

## Geología de los complejos alcalino-carbonatíticos, noreste de Paraguay Oriental

### Geology of the alkaline-carbonatitic complexes, northeast of Eastern Paraguay

Narciso Cubas Villalba<sup>1,\*</sup>, Néstor Damián Salinas Franco<sup>1</sup> & Diego Adán López<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, San Lorenzo, Paraguay.

\*Autor correspondiente: [ncubas@facen.una.py](mailto:ncubas@facen.una.py).

**Resumen:** Los complejos alcalino-carbonatíticos de los cerros Chiriguelo y Sarambí, forman estructuras circulares bien definidas, con diámetro entre 5 a 7 km, distan unos 25 y 68 Km respectivamente, hacia el Oeste de Pedro Juan Caballero, Región Noreste del Paraguay Oriental. Estos complejos ígneos alcalino-carbonatítico pertenecen a la Provincia Alcalina del Amambay de edad Mesozoica, que intruyeron a las unidades más antiguas que van desde el basamento cristalino de edad Precámbrica hasta el Carbonífero Superior; estas unidades a la vez fueron levantados y expuesto en las periferias de la intrusión formando su anillo externo, donde afloran las rocas metamórficas del basamento cristalino y los sedimentos Paleozoicos.

Litológicamente las rocas ígneas silicáticas son piroxenita micáceas que se encuentra ocupando la porción central de la estructura circular, circundada por sienita alcalina, sienita nefelínica, traquitas, fonolitas y diques de lamprófidos, que a su vez fueron intruidas por carbonatita transgresiva clasificadas como sovita, silicocarbonatita, ferrocronatita y rodbergita; la intrusión de magma de naturaleza carbonatítica, a su vez ha producido intensa fenitización de rocas circundantes de las rocas Precámbricas y Paleozoicas. En la porción central de la estructura anular se localizan los cuerpos carbonatíticos que actualmente se encuentran fuertemente meteorizadas, con importante desarrollo de suelo arcilloso descalcificado que normalmente contiene concentraciones anómalas de minerales asociados como son los de Elementos de Tierras Raras (ETR), estroncianita, pirocloro, apatito, magnetita y barita.

**Palabras clave:** Chiriguelo, Saramabí, magmatismo alcalino-carbonatítico, fenita, graben, Provincia Alcalina.

**Abstract:** The alkaline-carbonatite complexes of the Chiriguelo and Sarambí hills form well-defined circular structures, with a diameter between 5 and 7 km, about 25 and 68 km respectively, to the west of Pedro Juan Caballero, Northeast of Eastern Paraguay. These alkaline-carbonatite igneous complexes belong to the Alkaline Province of the Amambay of Mesozoic age, which intruded the oldest units that range from the crystalline basement of Precambrian age to the Upper Carboniferous; these units at the same time were raised and exposed in the peripheries of the intrusion forming their outer ring, where the metamorphic rocks of the crystalline basement and the Paleozoic sediments emerge.

Lithologically, the igneous silicates rocks are micaceous pyroxenite that is occupying the central portion of the circular structure, surrounded by alkaline syenite, nepheline syenite, trachytes, phonolites and lamprophyres dikes, which in turn were intruded by transgressive carbonatite classified as sovitite, silicocarbonatite, ferrocronatite and rodbergite; the intrusion of magma of carbonatitic nature, in turn has produced intense fenitization of surrounding of the Precambrian and Paleozoic rocks. In the central portion of the annular structure, the carbonatite bodies that are currently heavily weathered are located, with significant development of decalcified clay soil that normally contains anomalous concentrations of associated minerals such as the Rare Earths Elements (REE), strontium, pyrochlore, apatite, magnetite and barite.

