

# QUIMICA MINERAL DE LAS ROCAS DE ALTA PRESION - FACIES ECLOGITA, DE LA PENINSULA DE LA GUAJIRA, COLOMBIA

Weber, M.<sup>1</sup>; Cardona A.<sup>2</sup>; Wilson, R.<sup>3</sup>; Gómez, J.<sup>4</sup>; Zapata, G.<sup>5</sup>

## RESUMEN

Las rocas de alta presión encontradas en la Península de La Guajira, comprenden principalmente eclogitas con la paragénesis pico: onfacita + granate + cuarzo + rutilo + mica blanca ± cianita y metapelitas con la paragénesis pico: cuarzo + mica blanca + granate + cianita + rutilo ± apatito. Estas rocas muestran evidencias de una compleja historia de evolución tectónica: 1) Una primera fase de crecimiento prógrado en dos fases, a través de la facies anfibolita, hasta alcanzar la paragénesis pico; 2) un evento de hidratación que permitió la formación local de glaucofana orientada; 3) un evento no bien diferenciado que sucede en condiciones estáticas que permite la formación de clinozoisita; y 4) la retrogradación de estas rocas en facies anfibolita. La asociación de metamafitas y rocas de procedencia continental sugieren una relación con un prisma de acreción que se generó durante la subducción cretácica de la placa Caribe y el acercamiento de un posible fragmento continental o de la margen continental Suramericana a la placa del Caribe.

**Palabras Clave:** Eclogitas, metapelitas, placa Caribe, química mineral

## MINERAL CHEMISTRY OF HIGH PRESSURE ECLOGITE-FACIES ROCKS, FROM THE GUAJIRA PENINSULA, COLOMBIA

## ABSTRACT

The high pressure rocks found in the Guajira Peninsula, comprise mainly eclogites with the peak metamorphic paragenesis: omphacite + garnet + quartz + white mica ± kyanite and metapelites with the peak metamorphic paragenesis: quartz + white mica + garnet + kyanite + rutile ± apatite. These rocks register a complex history of tectonic evolution: 1) Prograde growth in two stages, through amphibolite facies, reaching the peak metamorphic paragenesis; 2) hydration of these rocks that enabled glaucophane to grow locally; 3) a later not well characterized event that happened in static conditions shown by the growth of clinozoisite; 4) retrogression through amphibolite-facies. The association of eclogites with continental rocks suggest their link to an accretionary prism that was generated during the Cretaceous subduction of the Caribbean plate and the bringing together of a possible continental fragment or the South American continental margin and the Caribbean plate.

**Key words:** Eclogites, metapelites, Caribbean plate, mineral chemistry

---

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, Calle 65 No. 78-28, Facultad de Minas, M1-324, Medellín, Colombia, mweber@unalmed.edu.co

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Tropicales Smithsonian, Balboa, Ancon, Panama, cardona@si.edu

<sup>3</sup> Universidad de Leicester, mw@leicester.ac.uk

<sup>4</sup> INGEOMINAS, mapageo@ingeo Minas.gov.co

<sup>5</sup> Universidad Nacional de Colombia, gzapata@unalmed.edu.co

## INTRODUCCIÓN

Las rocas de alta presión representan registros importantes en la historia geodinámica de márgenes convergentes. Su presencia tanto como su evolución tectonotérmica, muchas veces preservadas, permiten identificar antiguas zonas de subducción y delimitar algunas de las características específicas de estos ambientes tectónicos.

Rocas de alta presión han sido descritas en varios lugares del Caribe, como Villa de Cura (Sisson *et al.*, 1997; Avé-Lallement y Sisson, 2005) y Margarita en Venezuela (Stöckert *et al.*, 1995), Escambray en Cuba y República Dominicana-Jamaica-Guatemala (Tsuji *et al.*, 2006) y sus características sugieren una compleja variabilidad en las características de la subducción oceánica y continental.

