

HIDROTOPOSECUENCIA DE SUELOS LIGERAMENTE HIDROMÓRFICOS EN PARTIDO DE LA PLATA, ARGENTINA

B. A. GUICHON*, P. A. IMBELLONE** y J. E. GIMÉNEZ**

*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

**Instituto de Geomorfología y Suelos. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de

La Plata. Calle 3 No. 584. 1900 La Plata, Argentina. e-mail: igs@museo.fcnym.unlp.edu.ar

Abstract: Oxidation-reduction potential (Eh), iron (Fe^{2+}) and manganese (Mn^{2+}) were measured seasonally during 23 months in two Vertic Argialbolls of the Pampean Region. The soils, located along a hydro-toposequence, are non-hydromorphic (imperfectly drained) and slightly hydromorphic (poorly drained). No close relationship was found with seasonal rainfall or with relatively dry or humid periods. Eh would be closely related to daily rainfall shortly before the measurement and to soil water content during the measurement. Differences in relative contents of Fe^{2+} and Mn^{2+} and in their distribution in the profiles are ascribable to natural drainage classes.

Key words: oxidation-reduction potential (Eh), iron, manganese, hydromorphism, rainfall

Resumen: En una hidrotoposecuencia de Argialboles vérticos, ligeramente hidromórficos, de la región pampeana húmeda argentina se realizaron mediciones estacionales de potencial de óxido-reducción (Eh), hierro (Fe^{2+}) y manganeso (Mn^{2+}) a lo largo de 23 meses, relacionándolas con la dinámica pluvial. No se encontró correspondencia estricta con la pluviometría estacional ni con períodos relativamente "secos" o "húmedos". El Eh estaría estrechamente relacionado con la pluviometría semanal previa a la medición y con los días transcurridos desde la última lluvia. Las cantidades de Fe^{2+} y Mn^{2+} y su distribución en los suelos se vinculan a la clase de drenaje natural.

Palabras clave: potencial de óxido-reducción (Eh), hierro, manganeso, hidromorfismo, precipitaciones

INTRODUCCIÓN

En el concepto clásico el proceso de hidromorfia se manifiesta por características del paisaje (relieve, vegetación) como por rasgos redoximórficos en el perfil, acompañados por una condición geoquímica específica. Estas relaciones son concurrentes en

suelos donde el proceso de hidromorfia está claramente definido como los suelos hidromórficos y muy hidromórficos descritos en la bibliografía (Duchaufour, 1977). Algunos suelos de la región pampeana que están ubicados en posiciones intermedias de las pendientes muestran una variación creciente de propiedades hidromórficas hacia las posicio-

nes deprimidas del paisaje. Ellos gradan desde pedones con alguna propiedad hidromórfica, como por ejemplo la vegetación higrófila, pero carentes de rasgos redoximórficos en el perfil, hasta otros suelos con propiedades hidromórficas bien definidas.

En suelos de la "Pampa Deprimida" se ha encontrado una relación entre la presencia de rasgos hidromórficos del perfil y los valores del potencial de óxido-reducción (Eh) (Taboada y Lavado, 1986). En un trabajo previo, los dos primeros autores encontraron una relación general entre los valores de Eh y la pluviometría (Imbellone y Guichon, 1996).

En este trabajo se planteó como objetivo el registro de las posibles diferencias estacionales que podrían encontrarse en la medición del Eh y el contenido de Fe^{2+} y Mn^{2+} en dos pedones de una hidrotoposecuencia, dadas por su diferente posición en el relieve.

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El partido de La Plata se encuentra en la región pampeana húmeda. Posee relieve suavemente ondulado, con pendientes entre 0,5 y 1% y está disectado por cursos que pertenecen a las vertientes de los ríos de la Plata y Samborombón. Los suelos dominantes son Molisoles y Alfisoles, y en menor proporción Vertisoles según el sistema Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998). En las planicies de inundación y áreas de pendientes proximales se pueden desarrollar suelos bajo condiciones de hidromorfia temporaria, con o sin horizontes fuertemente eluviados y rasgos redoximórficos (Argialboles, Argiacuales y Natracualfes, INTA, 1989). La duración del período de hidromorfia está relacionada con las variaciones hídricas y posición en el relieve. La profundidad de la capa freática varía generalmente entre 1,60 y 3,00 metros.