**Keywords:** Chiriguelo, Saramabí, alkaline-carbonatitic magmatism, fenite, graben, Alkaline Province.

### Introducción

El Departamento de Amambay está localizado en el extremo NE del Paraguay Oriental, limita al Norte y al Noreste con el Brasil. La geología en esta región está conformada básicamente por rocas metamórficas del Precámbrico, además de unida-

des estratigráficas de la cuenca del Paraná con las formaciones Aquidabán, Misiones y Alto Paraná, intruidas por magmatismo alcalino-carbonatítico de edad Mesozoica, que constituye el límite Occidental de la Cuenca. El complejo alcalino de Chiriguelo es una intrusión ígnea de afinidad alcalina.

Recibido: 26/07/2019      Aceptado: 17/08/2021



lino-carbonatítica, que se encuentra distante a 25 Km al Oeste de Pedro Juan Caballero, al costado de la Ruta N° 5. Tiene una estructura anular típica y está situado en la intersección de lineamientos estructurales de dirección NE-SW y NW-SE (Fig. 1). El complejo alcalino-carbonatítico del Cerro Sarambí, es otra intrusión situado a unos 68 Km al Oeste de Pedro Juan Caballero, localizado en el límite de los Departamentos de Concepción y

Amambay, es también una anular con cerca de 7 km de diámetro.

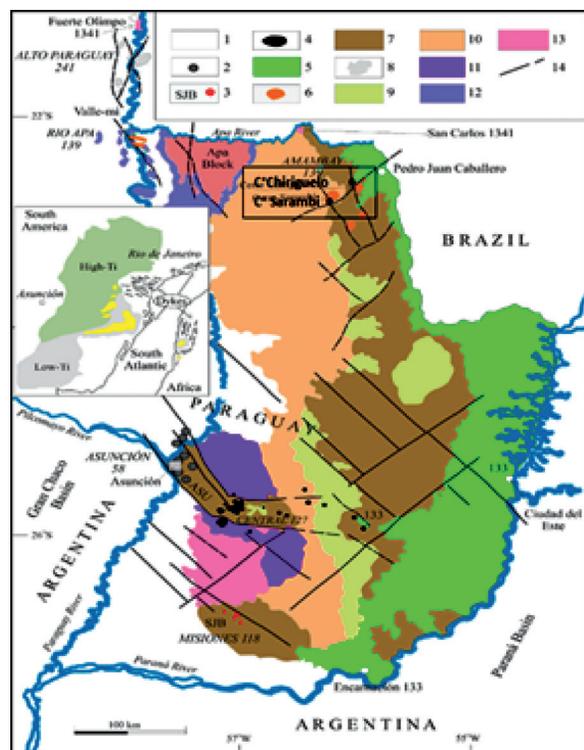
## Resultados y discusión

### Geología de los complejos alcalino-carbonatíticos

En la provincia de Amambay la actividad magmática formó principalmente los complejos de carbonatos alcalinos anulares de los cerros Chiriguelo y Sarambí. Las rocas ígneas están constituidas por piroxenitas, sienitas alcalinas, diques de traquitas y fonolitas y fenitas. Las determinaciones de edades varían entre según los autores 119-126 Ma (Eby & Mariano, 1986),  $128 \pm 5$  Ma (Mariano & Druecker, 1985) 135-142 Ma (Almeida, 1983); la determinación de edad más reciente por método  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  es de 139 Ma, (Comin-Chiaramonti y Gomes, 2005); esta edad es muy similar a la de los complejos alcalinos de Velasco en Bolivia. La provincia de Amambay se encuentra dentro del dominio del Arco Ponta Porã, una estructura de dirección NE-SW que fue identificada por Thomas & Associates (1976) y entre dos depresiones sobresalientes, una hacia el NW y la otra hacia el SE de Pedro Juan Caballero. Estas depresiones probablemente representan cuencas sedimentarias, y el bloque levantado del Arco Ponta Porã (Velázquez et al, 1998b; Comin-Chiaramonti et al, 1999). El control tectónico de las intrusiones alcalinas de la Provincia de Amambay por el Arco de Ponta Porã, como lo propusieron Livieres y Quade (1987).

