

Las calderas de Molejón, Santa Clara y Flores, Costa Rica

Jean Pierre Bergoeing*
Luis Guillermo Brenes**
Mario Fernández***

Abstract

The authors state of several volcanic structures of the Central volcanic chain, unknown to date, on the north side of Barva and Irazú volcanoes.

Key words: *Collapsed caldera, Explosion caldera, Rim, Pleistocene, Holocene.*

Resumé

Les auteurs font état de plusieurs structures volcaniques de la Chaîne volcanique Centrale, inconnues à ce jour, sur le versant nord des volcans Barva et Irazú.

Mots clés: *Caldeira de collapse, caldeira d'explosion, rim, Pleistocene, Holocene.*

Resumen

Los autores señalan la presencia de estructuras volcánicas desconocidas hasta ahora en la Cordillera Volcánica Central, en la vertiente norte del volcán Barva y del Irazú.

Palabras clave: *Caldera de colapso, caldera de explosión, rim, Pleistoceno, Holoceno.*

Introducción

La vertiente norte del edificio volcánico del Barva está formada en su parte occidental por el cono volcánico del Cacho Negro que alcanza 2,150m de altitud. En las vertientes sur y norte de este volcán se sitúan respectivamente dos estructuras de calderas de colapso, la de Molejón y la de Santa Clara, dichas estructuras han pasado desaperci-

* Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, correo electrónico: jegadana@gmail.com

** Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, correo electrónico: lgbrenes@yahoo.com

*** Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, correo electrónico: mario.fernandezarce@ucr.ac.cr

bidas hasta ahora sencillamente por la dificultad de acceso al lugar y la densa vegetación tropical. Sin embargo las imágenes aéreas y satelitales radar han permitido identificar estos centros de emisión volcánica que a simple vista son jóvenes (Pleistoceno superior-Holoceno), ya que a pesar de la intensa erosión en medio tropical de montaña sus formas estructurales se han conservado.

Dicho estudio, realizado por la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica, busca conocer mejor la conformación y evolución de la Cordillera Volcánica Central y permitir a otros investigadores profundizar en dichos temas de estudio.

Hasta el momento, las visitas en terreno y los reconocimientos aéreos en un área casi impenetrable han permitido identificar la estructura caldérica de Molejón, situada entre el cono Gongolona del Barva y el cono del Cacho Negro. Es una estructura en parte sepultada por los depósitos volcánicos más recientes del Góngora y del Cacho Negro y solo queda el remanente de su rim en el sector este. La estructura de Santa Clara descansa sobre una meseta volcánica estructural que se extiende al norte del Cacho Negro y presenta una depresión caldérica seguida de dos, como probablemente poscolapso. Finalmente, más al este y separada por el río Chirripó emerge la caldera de colapso de Flores.

Marco tectónico

La zona de estudio es parte de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica, la cual se encuentra en lo que morfológicamente se denomina el Arco Interno costarricense. Dicha cordillera está limitada por las cuencas de Limón Norte y San Carlos, las cuales son parte del área tras-arco de Costa Rica. El rasgo tectónico más relevante para esta investigación es el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP), que se extiende desde las costas colombo-venezolanas hasta el interior del territorio costarricense (Soulas, 1989). Este rasgo de sobrecorrimiento, originado por la convergencia entre la placa Caribe y el Bloque de Panamá, no está completamente relacionado con una zona de subducción bien desarrollada, aunque Camacho *et al.* (2010), propusieron que dicho cinturón es una zona de subducción bien definida. Este cinturón deformado puede explicarse por un movimiento de bloques dentro de la Placa Caribe. La sismicidad recientemente registrada al norte del centro de Panamá asociada con la convergencia entre la Placa Caribe y el bloque de Panamá, muestra que los temblores de esta región pueden alcanzar más de 70km de profundidad (Fernández *et al.*, 2007).