Según el balance hídrico del suelo (Datos del Observatorio Astronómico de La Plata. 34° 55' S, 57° 57' W. Años 1909-1994) hay

una relación directa entre el estado de humedad de los suelos y la dinámica hídrica (Tabla 1). La oferta hídrica media anual que reciben los suelos es de 1029 mm. Existe un prolongado período, desde fines de otoño a mediados de primavera, con un exceso de agua de 245 mm, durante el cual el suelo se encuentra húmedo a saturado, y a veces cubierto de agua después de una lluvia intensa. Luego continúa un corto período de consumo de agua a fines de primavera, al que le sigue un período con escaso déficit (9 mm) en verano. Finalmente el período de recarga va desde principios hasta mediados de otoño. De acuerdo con este balance hídrico, los suelos bien drenados del área tienen régimen de humedad *údic*, definido de manera simplificada como aquel que corresponde a suelos con déficit de humedad inferior a 90 días acumulativos en el año (Soil Taxonomy, Soil Survey Staff, 1998).

La zona de trabajo se ubica en el curso medio del arroyo Maldonado, perteneciente a la vertiente del río de la Plata, donde se analiza una hidrotoposecuencia constituida por dos pedones clasificados como Argialboles vérticos: Pedón 1 (35°57'30" S; 57°54'25" W) A (0-27 cm); E (27-50 cm); Btss (50-70 cm); Btkss (70-97 cm); Btk (97-115 cm); BC (115-160 cm); C (160-220 cm). Pedón 2 (35°57'30" S; 57°54'25" W): A (0-35 cm); E (35-52 cm); Btss (52-70 cm); Btgss1 (70-97 cm); Btgss2 (97-140 cm); 2BCg (140-160 cm); 2C(160+ cm).

El Pedón 1 corresponde a la posición topográfica más alta, es imperfectamente drenado y está situado en la parte proximal de la pendiente, con una vegetación de pradera húmeda mezclada con especies de pastizal pampeano, de 80 cm de altura, y especies indicadoras de drenaje deficiente (*Baccharis coridifolia*, *Eringium eburneum*, *Lolium perenne*, *Cynodon dactylon*). El Pedón 2 se ubica en la planicie de inundación del Arroyo Maldonado, es pobremente drenado, con vegetación de pradera húmeda que en verano

TABLA 1. Balance hídrico de la zona de La Plata (1909-1994)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Precipitación (mm)	99	93	110	95	82	63	65	66	78	94	95	89	1029
Temperatura media (°C)	22,6	21,9	19,8	16,3	13,0	10,2	9,5	10,7	12,8	15,5	18,5	21,1	16,0
Evapotranspiración potencial (mm)	126	103	86	56	40	22	20	28	42	64	88	116	791
Evapotranspiración real (mm)	120	101	86	56	40	22	20	28	42	64	88	115	782
Almacenaje (mm)	151	143	167	200	200	200	200	200	200	200	200	173	
Déficit de agua (mm)	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	9
Exceso de agua (mm)	-	-	-	6	42	41	45	38	36	29	8	-	245

no cubre totalmente el suelo (*Cynodon dactylon*, *Eriogonum eburneum*, *Stipa sp.*, *Cyperus sp.*, *Trifolium repens*). Este ambiente es plano y en algunos años puede acumular agua en superficie, en áreas reducidas y por cortos períodos de tiempo. Los rasgos redoximórficos presentan diferente grado de expresión en este perfil. En los horizontes E y Btss se encuentran moteados y concreciones ferromangáníferas muy escasas y los horizontes Btgss1, Btgss2 y 2BCg poseen manchas de colores gley: 5Y 2,5/2(h); 5Y 2,5/2(h); 5Y 5/3(h), respectivamente. Este suelo podría definirse, según Faulkner y Patrick (1992), como transicional a la hidromorfia.

MÉTODOS

Para las mediciones de Eh se utilizó un equipo con voltímetro y amperímetro, electrodos con punta de platino (Pt) y un electrodo de calomel como referencia. Los electrodos de Pt se calibraron mediante solución de Zobell (1946), y según la ecuación sugerida por Lévy y Toutain (1979), adaptada para el electrodo de calomel: $Eh = 183 \text{ mV} + 2,4 (25^\circ - t^\circ)$. Los valores de Eh se corrigieron para pH 7 a fin de compararlas entre sí. Para efectuar la corrección se tomó el factor dE

(V)/ dpH = -0,05974 volts, establecido en trabajos previos (Bohn, 1971). Las medidas de Eh se realizaron estacionalmente "in situ" en los horizontes A, E y Btss de cada suelo, siguiendo la metodología de Vizier (1970), y tomando tres medidas en cada uno, con correcciones a pH 7.

