

## Interpretación genética de los rasgos micromorfológicos de suelos con horizonte textural formados sobre calizas en Galicia

M. T. TABOADA CASTRO & B. M. SILVA HERMO

*Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Farmacia  
Universidad de Santiago. 15706 Santiago de Compostela. España*

### Resumen

TABOADA CASTRO, M. T. & SILVA HERMO, B. M. (1995). Interpretación genética de los rasgos micromorfológicos de suelos con horizonte textural formados sobre calizas en Galicia. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 5: 161-172

El estudio micromorfológico de suelos con horizonte B textural, desarrollados sobre calizas en Galicia, y clasificados por la FAO (1989) como Phaeozem lúvico, Alisol férrico y Luvisol crómico, ha permitido identificar los siguientes procesos formadores de los mismos: argiluvación, que generalmente corresponde a un paleoproceso, fenómenos de arrastre lateral, movilización de sesquióxidos relacionados esencialmente con condiciones de hidromorfía, edafoturbación intensa, transformaciones pseudomórficas y actividad muy marcada de la edafofauna.

**Palabras clave:** Micromorfología, suelos sobre caliza, horizonte B textural, Galicia, España.

### Abstract

TABOADA CASTRO, M. T. & SILVA HERMO, B. M. (1995). Genesis of soils with textural B horizons over limestone as inferred from micromorphology. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 5: 161-172

Micromorphological study of soils with textural B horizons over limestone (Luvic Phaeozem, Ferric Alisol and Chromic Luvisols on the FAO classification) in Galicia (northwest Spain) indicates that the principal formative mechanisms have been a) clay illuviation (generally in the distant past), b) lateral leaching, c) mobilization of sesquioxides (basically as a result of hydromorphic processes), d) intense pedoturbation, e) pseudomorphous transformations and f) the activity of the soil fauna.

**Key words:** Micromorphology, soils over limestone, textural B horizon, Galice (N.W. Spain).

### INTRODUCCION

El propósito de este trabajo es realizar un estudio micromorfológico de algunos suelos formados sobre calizas, cuya característica principal consiste en que presentan un horizonte B profundo con un fuerte incremento de arcilla con respecto al horizonte A. Se describen y sintetizan las características de los diversos horizontes y se discute la interpretación genética de los rasgos edáficos encontrados.

Estos suelos, con horizonte B textural bien desarrollado, constituyen el grupo de suelos más

evolucionados de todos los encontrados sobre calizas en Galicia. Estas rocas pertenecen a la formación de Cándana, constituida por calizas y dolomías marmóreas y compactas (IGME, 1981), o a la de Vegadeo, formada por una alternancia de pizarras, calizas masivas y dolomías junto con areniscas ricas en carbonatos ó calcoesquistos en algunas zonas (IGME, 1979, 1980).

Su distribución está condicionada fundamentalmente por la topografía, encontrándose en las escasas zonas llanas ó en posiciones de ladera, restringiéndose en este caso a los puntos de mayor estabilidad, tales como las cobijaduras

de las rocas, donde es posible el desarrollo profundo de los suelos por permitir la acumulación de los productos de la alteración. En las posiciones llanas estos suelos se usan para el cultivo de forrajes, mientras que en zonas de mayor pendiente son suelos de monte con una vegetación de encinar con *Ulex*, *Sarothamnus*, *Helleborus* y gramíneas.

Están sometidos a precipitaciones elevadas (1358-2042 mm anuales) y, en general, a altos valores de infiltración (862-1558 mm anuales) siendo el régimen de humedad údico; la temperatura media anual varía entre 7.9 y 11.7°C, resultando un régimen térmico méxico.

## MATERIAL Y METODOS

Se seleccionaron cuatro perfiles (nº 10, 11, 12 y 13), clasificados por la FAO (1989) como Phaeozem lúvico (perfil 10), Luvisol crómico (perfiles 11 y 12) y Alisol férrico (perfil 13). Se sitúan en la parte este de la provincia de Lugo, en Becerreá, Lousada (Sierra del Caurel), Sarria y Meira respectivamente, a altitudes comprendidas entre 500 y 800 m. El perfil 11 se asienta sobre calizas de la formación de Cándana y los demás sobre calizas de la formación de Vegadeo.

Se han realizado láminas delgadas de los diferentes horizontes impregnando las muestras con una resina poliéster (extractil 2195). Para la descripción microscópica del corte delgado se siguió la terminología de BULLOCK *et al.* (1985), estableciendo el límite G/F (material grueso a fino) en 10 mm. Las determinaciones cuantitativas se efectuaron por recuento de puntos; se utilizó un ocular dotado de un retículo integrador de 25 puntos, contando un total de 1000 puntos por muestra. Los porcentajes se han calculado en % de área de la sección.

## RESULTADOS

### Características generales de los suelos

Las descriptivas, datos analíticos y mineralógicos aparecen en trabajos anteriores (TABOADA *et al.*, 1993, 1992 c), por lo que aquí

sólo presentaremos un resumen de las características más relevantes (Tabla I y Fig. 1).

Los perfiles estudiados presentan horizontes A de colores parduzcos, de espesor (12-32 cm) y contenido en materia orgánica (2-11%) muy variables. Lo más destacable en la morfología de estos suelos es la presencia de horizontes B profundos, de estructura bien desarrollada y coloraciones intensas (matices parduzcos en los perfiles 10 y 11, ó rojizos en el 11 y 13), que poseen un enriquecimiento en arcilla con relación a los A. Estos horizontes B pasan bruscamente a la caliza subyacente.

