

Actualización del modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero Guaraní y la influencia geológica en el sector argentino

Andrés Mira¹, Leticia Rodríguez², Gerardo Veroslavsky³ y Luis Vives¹

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J. Usunoff" (UNCPBA – CIC – Municipalidad de Azul), República de Italia 780, (B7300) Azul, Buenos Aires, Argentina.

² Centro de Estudios Hidro-ambientales – CENEHA. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. Ciudad Universitaria CC 217 Ruta Nacional 168 Km 472.4, 3000 Santa Fe, Argentina.

³ Facultad de Ciencias, Universidad de la República (UDELAR), Iguá 4225, CP 11400, Montevideo, Uruguay.

Mail de contacto: andresmira@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN

El Sistema Acuífero Guaraní (SAG) se extiende por Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina. Es un acuífero continuo formado por areniscas mesozoicas de las cuencas de Paraná y Chacoparanense. Su límite inferior es una discordancia finipérmica y el superior los basaltos cretácicos. Entre esos materiales se producen movimientos verticales de agua. En áreas aflorantes de capas del SAG se produce recarga y descarga, al igual que a través de los basaltos fracturados. A mayor escala la descarga se produciría por el borde oeste del acuífero, el sur de Brasil y a favor de los grandes ríos. El flujo sigue un sentido NE a SW, condicionado por las estructuras tectónicas. Una de ellas, la Dorsal Asunción-Río Grande eleva la serie sedimentaria del SAG hasta casi situarla en superficie y junto con el menor espesor en basaltos, condiciona que esta área sea proclive a la recarga local y la descarga regional.

Palabras clave: Sistema Acuífero Guaraní, modelo hidrogeológico conceptual, Dorsal Asunción-Río Grande.

ABSTRACT

The Guaraní Aquifer System (GAS) extends through Brazil, Paraguay, Uruguay and Argentina. It is a continuous aquifer made up of Mesozoic sandstones of the Paraná and Chacoparanense basins. It is bounded at its base by a Permo-Triassic unconformity and at the top by Cretaceous basalts. There are vertical movements of the water between those rocks formations. Recharge and discharge occurs in outcrops areas, as through fractured basalts. On a larger scale the discharge would occur by the western side of the aquifer, southern Brazil and along large rivers. The flow follows a NE to SW direction, conditioned by tectonic structures. One of them, the Asunción-Río Grande Arc rises SAG sedimentary series near the surface and with the reduced thickness in basalts, produces that this area is prone to local recharge and regional discharge.

Keywords: Guaraní aquifer system, hydrogeological conceptual model, Asunción-Río Grande range

Introducción

El Sistema Acuífero Guaraní con casi 1.1×10^6 km² es uno de los reservorios de agua subterránea de mayor extensión en el mundo con carácter transfronterizo, ocupando parte de Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina (Figura 1). De él se abastecen 9×10^6 habitantes y se le estiman unas reservas de agua dulce de entre 25.000 y 40.000 km³ (Fili et al., 1998; Araujo et al., 1999; LEBAC, 2008; Schmidt, 2009; Síndico, 2011).

El objetivo de este trabajo es actualizar el modelo hidrogeológico conceptual de funcionamiento del SAG y, en particular, intentar clarificar las características geológicas de la porción argentina del acuífero, donde es menos conocido y más incertidumbres existen en cuanto a su estructura y configuración.

Método

Se realizó una recopilación y valoración de las definiciones dadas por diferentes autores al SAG en cuanto a qué niveles lo componen y los

