

RELACIÓN ENTRE LA GEOLOGÍA Y LA HIDROGEOLOGIA

Ana María Castillo Clerici – Centro Multiuso de Monitoreo Ambiental e Hidrológico - MOPC

Resumen

El Paraguay Oriental forma parte desde el punto de vista geológico del borde Oeste de la Cuenca del Paraná, su origen y evolución tectono-magmática es consecuente con los eventos registrados en la cuenca, verificado por un fuerte control estructural de las unidades estratigráficas que las componen.

La evaluación integral de los aspectos geológicos, tectónicos, magmáticos, grado geotérmico, tipos de rocas existentes, son datos fundamentales para un mejor entendimiento de las condiciones en que están sometidas las aguas superficiales y subterráneas y la relación entre ambas.

Introducción:

El Paraguay Oriental está situado aproximadamente entre las latitudes 22° y 28° Sur y las Longitudes 54° y 58° Oeste, ocupa una superficie total de 159.628 Km², divididos en 14 Departamentos, que conforman el 40% del territorio nacional.

Esta región forma parte geológicamente a la Cuenca del Paraná, considerada como intracontinental e intracratónica del “Tipo 2” compuesta, 2^a-Compleja (Klemme, 1980), se extiende cronológicamente desde el Ordovícico al Cretácico, abarcando un área aproximada de 1.400.000 Km², a Paraguay le correspondería 100.000 Km² (Zalán et al,)

aproximadamente 250 MA., influencia de esa manera en la sedimentación de varias Unidades Estratigráficas del Paraguay Oriental. El río Paraguay notablemente está en forma correspondiente al Arco de Asunción, indicando un control estructural en la dirección del drenaje del río.

Según Putzer, 1.962, el flanco oriental del arco se inclina gradualmente hacia el interior de la Cuenca del Paraná, con ángulo que según Redmond (1.979) puede alcanzar los 4°, Almeida (1.981) sugiere que el arco termina en el sur bajo cobertura sedimentaria y lavas en la Provincia de Corrientes, Argentina.

Las orientaciones de los lineamientos estructurales de Paraguay Oriental se presentan el diagrama rosáceo, Fig. 2.

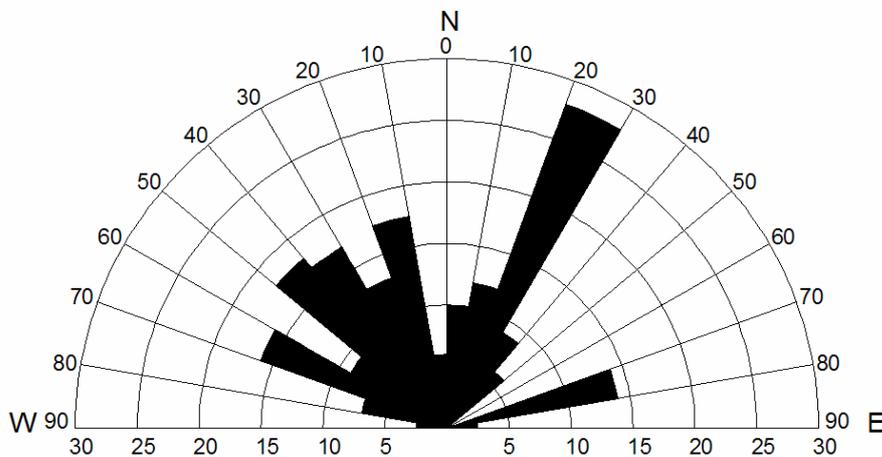


Fig. 2. Direcciones preferenciales de elementos estructurales de Paraguay Oriental, Castillo Clerici, 1986.

En éste trabajo, nos vamos a referir con exclusividad a la relación de las direcciones preferenciales de lineamientos con las formaciones Misiones y Alto Paraná.