Están todos descarbonatados e, incluso en el perfil 13, el complejo de cambio se encuentra prácticamente descalcificado (Fig. 1). Este último posee pH ácido y acusada acidez extraíble (del orden de  $5 \text{ cmol } ^+ \cdot \text{Kg}^{-1}$  en el horizonte B); por el contrario en los demás, el pH en agua es ligeramente superior a la neutralidad y cercano a ésta en KCl; el complejo de cambio está en un estado incipiente de desaturación y el calcio es el catión principal. Destaca en todos ellos la abundancia de hierro libre, que se encuentra sobre todo en forma cristalina formando parte de las fracciones de mayor tamaño. En la arcilla predominan los minerales heredados, siendo la illita el componente mayoritario y sólo en ocasiones destacan los minerales procedentes de la transformación de las micas: interestratificados illita-vermiculita y vermiculita; como minerales de neoformación aparece caolinita, aunque siempre en un porcentaje minoritario. En la arena los minerales primarios, cuarzo y feldspatos, son siempre las especies mayoritarias de la fracción ligera y los óxidos de hierro: magnetita, goethita y/ó hematites, los de la densa (TABOADA *et al.*, 1992 b, c).

### Características micromorfológicas

Las principales características micromorfológicas se resumen en la Tabla II, y se comentan globalmente para cada tipo de horizonte.

#### Horizontes A

Los horizontes A muestran generalmente una *microestructura* compleja formada por agregados granulares, migajosos y esponjosos;

TABLA I. Características morfológicas de los perfiles

P. Hor.	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Otras características
		húmedo	seco			
10	Ah1	0-15	7,5YR3/3	7,5YR4/4	fl mig. f.	A: Raíces muy abundantes. Ligeramente adherente, ligeramente plástico. Pocas piedras y gravas coluviales de caliza, esquistos y cuarcita; no calcáreo; límite difuso.
	Ah2	15-32	7,5YR3/3	7,5YR4/4	fa mig. f.	B: Adherente, plástico, friable en húmedo. Frecuentes gravas de esquistos y pocas de cuarcita. No calcáreo. Límite difuso entre subhorizontes y neto con la caliza.
	Bt1	32-55	7,5YR4/6	10YR6/6	a gran. g.	
	Bt2	55-80	7,5YR4/6	10YR6/6	a gran. g.	
11	A	0-12	5YR4/4	5YR5/4	fl mig. m.	A: Abundantes raíces. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable y blando. Pocas piedras y gravas coluviales de caliza; ligeramente calcáreo; límite gradual.
	Bt1	12-40	5YR5/8	5YR6/8	fal mig. m.	B: no calcáreo; muy pocas raíces gruesas en Bt1 y Bt2; límite difuso entre subhorizontes y neto con la roca.
	Bt2	40-65	5YR5/8	5YR6/8	fal bloq. sub. g.	
	Bt3	65-115	5YR5/8	5YR6/8	fal bloq. sub. g.	
12	A	0-20	7,5YR4/6	7,5YR5/6	fl mig. m.	A: Abundantes raíces, un poco afieltrado; no calcáreo; límite gradual.
	Bt1	20-40	7,5YR5/6	7,5YR6/6	fa pol. g.	B: No calcáreo, con límite difuso entre los subhorizontes. Pocas gravas de caliza, muchas de pizarra y algunas de cuarcita.
	Bt2	40-80	7,5YR5/6	10YR6/6	f bloq. pol.	
	Bw	80-100	7,5YR4/4	7,5YR5/4	fl pris.	
13	Ap	0-20	7,5YR4/4	7,5YR5/6	fl gran. m.	A: Pocas raíces; gravas de esquistos, caliza y arenisca; no calcáreo; límite neto.
	Bt1	20-50	5YR5/8	5YR6/6	al bloq. ang. m.	B: Pocas gravas de caliza y esquistos; frecuentes fragmentos de arenisca ferruginosa;
	Bt2	50-80	5YR5/8	5YR6/6	a bloq. ang. m.	Abundantes nódulos rojizos que se oscurecen en profundidad. No calcáreo.
	Bt3	80-120	5YR4/6	5YR6/6	al bloq. ang. f.	
Bt4	120-200	5YR4/4	5YR5/4	fal bloq. ang. f.		

Textura: fl= franco limosa; fa= franco arcilloso; a= arcilloso; al= arcillo limosa; fal= franco arcillo limosa.

Estructura: mig= migajosa; gran= granular; bloq= bloques; sub= subangulares; ang= angulares; pris= prismática; pol= poliédrica; f= fina; m= mediana; g= gruesa.

