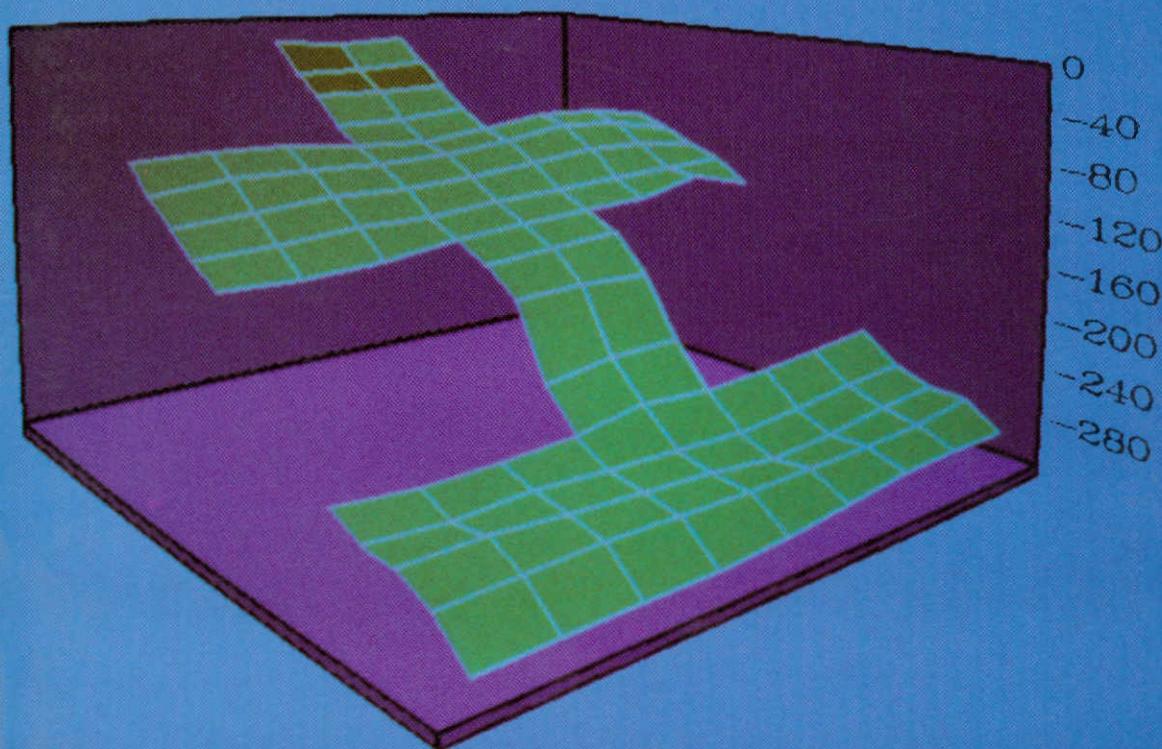


NUEVAS  
TENDENCIAS

# ARQUEOLOGIA

Coordinadora: ASUNCION VILA



Consejo Superior de Investigaciones Científicas

ASOCIACIÓN VILA  
Coordinadora

ARQUEOLOGÍA



© C.S.I.C.

I.S.B.N.: 84-00-07172-7

Depósito legal: M. 27.620 - 1991

Impreso en España. *Printed in Spain.*

RAYCAR, S. A. Impresores. Matilde Hernández, 27. 28019 Madrid.

# Micromorfología: Métodos y técnicas microscópicas aplicadas a la Arqueología

Albert Solé Benet\*

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

## 1. Introducción

La micromorfología es un conjunto de métodos y técnicas cuya finalidad es el estudio microscópico de láminas delgadas y secciones pulidas de muestras no alteradas de suelos y sedimentos. Lo más atractivo de esta técnica es permitir el examen muy detallado de cortes de yacimientos arqueológicos (suelos, sedimentos o depósitos antrópicos) conservando perfectamente la estructura u organización inicial de los materiales tal como se presentan en el campo.

En Micromorfología se parte del concepto de que los suelos y los sedimentos no son únicamente colecciones de componentes variados, sino sistemas organizados con unas estructuras propias que resultan de procesos físicos, químicos y biológicos. Cada capa sedimentaria, cada suelo y cada uno de sus horizontes tienen una organización micromorfológica propia.

Mediante la Micromorfología se pueden ver e identificar la mayoría de componentes del suelo o sedimento, y determinar su origen autóctono o alóctono. Además, determinados componentes o asociaciones de ellos tienen a veces un significado ambiental muy preciso e interpretable en base a procesos ya sea edáficos, sedimentarios o bien antrópicos. Las relaciones entre dichos componentes o asociaciones de componentes son asimismo de gran utilidad: su análisis secuencial permite establecer su cronología relativa, de especial interés en la reconstrucción histórica de los yacimientos arqueológicos.

La micromorfología, que se desarrolló inicialmente para estudiar la génesis del suelo y los procesos edáficos, actualmente es la gran aliada de diversas ramas de las Ciencias del Suelo (Mineralogía de Suelos, Física de Suelos, Química de Suelos, Biología de Suelos) y también encuentra su aplicación en Agricultura, Ecología, Mecánica de Suelos y Arqueología.

El instrumento básico de la Micromorfología es el microscopio polarizante (M.P.) que permite la observación de láminas delgadas (de 20 a 30  $\mu\text{m}$  de grosor) de suelos o sedimentos, endurecidos en el laboratorio de tal manera que no se altera su estructura inicial. La escala de observación microscópica, con el M.P., abarca desde el centímetro hasta el micrometro. Además del M.P., también se utilizan los microscopios electrónicos de transmisión y de barrido, y las microsondas, lo que amplía considerablemente la escala de observación, así como el grado de resolución

---

\* Dirección actual: Estación Experimental de Zonas Áridas. C.S.I.C. Almería.

analítica. El carácter inicialmente descriptivo de la Micromorfología se amplía hoy en día mediante las cuantificaciones llevadas a cabo con los analizadores de imagen.

Si bien se considera a Kubienska<sup>(29)</sup> como el iniciador de la Micromorfología de Suelos, al publicar en 1938 su obra *Micropedology*, no se encuentran aplicaciones concretas a la Arqueología con cierta asiduidad hasta esta última década, en que destacan los trabajos de Goldberg<sup>(26, 27, 28)</sup>, Macphail<sup>(31, 32, 33)</sup> y Courty<sup>(16, 17, 18, 19, 20)</sup>. En los trabajos de estos autores destaca una idea: la micromorfología es una técnica mucho más idónea para efectuar reconstrucciones históricas de suelos u otros materiales sedimentarios que las técnicas que utilizan los análisis físicos, fisicoquímicos, químicos o mineralógicos llevados a cabo con muestras perturbadas.

De hecho, se puede considerar que los datos procedentes del análisis micromorfológico son como el nexo de unión entre los datos obtenidos en el campo (descripciones morfológicas sobre todo) y los datos obtenidos en el laboratorio (análisis físicos, químicos y mineralógicos). Los primeros se obtienen mediante la descripción «macroscópica» de las formas y estructuras observadas *de visu* o a lo sumo con una lupa, mientras que los segundos se obtienen con los elementos separados (separaciones químicas, físicas o minerales) del conjunto inicial observado en el campo (depósito antrópico, suelo, sedimento, estrato, capa, estructura sedimentaria, etc.).

A lo largo de este capítulo se presentan los fundamentos de la Micromorfología y se trata de demostrar su utilidad como técnica y método de apoyo en Arqueología, destacándose su papel fundamental en la reconstrucción histórica de suelos y sedimentos arqueológicos.

## 2. Los fundamentos de la Micromorfología

En esta sección se dan las nociones básicas sobre la toma de muestras, su preparación en el laboratorio, la realización de láminas delgadas y cómo éstas se describen con el microscopio. Se comentan brevemente las técnicas auxiliares y las modernas técnicas ultramicroscópicas y de análisis de imágenes. El lector interesado en profundizar en el tema debe consultar las referencias 3, 4, 6, 7, 8, 22, 25, 36 y 38, en lo que respecta a los fundamentos de la Micromorfología, y las referencias 19, 20, 27 y 32 para la utilización de la Micromorfología en Arqueología.

Pero antes de empezar a describir las técnicas involucradas en Micromorfología, conviene tener bien claro que la información que podemos obtener con dicha técnica no sólo depende del dominio de la propia técnica, es decir de la calidad de las láminas delgadas y de la exhaustividad de la descripción microscópica; depende también y fundamentalmente de la idoneidad y rigurosidad del muestreo y del número de muestras en función del problema planteado.