La principal dirección estructural de Paraguay Oriental está controlada por el Sistema NE, siendo mas desarrollada los lineamientos que obedecen a la dirección N20°E y al N30°E. En el cuadrante NE se constata también una amplia distribución de lineamientos de diferentes intensidades que presentan direcciones variables entre N10°-20°E y N70°-80°E.

En el cuadrante NW, la distribución de las direcciones es más homogénea y más densa, principalmente entre N10°W y N50°W, subordinado aparecen las direcciones N60°-70°W, siendo las otras de intensidad menor.

Estas direcciones estructurales nos delatan que el sistema N20°-30°E sobresale pero la densidad del sistema N10°-50°W es más denso y se le

atribuye un importante papel en la definición estructural de Paraguay Oriental. Este patrón estructural es más resaltante en la Región Centro-Sur.

En la Región Norte, Castillo Clerici, 1986, los lineamientos representan fracturas y fallas que en general ponen en contacto a diferentes Unidades Estratigráficas.

El afloramiento de la Formación Misiones del área norte, verificada en la ruta que va de Yby Yaú a Pedro Juan Caballero, están alineados estructuralmente por la dirección de casi N-S. A 13 Km de Yby Yaú, en la misma dirección, afloran los cerros testigos de la Formación Misiones alineados. En el nivel de la ruta afloran los sedimentos de la Formación

Aquidabán representados por diamictitos con cantos estriados, en contacto discordante con la formación Misiones.

A 30 kms de Yby Yaú en la misma dirección mencionada, continúa aflorando la Formación Aquidabán que se presenta muy perturbada tectónicamente por la intrusión alcalina presente en el lugar. Sobre esta intrusión, a pocos Kms, se observan suelo laterítico de pequeña extensión y afloran nuevamente las areniscas de la Formación Aquidabán, con grandes clastos que se prolongan hasta 3 kms de extensión y pone nuevamente en contacto con la Formación Misiones y otra intrusión alcalina.

A 13 Kms del punto anterior, afloran rocas del tipo micaesquistos y cuarcitas de edad Precámbrica y en el borde se observan una intrusión alcalina. Continuando la sección rumbo al Este, aflora la Formación Misiones por más 4 kms y otra intrusión alcalina, próximo a un contacto de falla de ésta Arenisca Misiones con la Formación Alto Paraná.

Esta descripción pormenorizada de la sección, nos demuestra la variedad de rocas presentes, de distintos orígenes y edades, de sus contactos discordantes y de la fuerte influencia tectónica en la región. Estas condiciones deben influenciar en mayor o menor escala en la calidad y cantidad del agua subterránea, en la dirección de flujo, en su hidroquímica principalmente ya que estamos hablando de varios tipos de minerales y elementos químicos que se encuentran en las rocas que conforman la región.

Para la región sur de Paraguay Oriental (Departamento de Itapúa) la Formación Misiones y Alto Paraná, poseen también la misma dirección estructural de las Unidades Gondwanicas, el magmatismo, la tectónica y relaciones de contacto están condicionados a los eventos geológicos que se manifestaron en sus ambientes de deposición.

En el área del Departamento mencionado, las rocas están representadas principalmente por areniscas y basaltos que constituyen las formaciones

Misiones y Alto Paraná, respectivamente. Estas rocas conforman varios cerros que constituyen elevaciones continuas, como el caso de la Cordillera de San Rafael con orientación NE-SW.

Las Areniscas Misiones presentan relieves ondulados con remanentes que constituyen cerros. Generan suelos arcillosos rojisos (litosol), con buen drenaje y en los lugares de su afloramiento se garantiza abundante agua subterránea, su permeabilidad es muy buena.

Los basaltos de la Formación Alto Paraná se encuentran distribuidos en una amplia faja de dirección Nor-Este-Sur, bordeando la parte occidental del río Paraná. Estos basaltos forman parte también del importante accidente geográfico del Paraguay, la Cordillera de San Rafael.

