

RESULTADOS II

8. CLASIFICACIÓN DE LAS MICROFACIES SEDIMENTARIAS DE LA SIERRA DE ATAPUERCA

Uno de los problemas de base que planteamos discutir a partir de esta clasificación de microfacies sobre la colección de sedimentos de la Sierra de Atapuerca es el origen, del transporte y evolución postdeposicional de las arenas, limos y arcillas (FG y FF) y su relación con los bloques y las gravas (FMG). Las relaciones de la FMG con la fracción gruesa y fracción fina contienen un sesgo producido por el muestreo y el trabajo de laboratorio. Este sesgo de escala se intenta evitar con la definición de los medios sedimentarios. Los medios sedimentarios de los rellenos de las cavidades de Atapuerca, de donde proceden gran parte de estas muestras inventariadas, son un trabajo en curso precisado fundamentalmente en las publicaciones de Alfredo Pérez-González y colaboradores junto con otros resultados acumulados durante la historia de las investigaciones (Aguirre 1998; Aguirre y Hoyos 1992; Gil et al., 1987; Hoyos y Aguirre 1995; Parés y Pérez-González 1995; Parés y Pérez-González 1999b; Pérez-González et al. 1995; Pérez-González et al. 1999; Zazo et al. 1987).

Los trabajos de investigación más recientes sobre la geometría de los depósitos de los rellenos sedimentarios de entrada de las cavidades de la Sierra de Atapuerca han sido edificados mediante mecanismos de transporte hídricos y de gravedad. La composición mineralógica de los materiales sedimentarios ha servido para interpretar significativamente la existencia de un área fuente común. Esta área fuente está situada en la vertiente de la Sierra (Parés y Pérez-González 1999a; Pérez-González et al. 1995). En el interior de los rellenos se ha distinguido dos grandes facies: las facies de interior, sin influencias de procesos exocársticos; y las facies de exterior, que tienen su origen en los procesos de alteración y transporte exocársticos. Estas facies de exterior se organizan en depósitos formados principalmente por accionamiento hídrico en forma de pequeños abanicos aluviales subterráneos, y en depósitos de gravedad en forma de desprendimientos de bloques en taludes apoyados, sometidos a diferentes movimientos de masa y con las limitaciones espaciales singulares del medio cárstico.

Nuestro interés en discutir los procesos de formación mediante técnicas microscópicas intenta enlazar con esta realidad espacial, aunque se desarrolla fundamentalmente en el examen de la composición y la organización micromorfológica de las arenas, los limos y las arcillas. La investigación de los componentes criptocristalinos e iónicos se va haciendo necesaria a medida que percibimos la existencia de la continuidad entre escalas de observación de los fenómenos sedimentarios, pero esta realidad escalar

queda fuera del objeto de nuestra investigación.

Los sedimentos que componen los rellenos y las formaciones de la Sierra pueden caracterizarse por ser el resultado de la alteración de la caliza cretácica y la acumulación de una fracción fina siliciclástica. La naturaleza de los fragmentos carbonatados cretácicos de la Sierra de Atapuerca son bioesparitas sin detrítico siliciclástico. El cuarzo y la mica forman la mayor parte de las fracciones arena y limo junto con las arenas y limos calcíticos. Nuestra observación microscópica de los componentes minerales formado por cuarzo y mica muestra que su redondeo es angular y liso. El transporte eólico es invocado para explicar su acumulación en las formaciones superficiales y los rellenos de cavidad cárstica de la Sierra de Atapuerca. La actividad eólica ha sido evidenciada, por lo menos, desde el Pleitoceno medio, y en la actualidad es uno de los factores morfogenéticos naturales más importantes en la región central de la cuenca del Duero (Pérez-González 1982). Explicamos la forma angular de los materiales siliciclasticos de los rellenos de la Sierra y formaciones superficiales por su evolución y fragmentación en el interior de perfiles edáficos y alteritas (Meyer 1987).

La colección de microfacies de la Sierra de Atapuerca y sus rellenos de entrada de cueva está compuesta por 5 grupos de microfacies principales.

Microfacies 1

Arena y limo marrón amarilla calcítica y carbonatada con gravas finas (tabla 8.1).

Caracterización

Componentes texturales y estimación de las fracciones calcíticas y carbonatadas

La fracción gruesa calcítica y la fracción fina carbonatada es superior a 20%. La proporción de gravas presenta un rango de tamaño fino a medio pero destaca como microfacies con más homometría en la FMG. Su forma en el campo es escamosa y presenta plano de fractura concoidal. La fracción fina es de color marrón amarillo en luz normal, de punteada a turbia. Su fábrica de birrefringencia es cristalítica. La relación FG/FF es chitónica-gefúrica.

Estructuras sedimentarias y microestructuras

Hemos observado microfacies con gravas (F.1.1.) y sin gravas (F.1.2.), aunque forman lechos horizontales espesos, pluricentimétricos, a muy finas o láminas. Los límites de las estructuras sedimentarias son claros y rectilíneos. Cuando las gravas son comunes, la selección de la FG y la FF es de moderada a mala y las gravas están soportadas por gravas (F.1.1.1.). Cuando las gravas son de frecuentes a pocas la FG tiene una clasificación de moderada a buena. Para estos porcentajes inferiores a 30% de gravas, las gravas flotan (F.1.1.2.) y el espesor del lecho es sugerido por la su distribución en banda o en línea (Humbert 1976). Las láminas forman a menudo grupos de láminas o sets. Estas microfacies presentan unos límites más difusos aunque generalmente es recto. Algunas muestras de estas microfacies con gravas flotantes muestran abundantes fragmentos de costras deposicionales (relictos) del tamaño de gravas. En estas muestras con fragmentos de costras los límites son difusos y presentan

Estructura sedimentaria	Microestructura	Agregación	Rasgos texturales	Rasgos cristalinos	Rasgos amorfos y criptocristalinos	Alteración de la FMG-FG y rasgos de pérdida
F.1.1.1 Lechos de gravas	Cavidades abiertas		Costras Internas. Casquetes mal lavados.	Revestimientos y hiporevestimientos esparíticos gris.		Débil a fuerte
	Cavidades cerradas	Granular	Revestimientos polvorientos turbios y integrados (papulas)	Impregnaciones densas. Revestimientos y rellenos de esparita blanca equigranular.	Papulas y revestimientos rojizos	Zonas decoloradas. Fuerte a última.
F.1.1.2 Lechos de gravas flotantes	Microagregada	Granular a poliédrica	Revestimientos microlaminados túrbios y integrados (papulas)	Revestimientos y hiporevestimientos esparíticos. Rellenos de calcita acicular y queras, <i>microcodium</i>		Zonas decarbonatadas. Débil a fuerte.
	Cavidades cerradas		Revestimientos microlaminados turbios y integrados. intercalaciones. Costras sedimentarias mal lavadas.	Revestimientos y hiporevestimientos esparíticos grises. Impregnaciones densas.	Nódulos microglobulares rojizos difusos	Zonas decoloradas. Fuerte a última.
F.1.2.1 Lecho heterométrico	Masiva		Costras internas mal lavadas	Impregnaciones densas	Nódulos microglobulares rojizos	Zonas decoloradas. Débil a última.
F.1.2.2 Microlaminar	Fisural Vesicular		Costras de superficie bien conservadas	Revestimientos y hiporevestimientos esparíticos grises.		Débil

Tabla 8.1. Descripción de los principales caracteres micromorfológicos desarrollados en las descripciones de las microfácies de arena y limo marrón amarillas calcíticas y carbonatadas (F.1).

ondulación en el perfil de campo. Su estructura sedimentaria laminar tiene un grosor muy espeso.

En las microfacies sin gravas (F.1.2) hay lechos con una fuerte heterometría vertical muy espesas (F.1.2.1.) y sets de láminas muy finas (F.1.2.2.) (lámina VI, microfoto 2). Sus límites son claros y rectos. La fracción gruesa muestra una clasificación buena.

Las estructuras sedimentarias con gravas soportadas (F.1.2.1) por gravas muestran microestructuras de cavidades abiertas y de cavidades cerradas. Las microfacies con gravas flotantes (F.1.2.2) muestran microagregación en la que se desarrolla agregación de granular a poliédrica. Estas microfacies con gravas flotante también tienen microestructuras de cavidades cerradas, muchas cementadas. Las microfacies laminares y microlaminares se caracterizan por microestructuras que conservan sus estructuras sedimentarias, con porosidad vesicular y figuras de desecación fisurales.

Rasgos

Los rasgos calcíticos son los más representados y también los criptocristalinos negros y marrón-rojizos. Existe una importante representación de muestras sin rasgos.

Los rasgos texturales los observamos en las microestructuras de cavidades. Estos forman costras internas entre la porosidad de cavidades abiertas y muestran clasificación granodecreciente. También detallamos casquetes y casquetes entrelazados compactos, también con granoclasificación decreciente, que a veces pasan a casquetes continuos delgados polvorientos oscuros. En la porosidad vesicular de las costras internas también existen estos revestimientos de arcilla y limo fino polvoriento. En las microfacies con pocas gravas, especialmente en la de microestructuras de cavidades cerradas, podemos referenciar intercalaciones texturales que describimos como producto de la coalescencia de fragmentos deformados de costras deposicionales.

Los rasgos calcíticos están en las microestructuras microagregadas y de cavidades en forma de revestimientos y hiporevestimientos microesparíticos grises en canales y fisuras. En las microestructuras de cavidades aisladas destacan las impregnaciones, los revestimientos y hiporevestimientos yuxtapuestos. Están constituidos por microesparita gris a la que se le yuxtapone un revestimiento esparítico equigranular que puede llegar a rellenar totalmente la cavidad. En microestructuras microagregadas hemos observado también yuxtapuestos rellenos incompletos sueltos de calcita acicular pseudomórfica y biomineralizaciones citomórficas (queras) (Herrero y Porta 1987; Jaillard 1983; Verrecchia y Verrecchia 1994). En las microestructuras de cavidades aisladas puede haber impregnaciones densas (Fédoroff et al. 1994). Las impregnaciones de densidad variable, contorno irregular-ondulado y límite de claro a difuso se distribuyen entorno a la porosidad canalicular. Finalmente, existen películas carbonatadas, revestimientos esparíticos y microesparíticos entorno fragmentos carbonatados característicos de la intensidad de alteración débil.

Los rasgos amorfos están constituidos por puntuaciones negras. Estas son esféricas de tamaño micro y se distribuyen al azar, en línea y en agregados de puntuaciones coalescentes con el contorno irregular y difuso o claro y ondulado. Además, aparecen

