

FORMAS DE MANGANESO EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS Y DEDICADOS A PRADERA DE LA MESETA CENTRAL ORIENTAL^{1*}

Rafael A. Obando**
Elemer Bornemisza**
Rafael Mata**

ABSTRACT

Manganese forms in volcanic ash soils on the Eastern Central Plateau grasslands. Extractable Mn forms were studied in 8 soils and subsoils from the grasslands in the Oriental Central Plateau of Costa Rica, at sites where foliar samples indicated Mn excesses. The extracting solutions were pH 4.8 NH_4AcO , pH 7.0 NH_4AcO , modified Olsen solutions, and NH_4OAc with hidroquinone.

Low levels of Mn ($2\text{-}21 \text{ mg kg}^{-1}$) were detected for pH 7 NH_4AcO extraction. The variation with the modified Olsen was large (0.5 to 112 mg kg^{-1}) similarly as with pH 4.8 NH_4AcO ($3\text{-}160 \text{ mg kg}^{-1}$). The higher values and largest variation was obtained with hidroquinone ($8\text{-}1240 \text{ mg kg}^{-1}$). DTPA extractable Mn correlated significantly with the active Mn fraction extracted by NH_4AcO and hidroquinone. Significant correlations were found between soil properties determined by the allophane content of soil and its "active" Mn fraction. The fine soil fraction (silt + clay) correlated with different Mn forms also.

INTRODUCCION

Para estudiar las diferentes formas de manganeso y establecer la correlación entre los métodos utilizados para extraerlo y con otras propiedades del sustrato, se tomó muestras de suelo y subsuelo en ocho sitios de la Meseta Central Oriental en donde se encontró problemas de Mn con anterioridad (12, 14). En suelos bajo pasto, en condiciones locales no se conocen datos sobre Mn aún

cuando Palmer (14) y Lang (12) encontraron problemas nutricionales en ganado bovino.

En suelos derivados de ceniza del Volcán Irazú, estudiados en un período de 15 años, se encontró un aumento en la capacidad de intercambio de cationes, muy posiblemente debido al incremento en el contenido de arcilla con elevada carga superficial y al incremento del contenido de materia orgánica del suelo (6).

Fassbender y Roldán (9), en suelos de América Central encontraron que el Mn fácilmente reducible, asociado con los sesquióxidos y las arcillas, correlacionó en forma positiva con el porcentaje de arcilla. Además encontraron correlaciones negativas y significativas, entre el Mn intercambiable y el pH.

Flores (11) en suelos del Pacífico Sur de Costa Rica ha informado de una correlación altamente significativa y positiva, entre el Mn intercambiable y el contenido de materia orgánica y entre la fracción fina y el Mn fácilmente reducible.

1 Recibido para su publicación el 2 de noviembre de 1983.

* Este trabajo es parte de la tesis de Ing. Agr. del primer autor y recibió apoyo parcial del CONICIT.

** Estudiante y profesores de la Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

Fasbender y Roldán (9), al estudiar el efecto del secado en suelos de América Central, encontraron que el Mn intercambiable aumenta con el secado de las muestras, mientras que el manganeso fácilmente reducible no varía con el secado. El contenido de Mn intercambiable en 62 suelos de Centro América oscila entre 1 y 48 mg kg⁻¹ (9), mientras que en suelos aluviales de Costa Rica oscila entre trazas y 69 mg kg⁻¹ (11), y en suelos cafetaleros derivados de cenizas volcánicas entre trazas y 175 mg kg⁻¹ un promedio de 20 mg kg⁻¹ (3).

Briceño y González (3, 4) encontraron en muestras superficiales un promedio de 180 mg kg⁻¹ en Mn fácilmente reducible y en muestras subsuperficiales 212 mg kg⁻¹ Flores (11), en suelos del Pacífico Sur de Costa Rica encontró ámbitos entre 38 y 1831 mg kg⁻¹ con un promedio de 339 mg kg⁻¹. Fassbender y Roldán (9) en suelos de América Central, encontraron como promedio 333 mg kg⁻¹, con variaciones de 32 a 1540 mg kg⁻¹.

MATERIALES Y METODOS

Se tomaron muestras de la región Oriental de la Meseta Central, en la provincia de Cartago, abarcando los cantones de Paraíso, Oreamuno, Turrialba y Alvarado (Fig. 1).

Se muestreó en suelos bajo pasto, tomando muestras superficiales y subsuperficiales hasta una profundidad de 0,40 m. Los sitios escogidos fueron aquellos en donde el análisis de Mn foliar en el pasto fue alto, según Palmer (14).

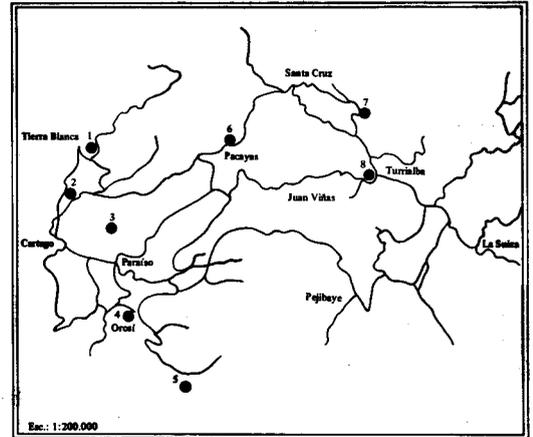
Las muestras superficiales y subsuperficiales, se separaron según la diferenciación encontrada en los perfiles del suelo.