### 2.1. La toma de muestras en el campo

La dificultad en tomar muestras no perturbadas de suelos o sedimentos es muy inferior a la de un inventario típico de un yacimiento arqueológico. Sólo consiste en obtener muestras de tamaño suficiente, debidamente orientadas y protegidas para su transporte al laboratorio.

Cuando el grado de consolidación del suelo o sedimento es bajo, como suele suceder a menudo, se utilizan unas cajas metálicas rígidas, abiertas por ambos lados, llamadas cajas de Kubiena, que suelen tener como promedio  $10 \times 6$  cm de abertura por 5 cm de profundidad (fig. 1a). Según el problema planteado pueden utilizarse cajas de mayor tamaño.

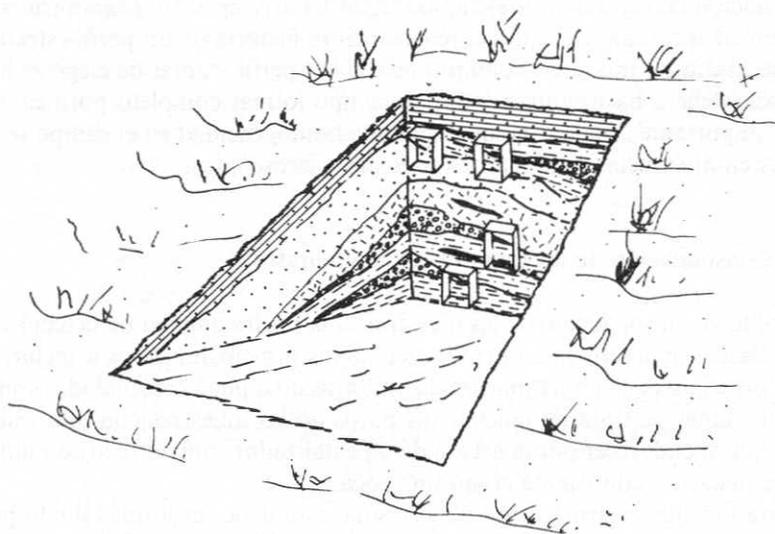


Fig. 1a. Toma de muestras inalteradas para micromorfología en cajas de Kubiena.

Las cajas se introducen cuidadosamente en el suelo o sedimento ejerciendo una ligera presión sobre una de las caras en la que se apoya o bien su correspondiente tapa o bien cualquier tablita de madera (fig. 1a). Si la presión no es suficiente para hacer entrar la caja en el suelo, se va introduciendo un cuchillo puntiagudo por los laterales exteriores de la caja, con lo que se consigue cortar la tierra alrededor, lo que facilita la penetración de la caja. Cuando encontramos un suelo o sedimento cementado en un grado tal que hace imposible la penetración de la caja, se talla un bloque de tamaño parecido con cuchillos o cinceles. La presencia de piedras o gravas abundantes dificulta grandemente el muestreo con cajas. En dicho caso es aconsejable englobar la muestra *in situ* con una resina plástica.

La orientación de la muestra debe anotarse cuidadosamente en los laterales de las cajas con la finalidad de que, una vez consolidadas, se puedan realizar los cortes en las direcciones que más interesen.

Para evitar alteraciones en su estructura original, las muestras deben manipularse con cuidado al transportarlas al laboratorio.

En los estudios de suelos y/o sedimentos suele ser de gran interés poder ver y caracterizar las transiciones o límites entre los distintos horizontes y/o capas sedimentarias. En consecuencia, para estudios exploratorios se procura tomar las cajas de Kubiena de tal manera que contengan la máxima diversidad de capas u horizontes.

Pero para caracterizar de manera exhaustiva un perfil no sólo son interesantes las transiciones entre capas sino también las mismas capas. En general las zonas que presentan mayor heterogeneidad o bien gradientes de alguna característica de interés (por ejemplo presencia de finas capas oscuras, atribuibles a cenizas; alternancias de colores, etc.) son las que deben muestrearse prioritariamente.

Respecto al número de muestras necesarias para resolver problemas puntuales tales como conocer el origen del color o el carácter autóctono o alóctono de una acumulación de cenizas, por ejemplo, según Courty *et al.* <sup>(19)</sup>, bastan tres o cuatro muestras. En cambio, si se desea reconstruir la historia de un perfil estratigráfico, será necesario un muestreo continuo de todo el perfil y antes de elegir el lugar del muestreo deberá hacerse un estudio de campo lo más completo posible.

Es importante señalar que una aparente homogeneidad en el campo se traduce a veces en diferencias significativas a escala microscópica.

## 2.2. Consolidación de las muestras en el laboratorio

Como la consolidación de las muestras es la piedra angular de la técnica micro-morfológica, se describen con cierto detalle los principales pasos a seguir.

El principio de la impregnación de muestras no o poco consolidadas con resinas es bien simple: se trata de rellenar los poros de las muestras con una resina bien fluida que al endurecer por la acción de un catalizador, convierta al conjunto en un bloque macizo y consistente como una roca.

Para facilitar la penetración de la resina, ésta debe ser lo más fluida posible y la operación se efectúa bajo vacío.

Debido a la incompatibilidad de la gran mayoría de resinas sintéticas con el agua, es muy importante dejar secar exhaustivamente las muestras. Primero al aire libre, para eliminar lentamente el agua sin que se produzcan agrietamientos excesivos, y después en la estufa entre 40 y 50° C. En materiales húmedos particularmente susceptibles de modificar de manera exagerada su estructura con el secado, se procede a un intercambio de la humedad por acetona en fase líquida o fase vapor (fig. 1b). En el método propuesto por Murphy <sup>(33)</sup> se colocan las muestras en un desecador (o en cualquier recipiente con tapa hermética) en el que habremos intro-

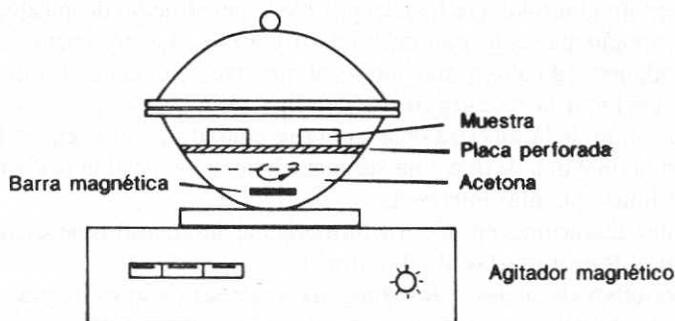
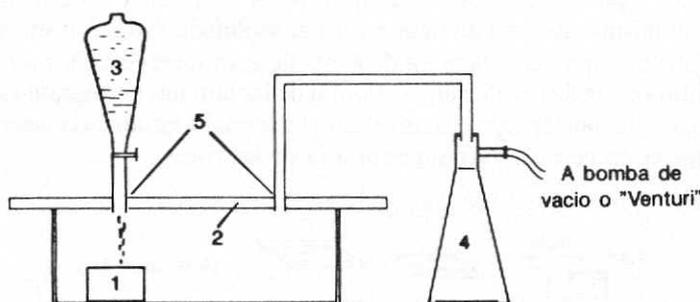


Fig. 1b. Eliminación de la humedad de las muestras con vapor de acetona según el método de Murphy <sup>(33)</sup>.

ducido acetona. Los vapores de acetona van desplazando paulatinamente el agua contenida en los poros de la muestra. La agitación de la acetona con un agitador magnético y el cambio frecuente de la acetona eliminarán todo vestigio de agua en menos de dos semanas, sin alterarse la estructura inicial de la muestra. En la figura 1c se presenta el esquema de la instalación.

Si bien algunos laboratorios dedicados a Micromorfología cuentan con un equipamiento relativamente sofisticado y costoso, no es imprescindible una infraestructura compleja para impregnar muestras (fig. 1c). Basta una trompa de vacío (que deberá substituirse por una bomba de vacío allí donde la presión del agua no sea suficiente), un vacuómetro sencillo, un recipiente en el que se pueda hacer el vacío (puede ser una campana de vacío o bien una olla a presión de las domésticas en la que se substituye la tapa metálica por una placa de metacrilato), dos o tres embudos de decantación, tubos de vacío y llaves de vidrio o metálicas para gas.



**Fig. 1c.** Esquema simplificado para impregnar muestras de suelos o sedimentos no consolidados con resinas sintéticas.

1. Muestra.
2. Placa de metacrilato de al menos 2 cm de grosor.
3. Embudo de decantación con la resina.
4. Matraz Kitasato.
5. Perforaciones en la placa de metacrilato en las que se colocan los embudos de decantación y la salida al vacío.