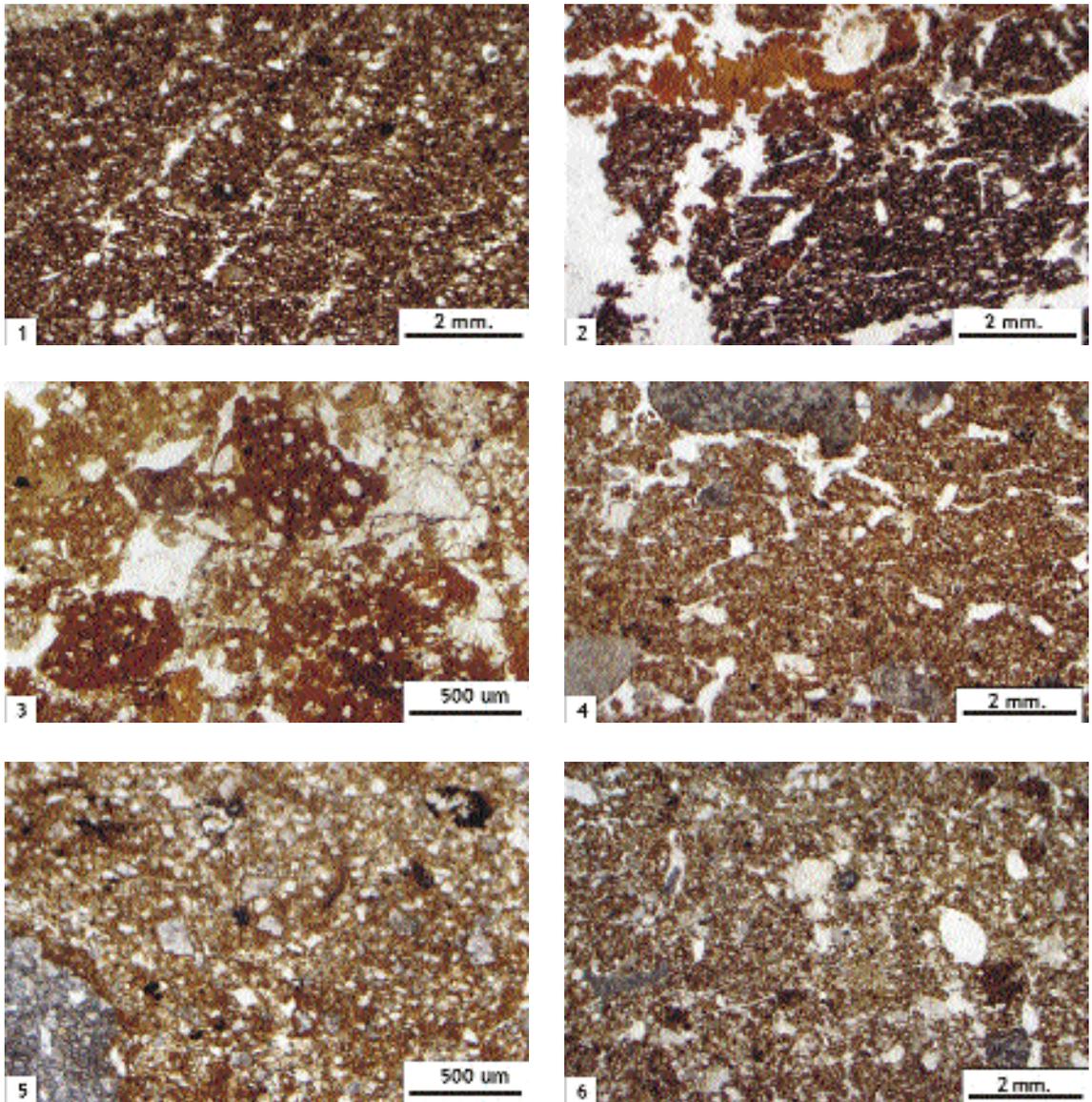


Lámina VI. Algunas de las microestructuras de los sedimentos de la colección de referencia de la Sierra de Atapuerca.

Microfoto 1. Microestructura fisural vesicular en la base de GII (TG7). Detalle de las fisuras de desecación ?

Microfoto 2. Microestructura fisural organomineral de agregación en poliedros angulares en TN2B .

Microfoto 3. Microestructura granular esférica de micromasa criptocristalina naranja-rojiza en la base de GII (TG7-TG6).

Microfoto 4. Microestructura laminar en TN6.

Microfoto 5. Microestructura de canales con intercalaciones. TG10B.

Microfoto 6. Microestructura microagregada con agregados anhórticos granulares TD5.

como revestimientos pseudomórficos negros bien conservados en canales.

Los rasgos criptocristalinos marrón-rojizo son también abundantes cuando la intensidad de alteración de la calcita presenta figuras de disolución (Courty, 1986). En muestras con calcita con intensidad de alteración débil los rasgos criptocristalinos rojos se localizan en vesículas y cavidades en forma de revestimiento polvoriento. En muestras con intensidad de alteración fuerte, los rasgos cristalinos marrón rojizos presentan una forma micronodular de contorno difuso, de fábrica interna punteada-moteada y rodeados de zonas decoloradas de color amarillo.

Los rasgos de pérdida están indicados por zonas decarbonatadas especialmente en las microfacies de gravas flotantes con microestructuras microagregadas y de cavidades cerradas.

Intensidad de la alteración de la FMG y FG es de débil a fuerte.

Interpretación

La composición textural y mineralógica rica en calcita y indica una dominancia de componentes de la roca caliza de la Sierra. Esta dominancia sugiere la relativa proximidad de la fragmentación de la roca de su zona de deposición pero también la evidencia de los mecanismos de alteración mecánica en los procesos de formación de microfacies sedimentarias. La escasez de la fracción fina marrón amarilla apoya la baja incidencia de los procesos bioquímicos respecto a los mecánicos en la formación de estas microfacies sedimentarias. La cercanía y la débil alteración de la roca por procesos bioquímicos también están reflejadas en la intensidad de alteración de los fragmentos carbonatados, de débil a fuerte, en la mayoría de las muestras de estas microfacies sedimentarias.

Esta proximidad del área fuente al lugar de deposición de las microfacies sedimentarias de arenas y limos marrón amarillo muy calcíticos y su producción mediante procesos de alteración mecánicos dominantes puede relacionarse también con el afloramiento de la roca cretácica en la Sierra, o ausencia de formaciones superficiales desarrolladas. La cercanía al lugar de deposición también la interpretamos mediante la frecuencia de las microfacies con gravas (F.1.1.1.) y su homometría. El proceso de su formación puede ser descrito mediante la gelifracción por descamación de roca microporosa (Letavernier y Ozouf 1987). Su formación, sin la necesidad de una saturación por agua de la caliza, indica un ambiente seco, el más sseco de todas las microfacies inventariadas. Las acumulaciones de gravas las interpretamos por su formación por procesos de gravedad y fragmentación a pie de roca.

Los rasgos de procesos edáficos de calcificación y descalcificación indican que estas microfacies se encuentran en el límite údico-ustico del régimen de humedad del suelo (Yaalon 1983). El régimen ustic de la humedad en la formación de estas microfacies tiene su umbral con las microestructuras microagregadas y cavidades cerradas en las que hemos descrito rasgos de pérdida con zonas descalcificadas. Estas microestructuras también muestran rasgos cristalíticos de origen físico y químico como los revestimientos, hiporrevestimientos y impregnaciones (Fédoroff et al. 1994),

Estructura sedimentaria	Microestructura	Agregación	Rasgos texturales	Rasgos cristalinos	Rasgos amorfos y criptocristalinos	Alteración de la FMG-FG y rasgos de pérdida
F.2.1.1. Lechos de gravas	Cavidades abiertas	Poliedrica subredonda	Costras Internas. Fábricas Ooides. Gravas verticales. Rellenos lavados.	Pocos revestimientos e hiporrevestimientos esparíticos gris.		Débil a fuerte
F.2.1.2 Lecho de gravas flotantes	Vesicular Laminar	Granular a Poliédrica	Revestimientos continuos limoarcillosos. Casquetes enlazados. Rellenos sueltos lavados incompletos. Costras internas.	Revestimientos y hiporrevestimientos esparíticos gris.	Puntuaciones esféricas aisladas y coalescentes negros. Revestimientos rojizos delgados.	Fuerte
F.2.2.1 Lecho heterométrico	Masiva Vesicular		Intercalaciones (fábrica en banda)		Revestimientos rojizos delgados	Fuerte
F.2.2.2 Microlaminar	Laminar Fisural		Crostras de superficie bien lavadas y fragmentadas.			Fuerte

Tabla 8.2. Descripción de los principales caracteres micromorfológicos desarrollados en las descripciones de las microfacies de arena y limo rojo calcítico decarbonatado (F.2).

que indican procesos de enterramientos más lentos. Las modificaciones de las estructuras sedimentarias originales son escasas y debidas por la actividad biológica de baja intensidad (Fédoroff y Courty 1987b) aunque existen microfacies con costras sedimentarias removidas por la actividad biológica. También hay raros rasgos calcíticos de origen biológico, las querás, que indican un drenaje bueno de la superficie del depósito (Becze-Déak et al., 1997).

Las estructuras sedimentarias están poco modificadas tal como pasa en las microfacies con gravas con impregnaciones densas y continuas (F.1.1.1.1) y las microfacies sin gravas y fuerte heterometría vertical (F.1.2.1). Estas microfacies con fuerte heterometría vertical muestran escasos rasgos amorfos negros, y si los tienen están distribuidos en banda. Estas microfacies muestran rápidas inundaciones y un drenaje moderado acompañado con rasgos de empobrecimiento en óxidos de hierro. Las microfacies con gravas soportadas con gravas con costras internas y casquetes con granoclasificación decreciente muestran figuras parecidas a la inundación repentina o torrencial sin hielo (Vliet-Lanoë 1987). Esta sedimentación puede interpretarse como irregular, continua y especialmente rápida. El predominio de la infiltración horizontal está indicado por la interpretación de la inundación de la cavidad registrada en las estructuras sedimentarias.

Las microfacies microlaminares muestran una excelente conservación de las estructuras sedimentarias que señalan al enterramiento rápido para explicar su preservación. También las microfacies de gravas con gravas y cavidades abiertas (F.1.1.1.2), los abundantes rasgos texturales formados por costras internas y casquetes describen una importante truncadura de la superficie del depósito que señalan la formación de discontinuidades sedimentarias y la irregularidad del registro. De esta manera, describimos los procesos de formación de las microfacies sin gravas microlaminares (F.1.2.2.) y microfacies con gravas flotantes (F.1.1.2) como el resultado del transporte hídrico y enterramiento rápido con un régimen hídrico caracterizado por el drenaje rápido en las formaciones superficiales por el afloramiento de la roca y buen drenaje en los rellenos sedimentarios de las cuevas con la formación de estas estructuras de superficie sin rasgos iluviales.

Microfacies 2

Arena y limo roja calcítica decarbonatada con gravas finas y bloques (tabla 8.2).

Caracterización

Componentes texturales y estimación de las fracciones calcíticas y carbonatadas

La Fracción Muy Gruesa es de tamaño variable, especialmente en las gravas, y mediante la documentación de campo los bloques son raros a ocasionales. Las gravas son dominantes en la Fracción Muy Gruesa. La fracción fina tiene una distribución gefúrica dominante aunque existen localmente distribuciones relativas FG/FF porfíricas. La FG calcítica 10 al 20% y la FF carbonatada es inferior al 10%. La fracción gruesa destaca por componentes micácicos de forma acicular-planar que pueden concentrarse en microláminas y rasgos texturales para formar su composición dominante. Estos componentes micácicos también son abundantes en la fracción fina.

La fracción fina es de amarilla a roja con moteado micro fino globular marrón amarillo. Estos componentes de la fracción fina dotan a estas microfacies de una contextura de birrefringencia de moteada a estriada.

Estructuras sedimentarias y microestructuras

Las microfacies con gravas (F.2.1.1) son laminares y sus límites son graduales y ondulados; contienen una microestructura de cavidades abierta. Es común una orientación vertical de las gravas. Las microfacies con gravas matriz soportadas (F.2.1.2) tienen límites más graduales pero igualmente rectos, la FG bien clasificada y su microestructura es vesicular-laminar (Lámina VI.1, microfotografía 4). El espesor del lecho, como en las microfacies 1.2, es sugerida por distribución en banda o lineal de las gravas. En las microfacies con lechos y fuerte heterometría vertical (F.2.2.1.) como en los sets de láminas muy finas (F.2.2.2), microlaminares, hay abundantes láminas con la fracción gruesa lavada y láminas con abundante fracción fina roja con micas. Sus microestructuras son masiva-vesicular y laminar-fisural respectivamente. Además, existe una importante fragmentación de microláminas por fisuras, y segregación textural o intercalaciones rojizas con micas en las microfacies con gravas flotantes, laminares heterométricas y microlaminares en las que existe también incorporación o integración de láminas finas en forma fragmentos de costras de superficie. La porosidad de fisuras está desarrollada y contribuye a la formación de agregados poliédricos bien acomodados especialmente en las microestructuras masivas y vesiculares. También hemos observado de raros a ocasionales canales.

Rasgos

Los rasgos calcíticos son raros hiporevestimientos y revestimientos microesparíticos grises.

Los rasgos texturales destacan en las muestras con microestructuras de cavidades abiertas, vesiculares y microlaminares. Son revestimientos continuos limoarcillosos entorno de gravas, arenas gruesas o agregados. También sobre las gravas hay revestimientos en casquete y en casquetes enlazados. Los rellenos son arenosos y limosos, sin arcilla, incompletos y sueltos. Abundan también micropanes (costras internas) con una fuerte granoclasificación vertical granodecreciente especialmente en las microestructuras de cavidades abiertas. En las microfacies con gravas flotantes abundan las intercalaciones limoarcillosas.

