

Mármoles y granates producto del metamorfismo de contacto, fila Grisera, Osa, Puntarenas, Costa Rica

Marbles and garnets product of contact metamorphism, Fila Grisera, Osa, Puntarenas, Costa Rica

Erick Rodríguez-Hernández^{1*}, Luis G. Obando-Acuña², Stephanie Murillo-Maikut³
y María I. Sandoval³

¹Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Ciencias Geológicas (CICG), San José, Costa Rica

²Consultor independiente, San José, Costa Rica

³Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, San José, Costa Rica

*Autor para contacto: earh94@gmail.com

(Recibido: 30-04-2020; aceptado: 30-05-2020)

RESUMEN: La fila Grisera es una cadena montañosa que forma parte de la fila Costeña ubicada en el pacífico sur de Costa Rica. Esta se conforma por una espesa secuencia sedimentaria de edad Eoceno medio – Oligoceno, que ha sido intruida por cuerpos predominantemente gabroicos de edad Mioceno medio – tardío. Esta investigación reporta el hallazgo de mármoles con granates producto del metamorfismo de contacto entre esos cuerpos plutónicos y las calizas bioclásticas aflorantes en el área, mayoritariamente en el flanco sur de la fila. El estudio contempla la realización de diversas técnicas de caracterización mineralógica, tales como análisis petrográficos y químicos, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido.

Palabras clave: Metamorfismo; mármol; granate; petrografía; microscopía electrónica; difracción de rayos X; fila Grisera.

ABSTRACT: The Fila Grisera is a mountain range that is part of the Fila Costeña located in the southern Pacific of Costa Rica. It is composed of a thick sedimentary sequence of middle Eocene - Oligocene age, which has been intruded predominantly by gabbroic bodies of middle - late Miocene age. In this research we report the discovery of marbles with garnets as a result of the contact metamorphism due to the intrusion of the plutonic bodies into the bioclastic limestones outcropping, mostly in the southern flank of the range. The study comprises various mineralogical characterization techniques such as petrographic and chemical analysis, X-ray diffraction and scanning electron microscopy.

Key words: Metamorphism; marble; garnet; petrography; scanning electron microscopy; X-ray diffraction; Fila Grisera.



INTRODUCCIÓN

Al margen sur del río Grande de Térraba y al norte de la ruta nacional 02 se encuentra la fila Grisera, que se extiende aproximadamente 20 km en dirección noroeste-sureste formando parte del sector central de la fila Costeña (Fig. 1).

Durante los trabajos de campo, se ha observado la existencia de aureolas de metamorfismo de contacto rodeando los cuerpos intrusivos que afloran predominantemente en el flanco sur de la fila Grisera.

El metamorfismo de contacto es el proceso que genera cambios en la mineralogía y textura de la roca circundante debido al aumento de temperatura, inducido por una intrusión ígnea. Este proceso puede ser del tipo térmico o hidrotermal, el primero se debe al calentamiento de la roca circundante por la intrusión de un cuerpo ígneo, mientras que el de tipo hidrotermal está relacionado con las soluciones calientes emanadas por los intrusivos y que modifican la química de la roca intruída (Dana y Hurlbut, 1960; Mckenzie y Adams, 1994). Bucher y Frey (1994) destacan que este proceso metamórfico ocurre a temperaturas que oscilan entre 150°C y 750°C, bajo condiciones de presión litostática de hasta 3 kbar, generando aureolas de metamorfismo que pueden ser de tan solo unos metros hasta unos pocos kilómetros.

Los cambios más importantes producidos por el metamorfismo de contacto ocurren cuando las intrusiones se dan en calizas. Si estas contienen un porcentaje mayor a 95% de minerales carbonatados, dan lugar a la generación de mármoles puros. Por otra parte, si las calizas contienen impurezas tales como arcillas, dolomita, óxidos de hierro, cuarzo o feldespatos, dan lugar a la formación de nuevos minerales, tales como wollastonita, diópsido, corindón, espinela, granate, entre otros (Callegari y Pertsev, 2007; Yardley, 1989).

Alvarado y Gans (2012) han recopilado los principales reportes de metamorfismo de contacto ocurridos en Costa Rica; entre estos, el metamorfismo evidenciado en rocas sedimentarias del Complejo de Nicoya causado por la intrusión de basaltos y gabros; así como la existencia de cornubianitas en los cerros de Escazú, Tapantí, Monterrey, Talamanca, Cerro de la Muerte, Copey de Dota y Tilarán. La mayor parte de estos reportes se refieren a la existencia de aureolas de cornubianitas en los márgenes de cuerpos intrusivos, en donde se han observado minerales metamórficos como granate, cordierita, epidota, wollastonita y recientemente yugawaralita, entre otros (Barrantes, 1991; Kussmaul, 1987; Obando, 1983; Obando y Murillo, 2019; Rivier, 1979; Žáček et al., 2011).

Gursky y Gursky (1989) reportan metamorfismo de contacto en la Península de Nicoya, producto de la interacción de cuerpos intrusivos basálticos con paquetes lenticulares de radiolaritas. Además, señalan que en estas rocas se encuentran cristales diseminados de granate del grupo de la ugrandita, estos granates se observan zonados, idiomórficos y con birrefringencia anómala. Los autores mencionan que la paragénesis encontrada (cuarzo + plagioclasa + granate + clorita) se establece en condiciones de un metamorfismo de baja presión pero necesariamente a temperaturas altas de hasta 500 °C.