A pesar de su importante distribución geográfica, tienen un alto grado de intemperismo que al alterarse (meteorización), por acción química producen suelos limo arcillosos de color rojo oscuro, denominados suelos lateríticos, con propiedades muy ricas para los cultivos del tipo anuales y permanentes.

Las propiedades geotécnicas de éste basalto es elevada, poseen resistencia al aplastamiento de orden de 1.100 a 3.500 Kg/m², son impermeables si no están fracturados, en caso contrario, adquieren permeabilidad secundaria con buenos caudales. Esta sección está descrita en el trabajo “Geología del Departamento de Itapúa” (Castillo Clerici, A.M.) presentado en éste congreso.

Una de las estructuras tectónicas de la Región Centro-Sur que más llama la atención a los investigadores en el Paraguay Oriental es el Valle de Ypacaraí. Degraff el all (1.981) interpretaron a éste valle tectónico como resultado de una erosión a lo largo de una falla transcurrente dextrógira, orientada para el NNW, con fallas N-S asociadas y con apreciables rebajamiento de bloques. El conjunto de este comportamiento tectónico tendría como resultado un régimen mecánico de compresión causando cizallamiento, conformaría entonces un sistema del tipo rift continental.

Esta estructura conforma también los numerosos diques asociados a la Formación Alto Paraná , relleno de fracturas profundas con direcciones principales NNW-SSE, son rocas de filiación alcalina, en los alrededores de Sapucaí y Paraguari.

De forma a no disociar a las rocas efusivas y diques con las areniscas intercaladas a los derrames, se constituyen como Formación Alto Paraná al conjunto de rocas sedimentarias y magmáticas que la conforman y se correlaciona a la Formación Serra Geral de Brasil, Castillo Clerici., 1986.

En relación a los lineamientos regionales y a modelos estructurales aplicados a la cuenca por geólogos brasileños desde Leinz (1.947), Bosum (1.973), Asmus (1.978), Ferreira et al (1.981) Fúlfaro et al (1.982-1.995), Soares et al (1.982) y otros, (Fig. 1) que tiene como base observaciones de campo, métodos aeromagnéticos y otros métodos geofísicos, imágenes de satélite, etc.,. Esos autores determinaron zonas de debilidad o fracturas que fueron denominados lineamientos y utilizaron para explicar la tectónica regional. Muchos de esos lineamientos están relacionados con la tectónica de placas, fallas de distensión que se formaron durante la separación de los Continentes Sudamericano y Africano. Paraguay está situado en el interior continental y la aplicación de esos conceptos requieren de cautela a pesar de la gran exposición magmática en la expresión de las rocas basálticas y alcalinas y del control estructural en su distribución.

La dirección NW-SE y WNW-ENE definido por Leinz, 1949 y que Fúlfaro et al., 1982, correlaciona con el Lineamiento Torres-Posadas, corresponde a una megaestructura cuya expresión actualmente se verifica en la brusca curva que hace el río Paraná hacia el Oeste, a partir de la ciudad de Encarnación, en un verdadero proceso de captura de éste cauce por el río Paraguay, controlado por otra dirección estructural N-S.

En Paraguay sería necesario realizar estudios más detallados para aplicar estos modelos estructurales, en Brasil su influencia se ha demostrado por grandes anomalías de ámbito regional.

Comportamiento Magmático:

Los principales eventos tectono-magmáticos que se registraron en el Paraguay Oriental corresponden a los diferentes ciclos de su historia geológica. En la Fig. 3 se pueden observar la localización geográfica dispuestos por un fuerte control estructural.