Los rasgos de fábrica destacan los agregados en ooides y fábricas en banda (Vliet-Lanoë 1985) en las microestructuras de cavidades abiertas. Existen también pocas fábricas excrementales. Incorporamos a la descripción de rasgos la fragmentación de lechos de arenas y limos en las microfacies microlaminares (2.2.2) que forman una organización de intercalaciones limoarcillosas y arena-limo lavado parecida a las fábricas en banda (Huijzer 1993).

Los rasgos criptocristalinos generalmente se reducen de raras a abundantes puntuaciones negras esféricas de tamaño micro. En las microfacies con gravas flotantes los rasgos criptocristalinos negros son muy abundantes, con la aparición de nódulos. Abundan también revestimientos polvorientos marrón rojizos en la porosidad

vesicular.

La intensidad de alteración es fuerte y última.

Interpretación

La microfacies 2 contiene una heterometría más desarrollada de la FMG y la fracción fina está impregnada de óxidos de hierro que dotan el color rojo a estas facies. Además, hemos observado un aumento de los componentes micáceos que pueden interpretarse como alteración de los feldespatos (sericita?) (Bullock et al. 1985; Melgarejo 1997). Esta hipótesis no está contrastada, pero la presencia de óxidos de hierro en la fracción fina y la decarbonatación muestran al menos el desarrollo de la meteorización en los depósitos de las cavidades y en las formaciones de la Sierra. La explicación de esta abundancia de micas puede complementarse o contraponerse con la inferencia interpretativa de formación de acumulaciones eólicas en la superficie de la Sierra. Estos depósitos de loes limitarían la alteración mecánica de la roca de la superficie de la Sierra. Así es posible explicar la progresión de procesos edáficos como la edafoturbación por el hielo y la decarbonatación parcial que muestran estas microfacies sedimentarias. El que es evidente es que en los depósitos muestreados los procesos hídricos de redistribución de sedimentos dotan eventualmente a estas microfacies de cierta madurez mineralógica por isodensidad expresada por las concentraciones de microláminas de micas en las microfacies sin gravas y en rasgos texturales; o en el buen lavado de las costras sedimentarias de superficie descritas como estructuras sedimentarias microlaminares fragmentadas.

La dominancia de la actividad hídrica en el transporte de los sedimentos muestreados en los rellenos sedimentarios de las cuevas señala el aumento de la humedad. Este aumento de la humedad también está registrado en la ausencia de intensidades de la alteración débil en las FMG y FG. Sin embargo, esta intensidad de alteración no es paralela con la aparición de rasgos calcíticos. La ausencia de estos rasgos calcíticos pueden señalar la presencia de un corto ciclo de la estacionalidad de la sequedad, débil evapotranspiración, pero más bien indica enterramientos rápidos (Courty 1986), coherente con los mecanismos de transporte hídricos dominantes en la formación de estas facies.

Los rasgos microestructurales indican la aparición de rasgos tixotrópicos de deformación del depósito por hielo. Las figuras micromorfológicas formadas por la percolación del deshielo en las microfacies de gravas (F.2.1) se muestran con la aparición de costras internas fragmentadas, orientación vertical de las gravas y casquetes enlazados granodecrecientes. Estas microfacies sedimentarias con clastos soportadas por clastos también muestran revestimientos continuos que señalan a modificaciones postdeposicionales y transporte mediante reptación laminar por hielo y deshielo, una forma de soliflucción rápida relacionada con una aportación de agua externa (Bertran 1993; Courty et al. 1989; Vliet-Lanoë 1985; Vliet-Lanoë 1997). Las microfacies con clastos flotantes (F.2.1.2.) y microestructura masiva de agregación poliédrica muestran escasos rasgos. Las gravas presentan revestimientos limoarcillosos continuos muy delgados entorno a las gravas pero estos los hemos interpretados como heredados y adquiridos durante el arrastre laminar. El contenido

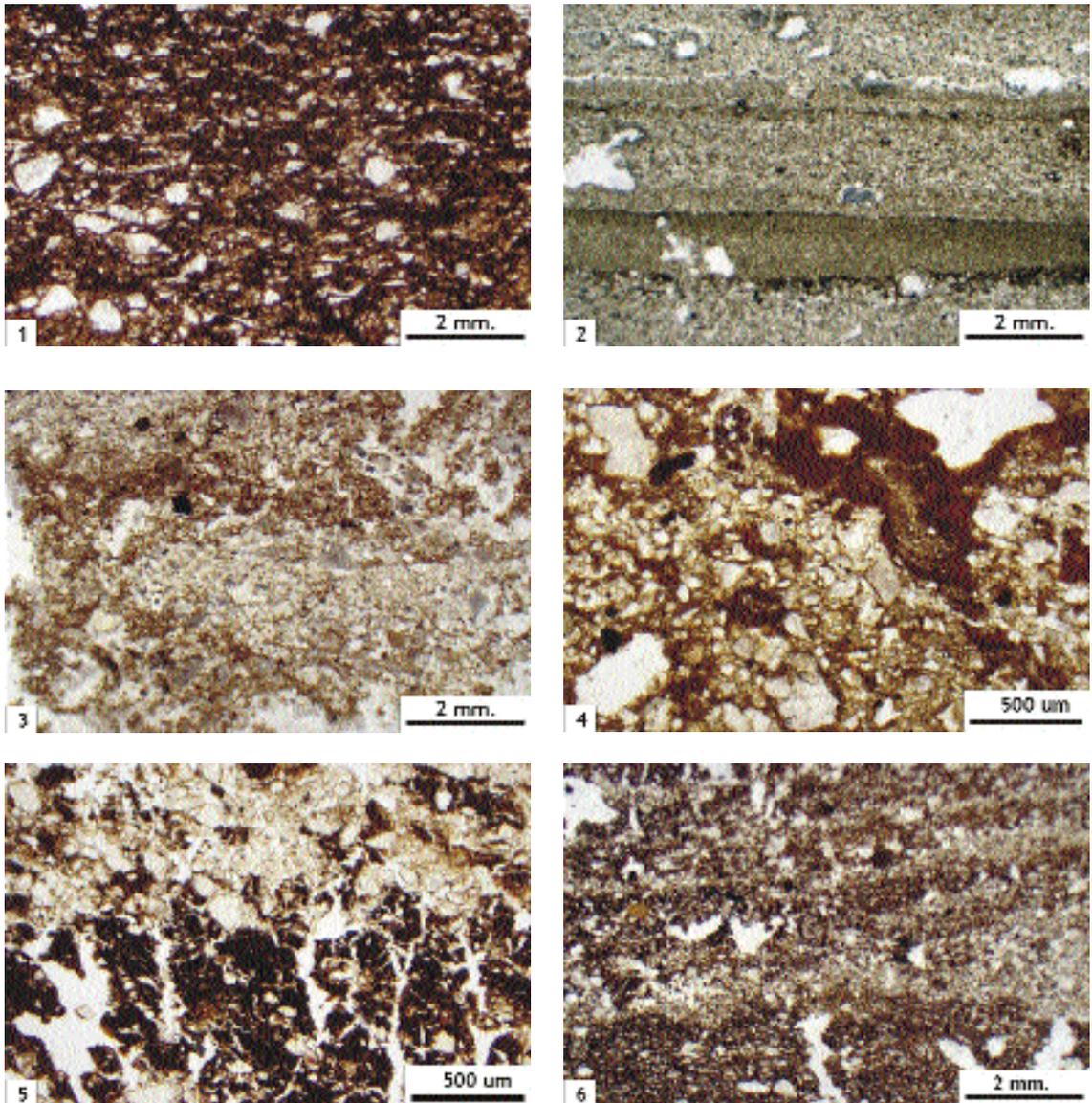


Lámina VII. Rasgos texturales, especialmente los eluviales, de la colección de referencia de microfacies de la Sierra de Atapuerca.

Microfoto 1 . Intercalaciones en las microestructuras vesiculares-fisurales de TG 7.

Microfoto 2 . Costra deposicional de TD 11 superior.

Microfoto 3 . Detalle de arenas mal lavadas de una costra sedimentaria deposicional de TD 6 -Estrato Aurora, UM IV.

Microfoto 4 . Detalle de una organización textural limoarcillosa de la M. II de GI de TG.

Microfoto 5 . Arenas bien lavadas en una costra sedimentaria deposicional de G.I MI de TG.

Microfoto 6 . Arenas mal lavadas en una costra sedimentaria deposicional de G.IIc de TZ.

en FG moderadamente a bien clasificada, puede indicar enterramientos rápidos de sedimentos y desplazamientos desarrollado en la Sierra y/o en el interior de la red de conductos subterráneos de drenaje de la Sierra durante el deshielo de nieve. Sin embargo, la abundancia de muestras con estructuras sedimentarias bien conservadas y fuerte heterometría vertical (F.2.2.1) y microlaminar (F.2.2.2) muestran una importante competencia de los mecanismos de transporte hídrico y señalan baja infiltración vertical durante la formación de estas microfacies sedimentarias. Pero la ausencia de rasgos iluviales muestra un drenaje bueno que puede interpretarse como el registro de una sedimentación más rítmica o regular. La baja infiltración vertical está atestiguada por las estructuras sedimentarias que muestran desarrolladas costras de deposición (Boiffin y Bresson 1987) con arenas bien lavadas y lechos de arcilla fragmentados por las modificaciones criogénicas (Huijzer 1993) que resaltan la acreción sedimentaria y caracterizan una tasa de sedimentación elevada. Esta baja infiltración vertical que favorece la expresión de la sedimentación hídrica en forma de infiltración lateral regular se realizaría con escasa cobertura vegetal en la Sierra ya que en la región la limitación al desarrollo de la vegetación en altura no es la ausencia de agua sino las bajas temperaturas (Tarazona 1984). La decarbonatación puede interpretarse como el resultado de la circulación de aguas meteóricas frías, con pocos ácidos orgánicos, indicando que el registro del régimen de la humedad del suelo se encuentra en el umbral superior del límite údico y ústico, singularizado por las bajas temperaturas.

Microfacies 3

Arena y arcilla roja decarbonatada con bloques y gravas medias (tabla 8.3).

Caracterización

Componentes texturales y estimación de las fracciones calcíticas y carbonatadas

La FMG presenta generalmente una fuerte heterometría y mediante la documentación de campo hay una presencia de frecuente a común de gravas gruesas y los bloques están soportados por bloques. La fracción gruesa y fina muestran una distribución porfírica. La fracción gruesa calcítica es inferior al 10% y la fracción fina carbonatada es de muy rara a ausente. La fracción fina puede contener de abundantes a ocasionales puntuaciones orgánicas y más raramente muestran tejido histológico. Estas puntuaciones y tejidos histológicos tienen el contorno rugoso mientras que otras tienen forma lisa y caras paralelas. La distribución de estos componentes orgánicos puede ser lineal o al azar. La fracción fina es turbia moteada como las microfacies 2 pero más amarillenta. La fábrica de birrefringencia puede ser indiferenciada, moteada y estriada.

