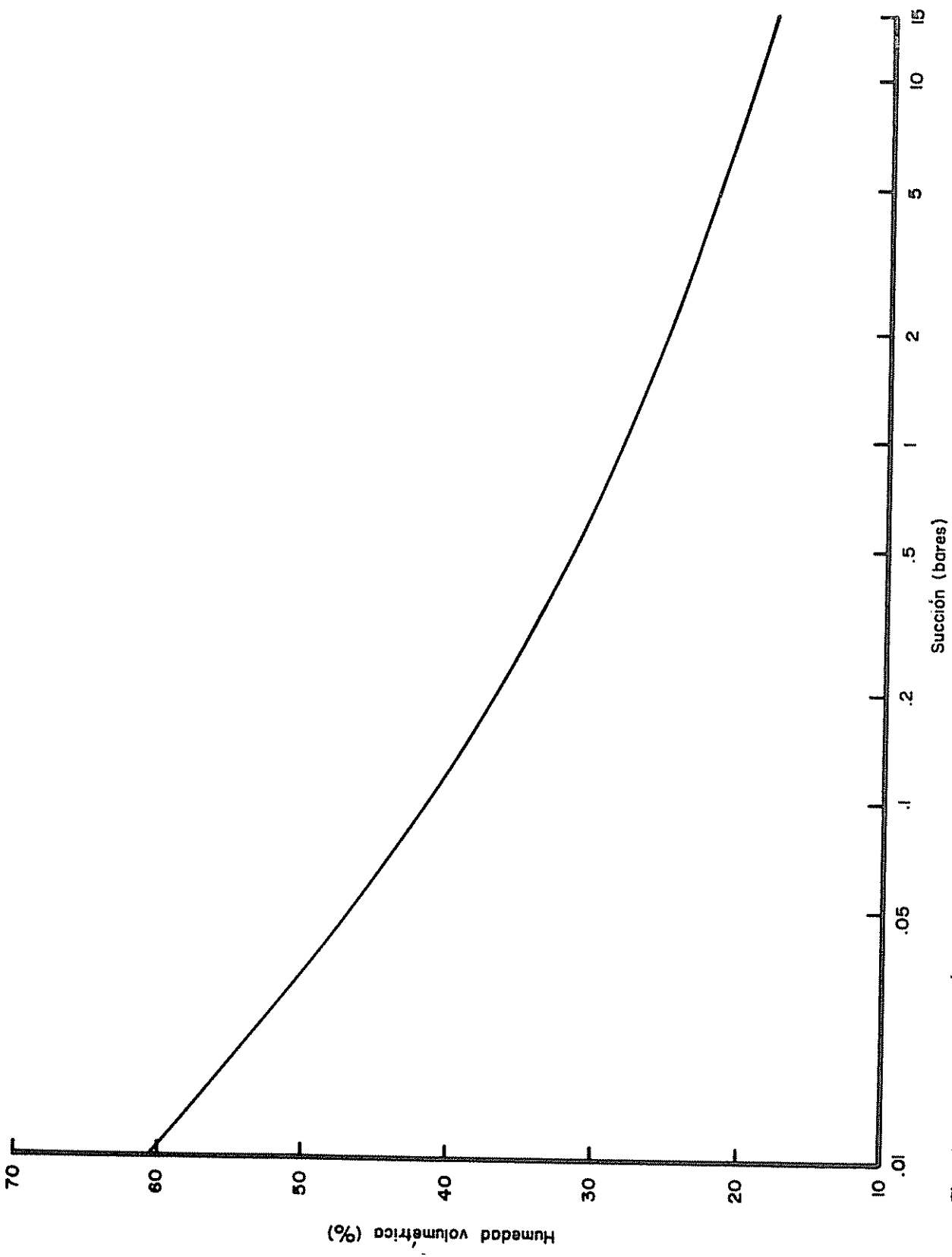


Fig. 19. Curva de succión
 Serie Chichigalpa (perfil 7) Horizonte superficial

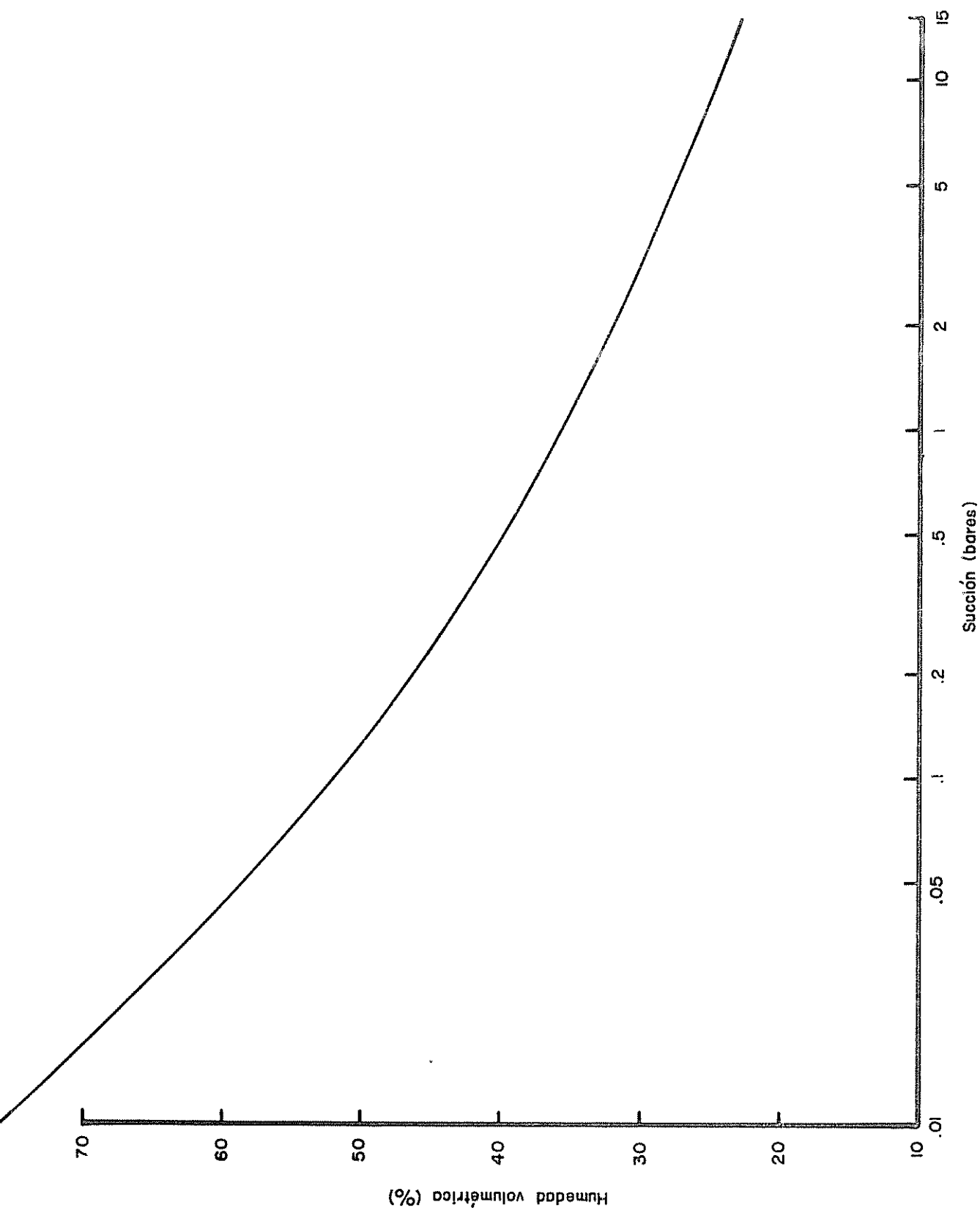