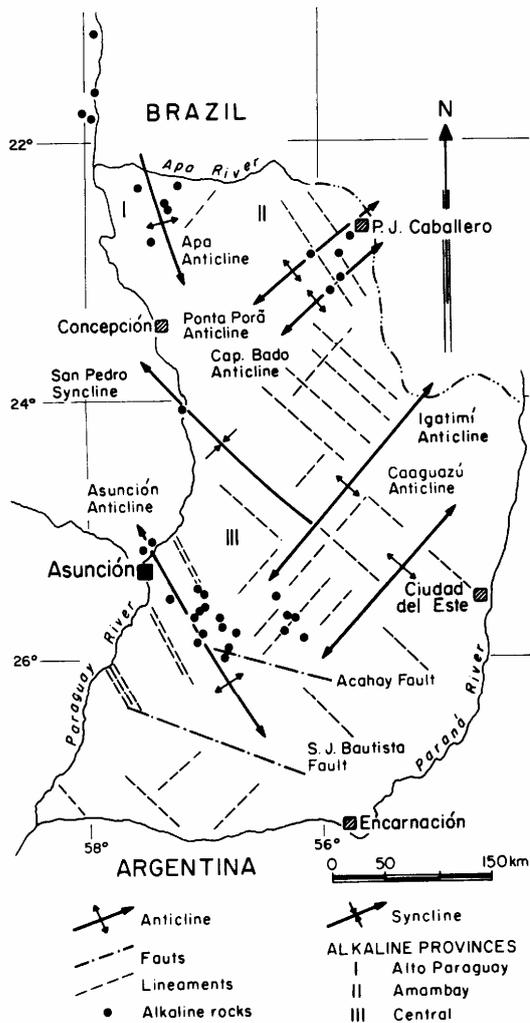


Fig. 3. Distribución Geográfica y Estructural de las Rocas Alcalinas de Paraguay (Livieres & Quade, 1987).

Desde el punto de vista cronológico tenemos en Paraguay Oriental varios eventos magmáticos, del más antiguo al más joven a lo largo de su historia tectono-magmática, los siguientes ciclos:

1) Ciclo Brasileño:

El magmatismo en el Paraguay Oriental se inicia con el evento que corresponde al Precámbrico hasta el Ordovícico correspondiente al Arco de Asunción, del tipo ácido desarrollado en el Ciclo Brasileño (Almeida, 1.976-84).

Este magmatismo está constituido por lavas riolíticas y granitos, riolita ignimbrita, aforando en el norte (Río Apa) y sur (Villa Florida), con edades comprendidas entre 575-478 MA (Bitschene & Lipoolt, 1.986).

2) Segundo Ciclo:

El segundo evento magmático se concentra en el área norte, Alto Paraguay y Río Apa, constituido por rocas del tipo nefelina sienita a alcaligranito y de

efusivas equivalentes, de edades comprendida entre el pérmico Superior al Triásico, de 250 a 240 MA.

3) Tercer Ciclo:

El tercer evento magmático aparece en el Cretácico Superior, de edad comprendida entre 137-127 MA (Bitschene, 1.987; Renne et all, 1992; Turner et all 1.994) representado por lavas toleíticas y de basalto andesítico, concentrados en la parte Este del área.

4) Cuarto Ciclo:

El cuarto evento está representado esencialmente por rocas potásicas, datados entre 132 a 118 MA, de edad Cretácica (Velázquez et all 1.992; Gomes et all., 1995) concentrado en el Rift de Asunción-Sapucaí, magmatismo del tipo sódico se encuentran cerca de San Juan Bautista, Misiones de edades comprendidas entre 120 a 112 MA (Comin-Chiaramonti et all, 1.992).

En la región norte del país, se relacionan a éste evento los complejos alcalinos del área cercana a Pedro Juan Caballero (Chiriguelo, Cerro Guazú, Cerro Sarambí) datado de 128 +/- 5 MA. por el método K/AR de un biotita sövita del cuerpo alcalino del Cerro Chiriguelo. Esta edad Cretácica corresponde a otros cuerpos alcalinos del Paraguay oriental.

5) Quinto Ciclo:

El último ciclo magmático registrado está registrado desde el Cretácico Inferior al Oligoceno pero es más representativo en el Eoceno, datado en 61 a 39 MA (Velázquez et all, 1.992), constituido por rocas ultra-alcalina del tipo sódicas, basanitas a fonotrefitas, alcali-basaltos y lavas traquiandesitas, que se encuentran en los alrededores de Asunción (Ñemby, Lambaré, Tacumbú y diques), también se encuentran localizadas cerca de las ciudades de Paraguairí, Sapucaí, La Colmena y Acahay.