En el Caribe colombiano se conoce el registro de alta presión de cantos contenidos en un conglomerado polimíctico de edad Terciario medio, en la Serranía de Jarara, Península de La Guajira (Lockwood, 1965; Green *et al.*, 1968 y Zapata *et al.*, 2005). El siguiente trabajo detalla las características petrográficas y de química mineral estas rocas, y hace referencia a la evolución tectonotérmica de las mismas a partir de esta información y su relación con los procesos de subducción y acreción asociados a la interacción de la placa del Caribe con la Placa Suramericana.

## ANTECEDENTES

En el Caribe colombiano se han registrado rocas de alta presión en la Península de La Guajira por Lockwood (1965) y Green *et al.* (1968) y por Zapata *et al.* (2005). Los primeros dos trabajos reportan la presencia de eclogitas contenidas como cantos rodados en un conglomerado de edad Terciaria. Las eclogitas se encuentran junto con grandes bloques de rocas metamórficas de bajo grado como filitas, esquistos y cuarcitas idénticas a las rocas de la Formación Etpana (Lockwood, 1965 y Green *et al.*, 1968). El tercer trabajo registra y describe además de las eclogitas la presencia de metasedimentos de alta presión para este depósito, y presenta algunos resultados preliminares de química mineral para estas rocas.

## MARCO GEOLÓGICO

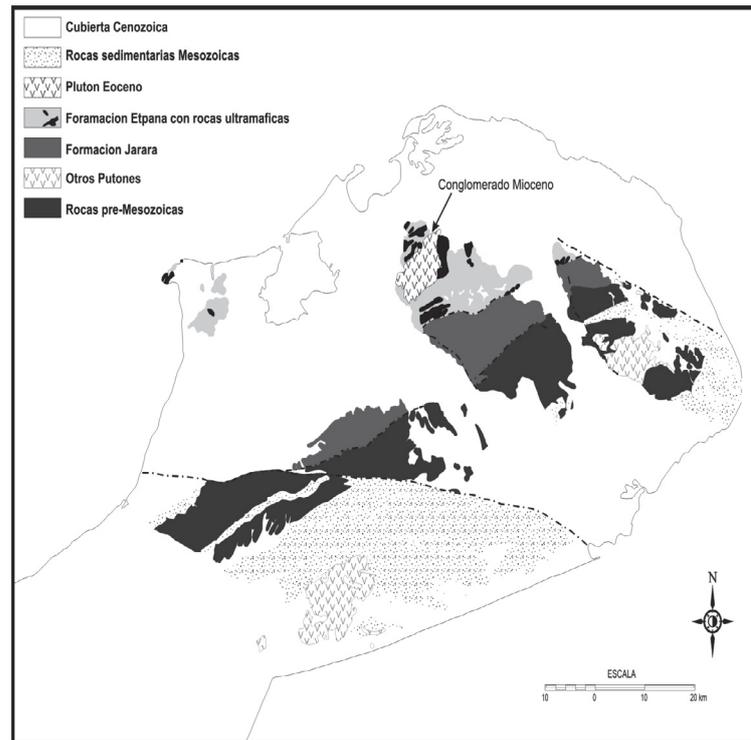
El margen norte de la placa Suramericana esta construido por una serie de unidades de afinidad oceánica acrecionadas al margen autóctono. Diferentes rocas de alta presión de protolitos oceánicos y continentales, identificados a lo largo del margen de Venezuela, pero también comunes en el área circuncaribe, son vestigios que registran los diferentes estados de la evolución de subducción intra-oceánica y de colisiones arco-continente, entre el frente de la placa Caribe y los dominios continentales.

En la Península de La Guajira colombiana, se pueden identificar tres diferentes dominios litoestratigráficos. De SE a NW estos incluyen: (1) rocas sedimentarias Mesozoicas, pobremente deformadas con un registro pasivo del margen autóctono Sur Americano (Villamil, 1999), (2) Un basamento metamórfico antiguo, con rocas Proterozoicas y paleozoicas, intruido por granitoides Jurásicos (Cordani *et al.*, 2005, Cardona-Molina *et al.*, 2006) y (3) unidades meta-volcanosedimentarias deformadas de bajo grado, con intercalaciones máficas y ultramáficas intruidas por magmatismo eoceno (Alvarez, 1967; Lockwood, 1965; MacDonald, 1964). Estas últimas unidades, corresponden a las formaciones Jarara y Etpana (FIGURA 1).

