

Micromorfología y Mineralogía de un paleosuelo pleistoceno del Pla de Barcelona

SOLÉ BENET, A.⁽¹⁾, JULIÀ, R.⁽¹⁾, BALLBÉ, E.⁽²⁾

(1) Instituto de Geología «Jaime Almera», C.S.I.C., Barcelona

(2) Facultad de Farmacia, Universidad de Barcelona

RESUMEN

La alterancia de niveles arcillosos rojizos y limos amarillentos más o menos encostrados por CaCO₃, constituyen uno de los elementos más típicos del glacis del Pla de Barcelona. Esta secuencia ha recibido hasta la fecha distintas interpretaciones sobre su origen basadas en criterios de campo y/o diferencias en sus minerales pesados: los niveles rojos y los limos amarillos subyacentes son considerados verdaderos suelos diferenciados *in situ* por unos autores, mientras que son considerados como depósitos de diferente origen por otros autores.

En el presente estudio se caracteriza una secuencia de dichos depósitos, mediante la micromorfología de sus estructuras y la mineralogía de sus fracciones arcillosa y arenosa, y se proporcionan elementos paleoambientales relativos a su génesis y evolución.

En el nivel arcilloso se han observado abundantes revestimientos de arcilla orientada microlaminada, típicos de horizontes argílicos de alfisoles. En el nivel amarillento se detecta una abundante actividad biológica. Asimismo, la naturaleza del limo y de la arena de ambos niveles son muy parecidas, por lo que todo indica un origen edáfico del nivel rojizo individualizado a partir del material parental amarillento.

La mineralogía de las fracciones arcillosa y arenosa apoyan también la interpretación de una diferenciación del nivel rojizo, a partir de un material parental similar al amarillo.

Palabras clave: Suelo pleistoceno. Micromorfología. Acumulación de carbonatos. Horizonte argílico. Paleoambiente.

ABSTRACT

A major feature in the piedmont slope which forms the «Pla de Barcelona» (Barcelona plain) is a sequence of alternated layers, reddish silty clays and yellowish silts.

Such a sequence has received different interpretative origins based upon field observations or upon differences in their heavy mineral contents.

For some authors these layers were considered as being true soils, differentiated *in situ*; for some others, the layers were considered deposits of different origin.

In this study, soil micromorphology and clay and sand mineralogy are used as the most adequate techniques to resolve such controversial interpretation and also to provide some paleoenvironmental facts about their origin and evolution. Two phases of soil development were detected:

In the yellow silty layer, scarcely weathered primary minerals, low silicate clay content and the presence of abundant pedotubules left by diversified soil fauna, suggest a phase of aggradative soil profile development under a drier Mediterranean climate with highly erosive low frequency rains.

Thin sections from the reddish layer show abundant microlaminated clay cutans, formed by alternating thin laminae (< 30 μ) of limpid and speckled clay; this is a typical pedological feature characterizing argillic horizons from alfisols; coating such cutans, two generations of progressively coarser cutans indicate a translocation phenomena produced near the soil surface, higher in the soil profile than in the typical argillic horizon depth; both the presence and the good preservation of such sequences of cutans are interpreted as the topsoil erosion of such primitive soil and a relatively fast burial of the truncated soil profile. A new soil phase is stressed: the development of the argillic horizon, which requires stable climatic conditions and a higher humidity within the general Mediterranean climate, followed by the erosion of the topsoil which could be the transition to a new drier phase like the former one.

Particle size and mineralogy of coarse mineral components from both layers are quite similar and suggest the occurrence of only one type of parent material.

Clay mineralogy gives also support to the pedological origin of the reddish layer.

Key words: Pleistocene soil. Micromorphology. Carbonate accumulation. Argillic horizon. Paleoenvironment.

INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos más representativos del paisaje mediterráneo de la Península Ibérica está constituido por los glaciares de acumulación que presentan en corte una alternancia de niveles arcillosos marrón-rojizo y limos encostrados por carbonato cálcico de color amarillento. Los niveles arcillosos pueden incluir en su base gravas de elementos redondeados de origen local. En este estudio se caracterizan dichos niveles en el «Pla de Barcelona».

El «Pla de Barcelona»

La vertiente marítima de la sierra de Collcerola, que se extiende desde el estrecho de Montcada, en el río Besòs, hasta Sant Feliu y Molins de Rey, en el río Llobregat, se ha denominado «Pla de Barcelona» (fig. 1).

Morfológicamente el «Pla de Barcelona» ocupa una franja de terreno aproximadamente trapezoidal con la base mayor situada al pie de la sierra de Collcerola y la base menor entre Montjuïc y Cornellà. Ocupa una superficie aproximada de 50 Km². Sus límites son fáciles de reconocer por cuanto corresponden a cambios entre unidades morfoestructurales bien caracterizadas.

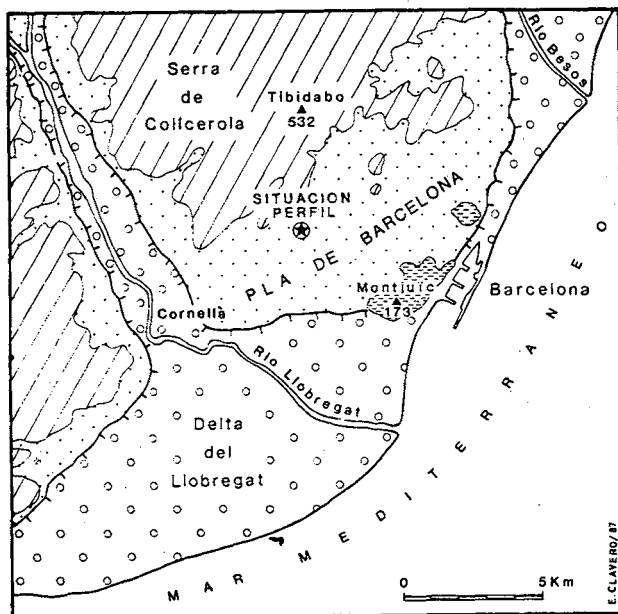


Figura 1.- Ubicación del lugar de muestreo en el Pla de Barcelona.

Figure 1.- Location of sampling point in the Barcelona plain.

