

## CARACTERISTICAS ANALITICAS DE UN SUELO PODSOLIZADO DE ALTA MONTAÑA

J. González y A. M. Moreno

*Dpto. de Edafología. Facultad de Farmacia. U. C. M.*

### RESUMEN

Cuando coexisten los factores ecológicos que condicionan el proceso de podsolización los suelos formados presentan características morfológicas bien diferenciadas. Sin embargo en determinadas situaciones, la modificación de algunos de los factores formadores puede frenar el proceso y no quedar reflejado en la morfología del suelo; para ponerlo de manifiesto hace necesaria la utilización de parámetros químicos.

Se estudia un perfil localizado a 1650 m de altitud, con acusada pendiente, desarrollado sobre areniscas, en clima húmedo y frío, bajo vegetación de brezal y sin morfología típica de podsol.

En este trabajo se analizan, además de las características generales, reacción del suelo, textura, relación C/N, las variaciones que experimenta la capacidad de cambio al realizar diferentes tratamientos (a distintos pH y temperaturas), la naturaleza de la fracción orgánica, así como las formas de hierro existentes (libre, complejo a la materia orgánica y amorfo); estos componentes reflejan los efectos de un proceso de podsolización, degradativo, que puede ser incipiente o estar frenado por alguna causa (pendiente acusada), que es bastante común en zonas con las mismas condiciones ecológicas.

Palabras clave: Podsolización. Alta montaña. Complejos órgano-metálicos.

### SUMMARY

#### ANALITICAL CHARACTERISTICS OF A HIGH MOUNTAIN PODZOLIZED SOIL

When ecological factors determining the "podzolization" process coexist, the soil formed presents clearly distinctive morphological characteristics. Nevertheless, in certain situations, modification of one of the formative factors could stop the process and not be evidenced in the soils's morphology; utilization of chemical parameters becomes necessary to manifest this.

A profile located at an altitude of 1650 m, of critical gradient, evolved over sandstone, in humid and cold climate, under heath-grove vegetation, and without typical "podzol" morphology is studied.

This paper analyzes general characteristics, soil reaction, texture, C/N relation, variations that the change capacity experiences while carrying out different treatments (at different pH levels and temperatures) and the nature of the organic fraction, as well as the existing forms of iron (free, complexed to the organic material and amorphous);

these components reflect the effects of a "degradative podzolization process" that can be incipient or stopped by some cause (critical gradient); that is very common in areas of the same ecological conditions.

Key words: Podzolization. High mountain. Metal-organic complexes.

## INTRODUCCION

Los factores ecológicos que condicionan la formación de suelos podsolizados en clima templado, así como las causas que aceleran la podsolización, han sido objeto de estudio de numerosos autores; en un trabajo anterior González Parra y Moreno García (1988) realizan una revisión bibliográfica de las zonas de España afectadas por este proceso: en la mayoría de ellas son acciones antrópicas (talas de bosques naturales) junto a ciertos factores estacionales, lo que deter-

mina la génesis de estos suelos que se presentan más o menos diferenciados morfológicamente.

En este trabajo se analizan las características de un perfil podsolizado, proceso que no se refleja en la morfología, que representa el tipo de suelo más extendido en zonas montañosas con unas condiciones ecológicas determinadas que favorecen esta evolución, como son los puertos de Leitariegos, Puerto Ventana, Peña Ubiña, etc.

## CARACTERISTICAS DE LA ZONA

La zona de estudio está situada en el límite entre León y Asturias; está constituida por areniscas del Carbonífero Superior, al este de una importante fractura con dirección NW-SE que da lugar a la depresión morfológica de Puerto Ventana; esta fractura pone en contacto dichas areniscas (que en otros puntos alternan con conglomerados, pizarras y capas de carbón) con otra unidad carbonífera más antigua, formada por pizarras con capas de carbón y algunas intercalaciones de caliza y areniscas (formación de San Emilian).

