

**II Simposio Paraguayo de Geología y III Simposio Paraguayo de Aguas Subterráneas y
Perforación de Pozos
27 al 30 de Noviembre de 2001
Asunción-Paraguay**

**CONSIDERACIONES PRELIMINARES DEL ACUIFERO GUARANÍ EN
EL PARAGUAY ORIENTAL**

¹Fernando Larroza, ¹Sandra Fariña L., ¹José Luis Paredes

¹Dirección de Recursos Hídricos- Gobernación de Boquerón (Filadelfia-Chaco).
e-mail: larroza@telesurf.com.py

Situación actual de los Recursos Hídricos en el Paraguay Oriental

El aumento creciente de la población urbana y de las actividades industriales está siendo acompañado con el aumento de la demanda de agua subterránea para abastecimiento. A este hecho acompaña la deterioración gradual de la calidad de las aguas superficiales que, casi siempre, están recibiendo desechos urbanos e industriales.

En el Paraguay, en los últimos años, el aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos ha experimentado un desarrollo acelerado, como consecuencia de: **a)** la contaminación cada vez más creciente de los cursos de aguas superficiales; **b)** la necesidad prioritaria de suministro de agua a las poblaciones de las zonas rurales, en donde las aguas subterráneas son comúnmente la fuente más accesible y también la más económica de agua potable; **c)** la disponibilidad relativamente permanente de las aguas subterráneas en grandes áreas del Paraguay, en comparación de las de aguas superficiales; y **d)** la calidad predominantemente satisfactoria de las aguas subterráneas, que por lo general están libres de agentes patógenos si se protegen adecuadamente.

Aproximadamente el 80% del abastecimiento de agua del Paraguay para consumo humano, industrial y agropecuario, se realiza a través de las aguas subterráneas. Los pozos construidos en el Paraguay Oriental se estiman en aproximadamente 1400 (organismos estatales 1000 y aproximadamente 400 particulares). De ahí la importancia de este recurso para el desarrollo socioeconómico del país.

Según Facetti, J., (1995), la contaminación de las aguas en Paraguay es de tipo antropogénico. Tanto en aguas profundas como en vario cursos superficiales de agua pudo detectarse trazas de sustancias artificiales como pesticidas, metales pesados (plomo tetraedilo), etc. Otras cuencas de vocación netamente agrícola producen presiones de origen distinto: pesticidas y nutrientes nitrogenados principalmente. Estas cuencas son sobre todo las comprendidas por los departamentos de Itapúa (Yacyreta, Pirapó, Ñacunday) y Alto Paraná (Monday, Acaray, Itaipú). Estas sub-cuencas corresponden a la cuenca del Río Paraná.

Antecedentes

En nota N° HYD 548/92 se recibe una invitación a iniciativa de la Universidad de la República – Uruguay, y con el auspicio de la UNESCO – Mapa Hidrogeológico de América del Sur, para llevar a cabo estudios en detalle del Acuífero Tacuarembó dentro del marco del MERCOSUR, a partir de ese momento se iniciaron las discusiones y propuestas a esta idea (Gramado/93, Curitiba/94, 1er Curso Sur-americano sobre Evaluación y Vulnerabilidad de Acuíferos- Jornada Técnica-Científica sobre Gestión Sustentable del Acuífero Internacional Botucatu) de donde surgieron proyectos locales en Brasil, Argentina y Uruguay, no así en Paraguay.

Durante el 9° Encuentro Nacional de Perforadores de Pozos y 1er. MERCOSUR de Aguas Subterráneas (set 1995) la PETROBRAS presenta una serie de mapas del acuífero (isópacas, estructural del techo, isópacas de encima del acuífero, potenciométrico, isotermas del techo) en base de 322 pozos.

Posterior a esto se reanudaron nuevas conversaciones con la Universidad Federal del Paraná directamente con la DRH del MAG y la Dpto. de RH de SENASA (MSP y BS), como una nueva reunión entre todos los países miembros del Mercosur en Montevideo - Uruguay

Provincias hidrogeológicas

Uno de los aspectos más importantes, relacionados con el desarrollo de las aguas subterráneas, es su regionalización. La regionalización de los acuíferos en vastas regiones, en el ámbito nacional o continental, puede ser mejor representada a través de la división del territorio en provincias hidrogeológicas.

Una provincia hidrogeológica puede ser definida como una región de características generales similares en cuanto a las condiciones de ocurrencia de las aguas subterráneas (UNESCO/PHI, 1996).