Respecto a la resina plástica, hay disponibles en el comercio un buen número de ellas; por su transparencia, resistencia al mecanizado, fácil manipulación, y por su bajo costo sólo se citan aquí las resinas poliéster. El inicio del proceso de endurecimiento y su duración vienen controlados por las dosis del catalizador y del acelerador que se comercializan con cada resina. Es siempre aconsejable reducir las dosis que recomiendan los fabricantes para conseguir una impregnación perfecta. A título informativo se dan las dosis de catalizador y acelerador de algunas resinas, con probados resultados en la impregnación de suelos y sedimentos: Cronolita 1108 (de 0,17 a 0,8 por 100 de catalizador y de 0,05 a 0,16 por 100 de acelerador) y Resipol HD-0059 (0,1 a 0,2 por 100 de catalizador, sin acelerador, puesto que la resina lo lleva ya incorporado).

Dada la elevada viscosidad de las resinas es indispensable diluirlas con algún disolvente que aumente su fluidez, con la finalidad de facilitar su penetración por

los más finos poros del material a impregnar. Si bien los fabricantes de resinas poliéster recomiendan diluirlas con monoestireno, se ha visto que la dilución con acetona es más ventajosa: los vapores de acetona son mucho menos tóxicos que los del monoestireno, la dosis de catalizador a utilizar es totalmente independiente del volumen de acetona añadido y la fluidez alcanzada por la mezcla es superior.

Debido a los vapores nocivos que desprenden las resinas poliéster antes de endurecer, es aconsejable llevar a cabo las impregnaciones bajo una campana extractora de laboratorio o al menos en un local perfectamente ventilado.

### 2.3. Preparación de las láminas delgadas

Una vez consolidadas, las muestras se cortan a rebanadas con una sierra diamantada y las secciones obtenidas se montan en vidrios porta-objetos antes de proceder a su desbaste y pulido hasta alcanzar un espesor entre 20 y 30  $\mu\text{m}$  (fig. 1d). El proceso es el mismo que con cualquier roca consolidada. Sólo que en Micromorfología de Suelos se prefieren láminas delgadas de gran superficie (70 mm  $\times$  50 mm como mínimo en vez de los 25 mm  $\times$  45 mm de las láminas petrográficas estándar) para conseguir una mayor representatividad del material a estudiar (la heterogeneidad de los suelos es en general muy superior a la de las rocas).

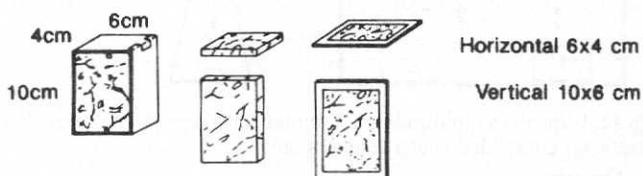


Fig. 1d. Muestra consolidada, secciones y láminas delgadas que pueden obtenerse.

Para la preparación de láminas delgadas se requiere una sierra diamantada y una desbastadora-rectificadora de las disponibles en el comercio para tal fin (Diamant-Board, Struers, Logitech, Brot, Breuher, H.P., por citar las más conocidas).

De hecho, existen en nuestro país y en el extranjero un cierto número de laboratorios públicos y privados que realizan láminas delgadas de rocas e incluso de suelos. Dado que las muestras impregnadas tienen ya la consistencia de una roca, no debe haber ningún problema en confiar la preparación de las láminas delgadas a uno de dichos laboratorios.

El lector interesado en profundizar en el tema de las impregnaciones o en el de la realización de láminas delgadas de suelos y sedimentos debe consultar la obra de Murphy<sup>(35)</sup>.

## 2.4. La microscopía óptica aplicada a suelos y sedimentos

### 1. Principios básicos

Las láminas delgadas se examinan con el microscopio polarizante (M.P.), en general entre 10 y 500 aumentos.

El M.P., también llamado M. petrográfico, se diferencia del microscopio «normal» o biológico por tener una platina giratoria y estar provisto de filtros polarizantes llamados polarizador y analizador y otros aditamentos propios para la identificación de minerales, como la lente de Bertrand y las láminas y cuñas ópticas.

Para examinar cualquier lámina delgada o pulida con el microscopio es necesario en primer lugar tener unas nociones mínimas de mineralogía óptica. Los conocimientos necesarios pueden adquirirse sin dificultad en cualquier manual de Mineralogía.

El lector interesado encontrará los parámetros indispensables para la identificación de los minerales, como por ejemplo:

- *Color y pleocroísmo*: Cambio en el color del mineral al girar la platina del microscopio.
- *Hábito*: Forma de los granos minerales individuales.
- *Tamaño*: Si bien no es un parámetro de identificación, es de gran importancia para la interpretación respecto al origen, modo de transporte o en los cambios de litología.
- *Exfoliación*: Tendencia de ciertos minerales a romperse en direcciones determinadas, produciendo superficies planas que son caras reales o posibles del mineral. Al microscopio, los minerales aparecen atravesados por finas rayas paralelas. Las micas presentan una única dirección de exfoliación. En los piroxenos, dos conjuntos de rayas se cortan en ángulo recto y en los anfíboles las rayas se cortan a unos 120°. El cuarzo y los feldespatos no presentan exfoliación.
- *Birrefringencia* o doble refracción: Fenómeno que presentan todos los minerales excepto los del sistema cúbico y algunos otros materiales, de desviar en dos direcciones los rayos de luz que los atraviesan; gracias a esta propiedad, cuando se observan minerales colocados entre polarizadores cruzados, puede suceder que la luz atraviese o no el segundo polarizador al girar la platina del microscopio. Cuando la luz atraviesa el analizador se habla de minerales birrefringentes o anisotropos. Cuando no se observa paso de luz, se trata de un mineral no birrefringente o isótropo.
- *Color de interferencia* (es el color que presentan los minerales birrefringentes cuando se observan con los polarizadores cruzados).

### 2. Método descriptivo

En Micromorfología, la correcta descripción de una lámina delgada es fundamental para interpretar los procesos que han tenido lugar en el suelo o sedimento y poder explicar su formación. La descripción micromorfológica es la base para

poder comparar suelos y/o sedimentos entre sí, para clasificarlos y para desarrollar modelos que expliquen su formación. Asimismo sirve de apoyo a otros análisis y proporciona argumentos para decidir sobre la necesidad de análisis adicionales.

Para describir una lámina delgada se acostumbra agrupar a sus constituyentes en cuatro grupos principales: *microestructura*, *componentes esenciales*, *masa basal* y *rasgos edáficos* (fig. 2).

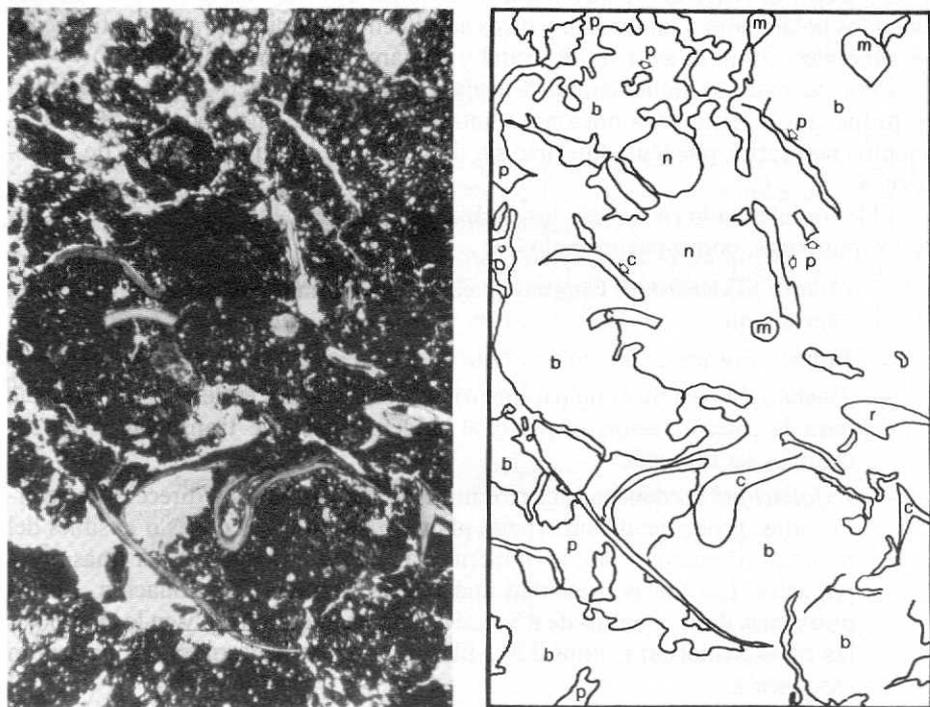


Fig. 2. Microestructura compleja de un suelo enterrado asociado a un yacimiento arqueológico. Se observan numerosos fragmentos de conchas de caracol, muy pequeños fragmentos de huesos, nódulos calcáreos anteriores y posteriores al enterramiento y alguna raíz.

