

# **Colección de mapas geológicos**

## GEOLOGÍA DE LA HOJA CAÑAS

Dario Aiazzi<sup>1</sup>, Massimo Fiorletta<sup>1</sup>, Giovanna Civelli<sup>1</sup>,  
Sergio Chiesa<sup>2</sup> & Guillermo E. Alvarado<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Milán

<sup>2</sup> C.N.R. IDPA Unità di Dalmine, Via Pasubio 3/5, 24044 Dalmine (Bergamo), Italia

<sup>3</sup> Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica,

Instituto Costarricense de Electricidad, Apdo. 10032-1000, Costa Rica

\* Autor para contacto: galvaradoi@ice.go.cr

### INTRODUCCIÓN

Los primeros mapeos geológicos en la hoja Cañas se remontan a los estudios de reconocimiento realizados por César Dóndoli, Gabriel Dengo, Rodolfo Madrigal, entre muchos otros. Además, los mapas geológicos realizados por el ICE para los proyectos hidroeléctricos Arenal, Corobicí y Sandillal, y de reconocimiento geotérmico, llevados a cabo en la década de los setentas y ochentas del siglo XX. Posteriormente, como parte de un convenio entre el Instituto Costarricense de Electricidad y la Universidad de Milán, Italia, un grupo de estudiantes italianos llegaron a Costa Rica para realizar el mapeo de la hoja Cañas (entre otras que le sucedieron) como parte de su proyecto de tesis en 1988 (Aiazzi, 1988; Fiorletta, 1989). Los resultados de dicho mapeo, junto con integraciones de otros trabajos similares, fueron mostrados como pósteres informales, en el VI Congreso Geológico Centroamericano en 1990. Sin embargo, nunca se llegó a publicar oficialmente. Es por ello que se rescata el mapa -con ligeras

modificaciones con respecto al original, y a la luz de nuevos datos estratigráficos-, dada su importancia por estar en una región de gran desarrollo desde diversos puntos de vista (agricultura, irrigación, ganadería, infraestructura, generación eléctrica (Fig. 1). A continuación, una síntesis de las unidades estratigráficas (Fig. 2) y la estructura geológica. Se usan los nombres estratigráficos tradicionales (verbigracia, Grupo Aguacate, formaciones Bagaces y Monte-verde), pero para las unidades de menor rango dentro de ellos, se usan nominaciones informales, en tanto que aún es imprescindible un trabajo de definición regional de los detalles estratigráficos de tales unidades volcánicas.

### SEDIMENTITAS PALEÓGENAS

**Descripción:** Está constituido por areniscas y limolitas estratificadas en niveles delgados de tonos claros. En los estratos más espesos se pueden observar algunos canales de erosión y relleno de sedimentos de granulometría mayor.

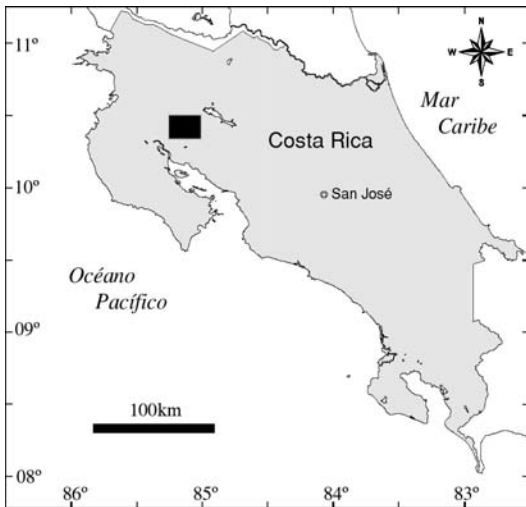


Fig. 1: Ubicación de la hoja Cañas.

**Localidades:** Los afloramientos se restringen a la fila Catalina, en el extremo suroeste de la hoja, con buenas exposiciones en 400,0E – 257,5N. Las rocas están deformadas y fracturadas, buzantes unos 20° al N40°E.

