

## Petrología sedimentaria. Notas de teoría.

### 3. Procesos en ambientes exógenos I: Meteorización

**Ana M. Alonso Zarza**

Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas.  
Universidad Complutense de Madrid. José Antonio Novais, 2. 28040 Madrid.  
[alonsoza@geo.ucm.es](mailto:alonsoza@geo.ucm.es)

**Resumen:** En este tercer bloque analizaremos algunos de los procesos que dan lugar a la formación de las rocas sedimentarias. En este bloque estudiaremos la meteorización. Se analizarán tanto los procesos de meteorización como los productos resultantes, entre ellos las costras. También aplicaremos algunos de los conocimientos de los procesos de meteorización al estudio de la degradación de los materiales de construcción.

**Palabras clave:** Meteorización. Procesos. Saprolito. Costras. Clima. Temperatura. Agua. Materiales de construcción. “mal de la piedra”.

#### LA METEORIZACIÓN: PROCESOS Y CONTROLES

La meteorización se puede definir como la respuesta de los materiales, que inicialmente estaban en equilibrio con la litosfera, a su ubicación en condiciones cercanas o próximas al contacto con la atmósfera, hidrosfera y biosfera.

La meteorización tiene lugar desde la superficie de la tierra hacia el interior y limitaría con la zona de diagénesis. La transición es gradual. Límite arbitrario, especialmente con la diagénesis meteórica.

El término meteorización (“weathering”) incluye tanto los mecanismos, como los efectos o hipergénesis.

#### PROCESOS DE METEORIZACIÓN

La variedad de procesos de meteorización es enorme. Su estudio dentro de esta asignatura es debido a que estos procesos liberan los fragmentos de distintos tamaños e incluso los iones que en ambientes adecuados sedimentarán o precipitarán contribuyendo así a la formación de los sedimentos.

## Procesos de meteorización física

Los más característicos son:

- **Laminación, Descamación y descarga**

Se deben esencialmente a la expansión de las masas rocosas cuando éstas dejan de estar afectadas por la presión confinante.

- **Crecimiento de cristales**

Los cambios de volumen debidos al crecimiento de cristales generan presiones dentro de las rocas que pueden conducir a su rotura. Los cristales pueden crecer en el interior de la roca o en las zonas más superficiales, dando lugar así a la formación de eflorescencias y subeflorescencias.

- **Expansión térmica**

Un aumento de temperatura causa la expansión y una disminución la contracción. Las rocas son malas conductoras del calor y por tanto es fácil crear un gradiente de temperatura entre el interior y el exterior (que se expande y se contrae más que el interior).

El coeficiente de dilatación térmica es variable en los distintos minerales y también puede variar en las distintas direcciones cristalinas. Ejemplos de calcita y cuarzo. ¿Y si los minerales son de colores distintos?

- **Humectación-desección**

Las moléculas de agua se ordenan y atraen unas con otras, pueden formar estructuras que ejercen mucha fuerza sobre las paredes de las rocas que contienen el agua.

- **Abrasión**

Por fricción: a) unas rocas resbalan sobre otras o b) impactos, en general entre granos transportados y la roca. ¿Ejemplos?

- **Actividad Orgánica**

Las raíces de las plantas en su crecimiento pueden penetrar y generar grietas que contribuyen a la fragmentación del material. Lo mismo se puede decir de los microorganismos.

## Procesos de meteorización química

La movilidad de los distintos iones depende de los flujos de transporte y concentración atmosféricos, del crecimiento y respiración de la vegetación y de las reacciones entre el agua y los minerales. Los procesos de meteorización química están controlados por: la entrada de agua, la disociación del agua en los iones reactivos  $\text{OH}^-$  y  $\text{H}^+$ , la concentración de  $\text{CO}_2$  por procesos atmosféricos y edáficos y por la temperatura.