Comin-Chiaramonti et all., 1.995 hace un estudio del magmatismo localizado en el Graben de Asunción-Sapucaí, en Paraguay Oriental registrando tres eventos principales de diferenciación magmática, se localizan en estructuras del tipo extensional:

a) Magmatismo toleítico (137-127 MA); 2) Magmatismo potásico (132-118 MA) y 3) Magmatismo sódico (61-39 MA).

El magmatismo toleítico de origen de eruptivas básicas a intermediarias, identificado petrográficamente de augita y/o pigeonita como microcristales en grano fino, plagioclasa de alta temperatura del tipo labradorita,

magnetita y vidrios volcánicos (Palmieri,1977). Bellieni et al. 1.985; identificaron varios tipos petrográficos de volcánicas, relacionando éstas diferenciaciones con grandes alineamientos tectónicos regionales.

Bitschene, 1.987, Renee et al., 1.992; Turner et al., 1.994; dan cuenta que el magmatismo en la zona oeste del Paraguay Oriental, está conformado por basaltos toleíticos y andesita-basalto.

b) El magmatismo potásico está concentrado en el Graben de Asunción-Sapucaí, representado por cuerpos intrusivos, flujos de lavas y de diques. El magmatismo sódico es esencialmente bimodal y está representado por rocas del tipo ankartrítica/nefelínica y fonolitas peralcalinas.

La química mineral presentado en el trabajo de Cundari & Comin-Chiaramonti, 1.995 de los tipos magmáticos del graben de Asunción-Sapucaí, indican que las rocas alcalinas poseen una moderada variación de composición magmática que va de meta-aluminico a peralcalino, con alto índice relativo de Ti, análogo de la Región Romana de Italia y a la parte SW de Uganda. Estas características relaciona una condición magmática y de génesis similar y de una evolución particular con respecto a una zona de rift del tipo continental.

c) El magmatismo potásico localizado en varios puntos de Paraguay Oriental tiene un alto contenido de elementos incompatibles (Ba, La, Ce, Zr, P) y de un alto contenido de potasio, lo que lleva a concluir que genéticamente tienen origen parcial en el manto.

Comin-Chiaramonti et al., 1995, presenta el resultado de la petroquímica magmática heterogéa de muestras recolectadas, producto de varias campañas de campo durante 10 años de la zona del Graben Asunción-Sapucaí que nos ilustra acerca de la variedad de rocas ígneas intrusivas, extrusivas y de derrames que se encuentran en nuestro país y que afectan indiscutiblemente a las rocas sedimentarias y metamórficas que la contienen.

Grado Geotérmico:

El grado geotérmico a que fue sometido el área de Paraguay Oriental, borde Occidental de la Cuenca del Paraná está demostrado por el sistema AFTA (Apatita Fission track Analyses) in Hegartti et al., 1.995, a partir del resultado de varias muestras de la cuenca, presentan clara evidencia de alta temperatura en el pasado, en episodios bien identificados en rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, de edades que van del Ordovícico al Cretácico Superior.

El resultado del análisis de la historia termal de cada una de las 14 muestras analizadas de Paraguay, Uruguay y Brasil, dan cuenta de paleotemperaturas máximas a que fueron sometidas estas áreas (generalmente expresadas

como valores mínimos cuando las paleotemperaturas exceden 105° – 110° C), que corresponden a dos episodios bien identificados, del Cretácico Inferior y del Terciario, respectivamente, así como del tiempo transcurrido del enfriamiento hasta la temperatura que poseen en la actualidad.

