
SECRETARIA DEL AMBIENTE

Madame Lynch 3500
Asunción, Paraguay

MINISTRO

Ing. Luis Alberto López Zayas

**DIRECCION GENERAL DE PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS
RECURSOS HIDRICOS**

Ing. Elena Benítez

RESPONSABLES DE EDICION

Orlando Oporto, Sara Vassolo

PORTADA: Mapa del Sistema Acuífero Guaraní (Amore, 2002)

Ruinas Jesuíticas en Jesús, Departamento de Itapúa (Foto: G. Schmidt)

AGUAS SUBTERRANEAS - EL ACUIFERO GUARANI

Esta publicación, especialmente destinada a estudiantes y docentes del nivel primario, secundario y universitario, pretende difundir aspectos básicos sobre el recurso hídrico subterráneo más rico del país y uno de los más importantes del mundo.

Diciembre 2003

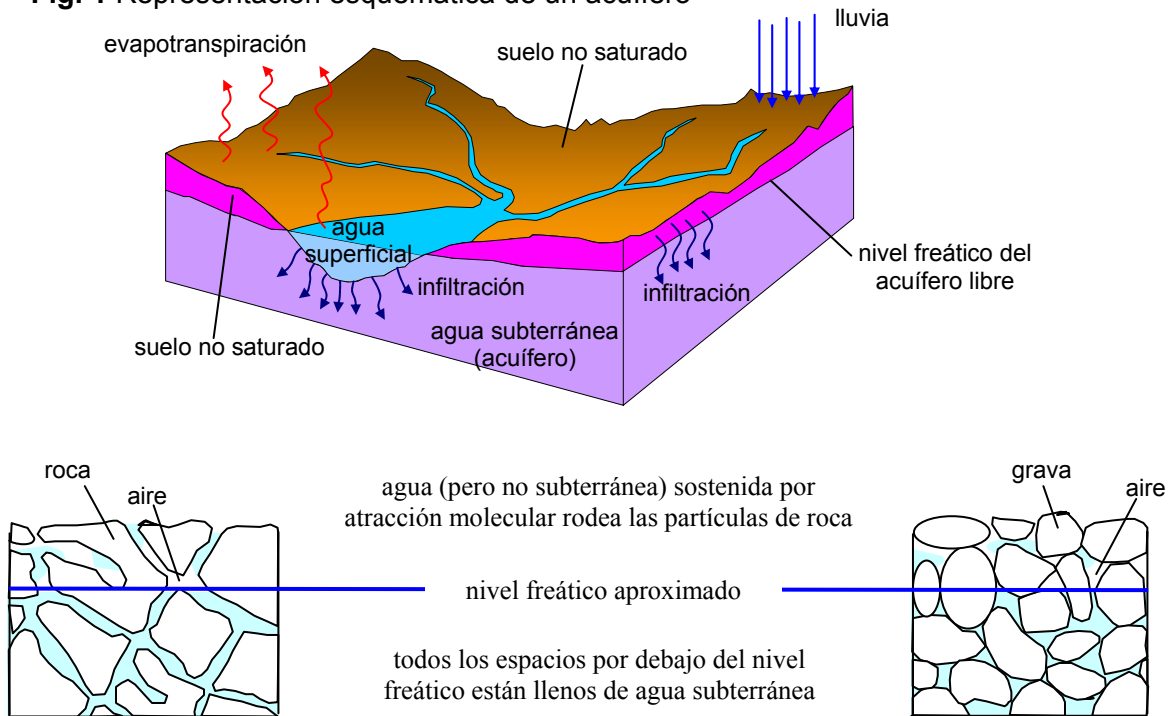
Asunción – Paraguay

AGUAS SUBTERRANEAS - EL ACUIFERO GUARANI

GENERALIDADES DEL AGUA SUBTERRANEA

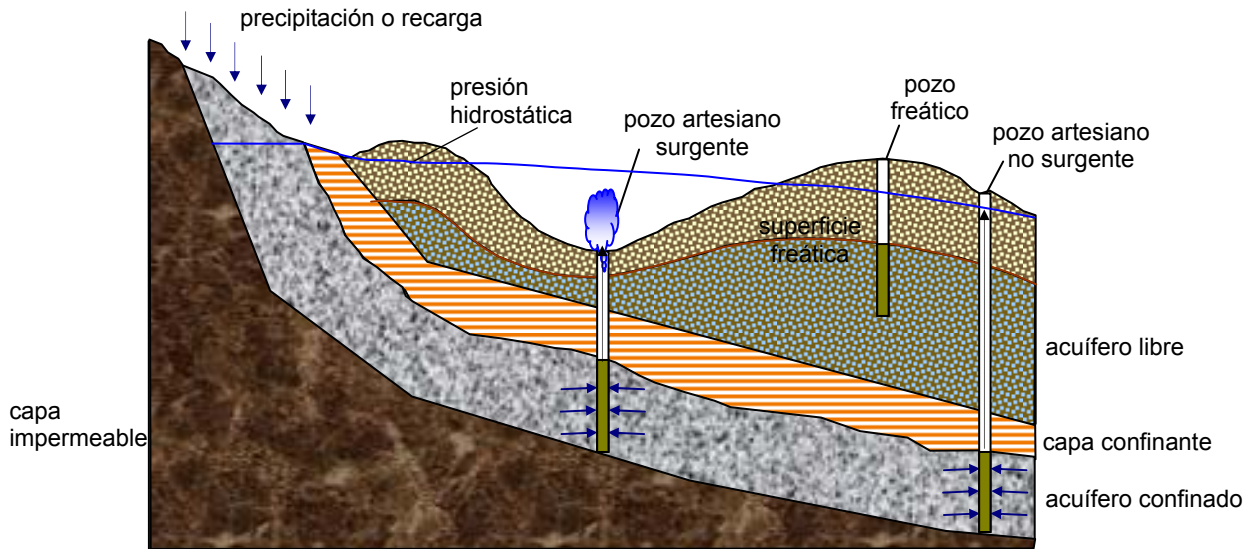
Como acuífero se designa a las capas de sedimentos o rocas de distintas formaciones geológicas saturadas por agua, que en este caso se denomina agua subterránea. El agua subterránea es originada por la infiltración de agua de lluvia, lagunas o ríos a través del suelo y es parte del ciclo hidrológico natural. Este agua es almacenada en los espacios muy pequeños (poros) existentes entre las partículas de sedimento o las fisuras (fracturas) de la roca, un proceso que continúa hasta la saturación. Simultáneamente el agua circula muy lentamente en forma horizontal. Así es como el acuífero constituye un reservorio de agua con capacidad de almacenar y transmitir el agua de un lugar a otro.

Fig. 1 Representación esquemática de un acuífero



En la naturaleza existen diferentes tipos de acuíferos que pueden subdividirse en libres y confinados, según la presión a la que está expuesta el agua subterránea. Un acuífero se denomina libre cuando la superficie freática está expuesta a la presión atmosférica, es decir que el nivel del agua está muy cerca de la superficie y existe una recarga inmediata y directa por lluvia. Cuando existen capas geológicas impermeables que delimitan el acuífero tanto en la parte superior como inferior y hacen que la presión a la que está sometida el agua subterránea se incremente por encima de la atmosférica, se dice que el acuífero es confinado y la presión es denominada presión hidrostática.

Fig. 2 Acuífero confinado y acuífero libre



Fuente: Modificado de Água Subterrânea: Conceitos, Reservas, Usos e Mitos. 1999.



Serranía de Amambay. Cerros de areniscas de la Formación Misiones. Aquí el acuífero se comporta como libre porque la formación aflora directamente a la superficie y por lo tanto el agua subterránea está expuesta a la presión atmosférica