Estructuras sedimentarias y microestructuras

Las microfacies de lechos de gravas (F.3.1.1.) y de lechos con gravas soportadas por la matriz (F.3.1.2.) tienen límites graduales y ondulados indicados por la FMG. Las microfacies de lechos de gravas en el campo se muestran en forma de lentejones localizados en el perfil (foto 1.10). Estas microfacies de lechos de gravas presentan agregación. Microagregación granular en las estructuras de gravas con gravas y

Estructura sedimentaria	Microestructura	Agregación	Rasgos texturales	Rasgos cristalinos	Rasgos amorfos y criptocristalinos	Alteración de la FMG-FG y rasgos de pérdida
F.3.1.1 Lecho de gravas	Granular	Poliédrica subangular y subredonda	Papulas Revestimientos continuos de arcillalimo Intercalaciones	Revestimientos y hiporrevestimientos gris y marron Impregnaciones densas de esparita equigranular.	Revestimientos Rellenos y papulas rojizas <i>ropy</i> . Pseudomorficos puntuaciones aisladas o coalescentes negros	Fuerte a última
F.3.1.2 Lecho de gravas flotantes	Microagregada y canales	Poliédrica a prismática fina	Papulas. Revestimientos continuos de arcilla-limo. Revestimientos polvorientos. Rellenos sueltos incompletos.	Revestimientos y hiporevestimientos grises y marrones	Revestimientos. Rellenos y papulas rojizas <i>ropy</i> . Pseudomórficos y puntuaciones aisladas o coalescentes negros.	Fuerte a última
F.3.2.1 Lecho	Canales	Prismática grande	Intercalaciones. Revestimientos microlaminados. Rellenos sueltos incompletos.		Nódulos amorfos con forma y con intensidad de alteración variable. Pseudomórficos negros en canales y en intercalaciones.	Última a fuerte
F.3.2.2 Microlaminar	Microagregada a canales	Granular a Poliédrica subredonda	Costras sedimentarias mal lavadas. Revestimientos polvorientos		Pseudomórficos negros. Nódulos microglobulares rojizos	Última

Tabla 8.3. Descripción de los principales caracteres micromorfológicos desarrollados en las descripciones de las microficies de arena y arcilla roja decarbonatada (F.3).

microagregación soldada y de canales en las microfacies con gravas flotantes.

Las microfacies sin gravas (F.3.2.) muestran una buena a moderada clasificación de la FG. Los límites son difusos indicados por tenues variaciones de color. Estas estructuras sedimentarias son laminares centimétricas (F.3.2.1) con microestructura masiva y de canales. Las microlaminares (F.3.2.2) presentan microagregación soldada.

Rasgos

Los rasgos texturales destacan por la presencia de pápulas y revestimientos continuos entorno a la FMG y FG y intercalaciones de limoarcilla (lámina VI, microfotografía 5). Sobre caras y poros hay revestimientos más polvorientos marrón rojizo, delgados, sin microlaminación, turbios con componentes orgánicos. Las pápulas muestran una importante diversidad de fábricas internas de fragmentos relictos, especialmente de fragmentos de costras sedimentarias. Es de destacar escasos rasgos texturales microlaminados tan sólo referenciados en forma de revestimientos y rellenos microlaminados, espesos y a veces turbios, cercanos a cambios litológicos. Los rasgos eluviales son también ausentes probablemente relacionados con los mecanismos de edafoturbación asociados a las microestructuras biológicas dominantes en estas microfacies. Estos rasgos están limitados a la presencia de rellenos sueltos incompletos y a las estructuras sedimentarias microlaminares que muestran arenas mal lavadas transformadas por la actividad biológica.

Los rasgos calcíticos pseudomórficos y hiporevestimientos microsparíticos en canales son los más abundantes en las microfacies con gravas soportadas por gravas. Destacan muchas muestras sin rasgos calcíticos, especialmente las que no contienen gravas, aunque tenemos que señalar la presencia de alteraciones últimas homogéneas que dificultan la estimación de las FG calcítica y los fragmentos de la FMG. También existen algunas impregnaciones discontinuas, a veces muy próximas a las microfacies de arena y limo marrón amarillo calcítico, pero estas muestran un aspecto marrón y pérdida de birrefringencia que sugiere una intensidad de alteración fuerte (Courty 1990). Hay de raros a ocasionales nódulos cristalíticos anhórticos y órticos, y también rellenos discontinuos y sueltos de microesparítica y calcita acicular. Finalmente hemos observado también impregnaciones en microfacies con gravas densas de esparita blanca equigranular y crecimientos cristalinos esparíticos en la porosidad fisural.

Los rasgos amorfos y criptocristalinos se desarrollan especialmente en las microestructuras masivas. Los nódulos y puntuaciones existen ocasionalmente en todas las subfacies pero sobretodo son ocasionales concentrados en las microfacies con gravas flotantes con diferentes estados de alteración y formas (Féodoroff et al. 1994). De contorno rugoso y límite gradual son las intercalaciones amorfas negras yuxtapuestas a las intercalaciones texturales limoarcillosas. También hay en las microfacies con gravas revestimientos pseudomórficos de color marrón rojo mate, en luz incidente, color que comparten con las puntuaciones microesféricas y nódulos de puntuaciones. Junto con estos rasgos amorfos negros hemos observado también partículas raras, y más ocasionales en las microfacies sin gravas, fragmentos micro y de contorno liso, opacos, hábito de caras paralelas y color negro brillante (grafito) en

luz incidente, que pueden ser atribuidos a carbones o a componentes minerales de manganeso (Stoops 1996). Raramente muestran formas histológicas para su asignación a componente orgánico. Estas puntuaciones orgánicas, que por su tamaño incluimos en la fracción fina, son más abundantes cuando poseen una distribución en banda o lineal.

En las microfacies con gravas son abundantes los córtex o películas de alteración. Su fábrica interna blanca-gris o rojiza y aspecto viscoso (microglobular fino) se distribuye principalmente entorno a gravas. Estas se corresponden a las intensidades de alteración fuerte y última, descritas por Courty (1986), aunque existen muestras en las que estos componentes de las películas aparecen en posición de revestimiento, relleno o pápula. También hemos observado fragmentos amarillentos brillantes localmente o totalmente isótropos, fisurados. El aspecto fibroso de su fábrica interna, fisuración color de interferencia gris y gris-blanco son característicos de hueso (Bullock et al. 1985). Los más fisurados son isótropos en parte o totalmente. Estos huesos, posiblemente más degradados (Perrenoud 1993), muestran una fábrica interna microglobular fina amarilla límpida en la zona isótropa. Finalmente hemos descrito masas globulares milimétricas, gris blanquecinas, con limos y arenas flotantes, raros huesos y poros finos (de forma esférica o de canal con paredes muy paralelas o pseudomórficas) y ataque de bacterias parcial que hemos identificado como coprólitos de carnívoros.

Los recubrimientos rojizos sobre caras de agregados y poros orientados microlaminados, muchos discontinuos, los hemos considerado clay skins o rasgos de fábrica.

La intensidad de alteración de estas microfacies es fuerte, fuerte-última y última.

Interpretación

La documentación de campo permite observar que muchas de las muestras que contienen estas microfacies tienen bloques soportados por bloques y gravas medias. Esto nos ha permitido interpretar que estos depósitos son formados por desprendimientos de gravedad y caídas de bloques (debris fall) (Pérez-González et al. 1995; Pérez-González et al. 1999). El origen de la FG y la FF es más difícil de evidenciar, dada la abundancia de FF que expresa procesos de envejecimiento (Brewer y Sleeman 1969), pero señalan la estabilidad morfogénica de la geometría de estos depósitos que contienen estas facies.

Las estructuras sedimentarias de lechos con gravas comunes (F.3.1.1.), están caracterizadas por una FG mal seleccionada, agregación granular a poliédrica angular o prismática fina. Los diferentes estados de intensidad de alteración, fuerte y último, nos indican la renovación en fragmentos de caliza en estas microfacies que explica la presencia de rara a ocasional FGc. Los procesos de translocación y lixiviación (leaching) de partículas (Arnold 1983), con una clara filiación con los componentes de las películas de alteración de la FMG criptocristalinas rojas, están documentados en forma de revestimientos discontinuos y pápulas rojizas criptocristalinas. Esta filiación mineralógica entre los productos de alteración de los fragmentos carbonatados y los

revestimientos discontinuos y pápulas indica una baja infiltración vertical ya que los procesos de translocación están limitados, sin formar un horizonte de acumulación diferenciado tal como se aprecia en el perfil de campo.

Esta débil infiltración vertical puede relacionarse con los procesos de inicio autocolmatación (Bornand 1987) y evidencia de una cierta estabilidad temporal de los procesos morfogenéticos sedimentarios (Fédoroff y Courty 1987b). La infiltración vertical impedida por materiales arcillosos es evidenciada por los rasgos amorfos negros formando revestimientos, hiporevestimientos y puntuaciones coalescentes. Estos procesos de autocolmatación y la acumulación de rasgos amorfos negros forman las condiciones para interpretar la presencia de una capa freática temporal colgada (pluvial). Así podemos caracterizar dos fases de procesos edáficos guiados por las oscilaciones en el registro del régimen de la humedad. Con los procesos de evolución interna, que conducen a la madurez de la geofoma, el régimen de humedad udic promueve la colmatación y la formación de la agregación poliédrica a prismática fina decarbonatada; y otros por un cambio climático o un drenaje moderado guía la aparición de rasgos calcíticos (Fédoroff y Courty 1987b). La presencia de rasgos calcíticos está asegurada por la abundancia de fragmentos. Su presencia denota que el drenaje es de moderado a bueno y la inestabilidad morfogenética de la superficie del medio sedimentario (frecuencia de truncaduras) está en relación con la geometría de la geofoma.

Este carácter limitado de la estabilidad morfogenética de la superficie del depósito se observa con el contraste entre las microfacies de gravas con agregación granular (F.3.1.1), en la que la intensidad de alteración es homogénea, fuerte o última, y las microfacies con clastos flotantes (F.3.1.2). Las microfacies con clastos soportados, la FMG indica un enterramiento más rápido respecto microfacies con gravas flotantes. Este enterramiento más rápido puede darse en posiciones de pie de vertiente, en el que el desplazamiento puede aportar a la agregación poliédrica su forma subredonda. Posiblemente estos flujos laminares, al entrar en un medio sedimentario encajado como las cavidades cársticas, formen leves incisiones que explican el aspecto lenticular que se observa en el perfil de campo. Estas microfacies con arcillas y arenas con gravas soportadas con gravas (F.3.1.1) no presentan una marcada migración de arcilla que muestra caracteres de horizonte cámbico cálcico de suelos rojos (Vallejo 1995). Durante la formación de estas microfacies es de esperar que en las formaciones superficiales de la Sierra haya truncaduras de suelos relativamente profundas y acumulación en el pie de vertientes. Esta truncaduras típicas de los suelos mediterráneos caracterizan una sedimentación con discontinuidades.

Las microfacies con gravas flotantes muestran una agregación prismática de fina a muy grande. Estas microfacies de arcilla y arena con gravas flotantes contienen diversos estados de intensidad de alteración de las gravas, fuerte y última. Los rasgos texturales destacan en forma de intercalaciones, muchas deformadas, un revestimiento continuo de limoarcilla entorno a la FMG y FG. También abundan fragmentos de costras sedimentarias integradas ya sea por fisuras como por canales. En la porosidad de fisuras y cámaras existen rellenos densos y incompletos de arenas calcíticas, con rasgos que presentan intensidad de alteración fuerte. Los rasgos

Estructura sedimentaria	Microestructura	Agregación	Rasgos texturales	Rasgos cristalinos	Rasgos amorfos y criptocristalinos	Alteración de la FMG-FG y rasgos de pérdida
F.4.1 Lecho centimétrico	Granular esférica a subredonda		Revestimientos limoarcillosos continuos. Rellenos sueltos densos de arenas bien y mal lavadas.		Revestimientos, rellenos y pápulas rojo, naranja blanco amarillo <i>ropy</i>	Última. Zonas y agregados blanco-amarillo, límpidas
	Vesicular		Intercalaciones. Revestimientos limoarcillosos finos.	Revestimientos fibroradiados de apatita	Revestimientos finos criptocristalinos rojos (fosfatos?)	Última.
F.4.2 Lecho decimétrico	Masiva	Prismática	Intercalaciones.		Puntuaciones y nódulos con intensidad de alteración variable	Última y fuerte. Zonas de pérdida amarillas límpidas a moteadas
F.4.3 Microlaminar	Fisural organomineral	Poliédrica angular	Rellenos y costras internas de arenas bien y mal lavadas. Papulas. Revestimientos microlaminares.	Rellenos densos y pseudomórficos con querás	Láminas opacas negras y rojas límpidas. Nódulos microglobulares rojizos.	Última Zonas de pérdida amarillas con nódulos microglobulares finos.
	Microagregada a canales	Prismática	Revestimientos microlaminares a polvorientos. Crostas sedimentarias mal lavadas.	Revestimientos y hiporrevestimietos pseudomórficos grises y marrones esparíticos.	Pseudomórficos y puntuaciones aisladas o coalescentes negros al azar	Última y fuerte