Fig. 20. Curva de succión
 Serie Chichigalpa (perfil 8) Horizonte superficial

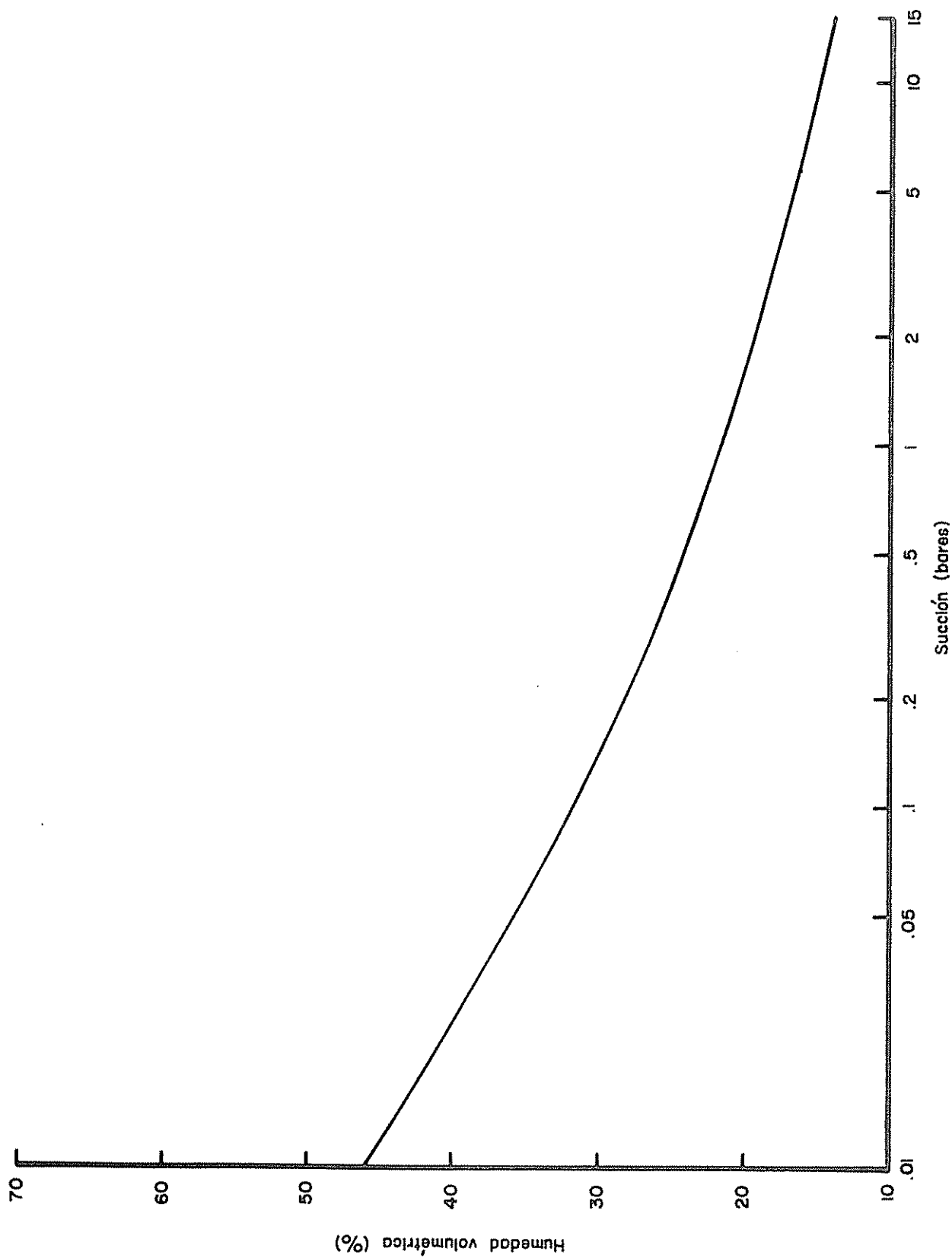