El conglomerado en el cual se encuentran los cantos de rocas de alta presión, es de edad Mioceno (Lockwood, 1965) y se localiza en el borde N-W de la Serranía de Jarara, e incluye cantos de rocas plutónicas, serpentinitas y rodingitas semejantes a las que caracterizan el Stock de Parashi y las rocas máficas y ultramáficas de la Formación Etpana.

## RESULTADOS

Se presentará una breve descripción petrográfica de cada una de las unidades encontradas y luego se presentaran resultados de química mineral para cada una de las rocas.



**FIGURA 1.** Mapa geológico generalizado de la Península de La Guajira, Colombia. La flecha indica la localización del conglomerado Mioceno.

## PETROGRAFÍA

### Metabasitas

Las metabasitas en La Guajira comprenden eclogitas. Se trata de rocas de grano fino, y contienen onfacita + granate + cuarzo + rutilo + mica blanca ± cianita ± clinzoicita ± glaucofana. La textura general es porfiroblástica con matriz nematoblástica. Los porfiroblastos son idioblastos de granate y cianita, y la foliación de la matriz esta definida por onfacita y rutilo (FIGURA 2 A). Los granates tienen zonación con centros más naranja intenso y bordes rosados claros (FIGURA 2 A). Algunos de ellos presentan pequeñas inclusiones de anfíbol verde intenso, que en este estudio se interpretan como el registro de una asociación de más bajo grado metamórfico (FIGURA 2 A). Cuando esta presente la cianita se presenta como profiroblastos xenoblásticos con centros libres de inclusiones y bordes poikilíticos, indicando dos generaciones de crecimiento (FIGURA 2 B). Los piroxenos son de tamaño variable, y los más grandes presentan zonación irregular, visible con colores de interferencia, más oscuros en el centro que en

los bordes. Estas rocas presentan transición irregular a dominios con mayor contenido de cuarzo.

La glaucofana en estas rocas generalmente parece formarse a partir de los piroxenos y los granates y por tanto posiblemente corresponden a la introducción de fluido posterior a la equilibración de estas rocas a altas presiones.