Los granates son minerales comunes en contextos metamórficos y en los mármoles el grupo más común es el de la Ugrandita. Este grupo alberga las subespecies uvarovita, grosularia y andradita. La subespecie grosularia presenta cristales idiomórficos, de color blanco, verde, amarillo o pardo y es aún más común en mármoles debido a que los protolitos contienen comúnmente aluminio, siendo este un elemento básico en la composición de la grosularia (Dana y Hurlbut, 1960).

En la fila Costeña, Alvarado y Gans (2012) infieren dos pulsos de intrusiones, el primero corresponde con los cuerpos aflorantes en el sector de Dominical, en donde se han obtenido edades radiométricas de 18-17 Ma. El segundo pulso se asocia con los diques y sills encontrados cerca de Boruca y Puerto Nuevo, de edades entre 15-11 Ma. Este último pulso está relacionado con los cuerpos intrusivos aflorantes en la fila Grisera y fue cartografiado por Mora (1979), quien afirma que de forma general no se produjo ningún tipo de mineralización o alteración en la roca circundante a estos intrusivos. No obstante, describe la existencia de una cornubianita con cristales de cordierita en una muestra de lutitas de la Formación Térraba en contacto con un dique gabroico.

CONTEXTO GEOLÓGICO

En la fila Grisera se encuentra exhumada una secuencia sedimentaria de edad Eoceno medio – Mioceno temprano. Esta secuencia está compuesta por rocas pertenecientes a las formaciones Fila de Cal y Térraba (Dengo, 1960; Henningsen, 1965; Mora, 1979; Phillips, 1983). En este sector también afloran cuerpos intrusivos de la Formación Puerto Nuevo (Fig. 1), cuya edad oscila entre 15 y 11 Ma (Alvarado y Gans, 2012).

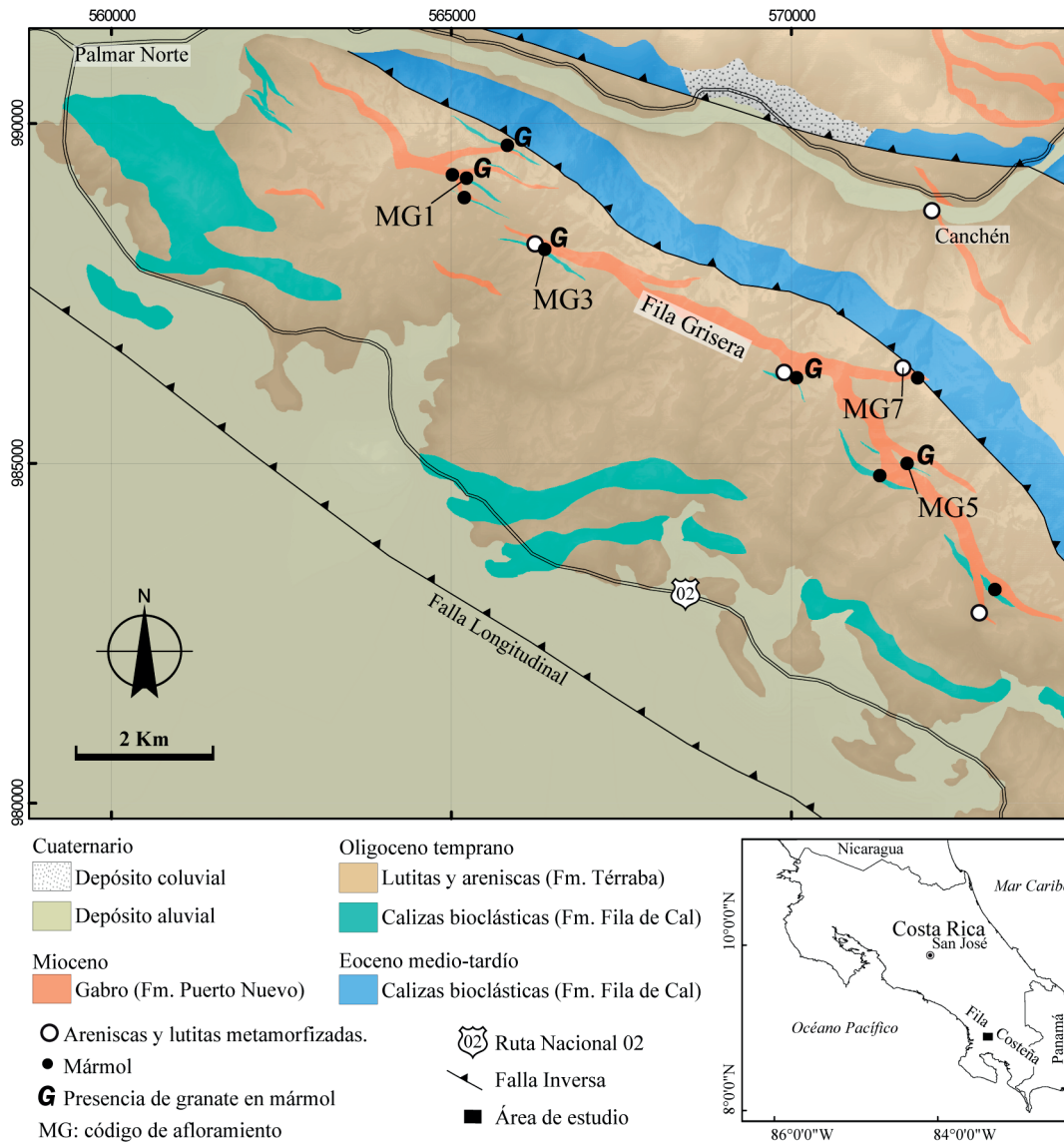


Fig. 1: Mapa geológico de la fila Grisera, modificado de Mora (1979). Se muestran los afloramientos estudiados del metamorfismo de contacto. Sistema de coordenadas CRTM 05. Hoja Topográfica Changuena 3545 del IGNCR.