El acuífero Guaraní se encuentra dentro de la provincia hidrogeológica Paraná, esta situada en la parte sudeste del continente sudamericano y corresponde a la gran cuenca sedimentaria del Paraná.

Acuífero Regional Guaraní (Misiones - Paraguay; Botucatu - Brasil; Tacuarembó - Uruguay; Solaris - Argentina)

La denominación **Acuífero Guaraní** es del geólogo uruguayo Danilo Anton, en memoria del pueblo indígena de la región.

En la Figura 2, se puede observar la extensión del Acuífero en la cuenca del Paraná y Chacoparanaense, y en la Figura 3, se presenta la ocurrencia del reservatorio.



Figura 1

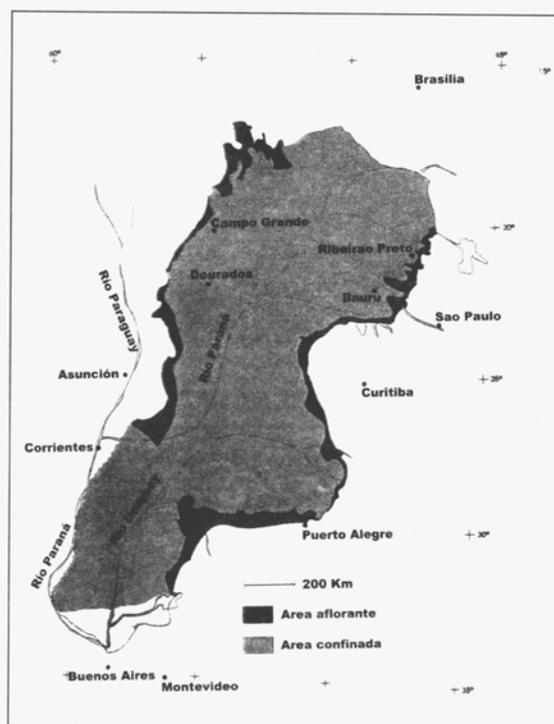


Figura 2. Área de ocurrencia del reservorio Guarani.

Figura 2:

En la siguiente Tabla se presentan las estimaciones sobre las dimensiones del sistema, índices hidrológicos y reservas

Tabla 1: Valores estimativos sobre el Sistema Acuífero Guarani

<u>Dimensiones</u>	
área total	1.150.000 Km ²
área de recarga	150.000 Km ²
área confinada	1.000.000 Km ²
espesor medio	250.000 Km ²
<u>Indices Hidrológicos</u>	
Precipitación media	1.500 mm
recarga natural	160 Km ³ /a
Permeabilidad	3 m/dia
porosidad eficaz	15 %
Coefficiente de almacenamiento	10 ⁻⁴
<u>Reservas</u>	
Almacenada	37.000 Km ³
Activa	60 Km ³ /a
Explotable	40 Km ³ /a

Fuente: Albuquerque Rocha, 1996

De acuerdo a las estimaciones preliminares realizadas, la reserva de agua dulce almacenada en este acuífero sería suficiente para abastecer a la población mundial actual (5.500 millones) a razón de 100 L/ día por habitante, durante 200 años

El Acuífero “Guaraní” es una formación geológica formada en ambiente desértico hace 180 millones de años, que permite la acumulación de agua en grandes cantidades. El espesor medio saturado es de 250 m y la superficie de distribución es de 1.150.000 Km², que representa un almacenamiento de 30.000 Km³ de agua de buena calidad, volumen que, a título de ilustración, posibilitaría el abastecimiento de la población actual del Brasil por un período de 2.500 años, hasta su total agotamiento. Representa una alternativa para el uso en abastecimiento público, para industrias y para proyectos de riego.

El potencial del acuífero no está limitado solamente para el consumo humano o la agricultura (riego, secados de granos, prevención contra las heladas). Medidas de temperatura en efectuadas en la boca de los pozos (Brasil) indican valores de 22 a 25 °C en los afloramientos, 25 a 30°C en la faja adyacente de bajo confinamiento e de 30 a 63°C en la mayor parte del área, posibilita varios usos centros hidrotermales, climatización de ambientes y calderas industriales. Es un verdadero tesoro todavía no explotado.

En ámbito regional los caudales son de 60 a 200 m³/h en afloramientos y bajo confinamiento y de 200 a 400 m³/h en las áreas de mayor confinamiento.