Fig. 21. Curva de succión
 Serie Telica (perfil 9) Horizonte superficial

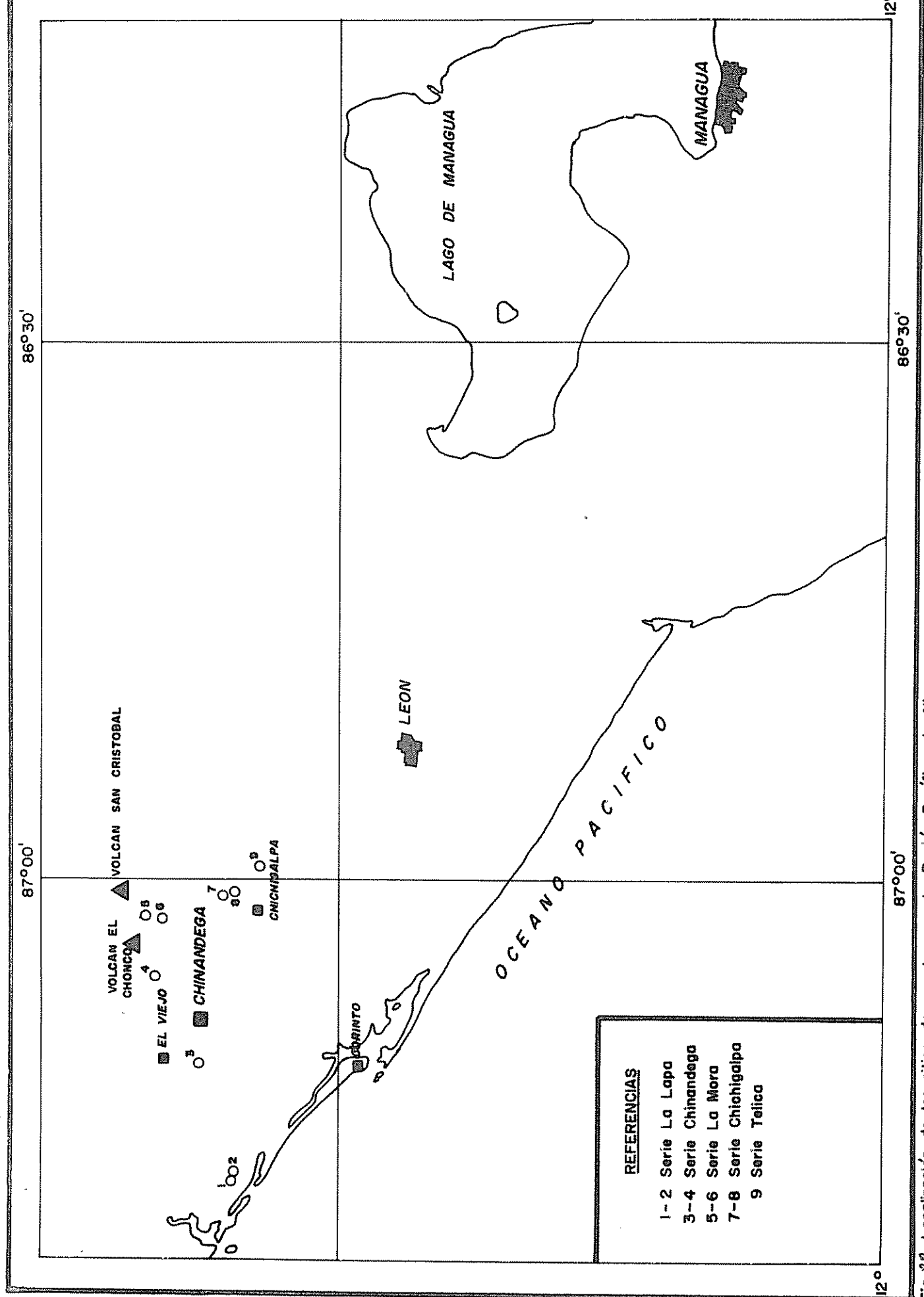


Fig. 22. Localización de los sitios de muestreo en la Región Pacífica de Nicaragua.

METODOS ANALITICOS

Método de Ulrich: se siguió la técnica descrita por Ulrich y colaboradores (76).