Tabla 8.4. Descripción de los principales caracteres micromorfológicos desarrollados en las descripciones de las microfácies de arena y arcilla marrón totalmente decarbonatada (F.4).

amorfo negro son en forma de revestimientos en canales y intercalaciones, y de manera desarrollada en nódulo que muestran diferentes estados de alteración y morfología compleja (Fedoroff et al. 1994). Los caracteres de la agregación, los rasgos texturales y amorfo indican una evolución postdeposicional caracterizada por la meteorización superficial o sedimentación baja. Este carácter superficial de las microfases con gravas flotantes se intuye en los fragmentos de costras de superficie y especialmente en la distribución en banda que exhiben las gravas. La acumulación de rasgos como los nódulos amorfo de diferentes tipos y alteración es un proceso documentado en el techo de horizontes arcillosos o de alteración (Fedoroff y Eswaran 1985). Además, los caracteres estructurales de la agregación prismática indican la presencia de fenómenos de humectación y desecación que reflejan la estacionalidad del régimen la humedad. Este régimen de la humedad se da en un régimen drenado moderado y lento de la percolación evidenciado por el desarrollo de los rasgos amorfo y intercalaciones. Este drenaje moderado explicaría la abundancia el carácter cumúlico en fracción fina de estas microfases con clastos flotantes. De esta manera explicamos la práctica ausencia de rasgos calcíticos en estas facies, ya que fundamentalmente su acreción es de productos de alteración, especialmente fracción fina y componentes siliciclásticos resistentes, sin la aportación lateral por truncadura de fragmentos carbonatados. Este carácter cumúlico presenta su extremo en los procesos de formación de las estructuras sedimentarias sin gravas, con estructura sedimentaria laminar (F.3.2.1) y arena y limo de bien a moderadamente seleccionados con macroagregación prismática. Las microfases con estructura sedimentaria microlaminar (F.3.2.2.) muestran una sedimentación lenta de estos productos de alteración siliciclásticos. La abundancia de la FF indica lentos procesos de sedimentación lentos procesos que interactúan con las características de la superficie de la geoforma. Estas microfases tienen un drenaje moderado expresado por la formación de espesos revestimientos microlaminados junto con rasgos eluviales con costras sedimentarias mal lavadas.

Por otra parte consideramos un drenaje bueno para las microfases con clastos flotantes que muestran una agregación más fina y menos rasgos amorfo negro. Estas microfases muestran más rasgos texturales gruesos, especialmente rellenos sueltos y incompletos de arenas calcíticas descritas en suelos vérticos (Fedoroff y Courty 1989) coherentes con el comportamiento estructural de la agregación prismática fina con más porosidad de fisuras angulares y cámaras. Estas microfases podrían indicar un registro más contrastado del régimen de la humedad si puede evidenciarse que estos caracteres estructurales no son el resultado de factores de la posición del perfil de muestreo en la geometría del depósito sedimentario. De todas formas, en estas microfases prismáticas finas los rasgos calcíticos pueden indicar mecanismos de incorporación de FG y FMG carbonatada de forma más rápida. Esta incorporación de sedimentos puede explicar la abundancia rara de fracción fina carbonatada y la presencia de heterogeneidad de intensidades de alteración de la FMG y FG vía coluvionamiento y/o sedimentación hídrica característica de suelos rojos (Lamouroux 1970). Esta sedimentación relativamente más rápida de las microfases con agregación prismática fina puede inferirse también de la observación más repetida de fragmentos de costras sedimentarias preservadas que indican otra vía de renovación

de la superficie del depósito mediante truncadura, por erosión laminar hídrica, o acreción mediante la formación de estructuras microlaminares (F.3.4). Esta erosión laminar está indicada en los rasgos texturales polvorientos, delgados no microlaminados, y los fragmentos de costras de superficie integrados con arenas mal lavadas en las microestructuras poliédricas; mientras que las microlaminares las costras de superficie preservadas muestran también estas arenas mal lavadas. Esta actividad de la sedimentación y las truncaduras de las superficies (erosión) de los depósitos muestran procesos típicos de los suelos rojos de clima mediterráneo poco desarrollados donde se asientan las comunidades vegetales con raíces profundas (Vallejo 1995). Durante la formación de estas microfacies consideramos que las formaciones superficiales de la Sierra los horizontes de alteración están sometidos a procesos de rejuvenecimiento superficiales sobre horizontes profundos.

Las microfacies con gravas flotantes y agregación prismática muy gruesa y con abundantes rasgos amorfos evidencian un drenaje moderado que registra un régimen de la humedad údioco tal como atestigua la casi decarbonatación total. De todas formas la abundancia de rasgos texturales polvorientos y la formación de pápulas, algunas deformadas y orientadas en oblicuo y revestimientos continuos entorno a la fracción gruesa (Vliet-Lanoë 1985) pueden interpretarse por la importancia de las deformaciones postdeposicionales de los sedimentos por cambio climático a condiciones más húmedas y frías, junto con el establecimiento de un drenaje de moderado a malo por capa freática estacional colgada. Estas modificaciones desarrolladas en estas microfacies decarbonatadas con pocas gravas y estructuras prismáticas grandes pueden ser interpretadas como características de horizontes paleo-argílicos de regiones semi-áridas, sin rasgos texturales, producto de la erosión hídrica o coluvial de alfisoles transportados a cortas distancias (Fedoroff y Courty 1987a). Así, estos depósitos con acumulación de FF o truncaduras representan una baja sedimentación y larga exposición aérea que pueden acumular también varias fases de procesos edáficos relacionados con cambios climáticos con diferentes regímenes de la humedad.

Microfacies 4

Arena y arcilla marrón totalmente decarbonatada con bloques y gravas (tabla 8.4).

Caracterización

Componentes texturales y estimación de las fracciones calcíticas y carbonatadas

La Fracción muy gruesa flotante tiene forma de bloques y gravas medias calizas, pero son apreciables los componentes relictos (con estructuras sedimentarias y/o con rasgos edáficos). Además, hay muestras con gravas, especialmente finas, en la que la FMG carbonatada tiene una intensidad de alteración última que dificulta su estimación.

No contienen FGc ni FFc. La fracción fina es de color amarillo marrón a marrón rojizo, casi opaco localmente, y su transparencia es límpida a con dominios moteados.

En algunas muestras la fracción fina contiene una abundante pigmentación orgánica

amorfa opaca que jerarquiza la caracterización de organomineral (Bullock et al. 1985). Con luz incidente los componentes opacos son negros y brillantes, de contorno difuso marrón rojizo oscuro o negro brillante con forma de caras paralelas y contorno liso. Estos componentes negros son discontinuos y están imbricados con láminas rojizas, límpidas a moteadas con luz transmitida, y contienen detrítico flotante (lámina 8.VIII, microfoto 6). La fábrica de birrefringencia es isótropa con raros dominios moteados por el detrítico micácico. La identificación de estos componentes opacos brillantes, en luz incidente, contorno liso y lados paralelos tiene que contrastarse mediante otras técnicas ya que existe un fuerte paralelo entre carbones y manganeso (Stoops 1996). La abundancia de carbón / manganeso puede dotar a estas microfacies el color negro que algunas de estas microfacies presentan en mano. Así hemos observado también la presencia rara de pseudomorfos negros de tejidos vegetales de contorno liso.

Estructuras sedimentarias y microestructuras

Las microfacies laminares centimétricas (F.4.1.) están mal clasificadas y presentan el límite difuso y recto. Generalmente contienen fragmentos relictos de tamaño grava fina y no contienen FG calcítica. Las microestructuras son granulares esféricas y vesiculares. La microestructura granular esférica muestra agregados finos con una porosidad de cavidades cerradas rellena por FG bien y mal lavada (Lámina VI.1, microfoto 3). La microestructura vesicular muestra fisuras de desecación (Vliet-Lanoë 1985) y localmente esta porosidad vesicular define agregados laminares finos. Su birrefringencia es isótropa.

Las microfacies con gravas y bloques flotantes, las arenas y los limos están mal seleccionados. Sus límites son difusos, y la distribución señalada por líneas de gravas permiten limitar discontinuamente lechos (F.4.2.). Su microestructura es masiva y contiene cavidades aisladas y en el campo presentan una agregación secundaria prismática decimétrica. Tienen una distribución FG/FF porfírica muy abierta, con fracción fina dominante muy poco turbia. Una de las muestras tiene un contenido en restos óseos dominante y dominios de la fracción fina amarilla límpida y otros rojizos turbios. Su birrefringencia es estriada.

La estructura sedimentaria de naturaleza organomineral (F.4.3.1) se presenta fundamentalmente en forma de microláminas discontinuas y agrupadas. Las texturas son muy inmaduras indicada por una distribución FG/FF porfírica abierta. Los límites de las estructuras sedimentarias son difusos y rectos. La selección de la FG es de moderada a mala. La microestructura es fisural organomineral ya que presenta microfisuración interna parecida al material orgánico monomórfico (lámina VI, microfoto 2)(Bullock et al. 1985). Además, esta abundancia de componentes orgánicos también se expresa con la presencia de una porosidad estructural fisural que forma una agregación poliédrica angular de fina a media no acomodada también reseñada para los peats degradados (Babel 1975). Esta estructura sedimentaria microlaminar fisural organomineral presenta porosidad de canales a veces recortada por las fisuras.

Otras muestras con microlaminación (F.4.3.2) muestran texturas más maduras, discontinuidad de la microlámina, distribución porfírica cerrada y arenas de bien a

mal lavadas. Sus límites son claros y rectos. Contienen FMG con intensidad de alteración homogénea última. Su microestructuras es microagregada y muestra porosidad biológica de canales y fisuras con cámaras y agregación poliédrica subangular. Su birrefringencia es isótropa a moteada.

Rasgos

Rasgos en las estructuras sedimentarias microlaminares.

Algunas de las muestras microlaminares organominerales contienen rasgos cristalíticos con siderita (Bullock et al. 1985). Pero esta identificación ha de confirmarse especialmente con MER (Stoops 1983). Los rasgos cristalíticos calcíticos algunos son pseudomórficos, como queratas, y otros revestimientos entorno a canales.

Los rasgos texturales típicos son los revestimientos de arcilla polvorienta unos con buena microlaminación, espesos y extinción ondulante, y otros más polvorientos y delgados. Otros rasgos texturales de alguna de las muestras son los que muestran una alternancia en rellenos de limo arcilla y arcilla, organizaciones texturales limoarcillosas (lámina VI microfotografía 4) (Fedoroff et al. 1994). Estos rasgos se dan en forma de revestimiento que pasa a relleno, de vesículas de forma tabular o una cavidad policoncava, denso y incompleto. Pueden o no mostrar microfisuración. En la base es característico un revestimiento limo arcilloso discordante rico en mica y limo grueso flotante. Este revestimiento está cubierto por otro relleno de arcilla rojo amarillo microlaminada con extinción ondulante más mal expresada si aumentan las partículas microcontrastadas (turbia). Esta arcilla microlaminada se dispone en estratificación cruzada (Vliet-Lanoë 1985), formando una sucesión de láminas cóncavas concordantes.

Los rasgos eluviales están formados por arenas mal lavadas y bien lavadas. Las bien lavadas aparecen en crostas deposicionales con los rasgos texturales limoarcillosos en forma de rellenos densos y casi completos (lámina VII, microfotografía 5). Las mal lavadas aparecen en forma de crostas de deposicionales (pan) (lámina VII, microfotografías 3 y 6).

Entre los rasgos criptocristalinos hay crostas internas, blanco-gris, amarillas y amarillo-naranja puros con otros rasgos criptocristalinos marrón turbio, yuxtapuestos y concordantes en grandes fisuras, pero sin cambios texturales. Su fábrica interna pura compuesta de granos de forma microglobular muy fina (entorno a 2-10 micras) de aspecto viscoso (ropy) (lámina VIII, microfotografía 1). Los identificamos mediante microscopía bajo la denominación genérica de fosfatos de cueva con la ayuda de la bibliografía (Broughton 1972; Courty 1992; Flicoteaux y Lucas 1984; Goldberg 1979; Goldberg y Nathan 1975; Karkanis et al., 2000; Macphail y Goldberg 1999; Mestour 1996; Pénaud 1979; Perrenoud 1996; Vliet-Lanoë 1986). Estos han sido identificados, sobre muestras perturbadas, como fosfatos de aluminio y calcio o crandallita (Pérez-González et al. 1995; Pérez-González et al. 1999).