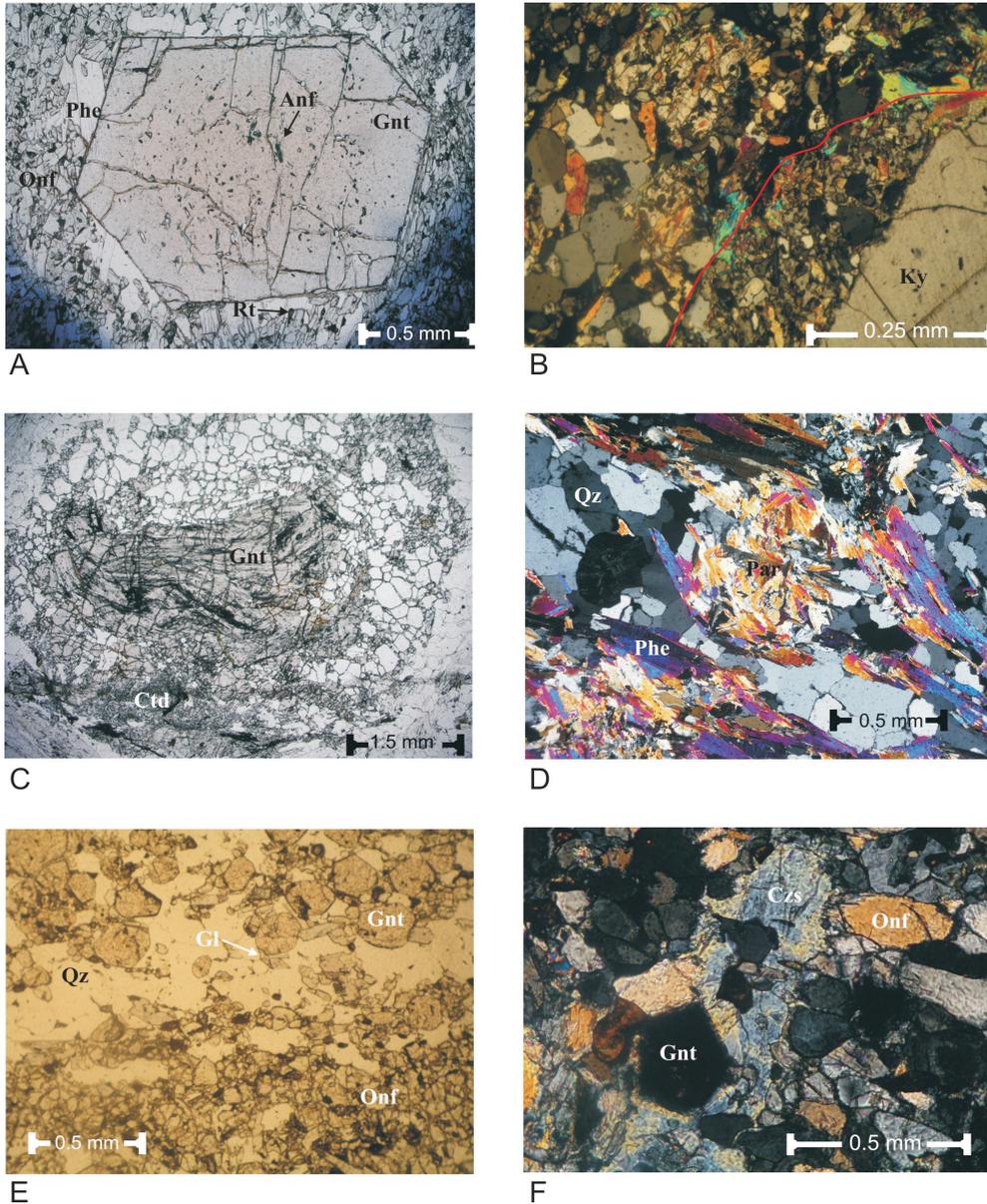
Algunas muestras presentan cristales poikilíticos de 1.5 cm, idiomorfos a subidiomorfos de clinzoicita que cortan la foliación. Sus inclusiones comprenden granate, cuarzo, glaucofana y mica. Las evidencias petrográficas permiten interpretarlas como relacionadas a un evento posterior posiblemente de retrogradación en condiciones estáticas, al no presentar orientación. Casi todas las muestras presentan fuertes evidencias de retrogradación a facies anfíbolita, donde el granate pasa a anfíbol azul verdoso + feldespato + epidota ± clorita ± clorita, la cianita pasa a mica blanca y el rutilo presenta coronas de esfena. En general la asociación de retrogradación se presenta en el reemplazamiento pseu-

domorfo del granate y la cianita y en las interfases granate – onfacita, y la no orientación de los minerales sugiere condiciones estáticas de crecimiento.

**Metasedimentitas**

**Esquistos cuarzosericiticos con granate y cianita**

Los cantos de esquistos colectados en La Guajira contienen proporciones variables de la paragenénesis cuarzo + mica blanca + granate + cianita + rutilo ±



**FIGURA 2.** Microfotografías de las rocas de alta presión de la Península de La Guajira. Eclogitas: A. Porfiroblasto idiomórfico de granate zonado. Se aprecian las inclusiones de anfíbol verde (NII). B. En el borde derecho se observa un porfiroblasto de cianita, con dos generaciones de crecimiento. La línea roja demarca el límite del cristal poikilítico (N+). Esquistos: C. Porfiroblasto xenomórfico de granate con dos generaciones de crecimiento (NII). D. Cianita retrogradada a mica blanca (par?) (N+). Gneises: E. Bandeamiento definido por variaciones en tamaño de grano y composición (NII). F. Crecimiento de clinozoisita a partir de cuarzo, onfacita y glaucófana (N+).