Las muestras recolectadas en el campo para hacer las distintas determinaciones se colocaron en envases herméticos opacos a la luz y recubiertos con papel metálico. Se transportaron y almacenaron refrigeradas y las determinaciones correspondientes se hicieron dentro de las 24 horas de su extracción.

Fe^{2+} y Mn^{2+} y humedad presente se determinaron en los perfiles completos. El Fe^{2+} se determinó colorimétricamente con O-fenantrolina, previa extracción con Cl_3Al al 3% (Ignatieff, 1941, modificado por Guichon, inédito); y el Mn^{2+} por absorción atómica. La humedad presente se determinó gravimétricamente mediante secado en estufa a 105 °C hasta peso constante.

Las determinaciones de campo y laboratorio se realizaron en forma estacional entre agosto de 1994 a junio de 1996 (23 meses).

Los datos se trataron estadísticamente (Davis, 1986). Para algunas variables, se cal-

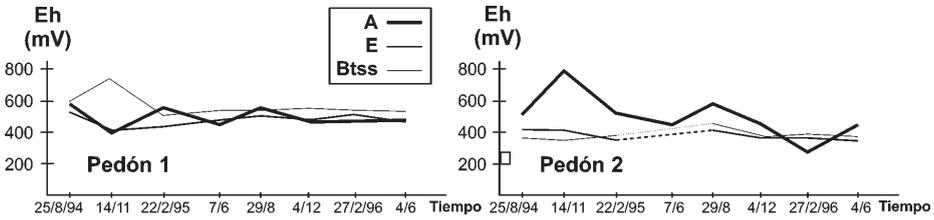


FIGURA 1. Variación de Eh en los horizontes A, E y Btss en el tiempo (En los segmentos punteados no se obtuvo el dato estacional)

cularon los parámetros estadísticos básicos y se construyeron los respectivos histogramas. Usando el programa estadístico Statistica se graficaron diagramas de dispersión combinando de a dos variables y aplicando diversas funciones (potencial, logarítmica, exponencial, etc.). A nivel indicativo, dado el escaso número de datos, se calcularon correlaciones por pares de propiedades, por horizontes, por perfil y por fecha de medición, utilizando el coeficiente de Pearson, para un $p=0,05$.

Los suelos se describieron según normas vigentes en el país (Soil Survey Division Staff, 1993) y se clasificaron según el sistema Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relaciones entre Eh y pluviometría

Como puede verse en la Fig. 1, el horizonte A del pedón pobremente drenado es el que presenta los mayores cambios en Eh a lo

largo del estudio. Esta observación fue corroborada al calcular la dispersión de los datos de Eh mediante la amplitud y la desviación standard para cada horizonte (Tabla 2). Basados en dichos cálculos, se decidió profundizar el análisis sobre el citado horizonte.

A fin de aproximar el tipo de distribución de las variables principales, se realizaron histogramas de frecuencias con los datos correspondientes. Para Eh, H% y pluviometría los mismos se distribuyeron siguiendo curvas normales asimétricas, en tanto Fe^{2+} y Mn^{2+} se pudieron asimilar a distribuciones log normales.

La curva de variaciones de Eh de la Fig. 2a evidencia dos máximos y dos mínimos. Los primeros corresponden uno a primavera y otro a invierno, y los segundos a otoño y verano. En el registro pluviométrico semanal (Fig. 2b) para los 23 meses, se pueden diferenciar estimativamente períodos más “húmedos” que otros, sobre la base de la pluviometría correspondiente a cada uno de

TABLA 2. Valores de amplitud y desviación standard para los datos de Eh de los tres horizontes superiores de cada pedón

	Pedón 1			Pedón 2		
	A	E	Btss	A	E	Btss
Amplitud	536	75	149	153	148	295
s	141	28	42	53	44	89