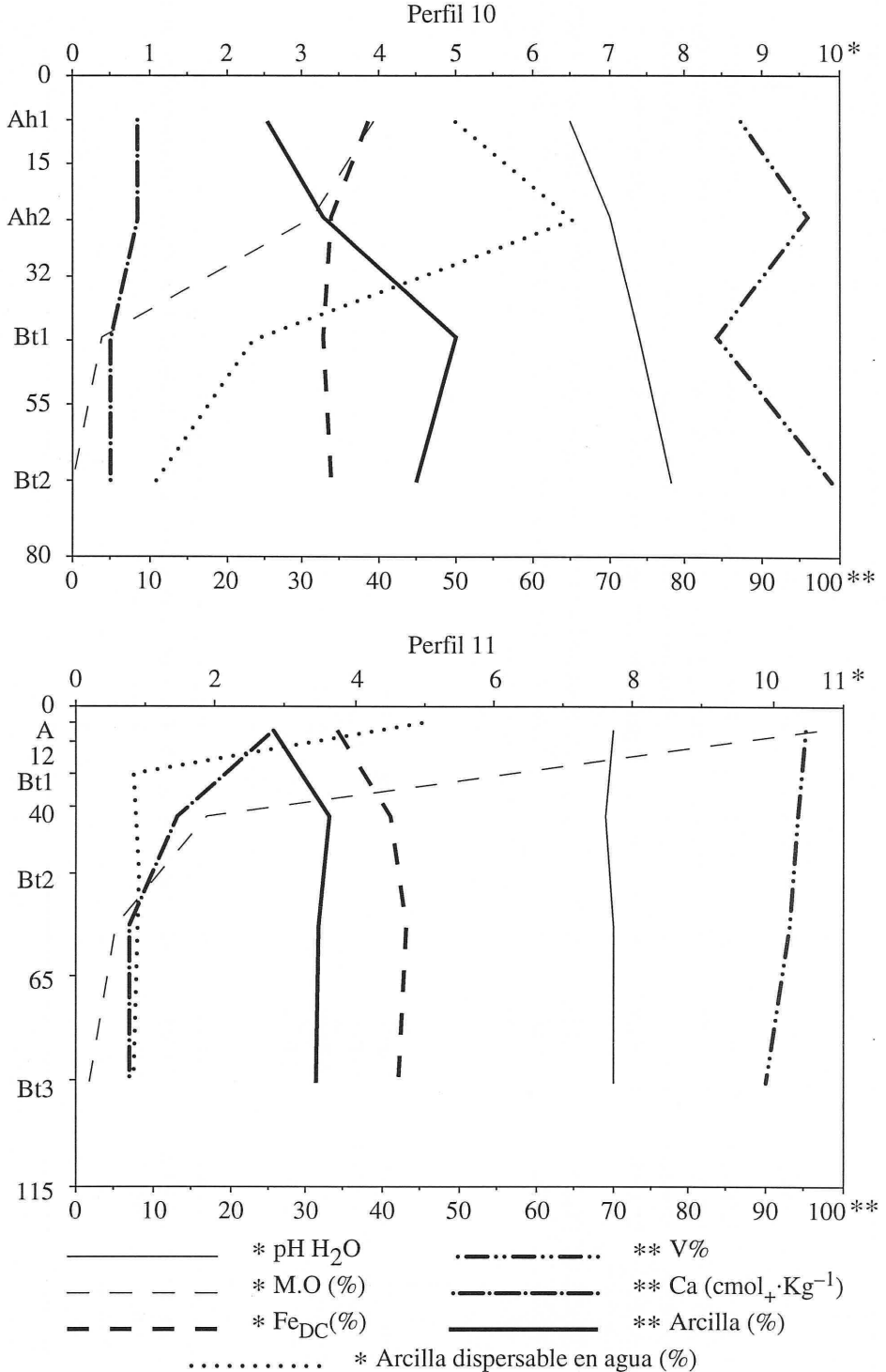


Fig. 1. Esquema gráfico de los principales parámetros analíticos.

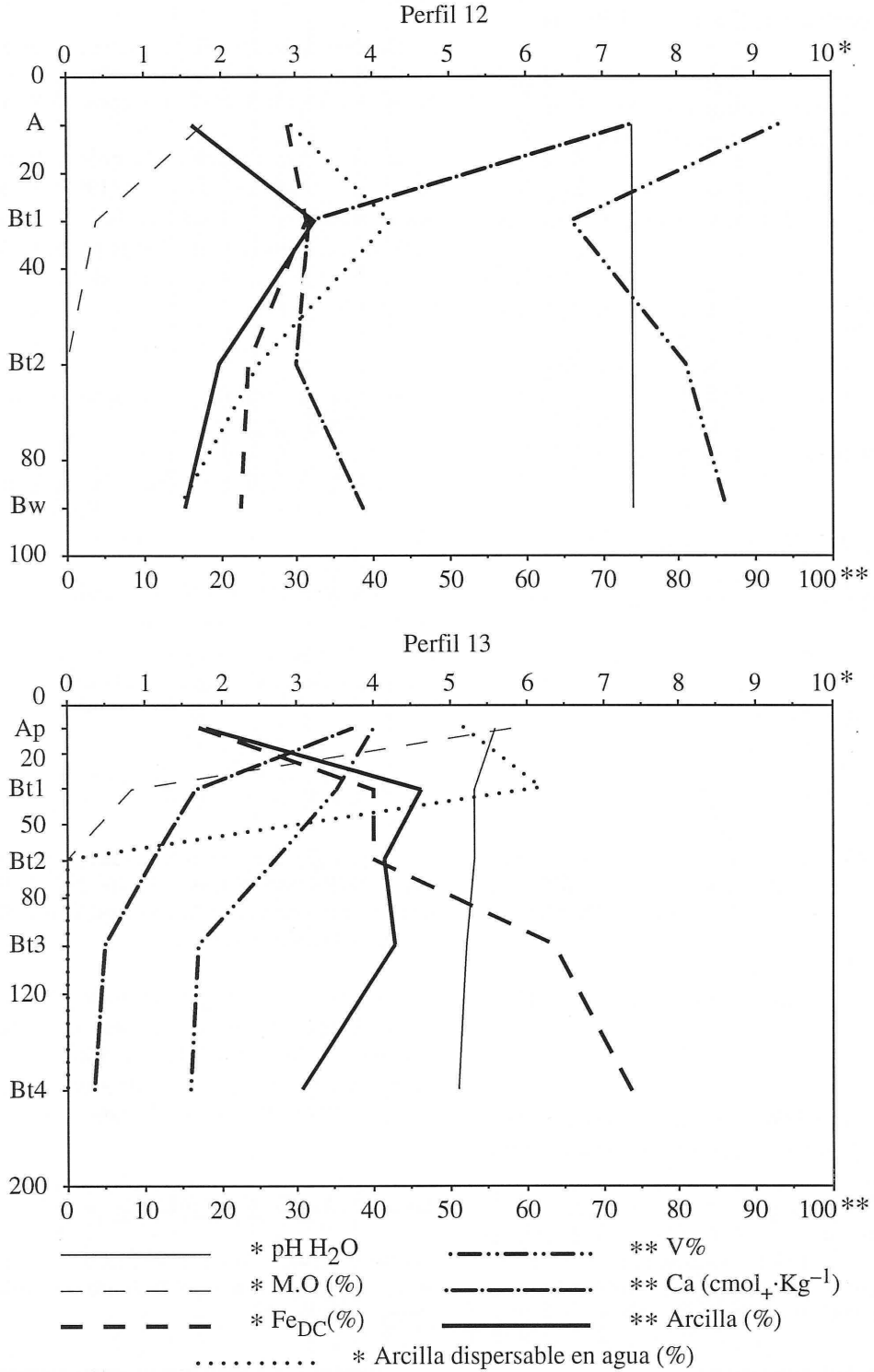


Fig. 1. Esquema gráfico de los principales parámetros analíticos (continuación).