Datos de la Formación Misiones de Paraguay (muestra RD5-12) de 215 MA registró una paleotemperatura inicial mayor que 105° C, el período de enfriamiento transcurrió de 110 a 60 MA y una paleotemperatura final entre 70° y 80° C y el período de enfriamiento transcurrido de 60 MA a 0, siendo que la temperatura actual es de 20° C

En el Cretácico Inferior, se evidencia el episodio tectónico del Rift, relacionado a la apertura del Atlántico Sur y en consecuencia, la depositación del magma basáltico del tipo toleítico y potásico estimado en 1 a 2 millones de Km³ de material, conformando gradientes geotérmicos importantes que ejercieron el control en la geomorfología y en los patrones de drenajes en la región.

En adición del aporte magmático mencionado, en Paraguay se tiene en el Eoceno-Oligoceno, magmatismo del tipo ultra-alcalino intrusivo, localizados en el Graben de Asunción- Sapucaí (Comin Chiaramonti et al., 1.991).

Recursos Minerales:

Como sabemos, el agua influencia en el origen y composición mineral de una determinada roca como catalizador o como componente, también se produce el proceso inverso, la composición mineral de una roca influencia directamente en la calidad del agua, por esa razón hacemos énfasis en la relación directa entre la geología y la hidrogeología.

En éste trabajo tomamos como ejemplo a la Geología y de los Departamentos de Amambay e Itapúa que se encuentran detallados en los trabajos, “Geología, Tectónica y Recursos Minerales del Departamento de Amambay” y “Geología, Tectónica y Recursos Minerales del Departamento de Itapúa”, respectivamente que se presentan en éste Congreso.

El Departamento de Amambay tiene una geología compleja y los recursos minerales son producto de la génesis de las rocas que conforman la región. El agua superficial y subterránea está influenciado por rocas magmáticas del tipo ácido (Basamento cristalino), básico (Formación Alto Paraná y complejos alcalinos asociados) y rocas sedimentarias de las formaciones Aquidabán y Misiones. Los complejos alcalinos poseen gran potencial económico, principalmente niobio, titanio, uranio, torio, fosfatos, tierras raras y varios metálicos básicos.

El Departamento de Itapúa está conformado básicamente por unidades estratigráficas de las formaciones Misiones y Alto Paraná, son rocas de origen sedimentarias y magmáticas, respectivamente. Los minerales o elementos encontrados en el área se presentan como anomalías concentradas de altos valores de vanadio y molibdeno en sedimentos del suelo, anomalías radioactivas, metales como el cobre y de su alteración, se originan piedras preciosas como la azurita y malaquita.

Conclusiones y Recomendaciones:

En este trabajo se ha mencionado el resultado de la petroquímica magmática heterogénea que nos ilustra acerca de la variedad de rocas ígneas intrusivas, extrusivas y de derrames que se encuentran en varias partes de nuestro país y que afectan indiscutiblemente a las rocas sedimentarias y metamórficas que la contienen. Esta petroquímica tiene una gran influencia en la calidad de agua del área, tanto superficial como subterránea.

En relación al sentido de flujo del SAG, se debe considerar principalmente el ángulo de inclinación regional de la Cuenca del Paraná hacia el interior del mismo que corresponde al Paraguay Oriental con inclinación de 4°. Se deben tomar en cuenta además la influencia de los grandes lineamientos regionales de dirección preferencial NW-SE, estos lineamientos situados al norte y sur de Paraguay Oriental, nos pueden indicar el sentido de flujo a nivel más local. En ese sentido, el evento tectono-magmático producido por la apertura del Atlántico Sur en la cuenca ha levantado y rebajado bloques que se mantienen desde el Cretácico Inferior hasta la actualidad y que conforman fracturas profundas. Este evento regional es el responsable en gran parte de la geomorfología actual de la cuenca y en consecuencia, del control de drenaje en toda la región.