La localización, clasificación ecológica, altitud, profundidad de muestreo y la clasificación taxonómica se presentan en el Cuadro 1.

Las extracciones de Mn se realizaron a las muestras de suelo en húmedo y en seco al aire, utilizando:

- Acetato de amonio (NH₄ OAc) 1N a pH 7,0 (Mn intercambiable).
- NH₄ OAc 1N a pH 4,8 (Mn intercambiable en medio ácido).
- NH₄ OAc 1N a pH 7,0 + 0,2% de hidroquinona (Mn intercambiable y fácilmente reducible).

Se usó una relación de 10 g de muestra por



- Potrero cerrado, finca Hernán Guillén...1
- San Rafael (La Chinchilla), finca Alfredo Sanabria...2
- El bosque, finca San Gerardo...3
- Orosi, finca La Anita...4
- Purisil, finca La Arboleda...5
- Capellades, finca Pedro Solano...6
- San Rafael de Turrialba, finca Hnos. Figueres...7
- Turrialba, finca Sergio Castro...8

Fig. 1. Mapa de la zona de estudio, con los sitios de muestreo y otras características

100 cc de solución, en agitación lenta por media hora y luego en forma intermitente hasta completar 6 horas (1).

La extracción con Olsen modificado (0,5 N NaHCO₃, 0,01 MEDTA con 0,25 g de Superfloc 127 por cada 10 litros, a pH 8,5), se realizó en una relación de 5g de suelo en 25 cc de solución, con agitación lenta por 15 minutos, según lo recomienda el CATIE (8) y el MAG (17).

Para la extracción con una solución del ácido dietilentriamino pentaacético (DTPA) se siguió la metodología usada por Lindsay y Norwell (13), en una relación de 10 g de suelo por 20 cc de solución.

Las determinaciones de Mn, así como los de los cationes Ca²⁺, Na⁺, K⁺ y Mg²⁺ se hicieron en el Laboratorio de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, usando el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 103.

El pH y el contenido de materia orgánica se determinaron según la metodología recomendada por Saiz del Río y Bornemisza (15).

Cuadro 1. Localización, clasificación ecológica, altura, profundidad de muestreo y clasificación taxonómica de suelos estudiados.

Localidad	No. de identificación	Ecosistema natural*	Ecosistema actual	Altura (msnm)	Profundidad de muestreo (cm)	Horizonte	Clasificación (Taxonomía de Suelos**)
Purisil de Paraíso	1	bp-P	pasto sin manejo del suelo	1300	0 - 12	A ₁	Typic Dystrandept
	2				12 - 40+	B ₃	
Orosi de Paraíso	3	bmh-P	pasto sin manejo del suelo	1080	0 - 10	A ₁	Typic Tropaquept
	4				10 - 40+	B ₃	
San Rafael de Oreamuno (La Chinchilla)	5	bh-MB	pasto sin manejo del suelo	1700	0 - 20	A ₁	Andic Humitropept
	6				26 - 40+	B ₂	
Capellades de Alvarado	7	bmh-MB	pasto sin manejo del suelo	1780	0 - 20	A ₁₁	Typic Hydrandept
	8				20 - 40+	A ₁₂	
San Rafael de Turrialba	9	bmh-P	pasto sin manejo del suelo	1130	0 - 15	A ₁₁	Typic Hydrandept
	10				15 - 40+	A ₁₂	
Turrialba (Serie Colorado)	11	bmh-P	pasto sin manejo del suelo	710	0 - 30	A	Typic Dystrandept
	12				30 - 40+	B _{2t}	
Potrero Cerrado de Oreamuno	13	bh-MB	pasto sin manejo del suelo	2230	0 - 8	C	Typic Dystrandept
	14				8 - 40+	IIA	
El Bosque de Oreamuno	15	bh-P	pasto sin manejo del suelo	1450	0 - 25	A ₁	Andic ustic Humitropept
	16				25 - 40+	B ₂	

* Tomado de Tosi (18)

** Mata, R. y Sancho, F.; Comunicación personal.

Para la reacción de pH con NaF 1N se siguió las recomendaciones del Servicio de Conservación de Suelos, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, según la metodología de Fieldes y Perrott (10).

La acidez intercambiable se extrajo con KCl 1N (17).

Los cationes de intercambio se extrajeron con NH₄ OAc 1N a pH 7,0 en una relación de 100 cc por 10 g de suelo, según lo recomienda Chapman (5).

La capacidad de intercambio catiónico, se obtuvo de la suma de las bases y la acidez intercambiable, por lo que se llamó capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE).

El análisis granulométrico se realizó por el método de la pipeta descrito por Day (7). A las muestras de Capellades de Alvarado y San Rafael de Turrialba, se les determinó solo la fracción fina y la fracción gruesa ya que no fue posible lograr la dispersión del suelo por tener altos contenidos de alofana.

Se realizó un análisis de correlación entre las propiedades de los suelos estudiados y sus contenidos de Mn extraídos con cada método, así como entre métodos. Además se aplicó el mismo análisis entre algunas de las características del suelo más sobresalientes. Los análisis de regresión se efectuaron para aquellas variables en las que se

encontraron los datos de correlación más importantes.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Características de los suelos estudiados.