**Aspectos regionales:** Se correlaciona con rocas aflorantes a lo largo de la margen izquierda del río Tempisque, y con las sedimentitas cartografiadas por Flores *et al.* (2004) en la hoja Abangares, al sur, en donde forman parte del Miembro Zapotal y la Formación Barra Honda.

**Relaciones estratigráficas:** Constituye el basamento local de la hoja, de modo que se desconoce la base subyacente. Está sobreyacida por los aluviones recientes, y se presume un contacto por falla con las lavas de Taboga.

**Edad geológica:** Con base en la correlación mencionada, se supone una edad del Paleógeno.

**Antecedentes:** No se han estudiado en detalle en la hoja Cañas. En las cercanías existe la referencia como Miembro Cerro Peña (Denyer *et al.*, 1987) y Miembro Zapotal y Formación Barra Honda por Flores *et al.* (2004), quienes realizaron mapeo y cronostratigrafía de detalle al sur de la hoja Cañas, en la hoja Abangares.

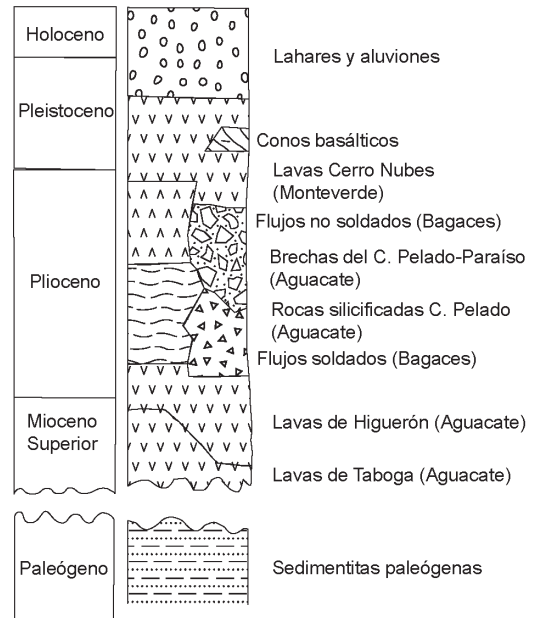


Fig. 2: Columna estratigráfica de la hoja Cañas.

### LAVAS INTRAIGNIMBRÍTICAS DE TABOGA (GRUPO AGUACATE)

**Descripción:** Se encuentra en la base de la secuencia volcánica local. Se compone de fenodacitas hasta fenobasaltos, localmente prismáticos.

**Localidades:** Buenos afloramientos se observan a lo largo de fila Nambiral (403,7E – 263,0N) y una cadena de lomas y lomitas en los alrededores de la hacienda Taboga.

**Aspectos regionales:** Se puede correlacionar con otros afloramientos a lo largo de las lomas de Barbudal.

**Relaciones estratigráficas:** En el área constituye el basamento volcánico local, en contacto por falla con el Miembro Zapotal. Se encuentran sobreyacidas por ignimbritas soldadas con fiammes de la Formación Bagaces. Hacia el noroeste, se interdigitan con otros flujos piroclásticos soldados de Bagaces, y por ello, se le han denominado lavas intraignimbríticas. Esto

plantea la necesidad de resolver el problema estratigráfico de asignar estas lavas al Grupo Aguacate, a la Formación Bagaces, o como corolario, incluir a Bagaces como parte del Grupo Aguacate. Debe resolverse esta interrogante con trabajos ulteriores. Localmente, se observan sedimentos fluviales finos y gruesos infrayaciéndolas.

**Edad geológica:** Con base en una datación radiométrica Ar-Ar de  $5,45 \pm 0,23$  Ma, se le puede ubicar en el Mioceno terminal (ver Alvarado *et al.*, 1992).