Abreviaturas: Anf – anfíbol, Ctd – cloritoide, Czs – clinozoisita, Gl – glaucófana, Gnt – granate, Ky – cianita, Onf – onfacita, Par – paragonito, Phe – fengita, Qz – cuarzo, Rt – rutilo, N+ – Nicols cruzados, NII – Luz polarizada plana.

apatito. La textura general es profiroblástica con matriz granolepidoblástica. Los porfiroblastos en la mayoría de las muestras comprenden cristales xenomorfos de granate y subidioblásticos de cianita, de tamaño variable y envueltos en la foliación definida por mica blanca y rutilos orientados. El cuarzo se presenta como cristales poligonales. En algunas muestras los porfiroblastos de granate presentan centros poikilíticos con inclusiones orientadas de manera irregular de opacos, donde  $S_1$  diferente de  $S_2$ , mientras que los bordes son esqueléticos con inclusiones de cuarzo, indicando al menos dos generaciones de formación (FIGURA 2 C).

Todas las muestras presentan fuertes evidencias de retrogradación. Los granates presentan reemplazamiento pseudomórfico de cloritoide + mica blanca (FIGURA 2 C). Estos minerales crecen de forma no orientada indicando que el evento de retrogradación sucede en condiciones estáticas.

Los porfiroblastos de cianita se observan en gran medida reemplazados por mica blanca (FIGURA 2 D), y en pocas ocasiones se preservan todavía restos de cristales de cianita en los centros. Ocasionalmente el reemplazamiento de este aluminosilicato también involucra cloritoide.

#### **Gneis omfacítico granatífero con glaucofana y cianita**

Se trata de una roca con bandeamiento definido por dominios de onfacita + granate + glaucofana + cuarzo + cianita + rutilo + mica blanca intercaladas con bandas donde aumenta el contenido de cuarzo y glaucofana y disminuye el contenido de onfacita (FIGURA 2 E). El límite entre bandas es transicional. La textura general es profiroblástica con matriz granonematoblástica. Los porfiroblastos son cristales idioblásticos de granate envueltos por la foliación definida por cristales orientados subidioblásticos de onfacita y glaucofana y cuarzo. En las zonas más ricas en cuarzo la textura general es heterogranular en la ausencia de glaucofana, pero granolepidoblástica cuando ésta está presente. En los dominios más cuarzosos se observan los tamaños de grano más grandes para todos los minerales.

Sobreimpuesta a esta asociación se presentan cristales poikilíticos subidiomorfos de hasta 1.7cm de clinzoicita que cortan el bandeamiento y la foliación, pero se concentran en las bandas de composición más máfica

(FIGURA 2 F). Este rasgo es similar al descrito para algunas eclogitas. La cianita está completamente reemplazada por mica blanca con textura decusada, posiblemente simultáneas a la formación de clinzoicita. La muestra presenta retrogradación de glaucofana a anfíbol verde azulado.

Dominios de esta misma composición de roca, pero irregulares se encontraron en una muestra de eclogita, lo que permite inferir que ambas rocas están relacionadas espacialmente.

#### **Granofelsa granatífera con glaucofana**

Roca representada por una muestra que comprende cuarzo + granate y en menor proporción glaucofana + rutilo. La textura es granoblástica heterogranular, con cristales de granate subidioblásticos. El cuarzo comprende la mayor parte de la roca (55%), con límites aserrados. La glaucofana se encuentra en cristales euhedrales, en general completamente alterada (arcilla?).

## **QUÍMICA MINERAL**

La química mineral fue realizada a partir de secciones delgadas pulidas cubiertas por carbón, usando una microsonda electrónica JEOL 8600S en el Departamento de Geología de la Universidad de Leicester, Inglaterra, con un voltaje de aceleración de 15 kV y una corriente de 30 nA con un rayo de diámetro de 5 - 10 micrones.

#### **Granate**

Los granates de todas las rocas están generalmente concéntricamente zonados (FIGURA 3), con centros más ricos en Fe y más pobres en Mg que los bordes. En los granates de las muestras menos retrogradadas se identifican dos áreas: un área interior, con una pequeña inflexión en el centro del cristal donde el Fe incrementa levemente y el Mg permanece constante y un área externa en la cual el Fe decrece hacia los bordes, mientras que el Mg aumenta (FIGURA 3).