Los datos que caracterizaron los suelos se resumen en los Cuadros 2 y 3. Las correlaciones entre estas propiedades se incluyen en el Cuadro 4.

2. Contenido extraíble de Mn.

El contenido extraíble de Mn con los diferentes métodos se presenta en los Cuadros 5 y 6.

El manganeso extraído con NH₄ OAc pH 7,0 conocido como manganeso intercambiable, presentó los contenidos más bajos. En orden creciente siguió el Mn extraído con NaHCO₃, DTPA, NH₄OAc pH 4,8 y NH₄OAc+ 0,2%hidroquinona. Estos resultados son similares a los otros investigadores (3,9) y reflejan que los aumentos de acidez solubilizan mayores cantidades de Mn y que el manganeso extraído con un reductor es la fracción más amplia, ya que no solo extrae el Mn intercambiable sino que formas de Mn⁺³ y Mn⁺⁴ fácilmente reducibles.

El promedio de Mn extraído de las muestras secas fue más alto, con un valor de 100mg kg⁻¹

Cuadro 2. Características de pH, componentes amorfos, M.O. y propiedades físicas de los suelos

Suelo	pH		M.O. %	Humedad gravimétrica al momento del muestreo %	Fracción gruesa %	Fracción fina %	Clase textural
	muestras secas H ₂ O	NaF 2 min.					
1	5,3	9,2	17,3	138,29	19,47	80,53	Arcilloso Limoso
2	5,3	9,8	9,53	95,04	34,15	65,85	Franco Arcilloso
3	5,5	7,8	6,64	85,22	33,14	66,86	Franco Arcilloso
4	6,0	7,8	3,11	38,32	32,01	67,99	Franco Arcilloso
5	6,2	8,0	4,30	44,42	26,30	73,70	Arcilla
6	6,3	8,0	2,10	44,04	11,28	88,72	Arcilla
7	6,1	10,0	19,8	133,48	20,31	77,32	F
8	6,2	11,2	8,68	95,51	28,01	72,31	F/FA
9	5,6	11,3	23,1	174,67	21,52	75,89	F
10	5,7	11,2	18,7	229,55	31,46	66,43	F/FA
11	5,6	7,8	6,04	73,0	9,42	90,58	Arcilla
12	5,5	8,6	3,41	51,84	10,47	89,53	Arcilla
13	6,2	7,9	6,01	40,01	75,34	24,66	Franco Arenoso
14	5,9	9,2	7,92	38,02	60,87	39,13	Franco Arenoso
15	5,1	7,8	7,16	51,19	16,44	83,56	Arcilla
16	5,7	8,1	0,45	50,48	8,80	91,20	Arcilla

que el extraído de muestras húmedas, 84 mg Kg⁻¹. El secado de las muestras afecta en gran proporción las formas extraíbles de Mn, encontrándose en ocasiones casi el doble o más de Mn si se seca el suelo; el manganeso extraído con NH₄OAc +

hidroquinona fue levemente afectado.

El contenido de Mn extraído por diferentes métodos fue mayor en las capas superiores, que en las capas inferiores. Es posible que esto se deba a la mayor acumulación de la materia

orgánica con lo que se da una mayor actividad microbial, y a una mayor capacidad de intercambio catiónico.

3. Efecto del pH y la acidez intercambiable.

El ámbito de variación de pH es estrecho y se encuentra dentro de una acidez moderada, lo que puede explicar el no haber encontrado la correlación entre el pH y el contenido de Mn extraído con diferentes métodos (Cuadro 4) mencionada por otros investigadores (9, 11).

Se detectó una correlación significativa entre la acidez intercambiable y el pH. La acidez intercambiable varió dentro de un margen muy pequeño, lo que indica que no hay suelos muy ácidos ni suelos neutros en el ámbito estudiado. No se detectó correlación entre las formas de Mn estudiadas y la acidez intercambiable (Cuadro 7).

Cuadro 3. Cationes, acidez intercambiable, CICE y saturación de bases de los suelos

Suelo	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺	Acidez intercamb.	CICE
	cmol kg ⁻¹				meq/100 g	
1	0,10	1,21	1,50	0,97	1,34	7,81
2	0,07	0,25	0,25	0,50	1,32	2,48
3	0,16	1,71	6,49	1,02	0,29	17,85
4	0,12	1,06	7,49	0,49	0,22	17,91
5	0,13	1,83	3,99	1,71	0,14	13,62
6	0,31	1,53	3,50	0,98	0,12	11,46
7	0,13	2,94	6,49	2,71	0,20	21,89
8	0,09	1,16	1,50	1,50	0,14	7,03
9	0,14	0,08	0,25	0,40	0,74	1,93
10	0,08	0,05	0,25	0,18	0,34	1,20
11	0,12	0,93	2,12	0,23	0,36	6,81
12	0,12	0,81	1,75	0,14	0,23	5,59
13	0,11	1,01	1,62	1,53	0,20	7,09
14	0,10	1,23	2,25	1,61	0,60	9,26
15	0,12	1,11	2,50	0,52	0,75	8,59
16	0,40	1,06	2,37	0,15	0,20	7,60