EL ACUIFERO GUARANI

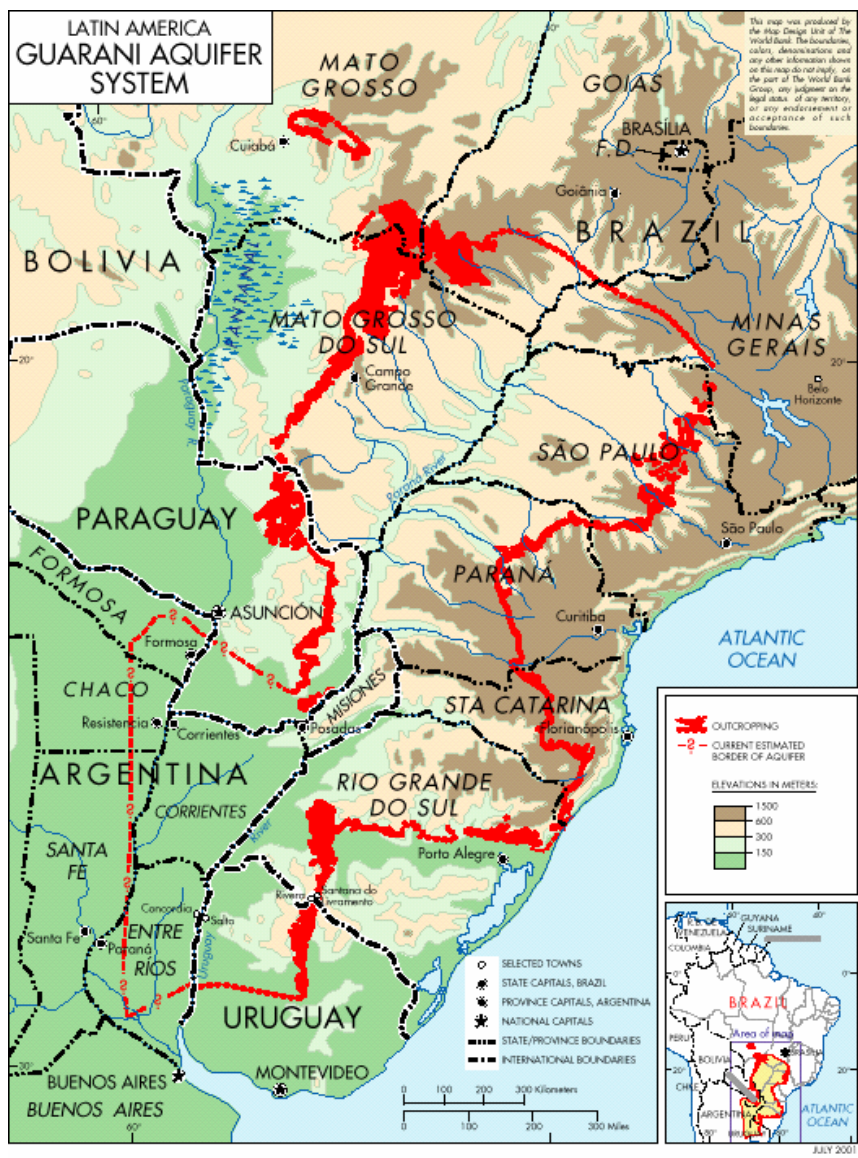
La denominación Acuífero Guaraní fue adoptada en honor a la etnia indígena guaraní que desde tiempos ancestrales ha ocupado el territorio donde se encuentra este acuífero. En realidad, el Acuífero Guaraní desde el punto de vista hidrogeológico, está conformado por varias unidades litoestratigráficas distintas que interactúan entre sí. Es decir que funciona

como un complejo sistema, de allí que se lo conozca como Sistema Acuífero Guaraní. Este punto será tratado con más detalle en el capítulo “Características Geológicas Generales del Sistema Acuífero Guaraní”.

AREA DE OCURRENCIA REGIONAL

Si bien el área de ocurrencia del Sistema Acuífero Guaraní no se encuentra totalmente definida, el Proyecto Sistema Acuífero Guaraní (SAG), llevado a cabo conjuntamente por Paraguay, Brasil, Argentina y Uruguay, que tiene como objetivo el uso sostenible del mismo, ha elaborado el mapa en el que se indican los límites aproximados.

Fig 3. Mapa de ocurrencia regional



Fuente: Proyecto Sistema Acuífero Guaraní (SAG) (Amore, 2002).

El Sistema Acuífero Guaraní ocupa un área de aproximadamente 1.2 millones de km², es decir la superficie de Francia, Inglaterra y España juntas.

El 70% del acuífero está en el territorio brasilero, 19% en el territorio argentino, 6% en Paraguay y el 5% restante en Uruguay. En el cuadro a continuación se incluyen algunos datos genéricos sobre la extensión, las características hidrogeológicas, la explotación, los problemas existentes y el nivel de información del Acuífero Guaraní en los 4 países que lo conforman.

Cuadro 1. Datos generales del Sistema Acuífero Guaraní

	ARGENTINA	BRASIL	PARAGUAY	URUGUAY
Extensión del acuífero (km ²)	225,500	839,800	71,700	58,500
Características hidrogeológicas	Fuente de abastecimiento	Área de recarga y fuente de abastecimiento	Área de recarga y fuente de abastecimiento	Fuente de abastecimiento
Extensión de explotación	Pozos perforados, principalmente para uso termal	Entre 300 a 500 ciudades abastecidas por el acuífero	Cerca de 200 pozos	Cerca de 200,000 personas abastecidas; uso termal para recreación
Principales problemas	Fuente de polución puntual y difusa. Perforación y extracción descontroladas. Sectores con agua salada	Fuente de polución puntual y difusa. Perforación y extracción descontroladas. Compartimentación	Fuente de polución puntual y difusa. Perforación y extracción descontroladas	Fuente de polución puntual y difusa. Perforación y extracción descontroladas. Sectores con agua salada
Nivel de informaciones	Mucha información disponible, pero necesita definición de frontera oeste del acuífero	Cantidad considerable de información disponible, pero dispersa en estado e instituciones diferentes	Informaciones estructuradas limitadas disponibles	Cantidad considerable de informaciones disponible

Fuente: Proyecto Sistema Acuífero Guaraní (SAG).