*p*: poros; *m*: granos minerales; *b*: masa basal formada por rasgos de bioturbación amalgamados; *n*: nódulos calcáreos; *c*: fragmentos de conchas de caracol; *r*: raíz.

En primer lugar, se observa y se define la *microestructura*, que es la forma de organizarse el suelo en agregados o agrupaciones naturales de componentes elementales, dejando entre ellos espacios vacíos o poros.

Si no aparecen agregados, es decir si todos los elementos sólidos aparecen en contacto los unos con los otros, se habla de microestructura masiva. Si todos los componentes individuales parecen estar sueltos, se tiene una *microestructura particular*. Cuando hay agregados, según su forma se pueden encontrar *microestructuras poliédricas, prismáticas, laminares, granulares, grumosas, esponjosas*, etc. Respecto a los poros, es interesante describir su morfología (*poros intergranulares, tubulares y planares; vesículas, cámaras y huecos*), su tamaño, su posición (inter-, intra- y

trans-agregado), su abundancia, la rugosidad o lisura de sus paredes y su distribución relativa dentro del suelo.

Las microestructuras y las porosidades de los suelos naturales, de los sedimentos y de ambos afectados por la actividad humana, son en general totalmente diferentes. Asimismo son diferentes las de suelos sometidos a diferentes tipos de uso.

En segundo lugar se describen los *componentes minerales esenciales*, que son los granos minerales identificables con el microscopio petrográfico (suelen ser las fracciones grava, arena y limo grueso). Se anota el porcentaje de cada mineral presente, sus tamaños medio y extremos, sus morfologías externas (grado de esfericidad y angulosidad) e internas, consignándose sus formas de alteración.

Lo mismo se hace con los *componentes orgánicos esenciales*, formados por restos de plantas (fragmentos de órganos y de tejidos y células) y de animales (fragmentos de conchas, dientes, huesos).

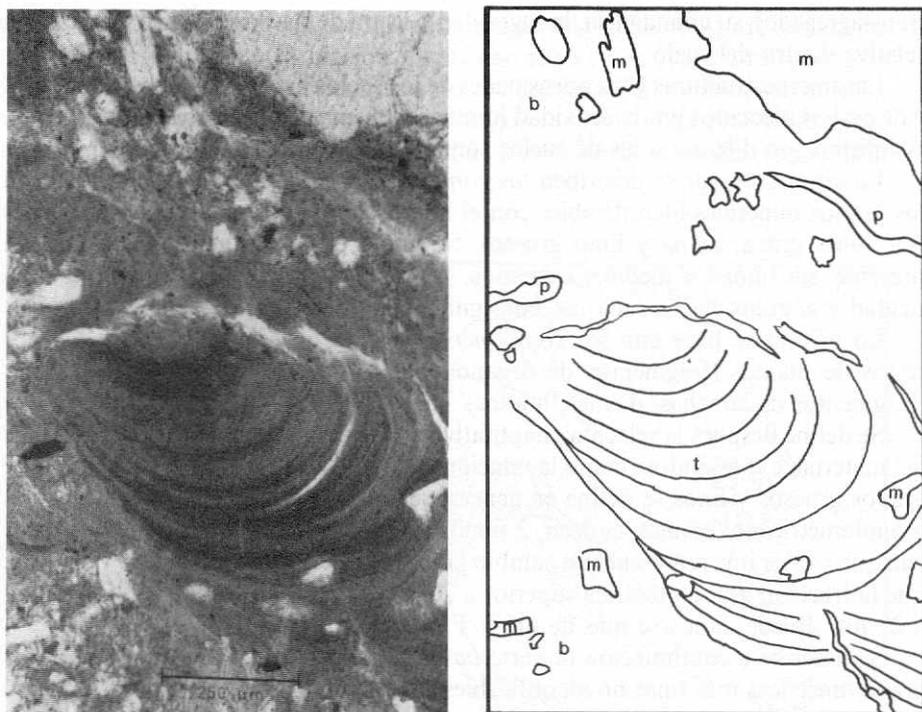
Se define después la relación cuantitativa entre los componentes gruesos y finos del material, expresándose como la relación Gruesos/Finos o  $G/F$ . El umbral entre granos gruesos y finos se define en general según los límites de las clasificaciones granulométricas existentes, es decir, 2 mm, 200, 50 y 20  $\mu\text{m}$ , aunque puede utilizarse cualquier valor que represente un cambio granulométrico. Un  $G/F_{20\ \mu\text{m}} = 1/2$  indica que la fracción granulométrica superior a 20  $\mu\text{m}$  es la mitad de la fracción inferior a 20  $\mu\text{m}$ . Puede indicarse más de un  $G/F$ .

Se describe a continuación la *masa basal* o *matriz*, formada por las fracciones granulométricas más finas no identificables con el microscopio óptico. Se anota su color y su color de interferencia, así como eventuales orientaciones (dominios orientados, expresados como contextura de birrefringencia) y su abundancia relativa.

Los componentes minerales y orgánicos esenciales, la relación  $G/F$  y la masa basal nos informan acerca de la procedencia del material (*in situ*, aluvial, coluvial, eólico, etc.) y de su eventual evolución (ciertas alteraciones pueden indicar el ambiente que las produjeron). Además, la propia masa basal puede ser indicativa de algunos procesos que hayan afectado al material durante su tiempo de exposición subaérea (hinchamiento-deseccación, hielo-deshielo, hidromorfía, etc.).

Finalmente se describen los *rasgos edáficos*: son agrupaciones de componentes del suelo que responden a procesos edáficos específicos, por lo que tienen un elevado valor diagnóstico. Su identificación es importantísima en toda descripción. Los rasgos edáficos pueden estar relacionados o no con poros, granos y agregados. Los relacionados se clasifican morfológicamente en *revestimientos* (o recubrimientos) y *rellenos*. Los no relacionados se clasifican en *cristales*, *nódulos*, *impregnaciones* e *intercalaciones*. Independientemente de su morfología, los rasgos edáficos se agrupan en los siguientes tipos:

- *Rasgos texturales*: Son concentraciones de una fracción granulométrica cualquiera que ha sido transportada mecánicamente. Los rasgos texturales suelen ser indicativos de las condiciones iniciales del sistema poral del suelo (poros tubulares o fisuras interconectadas, poros intergranulares, etc.) y del estado de su superficie (vegetación de pasto, de bosque, cultivo, erosión, compactación mecánica, etc.), según Solé-Benet<sup>(37)</sup> (fig. 3).
- *Rasgos cristalinos*: Se trata de cristales o precipitados formados *in situ* y de un tamaño tal que puedan identificarse con el microscopio óptico. El mineral



**Fig. 3a.** Rasgo textural arcilloso típico de horizonte argílico en suelo lavado fersialítico mediterráneo, formado en condiciones de cubierta vegetal boscosa. Se caracteriza por el pequeño tamaño de sus partículas constituyentes (arcilla), su buena orientación y su disposición, la mayoría de las veces, en microláminas.

*p*: poro; *m*: grano mineral; *t*: relleno arcilloso microlaminado (rasgo textural); *b*: masa basal.

formado *in situ* más frecuentemente observado es la calcita, que puede cristalizar en tamaños, formas y agrupaciones diversas (revestimientos, nódulos, rellenos, etc.). Para diferentes ambientes se han identificado diferentes formas de cristalización de la calcita, Verrecchia y Freydet<sup>(41)</sup>.

- *Rasgos amorfos* o *criptocristalinos*: Son aquellos rasgos que no permiten el paso de la luz observados con los polarizadores cruzados, exceptuando las inclusiones de componentes minerales y/o orgánicos esenciales. Dentro de esta categoría los más comunes son las impregnaciones y nódulos ferromangánicos, típicos de los ambientes temporalmente muy húmedos o anegados.
- *Rasgos de actividad biológica*: Son los excrementos y los rasgos de «paso». Los primeros acostumbran a distinguirse por su morfología externa, en general redondeada u ovalada. Los segundos debido a una diferencia de contextura con el material adyacente (fig. 4).

El esquema descriptivo propuesto ha sido publicado por Bullock *et al.*<sup>(10)</sup>, y la terminología inglesa utilizada en dicha obra se encuentra traducida al castellano en Stoops<sup>(41)</sup>.

