

# LA ESTABILIDAD DE LA ACTINOLITA EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA EN EL EXCEPCIONAL CASO DE REEMPLAZO DE BRAQUIÓPODOS EN METACUARCITAS DE LAS SIERRAS PAMPEANAS (ARGENTINA)

Sebastián VERDECCHIA y Edgardo BALDO

*Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA), CONICET y UNC, 5000 - Córdoba, Argentina.*

Las metacuarcitas de alto grado (zona de Sillimanita-Feldespató potásico) del Complejo Metamórfico La Cébila (CMLC, Figuras 1 y 2) registran la excepcional conservación de valvas de braquiópodos (Verdecchia *et al.* 2007; Figura 3a). Estos niveles fosilíferos forman parte de una sucesión metasedimentaria Ordovícica intercalada con niveles de esquistos con sillimanita-feldespató potásico. Los restos de braquiópodos han sido conservados mediante una serie de reemplazos que comienzan durante la diagénesis y continúan durante el evento metamórfico principal de baja presión (*ca.* 3kb) que da origen a las diferentes litologías que caracterizan el CMLC (Verdecchia 2009). En estas condiciones de medio a alto grado, los restos de las valvas de braquiópodos, junto con sus rasgos morfológicos más sobresalientes, fueron preservados gracias al crecimiento de actinolita en forma de pseudomorfos (Figuras 3b y 4). En esta contribución se analiza la estabilidad de este clinoanfíbol mediante la construcción de pseudosecciones y se propone un modelo evolutivo de reemplazo a través del funcionamiento de subdominios texturales que controlaron el desarrollo de este mineral, y posibilitaron la conservación de los rasgos morfológicos de los restos fósiles bajo un campo de esfuerzo asociado con el evento metamórfico principal.

Estas metacuarcitas muestran una textura granoblástica (Figura 3b) compuesta principalmente por cuarzo, además de actinolita [ $Fe/(Fe+Mg) = 0,32$ ] y plagioclasa ( $An_{9-11}$ ) y menores proporciones de clorita, epidoto, titanita, pirrotina, ilmenita, apatita, circón y monacita, resaltando la ausencia de fases minerales potásicas. A partir de las relaciones texturales se puede definir a la asociación de actinolita+cuarzo+plagioclasa como la paragénesis de las condiciones de máxima temperatura, mientras que la clorita y el epidoto resultan del proceso retrogrado. La actinolita se restringe principalmente a subdominios ocupados por los restos de braquiópodos, indicando que este mineral ha formado parte del proceso de reemplazo de las valvas. Debido a que las valvas están compuestas principalmente por carbonatos, la formación de minerales ferromagnesianos en estas metacuarcitas sugiere la existencia de relleno detrítico ocupando el espacio interno de las valvas, aportando elementos como Fe, Mg y Al. Esto permite definir la composición global efectiva que dio origen a los minerales metamórficos a través de una reacción compleja entre la calcita, proveniente de la transformación diagenética del carbonato de calcio original de la valva, y los minerales detríticos (cuarzo, ilmenita, magnetita, plagioclasa, y minerales del grupo de la arcilla). En este sentido, la matriz cuarzosa que rodeaba a estos restos fósiles aísla el volumen de equilibrio posibilitando la generación localizada de actinolita y la preservación de los rasgos morfológicos de las valvas.

La actinolita, caracterizada por sus bajos tenores en aluminio y altos en calcio, suele ser vinculado con condiciones de bajas temperaturas en el sistema básico. Sin embargo, los nuevos modelos de solución sólida para anfíboles utilizados en el análisis del equilibrio mineral (Diener *et al.* 2007, 2012) señalan que el campo de estabilidad de esta fase no solo se restringe a condiciones de bajo grado sino que la misma puede subsistir a mayores temperaturas, aun en condiciones superiores a la curva del *solidus* definida para composiciones pelíticas. Dado que estos niveles de metacuarcitas se encuentran dentro de la zona de sillimanita-feldespató potásico, en cercanías a los afloramientos de metatexitas, este anfíbol habría soportado temperaturas superiores a los 600° C. Una serie de pseudosecciones *P-T* y *T-X* en los sistemas NCFMASHTO y MnNCMASHTO fueron realizadas mediante el programa THERMOCALC (Powell y Holland 1988) para poder analizar la estabilidad de este mineral en estas condiciones *P-T*. Los resultados sugieren que para la composición global de estas metacuarcitas, el anfíbol que se equilibra a 650° y 3 kb es la actinolita en lugar de la hornblenda. Esto se debe principalmente a los bajos tenores de aluminio ( $Al_2O_3=2,77$  % peso) que presenta esta metacuarcita. Por otra parte, estos modelos muestran que la presencia de un único mineral ferromagnesiano es controlada además por el contenido de calcio, dado que pequeños incrementos de este elemento estabiliza al diópsido mientras que lo hace el ortoanfíbol para pequeñas sustracciones. La presencia de titanita con inclusiones de ilmenita, indicaría que este último formó parte de la paragénesis del pico metamórfico, sin embargo, la formación de ilmenita en los diagramas de pseudosecciones en el sistema NCFMASHTO requiere suponer altos porcentajes de  $Fe^{3+}$  en la composición global [ $X_{Fe^{3+}}/(Fe^{2+} + Fe^{3+})=0,25$ ] lo que resulta inconsistente con la presencia de minerales indicativos de una baja fugacidad de oxígeno, como la pirrotina. La ausencia de ilmenita en estos diagramas, siendo reemplazada en su lugar por la predicción de rutilo, podría deberse a que los modelos de solución sólida existentes para esta fase restringen demasiado el rango del parámetro orden-desorden, lo que inhibe su estabilización en condiciones de media temperatura para bajos contenidos de  $Fe^{3+}$  en la composición global. La

presencia de ilmenita se logra modelando en el sistema MnCFMASHTO, consistente con la composición química observada de esta fase en la metacuarcita ( $MnO = 11\%$  peso). Sin embargo, los modelos con Mn están aún en proceso de refinamiento y no hay modelos adecuados para anfíboles con Mn, por lo cual los resultados obtenidos en este sistema deben ser considerados con precaución.

Este estudio evidencia que fuera del sistema básico, la estabilidad de la actinolita es fuertemente controlada por la composición global pudiendo extenderla hasta temperaturas superiores al *solidus* para sistemas pelíticos.

## Referencias

- Diener, J.F.A., Powell, R., White, R.W. y Holland, T.J.B., 2007. A new thermodynamic model for clino- and orthoamphiboles in the system  $Na_2O-CaO-FeO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-O$ . *Journal of Metamorphic Geology*, 25:631-656.
- Diener, J.F.A. y Powell, R., 2012. Revised activity-composition models for clinopyroxene and amphibole. *Journal of Metamorphic Geology*, 30:131-142.
- Powell, R. y Holland, T.J.B., 1988. An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations. 3. Application, methods, worked examples and a computer program. *Journal of Metamorphic Geology*, 6: 173-204.
- Verdecchia, S.O., 2009. Las metamorfitas de baja presión vinculadas al arco magmático famatiniano: las unidades metamórficas de la Quebrada de La Cébila y el borde oriental del Velasco. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 312 p. Córdoba.
- Verdecchia S.O., Baldo E.G., Benedetto J.L. y Borghi P.A., 2007. The first shelly faunas from metamorphic rocks of the Sierras Pampeanas (La Cébila Formation, Sierra de Ambato, Argentina): age and paleogeographic implications. *Nota Paleontológica en Ameghiniana*. 44: 493-498.

