

Palealteraciones de los depósitos de piedemonte cenozoicos del NE de Montes de Toledo, España

R. Martín Banda⁽¹⁾, E. Molina⁽³⁾, A. Martín-Serrano⁽¹⁾, M. Cantano⁽⁴⁾, J.A. Martín Rubí⁽²⁾ y A. Rubio⁽²⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España. Dirección Geología y Geofísica.
Área de Cartografía. c/ Calera, 1. 28760 Tres Cantos. Madrid
E-mails: r.martin@igme.es - a.martinserrano@igme.es

(2) Instituto Geológico y Minero de España. Dirección Geología y Geofísica.
Área de Laboratorios. c/ Calera, 1. 28760 Tres Cantos. Madrid
E-mails: ja.martin@igme.es - a.rubio@igme.es

(3) Dpto. de Geología, Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced, s.n. 37008 Salamanca
E-mail: emoli@usal.es

(4) Dpto. de Geodinámica y Paleontología, Universidad de Huelva. Av. Fuerzas Armadas, s.n. 21071 Huelva
E-mail: m.cantano@uhu.es

RESUMEN

La Plataforma Toledana y el Valle de Los Yébenes constituyen la articulación de Los Montes de Toledo con la cuenca del Tajo. La delgada cobertera cenozoica que rellena este paleorrelieve diferencial, presenta alteraciones sobreimpuestas que afectan también al zócalo varisco. Dichas palealteraciones muestran un control geográfico que pone de manifiesto el claro contraste geoquímico entre el oeste ácido y el este carbonatado de Montes de Toledo. El análisis granulométrico, químico y mineralógico de varios perfiles, determinan la existencia de una alteración hidromórfica generalizada dirigida por procesos de hidrólisis y ferrólisis (condiciones no alcalinas, incluso ácidas). Se observan carbonataciones sobreimpuestas (condiciones alcalinas) que paralizan los procesos anteriores, siendo más efectivas hacia la Cuenca Manchega, discutible fuente principal del Ca. En muchos casos, estos procesos son funcionales, ya que perduran las condiciones de drenaje deficiente que favorecen el desarrollo de estas alteraciones.

Palabras clave: alteraciones, carbonataciones, Depósitos de piedemonte, ferrólisis, hidrólisis, Montes de Toledo

Paleoalterations in the Cenozoic piedmont deposits of the northeast of the Montes de Toledo, Spain

ABSTRACT

The articulation of the Toledo Mountains and the Tajo Basin is constituted by the Toledo Platform and the Los Yébenes Valley. This region corresponds to a differential topography paleorelief, which is filled by a thin Cenozoic cover. These deposits and the subadjacent basement are influenced by superimposed alterations. The paleoalterations show a geographic control that represents an important geochemical contrast between the acid West and the carbonated East of the Toledo Mountains. From the analysis of the grain size, chemistry and mineralogy of several profiles it has been defined a generalized hydromorphic alteration produced by hydrolysis and ferrololysis processes (no alkaline or acid conditions). Superimposed carbonations (alkaline conditions) are observed. These are the cause of the end of the previous processes, being more effective towards the basin (a possible Ca source). In many cases, these processes are functional, due to the remaining of the bad drainage conditions, which determine these alterations.

Key words: alterations, carbonation, ferrololysis, hydrolysis, Piedmont deposits, Toledo Mountains

Introducción

Los Montes de Toledo constituyen una región moderadamente montañosa con un marcado control lito-estructural varisco. Se trata de un relieve de tipología

diferencial organizado en sierras y valles, donde la incidencia alpina se localiza en estrechas franjas transversas al rumbo orográfico general. Las sierras, culminadas por la cuarcita armoricana, presentan una isoaltitud de cumbres que revelan un paleorreli-

ve apalachiano, cuyo origen se pudo iniciar en tiempos pretriásicos (Martín-Serrano *et al.*, 2004). Los valles, anchos y planos, están rellenos por una delgada cobertera que en función de su posición más occidental u oriental, conforman morfologías de mesas o de suaves llanuras en transición con la cuenca cenozoica.