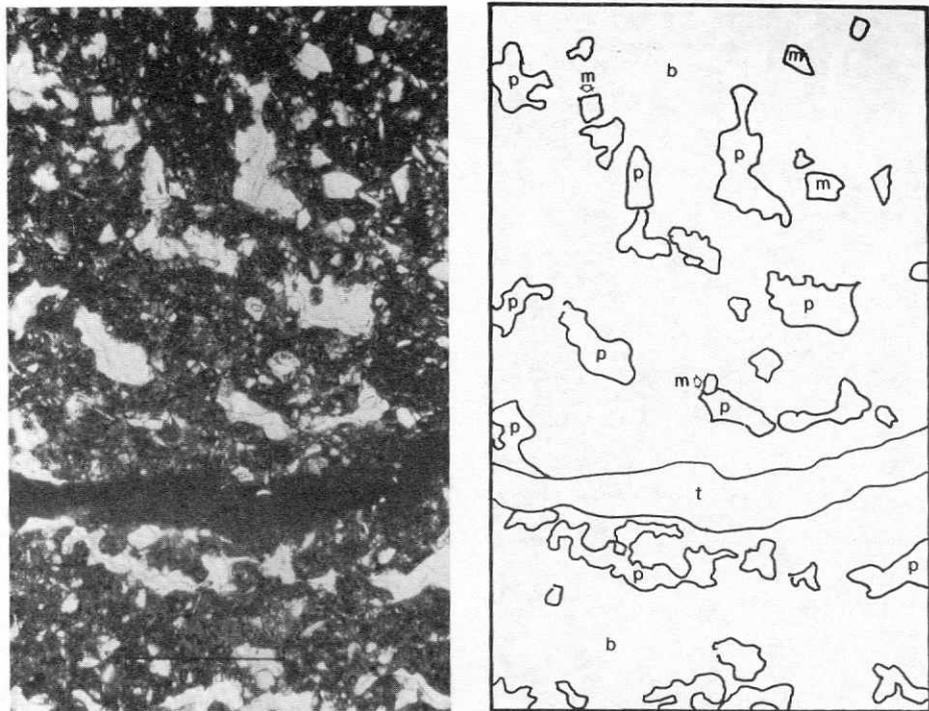


Fig. 3b. Rasgo textural típico de suelo cultivado. Está formado por un relleno limo-arcilloso, con estratificación mal expresada a nula. Observar la elevada porosidad del suelo.

*p*: poro; *m*: grano mineral; *t*: relleno limo-arcilloso; *b*: masa basal.

## 2.5. Otras formas de análisis micromorfológico

Hasta hace unos veinte años la Micromorfología era esencialmente descriptiva. Desde entonces y muy especialmente hoy en día, las nuevas tecnologías han aportado un considerable número de instrumentos que permiten realizar mediciones precisas: los M.E.B. acoplados a analizadores de energía dispersiva de rayos X, a microsondas electrónicas, a microsondas iónicas o a microsondas láser, permiten analizar todos los elementos presentes en un mineral y pueden detectarse concentraciones puntuales de hasta 10 ppm.

Por otro lado, los analizadores de imágenes se están utilizando para medir la porosidad y los microagregados del suelo (según tamaños, formas y orientación).

La combinación de estudios micromorfológicos en láminas delgadas juntamente con estas técnicas submicroscópicas puede considerarse como el inicio de una nueva época en los estudios de suelos y sedimentos relacionados con yacimientos arqueológicos.

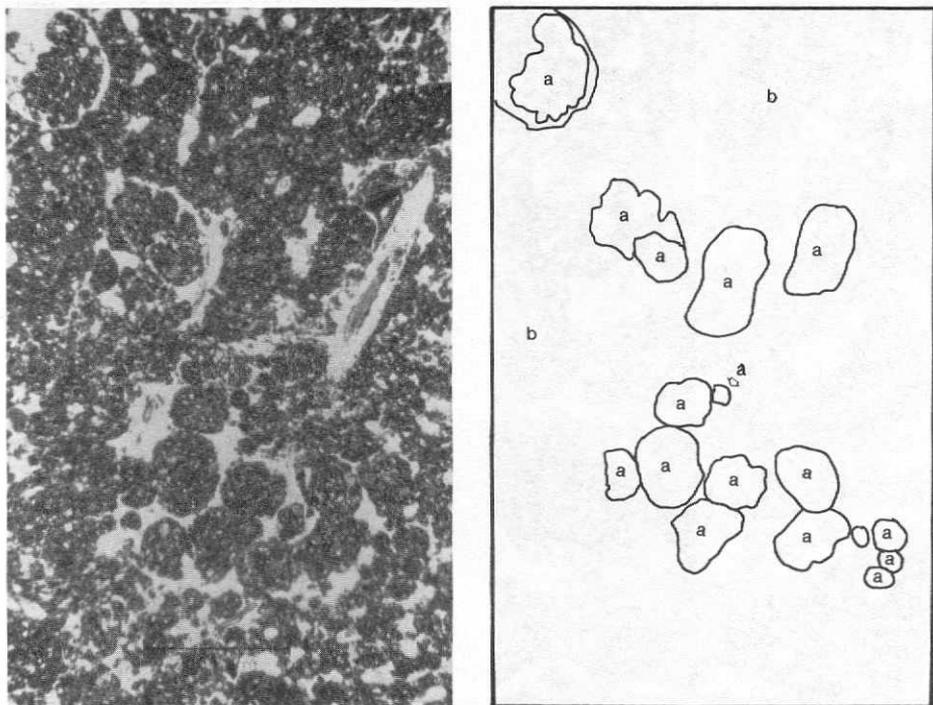


Fig. 4. Típicos rasgos de bioturbación en un suelo de pradera. Los pellets fecales se distinguen por sus formas redondeadas y pueden encontrarse más o menos amalgamados.

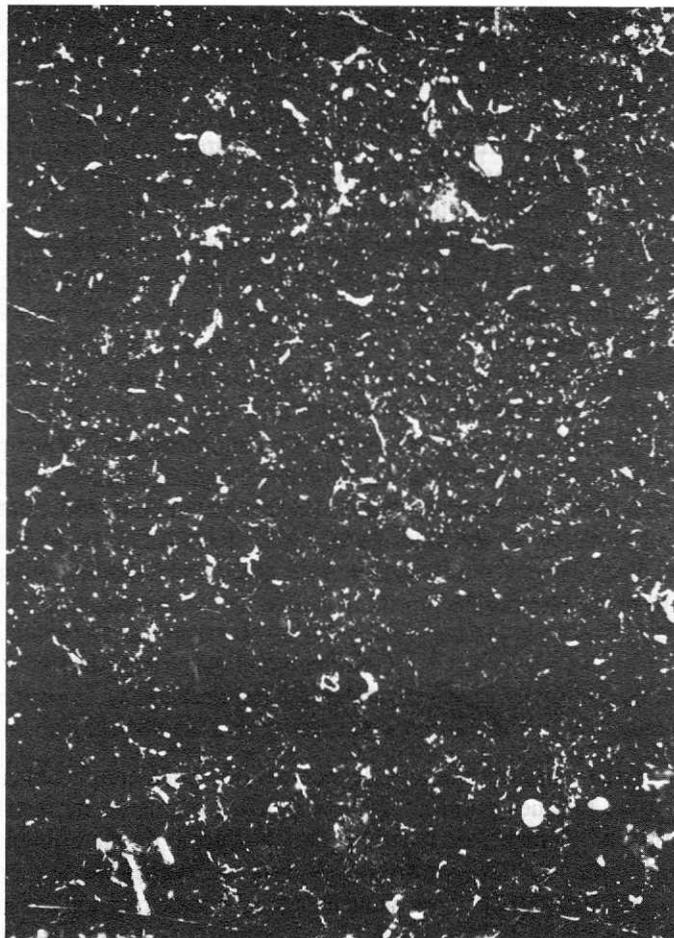
a: pellets fecales; b: masa basal formada por amalgamamiento de rasgos de bioturbación.

### 1. *Bloques pulidos*

Sin necesidad de hacer láminas delgadas, las caras pulidas de los bloques impregnados nos proporcionan ya una considerable información respecto a la organización o estructura del material y en especial respecto a su porosidad. Las formas de los poros nos indican si éstos son intergranulares, si se deben a la actividad biológica, si el material ha sufrido una compactación y en qué grado (fig. 5).

### 2. *Microscopía electrónica*

Para la observación con el microscopio electrónico de barrido (M.E.B.), no es necesaria la consolidación previa de las muestras. Hay que recubrirlas con una fina capa de oro en condiciones de vacío con la finalidad de convertir la muestra en conductora. Un fino haz de electrones va barriendo la muestra, la cual emite electrones secundarios que al ser captados por un detector proporcionan una imagen de la superficie de la muestra. La calidad del recubrimiento metálico de la muestra condiciona el poder de resolución, que en teoría puede alcanzar más de 100.000 X pero en la práctica rara vez se sobrepasan los 50.000 X.