- **Disolución**

Es la reacción química de las rocas y minerales con agua o un ácido. Los enlaces entre los iones de las redes cristalinas se rompen y los iones liberados pasan a estar en solución. ¿De qué depende?

**Ejemplos:**

$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_4\text{SiO}_4$  (sílice en solución como ácido ortosilícico).

$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Na}^{+2} + \text{Cl}^-$

$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{+2} + 2\text{HCO}_3^-$

- **Carbonatación**

Es la introducción de  $\text{CO}_2$  en el interior de un fluido y da lugar a la reacción de iones carbonato o bicarbonato con los minerales. La solución de  $\text{CO}_2$  en agua da lugar a un ácido,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , que favorece los procesos de disolución y es fundamental para la disolución de los carbonatos.

- **Hidratación**

Es la incorporación de agua dentro de las redes minerales. Generalmente es un proceso exotérmico que implica un cambio de volumen importante que favorece la disgregación mecánica. La hidratación prepara la roca/mineral para posteriores reacciones de oxidación y carbonatación.

**Ejemplos:**

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$  (Sistema yeso-anhidrita)

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3$  (Paso hematites a limonita)

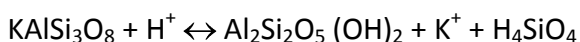
- **Hidrólisis**

Se define como el reemplazamiento de cationes de una estructura mineral por hidrógenos procedentes del agua o más frecuentemente de un ácido. La

hidrólisis libera a las soluciones acuosas los cationes procedentes de la estructura mineral y puede favorecer la transformación del mineral en otro o disolverlo completamente.



Es la disolución del olivino que aporta iones magnesio y sílice disuelta a la solución. En el caso de los minerales félsicos (claros) la hidrólisis puede producir sílice en solución y filosilicatos, como en la reacción de hidrólisis de los feldespatos para formar caolinita:



- **Oxidación-reducción**

La oxidación es el proceso por el cual un átomo o ión pierde electrones. En la reducción hay ganancia de electrones. Ambos procesos van siempre unidos. El agente oxidante por excelencia es el oxígeno, no ionizado,  $\text{O}_2$  con valencia cero. El oxígeno se reduce pero oxida al ión del cual toma los electrones.



Causan cambios de dureza y de color.

- **Quelación o acomplejamiento**

Es la captación de un ión, normalmente un metal, dentro de una estructura de origen orgánico. Los compuestos que intervienen en la quelación pueden extraer iones de sólidos insolubles y facilitar la transferencia de iones en ambientes químicos en los que estos iones estarían incorporados en los minerales. La M.O. en descomposición (humus) es capaz de captar iones procedentes de los minerales del suelo.

### Procesos de meteorización biológica

Los procesos de meteorización biológica son una combinación de los efectos físicos y químicos. Los más importantes son los siguientes:

- Rotura simple de partículas por animales que comen o bioturban o por la presión de las raíces en su crecimiento.
- Transferencia y mezcla de materiales, principalmente animales, que movilizan material mineral.

- Efectos químicos simples, es el caso de las soluciones enriquecidas por el CO<sub>2</sub> de la respiración. Bacterias: sulfatos-sulfuros.
- Efectos químicos complejos, como la quelación y la formación de complejos de sustancias orgánicas minerales.
- Efectos de retención de humedad.
- Influencia en la temperatura del suelo, por sombreado, o por producción de calor como en la fermentación.
- Influencia en el pH de las superficies.
- Protección de la erosión, tanto del agua como del viento.

### **FACTORES QUE CONTROLAN LA METEORIZACIÓN**

Son muy numerosos y de distinta índole, en ocasiones aparecen muy interrelacionados y por ello puede ser difícil separar unos de otros. Por ejemplo el clima influye en las condiciones de drenaje y también en las características físico-químicas del agua causante de la meteorización. En cualquier caso, los más importantes son:

#### **Composición y textura de material**

No todas las rocas sufren de la misma forma los procesos de meteorización. Hay varios factores que influyen: la composición mineral, la textura, el grado de fracturación, etc.