Para el comportamiento hidrogeológico y en particular en el SAG no son diferentes los aspectos que deben ser considerados, la geología general del área de influencia; la intensidad de la tectónica, el magmatismo en los diferentes ciclos, grado geotérmico que afectaron el pasaje de fluido caliente entre los poros o fracturas que poseen las rocas, la composición mineral y el ambiente de sedimentación de las rocas son aspectos básicos a tener en cuenta en la elaboración de un modelo conceptual más acorde con la realidad local.

Se necesitan estudios más detallados para determinar la relación de la composición mineralógica de las rocas y el agua subterránea, ésta relación en Paraguay Oriental y en el caso específico del SAG, se pueden considerar algunos aspectos mencionados en éste trabajo, pero todavía existen muchas

dudas que sólo podrán ser esclarecidas con resultados de investigaciones más acabadas.

Referencias Bibliográficas

- ALMEIDA, F.F.M. (1982) Síntese sobre a tectonica da Bacia do Paraná. (Conferencia de Abertura) 3er. Simp. Reg. Geol. Curitiba,PR. Atas, 1:1-20.
- ASMUS, H.E. (1.978) Hipotese sobre a origen dos sistemas de zonas de fraturas oceanicas/alinhamentos continentais que ocorreram nas Regioes Sudeste e Sul do Brasil. Série Projeto. REMAC, RJ: 39-73.
- Bitschene, P.R. & Lippolt, J.H. (1.986) Acid Magmatites of the Brasiliano Cycle in East Paraguay. Zbl. Geolo. Paleont., Teil I, 9/ 10: 1457-1468 p.
- Bellieni, G.; Comin-Chiaramonto, P; Marques, L.M.; Martínez, L.A.; Melfi, A.J. Nardy, A.J.R.; Piccirillo, E.M.; Stolfa, D. (1986) Continental Flood Basalts from the Central-Western Regions of The Paraná Plateau (Paraguay and Argentina): Petrology and Petrogenetic Aspects. Neues Jb. Miner.Abh., 154:111-139
- BOSUM, W. (1.973) O Levantamento Aereomagnético de Minas Gerais e Espíritu Santo e sua consequência quanto a estrutura geologica: Rev. Bras.Geoc. 3(3): 149-159.
- CASTILLO CLERICI, A.M. (1.986). Reavaliação da Geología do Paraguai Oriental. Tese de Doutorado. Universidade de Sao Paulo, Instituto de Geociencias.
- CASTILLO CLERICI, A.M. (en este volúmen). Geología, tectónica y Minerales del Departamento de Amambay.
- CASTILLO CLERICI, A.M. & Pistilli, B. (en este volúmen). Geología, tectónica y Minerales del Departamento de Itapúa.
- Comin-Chiaramonti, P.; Cundari, A.; De Min. A. Gomes, C. ; Marzoli, A. & Piccirillo, E.M. (1.996) Petrochemistry of Early Magmatism in Eastern Paraguay: Ocurrence and Petrography. Relationships with Coeval Magmatism in Brazil. Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds) Edusp/Fapesp, Sao Paulo, 103-122 p.
- Comin-Chiaramonti, P.; Cundari, A.; De Min. A. Gomes, C. & Velázquez, V. (1.996) Magmatism of Early Cretaceous Potassic Rocks from the Asunción-Sapucaí Graben, Central-Eastern Paraguay.

Relationships with Coeval Magmatism in Brazil. Comin-Ciaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds) Edusp/Fapesp, Sao Paulo, 123-150 p.