La Plataforma Toledana y el Valle de Los Yébenes constituyen la articulación de estos Montes con la Cuenca del Tajo (Fig. 1A). Sus peculiares características morfológicas y la existencia de depósitos de piedemonte que orlan sus inselbergs y rellenan el valle, despiertan el interés de este límite de cuenca relativamente poco estudiado. Todos estos depósitos presentan alteraciones sobreimpuestas que afectan también al basamento sobre el que se apoyan, poniendo así de manifiesto el fuerte contraste geoquímico existente entre el oeste ácido y el este carbonatado de Montes de Toledo. Este hecho tan significativo nos plantea el estudio geoquímico de estas paleoalteraciones y paleosuelos, iniciado ya en los años 80 por Vaudour (1979), Molina (1980) y González Martín *et al.* (1989), entre otros.

En este trabajo preliminar se analizan los datos granulométricos (obtenidos por tamizado y sedigraph), composicionales (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , TiO_2 , MnO , K_2O , MgO , Na_2O , P_2O_5 y pérdida al fuego, por fluorescencia-RX) y mineralógicos (minerales de la arcilla, difracción-RX) de las muestras tomadas en tres calicatas realizadas en las zonas de cabecera (C1), media (C2) y distal (C3) de los restos del piedemonte que orla la S^a del Castañar-Los Yébenes en el borde de la Plataforma Toledana (Perfil El Castañar, Fig. 1A, 1B). Se han comparado los datos mineralógicos de este perfil con los del Corte de Retuerta (Fig. 1A, 1C), situado en la zona media-distal de un depósito de piedemonte del valle del Bullaque (Ctra. Retuerta del Bullaque-El Molinillo, Km. 58), en Montes de Toledo s.s., donde fue definido el término morfológico de la raña (Gómez de Llarena, 1916).

Resultados

Perfil El Castañar

- C1: Calicata de 3 m de profundidad y 1.5 m de ancho, perpendicular a la pendiente del piedemonte (Fig. 1B). La potencia del depósito es de 2.60 m, profundidad a partir de la cual aparece el zócalo granítico alterado (fangos con arenas gruesas).
 - Depósito conglomerático matriz-soportado de clastos heterométricos (centil: 70 cm), subangulosos a subredondeados, de naturaleza cuarcítica. La matriz es arcillo-arenosa y aumenta

progresivamente hacia la base, donde el depósito es matriz-soportado. Presenta granoclasificación negativa.

- Horizonte superior de lavado de arcillas y acumulación de cantos de casi 1 m de espesor. La matriz es escasa y arenosa de colores rojos (10R 4/8) y ocre (10YR 6/8), medidos en húmedo, h. Tanto el depósito como el basamento muestran rasgos hidromorfos, fuertes decoloraciones (tonos ocre, 2.5Y 6/4; rojizos, 5 YR 5/8 y grises, 7.5Y 8/1 h), que afectan a la matriz y penetran en los cantos.

La base del depósito presenta el mayor contenido de arcillas de todo el perfil, llegando a ser su contenido del 70 %. La asociación mineral de esta fracción en el depósito está formada por caolín-esmectita-illita, disminuyendo el contenido de esmectita hacia techo; mientras que en el granito alterado la asociación es caolín-illita. El grado de cristalinidad de las esmectitas en la base del depósito es alto.

En general, el contenido de SiO_2 aumenta ligeramente hacia techo en relación al resto de elementos mayores, sobre todo al Al, Fe y K, que disminuyen. El Fe se concentra principalmente en la base del depósito.