Al NW queda limitado por los relieves de la sierra de Collcerola formada principalmente por materiales paleozoicos: pizarras, esquistos, calizas y granitos (IGME, 1975). Al E, por los sedimentos detríticos de la llanura deltáica del río Besòs. Al S limita con los relieves neógenos de Montjuïc y Monte Taber, formados por rocas sedimentarias de origen marino, y limita también con la llanura deltáica del río Llobregat.

La primitiva topografía del «Pla de Barcelona» ha sufrido una intensa transformación debido al desarrollo urbanístico. En líneas generales se reconoce que los antiguos cursos de drenaje han sido colmatados o transformados en alcantarillas así como los suaves cerros neógenos (Mont Taber, Puig de les Falsies, Illa de Mayans, etc.) han sido parcial o totalmente arrasados a fin de uniformar el suelo urbano.

El «Pla de Barcelona» así considerado, corresponde a un glacis de acumulación que se extiende al pie de los relieves paleozoicos de Collcerola y fosiliza varios bloques que se escalonan, por fallas normales, desde esta sierra hasta el mar.

Interpretaciones sobre el origen de la alternancia de niveles.

La disposición regular de los niveles rojizos y limos encostrados que constituyen el «Pla de Barcelona» ha permitido a varios autores definir unos ciclos, Llopis (1942), Ribera Faig, (1945), Virgili y Zamarreño (1957), Virgili (1960), Solé Sabarís *et al.* (1957), Solé Sabarís (1963) e IGME (1975) e interpretar su génesis en base a criterios de campo y/o diferencias mineralógicas.

Las distintas interpretaciones sobre el origen de estos ciclos ha girado casi siempre sobre el significado edáfico del nivel arcilloso y sobre el carácter alóctono de los limos amarillentos.

Así, para Solé Sabarís *et al.* (1957), Virgili y Zamarreño (1957), Virgili (1960) y Solé (1963), en base al estudio de la distribución mineralógica, consideran que los niveles rojos se habrían formado en los relieves próximos durante un período de alteración química muy intensa bajo un clima relativamente cálido y húmedo, habiéndose erosionado después y redepositado en su localización actual; en cambio, los limos amarillentos y encostrados por carbonato cálcico corresponderían a un clima más árido que permitiría una sedimentación de tipo eólico.

Dichos autores proponen una edad Riss-Würm en base a que dichos depósitos enlazan con el nivel II de las terrazas fluviales del Llobregat que contiene *Elephas antiquus*. En cambio, Marquès *et al.* (in IGME,

1975), indicando la difícil interpretación bioestratigráfica de *Elephas antiquus*, sugieren que dichos depósitos pueden estar relacionados con las fluctuaciones climáticas del Würm en base a las alternancias climáticas reconocidas durante este período y a la presencia de industria lítica Musteriense en depósitos de características parecidas en Reus (Vilaseca, 1973).

Según Ribera Faig (1945) y Gallart (1981) y en base a observaciones de campo, los niveles de arcillas rojas corresponderían a horizontes argílicos de suelos desarrollados *in-situ* y las costras calizas representarían individualizaciones dentro de un horizonte Cca procedente de la alteración de los limos eólicos y de los horizontes superiores. Posteriormente, mediante los contenidos y estados del Fe, Josa (1986) confirma esta hipótesis.

Dentro de este marco conceptual, es evidente que si el nivel de arcillas rojizas corresponde a un horizonte argílico, éste puede preservar las características propias del proceso edáfico. Asimismo, la evolución mineralógica del perfil debería mostrar discontinuidades de áreas fuente distintas. O dicho de otro modo, en el supuesto de una evolución edáfica *in situ* deben encontrarse criterios micromorfológicos y una evolución mineralógica compatible.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha muestreado un perfil que presenta bien desarrollados estos niveles: se han aplicado las técnicas y metodologías de la Micromorfología de Suelos (Brewer, 1976; Bullock *et al.*, 1985; Murphy, 1986) que diversos autores citados por Mucher y Morozova (1983) consideran como las más adecuadas para la interpretación de paleosuelos.

Para ello se han preparado seis láminas delgadas de gran formato (75 x 50 mm) a partir de tres muestras no perturbadas incluidas en una resina poliéster («Synolite-544») siguiendo los métodos de Murphy (1986).

Se han realizado, asimismo, las caracterizaciones mineralógicas típicas: cuantificación de minerales pesados y ligeros en la fracción arena y análisis semicuantitativo de arcillas (difracción de rayos X — diagrama normal, glicolado y a 550° C — de agregados orientados de arcillas saturadas homoiómicamente con Mg, tras la eliminación de amorfos mediante el método de Tamm modificado por Schwertmann, 1964).

Este perfil se halla situado en los cimientos del edificio ampliación de la Facultad de Físicas de la zona

universitaria de Pedralbes de Barcelona y corresponde a un corte del glacis que forma el denominado Pla de Barcelona.

RESULTADOS

Descripción del perfil (Fig. 2)

Se trata de un perfil enterrado, constituyendo su techo un nivel de gravas con contacto erosivo, y su base un nivel de arcillas limosas rojizas pertenecientes a otro ciclo anterior. Se considera el techo del perfil estudiado como profundidad 0.

— 0 — 60 cm : color, pardo-rojizo, 4YR 4/6, NIVEL 1 : arcillo-limoso, estructura prismática media neta, ligera efervescencia al HCl 10% localizada, reves-

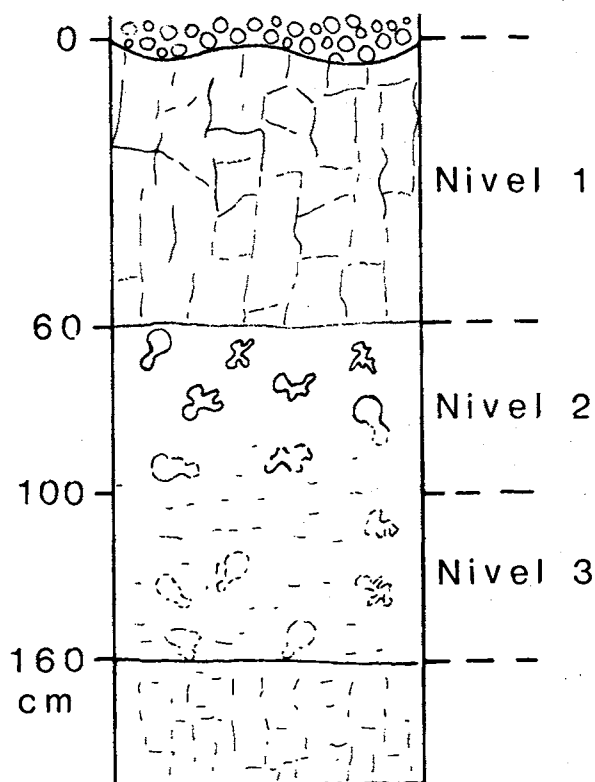


Figura 2.- Representación esquemática del perfil muestreado.