- DEGRAFF, J.M.; FRANCO, R. & ORUE, D. (1981) Interpretación Geofísica y Geológica del Valle de Ypacaraí (Paraguay) y su Formación. Rev. Asoc. Arg. 35(3): 240-256.
- DRUECKER, M.D. (1980): Chiriguelo Complex Status Report (Informe The Anschutz Corporation).
- DRUECKER, M.D.(1980): Radioactive Intrusive Investigation (Informe The Anschutz Corporation).
- DRUECKER, M.D.(1981): Cerro Guazú Alkaline Complex Status Report. (Informe The Anschutz Corporation).
- FERREIRA, F.J.F. (1982) Alinhamentos estruturais magnéticos da Região Centro-Oriental da Bacia do Paraná e seu significado tectónico. IPT N°:1217: 149-166.
- FULFARO, V.J.SAAD, A.R. SANTOS, M.V. & VIANNA, R.B. (1982)
- Compartimentação e Evolução tectónica da Bacia do Paraná. Rev. Bras.Geoc. 12(4):540-610.
- Fulfaro, V.J. (1996) Geology of Eastern Paraguay. Alkaline Magmatism in Central Eastern Paraguay. Relationships with Coeval Magmatism in Brazil. Comin-Ciaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds) Edusp/Fapesp, Sao Paulo, 17-29 p.
- Gomes, C.B.; Comin-Ciaramonti, P.; Velázquez, V. F. & Orué, D. Alkaline Magmatism in Paraguay: A Review.(1996) Alkaline Magmatism in Central Eastern Paraguay. Relationships with Coeval Magmatism in Brazil. Comin-Ciaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds) Edusp/Fapesp, Sao Paulo, 31-56 p.
- Hegarty, K.A.; Duddy, I.R. & Green, P.F. (1996) The thermal History in Around the Paraná Basin Using Apatite Fission Track Analysis – Implications for Hydrocarbon occurrences and Basin Formation. Alkaline Magmatism in Central Eastern Paraguay. A Review.(1996) Alkaline Magmatism in Central Eastern Paraguay. Relationships with Coeval Magmatism in Brazil. Comin-Ciaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds) Edusp/Fapesp, Sao Paulo, 67-84 p.
- HUTCHISON – REIMER (1980): Base, Precious Metal and Rare Earth Exploration in Eastern Paraguay. (Informe The Anschutz Corporation).

- Informe The Anschutz Corporation (1976): Uranium Exploration in Paraguay.
- Informe The Anschutz Corporation (1979): Chiriguano Carbonatite Complex Status Report.
- Informe The Anschutz Corporation (1982): Carbonatite and Alkalic Intrusives Anschutz Concession Paraguay.
- LEFOND, S.J. (1976): Paraguay – A Survey. (Informe The Anschutz Corporation).
- MARIANO, A.N. (1978): Report on Alkaline Rocks Exploration in Southern Paraguay and Supplement on Exploration in the área of Pedro Juan Caballero. (Informe The Anschutz Corporation).
- NORTHFLEER, A.A.; MEDEIROS, R.A. & MUHLMANN, H. (1969) Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. Bol. Tec. da Petrobrás, 12(3): 291-346
- PALMIERI, J.H. (1977). Contribución al Conocimiento del Macizo Basáltico del Paraná. Rev. Soc. Cient. Paraguay.
- PUTZER, H. (1962) GEOLOGIE Von Paraguay- Beitrag Zur regionalen geologie der Erde; Ed. Gerbruder Borntraeger. 2: 183 p.
- REDMOND, J.L. (1979) Paraná Basin, Paraguay. Tectonics and Hydrocarbon Potential. Fourth Latin American Geol. Cong. Trinidad & Tobago, 13p.
- SANDERS, Jr., G.F. (1981): Cerro Sarambí Alkaline Complex Status Report. (Informe The Anschutz Corporation).
- Turner, S.; Regelous, M. Kelley, S.; Hawkesworth, C. & Mantovani, M. (1994) Magmatism and Continental break-up in the South Atlantic: High precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. Earth Planet. Sci. Lett., 121:333-348 p.
- ZALAN, P.V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M.A.M.; SANTOS VIEIRA, I.; CONCELÇÃO, J.C.; APPI, V.T. NETTO, V.S.E; CERQUEIRA, J.R. & MARQUES, A. (1990) The Paraná Basin, Brazil. In: Leighton, M.W.; Kolata, D.R. Otiz, D.F. & Eidel, J.J. (edt) Interior Cratonic Basin, AAPG Memoir, Oklahoma, 51: 681-708.