- Composición mineral. El caso de las series de Goldich.
- Tamaño de grano.
- Grado de fracturación.

#### **Drenaje**

La buena circulación de los fluidos también favorece la meteorización.

#### **Relieve**

La caída de material y la escorrentía se producen a mayor velocidad en las áreas montañosas con pendientes elevada, que en las zonas planas. Por tanto, en las regiones montañosas los materiales meteorizados son removidos rápidamente y la descomposición química es menos intensa. Los suelos se desarrollan en zonas de pendientes suaves y relieves bajos, en estas zonas los suelos permanecen "in situ"

mucho tiempo por lo que se puede producir una descomposición y cambio muy intensos.

### **El clima**

El clima condiciona que sea más intensa la meteorización física o la química, dependiendo de la temperatura y de la disponibilidad de agua, además condiciona en gran parte las características del agua, como veremos a continuación.

### **Composición y características del agua Eh, pH**

La química del agua y los valores de Eh y pH que presenten va a condicionar el tipo de meteorización química que se produce, y que puede conducir a la formación de suelos. Se pueden distinguir tres campos o tendencias principales:

- **A.** En esta zona se representan los suelos y procesos de meteorización que tienen lugar en medios ácidos con balance de agua positivo, que favorece los procesos de hidrólisis y lixiviado (de Al, Fe y Si).
- **S.** En esta zona tiene lugar los procesos o la evolución alcalina, característica de climas Mediterráneos áridos y semiáridos, en los que hay déficit anual de agua. Aquí se incluyen los suelos cálcicos y sódicos.
- **R.** Son los procesos de tendencia reductora. Se puede conservar la M.O. Los procesos más importantes son la removilización y fijación de Fe y Mn, debido a variaciones en el Eh (gleysación). En estos ambientes son frecuentes los moteados de Fe y Mn (marmorización) y la formación de concreciones ricas también en Fe y Mn.
- **M.** Esta zona es muy amplia y poco definida, indica suelos situados fuera del límite de la mayor parte de los ambientes de meteorización. Los procesos que tienen lugar son muy variados dependiendo hacia qué zona evolucionen las aguas.

Todos estos procesos o zonas tienen indudablemente un control climático, lo que condiciona su distribución a escala global.

### **LA METEORIZACION: PRODUCTOS RESULTANTES**

El resultado de la meteorización son una serie de productos que pueden quedarse "in situ" o moverse por acción de la gravedad. Además como resultado de la meteorización se generan soluciones acuosas con composiciones determinadas que en algunos casos y por procesos físicos, químicos y biológicos pueden favorecer la precipitación de determinados minerales, dando lugar así a la formación de las costras.

## Productos residuales

Los productos residuales son aquellos que han permanecido “in situ” después del proceso de meteorización, después de que algunos componentes se han lavado, o transformado.

- **Fragmentos de roca frescos**

Se incluyen aquí los núcleos de roca (**corestone**), que son fragmentos más duros de los macizos, normalmente graníticos y todo tipo de fragmentos y láminas producidos por descarga o rotura mecánica. Los canchales son un producto algo más avanzado en el que algunos de estos fragmentos se desplazan por la acción de la gravedad.

- **Residuos insolubles**

Si el proceso de meteorización dominante es la disolución, hay parte de los componentes de una roca que no se disuelven. Por ejemplo una caliza siempre incluye en su composición una parte generalmente minoritaria de silicatos (arcillas, granos de cuarzo) e incluso de óxidos (Fe, Mn). Estos componentes no se disuelven y quedan como residuo insoluble, en muchos casos son muy rojizos y de ahí la denominación de “terra rosa”. Sin embargo, a veces no es posible explicar la presencia de importantes acumulaciones de “terra rosa” sólo por este mecanismo, pues no parece que los carbonatos iniciales tuviesen tantos componentes no solubles. Los otros mecanismos son: entrada de material de los suelos suprayacentes o aportes eólicos.