**Aspectos específicos:** Las lavas presentan un cierto grado de basculamiento hacia el noreste y poseen un alineamiento estructural NW-SE.

**Antecedentes:** Alvarado *et al.* (1992) presentan dataciones radiométricas inéditas reportadas por Gardner y Turrin, y Chiesa *et al.* (1994) las incluyen dentro de las lavas intraignimbríticas.

### LAVAS DE HIGUERÓN (GRUPO AGUACATE)

**Descripción:** Es parte de la base de la secuencia estratigráfica. Se compone de fenobasaltos y fenoandesitas intercaladas localmente con depósitos epiclásticos.

**Localidades:** Buenos afloramientos se observan en el sureste y sur-centro de la hoja (p.ej. 421,2E – 259,9).

**Aspectos regionales:** Se puede correlacionar con otros afloramientos de vulcanitas a lo largo de la cordillera de Tilarán.

**Relaciones estratigráficas:** En el área constituye parte del basamento volcánico local y se encuentra sobreyacido por la mayoría de las unidades más recientes.

**Edad geológica:** Con base en dataciones radiométricas K-Ar (Amos & Rogers, 1983; ICE-ENEL, 1988) el vulcanismo ocurrió entre 8,7 y 3,0 Ma. Con base en las dataciones circurdantes

y los mejores datos (incluyendo los rangos de error), se puede concluir que con toda probabilidad en su mayoría las fases efusivas estuvieron restringidas entre 5,4 y 3,6 Ma, es decir entre el Mioceno terminal y el Plioceno Inferior (ver Alvarado *et al.*, 1992).

**Aspectos específicos:** La morfología calderiforme de los cerros al sureste del cerro Pelado, sugiere una antigua estructura caldérica (ICE-ENEL, 1988).

**Antecedentes:** Son múltiples los trabajos, pero pocos los que han profundizado sobre la estratigrafía de estas volcanitas de Aguacate. Alvarado *et al.* (1992) presentan una compilación de todas las dataciones radiométricas disponibles hasta ese entonces. Un resumen petrológico es presentado por Kussmaul *et al.* (1994), mientras que un esclarecimiento tectono-estratigráfico, fue por primera vez presentado por Denyer & Arias (1991) para el Valle Central, en donde la Formación La Cruz se presenta basculada, y es de edad Mioceno Superior terminal, mientras que la Formación Grifo Alto no está basculada y es Plioceno-Pleistoceno.

### BRECHAS LÁVICAS DEL CERRO PELADO - PARAÍSO (GRUPO AGUACATE)

**Descripción:** Está constituida principalmente por brechas monomíticas (lavas fenoandesítico basálticas) de tamaño centimétrico a decimétrico, en contacto puntual a flotante, con un espesor de algunas decenas de metros, sin estratificación bien definida, aspecto masivo y relieve sobresaliente de sus clastos. Se observan apófisis locales, así como diques mayores. Aunque la mayoría de las brechas son prácticamente monolíticas, localmente existen algunos otros tipos de brechas algo más heterogéneas, que podrían tener otros orígenes y pertenecer a unidades diferentes, como aquellas ubicadas en la parte media del río Santa Rosa, entre Cuesta El Muerto y Santa Rosa, bajo las lavas de Monteverde.

**Localidades:** Buenos afloramientos se observan a lo largo de la carretera Interamericana, entre Cañas y San Miguel (p. ej. 422,2E – 269,3N).

**Aspectos regionales:** Brechas similares se observan por los cerros Macho Chingo de Atenas y por el puente del río Brujo en la zona Sur.

**Relaciones estratigráficas:** Están relacionadas con el Grupo Aguacate.

**Edad geológica:** Las correlaciones con otras dataciones aledañas sugieren una edad del Plioceno Inferior.

**Aspectos específicos:** Al parecer son flujos de bloques y cenizas, a partir de domos andesíticos, relacionados con el vulcanismo del cerro Pelado.