En algunas áreas de artesianismo surgente puede obtenerse caudales mayores: 400 a 600 m³/h. Los valores medios de capacidad específica de pozos que penetran todo el acuífero (cerca de 200 m de espesura) son del orden de 10 m³/h/m

Uno de los mayores reservorios subterráneos de agua dulce del mundo de 1,2 millones de km² es el Acuífero Regional “Guaraní”, que se encuentra en la cuenca sedimentaria del Paraná a lo largo del mesozoico (periodos Triásico, Jurásico e Cretácico Inferior- entre 200 a 132 millones de años) se distribuye por Brasil (840.000 Km²), Uruguay (58.500 Km²), Argentina (355.500 Km²) y Paraguay (71.700 Km²). Un área equivalente a los países de Inglaterra, Francia y España juntos.

Los estratos Jurásicos, de origen eólico, constituyen buenos acuíferos en prácticamente toda la cuenca. Ya en el Triásico de origen fluvio-lacustre/eólico, son afectados por los altos niveles de arcillas que comprometen substancialmente su eficiencia hidráulica en algunas áreas.

Los estratos Jurásicos son en general pobremente cementados (porosidad media de 17 % e conductividad hidráulica del orden de 0,2 a 4,6 m/día), de buena madurez textural y constituido por granos de cuarzo bien redondos y seleccionados. Los del Triásico, de un modo general, presentan menor madurez textural y presencia en los poros (porosidad media de 16 % y conductividad hidráulica inferior 0,01 a 4,6 m/día).

La Petrobrás del Brasil realizó, durante dos años, el estudio del Acuífero “Guaraní” a partir de datos de 150 pozos perforados por la compañía para la búsqueda de petróleo. Los datos que la Petrobrás obtuvo sobre el acuífero “Guaraní” representan una inversión de 90 millones de U\$S. Los resultados de este estudio fueron presentados en cinco mapas con datos geológicos sobre el acuífero. Los mapas presentan la profundidad del acuífero, así como el espesor de las rocas basálticas que lo cubren, las que varían de decenas de metros hasta 1.500 m, posibilitando la protección del acuífero contra la contaminación.

El acuífero Guaraní en Paraguay

Son escasos aún los artículos en Paraguay con alguna relación al Acuífero Guaraní.

Area de estudio

El Acuífero Guaraní, ocupa un área de 67.000 Km², en la región oriental del Paraguay, correspondiendo aproximadamente el 17 % del país tiene un área de exposición de aproximadamente 37.000 Km² (el resto está cubierto por derrames basálticos de la Formación Alto Paraná), formando una faja de 525 Km de extensión y un ancho de 10 Km (Figura 3). Esta tiene como límites las ciudades de Bella Vista y Pedro Juan Caballero, al norte, y el Municipio de San Cosme y Damián, al sur (Figura 3). Los sedimentos se extienden de manera continua por la periferia del planalto basáltico, desde la Cordillera de Amambay hasta por lo menos a ciudad de Encarnación.

Clima

El Paraguay presenta una gran variabilidad climática, húmedo mesotermal, con índices máximos de humedad en los departamentos de Alto Paraná, Itapúa y Canendiyú.

La temperatura por efectos de continentalidad, pese a la escasa extensión territorial y homogeneidad topográfica, el país experimenta fuertes variaciones espaciales y temporales de la temperatura. La temperatura media anual oscila entre 21°C.

La mayor parte de las precipitaciones del país son de tipo convectivo producidos por las tormentas aisladas o por líneas de turbonada que son frecuentes desde primavera y otoño. La variación espacial media anual es muy fuerte. Las precipitaciones oscilan de 1.500 mm a más de 1.700 mm (Salto del Guairá, Ciudad del Este, 1.757 mm). La evapotranspiración real en media es de 1050 mm (Método de Turcan) a máximas de 1073 mm (Salto del Guairá y Ciudad del Este). La evapotranspiración potencial es menor, es por ello que las precipitaciones satisfacen en gran medida la demanda de agua de la atmósfera durante gran parte del año. Esto genera un excedente importante que se traduce en escurrimiento superficiales perennes.

Geología

El área corresponde a una cuenca pericratónica localizada en la parte sudeste de América del Sur y se extiende por la porción oriental del Paraguay e sudoeste del Brasil, bien como por regiones del Uruguay e nordeste de Argentina. Geológicamente ocurren rocas del basamento pre-cámbrico, sedimentarias del paleozoico inferior, medio e la secuencia Gondwanica, reuniendo sedimentos del paleozoico Superior y lavas basálticas, aparte de diques e “sill” de diabasa de edad cretácica. Las alcalinas asociadas pertenecen al Jurásico Superior-Cretácico Inferior al cenozoico y se hallan predominantemente encajadas en rocas paleozóicas (ORUE, 1996).