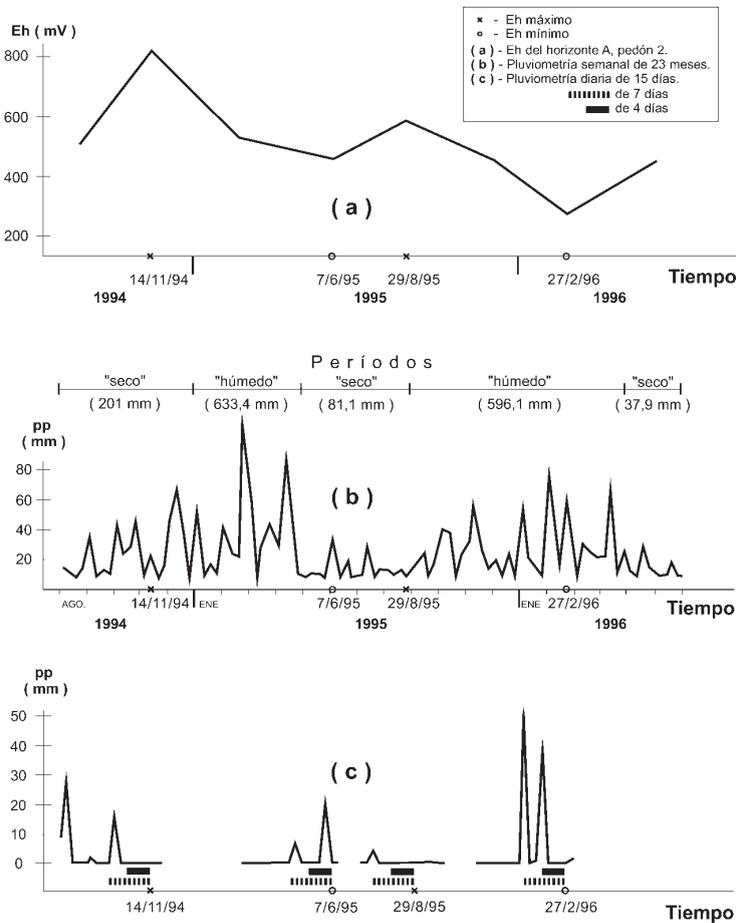


FIGURA 2. Variaciones de Eh con la pluviometría en el tiempo.

FIGURA 2. Variaciones de Eh con la pluviometría en el tiempo.

ellos, y que abarcan una cantidad variable de meses cada uno. Calificaremos a éstos períodos como “húmedos” y “secos”. Basándose solamente en la pluviometría y de una manera general, sería esperable que hacia el final de un período “húmedo” los registros de Eh fueran bajos y viceversa. Relacionando los períodos mencionados con los valores máximos y mínimos de Eh, se observa que los dos máximos están ubicados hacia el final de los

períodos “secos”. En los mínimos se encuentra que el último de ellos se corresponde con el final de un período “húmedo” y el otro se ubica al comienzo de un período “seco”. De este análisis surge que las variaciones del Eh no se ajustan estrictamente a lo esperado para los períodos “húmedos” y “secos” que se han diferenciado, aunque las medidas no fueron hechas al final de cada período.

Por lo tanto y buscando una explicación

TABLA 3. Relación entre el Eh y la precipitación en los 15, 7 y 4 días previos a la medición. Pedón 2.

Eh (mV)	máximos de Eh		mínimos de Eh		r
	primavera	invierno	otoño	verano	
	812	583	457	276	
lluvia(mm)					
15 días	44,4	6,8	26,2	127,4	-0,163
7 días	15,1	0,3	26,2	88,1	-0,538
4 días	0	0,3	19,7	37,7	-0,634

para los valores de Eh registrados, se ha graficado la pluviometría diaria acumulada para los 15 días previos a cada valor máximo y mínimo de Eh (Fig. 2c). En un trabajo anterior (Imbellone y Guichon, 1996) se estableció la correlación entre la pluviometría diaria previa a la lectura y los valores de Eh medidos. En la Tabla 3 se consignan los valores pluviométricos acumulativos durante los 15, 7 y 4 días previos a cada medida y el coeficiente de correlación entre los distintos intervalos de tiempo y el Eh correspondiente al suelo pobremente drenado (Pedón 2).

La precipitación acumulada correspondiente a los 4 días previos a cada medición explicaría mejor los valores de Eh obtenidos para el horizonte bajo análisis. Por tanto, en relación con la pluviometría, el valor del Eh en cada caso dependería de la cantidad de lluvia caída durante los 4 días previos inmediatos a la lectura. Asimismo, se encontró una correlación aceptable entre la humedad (H%) medida en el momento de la lectura y el Eh encontrado ($r_{\text{Eh/humedad}} = -0,662$, $p=0,05$, $n=9$, Fig. 4).