- **Arena o lehm**

El proceso de arenización es esencialmente químico, pero actúa sobre materiales que ya han sufrido meteorización física. Da lugar a la formación “in situ” de un detrito formado esencialmente por granos de cuarzo y moscovita.

- **Saprolito**

Se refiere a aquellas rocas que se meteorizan “in situ” de forma que aunque el material original se haya transformado en arcilla, no hay cambios de volumen y la roca meteorizada conserva todas las estructuras de la roca original. Los saprolitos pueden en sí mismos un perfil de meteorización o evolucionar a un perfil más completo.

- **Perfiles de meteorización**

En estos perfiles hay un lavado de distintos elementos desde las partes superiores a las inferiores (**zona móvil** o de **eluviación**), que pasan a la zona de **iluviación** (aporte o llegada de solutos y partículas). Cuando la meteorización ha

generado condiciones idóneas para que la cobertera vegetal colonice el sustrato o perfil, se inicia la edafógenesis, que conduce a la formación de suelos o de perfiles edáficos.

## Las costras

- **Las calcretas**

Las **calcretas** son acumulaciones, esencialmente de carbonato cálcico, que se forman en zonas continentales superficiales o subsuperficiales. Presentan una amplia variedad de formas desde pulverulentas a nodulares o muy compactas. Su formación es el resultado de la cementación y la entrada desplazativa o por reemplazamiento de carbonato cálcico en los perfiles edáficos, sedimentos y rocas en zonas en las que las aguas vadasas y freáticas superficiales están saturadas en carbonato cálcico.

### Origen y mecanismos de precipitación del carbonato cálcico

**"Per ascensum"**, según el cual el carbonato es aportado por las aguas freáticas.

**"Per descensum"**. El agua se mueve hacia abajo del perfil edáfico. El carbonato y el calcio van en disolución y su origen puede ser muy variado: agua de lluvia y escorrentía, polvo eólico, bioclastos, restos de vegetación, rocas carbonáticas.

Los dos modelos pueden ser funcionales para la misma calcreta

### Perfiles de calcreta: calcretas pedogénicas

El término **perfil de calcreta** se refiere a la sucesión vertical completa de los distintos horizontes o capas morfológicamente diferentes.

1. **Sustrato**. Puede ser cualquier tipo de material. El sustrato no presenta rasgos que indiquen que ha sufrido procesos edáficos.
2. **Horizonte transicional**. Es la zona u horizonte situado entre el sustrato sin modificar y los horizontes de caliche o calcreta bien definidos.
3. **Pulverulento**. Está formado por granos de calcita de tamaño fino sin consolidar, resultando en un horizonte muy blando.
4. **Nodular**. Está formado por glaebulas-nódulos de carbonato cálcico endurecido o pulverulento que se disponen dentro de una matriz menos carbonática.
5. **Laminar** o **platy**. Tiene una estructura horizontal a subhorizontal, laminada o ligeramente ondulada.



6. "Hard-pan". Es un horizonte muy endurecido con escasa porosidad visible. El "hardpan" puede ser masivo, laminado, brechoide o nodular.

### Petrografía de calcretas

**Rasgos macroscópicos** característicos, como son:

- Rizolitos.
- Nódulos de carbonato.
- Granos con cubiertas micríticas o **pisolitos**.
- Texturas laminares.
- Cantos negros.

### Micromorfología de calcretas

**a) Calcretas con predominio de rasgos no biogénicos o de tipo "alfa"**. Los rasgos característicos son, entre otros: granos corroídos, cemento y matriz distribuidos irregularmente, presencia de grietas de morfología variada, cristales rómbicos, etc.

**b) Calcretas con predominio de rasgos biogénicos o de tipo "beta"**. Presentan rasgos claramente atribuibles a la presencia y actividad de micro y macroorganismos: Estructuras alveolares, filamentos calcitizados y cristales tipo aguja (needle), Microcodium. Peloides y pisolitos (Granos con cubiertas micríticas), etc.