Dengo (1960) describe la existencia de calizas bioclásticas del Eoceno medio – superior en este sector del país. Mora (1979) en su tesis de Licenciatura describe estas calizas en dos subunidades, una que corresponde con un sistema de plataforma arrecifal y otra unidad detrítica producto de la erosión de la plataforma. Estas calizas pertenecen a la Formación Fila de Cal, nombre introducido por Calvo (1987) en su tesis de licenciatura. Bolz y Calvo (2018) y Bolz et al., (2019) reportan calizas de edad Oligoceno temprano perteneciente al Miembro Palmar Sur de la Formación Fila de Cal.

Varios autores proponen que el Miembro Zapote de la Formación Térraba sobreyace de forma transicional a la Formación Fila de Cal, este miembro consiste en lutitas negras masivas con intercalaciones centimétricas de areniscas finas calcáreas, de edad Oligoceno temprano (Bolz y Calvo, 2018; Mora, 1979).

Las formaciones Fila de Cal y Térraba se encuentran intruidas por cuerpos plutónicos de composición predominantemente gabraica pertenecientes a la Formación Puerto Nuevo, que fue definida por Dengo (1962) y recientemente datada del

Mioceno medio-tardío (Gazel et al., 2009; Mc Milan et al., 2004). Mora (1979) presenta la distribución de estos cuerpos plutónicos dentro de la fila Grisera.

Con el trabajo de campo se detalló la geología de la fila Grisera, en donde se observa que el metamorfismo de contacto se encuentra predominantemente entre las formaciones Puerto Nuevo y Fila de Cal (Miembro Palmar Sur). Es común observar este metamorfismo en el flanco sur de la fila Grisera, sin embargo, también es posible encontrarlo en la desembocadura de la quebrada Canchén (Fig. 1).

METODOLOGÍA

El trabajo de campo consistió en la descripción y toma de fotografías de los afloramientos así como la recolección de muestras de roca metamorfizada en cada sitio. En el Laboratorio de Petrografía de la Escuela Centroamericana de Geología, se elaboraron 10 secciones delgadas de muestras obtenidas en las localidades mostradas en la figura 1 y se pulverizó parte de la muestra que tiene mayor abundancia de granates. Con la roca pulverizada, se procedió a la eliminación de la fracción más fina al aplicar ácido clorhídrico al 10% de concentración (HCl 10%) para disolver el carbonato de calcio (CaCO_3) y concentrar los minerales silíceos presentes en la muestra. Dichos cristales fueron posteriormente extraídos del residuo.

Las 10 secciones delgadas de roca fueron estudiadas utilizando un microscopio de luz polarizada Nikon Eclipse LV100N Pol y cámara Nikon Ds-Fi2. Por otra parte, los cristales extraídos de la muestra MG5 se analizaron de dos formas:

1) Mediante la captura de imágenes de alta resolución y análisis de composición elemental (Aluminio, Oxígeno, Calcio y Silíce) en las superficies de tres cristales distintos, utilizando un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) modelo *Hitachi S-3700n* que cuenta con un detector de energía dispersiva *IXRF Systems*, propiedad del Centro de Investigaciones en Estructuras Microscópicas (CIEMic) de la Universidad de Costa Rica.

2) A través del análisis de difracción de rayos X (DRX), realizado con un difractómetro *PANalytical* modelo *Empyrean* propiedad del Centro de Investigación y Extensión en Materiales (Ciemtec) del Instituto Tecnológico de Costa Rica. El equipo cuenta con el *Software Data Collector* para la adquisición de datos y para el análisis de los difractogramas utilizó el software *HighScore Plus*.

Finalmente, se utilizó el escáner marca *OPTIKA Microscopes Italy* del Centro de Investigación en Ciencias Geológicas para la obtención de imágenes de secciones delgadas.

RESULTADOS

El metamorfismo de contacto observado en la fila Grisera se produce de la interacción entre cuerpos intrusivos gabroicos con la secuencia sedimentaria de las formaciones Fila de Cal y Térraba.

Las rocas intrusivas presentan textura fanerítica porfirítica de grano medio-fino, con cristales de plagioclasa y piroxeno de hasta 4 mm. Hacia los márgenes de la intrusión, es común observar granulometrías aún más finas. Estos gabros están arenitizados debido a la intensa meteorización (Figura 2, A-B) y dificulta la observación de roca sana en los sitios de contacto.

La secuencia sedimentaria que presenta metamorfismo de contacto se compone de intercalaciones centimétricas y decimétricas de lutitas y areniscas calcáreas y paquetes métricos de caliza bioclástica estratificada, con alto contenido de algas y macroforaminíferos.