▪ Formación Misiones

Harrington (1950) empleo por la primera vez en la literatura geológica del Paraguay el nombre de Misiones para definir las areniscas que afloran en Bella Vista y Capitán Bado, al norte, y Coronel Bogado y Encarnación, al sur, siendo la sección tipo descrita en la región de San Juan Bautista y Santa Rosa. En la primera caracterización, las areniscas fueron registradas de color rojo, granulometría media a gruesa, y formando gránulos bien redondos de cuarzo; la matriz

esta compuesta de arcilla hematítica, localmente silicificada. El autor adopta para la unidad la edad Triásica.

Una edad Triásica a Jurásica la Formación Misiones es aceptada unánimemente en la literatura geológica. La edad Triásica es fundamentada a los basaltos que ubican a la Formación Alto Paraná entre el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior (VELAZQUEZ, 1992), siendo la contemporaneidad de esas rocas aceptada sin restricción.

El ambiente de deposición de la Formación Misiones ha sido objeto de muchas discusiones los últimos tiempos, igualmente parece no haber divergencia en cuanto al origen eólico en ambiente desértico de sus capas más espesas. Para el proyecto PAR 83/005 (1986), en áreas en que la columna geológica de las areniscas Misiones se presentan más completas incluyendo ahí los términos Tapyta y Cabacúa (CARLSON, 1981), se tienen, para la parte basal de esa secuencia de sedimentos, un ambiente de deposición identificado con planicies aluviales y asociado a sedimentación fluvial; para la porción superior, las condiciones sugieren una deposición esencialmente arenosa de origen eólica (ORUE, 1996).

En Alto Paraná los derrames basálticos son 14 (catorce), detectadas en perforaciones realizadas en Itaipú; son del tipo toleítico, de coloración gris rosado. Cada colada, cuyos espesores varían entre 30 y 80 m, presentan tres tipos de texturas diferentes, y la sucesión normal muestra un basalto denso, afanítico en la parte inferior; basalto amigdaloidal-vesicular con relleno de cuarzo y calcita en la parte media, y un basalto brechoso en la parte superior, en contacto con el basalto denso de la colada suprayacente. Mineralógicamente estos basaltos están constituidos por feldespatos (plagioclasas) y piroxenos del tipo augita con minerales principales.

Las areniscas de la Formación Misiones que subyacen a los basaltos y ocasionalmente intercalan a estos, son de origen eólico y en parte fluvial, rosadas, grano fino a medio, poco cementadas, a veces friables y con estratificación cruzada.

Características Hidrogeológicas

El gran acuífero del Mercosur alternativa viable para el abastecimiento y desarrollo socioeconómico de los departamentos. Amambay, Kanindeyu, Alto Paraná e Itapúa. Los pozos profundos censados en Paraguay son más de 100, sin tener en cuenta los de particulares.

En el Dpto. Alto Paraná en **Ciudad del Este** y alrededores sobre la base de 46 perforaciones, de las cuales dos fueron de 700 y 1100 m y las otras de 200 m para abajo (en media 150 m), se han detectado suelos laberínticos rojos de espesores hasta 20m, 400 m de espesor del basalto y 300 m de areniscas Misiones.

En la formación Misiones los caudales son de 10 a más de 30 m³/h, estos últimos al atravesar totalmente las coladas basálticas.

Las aguas termales detectadas en las arenisca Misiones, a profundidades mayores que 400 m, oscilan entre 30 a 40° C. Los datos de 3 análisis físico-químicos no son completos y no indican de cual de los pozos es, según los autores las aguas son potables (33, 64 y 2066 de TSD) y en algunos casos presentan aumentos de concentración de magnesio (GONZALEZ), et. al., (1991).

En **Encarnación** en el Novotel el espesor es de 190 m, sin embargo a 5 Km, al noroeste se perforo hasta los 300 m sin alcanzarla arenisca. En Coronel Bogado se encontró a los 413 m de

profundidad.

Al este de Encarnación los espesores disminuyen considerablemente, en San Cosme en dos perforaciones realizadas en basaltos solo se tiene 10 m, mientras que en el Hotel Turismo de Ayolas 21 m.