Se pesan por duplicado 0,100 g de suelo secado al aire, pasado por un tamiz de nylon de 1 mm de malla, en un Erlenmeyer de 125 ml y se le agregan 30 ml de agua regia (3 partes de HCl concentrado y 1 parte de HNO₃ concentrado), 4 ml de H₂SO₄ concentrado y un ml de HClO₄ concentrado. Después las muestras son agitadas por algunos minutos y colocadas sobre una placa de calefacción dentro de una campana. Las muestras son digeridas a volumen pequeño, cerca de 5 ml. Se lava las paredes del beaker con agua desionizada caliente, filtrando enseguida a través de papel filtro (Watman No. 40), se recoge el filtrado en un volumétrico de 50 ml y se lleva a volumen con agua desionizada. Sobre el filtrado se determina hierro, manganeso y zinc, usando un equipo de absorción atómica.

Boro: Se siguió la técnica de la Sociedad Analytical Chemistry (72) modificado.

Se pesa 1 g de suelo secado al aire y pasado por un tamiz metálico de 1 mm y se transfiere a un crisol de porcelana, se agrega 10 ml de una solución saturada de hidróxido de calcio y una pequeña porción del mismo reactivo de modo que cubra la superficie de la suspensión, luego se lleva a sequedad en una plancha, enseguida se lleva al crisol a un horno mufla por espacio de tres horas a una temperatura que fluctúa entre 430 y 450°C, el residuo se lava con una solución de ácido clorhídrico 0,1 N a un volumétrico de 50 ml y completar a volumen con

HCl 0,1N y determinar el boro total por el método de Hatcher y Wilcox (39).

Cobalto: Se siguió la técnica de la Sociedad Analytical Chemistry (72).

Transferir una alicuota conveniente procedente de la extracción de los diferentes reactivos utilizados en esta investigación a un beaker de 100 ml, agregar 15 ml de citrato de sodio al 40% w/v y diluir aproximadamente a 50 ml con agua destilada, y ajustar el pH entre 3 y 4 con la adición de ácido clorhídrico 2N o hidróxido de sodio 2N, usando indicadores de pH de papel. Agregar 10 ml de agua oxigenada al 3% y, después de cinco minutos, 1 ml del reactivo selector (2 nitroso - 1 - naftol), calentar hasta 90°C y enfriar por 30 minutos a temperatura ambiente.

Transferir la solución residuo a un embudo separador de 125 ml y añadir 10 ml de tolueno y agitar vigorosamente por dos minutos y descargar la parte baja de la solución acuosa. Agregar 20 ml de ácido clorhídrico 2N y agitar por un minuto y descargar la fase acuosa, repetir la operación con solución de hidróxido de sodio 2N. Finalmente, correr el líquido residuo a un tubo especial a través de un embudo que contiene lana de vidrio y sulfato de sodio anhidro grado reactivo, y leer en un fotocolorímetro en una longitud de onda 367 milimicrones y determinar la cantidad de cobalto por comparación con una curva de estándares preparados para el efecto.

Molibdeno: Se siguió la técnica de la Sociedad Analytical Chemistry (72) modificado.

Transferir 25 ml de alicuota proveniente de los extractos obtenidos con los diferentes reactivos utilizados, a un embudo de separación de 125 ml, agregar una solución de ácido clorhídrico 1N conteniendo cloruro férrico 0,5 gramos de modo que se complete a un volumen de 50 ml, agregar una pizca de ácido cítrico grado reactivo, luego agregar 1 ml de tiocianato de potasio y mezclar. Añadir 1 ml de cloruro estañoso y mezclar nuevamente. Agregar exactamente 5 ml de solvente orgánico (1 + 1, Cl_4C + Alcohol isoamílico) y agitar vigorosamente durante dos minutos y dejar en reposo por 15 minutos. Filtrar parte baja del embudo a un tubo colorimétrico a través de lana de vidrio conteniendo cloruro estañoso sólido, para reducir el exceso de agente reductante debido al tiocianato de potasio, y leer en un fotocolorímetro en una longitud de onda de 470 milimicrones y calcular la cantidad de molibdeno por comparación de una curva preparada por una serie de estándares.