De acuerdo con Soulas (1999), la falla Siquirres-Matina es la continuación del CDNP en territorio costarricense. Ella está caracterizada por relieve topográfico alto con terrazas levantadas, profundos y estrechos valles fluviales en gran parte de su longitud (Soulas, 1989). Es una falla inversa de 80km que se extiende de sureste a noroeste por casi toda la longitud de las llanuras caribeñas de Costa Rica, marcando

claramente el límite entre los flancos de las cordilleras Volcánica Central y Talamanca y tales llanuras. Linkimer (2003) la extiende hasta Aguas Zarcas de San Carlos (fuera de la zona) para una distancia total de 150km. Esta falla limita el centro de emisión volcánica Flores.

Elementos geológicos de interés para el presente estudio son la Cordillera Volcánica Central (CVC) y el Arco Volcánico de Sarapiquí. La CVC es una cadena de estratovolcanes andesíticos orientada hacia el noroeste, paralela a la Fosa Mesoamericana. Consiste de cuatro macizos —Poás, Barva, Irazú, Turrialba— y varios conos piroclásticos asociados a los volcanes principales. Cubre un área de 5,150km² y su máxima elevación es el volcán Irazú con 3,453m. Estos volcanes del Cuaternario se desarrollaron sobre un basamento Terciario. La actividad volcánica actual de sus edificios inició en el Cenozoico tardío, consiste en emisiones fumarólicas y lagos intracratéricos calientes.

Astorga *et al.* (1991) definieron el Arco de Sarapiquí e indican que es el límite oeste de la Cuenca de interarco (“rift”) de San Carlos; según estos autores dicho arco registra actividad volcánica pre-Plioceno, y probablemente representa un arco volcánico remanente. Gazel *et al.*, 2005, indicaron que el Arco de Sarapiquí (22.2-11.4Ma) representa un segmento del arco magmático del Mioceno de Costa Rica, cuyas asociaciones magmáticas varían desde basaltos a riolitas. Según ellos, el arco miocénico costarricense está conformado por los arcos Aguacate y Coyol-Talamanca cuyos ejes están separados por un salto de 30°, que posiblemente responde a variaciones del ángulo de la placa subducida y coincide con la ruptura de la placa *detached slab* a niveles mantélicos, la cual habría provocado levantamientos epirogénicos y variaciones espaciales del vulcanismo de América Central (Rogers *et al.*, 2002).

Lipman, (Calderas, pp. 643-662, 1999) genera en su interesante artículo un conjunto de explicaciones plausibles sobre el origen de algunos aparentes rasgos geomórficos de las calderas. En realidad trata de consolidar una serie de hipótesis posibles para explicarlos y dudar de lo que se observa inmediatamente. Sin embargo, el autor explica que no hay muchos estudios precisos sobre los procesos que originan la subsidencia, pero que esta podría ser de varios tipos.

De todas maneras, existen indicadores preliminares válidos para asociar a estas depresiones en los campos volcánicos descritos que aquí se consideran como calderas, dentro del grupo de relieves volcánicos recientes. Lo que se está planteando, de todos modos, son hipótesis previas sobre rasgos de la superficie terrestre que no han sido descritos de una manera aceptable para la ciencia y el conocimiento geográfico actual del relieve costarricense.

El trabajo de indagación geológica y geomorfológica ha avanzado mucho en Costa Rica, pero aún hay grandes lagunas sobre la composición y origen de los relieves en

los complejos volcánicos Cuaternarios y del Plioceno, y existen muchos de ellos que todavía no han sido abordados; este trabajo intenta llevar a la discusión abierta estos temas que hoy son el origen de alguna polémica.

Por ejemplo, en lo que concierne las calderas de Flores y de Molejón sin duda alguna son calderas de colapso, en cuanto a la de Santa Clara no hay realmente evidencias fehacientes como para decir que el evento volcánico fue de colapso y bien podría tratarse de una topografía asociada a un evento eruptivo del tipo “caldera de explosión”. Para ello se necesitará mayor información de terreno, análisis de muestras y dataciones.

