

Papel de la Porosidad en la Alteración de Minerales bajo Ambientes Supergénicos. Algunos Ejemplos

/ ELOY MOLINA BALLESTEROS (1,3*), JACINTA GARCÍA TALEGÓN (1,3), HERNANDO HERRERO FERNÁNDEZ (2,3), ADOLFO IÑIGO IÑIGO (2,3)

(1) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca (España)

(2) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA-CSIC)

(3) Unidad Asociada Grupo Química del Estado Sólido, Universidad de Salamanca y el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca

INTRODUCCIÓN.

La meteorización de las rocas está controlada por: i) factores de la propia roca (textura, estructura, composición, etc), ii) factores del medio (temperatura, seres vivos, drenaje, etc) y, iii) factores de las soluciones de ataque (concentración, pH, etc). Dentro de esos factores, la porosidad es importante ya que condiciona la actividad de las soluciones, la precipitación y formación de nuevas fases minerales y su posición tanto dentro de los perfiles como a nivel del paisaje. A nivel general se diferencian tres sistemas de alteración dentro de una roca (Pédro 1993; Meunier, 1983, Meunier et al., 2007):

- microsistema de contacto, de espacios con dimensiones del orden de Å a nm.
- microsistemas plásmicos, cavidades del orden de los nm a μm .
- sistema fisural de varias μm a mm, o mayores.

En el primero el mecanismo principal de alteración es la hidroxilación de los minerales primarios; en el segundo es la difusión; en el tercero es la disolución, por lo que el drenaje juega un importante papel.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El trabajo se basa en el estudio de muestras procedentes de varios perfiles de Raña y de costra caliza sobre zócalo de pizarras (provincias de Toledo y Ciudad Real), y de muestras de Areniscas de Villamayor (Paleógeno de Salamanca) cementadas por carbonatos de Ca con distinto contenido en Mg.

Se han preparado más de 20 secciones delgadas que fueron estudiadas por

medio de microscopio petrográfico modelo Leitz Laborlux 12 Pol S. Así mismo se prepararon varias secciones pulidas para su estudio por medio del MEB de alta resolución modelo HITACHI S-4800 y por microsonda modelo JEOL JXA820, utilizándose electrones secundarios o retrodispersados, según los casos. Por otra parte se prepararon pequeños bloques de las muestras para la obtención de imágenes. En ambos casos, las muestras fueron previamente recubiertas por carbono o por oro bajo condiciones de vacío.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Disolución del Cuarzo en Medio Carbonatado.

Bajo condiciones superficiales, el cuarzo es poco soluble ($<10\text{-}12\text{ppm}$) para $\text{pH}<8.5$, pero su solubilidad aumenta rápidamente para $\text{pH}>9$. Sin embargo, esas condiciones varían mucho en función del medio poroso donde se establece la reacción mineral-solución (Freeze and Cherry, 1979) (Fig. 1):

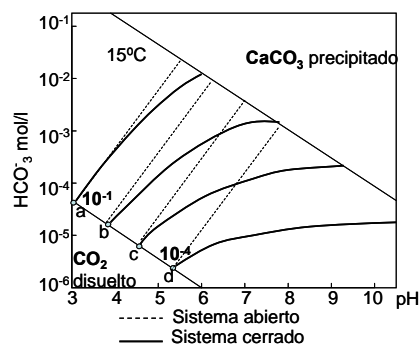


fig 1. Variación de las condiciones químicas de precipitación del Carbonato Cálcico en sistemas abiertos y cerrados. Basado en Freeze and Cherry (1979).

- En sistemas abiertos y con una fuente continua de CO_2 (atmósfera), la

solubilidad del cuarzo es baja dado que es difícil alcanzar condiciones de alcalinidad fuertes.

- En sistema cerrado donde exista deficiencia de CO_2 , se pueden alcanzar fuertes condiciones de alcalinidad con lo que el cuarzo será disuelto. La sílice disuelta puede ser consumida en la génesis de minerales secundarios (p. ej. arcillas de neoformación) o precipitar directamente rellenando cavidades.

Reemplazamiento del Cuarzo por Carbonato.