**Antecedentes:** Poco se ha hablado en detalle con respecto a esta región, excepto Aiazzi (1988) y Fiorletta (1989).

### ROCA SILICIFICADA DEL CERRO PELADO (GRUPO AGUACATE)

**Descripción:** El cerro Pelado desde el siglo XIX se ha asociado con un volcán extinto, y aunque la morfología y la geología regional así lo sugieren, pocos estudios de detalle se han realizado, para discernir si se trata de un domo, cuello o cono volcánico silicificado (alteración hidrotermal) y profundamente disectado por la erosión y procesos gravitatorios.

**Localidad:** Los cerros Pelado y Delicias, con excelentes cortes en 425,0E – 260,5N.

**Aspectos regionales:** Corresponde con las mineralizaciones típicas dentro del Grupo Aguacate.

**Relaciones estratigráficas y edad:** La silicificación ha de ser más joven que las rocas que altera y posiblemente previa a las lavas de Monteverde. Una edad de Plioceno Superior parece acertada.

**Antecedentes:** Madrigal & Rojas (1980) documentan la morfología de dicha estructura volcánica. ICE-ENEL (1988) realizan un estudio geológico y de reconocimiento geotérmico del área del cerro Pelado. Alvarado (2000) realiza un estudio histórico y compilativo sobre las referencias citadas sobre tal relicto volcánico.

### FLUJOS SOLDADOS (FORMACIÓN BAGACES)

**Descripción:** Está constituido por ignimbritas soldadas con fiammes, intercaladas localmente con depósitos epiclásticos. Suelen ser negras, densas, vítreas, con fenocristales de plagioclasa. Pueden adquirir una estructura prismática característica. Su espesor es de al menos 40 m.

**Localidades:** Buenos afloramientos se observan a lo largo de la carretera interamericana, en el sector occidental del mapa, así como en el río Santa Rosa (417,5E – 272,5N). En la hoja, forman el extremo noroeste, y en parte de las lomas aisladas cerca de Bebedero y la hacienda Taboga.

**Aspectos regionales:** Afloran a lo largo de toda la vertiente pacífica de la cordillera de Guanacaste.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace localmente a las lavas de Taboga (Grupo Aguacate).

**Edad:** No hay edades precisas de estas ignimbritas en esta zona, aunque por correlación se asume una edad del Plioceno.

**Aspectos específicos:** Se requieren de más estudios para dilucidar su procedencia y detalles estratigráficos, vulcanológicos y geoquímicos.

**Antecedentes:** Una serie de informes inéditos ICE, así como el trabajo de Mora (1977), quien la denomina como la ignimbrita de Santa Rosa. Estudios más regionales son los de Tournon (1984) y Kussmaul *et al.* (1994).

### FLUJOS PUMÍTICOS NO SOLDADOS (FORMACIÓN BAGACES)

**Descripción:** Está constituido por varias unidades de flujos de pómez, intercalados con paleosuelos y oleadas piroclásticas.

**Localidades:** Buenos afloramientos se observan a lo largo de la carretera Interamericana, camino a la represa de Sandillal (416,0E – 271,5N), en la loma ubicada al suroeste de Cañas denominada La Cueva, y a lo largo del canal de irrigación al norte de la hacienda Corobicí. Su espesor alcanzan > 10 m.

**Aspectos regionales:** Afloran a lo largo de toda la vertiente pacífica de la cordillera de Guanacaste.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyacen localmente a las lavas del Grupo Aguacate y están subyacidos por depósitos epiclásticos y por las lavas de Monteverde. Chiesa *et al.* (1992) hablan de unidades como Formación Sandillal y los flujos de Montano, pero a la luz de los datos geoquímicos y cronoestratigráficos (p.ej. Vogel *et al.*, 2004), se requieren de estudios complementarios para una mejor redefinición.