- C2: Calicata de 2.5 m de profundidad y 1.5 m de ancho, perpendicular a la pendiente del piedemonte. No se ha cortado el zócalo.
 - Depósito conglomerático clasto-soportado, heterométrico (centil > 30 cm), de clastos subangulosos a subredondeados cuarcíticos. La matriz es fango-arenosa parda amarillenta (5Y 6/2 h) con manchas grises y negras debidas a raíces.
 - Hacia techo la matriz es más arcillosa y donde la porosidad es menor se concentra hematites, responsable de las coloraciones rojas más oscuras (10R 4/6 h). Esta hidromorfía también es observable en el interior de los cantos.
 - A 0.50-1 m de profundidad existe un nivel de cantos con pátina blanca por desferruginización de los mismos.
 - Horizonte superior edáfico de 0.40 m de espesor, formado por arcillas arenosas rojizas (2.5YR 4/3 h) con cantos cuarcíticos negros sueltos. Los granos de cuarzo de estos cantos son corroídos y reemplazados por oxi-hidróxidos (goethita), siendo estos procesos más intensos en los límites del canto (hematites). Presenta la misma asociación mineral que en cabecera, caolín-esmectita-illita, desapareciendo la esmectita hacia techo. El grado de cristalinidad de las esmectitas es bajo.

La SiO₂ disminuye hacia techo, frente al Al, Fe, K y Mg. El resto de elementos mayores se mantienen constantes.

- C3: Calicata de 3 m de profundidad, 1.5 m de ancho y perpendicular a la pendiente del piedemonte. No se ha cortado el zócalo (Fig. 1B).
 - Depósito conglomerático clasto-soportado heterométrico (centil > 25 cm), de clastos subangulosos a subredondeados de naturaleza cuarcítica. Se observa que el tamaño de los clastos disminuye de manera general desde cabecera hasta las zonas distales. La matriz fango-arenosa se encuentra en su mayor parte reemplazada por carbonato pulverulento, que también cementa y recubre los cantos. La matriz original, visible en zonas puntuales, es fango-arenosa versicolor, varía entre tonos rojos (5YR 6/6 h) y ocres (7.5YR 6/8 h), y presenta manchas negras de Mn. En general, se observa que el tamaño de grano de la matriz del sedimento disminuye hacia techo para todo el depósito.
 - Horizonte superior edáfico carbonatado de 0.40 m de espesor. Se trata de arcillas arenosas con concentraciones de carbonato pulverulento en forma de bolsones.

Se observan nódulos muy recristalizados de carbonato, que vistos al microscopio óptico, muestran texturas concéntricas donde se alternan capas de arcillas y de arcillas reemplazadas por carbonato cálcico micrítico, además de huecos rodeados por cristales grandes y limpios de calcita, indicativos de procesos de lavado.

Presenta una asociación mineral de arcillas similar a la zona media del depósito, aunque se diferencia en que el grado de cristalinidad de las esmectitas es alto.

En general, los elementos mayores disminuyen hacia techo, salvo el Ca que aumenta significativamente, hasta casi el 20%.

Corte de Retuerta

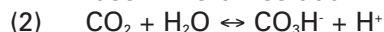
La potencia es de 3.60 m y no se observa el basamento (Fig. 1C). Se trata de un depósito conglomerático clasto-soportado heterométrico (centil > 30 cm), de clastos subredondeados cuarcíticos. La matriz arcillo-arenosa presentan importantes contrastes de color, desde rojos (10R 4/4 h), ocres (7.5YR 7/8 h), anaranjados (5YR 6/6 h) hasta amarillentos (10YR 8/6 h), observables también en el interior de los cantos. Muestra granoclasificación positiva y un aumento de la arenización de los cantos hacia techo.

- Entre 0.80 y 2 m de profundidad aparece un nivel irregular de cantos ocres con pátina blanca. Hacia techo este nivel se encuentra cementado de forma discontinua.
- Horizonte superior de acumulación de arcillas arenosas rojas (2.5YR 4/8 h) con cantos negros sueltos, de 0.8 m de espesor máximo. La asociación mineral de las arcillas de muro a techo es la siguiente:
 - En la base presenta illita-caolín-esmectita. Se observa la presencia de vermiculita, cuyo contenido se incrementa hacia techo, al igual que el del caolín (componente mayoritario del cemento del nivel endurecido). A 1 m de la superficie, la asociación mineral es illita-esmectita. En general, el grado de cristalinidad de las esmectitas es bajo.
 - La buena cristalización de los oxi-hidróxidos va aumentando hacia techo hasta la formación de goethita.