La caldera de colapso de Molejón

Situada entre el cono del cerro Gongolona (2,560m) y el cono del volcán Cacho Negro (2,150m) la depresión caldérica alcanza los 1,500m de altitud y en su centro existe una laguna de origen pluvial. La Caldera está seccionada por los cauces de los ríos Sardinal y Molejón que transcurren en su centro y que son los afluentes principales del río Puerto Viejo, cuya naciente principal se sitúa en la depresión volcánica más al sur. Igualmente, la caldera está deformada por una falla normal de rumbo NNE-SSE donde transcurre la mencionada naciente del río Puerto Viejo. Se puede afirmar que esta estructura volcánica es anterior a los episodios que construyeron los conos del Cacho Negro y del Gongolona puesto que las lavas de estos dos conos sepultan gran parte de la estructura caldérica pero que sin embargo, los testimonios que marcan su evidencia, están conformados por el rim norte donde se enmarca el río Sardinal y el rim sur entallado por el río General.

La caldera de Santa Clara

Situada aproximadamente a 10° 13' de latitud N y 83° 58' de longitud W, a unos 6km al norte del cono del Cacho Negro se presenta como una estructura formada por una meseta volcánica estructural de unos 700m de altitud en cuyo interior están los vestigios de dos conos volcánicos probablemente poscolapso, muy erosionados y en cuyo centro nace el río Santa Clara que forma un profundo cañón. Son viejos relictos volcánicos que deben remontarse al Pleistoceno medio a superior. En el sector de fincas situadas más al norte y entre el río Santa Clara y el río San José, igualmente existe una serie de cráteres tapizados principalmente por rocas dacíticas.

Esta vieja estructura de Santa Clara marca los inicios de la elevación de la Cordillera Volcánica Central y se sitúa en un alineamiento volcánico septentrional donde se inscribe la Caldera de Flores más al oeste. Igualmente en este alineamiento se sitúan la caldera de Hule y el gasmaar de río Cuarto y los conos volcánicos de Aguas Zarcas por lo que podría tratarse de una fase neo-volcánica.

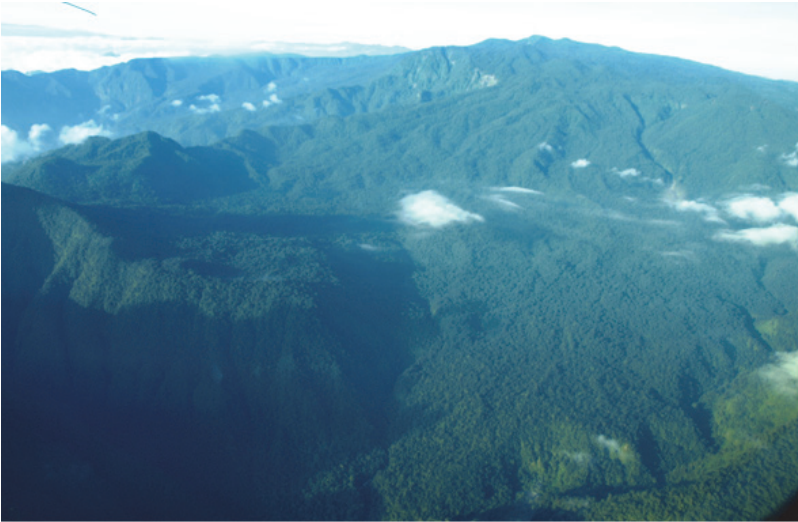


Figura 1. Caldera de Molejón con su depresión abierta hacia el oeste, entre la vertiente norte del volcán Barva y las estribaciones del volcán Cacho Negro en primer plano. Es una estructura Pleistocénica anterior a la formación de los conos modernos del Gongolona y del Cacho Negro que sepultan parte de la estructura más antigua (fotografía aérea oblicua: J.P. Bergoing, 2012).



Figura 2. Doble cascada de unos 100 metros de caída libre cada una, del río Puerto Viejo a los pies del cono abierto hacia el oeste del volcán Cacho Negro (fotografía aérea oblicua: J.P. Bergoing, 2012).



Figura 3. Caldera de Santa Clara abierta por la erosión profunda del río Santa Clara (fotografía aérea oblicua: J.P. Bergoeing, 2012).