Esto indica que el crecimiento de granate sucedió en dos estados. Sin embargo, el contenido de Mn tiene un patrón típico de crecimiento progresivo y Ca permanece virtualmente constante. Este patrón es incompleto en las muestras retrogradadas. En los bordes más extremos de los granates se observa una pequeña



reversión del patrón de zonación, indicativa de difusión de Fe-Mg por retrogradación. La composición de los granates de las eclogitas de Parashi es similar a los granates descritos para eclogitas grupo C (Coleman *et al.*, 1965), aunque algunos bordes caen en el campo de granates de eclogitas grupo B (FIGURA 4).

Los granates de los gneises muestran menos variación (FIGURA 3), con solo pequeños cambios hacia el borde de los granates. Leves incrementos de Mg junto con empobrecimiento de Fe en los bordes de los granates son evidentes.

Las composiciones de los granates del gneis de granate con glaucófana son variables y el patrón de zonación es irregular (FIGURA 3).

#### Piroxeno

Los clinopiroxenos de las eclogitas son onfacitas (FIGURA 4). Los cristales más grandes muestran evidencias de zonación con centros más ricos en componente jadeítico que los bordes, indicando un posible incremento en presión y temperatura durante un crecimiento continuo. La composición de los piroxenos de la matriz es igual a la de los bordes de estos cristales más grandes.

Los clinopiroxenos del gneis muestran la misma composición a los de las eclogitas, aunque los patrones de zonación no están bien definidos.

#### Anfibol

La composición de los anfíboles sódicos en la matriz de las eclogitas y el gneis es glaucófana. Los anfíboles secundarios, producto de la retrogradación de granate y piroxeno son principalmente edenitas silíceas y hornblendas pagasíticas-férricas.

#### Mica blanca

Las micas comprenden principalmente fengita. Solo las micas producidas a partir de la retrogradación de la cianita en las metapelitas, corresponden a paragontia.

#### Clinozoisita

La clinozoisita se encuentra en algunas rocas como cristales grandes que cortan la foliacion. También se encuentra clinozoisita como producto de retrogradación de las eclogitas a partir de granate + clinopiroxeno. Se trata de minerales con alto contenido de Fe.

#### ESTIMACIÓN DE P-T

Para la determinación de la temperatura máximas alcanzadas para las eclogitas se utilizó el termómetro de Krogh Ravna (2000). Las temperaturas para los bordes, sin considerar la reversión de la zonación por retrogradación, del par granate-piroxeno fueron calculadas en 770°C. Para el gneis se determinaron temperaturas similares. Este geotermómetro fue utilizado en conjunto con el barómetro de Holland (1980),