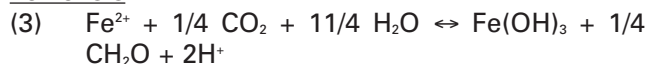
Discusión y conclusiones

Los materiales que constituyen las coberteras neógenas de Montes de Toledo presentan importantes alteraciones que se reflejan en sus cambios texturales, estructurales, de color y de composición mineralógica. Un ejemplo de estas transformaciones lo constituyen los perfiles analizados en este trabajo. La hidrólisis, ferrólisis y la carbonatación son los principales procesos responsables de esta alteración y aparecen superpuestos en función de su situación geográfica. Así, los procesos de carbonatación presentes a ambos lados de Montes de Toledo son más acusados hacia su parte oriental, como se puede observar en el Perfil El Castañar.

Hidrólisis:



Ferrólisis:



En la hidrólisis (1), la reacción (2) es la fuente principal de protones que intervienen en la alteración de los minerales primarios, liberando además Fe²⁺ y otros cationes (M^{x+}: Na⁺, Ca²⁺, Al³⁺, etc). La fase mineral residual existirá dependiendo de si se forman minerales secundarios o no (pseudomorfismo). En el Corte de Retuerta (Fig. 1C) nos encontramos frente a un claro ejemplo de la apertura progresiva de las micas (vermiculización). Las condiciones de mal drenaje debieron ser muy acusadas y reiteradas en el tiempo, alterando los minerales micáceos y produciendo esmectitas de transformación.