Las areniscas y lutitas (figura 2, C) corresponden con volcarenitas, limolitas y arcillolitas, presentan entre 1% y 5% de contenido calcáreo, son de color gris oscuro y esporádicamente contienen microforaminíferos. Cuando estas litologías se encuentran metamorfizadas, presentan un marcado endurecimiento (figura 2, C) y bandeamiento oscuro milimétrico.

Por otra parte, el protolito de los mármoles son paquetes de grainstones bioclásticos bien estratificados, ricos en algas rojas y macroforaminíferos, con porcentaje variable de siliclastos presentes.

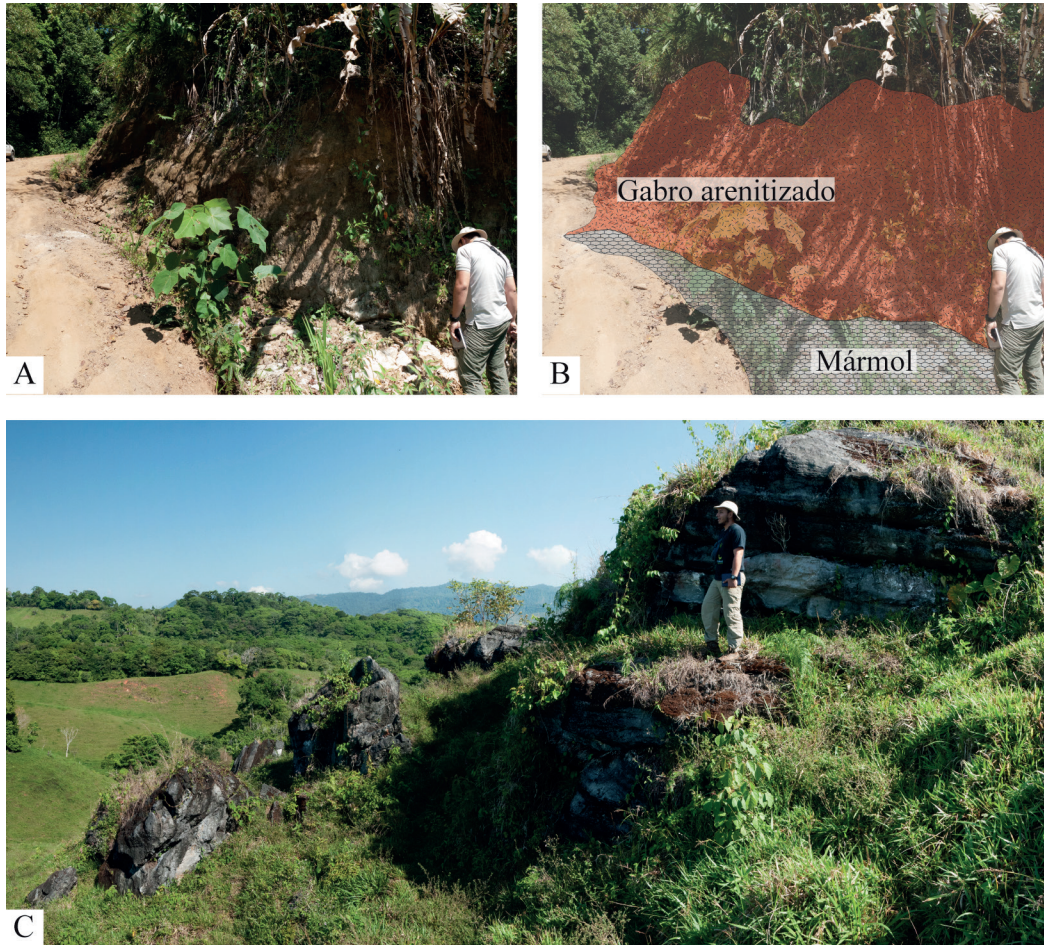


Fig. 2: Afloramientos de roca con alteración por metamorfismo de contacto. A y B) Afloramiento MG1: Contacto entre cuerpo intrusivo gabroico arenitizado y mármoles, cuyo protolito es un grainstone bioclástico. C) Aspecto general de afloramientos de areniscas calcáreas estratificadas, recrystalizadas y endurecidas. Afloramiento MG7.

Petrografía macroscópica

Los mármoles son de color blanco, en ocasiones presentan tonalidades de amarillo, gris y violáceo. Estos mármoles se encuentran aflorando con aspecto masivo, presentan laminaciones centimétricas y decimétricas tabulares, muy endurecidos y con cortezas de meteorización escasa (figura 3, A y B). En algunos casos se observa textura granoblástica sacaroidea producto de la recrystalización de los macroforaminíferos y algas (figura 3, C y D parte superior), además, se observan fábricas relictas como laminación paralela planar y ondulada discontinua (figura 3, E). Algunas muestras presentan superficies en las que se distingue una matriz fina blanquecina o gris con agregados cristalinos, no determinables a simple vista, muy finos de aspecto moteado gris oscuro y blanco grisáceo (figura 3, F).