Por la falta de estaciones meteorológicas próximas a la toma de muestras, se ha considerado que la de Leitariegos (Oviedo) a 1525 m

de altitud, podría dar una idea de la termometría y balance hídrico, aunque con ciertas reservas, por presentar la zona muestreada acusada topografía y mayor altitud, factores que pueden dar lugar a variaciones en las características climáticas. La temperatura media de esta estación es de 5 °C y la precipitación de 1739 mm anuales; según la gráfica ombrométrica de Gausson no existe ningún mes seco. Hay superávit de agua desde septiembre a junio, inclusive, según los valores para el índice de humedad siempre superiores a 0.5; julio y agosto (con  $I_h = 1$ ) están en el límite más bajo de los meses considerados húmedos.

En Puerto Ventana los bosques

de abedules constituyen el límite superior del arbolado caducifolio, a unos 1600 m, sobre suelos pobres en bases formados a partir de materiales ácidos; en sustitución de esta vegetación existe un matorral acidófilo formado por *Calluna vulgaris*,

*Erica arbórea*, *Erica cinerea*, etc. (Rivas Martínez *et al.*, 1971). Los bosques de hayas ocupan gran extensión en la vertiente septentrional pero apenas existen en la meridional, debido probablemente a talas.

## MATERIAL Y METODOS

Se han analizado las muestras de un perfil situado en Puerto Ventana, cuyas características se describen a continuación:

Localidad: Torrestio (León).  
 Altitud: 1650 m.  
 Orientación: Oeste.  
 Inclinación: 35 %.

Vegetación: Brezal de *C. vulgaris*.

Material original: Areniscas.

Forma del terreno circundante: Montañoso.

Nota: En la superficie del suelo falta la acumulación de restos vegetales existentes en zonas de menor inclinación.

### Descripción morfológica

Horiz.	Prof. (cm)	Observaciones
A	0 - 9	Color negro (10 YR 2/1) en húmedo y gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco. Textura franco arenosa. Estructura débil granular fina, agregados de tamaño medio poco consistentes; gran cantidad de granos minerales sueltos y limpios, de color blanco. Raíces muy gruesas y otras más finas que profundizan.
AB	9 - 20	Color pardo gris rojizo (5 YR 3,5/2) en húmedo y gris oscuro (10 YR 4/1) en seco. Textura franco arenosa. Estructura débil granular media. Abundancia de granos minerales sueltos de color blanco, medianamente limpios. Presencia de agregados.
Bs	20 - 40	Color pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo, pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4) en seco. Textura franco arcillo arenosa. Estructura moderada granular media. Trozos de roca incluidos de naturaleza pizarrosa que se parten con facilidad. Pocos restos vegetales. Agregados poco consistentes, menor proporción de granos minerales sueltos.
B/C	40 - 80	Color pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en húmedo y pardo grisáceo (10 YR 5/2) en seco. Textura arenosa. Estructura débil granular fina. Gran cantidad de roca incluida (arenisca). Los granos minerales sueltos aparecen rodeados de una película.
R		Arenisca.

Los métodos analíticos se han realizado según Guitián y Carballas, (1976). El pH en NaF se ha medido a los dos minutos de añadirse la solución.

La capacidad de cambio cariónico se ha determinado con acetato amónico normal al pH del suelo y a pH 7 sobre muestra calentada a 200 °C y sobre muestra sin dicho tratamiento.

El hierro se ha determinado por espectrofotometría de absorción atómica. El hierro total tras ataque ácido en compresor PHAXE; el hierro libre se extrajo con el reactivo de Tamm (oxalato ditionito). Para la extracción del hierro amorfo se ha seguido el método de Ségalen (1968). El hierro complejado con la materia orgánica se ha extraído con tetraborato sódico tamponado con hidró-

xido sódico a pH 9.7 (Bruckert y Souchier, 1975) y con pirofosfato sódico a pH = 7 y pH = 9.8.