Su coloración amarilla, amarilla-naranja y fábrica interna viscosa con microláminas oscuras puede ser indicativa de guanos de murciélago (Berger 1991), pero en las que no observamos fragmentos de insectos, tal como se observa en las acumulaciones recientes (Mestour 1996). Su relación con otros revestimientos texturales,

especialmente limoarcillosos amarillos y arcillosos rojizos, además de su fábrica interna pura, indican una posición *ex situ* respecto a niveles coprogénicos *in situ*. Tenemos que destacar que de todas maneras existen estos rasgos criptocristalinos en forma de componente dispuestos en forma de costra de superficie que indican su posición *in situ*. Su composición y forma es parecida a niveles de guano de murciélago arqueológicos que disponemos como referencia (Berger 1991).

Otros rasgos criptocristalinos son unos nódulos globulares finos de tamaño micro de fábrica interna pura rojiza turbia localizados en zonas donde hay rasgos de pérdida de hierro indicado por la fracción fina amarilla limpia (lámina VIII, microfoto 2 y 5).

Rasgos de pérdida. Zonas desferrificadas de color blanco y poca fracción fina. Singularmente hay de arenas con fracción fina blanquecina límpida isótropa, vítrea (Silificación evaporítica?).

Finalmente destacar la presencia de perturbaciones reciente debidas a raíces en las que se observa tejidos histológicos de phlobaphenes (Bullock et al. 1985) en canales. Esta bioturbación reciente se observa en el campo.

Rasgos en las estructuras sedimentarias en lechos

En las microestructuras fisurales-vesiculares los rasgos texturales típicos son las intercalaciones (lámina VII, microfoto 1. Los rasgos de iluviación son los revestimientos limoarcillosos delgados polvorientos. En alguna de estas vesículas se pueden observar muy delgados revestimientos de apatita fibrorradiada (Jenkins 1994; Perrenoud 1993). También hay en fisuras horizontales sin aparente cambio textural, rellenos casi completos densos puros de masas marrón rojizas criptocristalinas en forma de fibra (óxido de hierro?). Estos rellenos también se encuentran fragmentadas en las microestructuras granulares esféricas, pero contienen detrítico. Los rasgos eluviales también se dan: en forma de arenas mal lavadas y lavadas generalmente relleno completamente o incompletamente las cavidades granulares. Estas microestructuras granulares muestran rellenos de arenas bien lavadas y completos. Estas arenas lavadas forman parte también de casquetes entorno a microagregados granulares esféricos y fragmentos relictos.

Los rasgos de pérdida los hemos descrito particularmente en forma emblanquecimiento de la fracción fina asociada a microfacies en las que existen rasgos texturales de eluviación de las microestructuras granulares esféricas. Esta está señalada por más limpidez y color amarillo-blanco de la FF.

Este color amarillo de la fracción fina también está presente en las microestructuras masivas. En ella es destacable una fuerte homogeneización de la microestructura, masiva, y con la pérdida de contorno de muy abundantes fragmentos de roca carbonatada y relictos de sedimentos. Algunos aparecen fisurados y disgregados por fisuras de la macroagregación prismática. La fábrica de birrefringencia es indiferenciada o uniestriada. Entre los fragmentos carbonatados destaca diferentes intensidades de alteración. Los rasgos texturales son principalmente las intercalaciones, algunas organominerales negras. Hay abundantes rasgos criptocristalinos amorfos negros en forma de puntuaciones coalescentes con

diferentes intensidades de alteración y formando también películas entorno a la FG y la FMG alterada.

Los rasgos de fábricas: en las microestructuras granulares y masivas hemos podido observar clay skins.

Interpretación

Estas microfacies muestran una total decarbonatación de la FG y la FF que las emparenta con los procesos de formación de la terra rossa (Kubiena 1952) de larga evolución temporal en los suelos rojos sobre calizas duras (Vallejo 1995) y estacionalidad acusada de la humedad. Su acumulación en los rellenos próximos a las entradas de las cuevas muestran, sin embargo, una acusada permanencia de la humedad como indica la intensidad de alteración última de las microfacies con componentes carbonatados, y especialmente la fracción fina amarilla de marrón rojizo. La limpidez de moteada a vítrea de esta fracción fina indica los procesos de hidratación de óxidos de hierro que las relaciona con los procesos de empardecimiento (Benayas 1997). Estas microfacies las caracterizamos por ilustrar diferentes dinámicas de movilización de los óxidos de manganeso y hierro de sedimentos sin la FGc y la FFc. Estas arenas y arcillas marrones totalmente decarbonatadas contienen una importante heterogeneidad de materiales relictos. La naturaleza relictiva de estos materiales ha sido descrita como los componentes reelaborados de la sedimentación en la FMG o por acumulación organomineral en la FG y la FF.

Microlaminas fisurales organominerales

La poca madurez textural indica una sedimentación lenta y discontinua. Su composición orgánica, de tipo monomórfica y impregnativa, muestra procesos de degradación de materia orgánica que morfológicamente hemos encontrado aproximadamente descrita para turberas degradadas (Babel 1975). También es de destacar la relativa abundancia de componentes negros brillantes que en la interpretación de su identificación como restos vegetales indican carbonización incompleta o simplemente pseudomorfosis por pirolusita (óxido de manganeso). Las características de la fracción fina, con el color marrón rojizo límpido (vítrea) de buena parte de la pigmentación de la micromasa de las laminas organominerales, presenta una fuerte filiación en luz transmitida con residuos coloreados de tejidos de raíces residuales (phlobaphenes), además de exhibir baja birrefringencia característica de los pigmentos orgánicos (Bullock et al. 1985). De esta forma pensamos que el carácter orgánico de estas microlaminas discontinuas marrón rojizas es sostenible con la observación microscópica. La observación de raíces con presencia de células residuales de phlobaphene nos indica actividad subreciente de raíces. Esta actividad ha debido ser también fósil ya que en los trabajos de campo pudimos observar una gran abundancia de pseudomorfos carbonatados en estas facies. Pero los procesos de formación de estos rasgos carbonatados sugieren la presencia de otra fase en la evolución de las alteraciones edáficas de los procesos postdeposicionales de estas facies. Esta otra fase en la evolución de los procesos edáficos registrados está relacionada con un cambio climático o de drenaje y donde la baja sedimentación

explica la yuxtaposición de estos procesos edáficos de forma parecida a la que se da con los suelos relictos (Catt 1989; Fédoroff y Courty 1987b).

La colonización de raíces subcreciente nos puede indicar que el origen de la acumulación organomineral sea parecida pero en un medio ácido, a juzgar por la dinámica de lixiviación de carbonatos, y la movilización y fijación del manganeso y el hierro en pseudomorfos. Esta movilización del hierro de la fracción fina está caracterizada por los rasgos de pérdida que aparecen en forma de arenas sin fracción fina sin birrefringencia, movilización que se produce generalmente con un ambiente saturado, reductor o redóxico (estacional) y acidificación producida por la descomposición microbiológica de materia orgánica. La acumulación de óxidos y hidróxidos criptocristalinos generalmente se produce en altas concentraciones de materia orgánica, y los fragmentos de plantas son un trampa preferencial formando unos compuestos de hierro pseudomórficos de brillo metálico o brillante en luz incidente (Courty et al. 1989). La presencia de carbones en estos pseudomorfos podría estar referida a procesos de autocombustión imperfecta (lignificación), de acumulaciones vegetales no leñosos (Courty 1990), pero también puede interpretarse como producto de acumulaciones transportadas poco después de incendios (Fedoroff y Courty 1989; Nichols et al., 2000). Para períodos pleistocenos la observación de carbones en el techo de paleosuelos con edafoturbaciones por sequedad o hielo en Europa ha sido documentada (Fédoroff et al., 1989; Vliet-Lanoë 1976). La presencia de depósitos ricos en microcarbones en el tardiglacial y su relación con tipos de vegetación no ha sido posible establecerla ni en sedimentaciones de lagos, de manera que la discusión y interpretación de estos depósitos necesita una aproximación multicausal (Edwards y Whittington 2000). La identificación del origen orgánico que constituye parte del depósito necesita de esta manera más análisis -fitológicos, palinofacies, etc. - que escapan de los objetivos de nuestro estudio. Sin embargo, retenemos como hipótesis de trabajo la referencia a peats degradados enunciada (Babel 1975), ya que el carácter monomórfico -sin caracteres de origen biológico- y características morfológicas formada por rasgos criptocristalinos negros son relativos a procesos de degradación de la humificación en medios anaerobios.

Mediante el análisis micromorfológicos de estas microfacies podemos contribuir a la discusión sobre el medio sedimentario necesario para la formación de estas facies. En principio podemos considerar que la acumulación de materia orgánica puede producirse en este contexto de lenta sedimentación en estas microfacies microlaminares organominerales con abundante fracción fina. De hecho la fracción fina formada por limos muy finos micácicos y una micromasa rojiza turbia es difícil de separar su origen sin-sedimentario o postdeposicional. Esto requiere más trabajo. Es orientativo de estas microfacies las descritas organizaciones texturales arcillolimosas que indican una alternancia con un régimen hídrico temporalmente saturado (Fédoroff y Courty 1987b). Sin embargo, en las distintas estructuras sedimentarias microlaminares organominerales la caracterización del régimen hídrico mediante los rasgos texturales muestra cierta variabilidad. Los rasgos texturales iluviales fisurados y con rasgos eluviales muestran la transformación de la desecación criogénica expresados por una fisuración extrema en microagregados angulares. Los revestimientos microlaminares con organizaciones texturales arcilloslimosas muestra

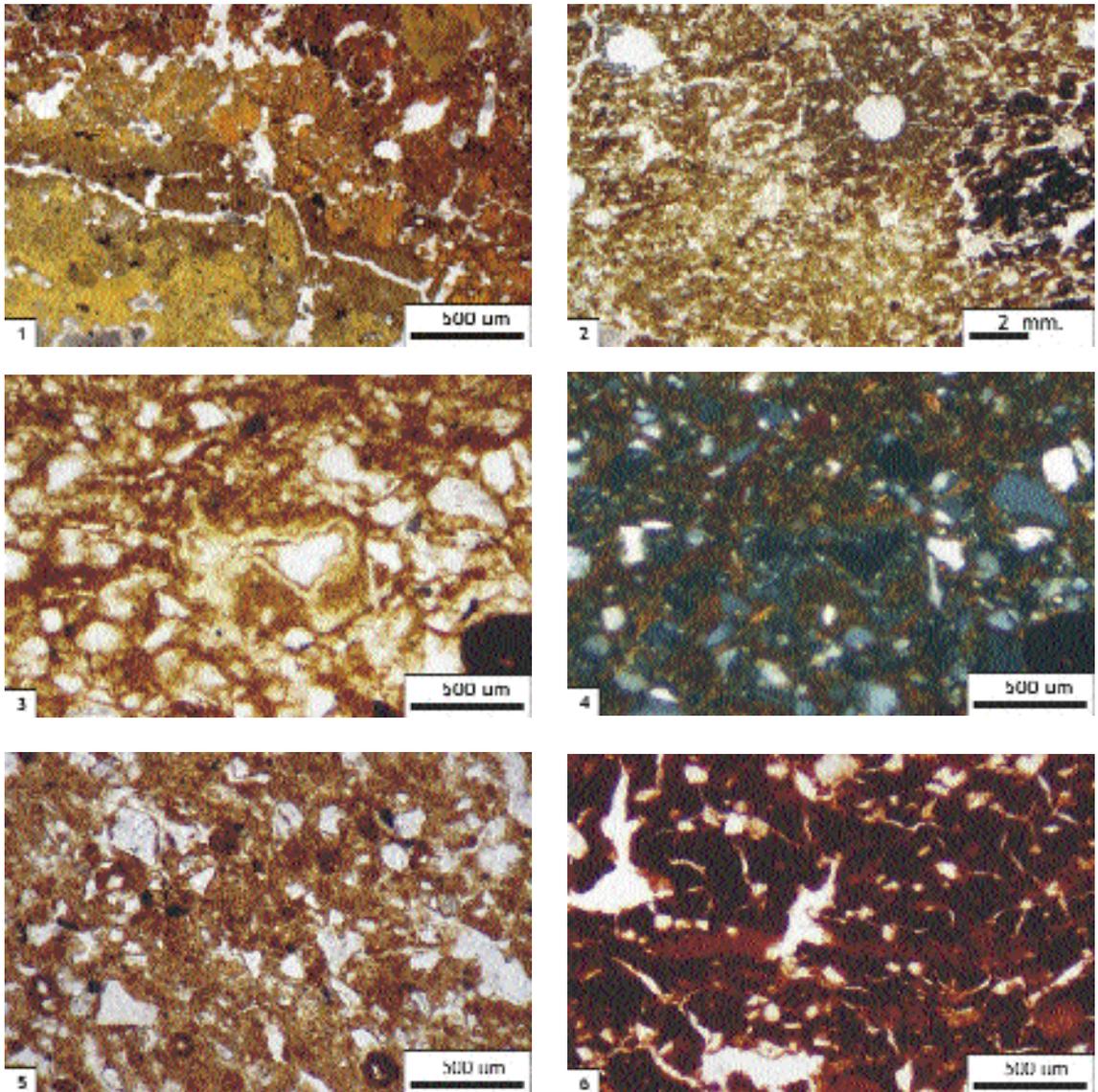


Lámina VIII. Rasgos criptocristalinos de las microfacies de la colección de referencia de la Sierra de Atapuerca.