El proceso se inicia en las porosidades finas, en la zona de contacto entre ambas fases minerales y el mecanismo de alteración es la difusión. El resultado final es el desarrollo de nódulos, concreciones hasta la generación de perfiles de costra caliza s.l. (Fig. 2). Aquí, el volumen molar y la presencia de iones como Al^{3+} y Mg^{2+} son variables que tienen gran importancia (Maliva y Siever, 1988; Nahon 1991; Wang et al., 1994):

- En las porosidades más finas, el mineral de menor volumen molar (cuarzo) es más estable que el de mayor volumen molar (calcita), pero se necesita una alta concentración de carbonato en el medio para reemplazar al cuarzo.
- La presencia de los citados iones tiende a disminuir la concentración de sílice libre en el medio por la formación de arcillas lo que facilita la disolución del cuarzo y de otras posibles fuentes de sílice.

Un perfil de costra bien desarrollado presenta una parte superior en la que los restos de los minerales heredados, más o menos alterados, están en

contacto directo con el carbonato precipitado, y otra inferior en donde, entre el carbonato y los minerales primarios, se establece un microsistema donde se están generando las arcillas. Estas arcillas presentan bajo grado de cristalinidad siendo fácilmente lavadas y/o disueltas durante la estación húmeda, en la parte superior de los perfiles.

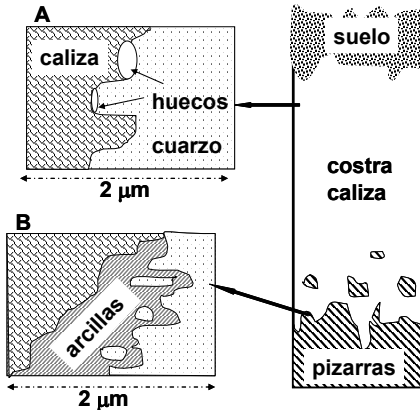


fig. 2. Representación de un perfil de costra caliza con los esquemas de dos microsistemas de alteración A y B, en función de su posición en el perfil. En A el carbonato está en contacto directo con el mineral primario. En B es una zona intermedia donde se generan arcillas. Con el tiempo, la costra desciende en el paisaje y el microsistema B se transforma en A.

Reemplazamiento del Cuarzo por los Oxihidróxidos de Fe.

Uno de los rasgos más frecuentes en las superficies morfológicas antiguas de la mitad occidental de la Península es el presentar recubrimientos de cantos y gravas de cuarzo y cuarcita con una corteza externa rica en oxihidróxidos de Fe (p. ej. depósitos de la Raña). En estos perfiles se diferencian dos partes:

- La inferior y más potente, donde hay abundancia de arcillas (illitas y kaolinitas dominantes), presenta una hidromorfía prolongada y en la que los oxihidróxidos se encuentran unidos a las arcillas.
- La superior, que sufre encharcamientos estacionales y etapas de fuerte deshidratación y donde la fracción arcilla es casi nula.

En las zonas internas del perfil los procesos de alteración dominantes son la hidrólisis y la ferrólisis (Brinkman, 1970). En esta parte del perfil los clastos de cuarcita están más o menos arenizados y los granos de cuarzo presentan rasgos de disolución (Fig. 3).

Por su parte, el reemplazamiento del

cuarzo en los cantos y gravas por los de xerólisis descrito por Chauvel y Pédro (1978). Este proceso concentra los oxihidróxidos hacia las porosidades más finas durante la desecación extrema de la superficie (Fig. 4) y lleva consigo varias etapas:

- Saturación hídrica de los poros del perfil durante la etapa húmeda, en nuestro caso durante el invierno y la primavera.
- Penetración progresiva de un frente de secado desde la parte superior del perfil hasta una determinada profundidad (en nuestra Península normalmente < 0.5m).
- Ultradesecación del techo del perfil por insolación prolongada en verano, llegándose a la destrucción de parte de las moléculas de agua residuales concentradas en las porosidades más finas
- Como resultado final, migración y concentración de oxihidróxidos hacia los espacios más finos y reemplazamiento de los minerales primarios por los oxihidróxidos.