**Fig. 5.** Porosidad (en blanco) de una cara pulida de una muestra consolidada con resina poliéster a la que se le ha añadido un colorante fluorescente. Fotografía de la muestra iluminada con luz ultravioleta. 2X.

En suelos y sedimentos, el M.E.B. suele utilizarse para estudiar las superficies de los granos minerales (el cuarzo, en particular presenta diferentes aspectos según el medio que lo ha transportado), la alteración de los minerales y sus productos, los rasgos de carbonatación secundaria, las formas de organizarse las partículas elementales, etc.

En microscopía electrónica de transmisión (M.E.T.), un haz de electrones atraviesa una lámina ultrafina proporcionando una imagen del objeto hasta más de 100.000 X. Para conseguir una lámina ultrafina a partir de una lámina delgada, debe realizarse un bombardeo iónico de la muestra hasta conseguir un espesor de unas pocas décimas de micra. El M.E.T. suele utilizarse para identificar alguna especie mineral de pequeño tamaño y que pueda proporcionar información de tipo ambiental, como por ejemplo la paligorskita, mineral que se encuentra en ambientes áridos asociado a costras calcáreas; también para estudiar cómo se organizan las arcillas en diferentes tipos de suelo.

### 3. *Microanálisis*

El microscopio electrónico con microanálisis incorporado mediante energía dispersiva utiliza la radiación X emitida por la muestra. Como las longitudes de onda son características de los elementos presentes, pueden detectarse y cuantificarse todos los elementos de peso atómico superior al del sodio.

Pero además de la microsonda de energía dispersiva, existen hoy en día una amplia gama de instrumentos de microanálisis basados en diversos tipos de radiaciones (iónicas, láser, neutrones, etc.) con sus correspondientes sistemas de detección.

### 4. *Análisis de imágenes*

El análisis de imágenes consiste en el procesamiento por parte de un ordenador de los datos procedentes de la imagen digitalizada que aparece en un monitor de televisión. Con esta técnica es posible cuantificar con relativa facilidad algunos componentes observables en láminas delgadas o en bloques pulidos, así como analizar formas y orientaciones de estos mismos componentes. Es especialmente útil en la caracterización de la porosidad de las muestras.

### 5. *Técnicas auxiliares*

Existe un gran número de técnicas que pueden aplicarse a las láminas delgadas y a los bloques pulidos, algunas de ellas requieren de instrumental sofisticado y otras simplemente de reactivos de laboratorio de fácil obtención. Se tratan a continuación aquellas que ofrecen un especial interés en Arqueología.

En Fitzpatrick<sup>(24)</sup> se encuentra una buena revisión de las técnicas usuales de tinción tanto de láminas delgadas como de bloques pulidos con la finalidad de identificar y poder cuantificar fácilmente ciertos minerales: así, se describe cómo distinguir los feldespatos potásicos de las plagioclasas, la calcita de la dolomita y del aragonito.

Wilding y Drees<sup>(46)</sup> describen una interesante y muy sencilla técnica para eliminar los carbonatos secundarios de las láminas delgadas. Estos carbonatos, que suelen «impregnar» muchas muestras de suelo y/o sedimentos pleistocenos y holocenos, suelen impedir la identificación de la masa basal, de especial interés para conocer el origen del suelo o sedimento. La precipitación de carbonatos es muy usual en muchos suelos de la región mediterránea y está favorecida por la existencia de una estación anual seca.

Otra técnica muy interesante para revelar la existencia de algún artefacto de origen antrópico o la existencia de ciertos rasgos edáficos (pedotúbulos, nódulos, etc.) o de otro tipo (huesos, dientes, etc.) en los bloques en los que se van a realizar las láminas delgadas, la constituye la Radiografía (o fotografía de cuerpos opacos con rayos X). Es una técnica utilizada sobre todo en Sedimentología para detectar la presencia de estructuras sedimentarias o de restos biológicos en cortes o secciones de sedimentos, impregnados o no.

### 3. Información utilizable en Arqueología a partir de los datos micromorfológicos. Revisión de casos

Además del interés obvio de poder observar y cuantificar rasgos relacionados con la actividad antrópica, la Micromorfología sirve para saber si el material del yacimiento es un suelo o un sedimento y si es un suelo, conocer cuáles han sido sus procesos de formación.

La mayoría de características micromorfológicas son interpretables en términos de procesos sedimentarios o edáficos. Estos procesos suelen responder a condiciones geográficas y/o ambientales a veces muy precisas. La jerarquización u ordenación cronológica de los rasgos micromorfológicos siguiendo los principios fundamentales de la Geología (principios de superposición y de continuidad), permite la reconstrucción histórica de los procesos que han tenido lugar desde la sedimentación del material original hasta su enterramiento por un material posterior.

A veces es posible detectar procesos que pueden relacionarse con determinados períodos del Cuaternario, dada la posibilidad de reconocer secuencias edafogénicas que nos informan sobre el medio ambiente reinante en la época de formación.

Pero además del análisis de suelos y sedimentos, el examen de láminas delgadas puede aplicarse también a piezas de cerámica o alfarería, a paredes de hornos y a hogares, permitiendo conocer la naturaleza de los materiales empleados, la tecnología utilizada y el tipo de leña utilizada como combustible.

Con la finalidad de ilustrar las aplicaciones más relevantes de la Micromorfología aplicada a la investigación arqueológica, se presentan a continuación, de manera sucinta, algunos ejemplos:

#### 3.1. Diferencias entre suelos, sedimentos y niveles antropicos

Un sedimento es una acumulación mecánica de material inorgánico y/o orgánico transportado y depositado por el agua, el viento o el hielo o bien formado por precipitación química o por secreción de organismos vivos y que forma capas o estratos sobre la superficie terrestre. Micromorfológicamente los sedimentos se caracterizan por poseer una determinada ordenación de sus componentes, a partir de la cual puede deducirse su modo de formación.

Un suelo, en cambio, resulta de la acción continuada del clima y de los seres vivos sobre una roca o sedimento; si bien en ningún caso puede considerarse un suelo como un sedimento, a veces resulta difícil dilucidar si un material terrígeno es un suelo o un sedimento. Micromorfológicamente se caracteriza por la presencia de rasgos edáficos y también por su microestructura.

Como procesos importantes generadores de rasgos edáficos durante las fases de estabilidad del Cuaternario pueden citarse: *a)* la alteración de minerales y fragmentos de roca y la neoformación de minerales; *b)* la migración de arcillas y otras partículas a través del sistema poral del suelo; *c)* la hidromorfía (gleyzación y pseudogleyzación); *d)* la rubefacción y la laterización; *e)* la calcitización, y *f)* la actividad biológica. En cambio, en períodos de inestabilidad los procesos de soliflucción, erosión glacial y sedimentación pueden afectar el desarrollo del suelo.

Dalrymple<sup>(21)</sup> fue el primero en utilizar la micromorfología en un yacimiento arqueológico, llegando a distinguir las contexturas de materiales de origen antrópico de las de suelos actuales y de las de paleosuelos.

Goldberg<sup>(26)</sup>, al estudiar micromorfológicamente los depósitos de la cueva Hayonim, en la alta Galilea, con industrias líticas desde el Musteriense hasta 10.000 BP y con una acumulación de cenizas de la época Bizantina, asegura que la mayoría de dichos materiales están relacionados con actividad biológica (presencia de abundantes coprolitos) o antropogénica (presencia de piedras y cenizas) y que sólo algunos niveles son debidos a procesos de sedimentación geológica. Concretamente indica que los niveles de ocupación antrópica suelen caracterizarse por ir asociados a coprolitos de carnívoros, fragmentos de huesos, cenizas y fragmentos líticos.

En este mismo estudio, unas microlaminaciones observadas en el campo que se podían interpretar como una estratificación, resultaron, en realidad, una microestructura laminar producida por la alternancia de ciclos hielo-deshielo bajo un clima frío.

Macphail<sup>(31)</sup> identifica unos enigmáticos depósitos, comunes en muchos yacimientos urbanos de Gran Bretaña ocupados por el hombre durante largos períodos de tiempo, y los clasifica en dos categorías: en la primera categoría, el intenso color oscuro lo interpreta como procedente de los continuados vertidos de aguas residuales y en la segunda, encuentra que proceden de la acumulación deliberada de tierras de otros puntos de la ciudad. Las distintas cantidades de carbón orgánico y materia orgánica, así como la presencia de vivianita, identificados en láminas delgadas, le permitieron dicha interpretación.