Figure 2.- The studied profile.

timientos arcillosos muy finos, límite neto y regular con el horizonte inferior.

— 60 — 100 cm : color beige, 7,5YR 7/4, limo-arcilloso, estructura masiva, nódulos de carbonatos irregulares entre 1 mm y varios cm, fuerte efervescencia generalizada al HCl 10%, límite gradual y regular con el horizonte inferior.

— 100 — 160 cm : color beige, 7,5YR 6/5, limo-arcilloso, estructura masiva, algunos nódulos de carbonatos como en el horizonte anterior, pero menos abundantes, fuerte efervescencia generalizada al HCl 10%, límite transicional y regular con el horizonte inferior.

Mineralogía

Fracción arena

En la tabla I se recogen los datos del análisis óptico de la fracción arena, datos que se ratificaron con el correspondiente análisis difractométrico.

Destacan la abundancia de micas, de tipo biotita, en el nivel 3 y el considerable grado de alteración relativa de los minerales del nivel 2 (nivel con abundantes carbonatos secundarios). Asimismo, son de señalar en el nivel 1 la gran abundancia de opacos y cuarzo (minerales resistentes) y la escasez tanto de micas como de plagioclasas respecto a feldespatos potásicos.

Tabla I. Composición mineralógica de la fracción arena.

Table I. Mineralogical analysis of the sand fraction.

	% pesados	pesados (100%)																ligeros (100%)		
		opacos	alterados	micas	andalucita	sillimanita	distena	epidota	piroxenos	granate	circon	turmalina	anfíboles	esfena	rutilo	monacita	brookita	cuarzo	feldespatos potásicos	plagioclasas
Nivel 1	1,41	51,07	14,46	11,69	15,58	0,30	0,30	1,84	0,61	0,61	0,30	0,92	2,46	-	-	-	-	59,5	29,0	11,5
Nivel 2	1,25	30,80	28,48	15,11	10,46	0,58	0,58	3,48	0,58	0,58	1,72	1,74	2,32	0,58	0,58	0,58	0,58	34,8	17,5	47,7
Nivel 3	3,32	16,03	19,57	48,34	4,24	0,47	-	1,88	0,23	1,41	4,71	0,94	0,70	0,47	0,94	-	-	51,4	30,7	17,9

En términos generales, estos datos parecen sugerir una típica secuencia de alteración edáfica desde el nivel 3, representante del material poco evolucionado, hasta el nivel 1, formado por el material más alterado. Las diferencias significativas del nivel 2 que rompen parcialmente la secuencia lógica, podrían explicarse por las particulares condiciones de los medios hipercálcicos.

Por lo que respecta a la cuantificación de los minerales pesados, no se observan cambios como para poder evaluar eventuales secuencias de alteración o deducir diferencias de origen entre los distintos niveles muestreados.

Fracción fina

En la tabla II, figuran los datos en forma semicuantitativa de los minerales presentes.

Las diferencias más notables entre el nivel superior y los dos niveles inferiores, se encuentran en la abundancia relativa de la illita y en la presencia en los niveles inferiores de interstratificados illita-vermiculita, juntamente con trazas de palygorskita, cuya presencia se confirmó mediante microscopía electrónica de transmisión.

Asimismo, es de destacar la presencia en el nivel superior de hematites. (La cantidad de hierro libre extraído con ditionita-citrato-bicarbonato en el nivel 1 es del 2%, siendo la tasa de liberación de Fe del 50%).

Estos resultados tomados aisladamente sugerirían una secuencia de alteración illita —interstratificados, sin embargo, considerados en el contexto del perfil y sobre todo de catena, la secuencia inversa también sería posible.

Tabla II. Composición mineralógica de la fracción arcilla.

Table II. Mineralogical analysis of the clay fraction.

Nivel 1	Illita (+ + +), Caolinita (+), Interestratificados I-V (*) Hematita (*)
Nivel 2	Illita (+ +), Caolinita (*), Interestratificados I-V (+ +) Paligorskita (*)
Nivel 3	Illita (+ +), Interestratificados I-V (+ +), Paligorskita (*)

- + + + muy abundante
- + + abundante
- + escaso
- * presencia

Micromorfología

En la tabla III figuran los datos del análisis micromorfológico. Se utilizan las nomenclaturas de Bullock *et al.* (1985) y la de Brewer (1964). La discusión e interpretación se basan esencialmente en los «rasgos texturales» (1), las impregnaciones ferruginosas (3), las concentraciones calcíticas y los rasgos indicadores de actividad biológica.

Rasgos texturales (1)

—Arcilla microlaminada (conocida también como arcilanes, Brewer 1964), de color anaranjado, con elevada orientación, formada por una alternancia de capas (>20) de arcilla sin microinclusiones (partículas de 1 a 3 micras) y capas de arcilla con microinclusiones (foto 1): se encuentran o bien revistiendo la base de muchos poros intermedios (fotos 2 y 3), o bien rellenando poros pequeños (<250 μ); a veces se encuentran fragmentados e integrados en la masa basal o matriz, y cuando sucede casi siempre están asociados a rasgos de actividad biológica (foto 4).

Sus características morfológicas y su abundancia son similares a las que presentan los horizontes argílicos de suelos moderadamente lavados formados durante el Holoceno (Fedoroff, 1970; Fedoroff y Goldberg, 1982) bajo clima templado sobre materiales parentales limosos.