**Edad geológica:** Las edades Ar-Ar nos suministran edades para los eventos pumíticos aflorantes en el área, de 4,15; 2,06 y 2 Ma (Vogel *et al.*, 2004), correspondientes al Plioceno.

**Aspectos específicos:** Se requieren de más estudios para dilucidar su procedencia con base en detalles estratigráficos, vulcanológicos y geoquímicos.

**Antecedentes:** Mora (1977) y Chiesa *et al.* (1992) describen algunos flujos piroclásticos aflorantes en el área. Vogel *et al.* (2004) realizan un estudio petrológico con cierto grado de detalle e incluyen algunas dataciones Ar-Ar.

### DEPÓSITOS FLUVIALES ANTIGUOS

**Descripción:** Está constituido por depósitos aluviales gruesos, localmente depósitos pumíticos retrabajados y tierras de diatomeas.

**Localidades:** Buenos afloramientos se observan en Sandillal, así como entre Cañas y el camino que conduce al cerro Chopo (417,4E – 270,0N).

**Aspectos regionales:** Se pueden correlacionar con depósitos aluviales antiguos que afloran en la región de Guanacaste, pero aún poco estudiados. Podrían indicar un nivel de depositación base, hoy día elevado por causa geotectónica.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace a los flujos de pómez de Bagaces y subyace a las lavas de Monteverde. También se les observa infrayaciendo a las lavas de Taboga.

**Edad geológica:** Amplio rango entre Mioceno Superior tardío o Plioceno temprano hasta Pleistoceno Inferior temprano.

**Antecedentes:** Poco se ha estudiado sobre dichos sedimentos, que corresponden con un sistema fluvial con un nivel hidrodinámico y base de erosión diferente, posiblemente por levantamientos neotectónicos permanentes de la costa pacífica. Madrigal & Rojas (1980) fueron uno de los primeros en señalarlos.

### LAVAS DEL CERRO LAS NUBES (FORMACIÓN MONTEVERDE)

**Descripción:** Está constituida por coladas andesíticas frescas con una típica forma de plataforma, con diferentes niveles, posiblemente en correspondencia con diversos frentes de coladas.

**Localidades:** Buenos afloramientos ente el cerro Chopo y Los Ángeles de Tilarán (423,4E – 274,0N).

**Aspectos regionales:** Constituye la prolongación más occidental de la Formación Monteverde. Otros relieves coetáneos más al occidente, poseen morfología más empinadas y no de meseta. Trabajos anteriores que las mencionan incluyen a Ramírez (1973), quien denomina a dichas lavas como Tierras Morenas, Chaves & Saénz (1974) y Cigolini & Chaves (1986) la describen y denominan formalmente como Formación Monteverde, y Mora (1977), como lavas Las Pulgas. Para algunos autores, Monteverde forma parte del Aguacate (cf. Chaves & Saénz, 1974), mientras que para otros debe separarse y se reconoce por la presencia de plataformas andesíticas con edades entre 1 y 2 Ma. (Alvarado *et al.*, 1992; Gillot *et al.*, 1994). Sin embargo, en donde la expresión morfológica ha sido borrada, no resulta sencillo y el criterio petrográfico no siempre resulta de gran ayuda. Más estudio se requiere al respecto. De igual modo, algunos autores incluyen flujos pumíticos infrayacentes como pertenecientes a Monteverde (cf. Cigolini & Chaves, 1986). También a este respecto, más estudios son requeridos.

**Relaciones estratigráficas:** Claramente sobreyace a tobas pumíticas y sedimentos epiclásticos de la Formación Bagaces y a lavas hidrotermalizadas del Aguacate.

**Edad geológica:** Las dataciones radiométricas en el área de estudio indican edades con Ar-Ar de 1,77-1,70 Ma (Pleistoceno Inferior; Gardner & Turrin en Alvarado *et al.*, 1992). Acorde con las edades regionales, el vulcanismo efusivo de Monteverde se ubica entre 2 y 1 Ma (Alvarado *et al.*, 1992).