### Desarrollo del perfil y estadios de madurez

El tiempo que tarda en desarrollarse un perfil de calcreta depende de muchos factores: vegetación, clima, estadio de madurez. En general, la variación es tan grande que puede estar entre 3.000 y 1 millón de años. El desarrollo de un perfil tiene lugar en distintas etapas que dan lugar a distintos estadios de madurez.

#### **a) Desarrollo del perfil - etapas**

**1.** Exposición subáerea del sustrato.

**2 + 3.** Establecimiento de la red radicular. La evapotranspiración, y el microambiente generado en la rizosfera favorecen la precipitación de carbonato alrededor de las raíces y en zonas dispersas del sustrato.

**4.** Según aumenta la acumulación de carbonato disminuyen la porosidad y la permeabilidad. Se forma un horizonte masivo muy denso y con poca porosidad.

5. Las raíces no pueden romper el horizonte masivo y extenderse verticalmente, forman mallas horizontales induciendo la formación del horizonte laminar.

6. La preservación o no del horizonte laminar y su espesor depende de la interrelación entre las tasas de formación de calcreta/erosión/sedimentación.

#### **b) Estadios de madurez**

Todos estos procesos conducen a la formación de perfiles edáficos cuyo grado de madurez, de I a VI, sirve a su vez como una clasificación morfológica. A mayor grado de madurez mayor tiempo de actuación de los procesos formadores del suelo, y por tanto, nos indicará mayor tiempo de desarrollo edáfico y por tanto un lapso mayor de no sedimentación.

#### **Calcretas freáticas**

Son acumulaciones de carbonato que se producen en relación con niveles freáticos muy superficiales. En carbonato cementa, reemplaza y desplaza al material previo, pero no es necesaria la presencia de procesos edáficos, aunque a veces pueden interferir. No da lugar a perfiles como los que hemos visto y se deben considerar más como producto diagénético (veremos más adelante) que como producto edáfico. La micromorfología característica es la de tipo alfa.

- **Las silcretas**

Las silcretas son rocas producidas por la cementación y reemplazamiento de sedimentos, suelos o saprolitos por varios tipos de sílice secundaria (no estaba inicialmente). La sílice puede ser ópalo, cuarzo criptocristalino o cuarzo bien cristalizado. El término silcreta, se refiere esencialmente a silicificaciones producidas por encima del nivel freático o en ambientes edáficos y en condiciones cercanas a la superficie.

Las silcretas, al igual que las calcretas, también forman perfiles con horizontes más o menos diferenciados. Estos horizontes pueden ser: masivos, columnares, nodulares, conglomeráticos, laminares, brechoides, etc.

¿Origen de la sílice? ¿Condiciones de precipitación? PH: 8-9.

- **Lateritas**

Las lateritas son productos de meteorización, ricos en Fe y Al, formados bajo condiciones tropicales y que pueden estar o no endurecidos. Los minerales característicos son óxidos, oxyhidróxidos o hidróxidos de Fe y Al, caolinita y cuarzo. Se incluyen entre otros materiales las ferricretas y las bauxitas.

Los perfiles lateríticos típicos tienen tres zonas u horizontes:

**Zona de alteración (en la base)** se conservan algunos rasgos del sustrato. Los procesos fundamentales son la disolución incongruente de los minerales primarios y el lixiviado de los materiales solubles. Los elementos menos móviles (Al y Fe) liberados por la meteorización se reorganizan “in situ” sin o con un transporte muy pequeño.

**Zona globular** está constituida por acumulaciones continuas o discontinuas de óxidos, hidróxidos y oxihidróxidos de Fe y Al y también de caolinita. Hay una reorganización total del material inicial.