### 3.2. Aplicaciones geocronológicas y paleoambientales. Desarrollo edáfico y evolución del paisaje durante el Cuaternario

Partiendo de la base de que los horizontes A de los suelos pueden identificarse por sus humus y los horizontes B por las contexturas de sus masas basales, tanto los suelos poco como muy evolucionados pueden distinguirse de depósitos de origen antrópico, tales como niveles de ocupación o rellenos de zanjas. Según Dalrymple<sup>(21)</sup>, la distinción entre ambos en yacimientos arqueológicos constituye una técnica geocronológica y en materiales Pleistocenos y postglaciales puede aportar indicaciones sobre el medio ambiente y sobre las condiciones climáticas en el momento de su emplazamiento.

Bowler y Thorne<sup>(5)</sup>, al confirmar mediante la micromorfología el origen eólico de las arcillas que recubrían un yacimiento arqueológico en el lago Mungo en Australia, pudieron relacionar este depósito con una fase seca del Cuaternario que había tenido lugar después de una fase más húmeda durante la que se había producido ocupación humana.

En Carmona *et al.* (14), se analizan diversas excavaciones realizadas en el subsuelo Holoceno de la ciudad de Valencia, distinguiéndose cuatro grandes niveles de depósito con distinto significado ambiental. La micromorfología de algunos de estos niveles ha permitido precisar su origen: antrópico con pedoturbación nula en los depósitos de la época tardo romana o visigótica; origen aluvial y posterior

desarrollo edáfico moderado (pedoturbación considerable y calcitización incipiente) en los niveles que van desde 11.000 BP hasta el período Pre-Republicano.

En Solé y Vila<sup>(40)</sup> se presentan los primeros resultados sobre la micromorfología de dos yacimientos arqueológicos en Catalunya: Cingle Vermell y Mediona I. En ambos destaca la abundancia de pequeños fragmentos óseos (entre 1 y 0,5 mm) y restos calcinados y cenizas (entre 0,01 y 0,005 mm). Sólo en el segundo se han podido reconstruir parcialmente los procesos edáficos en su contexto ambiental.

En un estudio micromorfológico de suelos enterrados desde la Edad de Bronce, en la URRS, Pesochina<sup>(37)</sup> ha observado como en los últimos 3.700 años el contenido de humus, la textura de la masa basal y las acumulaciones carbonatadas han cambiado significativamente. Este estudio es un ejemplo de la interacción entre las Ciencias de la Tierra y las Prehistóricas, cuya colaboración se muestra muy fructífera en los estudios sobre el Cuaternario.

En un plano de historia mucho más reciente, la influencia de distintas formas de manejo del suelo puede ser abordada por la micromorfología para comprobar cómo el riego mejora o deteriora, según Verba y Nikolskyi<sup>(42)</sup>, ciertas propiedades del suelo.

Finalmente, merece destacar que en Macphail<sup>(32)</sup> se hace una buena revisión de casos en que la micromorfología de paleosuelos asociados a yacimientos arqueológicos proporciona suficientes datos como para interpretar las condiciones ambientales imperantes en el paisaje en que se desarrollaron asentamientos humanos.

### 3.3. Hornos y hogares de combustión

La aplicación de la petrología y de la micromorfología al estudio de los hornos y de los hogares encuentra su primer precedente en Mathieu y Stoops<sup>(34)</sup>. Posteriormente Courty<sup>(16, 17)</sup> ha deducido cómo se formaron ciertas acumulaciones de cenizas, cómo reconstruir la morfología inicial de las áreas de combustión y ha podido avanzar alguna hipótesis sobre el funcionamiento de los hogares.

En los trabajos de Courty y Watez<sup>(16, 17, 44)</sup> se afirma que a cada tipo de ceniza le corresponden unas determinadas condiciones de combustión; la mezcla de diferentes cenizas en una misma capa permite detectar períodos de remoción que traducen la interrupción en el uso del hogar. Los fragmentos de carbón, las cenizas blancas y los sedimentos rubificados están íntimamente mezclados y forman una capa grisácea. El estado de fragmentación y el grado de mezcla de las cenizas, observadas en lámina delgada, permiten precisar la naturaleza de estas remociones: pisoteado, circulación del agua o residuo de limpieza de un hogar.

Asimismo, al ordenar secuencialmente los rasgos sedimentarios, antrópicos y edáficos, Courty *et al.*<sup>(19)</sup> establecen con precisión la cronología relativa de los hogares. Así por ejemplo, citan que la diferenciación de tipos de revestimientos arcillosos en las áreas de combustión (unos rojos, rubificados por el fuego, y otros amarillos, posteriores a toda combustión), permiten distinguir dos fases principales de utilización del hogar.

También según Courty *et al.*<sup>(19)</sup>, el microanálisis elemental se presenta como muy prometedor en este campo. Consiste en la determinación precisa mediante la microsonda electrónica de todos los elementos presentes en las cenizas en lámina

delgada. Gracias a esta técnica se han podido distinguir cenizas de helechos, de pino y de roble según las proporciones relativas de potasio, sílice y calcio.

### 3.4. Cerámicas y hornos

Williams y Jenkins<sup>(45)</sup> fueron los primeros en hacer un exhaustivo estudio micromorfológico de fragmentos de alfarería, apoyado con análisis de minerales pesados y de geoquímica de elementos traza.

Posteriormente Goldberg<sup>(27)</sup> demostró como ciertas mezclas utilizadas para fabricar alfarería contenían fragmentos de antiguas piezas, sugiriendo que la escasez de arcilla obligaba a reutilizar el material en vez de desecharlo.

También Camalich *et al.*<sup>(12)</sup>, estudiando la alfarería del yacimiento arqueológico de Poblado de Campos, Almería, llegan a la conclusión de que las materias primas que allí se cocían procedían de los suelos de alrededor del poblado. También encuentran que las piezas cerámicas nunca fueron cocidas más allá de los 800° C, debido a la presencia de cristales de calcita similares a los encontrados en los suelos alrededor del poblado, a la ausencia de cristalizaciones secundarias de calcita y a no presentar vitrificación.

## 4. Proyección futura

Para los propósitos de la Arqueología, el conocimiento del suelo y/o sedimento asociado a actividades humanas del pasado es de primordial importancia. Dentro de este contexto, el análisis micromorfológico usado conjuntamente con las descripciones e inventarios de campo y con los datos físicos y químicos obtenidos en el laboratorio, proporciona el más completo conocimiento acerca del material terrígeno de todo yacimiento arqueológico.

Por otro lado, para comprender muchos fenómenos geológicos y climáticos actuales es necesario saber con el mayor detalle posible lo ocurrido en el planeta durante el Cuaternario, durante el cual la especie humana ha jugado un importantísimo papel. Los conocimientos que sobre nuestro pasado aportan las Ciencias Históricas y Prehistóricas son pues fundamentales. El estudio común de suelos y/o sedimentos ligados a yacimientos arqueológicos por parte de las Ciencias de la Tierra y de la Arqueología encuentran en la Micromorfología su gran aliada, como técnica de apoyo fundamental en las reconstrucciones paleoambientales.

Pero no todos los rasgos edáficos, sedimentarios y antrópicos observados al microscopio tienen una interpretación perfectamente conocida. En consecuencia, los estudios micromorfológicos de materiales sometidos a condiciones experimentales, a procesos que podemos controlar en el laboratorio, ya sea de suelos enteros o bien de algunos de sus componentes, debe constituir el punto de partida de una Micromorfología experimental aplicada a la Arqueología. El trabajo de Watez y Courty<sup>(44)</sup> para averiguar el origen de ciertas cenizas constituye un buen ejemplo. Otras posibilidades de micromorfología arqueológica experimental podrían basarse en ciertas

actividades humanas, como caminar, dormir, cocinar, sacrificar animales, la práctica de diferentes trabajos, etc. Las «huellas microscópicas» que dichas actividades dejan en el suelo deberían ser descubiertas por la micromorfología.