Figura 4. Río Puerto Viejo en crecida pospluvial debido a sus numerosos afluentes aguas arriba y particularmente el río Sardinal que nace en la caldera de Molejón (fotografía: J.P. Bergoeing, 2012).

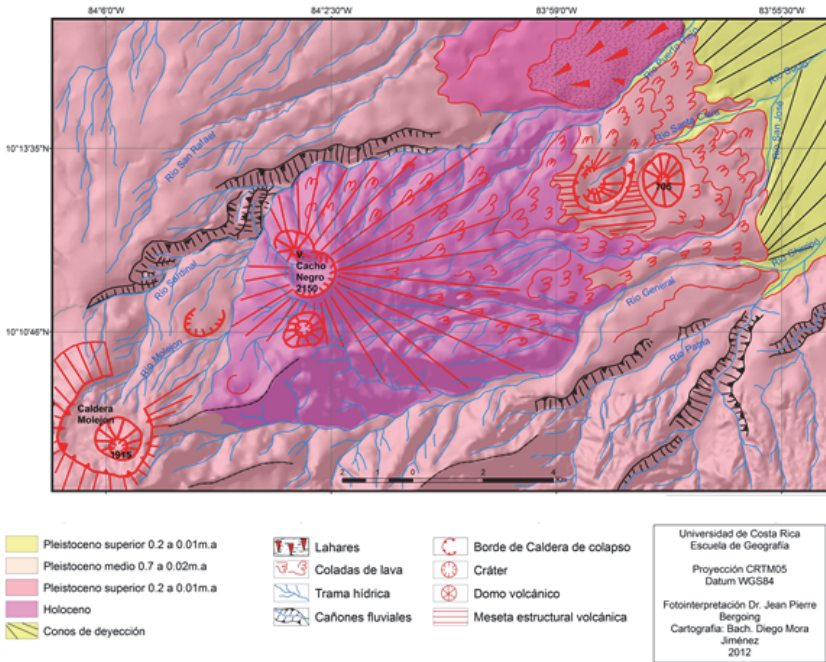


Figura 5. Área volcánica de las calderas de Molejón y Santa Clara y cono destruido Holoceno del volcán Cacho Negro (fotointerpretación geomorfológica satelital radar: J.P. Bergoeing, 2012).



Figura 6. Caldera de Flores, en primer plano carretera a Guápiles y río Chirripó. La carretera coincide con la falla inversa que presiona la estructura volcánica donde solo algunos domos andesíticos emergen erosionados por los ríos que en ella nacen (fotografía aérea oblicua de J.P. Bergoeing, 2012).

El complejo volcánico de Flores

Esta tercera estructura volcánica, predominantemente andesítica, está formada por una caldera, muy erosionada en cuyo interior nace el río Flores. Al norte está bordeada por la falla inversa Siquirres-Matina que ha solevantado el borde externo del rim. Al interior de la caldera quedan los remanentes muy erosionados de dos conos poscolapso cuyas altitudes no sobrepasan los 364m. La caldera está conformada por un relieve multiconvexo que denota una profunda alteración *in situ* de las andesitas y por deslizamientos de terreno que se disponen en forma concéntrica. Al oeste de la caldera y separado por el río Corinto se presenta otra estructura volcánica igualmente muy erosionada con restos de planezes y cuyo centro está surcado por el río Molinete que forma meandros sobreimpuestos o encajonados y profundos que explotan las zonas más débiles de la estructura volcánica. Esta estructura está separada de la caldera de colapso de Flores no solamente por el río Corinto sino igualmente por dos fallas; una de rumbo NNW-SSE y otra NNE-SSW, que ejercen un notable control estructural del cauce de este río. Al sur, la caldera está bordeada por las últimas coladas de lava del complejo Irazú y al este por una serie de conos de deyección laháricos donde nace el río Costa Rica.