Microfoto 1. Costra interna de rasgos criptocristalinos y mineralizaciones neomórficas (pirita?) TG 7.

Microfoto 2. Puntaciones opacas criptocristalinas en la micromasa amarilla límpida a poco moteada de las microfacies de arena y arcilla marrón de TD9.

Microfoto 3. Revestimiento amarillo en la base e TG 7.

Microfoto 4. Idem que el anterior en luz analizada. Obsérvese el aspecto fibrorradiado del revestimiento (apatita ?).

Microfoto 5. Nódulos microglobulares rojizos turbios de TG 8 dentro de una micromasa amarilla límpida a moteada.

Microfoto 6. Murcielaguina formada por láminas negras y rojizas límpidas a poco moteadas de TN2B.

una saturación temporal y circulación muy lenta. Esta variabilidad del régimen hídrico, expresado por los rasgos iluviales y eluviales, son indicativas de las diferentes evoluciones postdeposicionales de estas estructuras sedimentarias organominerales. Sin embargo, la alternancia de láminas negras y láminas rojizas ligada a la naturaleza mineralógica organomineral está relacionada con la concentración del manganeso y del hierro criptocristalino, es decir, sus procesos de formación. Este ambiente reductor dominante lo inferimos por la dominancia de las láminas rojas turbias en la observación microscópica de estas estructuras sedimentarias microlaminares organominerales. La dinámica de la formación de las láminas negras las relacionamos con la precipitación de manganeso, indicativa de un ambiente más oxidante, de ambientes húmedos-aeróbicos y neutros con bacterias (Shahack-Gross et al., 1997). La actividad biológica parece también participar en estos procesos de formación mayores identificados, el de ambiente reductor y el régimen hídrico lento, ya que hemos observado formación de estas microláminas organominerales con porosidad de canales más o menos conservadas según los procesos postdeposicionales descritos mediante los rasgos texturales. Otro carácter común, la mala madurez textural de las microfacies organominerales indica la escasa velocidad del flujo hídrico que condiciona la capacidad de oxigenación del régimen hídrico del suelo, que permite caracterizar estas microfacies con un régimen hídrico mal drenado. Así, las oscilaciones de la capa freática y las condiciones anaeróbicas tienen que ser cercanas a los horizontes redóxico (Baize y Jabiol 1995), con un corto período de oxidación, o pseudogley (Courty et al. 1989). El color negro en mano, y más bien más bien marrón-rojizo bajo el microscopio, pensamos que pertenece pues a la acumulación de materia orgánica por fijación pseudomórfica de hierro y manganeso que lo relaciona con procesos relacionados con turbas (peats) y podzoles, tal como indican las microfisuras características de las acumulaciones orgánicas monomórficas (Bullock et al. 1985).

En estas microfacies microlaminares y con este régimen hídrico saturado parcialmente por el agua también se forman rasgos criptocristalinos identificados como fosfatos de cueva en forma de costras internas, colmatando grandes fisuras horizontales y yuxtapuestas a arcillas límpidas.

En depósitos supergénicos, la crandallita se ha descrito como un mineral producto de la alteración de minerales arcillosos y en relación con la aparición de caolinita (Melgarejo et al., 1997). La crandallita aparece como un fosfato secundario en la superficie de estos depósitos. El fósforo en medios cársticos (internos ?) es casi siempre derivado de guanos (Melgarejo et al. 1997). En depósitos de cueva cercanos a la entrada, también con materiales parentales cársticos, formados por revestimientos arcillosos con fosfatos de calcio en bandas, en cuevas del Quercy francés (Billaud 1982) y en la Cauna del Aragón (Pénaud 1979), citan la caolinita y la hidroxiapatita-dallita respectivamente, como los materiales de origen que mediante aguas freáticas forman un producto de alteración determinado como crandallita. También la crandallita aparece en suelos rojos, terra rossa y otros depósitos como producto de alteración (Flicoteaux y Lucas 1984). La crandallita en la Cotte de St. Brelade también ha sido interpretada como producto de alteración de fragmentos óseos (Vliet-Lanoë 1986). En la Cauna del Aragón, los guanos han sido los que han promovido la fosfatización de parte de los depósitos sedimentarios (Pénaud 1979),

mientras que en la Baume Bonne los huesos, y de forma secundaria los guanos, los responsables de la fosfatización de sus depósitos (Mestour 1996).

Las limitaciones de nuestro programa analítico reducen nuestra capacidad de discusión sobre la naturaleza mineralógica y el origen de los rasgos criptocristalinos susceptibles de contener minerales de la familia de los fosfatos en algunas de las muestras. Una aproximación prematura y basada en la distribución y morfología de los rasgos, invoca su presencia en forma de micropanes y rellenos densos incompletos sobrepuestas a arcillas rojas en posición de revestimiento en grandes fisuras horizontales. Esto nos inclina a sostener la hipótesis de trabajo de procesos de formación más próximos a los evidenciados en el modelo de depósitos supergénicos comentados (Melgarejo et al. 1997). La naturaleza coprogénica de los fosfatos es difícil de sostener la caracterización organomineral de las microfacies de arena y arcilla marrón totalmente descarboxatada, descrita como murcielaguina (Pérez-González et al. 1995). Mediante la evidencia micromorfológica estos depósitos criptocristalinos referenciados susceptible de contener la crandallita determinada están en posición de rasgos. La presencia de guanos en otras cuevas (Berger 1991; Courty 1992; Macphail et al. 1997; Macphail y Goldberg 1999; Perrenoud 1993; Watzet et al. 1989) consultados como referencia, son identificados como componentes y no como rasgos. Esta hipótesis de trabajo fundada en el paralelismo con los depósitos supergénicos, desarrollado también en cuevas paleolíticas (Butzer 1981; Jenkins 1994), establece así la presencia de minerales fosfatados en estas microfacies como evolución de la hidroxilapatita-dallita de huesos en forma de figuras de rasgos criptocristalinos. Esta hipótesis toma en cuenta así dos evidencias: una la fundada por la micromorfolología de los rasgos criptocristalinos susceptibles de contener componentes fosfatados; y por otra la ausencia de restos óseos en los niveles muestreados donde existen estos rasgos criptocristalinos fosfatados. La degradación y destrucción de los restos óseos la explicamos por la interacción entre los procesos de acidificación por actividad biológica en cuevas y al régimen hídrico del suelo (Butzer 1989) sometido a oscilaciones de la capa freática tal como indican los rasgos texturales y criptocristalinos de hierro y manganeso impregnativos durante a formación de estas microfacies organominerales.

Posterior a este régimen hídrico regular es la fase de precipitación de carbonatos que indica un cambio climático con un régimen hídrico más contrastado. Hemos evidenciado dos ubicaciones de precipitación: por afloramiento de la capa freática o formación de lámina de agua en lugares mal drenados; en lugares bien drenados, los carbonatos de calcio precipitan verticalmente en forma de impregnaciones y revestimientos (Courty 1990). En zonas de inundación, mal drenadas con la saturación del régimen hídrico que señala procesos de reducción y movilización del hierro y la abundancia de materia orgánica, estos precipitan en forma de grandes acumulaciones formadas por revestimientos densos, espesos y equigranulares. Un hábito acicular yuxtapuesto, color marrón turbio en luz normal, parece corresponderse a la siderita (Bullock et al. 1985). Sin embargo, la duración de la saturación acidificación, y abundancia de materia orgánica del régimen hídrico parece más limitada hacia al final de esta fase ya que existe la aparición de estos pseudomorfos es en forma de queratas de calcita.

Finalmente en otras estructuras microlaminares organominerales el cambio climático está indicado por la microfragmentación en agregados organominerales y revestimientos rojos y amarillos microlaminados de arcilla y limo que casi colmatan poros y vesículas (organizaciones texturales limoarcillosas). Estos rasgos texturales iluviales están junto con rasgos eluviales de arenas gruesas bien lavadas o mal lavadas y hiporevestimientos criptocristalinos marrón-rojizo oscuro delgado. Esta coexistencia de rasgos texturales indican el drenaje moderado (Fedoroff y Courty 1987b), pero en este contexto de sobreposición de rasgos iluviales y eluviales señalan también a tasas de sedimentación muy bajas y sobreposición de procesos postdeposicionales.

Microlaminares microagregadas

Como otras estructuras sedimentarias microlaminares, la interpretación de estas microfases microagregadas muestran sedimentación lenta por la abundancia de la fracción fina, pero su microagregación indica una percolación vertical y oxidación. La alteración última y homogénea de los fragmentos carbonatados indica un régimen hídrico con pocos contrastes en el registro de la humedad evidenciados también por pseudomorfo de raíces distribuidos al azar revistiendo canales y formas nodulares agregadas de puntuaciones esféricas. El desarrollo de estos procesos de formación de suelos, junto con el moteado rojo de la fracción fina más amarilla, y el carácter microlaminar indica pequeñas fases de estabilización de depósitos de transporte hídrico con drenaje bueno.

En las microestructuras microagregadas con rasgos criptocristalinos rojizos el drenaje es moderado. Esto es así ya que estos rasgos criptocristalinos, y con ellos los genéricamente identificados como fosfatos de cuevas, tienen una posición figurada en forma de costras sedimentarias, con arenas mal lavadas que las singulariza de las de las microestructuras vesiculares, que discutimos más adelante, y de las organominerales que acabamos de discutir. Estas costras fosfatadas se imbrican con otras de color naranja, marrón-rojizo con detríticos que indican la precipitación-oxidación del hierro. La ocurrencia de estas costras puras de fosfatos con estas microestructuras de origen biológico permite introducir el papel de la interacción entre la acidificación edáfica, la incorporación de guanos y la desaparición de los restos óseos de los niveles arqueopaleontológicos. La formación de estas microestructuras microagregadas, que presentan una agregación prismática angular y rasgos excrementales, muestran un drenaje moderado, con la presencia de rasgos texturales eluviales y iluviales, indicativas de sedimentación baja. Estas pueden caracterizar a un horizonte superficial, un epipedión, bien enterrado y conservado. Las costras sedimentarias mal lavadas son indicios de un régimen hídrico con percolaciones laterales que inundan regularmente la cavidad y favorecen el enterramiento con el aumento de la tasa de sedimentación. Durante estas percolaciones laterales la sedimentación también contiene fragmentos de microfases microlaminares organominerales que se redepositan y se integran en la formación de estas microestructuras microagregadas con agregación prismática que contienen fragmentos reciclados de microestructuras fisurales organominerales.