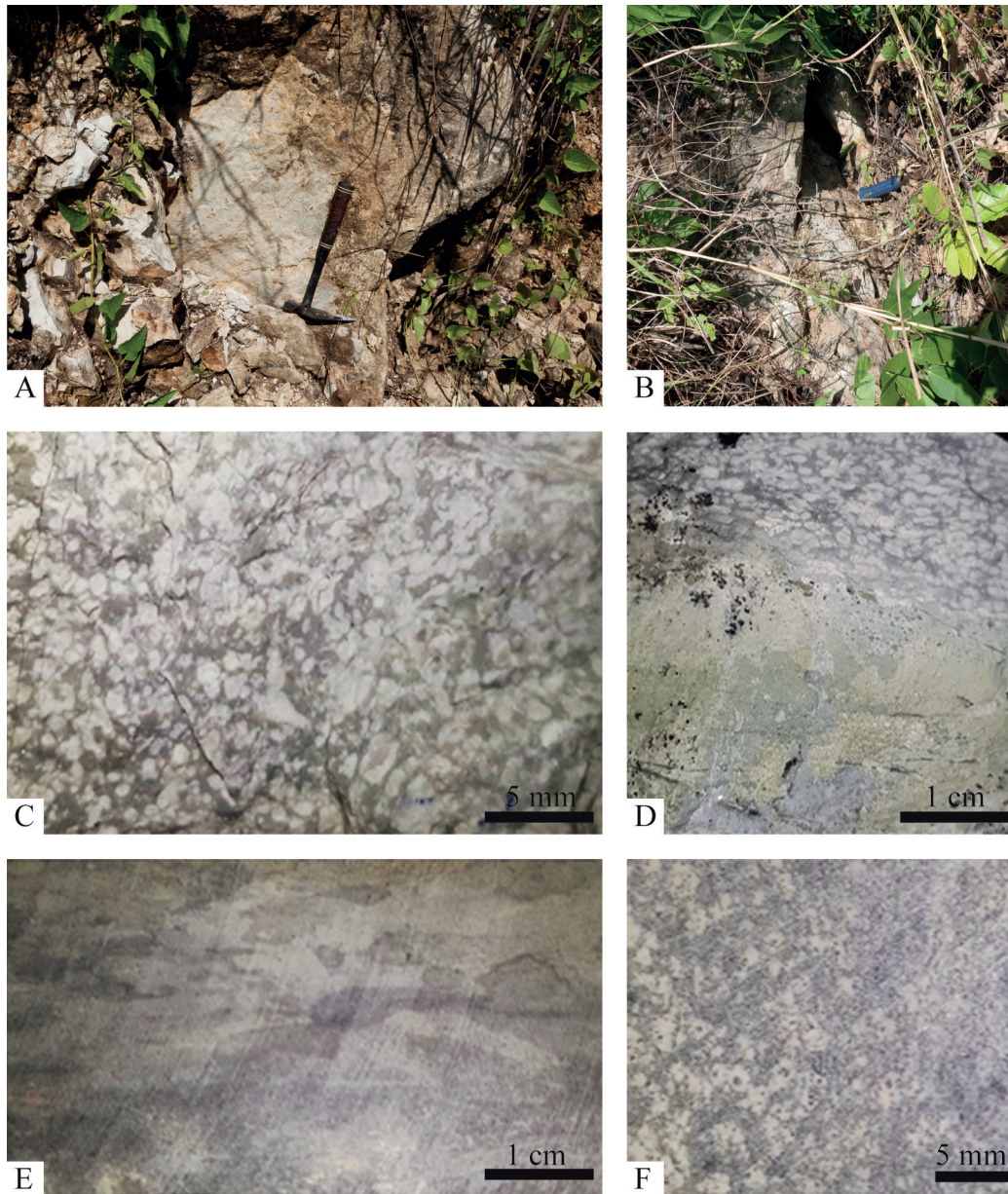


Fig. 3: Mármoles producto del metamorfismo de contacto. A) Sitio MG1: Aspecto de los afloramientos de mármoles. B) Afloramiento MG3: mármoles color blanco amarillento. C) Muestra MG1: Superficie de mármol con aspecto granoblástica nodular muy fina, producto de la recrystalización de macroforaminíferos y algas. D) Muestra MG1: se muestra el cambio en la textura producto de la laminación relictas y abundancia en el contenido fosilífero recrystalizado. E) Muestra MG5, Fábrica relictas: laminación paralela planar ondulada discontinua; el rayado curvo, es efecto del corte de la roca. F) Muestra MG3: Agregado cristalino muy fino de aspecto moteado gris oscuro y blanco grisáceo.

Petrografía microscópica

Los mármoles tienen una textura granoblástica sacaroidal, contienen cristales de calcita y granate (figura 4, A, B y C), son heterogranulares, esto es, porfiroblastos de calcita y granate englobados en una masa fina. La calcita por lo general tiende a ser sacaroidal xenoblástica y localmente porfiroblástica xenoblástica (aproximadamente 0,7 mm de largo, Ca en Fig. 4A), algunas veces es posible observar la exfoliación romboédrica y granos con contactos suturados (Fig. 4 B). Mientras que los granates (variedad grosularia, Fig. 4), tienen una abundancia máxima 60% aproximadamente, con un diámetro promedio de 0,15 mm, ideoblásticos a hipidioblásticos hexagonales con birrefringencia anómala azulada (Fig. 4, E, F), de relieve muy alto (Fig. 4G), con maclado y zonación radial (figura 4, E, F y H). Como fábrica relictas, solo se observan siluetas groseras de macroforaminíferos recristalizados (Fig. 4A).