La geología del complejo se presenta bastante variada, desde rocas Precámbricas hasta depósitos Cuaternarios. El Precámbrico se presenta con rocas metamórfica con deformaciones intensas, constituida por esquistos micáceos, esquistos de clorita, esquistos talco-clorita y cuarcita (Alcover Netto, 1997). La depresión central del Cerro Sarambí está constituida por una intrusión ígnea compuesta por piroxenita y sienita alcalina y traquita que intruyó a las rocas metamórficas de edad Precámbrica. Descripción y clasificación petrográfica más detallada de las rocas metamórficas que bordea a las intrusiones alcalinas-carbonatíticas es aún muy escasa;

**Figura 1.** Mapa Geológico del Paraguay Oriental, adaptado de Comin-Chiaramonti et al, (1999). **1)** Sedimentos Cuaternario. **2)** Rocas alcalinas sódicas Terciarias. **3)** Rocas alcalinas sódicas del Cretácico Superior (Provincia de Misiones, San Juan Bautista, SJB). **4)** Rocas alcalinas potásicas Cretácico Inferior (rift de Asunción-Sapucaí-Villarrica). **5)** Basaltos toleíticos del Cretácico Inferior (Formación Alto Paraná). **6)** Rocas alcalinas-Carbonatíticas. **7)** Rocas sedimentarias del Triásico-Jurásico (Formación Misiones). **8)** Rocas alcalinas Permo-triásicas (Provincia de Alto Paraguay). **9)** Rocas sedimentarias Pérmicas (Grupo Independencia). **10)** Rocas sedimentarias Carboníferas (Formaciones Aquadabán y Coronel Oviedo). **11)** Rocas sedimentarias Ordovícico-silúricas (Grupos Caacupé e Itacurubí). **12)** Calizas Cambro-Ordovícica (Grupo Itacupumí). **13)** Basamento cristalino (Rio Apa y Rio Tebicuary) Complejos metamórficos, rocas metasedimentarias de bajo grado e intrusiones ígneas ácidas. **14)** Fallas principales.



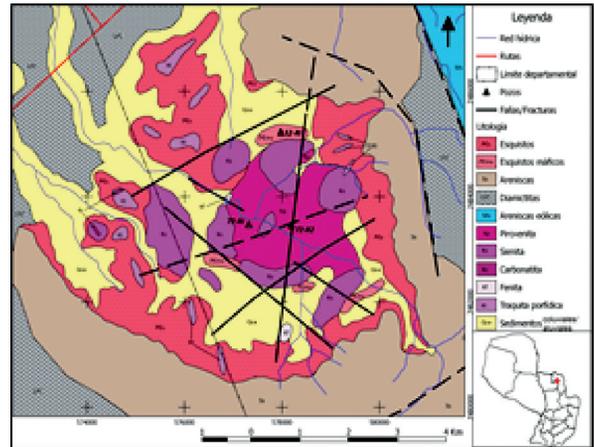
solamente se tiene una clasificación macroscópica. Estos Complejos fue explorado activamente entre los años 1979-1982 por la compañía de exploración mineral The Anschutz Corp. (Fig. 2) en la búsqueda de minerales atípicos asociados a rocas carbonatíticas como: Niobio, Uranio, Tierras Raras. Además, en el área se realizaron otras investigaciones como el Proyecto Aquidabán (1972), Premoli y Velázquez (1981) y el grupo de investigación del magmatismo alcalino de la Universidad de São Paulo (Comin-Chiaramonti y De Barros Gomes, 1996-2017).