—Arcilla impura, de color anaranjado, con orientación escasa a nula, formada por arcilla con numero-

sas microinclusiones: recubre casi siempre a la arcilla microlaminada, rellenando a veces completamente poros intermedios a grandes. A veces presentan microlaminación (hasta 20 capas) y estratificación cruzada.

Respecto a los anteriores rasgos textuales, indican un cambio en el régimen hídrico del suelo: la microsedimentación de partículas con menor grado de clasificación y orientación y la estratificación cruzada parecen justificarlo.

—Arcilla limosa, de color anaranjado, con orientación nula y estratificación mal expresada o nula: se encuentran rellenando parcial o totalmente los espacios abiertos en los anteriores rasgos texturales; también revistiendo total o parcialmente grandes poros (fotos 2 y 3).

Respecto a los dos tipos anteriores, también representan un cambio en el régimen hídrico, cambio indi-

Notas

- (1) Rasgos texturales: Son rasgos edáficos formados por acumulaciones de partículas de cualquier tamaño y en cualquier proporción, resultantes o bien de procesos de migración y posterior deposición en el sistema poral del suelo, o bien del empobrecimiento en algún componente, generalmente arcilla (Bullock *et al.*, 1985). Los rasgos arcillosos, concretamente, resultan de la microsedimentación de partículas arcillosas transportadas en suspensión a través del sistema poral del suelo cuando el agua que las transporta cesa su movimiento descendente (Eswaran y Sys, 1979; McKeague, 1983). La forma aplanada de la mayoría de partículas arcillosas permite explicar el elevado grado de orientación de algunos rasgos texturales (Brewer, 1976). La presencia o ausencia de rasgos arcillosos, su desarrollo y grado de orientación suelen relacionarse con el grado de desarrollo del suelo. Especialmente la presencia de rasgos arcillosos orientados se usa como evidencia de iluviación y sirve para identificar horizontes argílicos (Soil Survey Staff, 1975).
En paleosuelos, los horizontes argílicos y concretamente sus rasgos texturales pueden constituir indicadores paleoambientales de gran interés (McKeague 1983; Fedoroff y Goldberg, 1982).
- (2) Contexturas birrefringentes: Se refiere a la distribución, orientación, tamaño y forma de los constituyentes de la fracción fina agrupados en dominios birrefringentes; es sinónimo de «fábricas de birrefringencia». Las «contexturas estriadas reticuladas» suelen caracterizar a los horizontes que han sufrido repetidos ciclos hinchamiento-deseccación; mientras que las «contexturas en motas aisladas» indicarían horizontes muchos menos dinámicos.
- (3) Impregnaciones ferruginosas: Son rasgos edáficos amorfos o criptocristalinos, de morfología variada (pueden ser nódulos, rellenos, revestimientos o manchas), resultantes de la transformación y/o migración y posterior precipitación de compuestos de hierro y/o manganeso (y accesoriamente cualquier elemento siderófilo).
- (4) Hiporevestimientos: El material que se encuentra revistiendo impregna parte del material revestido.

Tabla III. Datos micromorfológicos.

Table III. Micromorphological data.

HORIZONTE	ESTRUCTURA	POROSIDAD	ESQUELETO	MASA BASAL	RASGOS TEXTURALES	RASGOS FERRUGINOSOS	RASGOS BIOLÓGICOS	RASGOS CALCÍTICOS
Nivel 1	Poliédrica-prismática fuertemente desarrollada	40%. Poros planares irregulares verticales, 25%; canales medios 10%; pequeños poros circulares interconectados, 5%.	25%. Dominan la arena fina (40%) y el limo (50%) de cuarzo (70%), feldspato (25%), micras escasas (5%).	35%. De arcilla polvorizada; con arcilla mota con tendencia a reticulada, a veces poroestriada, raramente granoestriada.	Arcilanes microlaminados orientados, 15%; Arcilanes impuros mal orientados, 10%; Siltarcilanes, 5%.	Manchas y nódulos impregnativos pardos rojizos, 7%, Ø hasta 1 mm, distribuidos al azar.	Estriotubulos 5%, orientados verticalmente.	<5%, típicos nodulos impregnativos de micrita asociados a canales, espesor 250µ; cuasicutans esparíticos recubriendo los anteriores, espesor <500µ.
Nivel 2	Compleja: grumosa y poliédrica subangular medianamente desarrolladas.	40%. Poros planares irregulares, 20%, inclinados 30°; mesocanales, 10%, y poros irregulares finos y gruesos, 10%, poco interconectados.	25%. Dominan la arena fina (60%) de cuarzo (50%) y calclita (50%) y limo (40%) esencialmente calcítico.	35%. Amarillenta, de micrita con arcilla impura; textura-b cristalítica.	-	Manchas y nódulos impregnativos pardo rojizos, 5%, Ø hasta 250µ, distribuidos al azar.	Estriotubulos 10%, agrotubulos, 20%.	20%, nódulos impregnativos asociados a canales, de micrita, densamente empaquetados; neocalcitanes microesparíticos recubriendo a los anteriores en el interior de canales.
Nivel 3	Grumosa (agregados medianamente expresados parcialmente unidos entre sí).	45%. Escasos poros planares 5%, mesocanales, 20%, y poros irregulares pequeños y gruesos, 20%, parcialmente interconectados.	30%. Dominan la arena fina (80%) de cuarzo (50%) y calclita (50%) y limo (20%) esencialmente calcita (90%) y mica (10%).	25%. Amarillenta, de arcilla impura con micrita; textura-b cristalítica.	-	Débilmente impregnativos, entre 50 y 250µ opacos cuando <50µ; abundancia: 2%, distribuidos al azar.	Estriotubulos y agrotubulos constituyendo la casi totalidad del nivel.	10%, nódulos débilmente impregnativos asociados a canales, de micrita; neocalcitanes microesparíticos rellenando fisuras o huecos de empaquetamiento en el interior de zonas bioturbadas.

cativo de una evolución hacia condiciones edáficas que propician la migración brutal de partículas en el sistema poroso del suelo, semejante a la que se produce en los suelos cultivados, o cerca de la superficie en suelos naturales (Fedoroff y Goldberg, 1982).