**Aspectos específicos:** Se le reconoce en algunos sectores por su típica forma de mesetas de lava y por lavas frescas (p.ej. entre Sandillal y los Ángeles), mientras que en otros sectores, no resulta tan obvia la distinción.

**Antecedentes:** A nivel local se tienen los trabajos inéditos del ICE y el trabajo de Mora (1977), quien habla de las lavas Las Pulgas.

## LAVAS Y PIROCLASTOS BASÁLTICOS DEL CHOPO

**Descripción:** Cono constituido por estratos con gradación inversa de bombas y lapilli inconsolidados hasta lapillitas y aglomerados, con coladas de lava subordinadas, de composición basáltica (Mora, 1977; Chiesa *et al.*, 1994; Alvarado, 2000).

**Localidad:** Hay dos tajos en actividad que cortan la estructura interna del cono de escorias (419,8E – 272,6N).

**Aspectos regionales:** Otro cono piroclástico menos desarrollado en su morfología, es el cono Corobicí o Chopito (Chiesa *et al.*, 1994; Alvarado, 2000), en la hoja Tierras Morenas.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace a las lavas de Monteverde y a los flujos pumíticos de Bagaces.

**Edad:** Una datación absoluta que parece provenir de una colada basáltica de dicho cono, hacia el norte, arroja una edad de 1,38 Ma (Gardner & Turrin, en Alvarado *et al.*, 1992), es decir, del Pleistoceno Inferior.

**Aspectos específicos:** Las lavas son basaltos toleíticos. Está ubicado unos 20 km al frente de la cordillera de estratovolcanes de Guanacaste.

**Antecedentes:** Mora (1977) es uno de los que realiza uno de los primeros mapeos y estudio de detalle, seguido por aspectos regionales presentados por Chiesa *et al.* (1994).

## LAHARES DEL TENORIO

**Descripción:** Al suroeste del cono principal del Tenorio se encuentran unos depósitos epiclásticos descritos como Lahar del Tenorio, pero que en las facies cercanas, por ejemplo en la Hacienda Tenorio, poseen una topografía de *hummocky*, lo cual indica que se trató de un *debris avalanche* que probablemente por incorporación



de agua, o por la presencia de acuíferos en el flanco colapsado del volcán, se transformó en una *debris flow*. No se distingue con claridad el cráter de donde se originó, probablemente porque fue cubierto por actividad posterior del volcán, a juzgar por el cono bien desarrollado con un patrón de drenaje radial juvenil o poco profundizado (Alvarado & Vega, 2002).

**Localidades:** Aflora en el extremo norte-central de la hoja Cañas.

**Aspectos regionales:** Proviene del volcán Tenorio.

**Relaciones estratigráficas:** Cubre a los flujos pumíticos de Bagaces. En una perforación geotérmica se alcanzó al menos un espesor de 200 m.

**Edad geológica:** No se ha determinado, aunque debe de quedar comprendida en el Pleistoceno Superior.

**Aspectos específicos:** Se trata de un *debris avalanche* diluido a *debris flow*.

**Antecedentes:** Fue reconocido y mapeado por Locati (1989). Alvarado & Vega (2002) complementan su descripción e interpretación en la parte proximal.

## DEPÓSITOS ALUVIALES RECIENTES

**Descripción:** Está constituido por los sedimentos fluviales (desde cantos aluviales muy gruesos

hasta las arenas y limos como sedimentos finos de inundación) transportados por los ríos Cañas, Corobící, Tenorio, Piedras, Bebedero y sus tributarios. Los constituyentes son lavas y arenas vídrias o pumíceas.