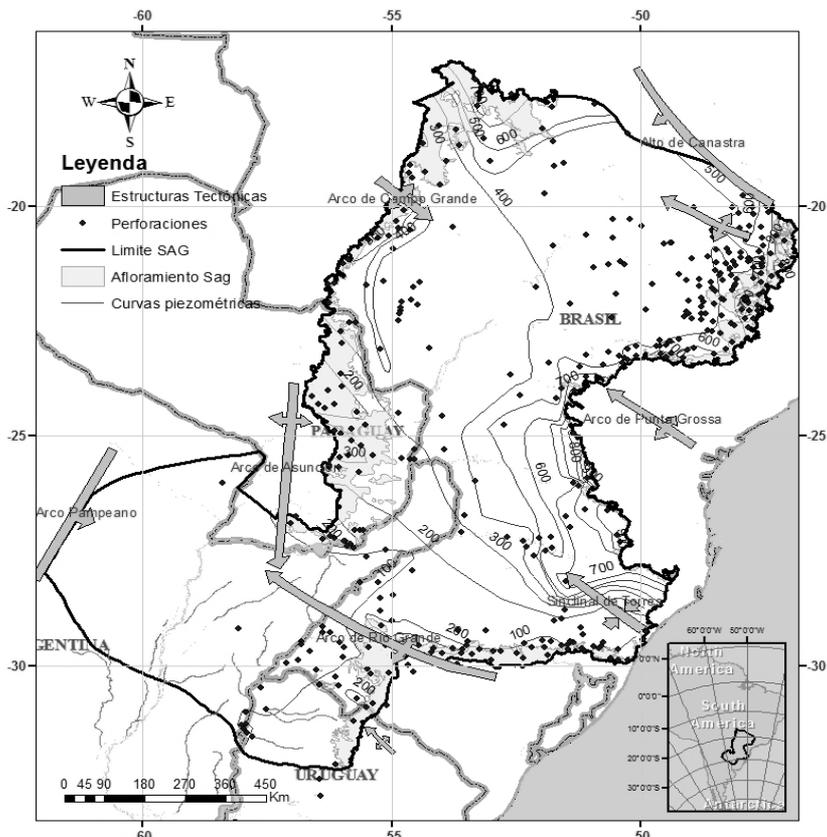


Figura 1. Mapa de ubicación del SAG, principales estructuras y pozos utilizados para trazar las curvas piezométricas. Modificado de Mira (2012)

límites del acuífero. Se trazó un mapa de curvas piezométricas a partir de datos de 361 pozos teniendo en cuenta las características geológicas y tectónicas de la cuenca, y la influencia que éstas tienen sobre el flujo así como las particularidades hidrogeoquímicas e isotópicas de las aguas subterráneas. Se realizaron campañas en el sector argentino para analizar muestras de rocas en afloramientos y de agua en perforaciones. Se realizó un mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer y, a partir de él, se generó un modelo geológico 3D de la provincia de Corrientes.

Resultados

Desde un punto de vista conceptual, el funcionamiento regional del SAG está condicionado por su estructura geológica (Gastmans et al., 2012), que pasa a describirse en detalle.

Características geológicas

El SAG se encuentra ubicado en las cuencas Chacoparanense y Paraná, rellenas con hasta 7000 m de espesor de rocas ígneas y sedimentarias que abarcan todo el registro fanerozoico.

El basamento de las cuencas está formado por un mosaico de rocas precámbricas, en su mayoría granitos, granitoides y rocas metamórficas de grado variado (Preciozzi et al., 1985). El relleno sedimentario de ambas cuencas posee rasgos geológicos comunes durante el Paleozoico y el Mesozoico, toda vez que sus registros están vinculados a eventos y ciclos tectónicos ligados a la evolución de Gondwana Occidental.

Hacia finales del Pérmico, el levantamiento generalizado del basamento cratónico sumando a la reactivación de antiguas fallas fue

definiendo, en forma progresiva, la pérdida de conexión con el paleoocéano Panthalassa, dando comienzo a una continentalización de los depósitos (Zalán et al., 1990; Gastmans et al., 2012). Esa continentalización y cierre de las cuencas paleozoicas de Paraná y Chacoparanense se expresa en el amplio predominio de sedimentitas fluviales y eólicas que se reúnen en unidades litoestratigráficas con nombres distintos por países y regiones. Así ese episodio de continentalización está representado por la Formación Buena Vista (con un miembro eólico y otro fluvial, Santa Ana et al. 2008) la que se observa en el subsuelo de la Mesopotamia y en buena parte de la Cuenca Norte uruguaya. En continuidad con los afloramientos de Uruguay, esas areniscas continentales de finales del pérmico se expresan en el estado de Rio Grande do Sul en la Formación Sanga do Cabral (en el sentido de Soares et al. 2008). En los estados brasileños de Santa Catarina, Paraná y San Pablo ese cierre del Pérmico está dado por las