La secuencia de los tres tipos de rasgos texturales observada en muchos poros, sugiere un cambio en las condiciones de migración de las partículas, cambio que puede reflejar la proximidad a la superficie del suelo y su estado: la arcilla microlaminada sólo puede depositarse en horizontes suficientemente alejados de la superficie, para permitir que las aguas cargadas de partículas en suspensión vayan abandonando en su migración la mayor parte de su carga gruesa, dejando para los poros menos accesibles (más profundos) las partículas más finas; la arcilla impura y la arcilla limosa reflejan condiciones de migración mucho más energéticas, cuanto más cerca de la superficie (Solé Benet, 1979).

La presencia de abundantes revestimientos *in situ* no deformados y la presencia de contexturas birrefringentes en motas aisladas (2), con tendencia, a veces, a estriadas reticuladas, sería la prueba de la existencia secuencial de los dos mecanismos citados por Fedoroff (1970) de formación de los horizontes Bt: iluviación dinámica (con integración de los revestimientos a la ma-

sa basal), e iluviación estática (sin integración de los revestimientos a la masa basal), indicando el primer mecanismo condiciones climáticas de mayor contraste entre estación seca y estación húmeda que el requerido por el segundo mecanismo.

Impregnaciones ferruginosas (3)

Por su escasa abundancia, pequeño tamaño y bajo grado de impregnación (Vepraskas y Bouma, 1976), indican la existencia de anegamientos temporales muy breves, que no son de extrañar considerando la abundancia de arcilla en el horizonte Bt. Por encontrarse afectando a los últimos rasgos edáficos, deben ser posteriores a ellos.

Rasgos de cristalización calcítica

Se distinguen dos formas: una micritización en forma de hiporevestimientos (4), siempre asociada a poros y que va progresando hasta impregnar gran parte de la masa basal, como ocurre en el nivel 2 (foto 5); y una microesparitización en forma de revestimientos, también siempre asociada a poros (foto 6).

Es difícil precisar si esta cristalización secundaria en los niveles 2 y 3 precedió, fue simultánea o posterior

a la formación del nivel 1. En el nivel 1 la cristalización secundaria que aparece es claramente posterior al depósito de los últimos rasgos texturales (fotos 2 y 3).

Rasgos de actividad biológica

Los estriotúbulos y agrotúbulos (Brewer, 1964) son muy abundantes en los dos niveles inferiores (foto 7). Mientras que en el nivel 1 son mucho menos frecuentes tal como lo demuestra la preservación generalizada de los rasgos texturales.

Dado que en los suelos actuales la actividad de la fauna disminuye con la profundidad, podemos interpretar la abundancia de pedoturbación en los niveles 2 y 3 si consideramos dichos niveles como un perfil de suelo progresivamente agradativo. La marcada diferencia de la pedoturbación en el nivel 1 sugiere un cambio en las condiciones ambientales tendente a reducir su desarrollo.

Grado de alteración de los componentes minerales

La superior abundancia de micas de tipo biotita en los niveles 2 y 3, y la de cuarzo y feldespatos potásicos en el nivel 1, sugieren que estamos ante una secuencia de alteración característica de un perfil desarrollado *in situ*, datos que confirman el análisis mineralógico (cuadro I).

Interpretación global

Los niveles 2 y 3 tienen suficientes minerales alterables susceptibles de liberar Fe, Ca y Mg, y unas características granulométricas apropiadas para poder considerarlos material parental a partir del cual pudo diferenciarse el nivel 1.

El color del nivel 1, según Torrent *et al.* (1983) puede correlacionarse con un contenido aproximado de hematites en torno al 3%, dato que concuerda bastante con la cantidad de hierro libre extraída. Dicho valor se aproxima al que presentan muchos suelos fersialíticos en los que la rubefacción es uno de los principales procesos edafogénicos (Lamouroux, 1971).

La rubefacción, según Boulaine (1977), Duchaufour (1972), Lamouroux, (1971) y otros, tiene lugar preferentemente bajo clima mediterráneo y puede producirse complementariamente con la iluviación de arcillas; ambos fenómenos, se ven favorecidos por la permeabilidad del material inicial (limos areno-arcillosos).

El conjunto de características, color (rubefacción), tipo de arcilla, estructura poliédrica-prismática, tipos y abundancia de contexturas birrefringentes (2) y ras-

gos texturales, nos indican que el nivel 1 es semejante al que presentan los suelos fersialíticos lavados o pardo-fersialíticos lavados desarrollados bajo condiciones climáticas mediterráneas.

Las características esenciales para la formación de dichos suelos son la alternancia de períodos secos y húmedos, precipitaciones medias anuales que pueden oscilar desde 400 mm hasta 1000 mm, temperaturas medias anuales superiores a 10° C y vegetación climática de tipo forestal mediterráneo (Boulaine, 1977).

En nuestro caso se trataría de un paleosuelo no excesivamente evolucionado (rubefacción todavía baja, fersialitización y lavado de arcillas moderados), formado en condiciones algo más húmedas que las actuales (como lo demuestra la presencia de arcilla microlaminada en ciertos poros), cuyos horizontes superiores fueron barridos por la erosión y cuyo B o parte de él quedó fosilizado por un nuevo ciclo de sedimentación terrígena.

La reducida actividad de la fauna en el horizonte Bt en comparación con los niveles inferiores, sugiere una evolución tendente a la estabilidad de la topografía, con un cambio de la cobertura vegetal. Esta tendencia a la estabilidad favorecería el desarrollo de una vegetación climax de tipo arbóreo. La actividad de la fauna quedaría limitada a la parte superior de este perfil, quedando el horizonte Bt poco afectada por ella.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las características micromorfológicas descritas, relacionadas principalmente con las texturas (en sentido geológico), así como la presencia de arcillas microlaminadas, abogan claramente hacia un origen *in-situ* del nivel de arcillas marrón rojizo. Por consiguiente este nivel debe considerarse como un horizonte edáfico de tipo Bt.