**Localidades:** La llanura de inundación de dichos ríos, en el centro y centro-sur de la hoja.

**Aspectos regionales:** Forma parte de la gran llanura aluvio-marina del Tempisque.

**Relaciones estratigráficas:** Sobreyace a la mayoría de las unidades precedentes en las regiones bajas y planas.

**Edad geológica:** No hay edades absolutas, pero debe de quedar comprendido entre el Pleistoceno Superior y el Holoceno.

## ESTRUCTURAS

Los estudios estructurales se han restringido en su mayoría a estudios de alineamientos. Estos son principalmente de sentido WNW y NE, pero pocos trabajos de detalle se han realizado. Algunas fallas locales se han medido, en particular para los estudios propios del ICE. Las fuentes termales (Cuadro 1) al parecer están controladas por la tectónica y son las manifestaciones geotérmicas más meridionales de la cordillera.

El Chopo forma parte de un alineamiento de afloramientos basálticos aislados con rumbo grosero NW-SE (Chiesa *et al.*, 1994).

Cuadro 1

Ubicación de fuentes termales en la hoja Cañas

Fuente	Norte	Oeste	T (° C)
Queb. Salitral	10°22,915	85°04,371	43,0
Pan de Azúcar	10°25,424	85°03,623	26,3
Finca Ande	10°20,135	85°04,173	51,5
Aguacaliente	10°27,725	85°13,603	33,1



Una alineación similar, aunque más antigua, se presente en los cerros de las filas de Catalina y Nambiral. Las capas piroclásticas del Chopo, presentan una tectónica predominantemente normal, aunque el fallamiento con componente de rumbo está también presente en el área. Un fallamiento al parecer sísmicamente activo, se presenta al NW y NE de Cañas con rumbos NW y NE (Taylor, 2002).

Una estructura caldérica antigua parece rodear al cerro Pelado, pero no se han realizado estudios detallados al respecto, ni de la orientación de los diques.

Posibles fallas inversas limitan el borde sur de la fila Nambiral y se extienden al oeste hasta las lomas Barbudal.

### AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Costarricense de Electricidad y a la Universidad de Milán por todo el apoyo brindado en el campo y en el laboratorio. A Maximiliano Garnier por su labor en la edición final del mapa y a G.J. Soto por su ayuda en la edición del texto.