Microscopía electrónica de barrido (MEB)

Mediante la microscopía de barrido se observaron formas de dodecaedros y trapezoedros en los cristales de grosularia. Las dimensiones de estos cristales varían desde 150 hasta 200 micrómetros de longitud del eje largo. Además, los cristales idiomórficos contienen superficies lisas y aristas bien definidas.

Los análisis de composición elemental indican valores porcentuales de la subespecie grosularia, cuya fórmula química es $(\text{SiO}_4)_2\text{Al}_2\text{Ca}_3$ (Dana y Hurlbut, 1960; Cuadro 1).

Difractometría de rayos X (DRX)

La figura 6 muestra los picos de intensidad obtenidos para los cristales de grosularia de la muestra MG5, siendo los más importantes los cercanos a 30°, 33°, 47° y 58°. Además, este análisis determinó que estos cristales pertenecen al grupo cristalográfico 1a3d en el sistema isométrico.

Cuadro 1

Composición elemental promedio de los tres cristales de grosularia.

Análisis	Valor porcentual de cada elemento			
	Si	O	Ca	Al
Cristal 1	27,076	35,940	24,890	12,094
Cristal 2	36,942	36,737	9,264	17,057
Cristal 3	51,360	31,841	7,195	9,604
Valor promedio	38,459	34,839	13,783	12,918

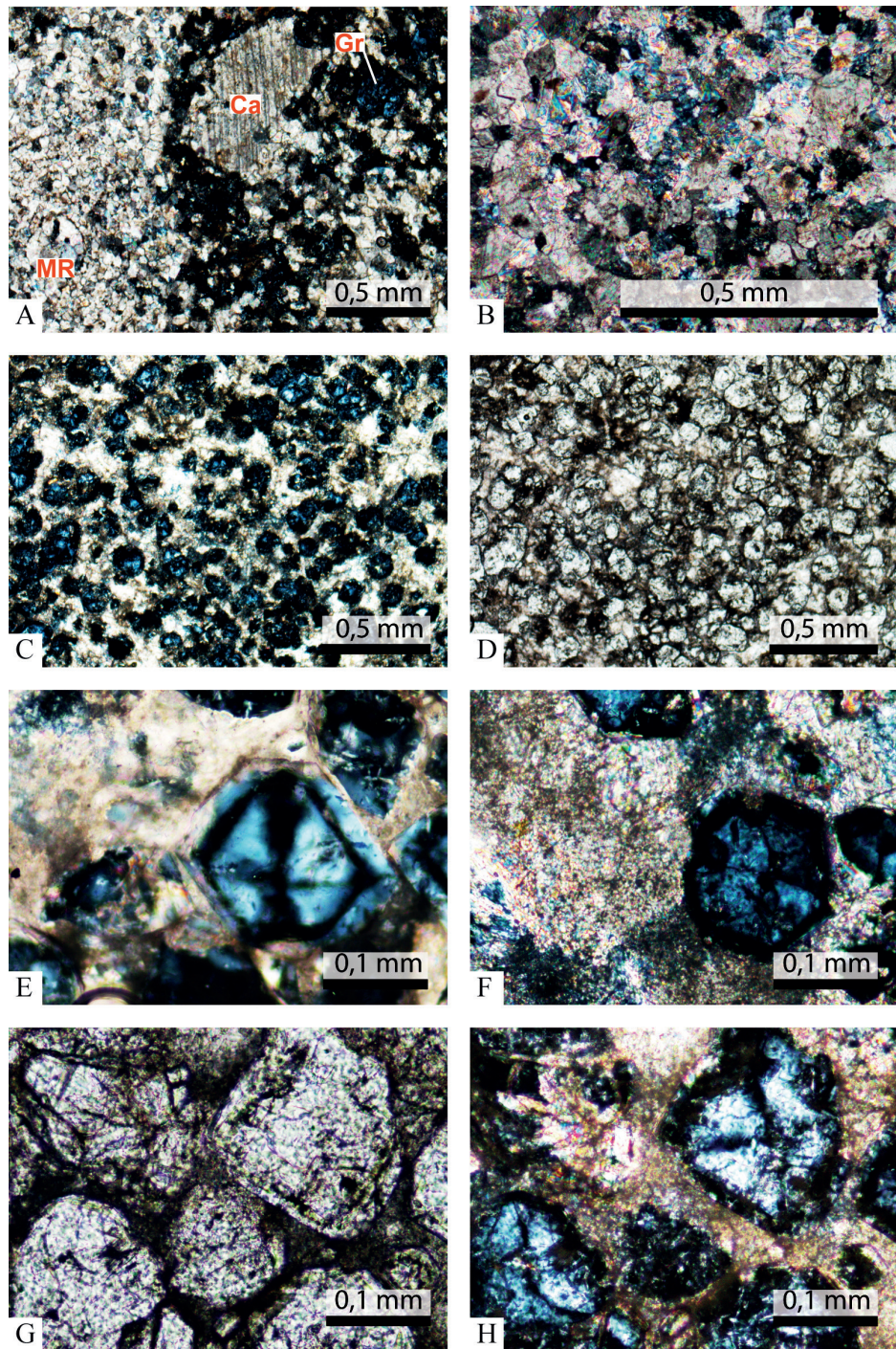


Fig. 4: Fotografías de mármoles y granates en sección delgada. A) Muestra MG1, (Nx): Silueta de macroforaminífero totalmente recrystalizado con microesparita granoblástica (MR), fenoblasto de calcita (Ca) y cristal de grosularia idioblástica (Gr). B) Muestra MG1, (Nx): Textura granoblástica sacaroidal en cristales finos de calcita, localmente suturados xenoblásticos. C-D) Muestra MG5, (C:Nx y D:Np): Abundancia de granoblastos sacaroidales de grosularia englobados por un cemento esparítico muy fino. E-F) E: Muestra MG5 (Nx) y F: Muestra MG3 (Nx): Cristales idioblásticos a hipidioblásticos de grosularia, con birrefringencia anómala azulada. G) Muestra MG5 (Np): Grosularia granoblástica con relieve alto. H) Muestra MG5 (Nx): Grosularia hipidioblástica con maclas y zonación radial con birrefringencia azulada anómala englobados en calcita microesparítica.