Asimismo, la distribución y/o evolución de la mineralogía de arcillas en este perfil es también compatible con un proceso edafogénico *in-situ*. Las diferencias más notables entre el nivel 1 y los niveles 2 y 3 estriba en el mayor contenido de illita y en el bajo contenido de arcillas del tipo interestratificados I-V del primero con respecto a los dos restantes. Hecho que no debe extrañar en un perfil evolucionado en el que la illita puede representar una arcilla de tipo micáceo, resistente a la alteración y en el que los tránsitos intermedios están relacionados con la zona de circulación preferencial, o sea con el nivel de limos.

La presencia de palygorskita en los niveles 2 y 3 no debe necesariamente interpretarse como una posible in-

fluencia del medio marino. Callen (1984) recopila la amplia bibliografía sobre esta arcilla e indica que suele acompañar a los suelos con formación de horizontes cálcicos. Asimismo, Michaud *et al.*, (1946) citan esta arcilla como constituyente de los suelos mediterráneos.

Los minerales pesados no presentan anomalía significativas en su distribución vertical. El nivel 1 (arcilloso) presenta una mayor proporción de minerales opacos y el 3 una mayor cantidad de micas. Ambos hechos pueden atribuirse a la estabilidad de los componentes minerales; mientras en el horizonte argílico dominan los óxidos de hierro, en el nivel limoso micas de tipo moscovítico altamente resistentes y procedentes de la alteración de los esquisos pueden constituir un elemento dominante.

Algunas diferencias que parecen importantes, como en el caso del zircón, se deben al tamaño de los granos. Así, mientras en el nivel 3 los granos son de pequeño tamaño y abundan, en el nivel 1 son escasos aunque de mayor tamaño. Dado que los porcentajes se basan en el conteo del número de granos de una misma especie, éste puede inducir a error en un proceso de alteración mecánico.

Pero no solamente es posible demostrar el origen edáfico del nivel de arcillas rojizas, sino que además se aportan argumentos de interpretación paleoambiental que se deben sobre todo a la micromorfología.

La jerarquización de los elementos micromorfológicos permite establecer la siguiente secuencia de acontecimientos:

1) Depósito progresivamente agradativo del material inicial, predominantemente de «sheet-flow» aunque no se descarta una posible influencia eólica. Este material, de naturaleza mixta, calcárea y silícica, procede del relieve próximo de Collcerola. Esta sedimentación es compatible con una acción edafogénica bajo vegetación de tipo mediterráneo, arbórea con sotobosque herbáceo bien desarrollado, durante la cual la acción de la fauna adquiere un papel importante y deja sus huellas en todos los niveles, pero especialmente en los niveles 3 y 2.

2) La iluviación de arcilla se inicia una vez alcanzado un buen grado de decarbonatación de los horizontes superiores, como lo demuestra el tipo de masa basal del nivel 1. En esta primera etapa de iluviación el papel de la fauna es todavía importante como lo demuestran algunas trazas de actividad biológica que contribuyen a integrar la arcilla iluvial a la masa basal del nivel 1. Por otra parte, los carbonatos se acumulan preferentemente en el nivel 2.

LAMINA I.- Fotomicrografías de los niveles estudiados.

Foto 1.- Arcilla microlaminada con elevada orientación, formada por una alternancia de capas de arcilla con y sin micro-inclusiones. Nícoles cruzados. Nivel 1.

Foto 2.- Secuencia de rasgos texturales y calcíticos rellenando parcialmente una cavidad: en la parte inferior e izquierda de la foto y en contacto con las paredes de la cavidad se observa un revestimiento de arcilla microlaminada; sobre él, un depósito irregular de arcilla impura; fosilizando al conjunto, un depósito calcítico. Nícoles paralelos. Nivel 1.

Foto 3.- Id. foto 2, con nícoles cruzados.

Foto 4.- Pedotúbulos orientados verticalmente que incluyen fragmentos de arcilla microlaminada. Nícoles paralelos. Nivel 1.

Foto 5.- Impregnación micrítica en forma de hiporevestimiento de un poro no visible en la foto (parte inferior izquierda); la masa basal típica del nivel 2 puede verse en la parte superior derecha. Nícoles cruzados.

Foto 6.- Precipitación de microesparita asociada a una cavidad irregular. Nícoles cruzados. Nivel 2.

Foto 7.- Rasgos de actividad biológica: pellets fecales aglomerados. Nícoles paralelos. Nivel 3.

Foto 8.- Rasgos de actividad biológica: estriotúbulos orientados verticalmente. Nícoles paralelos. Nivel 2.

PLATE I.- Photomicrographs of the studied layers.

Photo 1.- Highly oriented microlaminated clay, formed by alternated laminae of pure and dusty clay. Layer 1.

Photo 2.- Sequence of textural and crystalline features partly filling a cavity: at the bottom and at the left side, touching the cavity wall, we observe a coating of microlaminated clay; a coating of impure clay covers the latter textural feature; on top of it a calcitic deposit fossilizes the whole. Layer 1.

Photo 3.- Same as photo 2, crossed polarized light.