TABLA II. Características micromorfológicas de los perfiles 10 y 11

Hor.	Microestructura	Porosidad (% tipo)	G/F	Dist. relac.	Cont-b	Material grueso	Material fino	Restos vegetales	Rasgos edáficos
Perfil 10									
Ah1	esp. mig. (gran.)	21 e.c. (can. fis. can.)	35/65	por. s. por. d.	ind.	Q, F, (M, Go) piz. cuar.	organo-min. po	div., pr (carb, n)	nod. ferrug.: típicos, nucleicos, bordes netos, op, r; (rev.) arcilloferrug. isótopos sobre granos y fragmentos; (exc.) esfesferoidales agrupados dentro de cámaras; intactos, n y envejecidos, pr. nod. ferruginosos típicos, op, pr.
Ah2	no agr. (mig.)	16 cav. can. (e.c)	61/39	por. s. por. d.	ind.	Q, F, (M) piz. (cuar.)	organo-min. pa	r, isótopos	nod. ferrug.: típicos, (nucleicos, agregados, concéntricos), op, pr; (rev.) sobre fragmentos rocosos, op; (arc. iluv. <1%) integrada en micromasa, hiporrestimientos sobre granos huecos, r.
Bt1	no agr. (gran.)	30 cav. can. cam. (e.c)	22/78	por. s. por. d.	ind.	Q, F, (M, Go) piz. (cuar.)	arc.-ferrug. pr	div. r; isótopos	nod. ferrug.: típicos, nucleicos, concéntricos; (rev.) arcilloferrug. sobre granos; (arc. iluv. <1%) integrada en micromasa, hiporrev. sobre huecos, r.
Bt2	no agr. (gran. sub.)	20 cam. cav. can. fis.	21/79	por. s. (por. d)	ind.	Q, F, (M, Go) piz. (cuar.)	arc.-ferrug. pr	-	
Perfil 11									
A	mig. gran. no agr.	45 e.c. (can.)	19/81	por. s. (qui.)	ind.	Q, F, M, He cal. (esq.)	organo-min. po	div. a, pr (esporangios hongos.)	exc. de diversos tamaños, bordes redondeados, lisos; nod. ferruginosos típicos op, pr; rasgos de textura de zonas compactadas.
Bt1	no agr.	18 can. cav. cam.	13/87	por. d.	ind.	Q, F, M, He cuar. (esq.)	arc.-ferrug. pr	(p.) r, a	nod. ferrug. con diferente grado de impregnación, redondeados y cúbicos, op, r; (nod. ferromangánicos); (arc. iluv. <1%) integrada en micromasa, hiporrev. granos y huecos, r; textura arqueada, disposición en medialuna de los constituyentes.
Bt2	gran. sub. (no agr.)	33 e.c. can. fis. cav.	12/88	por. d.	ind.	Q, F, He cuar. (esq.)	arc.-ferrug. pa	-	nod. ferrug. de moderado grado de impregnación, límites netos y difusos, pr. (nod. ferromangánicos); (arc. iluv. <1%) rasgos de textura similares a Bt1.
Bt3	no agr.	20 cav. ves. can. fis.	20/80	por. s.	ind.	Q, F, M, He esq. cuar.	arc.-ferrug. pr	-	nod. ferrug. con diferente grado de impregnación, concéntricos y de formas geométricas, (seudomórficos); (nod. ferromangánicos) nucleicos y concéntricos, n; rev. arcilloferruginosos sobre granos y fragmentos; (arc. iluv. <2%) similar a Bt1 y Bt2; rasgos de textura, con disposición en medialuna de los constituyentes.

Tabla II (Continuación). Características micromorfológicas de los perfiles 12 y 13