### REFERENCIAS

- AIAZZI, D., 1988: Il vulcanismo della Cordigliera di Guanacaste, Costa Rica. Geologia dell'area di Canas e petrochimica dei prodotti lavici. - 173 págs. Univ. Milano [Tesis de Laurea].
- ALVARADO, G.E., 2000: Volcanes de Costa Rica: Geología, historia y riqueza natural. - 269 págs. EUNED, San José.
- ALVARADO, G.E. & VEGA, E., 2002: Los grandes deslizamientos tipo debris avalanche en Costa Rica. -VIII Seminario Nacional de Geotecnia, 3<sup>er</sup> Encuentro Centroamericano de Geotecnistas. San José, 5-7 de junio: 48-61.
- ALVARADO, G.E., KUSSMAUL, S., CHIESA, S., GILLOT, P.-Y., WÖRNER, G. & RUNDLE, C., 1992: Cuadro cronostratigráfico de las rocas ígneas de Costa Rica basado en dataciones radiométricas. - J. South Amer. Earth Sci. 6(3): 151-168.
- AMOS, B.J. & ROGERS, P.J., 1983: The geology and exploration geochemistry of the Cordillera Tilarán-Montes del Aguacate gold field, Costa Rica. - 33 págs. Inst. Geol. Sci. Overseas Division, Open file report, London.
- CHIESA, S., CIVELLI, G., GYLLOT, P.-Y., MORA, O. & ALVARADO, G.E., 1992: Rocas piroclásticas asociadas con la formación de la Caldera de Guayabo, Cordillera de Guanacaste, Costa Rica. - Rev. Geol. Amér. Central, 14: 59-75.
- CHIESA, S., ALVARADO, G.E., PECCHIO, M., CORELLA, M. & ZANCHI, A., 1994: Contribution to petrological and stratigraphical understanding of the Cordillera de Guanacaste lava flows, Costa Rica. - Rev. Geol. Amér. Central, 17: 19-43.
- CHAVES, R. & SÁENZ, R., 1974: Geología de la cordillera de Tilarán (Proyecto Aguacate, 2<sup>a</sup> fase).- Dirección Geol. Minas y Petról., San José, Inf. Téc. Notas Geol. 12(53): 11-49.
- CIGOLINI, C. & CHAVES, R., 1986: Geological, petrological and metallogenic characteristics of the Costa Rica gold belt: contribution to new explorations. - Geol. Rundsch. 75(3): 737-754.
- DENYER P. & ARIAS, O., 1991. Estratigrafía de la región central de Costa Rica. - Rev. Geol. Amér. Central, 12: 1-59.
- DENYER P., MONTERO, W., SOTO, G.J., QUEZADA, A., LEANDRO, L., PÉREZ, C. & RODRÍGUEZ, D., 1987: Geología y tectónica de la margen oriental del Golfo de Nicoya, Costa Rica. - Ciencia y Tecnol. 11(2): 17-31.
- FIORLETTA, M., 1989: Aspetto strutturale del Costa Rica nord-occidentale: neotettonica della Cordigliera di Guanacaste. - 148 págs. Univ. Milano [Tesis de Laurea].
- FLORES, K., DENYER, P. & AGUILAR, T., 2004: Mapa geológico de la hoja Abangares. Serie Colección Mapas Geológicos (4). - Rev. Geol. Amér. Central, 29.
- GILLOT, P.-Y., CHIESA, S. & ALVARADO, G.E., 1994: Chronostratigraphy of Upper Miocene-Quaternary volcanism in northern Costa Rica. -Rev. Geol. Amér. Central, 17: 45-53.
- ICE-ENEL, 1988: Estudio de reconocimiento y prefactibilidad geotérmica en la República de Costa Rica, Fase I. - 337 págs. Ente Nazionale per l'Energia Electrica - ICE [Informe interno].

- KUSSMAUL, S., TOURNON, J. & ALVARADO, G.E., 1994: Evolution of the Neogene to Quaternary igneous rocks of Costa Rica. - *Profil*, 7: 97-123.
- LOCATI, U., 1989: Geologia del versante meridionale del Volcan Tenorio, Costa Rica. - 85 págs. Univ. Milano [Tesis de Laurea].
- MADRIGAL, R. & ROJAS, E., 1980. Manual descriptivo del mapa geomorfológico de Costa Rica (escala 1: 200 000). - 79 págs. SEPSA, Imprenta Nacional.
- MORA, S., 1977: Estudio Geológico del Cerro Chopo. - *Rev. Geogr. Amér. Central*, 5-6: 189-199, Heredia.
- RAMÍREZ, O., 1973: Estudio geológico y geotécnico de una faja de terreno atravesado por el posible trazado de la carretera entre Tilarán y Fortuna. - 87 págs, Escuela Centroamericana de Geología, Univ. Costa Rica [Tesis Lic.].
- TAYLOR, W., 2002: La actividad sismotectónica durante el 2001 en los alrededores de los proyectos de generación eléctrica Miravalles, ARCOSA y Tejona. - *Bol. OSIVAM*, 12(25): 1-9.
- TOURNON, J., 1984: Magmatismes du Mesozoique a l'actuel en Amerique Central. L'exemple de Costa Rica, des ophiolites aux andesites. - 335 págs. *Memoires Sciences Terre, Université Pierre et Marie Curie, París* [Tesis Ph.D.].
- VOGEL, T.A., PATINO, L.C., ALVARADO, G.E. & GANS, P.B., 2004. Silicic ignimbrites within the Costa Rican volcanic front: evidence for the formation of continental crust. - *Earth Planet. Sci. Lett.* (en prensa).