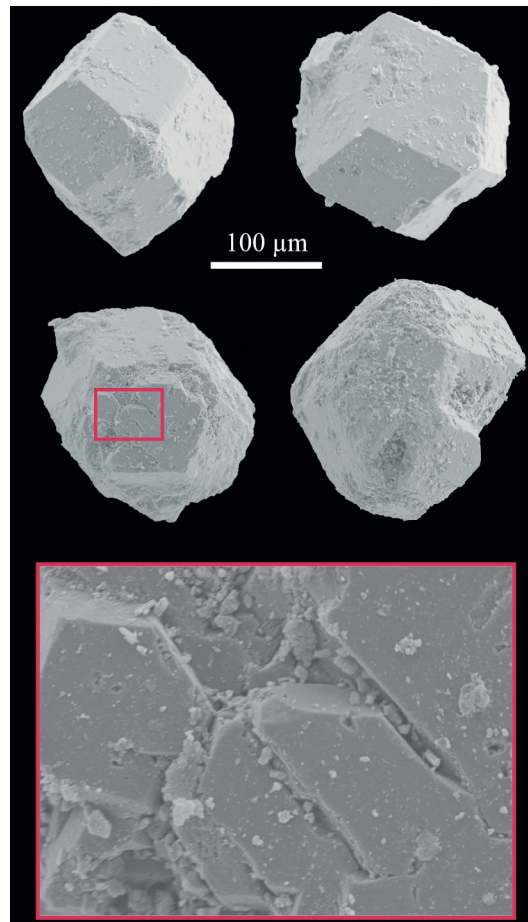


Fig. 5: Fotografías MEB de cristales idiomórficos de grosularia. Enmarcado en rojo se observa en detalle de la estructura de un cristal.

CONCLUSIONES

Se reporta por primera vez la existencia de mármoles y granates producto de metamorfismo de contacto en la fila Grisera. Las aureolas de metamorfismo se pueden observar en quince distintas localidades, sin embargo, solo en diez de estos afloran mármoles. De estos mármoles, cinco contienen granates de la subespecie grosularia.

El protolito de los mármoles estudiados corresponde con calizas bioclásticas impuras de la Formación Fila de Cal.

Con los análisis petrográficos y químicos se determinó que los granates son del grupo ugrandita (subespecie grosularia). La fórmula química de la grosularia es $\text{Ca}_3\text{X}_2(\text{SiO}_4)_2$ ($\text{X} = \text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe}$).

En la zona de estudio, el metamorfismo de contacto es del tipo térmico, pues no se observa abundancia ni diversidad de minerales metamórficos generados con elementos que el protolito no contiene.

Los granates son el producto de la alteración de algunas impurezas contenidas originalmente en la caliza, tales como arcillas y óxidos de hierro.