Hor.	Microestructura	Porosidad (% tipo)	G/F	Dist. relac.	Cont-b	Material grueso	Material fino	Restos vegetales	Rasgos edáficos
Perfil 12									
A	esp.	45 e.c.	46/54	qui. (ena.)	ind.	Q, F, M, (Go) esq. cuar.	organo-min. po	div.	nód. ferrug. típicos, nucleicos, concéntricos, pseudomórficos, op. n, r.
Bt1	no agr.	22 cav. can. can.	18/82	por. d.	cris.	Q, F, M, (Go) esq. cuar.	arc.-ferrug. pa	-	nod. ferrug. típicos, nucleicos, concéntricos, pseudomórficos (geódicos), op, n, r.
Bt2	no agr.	18 cav. can.	22/78	por. s.	cris.	M, Q, F (Cl, Go) esq. (cuar.)	arc.-ferrug. pa	-	nod. de hierro pseudomórficos, típicos, op, pr, pa. (nod. ferro-mangánicos concéntricos).
Bw	no agr.	10 cam. cav.	31/69	por. d.	ind.	M, Q, F (Cl, Go)	arc.-ferrug. esq. (cuar.)	-	nod. de hierro nucleicos, típicos, op, pr, (geódicos, pseudomórficos, concéntricos).
Perfil 13									
Ap	mig. gran.	40 e.c. (can. cav.)	31/69	por. s. por. d.	ind.	Q, F, M, (He) esq. arc. cal.	organo-min. po	div. a, pr	nod. ferrug: típicos, nucleicos, (n, pr), (seudomórficos), r, exc. de diversos tamaños, intactos de forma cilíndrica (n) y fragmentados (pr).
Bt1	no agr. (gran.)	12 cav. can. ves.	13/87	por. d.	ind.	Q, F, M, He esq. (arc.)	arc.-ferrug. ar	-	nod. ferrug. típicos, nucleicos, concéntricos (n, pr), pseudomórficos, r; nod. ferromangánicos concéntricos; (arc. iluv. <1,5%); rev. huecos,rell. huecos, (rev. granos, int. micromasa), r-an, a. nódulos y arc. iluv. (3%) similares a Bt1; exc. envejecidos y fragmentados dentro de un gran canal.
Bt2	no agr.	17 can. cav. cam. (e.c.)	16/84	por. s.	ind.	Q, F, (M, He) esq. arc.	arc.-ferrug. ar	-	nódulos y arc. iluv. (6%) similares a Bt1.
Bt3	gran. sub.	19 can. fis. cam. cav. e. c.	19/81	por. s.	ind.	Q, F, (M, He) esq. arc.	arc.-ferrug. pr	-	nódulos y arc. iluv. (0.71%) similares a los anteriores.
Bt4	sub.	18 can. fis. cam. cav.	14/86	por. s.	ind.	Q, F, (M, He) esq. arc.	arc.-ferrug. pr	-	

Microestructura: esp= esponjosa; mig= migajosa; gran= granular; sub= bloques subangulares; no agr= no agregada.

Porosidad (huecos); e.c= empaquetamiento compuesto; cav= cavidades; can= canales; cam= cámaras; fis= fisuras; ves= vesículas.

Distribución relacionada (Dist. relac.): ena= enáulica; qui= quitónica; por= porfirica; s= espaciado simple; d= espaciado doble.

Contextura de birrefringencia (Cont-b): ind= indiferenciada; cris= cristalítica.

Material grueso: Q= cuarzo; F= feldespatos; M= micas; Cl= clorita; He= hematites; Go= goethita; cal= caliza; esq= esquistos; cuar= cuarcita; piz= pizarra; arc= arenisca.

Material fino : organo-min= organo mineral; arc.-ferrug= arcillo-ferruginoso.

Restos vegetales: div= diversos grados de transformación; p= poco transformados; carb= carbonizados.

Colores: n= negro; an= anaranjado; r= rojo; a: amarillo; p= pardo; o= oscuro; op= opacos.

Rasgos edáficos: nod= nódulos; exc= excrescimientos; rev= revestimientos; rell= rellenos; arc. iluv= arcilla iluvial.

NOTA: El orden en el que se escribe un carácter es, aproximadamente, indicativo de su abundancia , señalando entre paréntesis los rasgos minoritarios.

en el perfil 11, predomina claramente el último tipo. En todos ellos la porosidad es alta (21-45%) debido a la dominancia de huecos de empaquetamiento compuesto, si bien se reconocen también algunas cámaras, fisuras, canales y cavidades. El material fino constituye el 81% del total en el perfil 11 y alrededor del 60% en los restantes. La *distribución relacionada* muestra una cierta variabilidad de unos perfiles a otros, derivada de la diferente proporción de materiales finos en relación con los gruesos; es porfírica en los perfiles 10 y 13, porfírica con alguna zona quitónica en el 11 y predominantemente quitónica con zonas enáulicas en el 12. La *contextura birrefringente* es indiferenciada en todos ellos.

El *material mineral grueso* está constituido, fundamentalmente, por cuarzo, feldespato y mica, así como por fragmentos de pizarra, cuarcita, caliza y esquisto. Escasos granos de goethita (perfiles 10 y 12) y de hematites (11 y 13). Una buena parte de los fragmentos rocosos muestran una fuerte liberación de oxihidróxidos de hierro.

El *material fino* es de naturaleza organomineral, color pardo oscuro con nícoles paralelos y pardo rojizo ó pardo amarillento con nícoles cruzados.

Son frecuentes los *restos vegetales* con distintos grados de transformación; su color varía entre pardo rojizo, amarillento o negro con nícoles paralelos. Algunos esporangios de hongos han sido observados en el perfil 11.

En cuanto a los *rasgos edáficos*, la presencia de nódulos ferruginosos de distintos tipos (típicos, nucleicos, concéntricos y seudomórficos) es común a todos los horizontes A. En el perfil 10 se observaron algunos revestimientos arcilloferruginosos isótropos sobre granos y fragmentos rocosos.

Otros rasgos edáficos destacables en estos horizontes, son los de origen biogénico. Abundan los excrementos, generalmente esferoidales, que con frecuencia aparecen agrupados dentro de cámaras, unos intactos de superficie lisa y otros envejecidos de superficie rugosa, conectados entre si, de color negro y pardo rojizo respectivamente con nícoles paralelos; el diámetro medio es para ambos de 0.08 mm. En el perfil 13 hay excretas fragmentadas o con forma cilíndrica.

En el perfil 11 se observan además de los excrementos, otros rasgos indicativos de la actividad de la fauna: hay zonas que presentan una contextura muy diferente del resto del horizonte, en las que el material está compactado y orientado formando casi laminaciones, las cuales parece que forman débiles remolinos; los huecos que presentan estas zonas son acordes con esta distribución del material.

### *Horizontes B*

En los horizontes B, la *microestructura* muestra diferentes grados de evolución de unos perfiles a otros. Está poco desarrollada en el perfil 12 en el que el horizonte B es un horizonte apedal, que aparece fragmentado por cavidades, cámaras y canales de amplio rango de tamaños y distribuidos al azar, con un espacio poroso bajo (pasa del 22% del Bt1 al 10% del Bw).