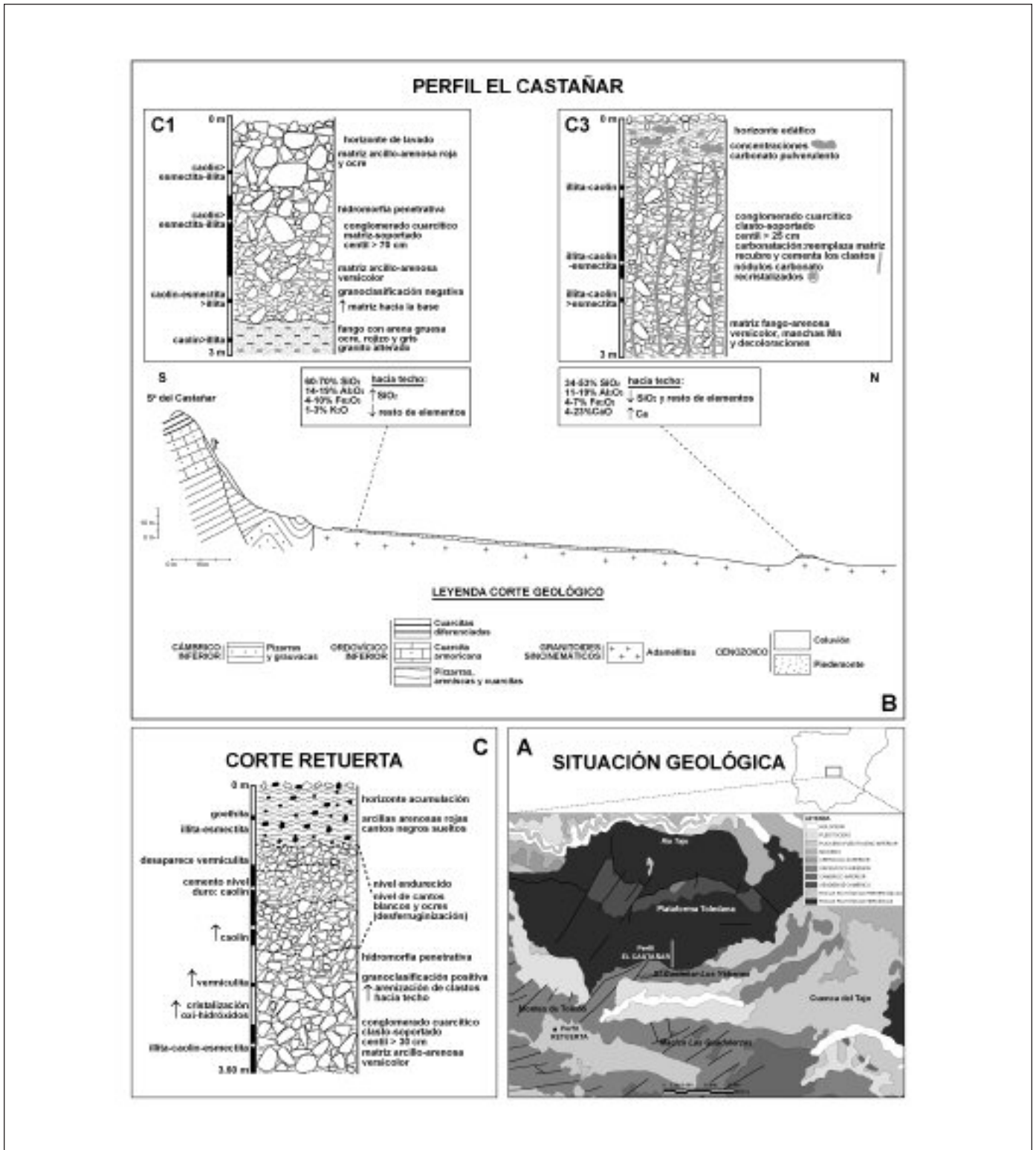


Fig. 1. A.- Encuadre geológico y localización de los perfiles estudiados. B.- Corte geológico del Perfil El Castañar. Columnas de detalle de las calicatas realizadas en cabecera (C1) y en la zona distal (C3) del depósito de piedemonte, con la situación de las muestras analizadas. C.- Columna de detalle del Perfil de Retuerta con la situación de las muestras analizadas

Fig. 1. A.- Geological-setting and localization of the study profiles. B.- Geological section of the El Castañar Profile. Detailed sequences from realized trenches in head zone (C1) and distal zone (C3) of piedmont deposit, with position of the analyzed samples. C.- Detailed sequence of the Retuerta Profile with position of the analyzed samples

El Fe libre procedente de la hidrólisis de los minerales primarios (ej. micas) y la repetición de los procesos de oxidación y reducción en el medio, favorece la ferrólisis (3). El resultado es la formación de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, un conjunto de minerales (oxihidróxidos-Fe o Mn) más o menos hidratados y amorfos, con tonos que varían desde el ocre (goethita) al rojo intenso (hematites) en función de varios factores (edad de los materiales, porosidad del material, etc.) (Molina, 1999) y de la acidificación del medio. La combinación de hidrólisis + ferrólisis da lugar a fuertes hidromorfías en el sedimento y a la arenización de la mayor parte de los clastos de cuarzo (Cantano, 1996). Estos procesos reiterados en el tiempo son los responsables del tipo de alteración descrita para el depósito del Corte de Retuerta (Fig. 1C).

En la zona de cabecera del Perfil El Castañar (Fig. 1B-C1), las muestras tomadas en la base del depósito presentan un elevado porcentaje de esmectitas con alto grado de cristalinidad. Gran parte de estas esmectitas posiblemente son de neoformación, como consecuencia de la impermeabilización del granito alterado. A favor del contacto se acumulan los elementos procedentes del lavado vertical del sedimento hacia muro y de la alteración del saprolito hacia techo, dando lugar a la formación de esmectitas y de oxi-hidróxidos de Fe. El hecho de que haya un aumento relativo de la sílice hacia el techo del depósito, es el resultado de la acumulación relativa de los minerales más resistentes (feldespatos-K, moscovita y cuarzos). Se producen por tanto procesos de lavado y pérdida de materia en la vertical y en la horizontal, y ganancia de materia en la base del depósito y en la zona distal del mismo (Fig. 1B-C3), donde la presencia de carbonatos representa condiciones contrarias a las anteriores.

El carbonato aporta radicales CO_3^{2-} a la solución que neutraliza la presencia de H^+ con la formación de CO_3H^+ , paralizando los procesos de hidrólisis y ferrólisis. Durante los períodos de desecación del suelo se pueden alcanzar $\text{pH} > 9$ (Freeze y Cherry, 1979), produciendo la disolución de minerales como el cuarzo y precipitación de carbonato. La epigénesis carbonatada libera iones y sílice que pueden reaccionar y dar lugar a minerales de neoformación (esmectitas), de manera que la parte distal del piedemonte representa una zona de ganancia de materia.