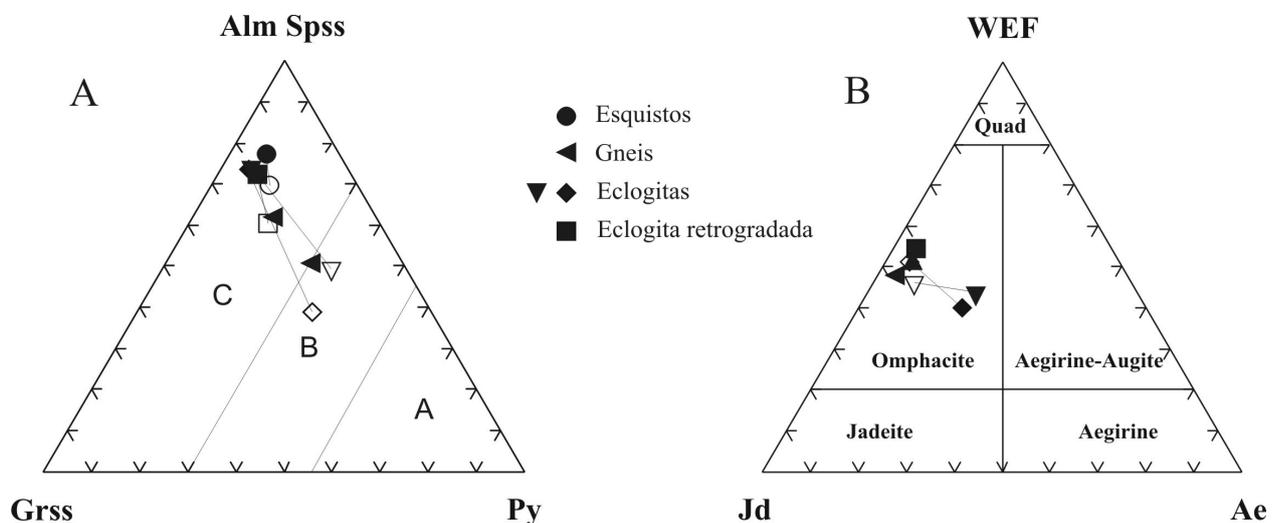


FIGURA 4. Química mineral. A. Clasificación de granates. B. Clasificación de piroxenos. Los símbolos sin relleno representan las composiciones de los bordes. Las líneas unen centros y bordes para los minerales.

basado en la reacción albíta = jadeíta + cuarzo. La ausencia de plagioclasa en la paragénesis indica que estas presiones son mínimas. Los valores obtenidos son 17 kbar para ambos tipos de roca.

Estas condiciones son similares, aunque un poco más altas a las descritas en la Cordillera de la Costa en Venezuela, que se formaron en condiciones de 650 - 700°C y > 15 kbar (Sisson *et al.*, 1997).

## DISCUSIÓN

Las rocas de alta presión reportadas en la Serranía de Jarara, comprenden principalmente eclogitas y gneises posiblemente intercalados, y esquistos cuarzo-fengíticos con granate y cianita. Estas rocas presentan evidencias de crecimiento prógrado en dos fases, dadas por los cambios de textura en los porfiroblastos de cianita en las eclogitas y granate en los esquistos, además del patrón de zonación del granate. Este crecimiento sin-tectónico involucro el paso a través de la facies anfíbolita, registrado por las inclusiones de anfíbol en el granate. Una vez alcanzadas las asociaciones de equilibrio onfacita + granate + cuarzo + rutilo + mica blanca ± cianita para las eclogitas y cuarzo + mica blanca + granate + cianita + rutilo ± apatito para las metapelitas a presiones de 17 kbar y temperaturas de 770°C, hubo posiblemente introducción diferenciada de fluido, que permitió la formación local de glaucofana orientada. Algunas rocas presentan evidencia de un evento no bien caracterizado, pero que sucede en condiciones estáticas que permite la formación de clinzoisita a partir de clinopiroxeno y moscovita. Es posible que el mismo evento produzca la retrogradación de la cianita y la formación de esfena a partir de rutilo.

Finalmente se registra un evento final, de retrogradación a intensa a facies anfíbolita para producir la asociación anfíbol verde + plagioclasa + clinzoisita + mica blanca + esfena para las eclogitas y cuarzo + mica blanca + granate para las metapelitas.

La trayectoria metamórfica retrograda por la facies anfíbolita es característica de terrenos metamórficos de alta presión donde el ascenso y la evolución del complejo de subducción es modificada por la entrada en de algún dominio más boyante a la zona de subduc-

ción que modifica el flujo del prisma acrecional, dando lugar a la descompresión isotermal (Ernst, 1988). La introducción de fluidos podría estar relacionada con el proceso de extrusión del bloque metamórfico, que en su camino de exhumación pudo haberse encontrado y yuxtapuesto rocas metamórficas de relativamente más bajo grado estaban siendo deshidratadas (Wallis, 1998).

La edad mínima para estas rocas está definida por la edad del conglomerado, donde se encuentran fragmentos del stock de Parashi de edad eocena ( $48 \pm 4$  M.a. K-Ar en hornblenda) (Lockwood, 1965) y sus semejanzas con las rocas metamórficas de alta presión descritas en Venezuela por Sisson *et al.* (1997) sugieren una edad Cretácica.

La asociación de metamafitas y rocas de procedencia continental, similares a las descritas en Venezuela (Sisson *et al.*, 1997; Stöckert *et al.*, 1995) sugieren una relación con un prisma de acreción que se generó durante la subducción Cretácica de la placa Caribe y el acercamiento de un posible fragmento continental o de la margen continental Suramericana a la placa del Caribe (Avé-Lallement y Sisson, 2005).