En el perfil 10, aunque predomina el material no agregado, con el mismo tipo de huecos que en el anterior (porosidad media: 30-20%), ya aparecen agregados granulares fuertemente desarrollados de tamaño variable (0.26-0.74 mm), que dan lugar a una microestructura granular con huecos de empaquetamiento compuesto y algunos agregados en bloques subangulares (1.85 mm de tamaño) bien desarrollados.

El perfil 11, sigue la misma pauta que el 10 (Tabla I), con la salvedad de que además de los huecos citados anteriormente, presenta fisuras, con un modelo de distribución perpendicular a la superficie del suelo, que en el subhorizonte Bt3 muestran una tendencia curvada; el espacio poroso de este horizonte B oscila entre un 18 y 33%.

Finalmente, el perfil 13 es el que presenta una mejor agregación, variando la microestructura de granular en los subhorizontes superiores (Bt1, Bt2) a bloques subangulares en el subhorizonte Bt4. La porosidad es baja, varía entre 12 y 19%.

En todos los casos la proporción de *materiales finos* es elevada (del orden del 80%), de color pardo-rojizo o amarillento debido a su naturaleza arcillo-ferruginosa, englobando a los granos gruesos en una *distribución relacionada* porfírica (de espaciado simple o doble). La *contextura-b* es indiferenciada, excepto en gran parte del perfil 12 (Bt1, Bt2), que se vuelve cristalítica

como resultado de la abundancia de acículas de micas, distribuidas al azar por la masa basal.

Los componentes de la *fracción gruesa* son similares a los de los horizontes A: cuarzo y feldespatos, ambos de contornos subredondeados y subangulares y tamaño variable (10 mm-1.4 mm), micas especialmente abundantes en los subhorizontes Bt2 y Bw del perfil 12. Se encontraron pequeñas cantidades de goethita (tamaño medio de grano 0.05 mm) en los perfiles 10 y 12, y de hematites en los perfiles 11 y 13. Los granos de hematites frecuentemente son de contorno cuadrado y de pequeñas dimensiones (10 mm y 25 mm), opacos a bajos aumentos y rojizos y birrefringentes a gran aumento y luz conoscópica. Por la forma externa de los granos, suponemos que el mineral original fue una pirita, que se ha transformado pseudomórficamente en hematites, es decir, sus características ópticas nos llevan a considerarlos como granos de martita, similares a los descritos por otros autores (DORRONSORO *et al.*, 1974).

Fragmentos rocosos de pizarra, esquisto y cuarcita están presentes en todos los horizontes B; en el perfil 13, los últimos son sustituidos por fragmentos de arenisca. La mayor parte de los fragmentos de roca están muy alterados; presentan recubrimientos en los bordes y frecuentes grietas rellenas de material ferruginoso que en algún caso forma un entramado que impregna todo el fragmento, hecho que resulta particularmente vistoso en los de esquisto y arenisca.

Por otra parte, se ha observado que tanto algunos fragmentos de cuarcita como de esquisto poseen gran cantidad de granos de martita de pequeño tamaño (la generalidad son de 10 mm y los de mayor tamaño de, aproximadamente, 25 mm). Menos frecuentemente se han detectado también granos de martita en algún fragmento de caliza.

No se observan *restos vegetales*, salvo en el subhorizonte Bt1 del perfil 11 en el que hay algunos residuos vegetales bastante bien conservados, unos rojizos y otros amarillentos con nícoles paralelos.

Encontramos una amplia representación de *rasgos edáficos* de diversos tipos: amorfos y criptocristalinos, texturales, de contextura y biogénicos.

Los rasgos edáficos amorfos y criptocristalinos, se presentan mayoritariamente como nódulos de hierro y, en ocasiones, como revestimientos arcillo-ferruginosos sobre granos y fragmentos rocosos; estos últimos son negros con nícoles paralelos y rojizos con nícoles cruzados.

Los nódulos son muy variados, tanto en lo que respecta al tipo (típicos, nucleicos, concéntricos, pseudomórficos, e incluso geódicos en el perfil 12), grado de impregnación (puros a moderadamente impregnados), tamaño (comprendidos entre 20 mm-2.2 mm), forma (generalmente redondeados, pero también los hay subredondeados, alargados y con formas geométricas) límites (netos, difusos) y color.

Se han identificado algunos de composición ferro-mangánica, con morfología concéntrica y/ó nucleica y concéntrica a la vez; estos últimos engloban granos de cuarzo y feldespato, alrededor del núcleo se concentra el manganeso y hacia el exterior va aumentando la proporción de hierro.

Estos nódulos de material ferromangánífero, con uno ó más anillos, de forma aproximadamente circular (1.11 mm de diámetro medio), son especialmente abundantes en el perfil 11. Junto a éstos, destacan igualmente los nódulos de naturaleza hematítica, frecuentes también en el perfil 13; algunos presentan formas irregulares, con bordes angulosos o redondeados y aspecto globuloso. Otros, sin embargo son similares a los granos de martita descritos anteriormente, pues poseen un contorno perfectamente cuadrado ó triangular (20 mm-0.37 mm de tamaño) y son opacos a bajos aumentos, mientras que con condensador y a altos aumentos son pardo rojizos.

Hay otros nódulos pseudomórficos alargados, habitualmente del orden de 1.1 mm de largo y 0.74 mm de ancho que se reconocen como procedentes de fragmentos de esquisto intensamente alterados; con nícoles cruzados presentan pequeñas zonas birrefringentes resultantes probablemente de la existencia de recubrimientos arcillo-ferruginosos que se formaron en la alteración del esquisto. Son muy frecuentes en el perfil 13.