Cuadro 4. Coeficiente de determinación (valores r), y grados de significancia, entre propiedades de los suelos

Variable	pH KCl seco	pH NaF 2 min.	M.O.	Ca ⁺⁺	Acidez interc.	CICE	Fracción gruesa	Fracción fina
pH KCl	—	0,384 NS	0,066 NS	-0,006 NS	-0,626**	0,096 NS	0,113 NS	-0,124 NS
pH NaF 2 min.			0,770**	-0,478 NS	0,231 NS	-0,426 NS	0,029 NS	-0,063 NS
M. O.				-0,268 NS	0,422 NS	-0,191 NS	0,022 NS	0,065 NS
Ca ⁺⁺					0,449 NS	0,965**	-0,052 NS	-0,057 NS
Acidez Interc.						-0,399 NS	0,015 NS	-0,016 NS
CICE							-0,014 NS	0,017 NS
Fracción gruesa								-0,999**

* = Significativo al 5%

** = Significativo al 1%

NS = No significativo

4. Efecto de los materiales inorgánicos amorfos.

Esta característica se midió en una forma indirecta, partiendo del principio de Fieldes y Perrott (10), quienes proponen que el pH en NaF indica aproximadamente la proporción amorfa.

El pH en NaF osciló entre valores de 7,8 y 11,3 (Cuadro 2). Los valores de pH más altos, coinciden con aquellos suelos que presentan los contenidos más altos de humedad de campo, ya que estos suelos volcánicos poseen como característica una gran retención de humedad; también

Cuadro 5. Manganeso extraíble en las muestras húmedas (mg kg⁻¹)

Suelo	NH ₄ OAc 1N; pH = 7,0	NH ₄ OAc 1N; pH = 4,8	NH ₄ OAc 1N; pH = 7,0 + 0,2% H.Q.	NaHCO ₃	DTPA
1	3,5	6,5	75,5	7,0	2,0
2	2,0	3,0	39,0	2,5	1,0
3	6,0	160,0	290,0	112,5	8,0
4	2,0	6,0	88,0	2,0	10,0
5	2,0	8,0	490,0	6,0	57,0
6	2,0	14,0	445,0	11,0	41,0
7	3,5	71,0	220,0	13,5	1,0
8	21,0	63,0	185,0	72,5	14,0
9	3,0	8,0	7,5	2,0	tr
10	2,0	3,5	15,0	0,5	tr
11	2,0	21,5	1240,0	14,5	95,0
12	2,0	6,5	1067,0	1,0	7,5
13	2,0	9,0	34,0	21,0	14,0
14	2,0	9,0	37,5	11,0	10,0
15	5,0	21,0	655,0	55,5	40,0
16	2,0	10,0	715,0	13,0	15,0

Cuadro 6. Manganeso extraíble en las muestras secas (mg kg⁻¹)

Suelo	NH ₄ OAc 1N; pH = 7,0	NH ₄ OAc 1N; pH = 4,8	NH ₄ OAc 1N; pH = 7,0 + 0,2% H.Q.	NaHCO ₃	DTPA
1	9,5	23,0	110,0	22,0	7,5
2	2,0	6,5	54,0	6,5	2,0
3	91,0	141,0	340,0	91,5	28,5
4	17,0	29,0	110,0	30,0	37,5
5	9,5	26,0	375,0	28,0	70,0
6	2,0	8,0	660,0	6,0	66,5
7	12,5	47,0	190,0	27,5	23,5
8	9,5	26,5	110,0	27,0	17,5
9	2,0	5,0	6,5	4,0	1,0
10	2,0	5,0	11,0	4,5	2,0
11	59,0	153,0	1173,0	98,0	121,0
12	35,0	106,0	960,0	79,0	32,0
13	8,0	25,5	40,0	11,5	12,5
14	4,0	10,0	62,5	7,5	8,5
15	11,0	41,0	935,0	52,0	95,5
16	2,0	23,0	830,0	22,5	36,5

coinciden con los mayores contenidos de materia orgánica. Se encontró una correlación positiva y altamente significativa entre esta última variable y el pH en NaF, (Fig. 2) pues los materiales amorfos reducen la mineralización (2) y forman compuestos de adición estables con la materia orgánica (16).

Se encontró una correlación negativa y altamente significativa entre el pH en NaF y la saturación de bases (Cuadro 7), lo que significa que el aumentar los contenidos de minerales amorfos disminuye la saturación de bases.

Además, el contenido de minerales amorfos se encontró relacionado en forma significativa y negativa con el Mn extraído con DTPA, en seco y en húmedo, NH₄OAc + H. Q. en seco y en húmedo (Cuadro 7, Figs. 2 y 3).

5. Efecto de la materia orgánica del suelo.

El ámbito de materia orgánica de las muestras estudiadas se encontró entre 0,45 y 23,1% (Cuadro 2). Los suelos con más alto contenido de material amorfo, fueron los que presentaron los mayores contenidos de materia orgánica, debido a la preferencia de los compuestos orgánicos de combinarse con Fe y Al (16).

Las muestras superficiales presentaron los mayores valores para esta propiedad ($\bar{X} = 11,3\%$), los cuales disminuyeron considerablemente en las muestras subsuperficiales ($\bar{X} = 6,7\%$), fenómeno explicable por la adición de compuestos orgánicos a la superficie por las plantas.