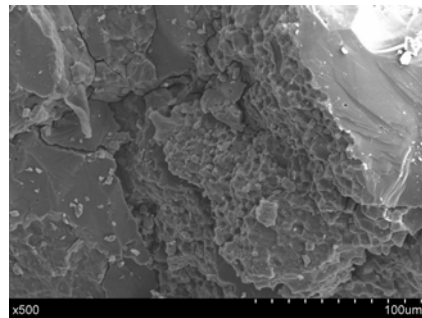


fig. 3. Fotografía MEB de cuarzo corroído que limita una cavidad en un canto de cuarcita rodeado de arcilla en el interior de un perfil de Raña. El canto presenta colores ocres y blancos y su superficie está parcialmente arenizada.

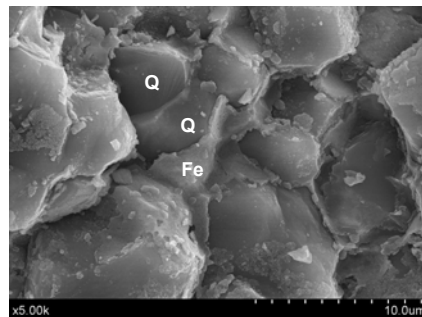


fig. 4. Fotografía MEB de la parte externa de la corteza ferruginosa de un canto de Raña. Los granos de cuarzo (Q) aparecen envueltos por los oxihidróxidos (Fe) que presentan un contenido variable en Si y Al.

Las fases más deshidratadas de esos oxihidróxidos se concentran en la superficie de la corteza de los clastos mientras que hacia el interior coexisten

éstas con fases más hidratadas.

CONCLUSIONES.

En los procesos de reemplazamiento mineral por epigénesis, la porosidad es un factor selectivo: las fases más deshidratadas y/o las de menor volumen molar tienden a concentrarse en las porosidades más finas. En medios ricos en carbonatos la relación $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ de la solución es importante ya que condiciona la presencia, o la ausencia de sílice precipitada. En medios de carácter más o menos ácido, los procesos de ferrólisis y xerólisis movilizan y concentran los oxihidróxidos hacia las porosidades más finas.

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos al Ministerio de Educación y Ciencia y a la Junta de Castilla y León la financiación para la realización del trabajo dentro de los Proyectos CGL2007-62168/BTE (fondos FEDER) y SA024A07, respectivamente.

REFERENCIAS.

- Brinkman, R. (1970): Ferrólisis: a hydromorphic soilforming process. *Geoderma*, **3**, 199-206.
- Freeze, R.A., Cherry, A.J. (1979): *Groundwater*. Ed. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, N.J., 604 pp.
- Maliva, R.G., Siever, R. (1988): Mechanisms and control of silicifications of fossils in limestones. *Jour. Geol.*, **96**, 4, 387-398.
- Meunier, A. (1983): Micromorphological advances in rock weathering studies. In: *Soil Micromorphology*. Ed: P. Bullock, C.P. Murphy, vol. 2 Soil Genesis, Pub. A.B. Academic Publisher, 467-483.
- Meunier, A., Sardini, P., Robinet, J.C., Pret, D. (2007): The petrography of weathering processes: facts and outlooks. *Clay Miner.*, **42**, 415-435.
- Nahon, D.B. (1991): *Introduction to the petrology of soils and chemical weathering*. Ed.: John Wiley & Sons Inc. New York, 313 pp.
- Chauvel, A., Pédro, G., (1978): Sur l'importante de l'extreme dessiccation des sols (ultradessiccation) dans l'évolution pédologique des sols tropicales á saisons contrastées. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **286**, 1581-1584.
- Pédro, G. (1993): Un phénomène normal de la surface de la planète: l'alteration des roches. In: *Alteración de granitos y rocas afines*, Ed. M.A. Vicente Henández, E. Molina Ballesteros, V. Rives Arnau, CSIC, Madrid, 17-50.
- Wang, Y., Nahon, D., Merino, E. (1994): Dynamic model of the genesis of calcretes replacing silicate rocks in semi-arid regions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **58**, 23, 5131-5145.