En lo que se refiere a los rasgos texturales, atendiendo a la cuantía y aspecto de los *de tipo*

iluvial se pueden diferenciar claramente tres casos. Por una parte el perfil 13, donde la arcilla iluvial es relativamente abundante, por otra, los perfiles 10 y 11 en los cuales estos rasgos texturales ocupan menos del 1% de la superficie de la lámina y, por último, el perfil 12 que carece de ellos.

En el perfil 13 la distribución de los rasgos iluviales varía a lo largo del horizonte B; ocupan el 1.5% de la superficie de la lámina en el subhorizonte Bt1, alcanzando en Bt3 un 6% disminuyendo en Bt4 (0.71%). Se diferencian claramente dos tipos de argilanes: 1) argilanes de color amarillo o pardo amarillento, poco birrefringentes (extinción difusa), con límites poco definidos, que dan lugar a áreas de contextura poroestriada en la masa basal. 2) cutanes de color rojo anaranjado y fuerte birrefringencia (extinción definida), que se encuentran fundamentalmente revistiendo las paredes de las fisuras, colmatando pequeños huecos dentro de los agregados y, en ocasiones, revistiendo granos e integrados en la micromasa; generalmente están fracturados por grietas finas.

Estos dos tipos de argilanes con frecuencia aparecen superpuestos, situándose los amarillos por encima de los rojos. Por su morfología y disposición, se atribuyen a dos fases de iluviación: los argilanes amarillos se consideran rasgos iluviales producidos en una fase de iluviación posterior a la que dió lugar a los ferriargilanes rojo anaranjados fragmentados, que se consideran rasgos paleoedáficos (BULLOCK, 1973; SILVA *et al.*, 1984).

En los perfiles 10 y 11 los escasos rasgos texturales de carácter iluvial, están constituídos por acumulación de arcilla no laminada y extinción difusa que sólo ocasionalmente se encuentra formando hiporrevestimientos sobre granos, fragmentos rocosos y huecos pero generalmente están fragmentados y englobados dentro de la micromasa, destacando por su color más rojo. Por estas características se interpretan como argilanes antiguos, análogos a los cutanes rojos del perfil 13.

Rasgos edáficos de contextura se han observado en el perfil 11, en el que la generalidad de la masa basal presenta una disposición arqueada de sus constituyentes, a veces muy

marcada, que se advierte sobre todo en las micas, que en ocasiones forman remolinos; incluso la forma de los huecos está determinada por esta disposición, pues la mayoría son canales o grietas curvadas.

Existen también en el subhorizonte Bt2 del perfil 13 rasgos edáficos que ponen de manifiesto la actividad de la fauna del suelo: dentro de un canal de grandes dimensiones pueden verse excrementos, la mayoría bastante envejecidos y fragmentados y algunos conservando su forma cilíndrica, con un tamaño medio de 0.51 mm de ancho por 0.74 mm de largo.

## DISCUSION

Las características de los suelos, tanto macro como micromorfológicas son indicativas de un importante grado de desarrollo: horizontes B profundos, colores intensos, estructura bien desarrollada, etc. El hecho de que el horizonte B presente un mayor contenido de arcilla que el A lleva a pensar en la posibilidad de una génesis iluvial, pero el análisis detallado de los rasgos edáficos, nos lleva a establecer diferencias entre ellos, identificando una serie de procesos que han intervenido en su génesis.

En el perfil 13, los dos tipos de argilanes presentes deben corresponder a dos etapas distintas de iluviación de arcilla, una antigua, representada por los restos de argilanes de color rojo, que aparecen integrados en la matriz y fragmentados y otra posterior, representada por los revestimientos amarillos que se sitúan por encima de los rojos. Esta última fase de iluviación puede ser reciente o incluso estar desarrollándose en la actualidad, pues en este suelo concurren varios factores que pueden propiciar una emigración vertical: su situación en una zona acumulativa de fondo de ladera, un cierto carácter coluvial del material de partida y el hecho de que sea un suelo de cultivo en el cual la dispersión y movilización de la arcilla estaría favorecida por el arado (EMERSON, 1983; SILVA *et al.*, 1984).

En los perfiles 10 y 11 los argilanes se encuentran en forma de fragmentos de revestimientos muy envejecidos, lo que induce a pensar que en la formación de estos horizontes

Bt ha intervenido un paleoproceso de iluviación, del cual quedan escasas huellas. Dada la similitud de estos suelos con el perfil 12, tanto en el aspecto físico-químico (Fig. 1), morfológico (Tabla I), como de sitio, podríamos pensar, por analogía, que el incremento de arcilla del perfil 12 es debido a la iluviación de arcilla y que lo que sucedió fue que las huellas fueron destruídas por edafoturbación.

La intervención de procesos de edafoturbación, que ejercen un efecto destructor de los cutanes de iluviación, se refleja en la contextura circular de la micromasa y en la tendencia curvada de las grietas; estos rasgos, que comunmente se asocian con la actividad de la edafofauna (BULLOCK *et al.*, 1985), se consideran en este caso producidos por movimientos de hinchamiento y contracción de la masa basal y se relacionan, por lo tanto, con procesos de hidromorfía, perfectamente factibles en estos suelos de textura fina. Esta interpretación se apoya en el hecho de que hay otros rasgos reveladores de condiciones hidromórficas, tales como los nódulos de hierro y manganeso concéntricos (manganeso situado sobre todo en el núcleo y hierro en la periferia), pues para que se produzca la redistribución de los compuestos de hierro es esencial la alternancia de periodos secos y húmedos.

En cualquier caso, hay que pensar que las discontinuidades texturales pueden ser debidas no sólo a procesos de iluviación de arcilla, sino que también se pueden deber a pérdidas de arcilla de los horizontes superficiales por lavado lateral, fenómeno este último observado con frecuencia en suelos gallegos, donde la dinámica lateral es muy importante (GIMÉNEZ DE AZCÁRATE, 1986; SILVA *et al.*, 1984). Test de dispersión de arcilla realizados en estos suelos (TABOADA *et al.*, 1992 a) demostraron que la arcilla dispersable en agua es mayor en los horizontes ricos en materia orgánica que en los profundos (Fig. 1). Una prueba del arrastre lateral lo constituye el aporte de fragmentos de rocas metamórficas diferentes de la caliza: esquistos, pizarras, cuarcitas y areniscas, provenientes de las zonas más altas de la ladera.