Comportamiento del Fe^{2+} y Mn^{2+}

En el Pedón 1 el Fe^{2+} y Mn^{2+} muestran una distribución errática en el perfil, sin guardar relación alguna entre sí ni con el Eh o la pluviometría. Las frecuencias de detección de

estos elementos casi no difieren en ambos pedones, al igual que el máximo valor obtenido para el Fe^{2+} (Pedón 1: $\text{Fe}^{2+}\text{máx} = 1,83 \text{ mg.kg}^{-1}$; Pedón 2: $\text{Fe}^{2+}\text{máx} = 2,58 \text{ mg.kg}^{-1}$). En cambio, para el Mn^{2+} el valor máximo obtenido es apreciablemente mayor para el Pedón 2 ($\text{Mn}^{2+}\text{máx} = 26,6 \text{ mg.kg}^{-1}$) que para el Pedón 1 ($\text{Mn}^{2+}\text{máx} = 4,08 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Ambos cationes se concentran más frecuentemente en los horizontes A, algunos B y los C de ambos pedones, con tenores variables en cada caso, y excepcionalmente en los horizontes E. Además, la distribución del Fe^{2+} y el Mn^{2+} en el Pedón 2 muestra una heterogeneidad dinámica, con máximos y mínimos que se acompañan entre sí desplazándose a lo largo del perfil durante los 23 meses. Su posición en cada caso posiblemente se asocie al estado de humedad correspondiente a cada fecha de medición. Sin embargo, a lo largo de toda la experiencia, solamente en la fecha correspondiente al mínimo Eh registrado y en el suelo pobremente drenado se encontró una correlación aceptable entre la concentración de Mn^{2+} y la humedad de cada horizonte ($r = 0,82$, $p=0,05$, $n=7$).

En la Fig. 4 se muestra la distribución de Fe^{2+} y Mn^{2+} en dos momentos correspondientes a las fechas de medición indicadas, seleccionadas por asociarse a un máximo y un mínimo de Eh para el horizonte A del

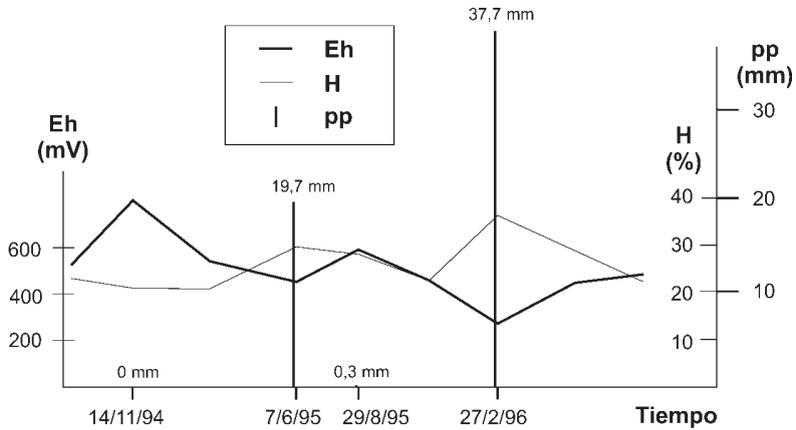


FIGURA 3. Eh, H% y pluviometría de los 4 días previos a los máximos y mínimos de Eh. Horizonte A, Pedón 2.

pedón 2, que es el perfil que presenta los rasgos redoximórficos. Para ambas fechas, el Mn^{2+} se encuentra presente en mayor frecuencia y cantidad que el Fe^{2+} . La distribución de ambos, sin embargo, varía en función de la posición del suelo en el paisaje. Se puede apreciar que aún para el Eh máximo, el Mn^{2+} se encuentra presente tanto en superficie como en profundidad, asociado posiblemente al aporte pluvial y a las oscilaciones de

la capa freática, respectivamente. En cambio, el Fe^{2+} , para esa medición está casi ausente. En el registro mínimo de Eh, y como era de esperar, aumentan las concentraciones y distribución de ambos cationes. La forma de las curvas es semejante para el suelo pobremente drenado. En el suelo imperfectamente drenado solamente se encontró Mn^{2+} , lo cual es coherente con la diferencia en la clase de drenaje natural de ambos pedones. Asimismo,