Formaciones Rio do Rastro que incluye tramos deltaicos, lacustres, fluviales y eólicos y más al norte, la Formación Corumbataí, constituida por estratos de pelitas y areniscas rojas que representan sistemas transicionales. En el borde oeste de la Cuenca de Paraná, en los estados de Goiás, Mato Grosso no se reconocen términos finipérmicos continentales correlacionables a los anteriores y posiblemente en el sur de Mato Grosso do Sul, y nítidamente en Paraguay, afloran equivalentes de areniscas rojas continentales agrupados en la Formación Tacuary.

En discordancia con esas unidades finipérmicas se desarrolla durante el Mesozoico una sedimentación de origen continental, y esencialmente siliciclástica arenosa, que agrupa a todas las unidades sedimentarias que constituyen en SAG (Figura 2). La aparición de los primeros derrames de basaltos conforman el Grupo Serra Geral (Wildner et al., 2007) y define el límite superior del SAG en ambas cuencas.

Geocronología	Estratigrafía					
		Brasil Cuenca Paraná Sur Centro Norte	Paraguay Cuenca Paraná	Uruguay Cuenca Norte de Uruguay	Argentina Cuenca Chacoparanense	
Cretácico	POST-SAG	Serra Geral	Alto Paraná	Arapey	Serra Geral	
Jurásico	SAG	Botucatu	Misiones	Tacuarembó Itacumbú	Misiones o Tacuarembó	Discordancia local
Triásico		Guará Pirambóia Caturrita Santa María				
Pérmico	PRE-SAG	Sanga do Cabral Rio do Rastro Corumbataí	Tacuary	Buena Vista Yaguarí	Buena Vista	Discordancia regional

Figura 2. Cuadro cronoestratigráfico señalando las formaciones que constituyen el SAG.

En Rio Grande do Sul aparecen sedimentitas triásicas, que corresponden a las Formaciones Santa María y Caturrita (Triásico Medio y Superior), ambas compuestas por depósitos continentales, fosilíferos, de origen fluvial y con eventos lacustres asociados (LEBAC, 2008). Esta sedimentación está restringida a los alrededores de la localidad de Santa María, y no se conocen equivalentes triásicos correlacionables.

Durante el Jurásico y el Cretácico se desarrolla una extensa sedimentación continental, esencialmente eólica con episodios

fluviales y/o aluviales asociados que lo representan en la Cuenca de Paraná la Formación Pirambóia y la Formación Botucatu. Las relaciones estratigráficas de estas unidades sería de discordancia, muy probablemente asociado a un cambio tectónico que modificó las áreas fuentes así como un visible cambio climático, de húmedo (Formación Pirambóia) a árido seco (Formación Botucatu). En el borde sur de la Cuenca de Paraná, los términos correlatos a la Formación Pirambóia son los que se reúnen en la Formación Guará, mientras que en Uruguay serían equivalentes a la Formación

Tacuarembó. La Formación Botucatu de la Cuenca de Paraná encuentra sus correlatos en las Formaciones Tacuarembó (Mb. Rivera) en Uruguay y Misiones (Argentina y Paraguay).

Los primeros derrames de basaltos aparecen en extensas regiones intercalados a paquetes métricos de areniscas eólicas, si bien en sectores de Argentina y Paraguay esta intercalación de areniscas y basaltos pueden poseer una expresión vertical significativa.