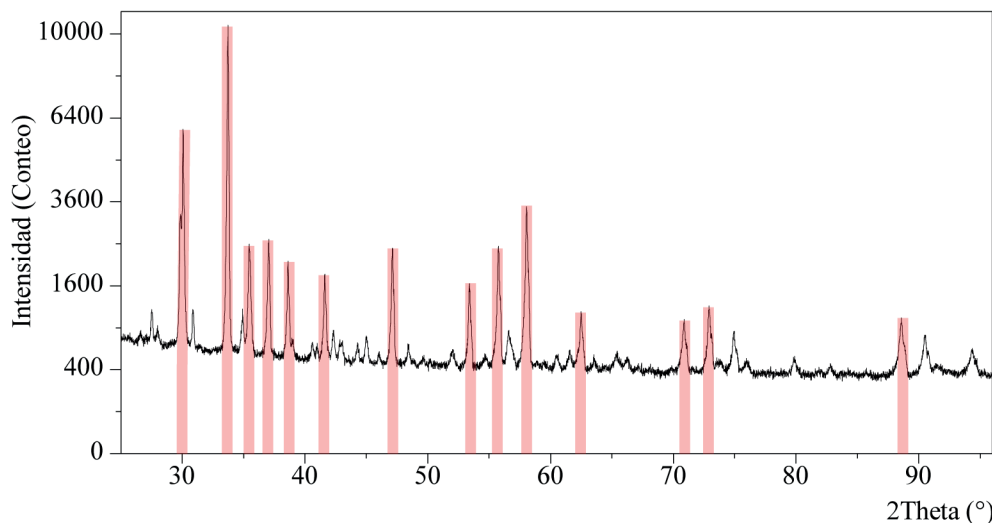


Fig. 6: Patrón de difracción de rayos X (DRX) de grosularia, muestra MG5. Las barras resaltan los picos de intensidades que describen la grosularia.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro de Investigación en Ciencias Geológicas el apoyo brindado durante esta investigación, realizada en el marco del proyecto 830-B0-242. Al Dr. Valentin Chesnel por el acompañamiento durante el trabajo de campo y a los señores Jairo García y Ramiro García de la Escuela Centroamericana de Geología por la colaboración durante el procesamiento de las muestras. Finalmente, agradecemos las valiosas observaciones y correcciones realizadas por los señores Dr. Siegfried Kussmaul y Geol. Manuel Barrantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, G. E., y Gans, P. B. (2012). Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. *Revista Geológica de América Central*, 46, 7-122. doi: 10.15517/rgac.v0i46.1836
- Barrantes, M. (1991). Comentarios petrográficos de algunas rocas aflorantes en la región Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 12, 75-82.
- Bolz, A., y Calvo, C. (2018). Carbonate platform development in an intraoceanic arc setting: Costa Rica's largest limestone sequence - The Fila de Cal Formation (Middle Eocene to Lower Oligocene). *Revista Geológica de América Central*, 58, 85-114. doi: 10.15517/rgac.v58i0.32845
- Bolz, A., Calvo, C., Denyer, P., Aguilar, T., Alfaro, A., Chesnel, V., y Rodríguez, E. (2019). *Microfacies, Larger Benthic Foraminiferal Assemblages, and Age Determinations of Eocene and Oligocene Limestone Samples from the Fila de Cal and Terraba Formations, Southern Costa Rican Forearc - Data Reports*. Mendeley Data, v1. doi: 10.17632/9z92cj7vx6.1
- Bucher, K., y Frey, M. (1994). *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Berlin: Springer
- Callegari, E., y Pertsev, N. (2007). *Contact metamorphic rocks*. IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks (SCMR). Recuperado de <https://www.bgs.ac.uk/downloads/browse.cfm?sec=17&cat=238>

- Calvo, C. (1987). *Las calizas neríticas de la vertiente pacífica del norte de Costa Rica y sur de Nicaragua: épocas y sistemas asociados a la apertura y evolución del margen convergente de la América Central meridional* (Tesis de licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Dana, J., y Hurlbut, C., (1960). *Manual de mineralogía de Dana*. Barcelona: Reverté.
- Dengo, G. (1960). Notas sobre la geología de la parte central del litoral Pacífico de Costa Rica. *Informe Semestral del Instituto Geográfico Nacional* (Julio-Diciembre), 46-63.
- Dengo, G. (1962). *Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica*. San José: Instituto Geográfico Nacional.
- Gazel, E., Carr, M. J., Hoernle, K., Feigenson, M. D., Szymanski, D., Hauff, F., y Van Den Bogaard, P. (2009). Galapagos-OIB signature in southern Central America: mantle refertilization by arc-hot spot interaction. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(2), 1-32. doi: 10.1029/2008GC002246
- Gursky H. J., y Gursky M. M. (1989). Thermal alteration of chert in the ophiolite basement of Southern Central America. En Hein J. R., y Obradović J. (eds), *Siliceous deposits of the Tethys and Pacific Regions* (pp. 217-233). New York: Springer. doi: 10.1007/978-1-4612-3494-4_14
- Henningsen, D. (1965). *La Fila Costeña del Pacífico en Costa Rica y su posición dentro del sistema montañoso centroamericano meridional*. San José: Dirección de Geología Minas y Petróleo, Ministerio de Industria y Comercio.
- Kussmaul S. (1987). Petrología de las rocas intrusivas neógenas de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 7, 83-11.
- MacKenzie, W., y Adams, A. (1994). *A colour atlas of rocks and minerals in thin section*. Londres: Mason.
- MacMillan, I., Gans, P. B., y Alvarado, G. (2004). Middle Miocene to present plate tectonic history of the southern Central American Volcanic Arc. *Tectonophysics*, 392(1-4), 325-348. doi: 10.1016/j.tecto.2004.04.014
- Mora, S. (1979). *Estudio geológico de una parte de la región sureste del Valle del General, Provincia de Puntarenas, Costa Rica* (Tesis de licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Obando, L. G. (1983). *Estratigrafía y petrografía de las rocas aflorantes al sur del Valle Central (Tarbaca)* (Tesis de licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Obando, L. G., y Murillo, S. (2019). Ocurrencia de yugawaralita (zeolita) en Copey de Dota, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 61, 121-130. doi: 10.15517/rgac.v61i0.40091
- Phillips, P. J. (1983). *Stratigraphy, sedimentology and petrologic evolution of Tertiary sediments in southwestern Costa Rica* (Tesis de maestría inédita). Louisiana State University, Bâton-Rouge, Louisiana, Estados Unidos.
- Rivier, F. (1979). *Geología del área norte de los Cerros de Escazú, Cordillera de Talamanca, Costa Rica*. San José: Instituto Geográfico Nacional.
- Yardley, B. (1989). *An introduction to metamorphic petrology*. Leeds: Longman.
- Žáček, V., Janoušek, V., Ulloa, A., Košler, J., Huapaya, S., Mixa, P., Vondrovicová, L., Alvarado, G.E. (2011). The Late Miocene Guacimal pluton in the Cordillera de Tilarán, Costa Rica: its nature, age and petrogenesis. *Journal of Geosciences*, 56(1), 51-79. doi: 10.3190/jgeosci.087