### Aspectos litológicos

Los complejos alcalinos-carbonatíticos de Chiriguelo y Sarambí, forman estructuras circulares bien marcadas donde las litologías más antiguas, constituyen a la vez las rocas de caja que fueron levantadas y verticalizadas; algunas de ellas fueron afectadas por fenómenos metasomáticos (fenitización). La unidad más antigua sería parte del basamento cristalino y está constituida de rocas metamórficas foliadas compuesta por esquistos de cuarzo y mica, esquistos verdes conteniendo cuarzo, muscovita y clorita. Las rocas metamórficas atribuidas al basamento cristalino, se tratan de esquistos micáceos y esquistos máficos (TAC, 1981).

El 52-RI es un pozo perforado en el año 1981 por The Anschutz Corp., con corona de diamante, dentro de la estructura anular del cerro Sarambí, alcanzó una profundidad total de 227m; en este pozo desde los primeros 10 m de profundidad, se encontró rocas metamórficas foliadas clasificadas como esquistos máficos bandeados; la misma está constituida principalmente de cuarzo, biotita y clorita asociadas con feldespato potásico, granate y magnetita. La roca presenta coloración verdoso oscura a negra en partes intercalada con bandas de color gris claro, con fuerte inclinación compuesta principalmente por cuarzo en forma de bandas de segregación y capas masivas granoblásticas; además ocurren capas intercaladas de color negro ricas en magnetita de unos 10 cm de espesor.

Las otras unidades son rocas sedimentarias clásticas pertenecientes a los depósitos de relleno de la cuenca del Paraná, compuesto de areniscas



**Figura 2.** Mapa geológico del área del cerro Sarambí. (Modificado de The Anschutz Corp., 1981).

sacaroidales de edad Silúrica-Devónica, seguida por una serie heterogéneas de areniscas, siltitas y diamictitas correspondiente a la Formación Aquidabán de edad Carbonífero Superior y finalmente completa la serie las areniscas eólicas de la Formación Misiones (Livieres, 1987). Las rocas basálticas toleíticas de la Formación Alto Paraná de edad Cretácica (Melfi, 1967), se encuentran más hacia el Este y cubre parcialmente a la intrusión del cerro Chiriguelo.

El complejo Chiriguelo se compone en su mayor parte de rocas ígneas silicáticas, desde las variedades ultramáficas representada por piroxenita y las de mayor diferenciación con las intrusivas alcalinas intermedias compuesta por sienitas alcalinas, sienitas con nefelina, traquitas porfiríticas con marcada estructura fluidal y fonolitas como términos hipobasales y efusivos respectivamente. También ocurren brecha constituida por una mezcla de xenolitos de rocas metamórficas, rocas feníticas y carbonatíticas envueltos en una matriz limonítica muy fina (Censi, et al, 1989).

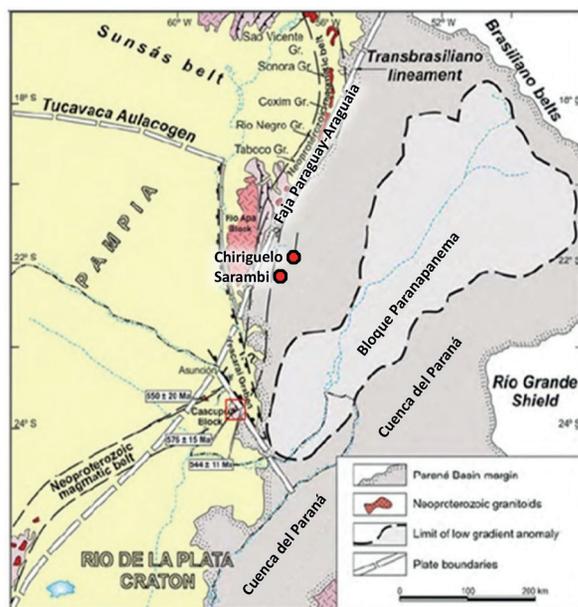
Las rocas carbonatíticas ocurren principalmente como sovita masivas donde predomina la calcita > 90%; como accesorios comunes ocurren biotita, barita, cuarzo, apatito, hematita, magnetita y ortoclasa (Livieres, 1987). Censi et al, (1989) definieron cuatro estadios de carbonatitas, denominando como estadio C-1 a la sovita masiva, C-2 alvilita