El magmatismo básico que cubrió las areniscas eólicas está asociado a la desagregación continental que dio origen al nacimiento del océano Atlántico hacia el Jurásico Medio. De una forma general, ese magmatismo se expresa en el Grupo Serra Geral (ver equivalentes en la Figura 2), unidad donde se incluyen una serie de rocas efusivas en forma de filones y sills que se intercalan entre sedimentos pérmicos y cortan las formaciones permotriásicas con una dirección preferente NW (Comin-Chiaromonte et al., 1999; Santa Ana y Veroslavsky, 2003).

En la cuenca de Paraná se acumularon en coladas hasta alcanzar un espesor superior a 1500 m, con una disminución de la potencia hacia los bordes (Fariña et al., 2007). Las coladas están compuestas por distintos grupos litológicos: brechas basálticas (con clastos lávicos), basalto con textura vesicular y amigdaloido y basalto denso de textura porfírica que representa la mayor parte de los afloramientos. Intercalados en algunos niveles basálticos se presentan brechas peperíticas, que indican interacción entre lavas y sedimentos no consolidados húmedos (Lagorio y Leal, 2005). El grado de fracturación es mínimo en las brechas y máximo en la roca densa siendo en ésta, además, de tipo horizontal en los niveles inferiores y vertical en los superiores. Han sido datados entre 137 y 127 millones de años (Ma) según Milani et al. (2007).

Los basaltos, como fue señalado, presentan intercalaciones clásicas de la denominada Fm. Solari (Herbst et al., 1985). Son areniscas homogéneas de color amarillento a rojizo, bien seleccionadas y finamente laminadas, con más de 95% de granos de cuarzo.

El espesor de estas intercalaciones de areniscas tiene un máximo de 80 m en la zona correntina de Tres Cerros (Herbst et al., 1995). Este último afloramiento fue interpretado por Silva Busso y Fernández Garrasino (2004)

como una ventana de la Fm. Misiones aduciendo que la orientación estructural que posee, de dirección NW-SE, parece coincidir con las principales orientaciones de las fracturas regionales. Según el modelo gravimétrico tridimensional 3D (Mira, 2012) la capa de basaltos estaría muy adelgazada en esa zona (Figura 3), y aparentemente tiene continuidad lateral según datos de sondeos AMT (Geodatos, 2008).

De manera discordante (no-conformidad) sobre los basaltos Serra Geral se sitúan una serie de sedimentos detríticos, fundamentalmente arenosos y calcáreos, que alcanzan un espesor máximo de 300 m. Los más antiguos corresponden al Cretácico Superior y los más recientes son del Pleistoceno - Holoceno.

Uno de los rasgos estructurales más importantes por su implicación en el comportamiento del SAG es la Dorsal Asunción-Río Grande (DARG). Esta estructura se caracteriza por tener un segmento intermedio sin afloramientos del basamento, donde habría un hundimiento relativo respecto de los extremos, que podrían estar representados por dos fallas subparalelas al río Uruguay en el extremo noreste de la Mesopotamia. Esta estructura, hacia el noreste de la Cuenca de Paraná podría estar ligada al denominado rift central (Milani, 2004; Rossello et al. 2006).

Con el objetivo de resolver su geometría, Mira (2012) realizó un modelo 3D en base a datos de anomalía gravimétrica de Bouguer. Los resultados alcanzados expresan que la DARG tendría un ancho menor de 100 km y una profundidad inferior a 2000 m, y presenta una clara tendencia somerizante hacia el NW de tal forma que en la confluencia de los ríos Paraná y Paraguay la profundidad del basamento sería inferior a 1000 m.

Asimismo, Mira (2012) establece que existe una relación directa entre la profundidad del basamento y el espesor de la roca volcánica coincidiendo con la DARG, denotando el control de esta estructura durante los episodios de efusión lávica (Figura 3).

Las direcciones predominantes de las principales lineaciones tectónicas de carácter regional son NE y NW, coincidentes con el esquema general propuesto por Zalán et al. (1990).