Se encontró una correlación negativa significativa entre la materia orgánica y las formas de manganeso extraídas con NH₄ OAc + hidroquinona, tanto en muestras húmedas como secas (Cuadro 7, Fig. 4), probablemente debido a que este reactivo extrae algo del elemento asociado a componentes orgánicos.

No se encontró correlación entre las otras formas de Mn y la materia orgánica, como lo informan otros investigadores (9, 11), quizá debido a que la formación de complejos Mn-ácido fúlvico no son muy estables (16).

La correlación negativa con la M.O. y estas formas de extracción de Mn, coinciden con lo encontrado por Flores (11), Fassbender y Roldán (9).

6. Los cationes de intercambio y la capacidad de intercambio catiónica efectiva.

Los cationes de intercambio y la CICE se presentan en el Cuadro 3. Para el Na, K y Mg, no se encontró correlación con las formas de Mn, además de que no se tiene información sobre la influencia que pueden tener sobre la disponibilidad de este elemento.

El calcio además de tener un efecto directo, interviene en las variaciones de pH como catión más común; como tal, se encontró correlacionado en forma positiva y significativa con el Mn extraído con NH₄OAc pH 4,8 en húmedo (Cuadro 7). Con las otras formas de Mn no se encontró correlación.

Cuadro 7. Correlaciones (valores r), y grados de significancia, entre las propiedades de los suelos y los métodos de extracción de Mn

Variable	pH KCl seco	pH NaF 2 min.	M.O.	Ca ⁺⁺	Acidez Intercamb.	CICE	Fracción gruesa	Fracción fina	
H U M E D O	NH ₄ OAc 1N pH = 7,0	0,428 NS	0,400 NS	0,039 NS	-0,056 NS	-0,155 NS	-0,003 NS	0,022 NS	0,032 NS
	NH ₄ OAc 1N pH = 4,8	0,093 NS	-0,054 NS	0,032 NS	0,527*	-0,250 NS	0,548*	-0,003 NS	0,003 NS
S E C O	NH ₄ OAc 1N pH = 7,0 + 0,2% H.Q.	-0,079 NS	0,505*	-0,509*	0,025 NS	-0,302 NS	-0,018 NS	-0,613*	0,633**
	NaHCO ₃	-0,037 NS	-0,132 NS	-0,157 NS	0,296 NS	-0,174 NS	0,302 NS	0,071 NS	-0,056 NS
S E C O	DTPA	0,003 NS	-0,520*	-0,438 NS	0,057 NS	-0,257 NS	0,050 NS	-0,307 NS	0,327 NS
	NA ₄ OAc 1N pH = 7,0	-0,216 NS	-0,401 NS	-0,216 NS	0,416 NS	-0,196 NS	0,340 NS	-0,130 NS	0,143 NS
S E C O	NH ₄ OAc 1N pH = 4,8	-0,149 NS	-0,430 NS	-0,259 NS	0,312 NS	-0,238 NS	0,254 NS	-0,273 NS	0,286 NS
	NH ₄ OAc 1N pH = 7,0 + 0,2% H.Q.	-0,204 NS	-0,577*	-0,543*	0,041 NS	-0,247 NS	-0,005 NS	-0,633**	0,654**
S E C O	NaHCO ₃	-0,242 NS	-0,476 NS	-0,328 NS	0,316 NS	-0,210 NS	0,247 NS	-0,359 NS	0,377 NS
	DTPA	-0,159 NS	-0,633**	-0,490 NS	0,239 NS	-0,278 NS	0,206 NS	-0,472 NS	0,492 NS

* = Significativa al 5% ** = Significativa al 1% NS = No significativo

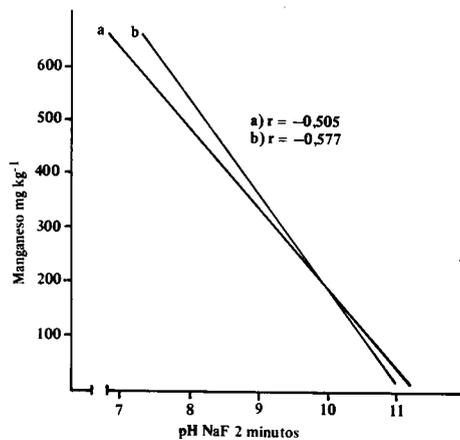
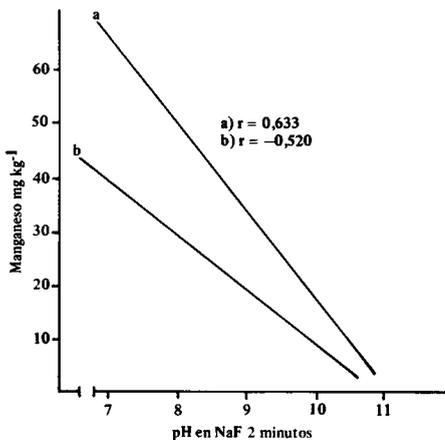


Fig. 2. Relación entre el pH en NaF a los 2 minutos y a. Mn por DPTA en seco; b. Mn por DTPA en húmedo.