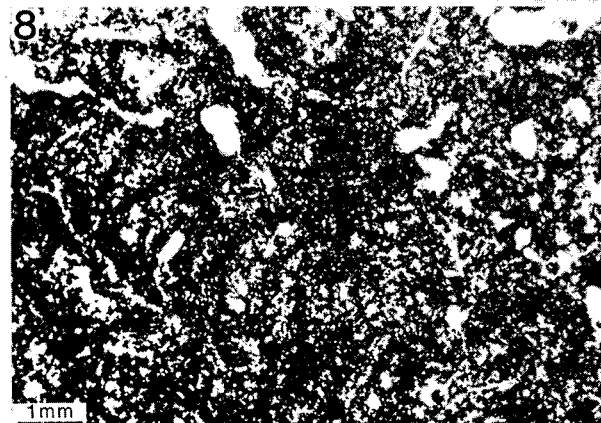
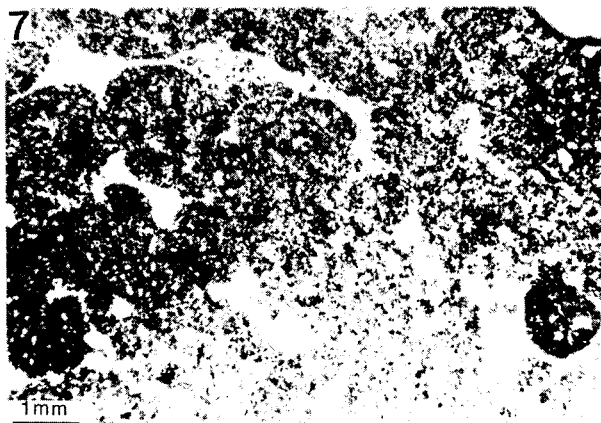
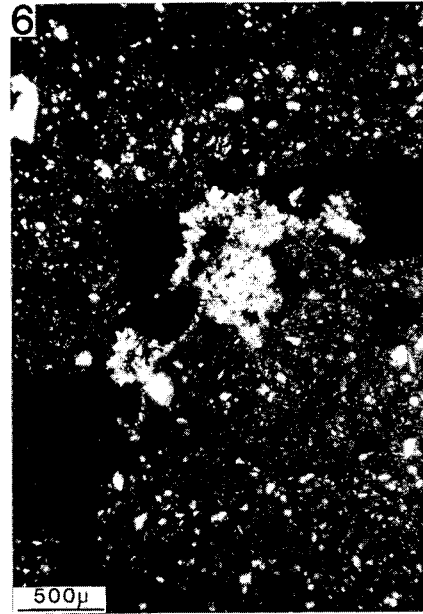
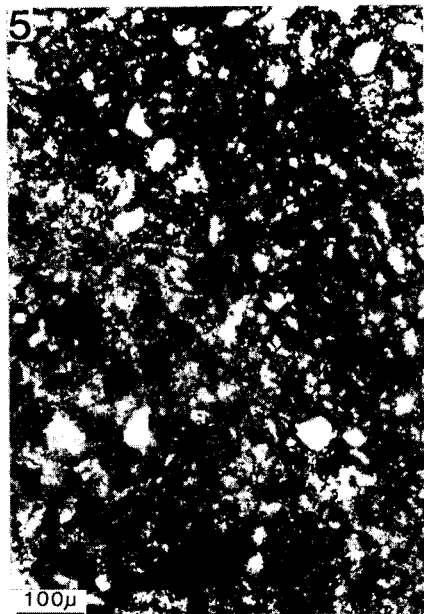
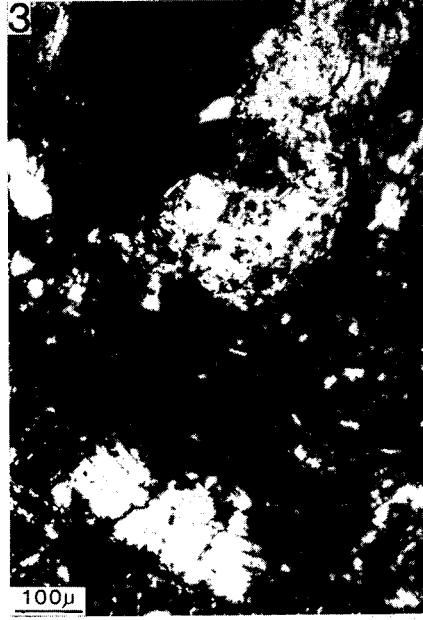
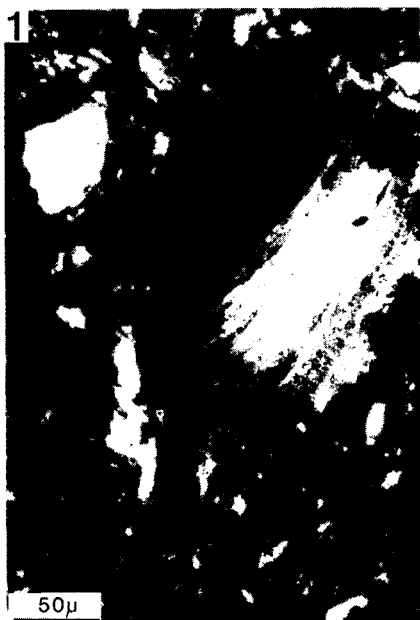
Photo 4.- Vertically oriented pedotubules enclosing microlaminated clay fragments. Plain polarized light. Layer 1.

Photo 5.- Micritic impregnation (hipocoating) of a channel; the typical basal mass of layer 2 can be observed at the upper right.

Photo 6.- Microsparite partly infilling of an irregular cavity. Crossed polarized light. Layer 2.

Photo 7.- Features of biological activity: agglomerated faecal pellets. Plain polarized light. Layer 3.

Photo 8.- Features of biological activity: vertically oriented striotubules. Plain polarized light. Layer 2.



3) Se va acentuando la iluviación y disminuye considerablemente la acción de la fauna, como lo demuestra el que la mayoría de rasgos texturales del nivel 1 estén impecablemente conservados.

4) La acción de la iluviación llega a acumular tanta arcilla en el horizonte B (nivel 1) que el agua tiene dificultades para infiltrarse, desarrollándose fenómenos de hidromorfía de corta duración como lo demuestran las pequeñas impregnaciones ferromangánicas presentes en todos los niveles.

5) Bien sea debido a la degradación del bosque y/o a una fase de encajamiento de la red fluvial, la erosión afecta a los horizontes superficiales y queda reflejada en la secuencia de rasgos texturales que es progresivamente más gruesa. Esta etapa marca el final de un ciclo edáfico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. Emma Sainz de Amor el análisis mineralógico de la fracción arena, pesada y ligera y al Dr. Ramón Josa los análisis químicos del Fe.

El presente trabajo se ha llevado a cabo dentro del marco de un proyecto de investigación financiado por la CAICYT-CSIC.