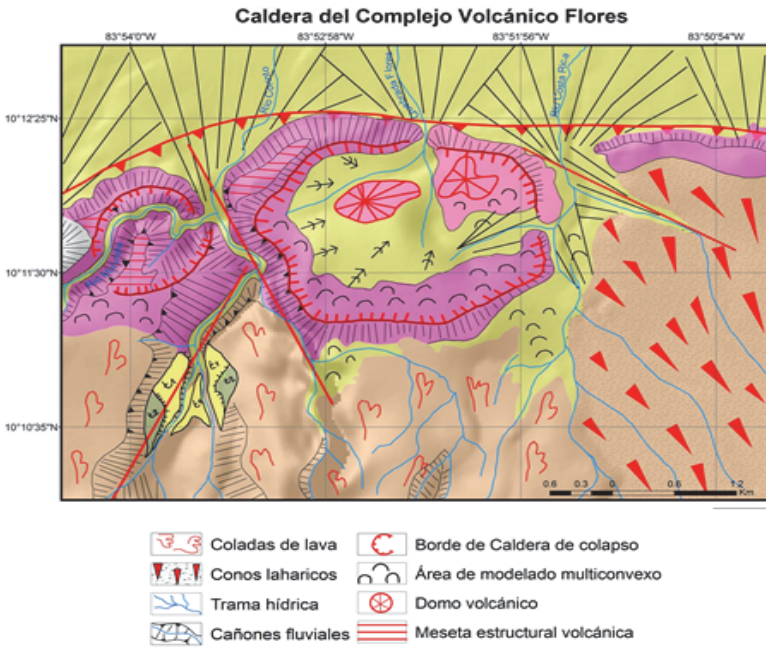


Figura 7. Caldera y complejo volcánico de Flores. Pleistoceno medio a superior (fotointerpretación geomorfológica: J.P. Bergoeing, 2012).

Conclusión

Este artículo pretende compartir con todos los estudiosos del tema las recientes evidencias de emisiones volcánicas del sector Barva norte, en un área de gran dificultad de acceso y por ello desconocida de muchas personas. Los centros de emisiones volcánicas de Flores y Santa Clara se suman a los de Caldera de Hule, gasmaar de río Cuarto y conos volcánicos de Aguas Zarcas que se sitúan siguiendo un alineamiento tectónico SE-NW paralelo a la Cordillera Volcánica Central. Por la conservación relativamente buena del relieve en un medio tropical húmedo extremo y por las dataciones radiométricas de Laguna de Hule y Aguas Zarcas podemos emitir la hipótesis que todas estas estructuras forman parte de un mismo conjunto posplioceno superior (véase Holoceno de actividad volcánica en gestación).

Bibliografía

- Alvarado, G.E.; Kussmaul, S.; Chiesa, S.; Gillot P.-Y., Appel, H. and Worner, G., Rundle, C., “Resumen cronoestratigráfico de las rocas ígneas de Costa Rica basado en dataciones radiométricas”, *J. South Amer Earth Sci*, no. 6, pp. 151-168, 1992.
- Alvarado, G.E., *Volcanes de Costa Rica: su geología, historia y riqueza natural*, San José, Costa Rica, EUNED, 2000, 269 pp.
- Alvarado G.E. and Carr, M.J., “The Platanar-Aguas Zarcas volcanic centers, Costa Rica: spatial-temporal association of Quaternary calcalkaline and alkaline volcanism”, *Bull. Volc.*, no. 55, pp. 443-453, 1993.
- Alvarado, G.E.; Carr, M.J.; Turrin, B.D.; Swisher C.C. III; Schmincke, H.-U. and Hudnut, K.W., “Recent volcanic history of Irazu volcano, Costa Rica: alternation and mixing of two magma batches, and pervasive mixing”, in Rose, W.I.; Bluth, G.J.S., Carr, M.J., Ewert, J.W., Patino, L. C., Vallance, J.W. (eds.), “Volcanic hazards in Central America”, *Geol. Soc. Soc. Amer. Spec. Pap.*, no. 412, pp. 259-276, 2006.
- Astorga, A.; Fernández, J.; Barboza, G.; Campos, L.; Obando, J.; Aguilar, A.; Obando, L., “Cuencas sedimentarias de Costa Rica: evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos”, *Rev. Geol. Amer. Central*, núm. 43, pp. 25-59, 1991.
- Battistini R. and Bergoeing J.P., “Volcanisme récent et variations climatiques Quaternaires du Costa Rica”, *Bull. Assoc. Géog. Français*, no. 485, pp. 96-98, Paris, 1982.
- Barquero Hernández J., *El volcán Irazú y su actividad*. San José, Costa Rica, Escuela de Ciencias Geográficas, 1976, 63 pp.
- Bergoeing, J.P., “El volcán Las Nubes”, informe semestral, enero-junio, Instituto Geográfico Nacional, San José, Costa Rica, 1979.