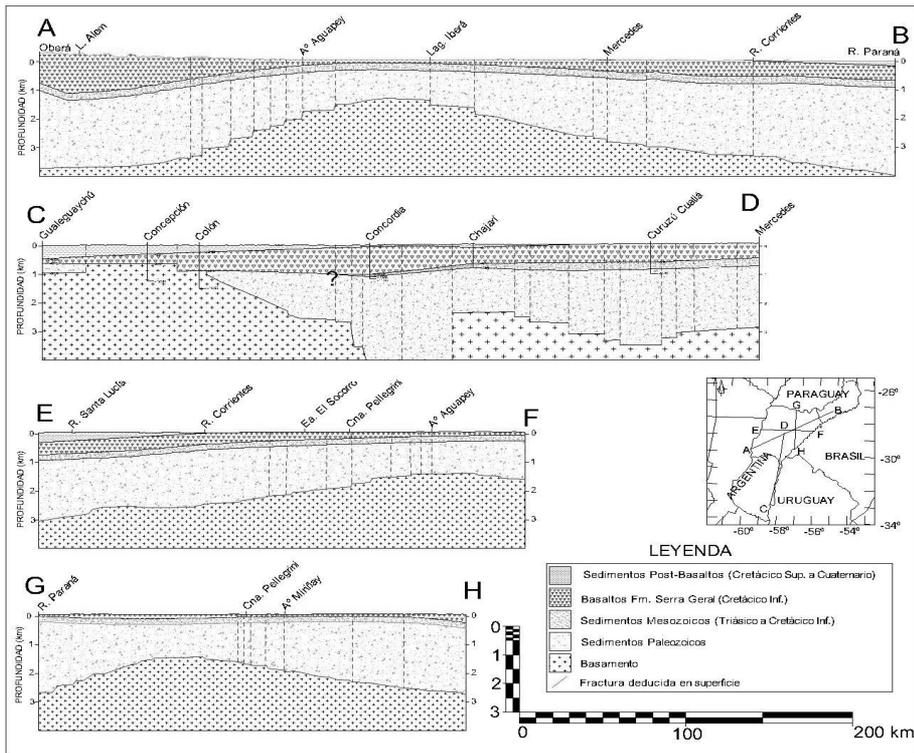


Figura 3. Cortes geológicos representativos de la zona de estudio, en base a perforaciones y el modelo gravimétrico de Mira (2012)

La dirección noreste es la misma que presenta la cuenca sedimentaria de Paraná reflejando los esfuerzos tectónicos que la configuraron. La dirección noroeste responde a los fenómenos distensivos acaecidos durante la separación de Gondwana. Los planos de debilidad fueron aprovechados por las lavas surgidas en este evento para imbricarse entre los sedimentos dando lugar a enjambres de diques de diabasas.

La orientación de los fotolineamientos marcados a partir de imágenes LANDSAT en la parte meridional de la provincia de Corrientes es N75E y N315E. Esto muestra que la orientación de las grandes lineaciones regionales tiene respuesta en superficie (Mira, 2012).

Las señales sísmicas de las secciones disponibles en Corrientes, realizadas por YPF a comienzos de la década de 1980, muestran una cubierta de basaltos con un espesor medio de 500 m, aunque cambia lateralmente debido a fracturas de alto ángulo (Mira, 2012). Se aprecia la continuidad del nivel de roca volcánica en toda la longitud de los perfiles sísmicos,

desechando así la hipótesis planteada por diversos autores (Araújo et al., 1999; Montañó et al., 2002; Silva Busso y Fernández Garrasino, 2004) que las areniscas aflorantes en Mercedes (Corrientes) son ventana de la Fm. Misiones.

Geometría

Los límites del SAG estarán definidos tanto por el espesor de las capas acuíferas como por la extensión lateral, teniendo en cuenta la continuidad física de las cuencas de Paraná y Chacoparanense. El espesor oscila entre 8 y 640 m, con una media representativa de 250 m (Gastmans et al., 2012).