## REFERENCIAS

- Alvarez, W. (1967). Geology of the Simarua and Carpintero area, Guajira Peninsula, Colombia. Ph.D. thesis. Princeton University. 147p.
- Avé-Lallement, H. G.; Sisson, V. B. (2005). Exhumation of eclogites and blueschist in northern Venezuela: Constraints from kinematic analysis of deformation structures, in Avé Lallement, J. G., and Sisson, V. B. eds., Caribbean-South American plate interactions, Venezuela: Geological Society of America Special Paper, 394, pp. 193-306.
- Cardona-Molina, A.; Cordani, U.; MacDonald, W. (2006). Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the Colombian Andes, Caribbean region. Journal of South American Earth Sciences. 21, pp. 337-354.
- Cordani, U. G.; Cardona, A.; Jimenez, D.; Liu, D.; Nutran, A. P. (2005). Geochronology of Proterozoic basement inliers from the Colombian Andes: tectonic history of remnants from a fragmented Grenville belt. In: Vaughan, A. P. M., Leat P. T.,

- Pankhurst, R. J. (eds), Terrane Processes at the Margins of Gondwana. Geological Society of London, Special Publication, 246, pp. 329-346.
- Ernst, G. A. (1988). Tectonic history of subduction zones inferred from retrograde blueschist P-T paths. *Geology*, 16, pp. 1081-1084.
- Green, D. H.; Lockwood, J. P. & Kiss, E., (1968). Eclogite and almandine-jadeite-quartz rock from the Guajira Peninsula, Colombia, South America. *American Mineralogist*, 53, pp. 1320-1335.
- Holland, T. J. B. (1980). The reaction albite=jadeite+quartz determined experimentally in the range 600-1200 °C. *American Mineralogist*, 65, pp. 129-134.
- Krogh Ravna, E. J. (2000). The garnet-clinopyroxene Fe+2-Mg geothermometer: an updated calibration. *Journal of Metamorphic Petrology*, 18, pp. 211-219.
- Lockwood, J. P. (1965). Geology of the Serranía de Jarara area, Guajira Peninsula, Colombia. Ph.D. thesis, Princeton University, 237 p.
- MacDonald, W. D. (1964). Geology of the Serranía de Macuira area, Guajira Peninsula, Colombia. Ph.D. thesis, Princeton University, 167 p.
- Sisson, V. B., Ertan, I. F.; Ave Lallemant, H. G. (1997). High Pressure (~2000 MPa) glaucophane-bearing pelitic schist and eclogite from Cordillera de la Costa belt, Venezuela. *Journal of Petrology*, 38, pp. 65-83.
- Stöckert, B.; Maresch, W. V.; Brix, M.; Kaiser, C.; Toetz, A.; Kluge, R.; Krückhans-Lueder, G. (1995). Crustal History of Margarita Island (Venezuela) in detail: Constraint on the Caribbean plate-tectonic scenario. *Geology*, 23, pp. 787-790.
- Tsujimori, T.; Sisson, V.B.; Liou, J. G.; Harlow, G.E.; and Sorensen, S. S. (2006). Very-low-temperature record in subduction process: a Review of worldwide lawsonite eclogites. *Lithos*, 92, pp. 609-624.
- Villamil, T. (1999). Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and Western Venezuela. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleogeology*, 153, pp. 239-275.
- Zapata, G.; Weber, M.; Cardona, A.; Jiménez, D.; Gómez, J.; Nivia, A.; Wilson, R. (2005). Análisis petrográfico de las rocas de alta presión de la Serranía de Jarara, La Guajira y sus implicaciones tectónicas. X Congreso Colombiano de Geología – Simposio de Geología Regional, pp. 68-69.
- Wallis, S. (1998). Exhuming the Sanbagawa metamorphic belt: the importance of tectonic discontinuities. *Journal of Metamorphic Geology*, 16, pp. 83-95.

---

---

Trabajo recibido: febrero 23 de 2007

Trabajo aceptado: abril 17 de 2007