Fig. 3. Relación entre el pH en NaF a los 2 minutos y a. Mn por NH₄ OAc + H.Q. en húmedo; b. Mn por NH₄ OAc + H.Q. en seco.

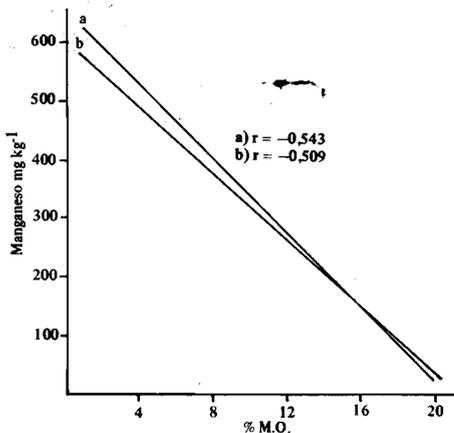


Fig. 4. Relación entre la materia orgánica y el manganeso extraído con $\text{NH}_4 \text{OAc} + \text{H. Q.}$ a. en seco y b. en húmedo.

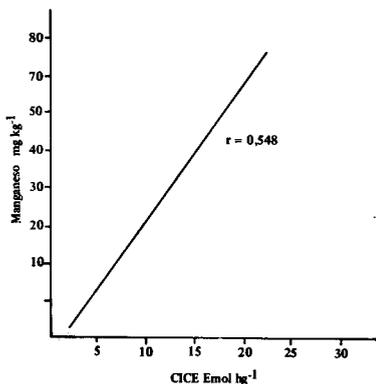


Fig. 5. Relación entre la capacidad de intercambio catiónica efectiva y el manganeso extraído con $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 4,8 en húmedo.

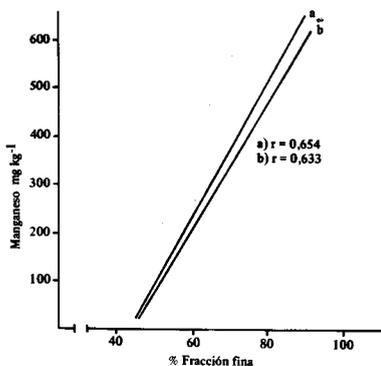


Fig. 6. Relación entre la fracción fina del suelo y el manganeso extraído con $\text{NH}_4 \text{OAc} + \text{H.Q.}$ a. en seco; b. en húmedo.

La CICE correlacionó en forma positiva y significativa con el Mn extraído con $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 4,8 en húmedo (Cuadro 7, Fig. 5). Es probable que este resultado se ligue con el del calcio, ya que el calcio correlacionó en forma positiva y altamente significativa con la CICE ($r = 0,965^{**}$, Cuadro 4).

7. Efecto de la fracción fina (arcilla + limo) y fracción gruesa (arenas) sobre los contenidos extraíbles de Mn.

Los contenidos de fracción fina y gruesa se presentan en el Cuadro 2. Se encontró que estas fracciones correlacionaron en forma significativa con el Mn extraído con $\text{NH}_4 \text{OAc} + \text{hidroquinona}$, en seco y en húmedo. Resultados similares con el Mn fácilmente reducible y la fracción fina encontraron Flores (11) y Fasbender y Roldán (9), por estar esta fracción de manganeso asociada con los sesquióxidos y las arcillas.

La correlación encontrada para la fracción gruesa fue negativa, por lo tanto fue positiva para la fracción fina. Con las otras formas de Mn no se detectó correlación como se ha informado en otras investigaciones (9) (Fig. 6).

8. Relaciones entre métodos para determinar Mn.

El método de $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 7,0 para las muestras húmedas, correlacionó en forma positiva y significativa ($r = 0,613^*$, Cuadro 8), con el de NaHCO_3 en las muestras húmedas; la ecuación de regresión que se encontró fue $Y = 5,73 + 4,13 X$.

El Mn extraído con $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 4,8 en muestras húmedas correlacionó en forma positiva y altamente significativa (1%), con el extraído con NaHCO_3 en muestras húmedas ($r = 0,859^{**}$), y con $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 7,0 en muestras secas ($r = 0,722^{**}$). También presentó correlación positiva y significativa (5%) con el $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 4,8 en seco ($r = 0,545^*$) y con NaHCO_3 en seco ($r = 0,497^*$) (Fig. 7).

Se encontró una alta correlación entre el manganeso extraído con $\text{NH}_4 \text{OAc} + \text{hidroquinona}$ en medio húmedo y seco ($r = 0,964^{**}$); la ecuación de regresión lineal que describe la relación entre estas dos variables es $Y = 25,67 + 0,99 X$.

El $\text{NH}_4 \text{OAc} + \text{hidroquinona}$ en muestras húmedas correlacionó en forma positiva y altamente significativa con los siguientes métodos



Cuadro 8. Correlación (valores r), y grados de significancia, entre los métodos empleados de extracción de Mn.