El fraccionamiento de la materia orgánica se ha llevado a cabo según Duchaufour y Jacquín (1963) con las modificaciones de Carballas y Guitián (1967) determinando el C de las siguientes fracciones: libre (sobrenadante en bromoformo-alcohol, d: 1.8), soluble (en dicha mezcla) y fracción ligada, mayor densidad de 1.8; esta última se sometió a triple fraccionamiento, extrayendo con  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  a pH = 7 (fracción I), a pH = 9.8 (fracción II), fracciones en las que se determinó también el Fe complejado; y con NaOH a pH = 12 (fracción III), determinando también el C en el residuo no extraíble.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

Suelo localizado a 1650 m de altitud, desarrollado sobre areniscas, en un clima muy húmedo y frío, bajo vegetación de brezal.

Presenta una textura franco arenosa en superficie (Tabla 1), y existe incremento de arena gruesa en el horizonte más profundo por influencia del material original. En el horizonte Bs se observa un aumento de arcilla debido a la naturaleza de las rocas incluídas en este horizonte (pizarras).

La reacción del suelo es francamente ácida: pH = 3.4 en superficie y aumenta ligeramente al profundizar. Los horizontes Bs y B/C alcanzan los máximos valores de pH en NaF (próximos a 10) lo que indica la existencia en ellos de materiales amorfos. La materia orgánica

se incorpora bastante en el perfil, presenta valores de razón C/N anormalmente bajos, si se tiene en cuenta el tipo de vegetación, la acidez y las condiciones climáticas existentes.

En la Tabla 2 se expresan los valores de la capacidad de cambio determinada a pH 7 (T), al pH del suelo ( $T_2$ ) y después de calentar a 200 °C ( $T_3$ ), con cualquier tratamiento la pérdida de capacidad de cambio se hace más acusada en el horizonte Bs, observándose que el mayor porcentaje en cargas variables ( $T-T_2$ ) 100/T se presenta en el horizonte Bs correspondiendo con una mayor pérdida de la capacidad de cambio después del calentamiento a 200 °C, ( $T-T_3$ ), lo que indicaría la acumulación en este horizonte de componentes inorgánicos amorfos (oxihidróxi-

TABLA 1

*Análisis granulométrico y determinaciones analíticas.*

Hor.	Prof. (cm)	A. gruesa	A. fina	Limo	Arcilla	pH (agua)	pH (KCl)	pH NaF	% C	% M.O.	% N	C/N
A	0 - 9	46.8	24.3	15.3	13.6	3.43	2.72	6.97	7.2	12.4	0.53	13.6
AB	9 - 20	48.3	23.8	14.0	13.8	3.53	3.03	7.92	2.7	4.6	0.27	10.0
Bs	20 - 40	43.5	25.6	8.8	22.1	3.99	3.52	9.55	2.2	3.4	0.21	9.5
B/C	40 - 80	58.7	27.8	6.4	7.0	4.43	4.06	10.81	1.0	1.7	0.10	10.0

TABLA 2

*Capacidad total de cambio ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ).*

Horz.	T	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T - T <sub>2</sub>	T - T <sub>3</sub>	$\Delta_2 \times 100/T$	$\Delta_3 \times 100/T$
A	19.9	13.3	18.2	6.6	1.7	33.2	8.5
AB	12.1	7.6	8.2	4.5	3.9	37.2	32.2
Bs	17.2	8.5	7.7	8.7	9.5	50.6	55.2
B/C	6.3	3.9	4.4	2.4	1.9	38.1	30.2

T = Capacidad de cambio catiónica a pH 7.

T<sub>2</sub> = Capacidad de cambio catiónica al pH del suelo.T<sub>3</sub> = Capacidad de cambio catiónica a pH 7 después de calentar a 200°. $\Delta_2 = T - T_2$ . $\Delta_3 = T - T_3$ .

dos) además de minerales de la arcilla.