## Bibliografía

- Adams, A. E.; McKenzie, W. S. M., y Guilford, C. (1984): *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*. Longman, England, 104 p.
- Allen, M. J., y Macphail, R. I. (1987): «Micromorphology and magnetic susceptibility studies: their combined role in interpreting archeological soils and sediments». En: *Soil Micromorphology* (Fedoroff, Bresson, Courty, eds.), A.F.E.S., Plaisir, France, pp. 669-676.
- Babel, U. (1975): «Micromorphology of soil organic matter». En: *Soil Components*, vol. I (J. E. Gieseking, ed.), Springer-Verlag, New York, pp. 369-473.
- Bisdorf, E. B. A. (ed.) (1981): *Submicroscopy of soils and weathered rocks*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Holanda, 320 p.
- Bowler, J. M., y Thorne, A. G. (1976): «Human remains from Lake Mungo». En Kirk y Thorne (eds.): *The origin of the Australians*. Austr., Inst. Aborig. Stud., Canberra, pp. 127-138.
- Brewer, R. (1964): *Fabric and mineral analysis of soils*. John Wiley & Sons, New York, 470 p.
- Brewer, R. (1976): *Fabric and mineral analysis of soils*. Robert E. Krieger Pub. Co., Huntington, N.Y., USA.
- Bullock, P. (1985): «The role of Micromorphology in the study of Quaternary soil processes». En: *Soils & Quaternary Landscape Evolution* (J. Boardman, ed.), John Wiley & Sons, pp. 45-68.
- Bullock, P., y Murphy, C. P. (1979): «Evolution of a paleo-argillic brown earth (Paleudalf) from Oxfordshire, England», *Geoderma*, **22**: 225-252.
- Bullock, P.; Fedoroff, N.; Jongerius, A.; Stoops, G., y Tursina, T. (1985): *Handbook for soil thin section Description*. Waine Research Public., England, 152 p.
- Cady, J. G.; Wilding, L. P., y Drees, T. R. (1986): «Petrographic microscope techniques». En A. Klute (ed.): *Methods of soil analysis. Part I: Physical and mineralogical methods*. 2nd ed., serie Agronomy, n.º 9, American Society of Agronomy, Madison, USA, pp. 185-211.
- Camalich Massieu, M. D.; Martín Socas, D.; Rodríguez Rodríguez, A., y Tejedor Salguero, M. L. (1986): *Application of soil micromorphology to mineralogy and firing temperature evaluation in archeological sites. Case of Poblado de Campos (Almería, Spain)*. En: I.S.S.S. Congress Abstracts, Hambourg, 1986, pp. 1548.
- Catt, J. A. (1986): *Soils and Quaternary Geology. A handbook for field scientists*. Clarendon Press, Oxford, 267 p.
- Carmona, P.; Dupre, M., y Solé, A. (1989): *Reconstrucción paleoambiental del Holoceno en el registro sedimentario de la Ciudad de Valencia*. En: II Congreso del Cuaternario Ibérico, Madrid (en prensa).
- Collins, M. E., y Shapiro, G. (1987): «Comparisons of human - influenced and natural soils at the San Luis Archaeological site, Florida», *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **51**: 171-176.
- Courty, M. A. (1983): «Interpretation des aires de combustion par la micromorphologie», *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, **80** (6): 169-171.
- Courty, M. A. (1984): *Formation et evolution des accumulations cendreuses. Approche micromorphologique*. Actes du 8<sup>ème</sup> colloque inter-regional sur le Neolitique, Le Puy, 1981, Clermont-Ferrand, C.R.E.P.A.
- Courty, M. A., y Fedoroff, N. (1982): *Micromorphology of a Holocene dwelling*. Part 7, part II, pp. 257-277.
- Courty, M. A.; Fedoroff, N., y Guilloire, P. (1987): «Micromorphology des sediments archeologiques». En J. C. Miskovsky (ed.): *Geologie de la Préhistoire*, Geopre, Paris, pp. 439-477.
- Courty, M. A.; Goldberg, P., y Macphail, R. (1989): *Soils and micromorphology in archaeology*. Cambridge University Press, England, 300 p.
- Dalrymple, J. B. (1958): «The application of soil micromorphology to fossil soils and other deposits from archeological sites», *J. Soil Science*, **9**: 199-205.

- Douglas, L. A., y Thompson, M. L. (1985): *Soil Micromorphology and soil classification*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub. 15, Madison, USA, 216 p.
- Fedoroff, N., y Courty, M. A. (1987): «Paleosols». En J. C. Miskovsky (ed.): *Geologie de la Préhistoire*. Geopre, Paris, pp. 251-280.
- Fisher, P. F. (1982): «A review of lessivage and neolithic cultivation in Southern England», *J. Archeol. Sci.*, **9**: 299-304.
- Fitzpatrick, E. A. (1984): *Micromorphology of soils*. Chapman & Hall, London, 433 p.
- Goldberg, P. (1979): «Micromorphology of sediments from Hayonim cave, Israel», *Catena*, **6**: 167-181.
- Goldberg, P. (1983): «Applications of micromorphology in Archeology». En Bullock y Murphy (eds.): *Soil Micromorphology*, A. B. Academic Press, Berkshamsted, pp. 139-150.
- Goldberg, P. (1987): «Soils, sediments and acheulian artifacts at Berekhat Ram, Golan heights». En: *Soil Micromorphology* (Fedoroff, Bresson, Courty, eds.), A.F.E.S., Plaisir, France, pp. 583-589.
- Kubierna, W. L. (1938): *Micropedology*. Collegiate Press, Ames, Iowa.
- McKenzie, W. S., y Guilford, C. (1980): *Atlas of rock-forming minerals*. Longman, England, 98 p.
- Macphail, R. I. (1983): «The micromorphology of dark eartk from Gloucester, London and Norwich: an analysis of urban anthropogenic deposits from the Late Roman to Early Medieval periods in England». En: *Soil Micromorphology*. Vol. I: *Techniques and Applications* (Bullock y Murphy, eds.), A. B. Academic Publishers, Berkhamsted, U.K., pp. 245-252.
- Macphail, R. I. (1986): «Paleosols in Archaeology: their role in understanding Flandrian pedogenesis». En P. Wright (ed.): *Paleosols, their recognition and interpretation*. Blackwell Sci. Publ., London, pp. 263-290.
- Macphail, R.; Romans, J. C. C., y Robertson, L. (1987): «The application of micromorphology to the understanding of Holocene soil development in the British Isles; with special reference to early cultivation». En Fédoroff *et al.* (eds.): *Soil Micromorphology*, A.F.E.S., Plaisir, France, pp. 647-656.
- Mathieu, C., y Stoops, G. (1972): «Observations petrographiques sur la paroi d'un four a chaux carolingien creuse en sol limoneux». En: *Archeologie Medievale*, t. II, pp. 347-354.
- Murphy, C. P. (1986): *Thin section preparation of soils and sediments*. A. B. Academic Publishers, Berkhamsted, England, 149 p.
- Mucher, H. J., y Morozova, T. D. (1983): «The application of soil micromorphology in Quaternary Geology and Geomorphology». En: *Soil Micromorphology*, Bullock y Murphy (eds.), A. B. Academic Publishers, Berkshamsted, vol. I, pp. 151-194.
- Pesochina, L. S. (1983): *Fabric alterations of soils on the second terrace of the lower Don reaches in Late Holocene*. Abstracts 2nd All-Union Conference on Soil Micromorph., Tartu, URSS, p. 134.
- Rutherford, G. K. (ed.) (1974): *Soil Microscopy. Proc. IVth Int. Work.-Meet. Soil Micromorph.* The Limestone Press, Kingston, Canada, 705 p.
- Solé-Benet, A. (1979): *Contribution a l'etude du colmatage mineral des drains. Une demarche experimentale basee sur la Micromorphologie pour etudier les transferts solides dans les sols*. Memoire n. 13, CTGREF, Ministere de l'Agriculture, France, 251 p.
- Solé-Benet, A., y Vila-Mitja, M. A. (1991): *La Micromorfologia de Suelos aplicada a la Arqueologia; estudio de dos casos: Cingle Vermell y Mediona I*. Xàbiga, 1990, n.º 6: 31-42.
- Stoops, G. (1986): «Multilingual translation of the terminology used in the "Handbook for Soil thin section description"», *Pédologie*, **36** (3): 337-348.
- Verba, M. P., y Nikolkiy, A. G. (1983): *Micromorphologic features of different aged loess-like deposits and buried soils*. Abstracts 2nd All-Union Conference on Soil Micromorph., Tartu, URSS, p. 134.
- Verrecchia, E., y Freyter, P. (1987): «Interference pedogenese - sedimentation dans les croutes calcaires. Proposition d'une nouvelle methode: l'analyse sequentielle». En: *Soil Micromorphology* (Fedoroff, Bresson, Courty, eds.), A.F.E.S., Plaisir, France, pp. 555-561.
- Watez, J., y Courty, M. A. (1987): «Morphology of ash of some plant materials». En: *Soil Micromorphology* (Fedoroff, Bresson, Courty, eds.), A.F.E.S., Plaisir, France, pp. 677-683.
- Williams, J. Ll. W., y Jenkins, D. A. (1978): «The use of petrographic, heavy mineral, and arc spectrographic techniques is assessing the provenance of sediments used in ceramics». En:

*Geoarcheology, Earth Science and the Past* (Davidson y Shackley, eds.), Duckworth, London, pp. 115-135.

Wilding, L. P., y Drees, L. R. (1988): «Removal of carbonates from thin sections for microfabric interpretations». En: *Abstracts. Int. Work.-Meet. Soil Micromorph.*, San Antonio, Texas, July 1988.