- , “L’*évolution du Quaternaire au Costa Rica*” *Cahiers Nantais*, «Hommage au professeur Gras», no. 30-31, pp. 167-187, Nantes, France, 1987.
- , “Le cas du Yellowstone une caldeira exceptionnelle”, *Revista Geográfica*, núm. 137, pp. 49-55, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 2005.
- , *Geomorfología de Costa Rica*, Editorial Librería Francesa, San José, Costa Rica; 1a. edición, 1988, Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica, 2a. edición, 2007, 328 pp.
- Bergoeing, J.P., Arce R., Brenes L.G. y Protti R., “La Caldera de Barbilla investigación preliminar”, *Revista Geográfica*, núm. 142, pp. 37-50, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 2007.
- Bergoeing, J.P. y Brenes L.G., “Laguna de Hule, una caldera volcánica”, informe semestral, julio-diciembre, Instituto Geográfico Nacional, San José, Costa Rica, 1977.
- , “Las calderas concéntricas del Platanar, Costa Rica”, *Revista Geográfica*, núm. 141, pp. 165-178, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 2007.
- Bergoeing, J.P., Malavassi, E. y Protti, R., “Tres posibles edificios volcánicos del sector Cerros del Aguacate”, informe semestral, julio-diciembre, Instituto Geográfico Nacional, San José, Costa Rica, 1978.
- Camacho, E.; Hutton, W., Pacheco, J., “A New at Evidence for a Wadatti-Benioff Zone and Active Convergence at the North Panama Deformed Belt”, *Bull. Seism. Soc. America*, vol. 100, no. 1, pp. 343-348, 2010.
- Denyer, P.; Montero, W. y Alvarado, *Atlas Tectónico de Costa Rica*, Editorial Universidad de Costa Rica, 2009, 81 pp.
- Denyer, P. y Kusmaull, S., *Geología de Costa Rica*, Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2000, 551 pp.
- Denyer, P. y Alvarado, G., *Mapa Geológico de Costa Rica, escala 1:400,000*, Librería Francesa, San José, Costa Rica, 2007.
- Fernández, M.; Camacho, E.; Molina, E.; Marroquín, G. y Strauch, W., “Seismicity and neotectonic of Central America”, Bundschuh, J. y Alvarado, G. (eds.), *Central America-Geology, Resource and Hazards*; Taylor & Francis Customerr Services, Andover, United Kingdom, 2007, 1340 pp.
- Fernández, M.E., Camacho, E.; Molina, G.; Marroquín and Strauch W., “Seismicity and Neotectonic of Central America”, Bundschuh, J. y G., Alvarado, *Central America: Geology, Resources and Hazards*, Taylor & Francis, London, England, First Edition, 2007.
- Fernández Arce, Mario y Ramírez Carlos, “Peligros geológicos en áreas urbanas: caso de la urbanización el Tirol, San Rafael de Heredia”, *Revista Reflexiones*, núm. 65, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