	HUMEDO					SECO				
	NH ₄ OAc 1N pH= 7,0	NH ₄ OAc 1N pH= 4,8	NH ₄ OAc 1N pH= 7,0 + 0,2% H.Q.	NaHCO ₃	DTPA	NH ₄ OAc 1N pH= 7,0	NH ₄ OAc 1N pH= 4,8	NH ₄ OAc 1N pH= 7,0 + 0,2% H.Q.	NaHCO ₃	DTPA
H	NH ₄ OAc 1N pH= 7,0	0,419 NS	-0,121 NS	0,613*	-0,086 NS	0,049 NS	0,007 NS	-0,155 NS	0,065 NS	-0,105 NS
U	NH ₄ OAc 1N pH= 4,8	-0,027 NS		0,859**	-0,101 NS	0,722**	0,545*	-0,030 NS	0,497	-0,011 NS
M	NH ₄ OAc 1N pH= 7,0 + 0,2% H.Q.			0,015 NS	0,688**	0,426 NS	0,674**	0,964**	0,734**	0,775**
E	NaHCO ₃				0,014 NS	0,606*	0,439 NS	0,069 NS	0,471 NS	0,110 NS
D	DTPA					0,283 NS	0,435 NS	0,674**	0,464 NS	0,920**
O	NH ₄ OAc 1N pH= 7,0						0,933**	0,367 NS	0,889**	0,333 NS
S	NH ₄ OAc 1N pH= 4,8							0,591*	0,970**	0,493 NS
E	NH ₄ OAc 1N pH= 7,0 + 0,2% H.Q.								0,671**	0,817**
C	NaHCO ₃									0,576*

* = Significativo al 5% ** = Significativo al 1% NS = No significativo

de extracción de Mn; con DTPA en húmedo ($r = 0,688^{**}$), con NH₄ OAc pH 4,8 en seco ($r = 0,674^{**}$), con NaHCO₃ en seco ($r = 0,734^{**}$) y con DTPA en seco ($r = 0,775^{**}$) (Fig. 8).

El Na HCO₃ en seco correlacionó con el DTPA en seco, en forma positiva y significativa ($r = 0,576^{*}$), con la siguiente ecuación de regresión $Y = 13,48 + 0,66 X$.

El método de Olsen modificado (NaHCO₃) en húmedo, correlacionó con el método NH₄ OAc pH 7,0 en seco ($r = 0,606^{*}$), encontrándose la siguiente ecuación $Y = 10,38 + 1,25 X$ ($r = 0,920^{**}$).

El Mn extraído con NH₄OAc pH 7,0 en seco correlacionó con el Mn extraído con NH₄ OAc pH 4,8 en seco ($r = 0,333^{**}$, $Y = 11,16 + 1,80X$) y con el Mn extraído con NaHCO₃ en seco ($r = 0,889^{**}$, $Y = 12,93 + 1,13X$).

La relación encontrada entre el Mn extraído con NH₄ OAc pH 4,8 en seco y el Mn extraído con NaHCO₃ en seco se describe según la ecuación $Y = 5,47 + 0,64 X$ ($r = 0,970^{**}$).

Para el NH₄ OAc + H. Q. en seco, se detectó correlación con DTPA en húmedo ($r = 0,674^{**}$), con NH₄ OAc pH 4,8 en seco ($r = 0,591^{*}$), con NaHCO₃ en seco ($r = 0,671^{**}$) y con DTPA en seco ($r = 0,817^{**}$) (Fig. 9).

Con base en las observaciones antes expuestas se recomienda el uso de muestras secas al aire y extracción con acetato de amonio con hidroquinona para estimar el manganeso disponible en condiciones similares a las de este trabajo.

Se observó también que en Turrialba, donde Palmer (14) indicó valores significativamente más altos de Mn en los forrajes, se encuentra cantidades excepcionalmente altos de Mn extraíble con acetato de amonio con hidroquinona, con valores en seco o en húmedo superiores a 1000 mg kg⁻¹ como se observa en los Cuadros 4 y 5. Como los demás métodos no reflejan esta diferencia, se estima que la extracción del Mn "activo" representa mejor la fracción disponible para pastos.

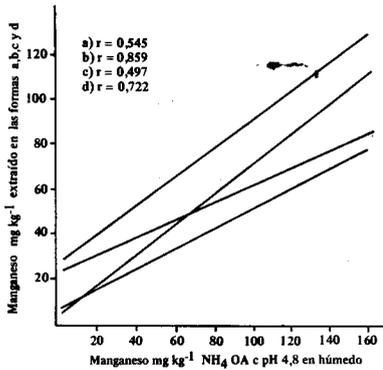


Fig. 7. Relación entre el manganeso extraído con $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 4,8 en húmedo y a. $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 4,8 en seco; b. NaHCO_3 en húmedo; c. NaHCO_3 en seco; d. $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 7,0 en seco.

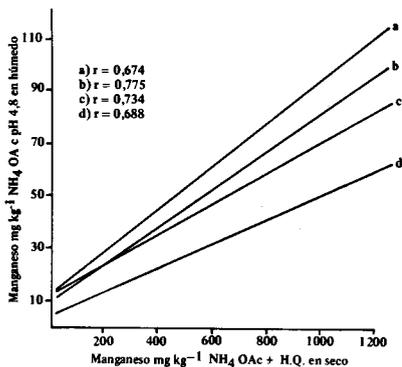


Fig. 8. Relación entre el manganeso extraído con $\text{NH}_4 \text{OAc} + \text{H.Q.}$ en húmedo y a. $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 4,8 en seco; b. DTPA en seco; c. Na HCO_3 en seco; d. DTPA en húmedo.