con textura aplítica, ligeramente fluidal conteniendo como accesorios de cuarzo, flogopita, hematita y sulfuros; C-3 ferrocarbonatita compuesta por calcita con inclusiones de opacos y asociados con goetita y limonita, además de apatito, sanidina y flogopita como accesorio, C-4 vetas de calcita formada por recristalización de calcita preexistente por fluidos hidrotermales-tardimagnéticos con cuarzo, barita y pirocloro como accesorios.

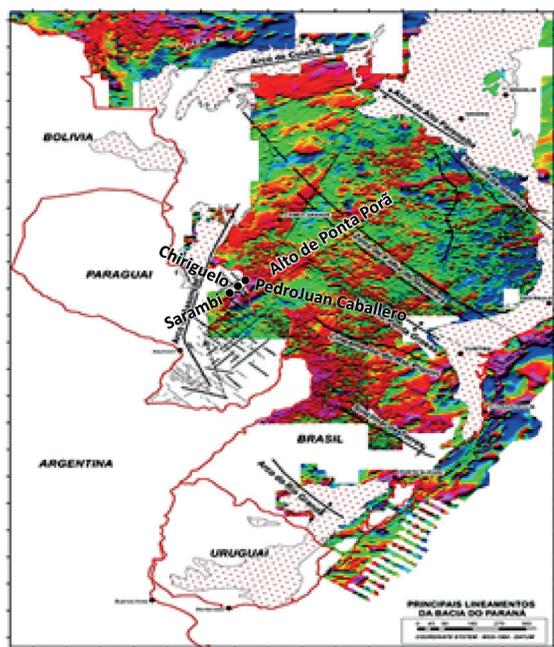
El área de ocurrencia de la estructura circular donde se encuentra la intrusión alcalina-carbonatítica se caracterizan por presentar profundos y extensos mantos de intemperización, características de estos tipos de rocas, que son usualmente cubiertas por capas de laterita que pueden alcanzar los 300 m de espesor. Los suelos se originan principalmente de la alteración de rocas piroxeníticas (ultramáficas) y de disolución de carbonatos de las carbonatitas.

### Aspectos tectónicos

Los complejos alcalinos en la zona norte de Paraguay, y en la frontera con Brasil (Estado de Mato Grosso do Sul), se colocaron a lo largo de la faja Paraguay-Araguaia, una sutura Neoproterozoica



**Figura 3.** Ubicación de las intrusiones alcalino-carbonatíticas en el contexto del Bloque Paranapanema y la Faja Paraguai-Araguaia (Extraído de Ramos *et al.*, 2010).



**Figura 4.** Mapa aeromagnético de la cuenca del Paraná con los principales lineamientos en el área Ponta Porã y Pedro Juan Caballero (Paraguay Oriental). (Modificado de Schaller & Correa, 2013).

entre el extremo sur del cratón amazónico y el bloque Paranapanema (Fig. 3).

A excepción de las rocas las alcalinas de la Provincia Alcalina Alto Paraguay, que más están relacionadas con el Cratón amazónico, las colocaciones de las otras intrusiones alcalinas están claramente controladas por régimen tectónico extensional que generó fallas y grabens de orientaciones NW-SE y NE-SE durante el Mesozoico como respuesta a las tectónicas extensionales NE-SW activas hasta el Terciario Superior (De Graff *et al.*, 1981; Livieres & Quade, 1987). Los estudios geológicos han distinguido dos conjuntos de fallas principales: uno antiguo con dirección NE-SW, que contiene el Arco Ponta Porã con tendencia N35°E como la característica tectónica más importante que controla el emplazamiento de magma alcalino en la región noreste, es decir, el área de Amambay (Livieres & Quade 1987); y un conjunto más joven, con dirección NW-SE, heredado del basamento precámbrico, que se encuentra el graben Asunción-Sapucai-Villarrica (Fig. 4), que se extiende hasta más de 100

km de largo, es el rasgo tectónico más destacado de la región Central del Paraguay Oriental.