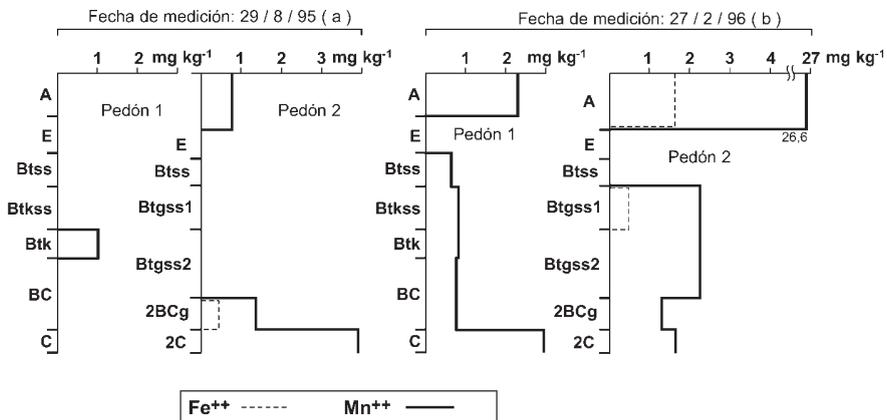


FIGURA 4. Distribución de Fe^{++} y Mn^{++} en los suelos estudiados para dos fechas de medición correspondientes a un máximo (a) y un mínimo (b) de Eh

analizando todos los datos el Mn se encuentra en solución gran parte del año, mientras que el Fe se registra sólo ocasionalmente. Esta situación coincide con lo encontrado por Vepraskas y Bouma (1976).

Para el registro mínimo de Eh, el Mn^{2+} está presente en casi todo el perfil de ambos suelos, con diferencias en concentraciones relativas. En cambio, para el registro máximo del mismo parámetro, está casi ausente en el pedón 1 pero se encuentra en la superficie y en la base del perfil del pedón 2. Si bien hay presencia de Mn soluble en los horizontes intermedios de ambos perfiles durante el registro mínimo de Eh, las mayores concentraciones se encuentran en el pedón 2 que es el que presenta los rasgos redoximórficos. En este suelo se observa una doble influencia hídrica, en superficie debida a aporte pluvial y en profundidad a oscilaciones freáticas, y que parece afectar particularmente al Mn^{2+} .

Considerando que el horizonte A del pedón 2 fue el que mostró mayores variaciones a lo largo del periodo de mediciones, se realizaron diagramas de dispersión entre sus variables utilizando el programa estadístico Statistica. Se ensayaron distintas curvas,

correspondientes a otras tantas funciones (exponencial, logarítmica, potencial, etc.) con los datos de las variables tomadas de a pares. El ajuste de los datos a dichas curvas mostró dos situaciones posibles: a) la curva incluía a la mayoría de ellos dejando fuera a dos casos correspondientes a valores extremos de Eh (276 y 850 mV); o b) incluía estos casos extremos, dejando fuera al resto. A fin de corroborar esta situación, se realizó un análisis multivariado por agrupamiento, mediante la construcción de un dendrograma que incluía las variables Eh, Fe^{2+} , Mn^{2+} , H% y la precipitación de los 4 días previos a cada una de las 9 medidas efectuadas. En el mismo (Fig. 5) se puede apreciar un fuerte agrupamiento de la mayor parte de los datos, quedando fuera los casos 2 (850 mV) y 7 (276 mV), correspondientes al mayor y menor registro de Eh, respectivamente. Consecuentemente, podríamos decir que estos casos marcan más bien la excepción que la regla en el comportamiento del citado horizonte, el cual habitualmente no se encontraría ni totalmente aireado ni bajo condiciones hidromórficas manifiestas.