**Zona blanda** de acumulación minerales primarios como cuarzo o secundarios como caolinita y oxihidróxidos que se forman como resultado de la disolución, degradación y desmantelamiento del material nodular o por retrabajamiento por termitas.

Ferricretas y bauxitas se forman en climas cálidos y relativamente húmedos, siendo características de la zona intertropical.

### **Las costras y el clima**

La distribución de las costras y en general de todos los productos resultantes de la meteorización está fuertemente controlada por el clima. Se puede ver tanto con un mapa del mundo, como con un corte en el que desde los Polos al Ecuador se ve la distribución de variables como temperatura y precipitaciones medias y se ubican también los distintos procesos y productos resultantes de la meteorización.

### **Interés económico**

Las ferricretas, aunque son fáciles de explotar tienen una ley relativamente baja. Pueden contener otros metales de interés como cobalto y níquel, lo que las hace más rentables. La proporción de Fe, puede alcanzar el 52%, Además de para la extracción de Fe, las ferricretas se han utilizado como material de construcción, y como base para carreteras. Las bauxitas tienen aun mayor interés, pues de ella se extrae el Aluminio y según las características del material inicial pueden tener numerosos usos. ¿Tienen alguna utilidad las calcretas y las silcretas?.

## **LA DEGRADACIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

La degradación de los materiales de construcción es lo que coloquialmente conocemos como “**mal de la piedra**”. Los procesos que dan lugar a dicha degradación son los mismos que los que afectan a las rocas dentro de los macizos rocosos, pero a

ellos hay que sumar que muchos monumentos se sitúan en ciudades muy contaminadas, lo cual acelera estos procesos.

### Procesos de alteración o meteorización química

Los procesos de alteración química que afectan a los materiales de construcción son los que ya hemos visto e incluyen: disolución, hidrólisis, procesos de oxidación-reducción, carbonatación y alguno más específico como la sulfatación.

### Procesos de alteración mecánica

Aquí se incluyen algunos procesos como:

- **Cristalización de sales.** Si las aguas que están empapando el edificio están saturadas en determinadas fases minerales, estas pueden precipitar. La presión de cristalización genera unas presiones importantes que pueden facilitar la formación de grietas y discontinuidades dentro de las rocas.
- **Hidratación y deshidratación.** Algunas fases minerales, sobre todo algunas sales son capaces de hidratarse y deshidratarse (por ejemplo los sulfatos cálcicos) esto condiciona cambios importantes de volumen y en algunos casos las presiones de hidratación también contribuyen a la rotura de las rocas.
- **Ciclos hielo-deshielo.** Muchas ciudades están situadas en climas en los que en algunos periodos las temperaturas bajan mucho por la noche, lo que hace que el agua intersticial se congele. Esto produce un aumento de volumen y al igual que en los casos anteriores se generan presiones que favorecen la rotura de la roca.
- **Crecimiento plantas.** Aunque cada vez es más infrecuente, a veces observamos algunas plantas superiores e inferiores enraizadas entre o en los sillares de nuestros edificios, las raíces de las plantas hacen un efecto mecánico importante que también contribuye a la rotura de las rocas.

### Factores causantes

Entre los muchos agentes causantes de los procesos de degradación el más importante es el **agua**, pues es el que desencadena todos los procesos físicos, químicos y biológicos que ya hemos analizado. Influye notablemente en la presencia de **microorganismos** que aceleran notablemente los procesos de degradación.

El otro agente es la **contaminación**. Contaminantes como  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $NO_x$ , entre otros aceleran dichos procesos.

### Rasgos característicos de la degradación

- **Roturas mecánicas.** Desplacado, descamación, disgregación de granos, cavernas, fracturas.
- **Disolución.** Pérdida superficial (poros), tinciones.
- **Alteración y depósitos.** Eflorescencias y sub-eflorescencias, tinción de Fe, costras negras, etc.
- **Biológicos.** Bacterias, cianobacterias, líquenes, musgos, plantas superiores, distintos animales, etc.
- **Humanos.** Grafitis, desprendimientos, etc.