En la mayoría de los casos, el emplazamiento del magmatismo alcalino-carbonatítico está controlado por rasgos tectónicos antiguos, que se reactivaron en el Mesozoico, y están relacionados principalmente a estructuras regionales tales como arcos, lineamientos y rift. Riccomini et al, (2005) postula que las fallas litosféricas profundas desempeñaron un papel importante en el contexto tectónico que controla estas ocurrencias de las alcalinas-carbonatíticas.

Los complejos alcalino-carbonatítico cerro Chiriguelo y cerro Sarambí de Amambay, en la región noreste de Paraguay, están relacionados tectónicamente con el Alto de Ponta Porã de dirección NE-SW, o Arco de Porã (Livieres & Quade 1987, Comin-Chiaramonti et al, 1999).

### Potencial en mineralización de los Complejos Alcalino-Carbonatíticos (Chiriguelo y Sarambí)

**Uranio:** análisis petrográfico de la carbonatita confirma la presencia de Uranio-pirocloro en sovita; además es probable la presencia de otros elementos radiactivos como Torio. Esta roca es la que presenta mayor lectura radiométrica en el área.

**Niobio:** se encuentra minerales de niobio en diques que corta a sovita de la parte central del complejo. Los diques contienen Estroncio-pirocloro hasta 70%, asociado con zonas de alta radiactividad. Dicho mineral está asociado con apatito, biotita, calcita y óxido de Fe.

**Elementos de Tierras Raras (ETR):** La concentración de REE liviana en suelos de la parte central de la estructura circular es muy alta Cerio: 1.3% y Lantano: 1.1%. La carbonatita fresca contiene Cerio: 0.2% y Lantano: 0.1%. El suelo proveniente de la alteración de la carbonatita esta enriquecida en tierras raras por lixiviación. Además, se encuentran en el manto de alteración otros minerales como monacita y estroncianita. En la zona de mineralización con REE el scintillometro registra valores hasta 17.000 cps (cuenta por segundo); el *background* normal es de 500 cps.

**Fosfato P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:** Dos tipos de mineralización fos-

fática ocurren en Chiriguelo: en silicocarbonatita 2.5%, en rodbergita 6.4 % y del tipo supergénico en el manto de alteración 9.40%. La concentración en el supergénico varía de acuerdo a los tipos de rocas parcialmente alteradas y al suelo derivado

**Bario:** La Barita es un importante mineral presente en la carbonatita de Chiriguelo. La cantidad de Ba varía entre 10.3 a 32.8 %. Algunos diques de sovita contiene Celestina y fluorita.

### Conclusiones

La Provincia alcalina de Amambay contiene a los complejos alcalino-carbonatítico de Chiriguelo, Sarambí. Estos complejos intruyeron a las rocas del basamento Precámbrico y de los estratos sedimentarios paleozoicos y mesozoicos superiores y produjeron abombamiento producto de la inyección forzada del magma carbonatítico con alto contenido de gases produce descarga explosiva hacia la superficie, originando un cráter, que fueron rellenadas también con roca de caja circundante.

El complejo Chiriguelo, es esencialmente de forma circular, que en su porción periférica está cubierta por rocas metamórficas Precámbricas compuesto por esquistos de mica que están bordeados por rocas sedimentarias ortocuarcitas Silúrico-Devónicas (?) y las siltiitas, areniscas y diamictitas Carboníferas hacia la porción más externa. En la porción central del complejo tiene un núcleo de carbonatita rico en calcita (sovita) que es atravesada por rodbergita y carbonatita transgresiva tardía.