No obstante lo antedicho y dado que en

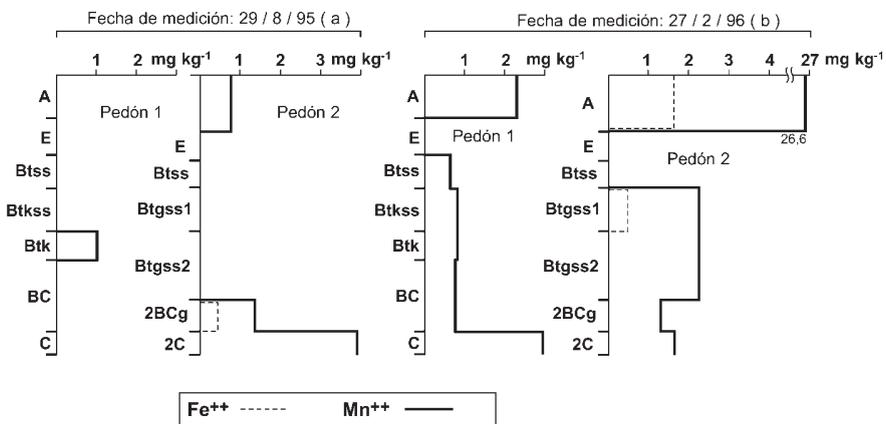


FIGURA 5. Dendrograma de agrupamiento obtenido mediante la técnica del “Ligamento Completo/City-block (Manhattan) distances” de todos los casos correspondientes a las variables Eh, Fe^{++} , Mn^{++} , % humedad y precipitación de los 4 días previos a cada medida Horizonte A, Pedón 2.

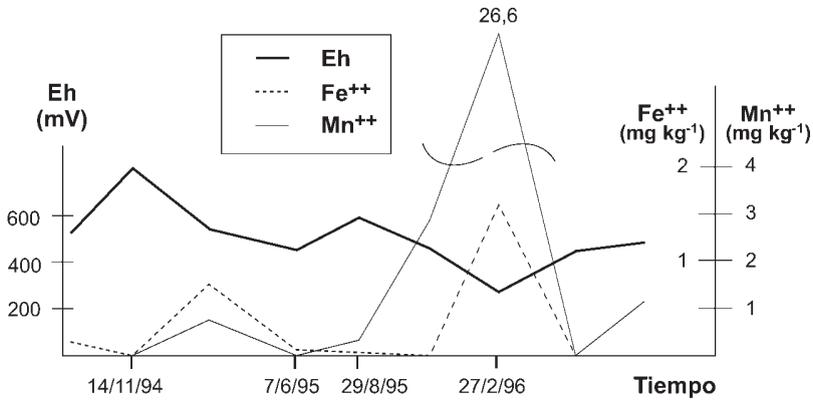


FIGURA 6. Relación de Eh con Fe²⁺ y Mn²⁺ Horizonte A, Pedón 2

la Fig. 6 se observa una concordancia moderada entre las curvas correspondientes a Eh, Fe²⁺ y Mn²⁺ del horizonte A, se calcularon algunos coeficientes de correlación para pares de variables del mismo. Los valores obtenidos son: $r_{Eh/Fe^{2+}} = -0,54$; $r_{Eh/Mn^{2+}} = -0,65$; $r_{Fe^{2+}/Mn^{2+}} = 0,87$.

En la Fig. 7 se observa la correspondencia entre los valores de precipitación acumulada en los 4 días previos a las medidas y las

concentraciones de Mn²⁺ de los horizontes A, Btgss1 y Btgss2. Las correlaciones respectivas son las siguientes: 0,82; 0,64 y 0,64. Asimismo, para el horizonte A del pedón 2 también existe buena correlación entre la precipitación acumulada de 4 días con el Fe²⁺ y con el porcentaje de humedad: 0,76 y 0,75.

Finalmente, para el horizonte C del pedón 2 hay una relación significativa entre la profundidad de la capa freática con el por-

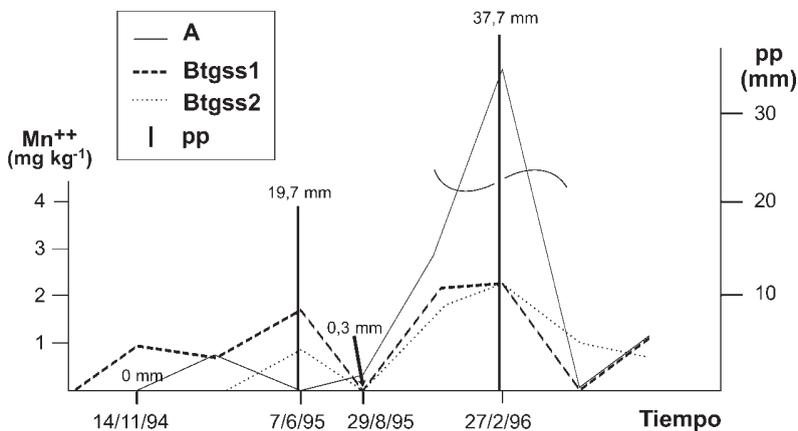


FIGURA 7. Relación entre contenidos de Mn²⁺ en algunos horizontes del Pedón 2 y la pluviometría de los 4 días anteriores a la lectura

centaje de humedad ($r = -0,98$) y el contenido de Mn^{2+} ($r = -0,70$), aunque se trata de muy pocos casos.