Los límites Occidental y Oriental de la Cuenca de Paraná se definen a partir de la posición de los afloramientos de las unidades geológicas del SAG. Existe un control estructural de tal forma que las capas sufren inflexiones asociadas a los sinclinales (arcos) de Ponta Grossa y Rio Grande. El límite norte está condicionado por el acunamiento de las unidades del SAG y el solapamiento de los

basaltos de la Fm. Serra Geral sobre el basamento. La delimitación occidental del SAG en territorio argentino vendría definida por el relieve de las Lomadas de Otumpa (Rossello y Veroslavsky, 2012), y el suroeste del SAG está trazado en función de los datos de los pozos realizados en la Cuenca Chacoparanense donde se comprueba la no existencia de materiales SAG en pozos como Nogoyá, San Cristóbal, Colón o Concepción del Uruguay, entre otros (LEBAC, 2008).

Modelo hidrogeológico conceptual

El modelo hidrogeológico conceptual que se propone para el SAG quedaría resumido en los siguientes puntos:

1. Está formado por capas de arenas y areniscas de cantos de cuarzo, con origen continental y de edad mesozoico. Tienen una capacidad elevada de almacenar y transmitir agua y con continuidad física (o aparente continuidad), desarrollándose en superficie y subsuelo de las cuencas de Paraná y Chacoparanense.

2. Estarían limitadas a techo y muro por discontinuidades geológicas de carácter regional. No son límites estancos que aíslan a un paquete rocoso. En su base, la discordancia permotriásica erosiona una gran variedad de unidades de distinta edad y naturaleza, principalmente arenosa hacia el sur, donde con más frecuencia se producirán movimientos verticales de agua entre las capas. El techo estaría definido por el muro de los basaltos de Fm. Serra Geral, que constituyen un acuífero libre, anisótropo y con porosidad en fisuras.

3. Las características geológicas imponen las condiciones de contorno del acuífero. El levantamiento tectónico de la cuenca, más acusado en su mitad oriental, marca una tendencia del flujo a desplazarse de norte a sur y de este a oeste. Las áreas de recarga se circunscriben a las zonas de afloramiento de las capas constituyentes del SAG y a través de la capa de basaltos, sobre todo allí donde su espesor es menor. Las áreas de descarga estarían asociadas igualmente a las zonas de afloramiento de areniscas del SAG donde formarían un sistema local de recarga y descarga rápida. A mayor escala, la descarga se produciría por todo el borde oeste del acuífero o hacia el sur de Rio Grande do Sul. También habría descarga a favor de ríos como el Paraná, Tieté, Uruguay y Pelotas.

4. Las grandes estructuras tectónicas influyen en su configuración geométrica y en el flujo. El Arco de Ponta Grossa induce un flujo

radial y los diques de diabasas asociados al eje del pliegue, no suponen una barrera al flujo pero modifican su trayectoria por su conductividad hidráulica menor. La DARG, cuyo eje se situaría varias decenas de km hacia el oeste respecto de la posición marcada originalmente por Rossello et al. (2006), elevaría la serie sedimentaria hasta casi situarla en superficie. Sería una franja de territorio proclive tanto a la recarga local de aguas meteóricas como a la descarga regional.

5. El basamento se halla compartimentado en bloques, con unas fracturas que cortan toda la serie sedimentaria y tiene reflejo en superficie, poniendo en contacto lateral materiales de distinta naturaleza sin suponer la interrupción de flujo de agua subterránea.

6. El modelo de evolución geoquímica seguiría las indicaciones de la evolución hidroquímica del agua propuesta por Manzano y Guimaraes (2008) y Gastmans et al. (2012), que divide el SAG en cuatro zonas atendiendo a las características hidroquímicas de sus aguas, pero considerando que las características tectónicas y la presencia de discontinuidades en el acuífero produciría áreas favorables para la circulación ascendente de aguas profundas y de otras donde se produce recarga de aguas de lluvia, como así sería en el caso de la provincia de Corrientes.