El Cerro Sarambí, está compuesta principalmente de piroxenita micácea, asociada en menor proporción con sienita alcalina y sienita nefelínica. Estas rocas están atravesadas por diques de traquita y fonolita alcalina y venas delgadas de carbonato que contiene como accesorio apatito, magnetita y fenitas masivas.

Las intrusiones alcalinas carbonatíticas se produjeron a través de fracturas tensionales profundas, en áreas de *rifting* continental. El estilo estructural está dominado por el Alto de Ponta Porã de dirección NE-SW. Las intrusiones pueden representar el brazo fallido de un punto triple generada por pluma del manto.

### Contribución de los autores

Los autores contribuyeron manera equitativa en la elaboración de este artículo.

### Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

### Literatura citada

- Alcover Netto, A. (1997). *Contribuição ao Conhecimento sobre o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Chiriguélo (Paraguai Oriental). Aspectos geoquímicos e de alteração intempêrica*. Tesis Doctotal. São Paulo: Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo. xvii + 256 pp.
- Almeida, F.F.M. (1983). Relações tectônicas da rochas alcalinas Mesozoicas da região meridional da Plataforma Sul-americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 13(3): 139–158.
- Castillo, A.M.V. (1986). *Reavaliação da Geologia do Paraguai Oriental*. Tesis Doctotal. São Paulo: Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo. x + 141 pp. + 1 map.
- Censi, P., Comin-Chiaramonti, P., Demarchi, G., Longinell, A & Orué, D. (1989). Geochemistry and C-O isotopes of the Chiriguélo carbonatite, northeastern Paraguay. *Journal of South America Earth Sciences*, 2(3): 295–303.
- Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds.). (1996). *Alkaline magmatism in central-eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil*. São Paulo: EDUSP. 464 pp.
- Proyecto Aquidabán. (1975). *Cuenca del Plata: estudio para su planificación y desarrollo: República del Paraguay: región nororiental*. Washington, DC: Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. xix + 197 pp.
- Eby, N.G. & Mariano, A.N. (1992). Geology and Geochronology of Carbonatites Peripheral to the Parana Basin, Brazil-Paraguay. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(3): 207–216.
- Mariano, A.N. & Druecker, M.D. (1985). Alkaline igneous rocks and carbonatites of Paraguay. *Geological Societies of America Abstracts with Programs*, 17: 166.
- Melfi, A.J. (1967). Potassium-argon age for core samples of basalt rocks from Southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31: 1079–1089.
- Premoli, C. & Velazquez, J.C. (1981). Preliminary reconnaissance for uranium in Paraguay. Pp. 373–394 in International Atomic Energy Agency (ed.). *Uranium Deposits in Latin America: Geology and Exploration: proceedings of a regional advisory group meeting organized by the International Atomic Energy Agency and Held in Lima, Peru, from 4 to 8 December 1978*. Vienna: International Atomic Energy Agency Division of Scientific and Technical Information. 626 pp.
- Ramos, V.A., Vujovich, G., Martino, R., Otamendi, J. (2010). Pampia: a large Cratonic block missing in the Rodinia supercontinent. *Journal Geodynamics*, 50(3): 243–255.
- Sanders Jr, G.F. & Druecker, M. (1981). *Status Report Alkaline Complex of Cerro Sarambí*. Informe. Denver: The Anschutz Corp.
- Schaller, H.Y. & Correa, E.L. (2013). *Cuenca del Paraná Paraguay Oriental: Estratigrafía y Potencial Petrolero*. SABRE Internacional de Energía - Semana del Geólogo. San Lorenzo: FACEN-UNA.
- Velázquez, V.F., Riccomini, C., Gomes, C.B., Figueredo, L.B. & Figueredo, C. (1998). Relações tectônicas do magmatismo alcalino do Paraguai Oriental. *Revista do Instituto Geológico*, 19(1-2): 43–49.