Los horizontes A y AB, con mayor proporción de materias orgánica, se han sometido a la separación densimétrica, determinándose el C en las distintas fracciones; se han expresado los porcentajes con respecto al C total (Tabla 3), y en los dos horizontes las relaciones C ligado/C total son similares y bajas, lo que da idea del bajo grado de humificación; la fracción libre es mayoritaria, algo superior en el horizonte superficial. A partir del C ligado se han obtenido con reactivos alcalinos y a diferentes valores de pH, las fracciones I, II y III, siendo los porcentajes de extracción el 39% y 70% en los horizontes A y AB respectivamente, correspondiendo la fracción no extraíble a los distintos tipos de humina; la relación C de la fracción I al C ligado, es más elevada en el horizonte AB, debido a una mayor proporción de componentes menos polimerizados y con mayor movilidad.

El contenido de  $Fe_2O_3$  de la fracción I es superior al de la fracción II en los horizontes A y AB (Tabla 4), fundamentalmente en este último. Las proporciones de C extraído con pirofosfato son semejantes, aumentando la relación  $C_{\text{pirofosfato}} \times 100 / C_{\text{total}}$  en el horizonte AB. La relación molar C/Fe extraídos con pirofosfato pone de manifiesto un aumento de hierro respecto al carbono, que podría justificarse por una biodegradación de compuestos organometálicos después de su emigración y por la movilización de hierro no complejo con materia orgánica.

Los valores de la relación  $Fe(mg)/$

$/C(g)$  extraídos con pirofosfato a partir del C ligado, indican asimismo, acumulación de Fe en el horizonte AB, consecuencia en parte de la inmovilización de complejos organometálicos que confirmaría su carácter podsólico. El valor de esta relación da idea de la solubilidad de los complejos (Bruckert y Metche, 1972); para valores inferiores a  $50 \text{ mg g}^{-1}$ , el hierro estaría en forma soluble y a partir de  $400 \text{ mg g}^{-1}$  tendría lugar la precipitación de los complejos, más intensa a medida que el valor de la relación aumentase.

Los valores de  $Fe_2O_3$  extraído con tetraborato-NaOH del suelo total (Tabla 5), presentan un incremento al profundizar, mayor en el horizonte Bs. Los porcentajes de C extraído con el mismo reactivo en relación al C total, aumentan con la profundidad, siendo más elevado en Bs. La relación molar C/Fe extraídos con tetraborato disminuye en horizontes espódicos, a pesar del incremento en Bs del carbono extraído con este reactivo, que confirmaría la posibilidad de movilización de hierro en forma diferente a la complejada con materia orgánica.

La relación  $FeNa (mg)/CNa (g)$  también presenta los valores más elevados en Bs, consecuencia de la precipitación de formas amorfas de Fe y de los complejos más móviles, favorecida por la mayor proporción de arcilla, el elevado contenido en hierro y ligero aumento de pH que se observan en este horizonte.

En la Tabla 6 se expresan los porcentajes de hierro amorfo obtenido por el método de Ségalen interpretando las curvas de solubilidad según Lamouroux y Quantin (1973),

TABLA 3

*Porcentajes de carbono de las distintas fracciones densimétricas y relaciones al C total. Porcentajes de carbono de las fracciones I, II y III y relaciones al C ligado.*

Hor.	Sol.	Lib.	Lig.	Sol×100/Tot.	Lib×100/Tot.	Lig×100/Tot.	Fr. I	Fr. II	Fr. III	No Ext.	I×100/Lig	II×100/Lig.	III×100/Lig.	Ext×100/Lig.
A	0.72	5.13	1.37	10.0	71.0	19.0	0.22	0.18	0.13	0.84	16.1	13.1	9.6	38.7
AB	0.55	1.66	0.47	20.5	61.9	17.5	0.23	0.07	0.03	0.14	49.1	15.2	6.2	70.2

Sol.: C soluble en bromoformo-etanol ( $d = 1.8$ ). Lib.: C libre, sobrenadante en bromoformo-etanol. Lig.: C ligado, fracción más densa de 1.8. Fr. I y Fr. II: Fracciones de C ligado extraído con  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  a pH 7 y 9.8. Fr. III: Fracción de C ligado extraído con NaOH a pH 12. Ext.: C extraído del C ligado (Fr. I + Fr. II + Fr. III). No Ext.: C no extraído del C ligado.