Con frecuencia estos fragmentos, muy en particular los de esquistos, muestran en los bordes

o en la superficie fuertes segregaciones de material ferruginoso como consecuencia de la meteorización de los mismos, que culmina con la formación de nódulos de hierro pseudomórficos, evidenciando una vez más la importancia de la movilización del hierro en estos suelos.

Los procesos de pseudomorfosis están también bien representados por los granos de martita, que como hemos indicado anteriormente, se consideran de naturaleza hematítica aunque por su hábito (cúbico) creemos que proceden de pirita, que se ha transformado conservando su forma geométrica. Estas transformaciones entre compuestos de hierro, muy extendidas en suelos desarrollados sobre dolomías, margocalizas, y calizas del SE de España (DORRONSORO *et al.*, 1979) ya han sido citadas en los suelos sobre calizas en Galicia (TABOADA *et al.*, 1992 b).

Finalmente, señalar que hay huellas de una importante transformación asociada con la edafofauna, principalmente en los horizontes A (excrementos y rasgos edáficos de contextura con zonas compactadas), que ponen de manifiesto la intensa actividad biológica que caracteriza a estos suelos, favoreciendo su estructuración y el proceso de humificación. Asimismo, es de destacar la contribución de la fauna del suelo a los fenómenos de edafoturbación ya comentados, pues también están presentes canales con excrementos en algunos horizontes B, lo cual podría haber influido en la destrucción y desaparición de los argilanes.

## CONCLUSIONES

Del estudio micromorfológico se deduce que los procesos implicados en la formación de estos suelos con horizonte B textural son: a) argiluviación, que se manifiesta con diferente intensidad de unos suelos a otros, reconociéndose en algún caso dos fases, una de paleoiluviación y otra de iluviación más reciente. b) fenómenos de arrastre lateral, reflejados por la presencia en los perfiles de minerales y fragmentos de otras rocas metamórficas diferentes de la caliza subyacente. c) movilización de sesquióxidos que se pone de manifiesto por la formación de nódulos y segregaciones ferromangánicas, que al menos

en algunos casos se relacionan con condiciones de hidromorfía alternante. d) edafoturbación intensa, representada por rasgos edáficos de con-textura y argilanes con un alto grado de fragmentación. A este proceso puede contribuir de forma importante la edafofauna. e) transformación pseudomórfica de granos de pirita en hematites y de fragmentos de esquistos en nódulos de hierro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BULLOCK, P. (1973). The Use of Micromorphology in the New System of Soil Classification for England and Wales. In: Rutherford, G. K. (Ed.), *Soil microscopy*: 607-631. Proceed. 4 th Int. Work. Meet. on Soil Micromorphology. Kingston.
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G. & TURSINA, T. (1985). *Handbook for Soil Thin Section Description*. Waine Research Publications. Albrington, England.
- DORRONSORO, C. & DELGADO, M. (1974). Iron Compounds in the Coarse Sand Fraction of Some Spanish Soils. In: Rutherford, G. K. (Ed.), *Soil Microscopy*: 682-693. The Limestone Press.
- DORRONSORO, C., AGUILAR, J. & ANTOLÍN, C. (1979). Estudio edáfico del sector Jabalcuz-Los Villares. II. Estudio mineralógico de la fracción arena gruesa (2-0.2 mm). *An. Edaf. Agrob.*, **38**: 1907-1930.
- EMERSON, W. W. (1983). Inter particle bonding. In: *Soils. An Australian view point*. Division of soils, CSIRO, Melbourne. Acad. press, London, 477-498.
- FAO (1989). *Mapa de suelos del mundo*. Leyenda revisada. Versión española.
- GIMÉNEZ DE AZCÁRATE, M. (1986). *Suelos de las Mariñas*. Tesis Doct. (inéd.) Univ. Santiago de Compostela.
- I.G.M.E. (1979). Mapa 1:50.000 y memoria de la hoja 48 (Meira). *Inst. Geol. Min. Esp.* Madrid.
- I.G.M.E. (1980). Mapas 1:50.000 y memorias de las hojas 99 (Becerreá) y 124 (Sarría). *Inst. Geol. Min. Esp.* Madrid.
- I.G.M.E. (1981). Mapa 1:50.000 y memoria de la hoja 157 (Oencia). *Inst. Geol. Min. Esp.* Madrid.
- SILVA, B. M., GARCÍA-RODEJA, E. & MACÍAS, F. (1984). Caracterización y génesis de los suelos sobre esquistos de las Mariñas (La Coruña). *An. Edaf. Agrob.*, **43**: 523-546.
- TABOADA, M. T. & SILVA, B. M. (1992 a). Evaluación del proceso de iluviación de arcilla en suelos sobre calizas. *III Cong. Nac. de la Ciencia del Suelo*: 496-501. Pamplona.
- TABOADA, M. T., SILVA, B. M. & BARRAL, M. T. (1992 b). Distribución y origen de los óxidos de hierro en suelos sobre calizas. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, **17**: 23-34.
- TABOADA, M. T., SILVA, B. M. & GUITIÁN, F. (1993). Factores de formación y propiedades de los suelos formados sobre calizas en Galicia. *Cuaternario y Geomorfología*, **7** (En prensa).
- TABOADA, M. T., SILVA, B. M. & VILLAR, M. C. (1992 c). Mineralogía de suelos formados sobre calizas en Galicia. *Suelo y Planta*, **2**: 81-100.