Hacia el norte, en **Salto de Guaira** a los 188 m no se llegó a la arenisca, mas al norte en Pedro Juan Caballero a 12 Km. al este de la ciudad el basalto solo tiene 50 m de espesor

En **Pedro Juan Caballero** el acuífero se presentaría desde los 150 m hasta los 400 m de profundidad aproximadamente. (350 m de espesor). En un trabajo de OEA (1975) menciona que a 30 sur de esta localidad (Pozo de Cafetelera Paraguaya), un pozo capta 10 m de arenisca (debajo del basalto) a una profundidad de 245 m, el caudal específico es 2090 l/h/m. Según el mismo trabajo en Ponía Porá el techo de las areniscas están a 180 y 240 m de profundidad a una distancia de 200 m.

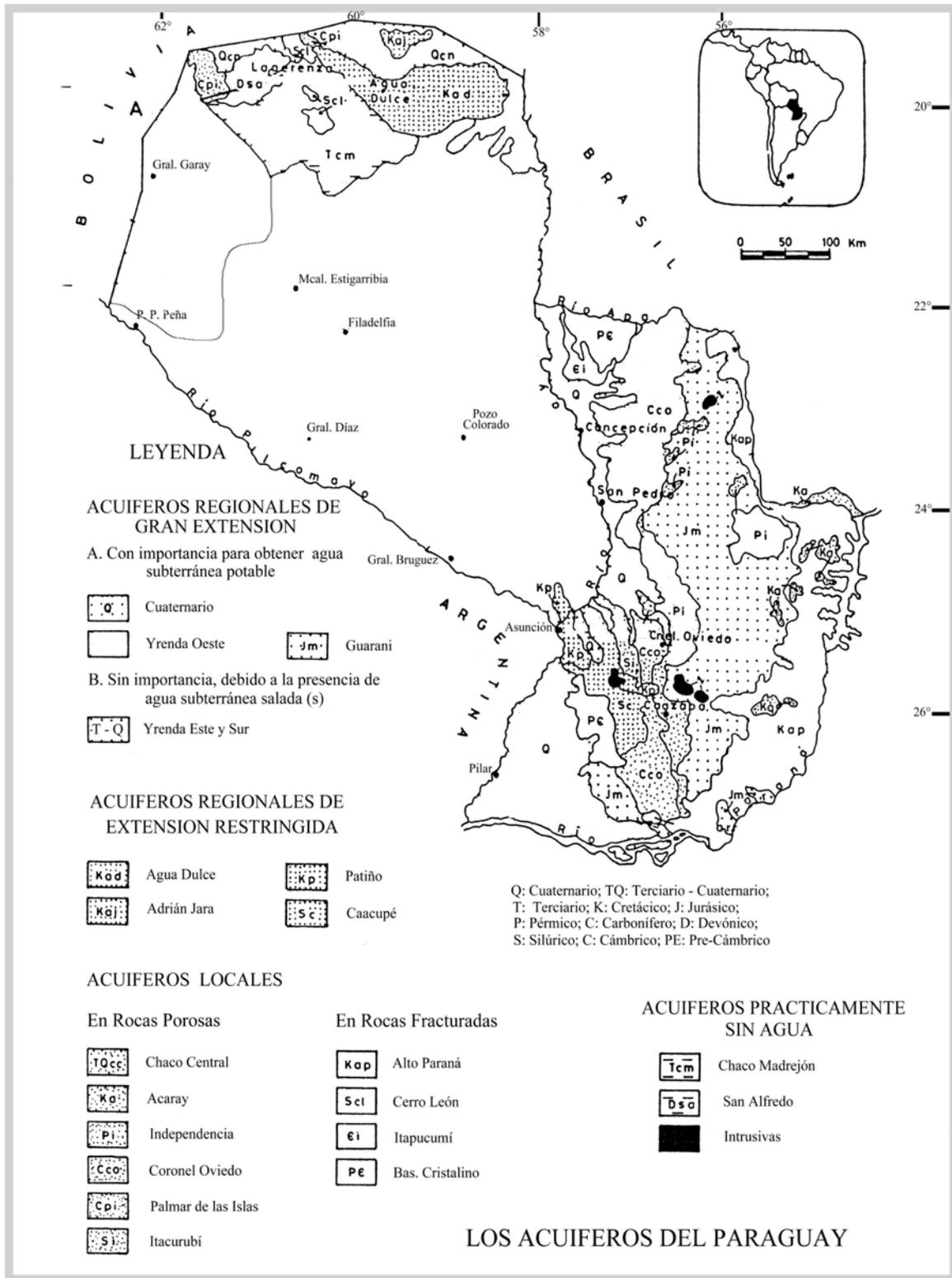
En Salto del Guaira el acuífero se presentaría desde los 600 m hasta los 950 m de profundidad aproximadamente. (350 m de espesor) y en Ciudad del Este desde los 400 - 500 m hasta los 650 - 800 m de profundidad (250 - 300 m de espesor).