- Gazel, E.; Alvarado, G.; Obando, J.; Alfaro, A., “Geología y evolución magmática del Arco de Sarapiquí”, *Revista Geológica de América Central*, núm. 32, pp. 13-31, Costa Rica, 2005.
- Linkimer, L., “Neotectónica del extremo oriental del Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica”, tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, 2003, 103 pp.
- Lipman, Peter W., “Calderas”, *Encyclopedia of Volcanoes*, in Academic Press, pp. 643-662, A Harcourt Science and Technology Company, San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney, Toronto, 1999.
- Melson, W.; Barquero, J.; Saenz, R. y Fernández, E., “Erupciones explosivas de importancia en volcanes de Costa Rica”, *Boletín de Vulcanología*, núm. 16, p. 1519, Universidad Nacional, Costa Rica, 1986.
- Montero, W., “Neotectonics and related stress distribution in a subduction-collisional zone: Costa Rica”, *Perfil*, núm. 7, pp. 125-141, 1994.
- Mora Amador, Raúl, “Informe de la actividad de la Cordillera volcánica Central, enero 2003-junio 2004”, Escuela Centroamericana de Geología, Sección de Sismología, Vulcanología y exploración Geofísica, ICE/UCR, San José, Costa Rica, 2005.
- Murata, K.J.; Dondoli C. y Saenz R., *The 1963-1965 eruption of Irazú volcano, Costa Rica*, Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica, 1966.
- OVSICORI-UNA, Global Vulcanism Program, Smithsonian Institute of Natural History 1968-2007.
- Paniagua, S. y Soto, G., “Peligros volcánicos en el Valle Central de Costa Rica”, *Ciencia y Tecnología*, vol. 12, núm. 12, pp. 145-156, Costa Rica, 1988.
- Perez F., Wendy, “Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno medio (0.33Ma) del valle central de Costa Rica”, tesis de licenciatura, *Revista Geológica de América Central*, San José, Costa Rica, 2005.
- Protti, M., Roberto, “Geología del flanco sur del volcán Barva”, *Boletín Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica*, núm. 17, OVSICORI-UNA, Costa Rica, 1986.
- Protti, M.; Güendel, F. and McNally, K., “The geometry of the Wadati-Benioff zone under southern Central America and its tectonic significance: results from a high-resolution local seismographic network”, *Phys. of the Earth and Planet Inter.*, no. 84, pp. 271-287, 1994.
- , “Correlation between the age of the subducting Cocos Plate and the geometry of the Wadati-Benioff zone under Nicaragua and Costa Rica”, Mann, P. (ed.), *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America*, Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 295, pp. 309-326, 1995.
- Protti Q., Marino, “Importancia de una alerta temprana en caso de terremoto para edificaciones esenciales vulnerables: un posible ejemplo para Costa Rica, Ob-

servatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional, (OVSICORI-UNA)", *Revista EIRD informa-América Latina y el Caribe*, núm. 13, 2006.

Rithmann A., *Volcanoes and their Activity*, J. Wille Ed., New York, 1962.

Rogers, R.D., Karáson, H., Van der Hilst, R.D., "Epeirogenic uplift above a detached slab in northern Central America", *Geol. Soc. Amer.*, vol. 30, núm. 11, pp. 1031-1034, 2002.

Soto B.G.J. (S.F.), "Geología y vulcanología del volcán Turrialba, Costa Rica.", Escuela Centroamericana de Geología, Red Sismológica Nacional. Disponible en <http://www.crid.or.cr/crid/CD_CNE/pdf/spa/doc912/doc912-contenido.pdf>.

Soulas, J.P., "Tectónica Activa", informe de Misión de Consultoría P.H. Siquirres, ICE, informe interno, 1989.

Tournon, J., "Le volcanisme récent de Costa Rica: Amérique centrale, étude préliminaire", Société Géologique de France, Paris, 1974, 373 pp.

———, "La cadena volcánica cuaternaria de Costa Rica: composiciones químicas de las lavas, presencia de dos tipos de series", informe semestral, julio-diciembre, pp. 31-62, Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica, 1983.

———, *Magmatismes du Mésozoïque à l'actuel en Amérique Centrale: l'exemple du Costa Rica, des ophiolites aux andésites*, Th. d'Etat. Sc. Terre Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 1984, pp. 335.

Tournon, J. and Alvarado, G., *Carte Géologique du Costa Rica 1:500,000. Carte et notice explicative*, Ministère des Affaires Etrangères, Coopération Scientifique-Instituto Costarricense de Electricidad ICE, Imprimerie La Vigie, Dieppe, France, 1995.

Weyl, R., *Geology of Central America*, Gebrüder Brontaeger, Stuttgart, RFA, 1980, 371 pp.