### Métodos de estudio

Muchos de los métodos de estudio son los mismos que los utilizados en muchos trabajos de Geología e incluyen:

- Trabajo bibliográfico.
- Estudio de campo ¿de qué?
- Estudio “in situ” del monumento. El problema del muestreo.
- Estudios mineralógicos. DRX.
- Estudios petrológicos: láminas delgadas, SEM.
- Geoquímica: Microsonda electrónica, análisis químicos.
- Determinación de las propiedades petrofísicas: propiedades hídricas, color, porosidad y permeabilidad, ultrasonidos, etc.
- Determinación de los parámetros ambientales del lugar donde se emplaza el edificio: contaminación, condiciones climáticas, etc.  
Simulación de los procesos de alteración en el laboratorio: experiencias de alteración acelerada en cámara climática (ciclos hielo-deshielo, humedad-sequedad, cristalización de sales).
- Observación de dichos procesos en ambientes naturales con muestras semejantes. Problema: el tiempo.

### Restauración y conservación

- **Limpieza.** Mecánica, con agua, con productos químicos, con abrasivos, etc.
- **Tratamientos sobre la superficie.** Consolidantes e hidrofugantes. Siempre son necesarios estudios previos, algunos pueden dar problemas.
- **Mantenimiento.** Inspecciones periódicas, sustitución o tratamiento de material dañado.

- [Protección climática y ambiental.](#)

### BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Alonso-Zarza, A.M. y Wright, V.P. 2010. *Calcretes*. In: *Developments in Sedimentology*, Vol 61. Carbonates in Continental Settings, A.M. Alonso-Zarza and L.H. Tanner (Eds). The Netherlands: Elsevier, 2010, pp. 225 – 267.
- Esbert, R.M., Ordaz, J., Alonso, F.J. y Montoto, M. 1997. *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona, 139 pp.
- Leeder, M. R. 1999. *Sedimentology and Sedimentary Basins*. Blackwell Science, Oxford, 592 pp.
- Martini, I.P. y Chesworth, V. (Eds). 1992. *Weathering, soils and paleosols*. Amsterdam. Elsevier, 619 pp. 270.
- Mingarro Martín, F. (Dir). 1996. *Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico*. Editorial Complutense. Madrid. 505 pp.
- Ollier, C. 1984. *Weathering*. Longman, London, 270 pp.
- Thorez, J. 1989. *Between the crystal and the solutions. A graphical overview of the passage to, from and of the clay minerals in the lithosphere during weathering*. In: *Weathering, its Products and Deposits, L Processes.*, K.S. Balasubramaniam, V.R Evangelou, G. Faure, J. Goni, R.L.C. Grubb, P.A. Hill, O. Lahodney-Sarc, A.J. Melfi, E. Mendelovir A.R Nikitina, W.E Pickering, y S.S. Augustithis, eds., Theophrastus Publishers S.A., Greece, 49-120.
- Pedraza J., Carrasco, R.M., Díez, A., Martín J.F., Martín A. y Sanz M.A. 1996. *Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones*. Ed. Rueda. Madrid. 414 pp.
- Siever, R. 1988. *Sand*. Scientific American Library, cop. 237 pp.
- Villegas, R. y Sebastián E. M. (Eds) 2003. *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*. Cuadernos Técnicos. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Junta de Andalucía. Editorial Comares. 233 pp.
- Winkler, E.M. 1997. *Stone in Architecture, Properties, Durability*. 3rd Ed. Springer Verlag, Berlin, 313pp.

Wright, V.P., Tucker, M.E., 1991. *Calcretes: an introduction*. In: Wright, V.P., Tucker, M.E. (Eds), *Calcretes*. IAS Reprint Series (Blackwell Scientific Publications, Oxford) 2, pp. 1-22.

Recibido: 28 abril 2009.

Aceptado: 25 enero 2010.