CONCLUSIONES

– Aun en el suelo sin rasgos hidromórficos (Pedón 1) se ha detectado la presencia de Fe y Mn solubles.

– El suelo pobremente drenado es considerado como ligeramente hidromórfico a partir del comportamiento del horizonte A. Los valores de Eh y cantidades de Fe^{2+} y Mn^{2+} indican cierta movilización de los mismos en el citado horizonte y en menor grado en otros horizontes. No existe correspondencia unívoca entre los rasgos hidromórficos en el perfil y las máximas concentraciones de Fe^{2+} y Mn^{2+} .

– El suelo imperfectamente drenado no mostró valores de Eh, Fe^{2+} o Mn^{2+} que denotaran claramente condiciones de hidromorfia a lo largo de la experiencia.

– No se registra correspondencia entre los valores máximos y mínimos de Eh con alguna estación del año en particular. A lo largo de los 23 meses, solamente en una ocasión y para el horizonte A del suelo pobremente drenado se registraron intensas condiciones hidromórficas.

– Los valores de Eh de cada medición estarían estrechamente relacionados con la cantidad de lluvia caída en los 4 días previos a la medida, para el horizonte superficial del suelo pobremente drenado.

Agradecimientos. Agradecemos al Dr. Julio C. Merodio su colaboración en la elaboración estadística de los datos.

REFERENCIAS

Aomine, S. (1992). Review of research on redox potentials of paddy soils in Japan. *Soil Sci.* 94: 6-13.

Bohn, H.L. (1971). Redox potentials. *Soil Sci.* 112: 39-45.

Davis, J.C. (1986.) *Statistics and data analysis in geology*. 2a. edición. John Wiley & Sons. New York. 646p.

Duchaufour, P. (1977). *Pédologie. 1: Pédogènese et classification. I.* . . Masson. Paris. 496 p.

Faulkner, S.P. y Patrick Jr., W.H. (1992). Redox processes and diagnostic wetland soil indicators in Bottomland Hardwood Forests. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 56: 356-365.

Ignatieff, V. (1941). Determination and behavior of ferrous iron in soils. *Soil Sci.* 51: 249-263.

Imbellone, P.A. y GUICHON, B.A. (1996). Algunas propiedades fisico-químicas relacionadas al proceso de hidromorfia. *Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Brasil. CDROM.*

INTA. (1989). *Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires 1:500.000*. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales (CIRN) . Instituto de Evaluación de Tierras. 525 p. y mapas.

Lévy, G. y Toutain, F. (1979). Aération et phénomènes d'oxydo-réduction dans le sol. En: Bonneau, M. y B. Souchier. *Pédologie. 2: Constituants et propriétés du sol*. Masson. Paris. 458 p.

Mc Intyre, D.S. (1970). The platinum electrode method for soil aeration measurement. *Adv. in Agr.* 22: 235-283.

Ponnamperuma, F.N.; Martínez, E. y Loy, T. (1966). Influence of redox potential pressure of carbon dioxide on pH value and the suspension effect of flooded soils. *Soil Sci.* 101: 421-431.

Soil Survey Division Staff. (1993). *Soil Survey Manual*. United States Department of Agriculture. Handbook No. 18. Washington D.C. 438 p.

Soil Survey Staff. (1998). *Keys to Soil*

- Taxonomy*. Natural Resources Conservation Service. 7a. ed. Washington D.C. 644 p.
- Taboada, M.A. y Lavado, R.S. (1986). Características del régimen ácuico de un Natracuol de la Pampa Deprimida. *Ciencia del Suelo* 4: 66-71.
- Vepraskas, M.J.; y Bouma, J. (1976). Model experiments on mottle formation simulating field conditions. *Geoderma* 15: 217-230.
- Vizier, J. F. (1970). Étude des phénomènes d'hydromorphie et de leur déterminisme dans quelques types de sols du Tchad. *Cah. ORSTOM. Péd.* VIII: 33-47.
- Zobell, C.E. (1946). Oxidation-reduction potential of marine sediments. *Bull. Am. Petrol. Geol.* 30: 477-513.