Conclusiones

El SAG es un acuífero detrítico de arenas mesozoicas. En Argentina no aflora y los límites son grandes estructuras profundas. En Corrientes el basamento está compartimentado en bloques. Uno de ellos, con una anchura menor de 100 km y una profundidad inferior a 2000 m, sigue una dirección SE-NW, formando un alto estructural, la Dorsal Asunción-Rio Grande, cuya ubicación estaría varios km al oeste de lo supuesto hasta ahora.

El flujo de las aguas subterráneas está influenciado por la tectónica, en particular, el levantamiento del margen oriental de la Cuenca de Paraná, condiciona que el agua se desplace de este a oeste y de norte a sur. La compartimentación y naturaleza de las unidades estratigráficas infrayacentes al SAG también influyen en el quimismo de las aguas favoreciendo flujos verticales: ascendentes de aguas más profundas que las del SAG y descendentes desde los basaltos. La DARG podría condicionar el flujo subterráneo regional del Sistema Acuífero Guaraní y provocar un ascenso de los niveles piezométricos, al tener una orientación perpendicular a éste. Por el menor espesor de basaltos y su intensa

fracturación esta zona es factible de producir descarga y recarga regional de dicho acuífero.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) dependiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República Argentina mediante el proyecto PICT 2008/2071 Estudio del comportamiento del Sistema Acuífero Guaraní, con énfasis en el sector Argentino y por la Agencia Internacional de Energía Atómica.

Referencias

- Araújo, L.M., França, A.B. y Potter, P.E. 1999. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. *Hydrogeology Journal*, 7(3): 317-336.
- Comin-Chiaramonti, P., Cundari, A., Piccirillo, E. M., Gomes, C. B., Castorina, F., Censi, P., De Min, A., Marzoli, A., Speziale, S. y Velázquez, V. F., 1997. Potassic and sodic igneous rocks from eastern Paraguay: their origin from the lithospheric mantle and genetic relationships with the associated Paraná flood tholeiites. *J. Petrol.* 38 495-538
- Fariña, S., Schmidt, G. y Vassolo, S. 2007: Volumen 2 - Geología e Hidrogeología. - *Informe no publicado (Proyecto SAG-PY: Uso Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní en la Región Oriental del Paraguay SEAM/BGR)*, No. de archivo BGR 0127039, Asunción, Hannover.
- Fili, M., da Rosa Filho, E.F., Auge, M., Montaña Xavier, J. y Tujchneider, O. 1998. El Acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur). Instituto Tecnológico Geominero de España. *Boletín Geológico y Minero* 109 (4), 389-394.
- Gastmans, D., Veroslavsky, G., Kiang Chang, H., Caetano-Chang, M.R. y Nogueira Pressinotti, M.M. 2012. Modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero Guaraní (SAG): una herramienta para la gestión. *Boletín Geológico y Minero*, 123 (3): 249-265. ISSN: 0336-0176
- Geodatos, S.R.L. 2008. *Informe Final sobre Geofísica del SAG. SNC-LAVALIN*. Proyecto SAG, OEA, BM, GEF. Montevideo, 266 p.
- Herbst, R. y Santa Cruz, J. 1995. *Mapa geológico de la Provincia de Corrientes E: 1:500.000*. Secretaría de Minería. Dirección Nacional del Servicio Geológico de Argentina.
- Lagorio, S. y Leal, P.R. 2005. Niveles peperíticos intercalados en los derrames lávicos de Serra Geral, provincia de Misiones. *XVI Congreso Geológico Argentino*, Actas 1: 847-850, La Plata.
- LEBAC 2008. *Informe Final de Hidrogeología do Projeto Aquífero Guaraní*. Coord.: Gastmans, D. & Chang, H.K.. Equipe: Paula e Silva, F.; Correa, S.F.; Informe Técnico – Consórcio Guaraní. Rio Claro, 172p.
- Manzano, M. y Guimaraens, M. 2008. *Estudio del Origen de la Composición Química de las Aguas Subterráneas del Sistema Acuífero Guaraní (SAG)*, Informe Técnico – Consórcio Guaraní. Montevideo, 120 p.
- Milani, E.J. 2004. Comentários sobre a origem e a evolução tectónica da Bacia do Paraná. In: Mantesso-Neto V, Bartorelli A, Carneiro CDR, Brito-Neves BB (eds) *Geologia do Continente Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Becca Produções Culturais, Sao Paulo, Brazil, pp 265-295
- Milani, E., Gonçalves de Melo, J., Alves de Souza, P., Fernandes, L. y França, A. 2007. Bacia do Parana. B. Geoci. *Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287
- Mira, A. 2012. *Modelo conceptual hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní con énfasis en el sector Argentino*. Tesis Fin de Master en Ingeniería del Agua y del Terreno. Universidad Politécnica de Cartagena, España. 244 p
- Montaña, J., Ernani, F., Hindi, E., Cicalese, H., Montaña, M. y Gagliardi, S. 2002. Importancia de las Estructuras Geológicas en el Modelo Conceptual del SAG Área Uruguay. *Revista da ABAS* Numero 16. pp 111 a 119.
- Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W. y Rossi, P., 1985. *Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000*. Dirección Nacional de Minería y Geología.
- Rossello, E., Veroslavsky, G., Santa Ana, H., Fúlfaro, V.J. y Fernández Garrasino, C. 2006. La dorsal Asunción-Río Grande: un altofondo regional entre las cuencas Paraná (Brasil, Paraguay, Uruguay) y Chacoparanense (Argentina). *Revista Brasileira de Geociencias*, 36, 181-196
- Rossello, E. A. y Veroslavsky, G. 2012. Definición del límite occidental del Sistema Acuífero Guaraní (Gran Chaco, Argentina): ¿técnico o convencional? *Boletín Geológico y Minero*, 123 (3): 297-310 ISSN: 0366-0176
- Santa Ana, H. y Veroslavsky, G. 2003. La tectosecuencia volcanosedimentaria de la Cuenca Norte de Uruguay. Edad Jurásico – Cretácico Temprano. En: Veroslavsky, G.,