TABLA 4

*Hierro y carbono orgánico extraídos con pirofosfato y relaciones.*

Hor.	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ Fr. I	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ Fr. II	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ p	$\text{Fe}_p$ mmol $\text{kg}^{-1}$	$C_p$	$C_p \times 100/\text{Ct}$	$C_p/\text{Fe}_p$	$\text{Fe}_p$ (mg)/ $C_p$ (g)
A	12.68	5.75	18.43	37	333	5.5	9	515
AB	21.	9.00	30.93	62	250	11.2	4	1153

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ p: contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de las fracciones I y II.  $\text{Fe}_p$ : contenido en Fe de las fracciones I y II.  $C_p$ : contenido en C de las fracciones I y II. Ct: contenido total de carbono.

TABLA 5

*Hierro y carbono orgánico extraídos sobre muestra total con tetraborato y relaciones.*

Hor.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na	Fe <sub>Na</sub>	C <sub>Na</sub> mmol kg <sup>-1</sup>	C <sub>Na</sub> × 100/Ct	C <sub>Na</sub> /Fe <sub>Na</sub>	Fe <sub>Na</sub> (mg)/C <sub>Na</sub> (g)
A	27	55	1516	25	27	169
AB	55	110	1108	49	10	462
Bs	145	290	1341	73	4	1011

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Na: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> extraído con tetraborato sobre muestra total.

Fe<sub>Na</sub>: Fe extraído con tetraborato sobre muestra total.

C<sub>Na</sub>: Carbono extraído con tetraborato sobre muestra total.

Ct: Carbono total.

correspondiendo el valor más elevado al horizonte Bs, 5,07%.

Los porcentajes de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, total, libre, complejo a materia orgánica (extraído con tetraborato), amorfo y ligado fundamentalmente a arcillas (Tabla 7), alcanzan los valores más elevados en el horizonte Bs, siendo en B/C algo superior el correspondiente a formas cristalinas. Las relaciones entre porcentaje de hierro amorfo con relación a hierro total y a hierro libre, presentan valores máximos en el horizonte Bs. El porcentaje de hierro complejo por la materia orgánica en relación al libre, presenta los valores más ele-

vados en los horizontes AB y Bs, 24% y 38% respectivamente, lo que indicaría un carácter espódico más acusado en Bs que en AB, superándose en ambos casos el 20% propuesto por Bruckert y Souchier (1975) como característica de horizontes espódicos.

Las condiciones ecológicas de la zona, material litológico, clima y vegetación, son apropiados para que tenga lugar de forma generalizada el proceso de podsolización y se manifieste en la morfología de los suelos por la existencia de horizontes de lavado y acumulación.

## CONCLUSIONES

En el suelo estudiado la existencia de un horizonte Bs, no diferenciado morfológicamente, se pone de manifiesto por las siguientes características químicas:

Mayor proporción de cargas variables (formas amorfas) puestas en evidencia por la pérdida de capacidad de cambio al determinarla al pH del suelo y después de calentar a 200 °C.

TABLA 6

*Porcentajes de hierro amorfo (en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) extraído, y velocidad de disolución.*

		1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	4. <sup>a</sup>	5. <sup>a</sup>	6. <sup>a</sup>	7. <sup>a</sup>	8. <sup>a</sup>
Hor. AB	Extraído	1.97	0.37	0.66	0.23	0.17	0.17	0.26	0.14
	Acumulado	1.97	<u>2.34</u>	3.00	3.23	3.40	3.57	3.83	3.97
	V. disol.	49.62	9.31	16.62	5.79	4.28	4.28	6.54	3.52
Hor. Bs	Extraído	4.35	0.72	0.83	0.29	0.20	0.20	0.27	0.14
	Acumulado	4.35	<u>5.07</u>	5.90	6.19	6.39	6.59	6.86	7.00
	V. disol.	62.14	10.28	11.85	4.14	2.85	2.85	3.85	2.00

TABLA 7

*Distribución de hierro en las distintas formas (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y relaciones entre ellas.*