BIBLIOGRAFÍA

- BENAYAS, J., GUERRA, A., 1969: Contribution to the micromorphological study of red mediterranean soils in Spain. *3rd Int. Work. Meets Soil Micromorphology*, Wrocław. Poland.
- BECH, J., SOLÉ, A., 1977: Datos micromorfológicos sobre la recarbonatación de los suelos rojos de la Sierra litoral (Barcelona). *Actas de la 2a Reunión del Grupo Español de Trabajo del Cuaternario*, Jaca 1975, pp 19-31.
- BOULAINÉ, J., 1977: *Les sols fercalciques*. Doc. offset. Dept. des Sols. Institut National Agronomique Paris-Grignon. 38 p.
- BREWER, R., 1976: *Fabric and mineral analysis of soils*. 2nd edition, Krieger Ed., Huntington, New York. 482 p.
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G., TURSINA, T., 1985: *Handbook for Soil Thin Section Description*. Waine Research Public., London. 150 p.
- CALLEN, R.A., 1984: Bibliography: Soils. In A Singer & E. Galan (eds.): *Paligorskite-Sepiolite: occurrence, genesis and uses*. Elsevier. Appendix II. 3, pp. 331-334.
- DUCHAUFOUR, PH., 1972: *Processus de formation des sols; biochimie et géochimie*. Université de Nancy I, Centre de Pedologie. Collection Études et Recherches. 184 p.
- ESWARAN, H., SYS, C., 1979: Argilic horizon in LAC soils formation and significance to classification. *Pedologie*, 29: 175-190.
- FEDOROFF, N., 1970: *Les dépôts de particules migrant en suspension à travers les sols*. Séminaire de Micromorphologie, Septembre 1970, E.N.S.A. Grignon, France, 20 p.
- FEDOROFF, N., GOLDBERG, P., 1982: Comparative micromorphology of two Late Pliocene paleosols in the Paris Basin. *Catena*, 9 (3-4): 227-252.
- GALLART, F., 1981: Neógeno Superior y Cuaternario del Penedés (Cataluña), España. *Acta. Geol. Hisp.*, 16 (3): 151-157.
- JOSA, R., 1985: *Estudi cronoseqüencial de sòls sobre les terrasses de l'Anoia*. Tesis doctoral inédita. Fac. Geologia, U. Barcelona, 119 p.
- LAMOUREUX, M., 1971: *Étude des sols formés sur roches carbonatées. Pedogénèse fersiallitique*. These Doct. État, Univ. Strasbourg. Mem. ORSTOM, 56, 314 p.
- LLOPIS LLADÓ, N., 1942: Los terrenos Cuaternarios del Llano de Barcelona. *Public. Inst. Geol. Topogr. Diput. Prov. Barcelona*, VI, 51 p.
- MacKEAGUE, J.A., 1983: Clay skins and argilic horizons. in P. Bullock & C.P. Murphy (eds.) *Soil Micromorphology*, A.B. Acad. Publish., England, pp. 367-387.
- MARQUÈS, M.A., JULIÀ, R., 1985: Preliminary maps of natural features, dynamics and artificial structures from Llobregat to Comarruga (Catalonia, Spain). *Actes Excursion-Symposium n° 9 I.G.U. Com. Coastal Environment*. Ed. R. Pasko, Paris, pp 15-29.
- MARQUÈS, M.A., JULIÀ, R., 1986: Littoral processes and defence structures on the Costa Daurada, in Marques (ed.): *Guidebook of Symposium on Man's Impact on Coastal Environment*, Barcelona, pp 49-62.
- IGME, 1975: Mapa geológico de España. Escala 1:50.000, 2ª serie, 420: Hospitalet de Llobregat. Serv. Publ. Ministerio Industria, 55 p. 1 mapa pleg.
- MICHAUD, R., CERCHELLI, R., DROUINEAU, G., 1946: Sur les spectres de rayons-X des argiles extraites de sols méditerranéens. *C.R. Hebd. Séanc. Acad. Sci. Paris*, 222 (1): 94-95.
- MUCHER, H.J., MOROZOVA, T.D., 1983: The application of soil micromorphology in Quaternary Geology and Geomorphology, in Bullock & Murphy, eds. *Soil Micromorphology*, vol I, A.B. Academic Publishers. England. pp. 151-194.
- MURPHY, C.P., 1986: *Thin section preparation of soils and sediments*. A.B. Academic Publishers, Berkshamsted, England, 149 p.
- RIBERA FAIG, J.M., 1945: Observaciones sobre el Cuaternario de la comarca del Penedés (Barcelona). *Miscelánea Almera*, 1ª Parte, *Public. Inst. Geol. Diput. Barcelona*, pp 213-293.
- SCHWERTMANN, U., 1964: Differenzierung der Eisenoxide des Boden durch extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenenernarh., Dung., Bodenkunde*, 105: 194-202.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975: *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for making and interpreting soil surveys*. U.S.D.A. Agric. Handbook n. 436, 754 p., Washington, D.C.
- SOLÉ BENET, A., 1979: Contribution a l'étude du colmatage mineral des drains; une demarche experimentale basée sur la micromorphologie pour étudier les transferts solides dans les sols. *C.T.G.R.E.F.*, Memoire 13, 251 p.
- SOLÉ SABARÍS, L., 1963: Ensayo de interpretación del Cuaternario barcelonés. *Miscelanea Barcinonensia*, II: 8-54.
- SOLÉ SABARÍS, L., VIRGILI, C., ZAMARREÑO, I., 1957: Les Quaternaire continental de la Plaine de Barcelona. Livret-guide d'excursions: environs de Barcelone et Montserrat. *Vème Congrès INQUA*, pp 7-16.

TORRENT, J., SCHWERTMANN, U., FECHTER, H., ALFÉ-
REZ, F., 1983: Quantitative relationship between soil color and
hematite content. *Soil Science*, 136 (6): 354-358.

VALENTINE, K.W.G., DALRYMPLE, J.B., 1976: Quaternary bu-
ried paleosols: a critical review. *Quaternary Research*, 6: 209-222.

VEPRASKAS, M.J., BOUMA, J., 1976: Model experiments on mot-
tle formation simulating field conditions. *Geoderma*, 15: 217-230.

VILASECA, S., 1973: Reus y su entorno en la prehistoria. *Asocia-
ción de Estudios Reusenses*, pub. n° 48, 282 p.

VIRGILI, C., 1960: Estudio de los minerales pesados del Cuaterna-
rio continental del litoral catalán. *Anal. Edaf. y Agrobio.*, XIX:
229-240.

VIRGILI, C., ZAMARREÑO, I., 1957: Depósitos continentales del
Interglaciario Riss-Würm del litoral catalán, in V Congreso Int.
INQUA. Résumé des communications, pp. 194. Barcelona.

Recibido, julio 1987.