- Ubilla, M. Y Martínez, S (eds.), *Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales – Mesozoico*. Dirac – Facultad de Ciencias, p. 51-74.
- Santa Ana, H., Veroslavsky, G., Fúlfaro, V.J. y Fernández Garrasino, C.A. 2008. *Síntesis sobre la Geología regional del Sistema Acuífero Guaraní – Informe Técnico PSAG*. Montevideo: Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guaraní, 115 pp.
- Schmidt, G. 2009. *Proyecto SAG-PY: uso sostenible del sistema acuífero guaraní en la región oriental del Paraguay (2003–2009)*, Asunción, Hannover.
- Silva Busso, A. y Fernández Garrasino, C. 2004. Presencia de las formaciones Piramboia y Botucatu (Triásico – Jurásico) en el subsuelo oriental de la provincia de Entre Ríos, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (1), 141-151.
- Sindico, F., 2011. The Guaraní Aquifer System and the International Law of transboundary aquifers. *International Community Law Review* (M. Nijhoff Publishers), 13, 255-272.
- Soares, A.P. 2008. *Variabilidade espacial no Sistema Aquífero Guaraní: controles estratigráficos e estruturais*. Tese Doutorado Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 179 p.
- Wildner, W., Hartmann, L.A., Lopes, R.C. 2007 Serra Geral Magmatism in the Paraná Basin - A new Stratigraphic proposal, chemical stratigraphy and geological structures. I Workshop - Problems in Western Gondwana Geology. RGEOTEC. 8 p.
- Zalán, P.V, Wolff, S., Conceição, J., Marques, A., Astolfi, M., Vieira, I., Appi, V. y Zanotto, O. 1990. Bacia do Paraná. En: De Raja e Milani, E (Ed.) *Origen e Evoluáo das Bacias Sedimentares*: 135-168. Petrobras, 415 p. Rio de Janeiro