Lechos centimétricos

Estructura sedimentaria	Microestructura	Agregación	Rasgos texturales	Rasgos cristalinos	Rasgos amorfos y criptocristalinos	Alteración de la FMG-FG y rasgos de pérdida
F.5.1 Laminar	Granular esférica		Revestimientos limoarcillosos y arcillosos. Rellenos sueltos densos de arenas bien y mal lavadas.		Revestimientos negro-rojo en rellenos de arenas lavadas. Rellenos densos incompletos rojo naranja, negro-rojo.	Fragmentos relictos amarillos o blancos
	Vesicular		Revestimientos de limoarcilla. Costras de superficie. Intercalaciones.			Fragmentos relictos blancos
F.5.2 Microlaminar	Masivo		Revestimientos de limoarcilla.		Hiporrevestimientos negro-rojo	

Tabla 8.5. Descripción de los principales caracteres micromorfológicos desarrollados en las descripciones de las microfacies de arena y limo amarilla lavada (F.5).

Las estructuras sedimentarias centimétricas laminares con microestructuras granulares esféricas y vesiculares con límites difusos son indicativas del transporte por solifluxión y eventualmente por coladas de fango. Las microestructuras vesiculares con fisuras de desecación indica modificaciones debidas a solifluxión que afecta a zonas profunda y sus abundantes intercalaciones sugieren tixotropía (Vliet-Lanoë 1985). Las microestructuras granulares, con la coexistencia de rasgos eluviales y iluviales como arenas bien lavadas, casquetes y revestimientos delgados limoarcillosos, parecen indicar modificaciones de superficie, de horizonte eluvial sobre un suelo helado, y desplazamiento por reptación gelufluidal por aporte lateral de agua. Esta actividad hídrica puede ser debida al deshielo, registrada también en las microestructuras vesiculares con microagregación laminar fina, que indican estabilización del techo del depósito con hielo y su buen drenaje. Estos distintos rasgos señalan a un drenaje de moderado a malo, caracterizado por los procesos de congelación y descongelación unidos a la translocación de partículas en el interior del perfil. Estas estructuras muestran baja sedimentación y son producto de las modificaciones por hielo y redistribución de sedimentos constituidos por materiales relictos endocársticos.

Hemos distinguido en estas microfacies laminares centimétricas un drenaje malo para las microfacies con rasgos criptocristalinos. Estos rasgos criptocristalinos están ubicados entre las microestructuras vesiculares con grandes fisuras horizontales. Estas fisuras horizontales rellenas de rasgos criptocristalinos las interpretamos como figuras de inyección, formadas durante el descongelamiento de la capa activa, producidas por la desecación criogénica (Vliet-Lanoë 1985), ya que su orientación horizontal y su asociación con fisuras de desecación y ausencia de cambios textural es sistemática. Estas fisuras situadas en las microestructuras vesiculares, junto con la porosidad las fisuras de desecación, caracterizan la parte profunda de lóbulos de solifluxión y muestran la progresión del frente de congelación de arriba hacia abajo, sin permafrost. Las microestructuras granulares esféricas estos rasgos criptocristalinos están en forma de fragmentos relictos y permiten indicar un cambio el régimen hacia un drenaje moderado que caracteriza la capa activa que recibe flujos laterales de agua coherente con la fábrica gelufluidal indicada por la microestructura granular esférica.

Lechos decimétricos

Las microestructuras masivas muestran rasgos de pérdida acusados expresados por el color amarillo de la fracción fina y los componentes alterados de la FG. La diversidad de intensidad alteración de la fracción carbonatada indica mecanismos de diferentes velocidades de enterramiento y rejuvenecimiento de la superficie del perfil tal y como hemos destacados para las microfacies rojas de bloques y gravas medias flotantes. La estabilidad de la geoforma, con sedimentación lenta se manifiesta por el carácter cumúlico tal como se observa en la presencia dominante de restos óseos en una de las muestras. Sin embargo, esta geoforma con bloques y gravas gruesas presenta reorganizaciones postdeposicionales profundas de bajo desplazamiento más bien deformación tal como indica la fábrica de birrefringencia uniastriada, y tal como muestra la fisuración y rotura de clastos por la fisuración prismática. Además, los

fragmentos relictos y con intensidad de alteración última sufren una pérdida de contorno indicando una fuerte homogeneización de los materiales encaminados a enriquecer el sedimento en fracción fina. Los rasgos de pérdida en la FF sugieren la movilidad y disolución de los óxidos de hierro que enlaza con el carácter de los horizontes xantomórficos (Baize y Girard 1995) referenciados en las terrazas y rellenos de cuevas del pleistoceno inferior mediterráneo (Bornand 1978; Bornand y Icole 1984). Además, la abundancia, tamaño y diferentes estados de alteración de los rasgos amorfos negros y intercalaciones texturales son indicativos en horizontes de Ultisoles (Fédoroff y Eswaran 1985) que con los caracteres xánticos indican la presencia de diversos regímenes de drenaje que implica a varias fases de evolución edáfica difíciles de jerarquizar.

Microfacies 5

Arena y limo amarilla lavada (tabla 8.5).

Caracterización

Componentes texturales y estimación de las fracciones calcíticas y carbonatadas

Los componentes texturales son arenas y limos angulares y subangulares. No contienen carbonatos ni fragmentos de calcita, pero a techo del muestreo existe una caída de fragmentos de estalagmita. Muestran madurez mineralógica por la presencia muy dominante de cuarzos y pocas micas, pero su textura es submadura a madura (Adams et al. 1997). La Fracción fina es de rara a ausente. La distribución relativa es chitónica-gefúrica y chitónica-mónica. La fábrica de birrefringencia es granoestriada y punteada. La fracción fina es amarilla marrón límpida o un poco moteada con un color de interferencia isótropo. En luz incidente, la fracción fina amarillenta forma una micromasa fina verde amarillenta (goetita ?) (Bullock et al. 1985; Stoops 1996).

Existen microfacies con componentes de la fracción muy gruesa formada por fragmentos relictos

Estructuras sedimentarias y microestructuras

Las microfacies en lechos (5.1) están mala clasificadas. Muestran contactos difusos y forma ondulada o recta. Su microestructura es granular esférica y vesicular. Las estructuras sedimentarias microlaminares muestran sets microlaminares (F.5.2) con disposición cruzada e irregular, y microláminas con variaciones en la clasificación de los componentes. Las superficies de esta microláminas están deformadas. Su microestructura es masiva y conserva la porosidad de su transporte hídrico, con vesículas y fisuras.

Rasgos

Los rasgos texturales de arcilla y limos finos de color marrón rojizo a amarillo aparecen relleno o recubriendo las arenas empaquetadas en cavidades aisladas y cerradas, y entorno a la microestructura granular esférica (lámina VII, microfoto 4 y lámina VI, microfoto 3). Hay también rellenos densos e incompletos de limos y arenas emblanquecidos de color amarillento. Los rellenos y revestimientos amarillos son

límpidos y generalmente aparecen en posición de rellenos y principalmente en forma de pápulas. Más raramente cubren superficies de fisuras (clay skins ?) y también pueden encontrarse como intercalaciones. También en forma de pápulas y revestimientos fragmentados aparecen las arcillas y limos rojos. Estos limos rojos presentan una extinción ondulante mal expresada. Esta mal expresión es por la común presencia de formas criptocristalinas en forma de micronódulos rojizos en su fábrica interna. En las microfacies esponjosas estas arcillas y limos finos rellenan cavidades casi completamente, tiene un color más amarillento y han perdido la microlaminación.

Los rasgos amorfos negros y marrón rojizo abundan en las estructuras laminares en forma de hiporevestimientos de agregados granulares y algunos componentes relictos de la FMG. Estos hiporevestimientos marrón rojizos también forman los rasgos de las microfacies microlaminares tapizando fisuras. Estas Algunas de estas cavidades rellenan incompletamente de rasgos criptocristalinos imbricados de color amarillos, amarillo-naranja o marrón turbio descritos en las microfacies 4 como fosfatos de cueva. Estos rasgos también aparecen acumulados en posición secundaria ya que aparecen en forma de nódulos anhórticos, descritos como FMG de relictos. En algunos de estos edaforrelictos hemos podido identificar formas esféricas criptocristalinas que pueden asignarse a leucofosforita mediante referencias (Mestour 1996).

Los rasgos de fábrica son los clay skins.

Rasgos de pérdida destacan la presencia de arenas bien lavadas en todas las microestruras diferenciadas

Interpretación

Uno de los principales rasgos que caracterizan estas microfacies es la relativa ausencia de óxidos de hierro en la fracción fina. En el perfil de campo este carácter está relacionado con el color blanquecino que recuerdan los caracteres álbicos de solums con exceso de agua (Baize y Jabiol 1995). Estos óxidos si que aparecen en motas ocreas en el perfil. Estos rasgos en lámina son los rasgos amorfos marrón rojizo muy abundantes, en forma de hiporevestimientos y que indican la redistribución centrifuga de los horizontes reductores (con gley). El color amarillento asignado a estas microfacies ha sido escogido para señalar la decoloración, la movilización de hierro, que los procesos de hidromorfismo han caracterizado estas facies. La movilización del hierro se puede observar en los relictos marrón rojizos isótropos y los citados rasgos criptocristalinos de hiporevestimientos marrón rojizos y rellenos densos que muestran zonas con concentración de hierro. Esta disolución y precipitación de los óxidos de hierro es próxima ya que existe una evidente complementariedad de estas microfacies amarillentas con las microfacies fisurales organominerales (F.4) con las que se alternan en la secuencia microestratigráfica. Así la formación de goetita, junto con la redistribución del hierro, se realiza en un medio saturado o parcialmente saturado en agua y con acidez asegurada por la abundancia de materia orgánica que acumula el hierro en solución y contribuye a la formación de las microfacies organominerales microlaminares (F.4). De esta manera el medio es poco filtrante y la oxidación puede estar limitada.

Esta limitación de la infiltración es indicativa que los procesos de sedimentación durante la formación de estos sedimentos son muy lentos. Los revestimientos de arcilla y limo imbricados que se observan en las microestructuras vesiculares son organizaciones texturales que indican removilización y hidrólisis de la fracción fina, documentados en el interior de horizontes de suelos lixiviados ácidos (Curmi 1987), y su presencia con rasgos eluviales también manifiesta el drenaje moderado (Fédoroff y Courty 1987b).

Sólo la unidad inferior muestreada en la magnetozona matuyama de Galería muestra un transporte hídrico. La participación de los fenómenos de modificación de la sedimentación por el hielo y deshielo indica a la solifluxión como mecanismo de transporte de estos sedimentos. La solifluxión está evidenciada en los fenómenos de formación e integración de fragmentos relictos, todos soportados con rellenos densos de arena bien lavadas y casquetes, que forman una microestructura granular cerca de la magnetozona Matuyama. Esta microestructura granular esférica invoca la gelifluxión, que precisa un aporte lateral de agua. La solifluxión es laminar ya que afecta a unidades centimétricas y, por tanto, caracteriza una sedimentación baja, pero fundamentalmente redistribución de sedimentos relictos hídricos transportados hídricamente durante la magnetozona Matuyama. Esta sedimentación baja se observa también con la repetida yuxtaposición de rasgos texturales, especialmente organizaciones texturales limoarcillosas fragmentadas y rasgos eluviales representadas por arenas bien lavadas que muestran un fuerte empaquetamiento que sugiere un mal drenaje y percolación lateral. Esta yuxtaposición de fenómenos de transformación postdeposicional de superficie y profundos sugiere la renovación de las superficies del depósito por la solifluxión. Sin embargo, existe un registro de fenómenos con más turbulencia del régimen hídrico con la presencia de arenas menos limpias en los rasgos eluviales hacia techo del muestreo, que pueden indicar un aumento del aporte lateral de agua. Aquí los rasgos de iluviación no parecen fragmentados. Estas unidades laminares presentan un grosor decimétrico. Interpretamos el cambio del régimen hídrico hacia la instalación de una capa freática colgada de origen pluvial que inunda la cavidad estacionalmente con un drenaje más moderado. Esto permite posiblemente la emersión de los depósitos tal como se evidencia con la formación de una costra deposicional coalescente que acaba hasta un tramo en el que se produce la caída de fragmentos de estalagmita.