La sub-cuencas que integran la Cuenca del río Paraná reciben por la actividad agrícola desarrollada en ellas, grandes cantidades de pesticidas y nutrientes nitrogenados. Estas cuencas son las comprendidas por el departamento de Itapúa (Yacyreta, Pirapó, Ñacunday) y Alto Paraná (Monday, Acaray y Itaipú). La utilización de pesticidas en Itapúa y Alto Paraná es de 20.9 y 31 % respectivamente, siendo en 52 % del total de pesticidas utilizados en el país (FERNANDEZ, 1995).

En la siguiente Tabla 2, se tiene cifras estimativas sobre el acuífero Guaraní en Paraguay.

Tabla 2: Cifras estimativas sobre el Acuífero Guaraní en Paraguay.

Area	67.000 Km ²
Planificación para explotación de la Cuenca	No existe
Profundidad a que se encuentran las areniscas en los basaltos y espesor	
En Pedro Juan Caballero	150 – 400 m. (350 m.)
En Salto del Guairá	600 – 950 m (350 m)
Ciudad del Este	400 – 650 m (250 m)
	500 – 800 m (300 m)



Fuente: Dirección de Recursos Hídricos-(Filadelfia-Chaco)

Figura 3. Mapa de Acuíferos del Paraguay, donde se puede observar la extensión del Acuífero, estando sujeto a modificaciones con el avance del conocimiento.

Referencias bibliográfica:

- ACQUAMASTER S.A. – Archivos de la Empresa.
- ARAUJO, L. M.; FRANCA, A. B. POTTER, P. E. (1995). **Arcabouco Hidrogeológico do Aquífero Gigante do Mercosul (Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai): Formação Botucatu, Piramboia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó.** 9º Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Curitiba, PR, Brasil.
- DMH-DINAC-UNESCO (1992). **Balance Hídrico Superficial del Paraguay.** MEMORIA DESCRIPTIVA. Asunción-Paraguay.
- De Salvo (1991). **Contribución al Conocimiento Hidrogeológico de las Rocas Basálticas de la Formación Alto Paraná.** Memorias del 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay. 22 al 26 de Julio de 1991, Casa de la Cultura, Asunción, Paraguay. 22 al 26 de Julio de 1991, Casa de la Cultura, Asunción, Paraguay.
- Facetti-Fernández, J.F.(1995). **Estudio de la Contaminación Industrial y Urbana en el Paraguay.** SSERNMA/MAG-GTZ.
- Fili, M., Da Rosa Filho, E.F., Auge, M., Montaña, J. X., y Tujchneider, O (1998). **El Acuífero Guaraní: Um Recurso Compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.** Boletín Geológico y Minero: Hidrología Subterránea, Vol 109, Nro 4, Julio-Agosto 1998. pág. 73. ISSN0366-0176- Publicado por el ITGE-IAH y UNESCO.- Madrid, España.
- Gonzáles M.P., Pflugfelder, P. M. & Benítez, J.C.(1995). **Algunas Consideraciones sobre Acuíferos de los Basaltos y Areniscas de la Cuenca del Paraná (Departamento de Alto Paraná).** Memorias del 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay.
- G. A. Rocha (1996). **Mega Reservatório de água subterrânea do Cone Sul: Bases para uma Política de Desenvolvimento e Gestão**
- G. A. Rocha (1997). **O Grande Manancial do Cono Sul.** Estudos Avançados 11 (30), USP; São Paulo, Brasil.
- Silva et al. Al (1982) **Características Hidroquímicas do Acuífero Botucatu no Estado de San Pablo.** Anais do 2º Congresso Brasileiro de Águas Subterráneas. Salvador (BA) Brasil.
- Orue, Delio (1996). **Síntesis da Geologia do Paraguai Oriental, com Ênfase para o Magmatismo Alcalino Associado.** Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, Brasil.
- UNESCO/PHI (1996). **Mapa Hidrogeológico de América del Sur, Escala 1:500.000.** Texto explicativo. Brasil.
- **Estudo da Disponibilidade hídrica e utilização sustentável do Sistema Aquífero Guaraní como marco do Processo de Integração Regional do Mercosul: Sub-sector de Investigação “Recursos naturais básicos, gestão integrada da água” Região**

“LAM”