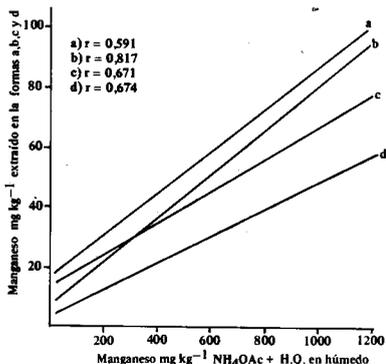


Fig. 9. Relación entre el manganeso con $\text{NH}_4 \text{OAc} + \text{H.Q.}$ en seco y a. $\text{NH}_4 \text{OAc}$ pH 4,8 en seco; b. DTPA en seco; c. Na HCO_3 en seco; d. DTPA en húmedo.

RESUMEN

Se estudió las formas extraíbles con $\text{NH}_4 \text{AcO}$ a pH 4,8 y $\text{NH}_4 \text{AcO}$ a 7,0, con solución de Olsen modificada y con $\text{NH}_4 \text{AcO}$ con hidroquinina en 8 suelos y subsuelos de praderas de la Meseta Central Oriental de Costa Rica de lugares donde se detectó exceso de Mn foliar en praderas.

Los niveles de Mn intercambiable extraídos con $\text{NH}_4 \text{AcO}$ 1N pH 7 fueron bajos ($2-21 \text{ mg kg}^{-1}$); con la solución de Olsen presentaron una parecíble variación ($0,5 - 112 \text{ mg kg}^{-1}$), similar a la ocurrida con el $\text{NH}_4 \text{AcO}$ pH 4,8 ($1 - 160 \text{ mg kg}^{-1}$). Los datos más altos y la mayor variación correspondió a la extracción $\text{NH}_4 \text{AcO} + \text{hidroquinona}$ ($8 - 1240 \text{ mg kg}^{-1}$) con muchos valores altos ($\bar{X} = 350 \text{ mg kg}^{-1}$). En Mn extraído con DTPA correlacionó significativamente con la fracción soluble en acetato de amonio con hidroquinona. Se encontró correlaciones significativas entre las propiedades determinadas por el alofán en el suelo y su contenido de Mn "activo", así como entra la fracción limo + arcilla del suelo y diferentes formas de Mn.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, F. Manganese. In Black, C. A. et al. eds. Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy, Inc. 1965 pp. 1011-1018.
- AOMINE, S. A. y KOBAYASHI, Y. Effect of allophane on the activity of some enzymes. 8 th. Internl. Congr-Soil Sci. Bucarest 3: 697-702. 1964.
- BRICEÑO, J. A. y GONZALEZ, M. A. Determinación de diferentes formas de manganeso en 20 suelos cafetaleros de Costa Rica. I. Comparación entre muestras secas y húmedas. Ingeniería y Ciencia Química 4 (1): 6-12. 1980.
- _____. Determinación de diferentes formas de manganeso en 20 suelos cafetaleros de Costa Rica. II. Comparación entre muestras de "bandas" y "entrecalle". Ingeniería y Ciencia Química 5(2): 59-60. 1981.
- CHAPMAN, H. D. Cation-exchangeable capacity. In Black, C. A. et al. eds. Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Inc. 1965. pp. 891-901 1969.

6. CHAVERRI, D. y ALVARADO, A. Cambios químicos de importancia agrícola sufridos por las cenizas del Volcán Irazú en 15 años. *Agronomía Costarricense* 3 (2): 181-182. 1979.
7. DAY, R. R. Particle fraction and particle size analysis, physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. In Black, C. A. *et al.* eds. *Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Inc. 1965. pp. 545-567.
8. DIAZ-ROMEY, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos y análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1978. 62 p.
9. FASSBENDER, H. W. y ROLDAN, J. A. Formas y equilibrio de manganeso en suelos de América Central. *Turrialba* 23(1): 30-36. 1973.
10. FIELDS, M y PERROTT, K. W. The nature of allophane in soils, part 3. Rapid field and laboratory test for allophane. *New Zealand Journal of Science* 9: 623-629. 1966.
11. FLORES, R. A. Influencia de pH, materia orgánica, fracción fina y CIC sobre el contenido de cobre, zinc y manganeso asimilados en suelos del Pacífico Sur de Costa Rica. Tesis Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, 1978. 97 p.
12. LANG, C. E. Contenido de manganeso en los forrajes del Valle de Orosi y su efecto sobre la concentración en el pelo y la reproducción de vacas lecheras. Tesis Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 1971. 54 p.
13. LINDSAY, W. L y NORWELL, W. A. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421-428. 1978.
14. PALMER, F. Evaluación del estado de nutrición mineral del ganado bovino de la provincia de Cartago. Tesis Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 1977. 131 p.
15. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1962. 107 p.
16. SCHNITZER, M y HANSEN, E. H. Organo-metallic interactions in soils: 8. An evaluation of methods for the determination of stability constants of metal-fulvic acid complexes. *Soil Sci.* 109: 333-340. 1970.
17. SCHWEIZER, S., CONRAD, H y VASQUEZ, A. Metodología para análisis de suelos, plantas y agua. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín No. 68. 1980. 32 p.
18. TOSI, J. A. Mapa ecológico de Costa Rica, San José, C. R. Centro Científico Tropical. 1969.