Hor.	T	L	Fe <sub>Na</sub>	A	R	Cr	Lg	A × 100/T	A × 100/L	Fe <sub>Na</sub> × 100/T	Fe <sub>Na</sub> × 100/L
	g 100 g <sup>-1</sup>										
A	2.95	2.54	0.44	1.99	0.41	0.55	1.55	67	78	14	17
AB	3.74	3.68	0.88	2.34	0.06	1.34	1.46	62	63	23	24
Bs	6.97	6.10	2.33	5.07	0.87	1.03	2.74	73	83	33	38
B/C	5.17	3.94	0.48	1.18	1.23	2.76	0.70	23	30	9	12

T: Total

L: Libre (oxalato - ditionito).

Fe<sub>Na</sub>: Complejado a la materia orgánica (extraído con Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>).

A: Amorfo (Ségalen)

R: Reticular (T - L).

Cr: Cristalino (L - A).

Lg: Ligado a arcillas (A - Fe<sub>Na</sub>).

Mayor contenido de hierro amorfo.

Mayor cantidad de hierro complejo a materia orgánica, extraído con tetraborato a partir del suelo total.

Mayor valor de la relación Fe extraído con tetraborato a Fe libre.

El incremento de pH, arcilla y hierro total en Bs contribuirían a la inmovilización de complejos organometálicos. Esta precipitación tiene lugar con menor intensidad en el horizonte AB, como se deduce de la cantidad de Fe extraído con pirofosfato de la fracción ligada, y del valor de la relación Fe extraído con tetraborato del total del suelo, a Fe libre, que es ligeramente superior al 20%.

El proceso edafogenético ha sido por tanto, consecuencia de la movilización de formas amorfas y de complejos organometálicos con insolubilización y acumulación en los horizontes AB y Bs. No se puede destacar un incremento de amorfos que puede haberse originado por la alteración in situ producida por la materia orgánica sobre los minerales.

La acusada pendiente es un factor que reduce la penetración de agua en el suelo y por lo tanto la movilización de complejos, pudiendo ser una causa importante de que no se presente el horizonte de lavado, que es frecuente en la zona cuando la inclinación es menor, y que junto al horizonte espódico constituyen las características morfológicas fundamentales de suelos podsolizados.

## BIBLIOGRAFIA

- BRUCKERT, S. et METCHE, M., 1972. Dynamique du fer et de l'aluminium en milieu podzolique: Caractérisation des complexes organo-métalliques des horizons spodiques. Bull. ENSAIA., 14: 263-275.
- BRUCKERT, S. et SOUCHIER, B., 1975. Mise au point d'un test de différenciation chimique des horizons cambiques et spodiques. C. R. Acad. Sci. París. t., 280: 1361-1364.
- CARBALLAS, T. y GUITIAN, F., 1967. Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo con pirofosfato-sulfato sódico. An. Edafol. Agrobiol., 26: 1143-1146.
- DUCHAFOUR, Ph. et JACQUIN, F., 1963. Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlée par l'électrophorèse. Ann. Agron., 14: 885-918.
- GONZALEZ PARRA, J. y MORENO GARCIA, A. M., 1988. Degradación de suelos por causas biológicas. Suelos afectados por podsolización en España. Ecología, 2: 79-89.
- GUITIAN, F. y CARBALLAS, T., 1976. Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- LAMOUREUX, M. et QUANTIN, P., 1973. Utilisation des courbes de vitesse de dissolution dans le méthode cinétique de Ségalen. Cah. ORSTOM. Serie Pédol. XI, 1: 3-14.
- RIVAS-MARTINEZ, S., IZCO, J. y COSTA, M., 1971. Sobre la flora y la vegetación del macizo de Peña Ubiña. Trab. Dep. Botánica y F. Veg., 3: 47-123.

SEGALEN, P., 1968. Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxides tropicaux. Cah ORSTOM, Sér. Pédol. VI, 1: 106-126.

*Recibido de la Comisión: 21-5-91.  
Aceptado para publicación: 9-10-91.*