Por otro lado, en la zona media del perfil (Fig. 1B-C2), podríamos suponer que la tendencia de que se concentren hacia muro las esmectitas con bajo grado de cristalinidad y la sílice, podría indicar la alteración del depósito por el continuo lavado del mismo.

Todos estos procesos de alteración ya tuvieron lugar al comienzo de la generación de este paisaje

pseudoapalachiano. Son responsables también de los potentes mantos de meteorización que aparecen desarrollados sobre el basamento bajo estas coberturas neógenas. Estos procesos continuaron durante la sedimentación de los abanicos aluviales, cuando los niveles freáticos estaban mucho más altos de lo que están ahora y en muchas ocasiones son funcionales, puesto que aun perduran las condiciones de mal drenaje (Molina, 1999).

En estos piedemontes la epigénesis carbonatada tuvo que ser posterior a la alteración por hidrólisis y ferrólisis, puesto que ésta última es común en las dos regiones y la carbonatación se sobrepone a la hidromorfía generalizada. En trabajos previos se distinguen dos tipos de alteraciones para la Meseta Toledana que apoyaría esta cronología, alteritas con caolinita pre-miocenas y alteritas con calcita finiterciarias (González Martín, 1989).

La fuente del carbonato cálcico es discutible. Trabajos como el de Chiquet *et al.* (2000) apuntan que todo el Ca de las costras carbonatadas de la Plataforma Toledana no procede de la alteración del basamento granítico. A espera de estudios isotópicos del $\text{Sr}^{86}/\text{Sr}^{87}$ de las pizarras, de los episodios carbonatados de la próxima cuenca cenozoica y de nuestras costras, podemos intuir que la fuente más importante del carbonato cálcico puede ser la Cuenca Manchega, puesto que éstas presentan mejor desarrollo hacia el E.

Agradecimientos

Al Área de Laboratorios del Instituto Geológico y Minero de España.

Referencias

- Cantano, M. 1996. Evolución morfodinámica del sector suroccidental de la cuenca de Ciudad Rodrigo, Salamanca. Tesis Doctoral, Fac. CC. Experimentales, Universidad de Huelva, 277 pp.
- Chiquet, A., Colin, F., Hamelin, B., Michard, A. y Nahon, D. 2000. Chemical mass balance of calcrete genesis on the Toledo granite (Spain). *Chemical Geology*, 170, 19-35.
- Freeze, R.A. y Cherry, A.J. 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 604 pp.
- Gómez de Larena, J. 1916. Bosquejo geológico de los Montes de Toledo. *Trab. Mus. Cienc. Nat. (Geol.)*, 15, 1-74.
- González Martín, J.A., López de Azcona, M^a C. y Asensio Amor, I. 1989. Los conjuntos alteríticos del borde septentrional de los Montes de Toledo. *Rev. de Materiales y Proc. Geol.*, 6, 239-264.

- Martín-Serrano, A., Molina, E., Nozal, F. y Carral, M.P. 2004. Transversal en los Montes de Toledo. En: Benito, G. y Díez Herrero, A. (ed.), Itinerarios geomorfológicos por Castilla-La Mancha (Excursiones de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología, Toledo, 22-25 de septiembre de 2004), CSIG y SEG, Madrid, 51-79.
- Molina, E. 1980. Alteración relicta y morfogénesis del Macizo cristanino de Toledo. *Studia Geologica Salmanticensia*, 16, 15-25.
- Molina, E. 1999. Las palealteraciones en el zócalo hercínico ibérico: fundamentos metodológicos y perfiles tipo. En: Molina, E., Sánchez del Corral, A. y Pol C. (ed.), La evolución del relieve en zócalos antiguos: procesos, formaciones superficiales y sedimentos asociados. *Studia Geologica Salmanticensia*, volumen especial VII, 87-100.
- Vaudour, J. 1979. La région de Madrid. Alterations, sols et paléosols. *Ophyris*, 390 pp.

Recibido: diciembre 2005

Aceptado: julio 2006