OTROS ASPECTOS RELEVANTES

El acuífero es uno de los mayores reservorios de agua dulce subterránea del mundo, cuyo volumen acumulado fue preliminarmente estimado en 45.000 km³. Una utilización del orden de 25 % de sus recargas directas e indirectas, solamente en Brasil (166 km³/año) daría para abastecer el consumo de una población superior a los 15 millones de habitantes del área, con una tasa de 2000 m³/año per cápita, sin considerar los usos hidrotermales.

El conocimiento hidrogeológico está basado en la información aportada por parte de los 50.000 pozos perforados en el sistema. En Brasil hay 300 pozos profundos de los cuales 100 corresponden a pozos realizados para exploración de petróleo. Estos pozos se concentran en el Estado de San Pablo, hecho que ocasiona un desconocimiento de aquellas áreas poco o no explotadas.

En el siguiente cuadro se presentan valores preliminares referentes a las dimensiones, los índices hidrogeológicos y las reservas del Sistema Acuífero Guaraní.

Cuadro 2. Algunos indicadores del Sistema Acuífero Guaraní

DIMENSIONES	INDICES HIDROLOGICOS	RESERVAS
Área total: 1.150.000 km ²	Precipitación media: 1.500 mm	Almacenadas: 37.000 km ³
Área de recarga: 150.000 km ²	Recarga natural: 160 km ³ /año	Activa: 60 km ³ /año
Área confinada: 1.000.000 km ²	Permeabilidad ¹ : 3 m/día	Explotable: 40 km ³ /año
	Porosidad efectiva ² : 15%	

Fuente: Albuquerque Rocha, 1996.

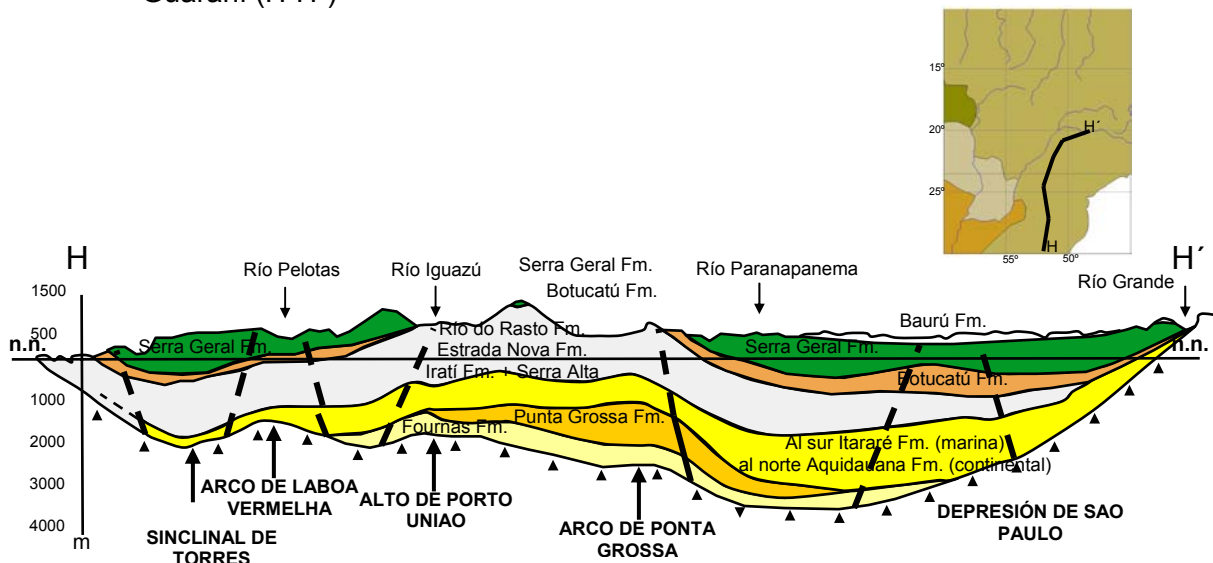
CARACTERISTICAS GEOLOGICAS GENERALES DEL SISTEMA ACUIFERO GUARANI

El Acuífero se denomina Sistema, porque está conformado por varias unidades litoestratigráficas distintas que, desde el punto de vista hidrogeológico, interactúan entre sí y por lo tanto deben estudiarse en conjunto. Estas unidades fueron formadas en los períodos geológicos *Triásico* (las llamadas Formaciones Piramboia y Rosario do Sul en Brasil y la Formación Buena Vista en Uruguay), de hace más de 200 millones de años, y *Jurásico* (la Formación Botucatu en Brasil, que corresponde a la Formación Misiones en Paraguay o a la Formación Tacuarembó en Argentina y Uruguay), cubiertos en parte con los derrames basálticos del *Cretácico* (Formación Alto Paraná o Serra Geral) y *sedimentos modernos* depositados en los valles fluviales. El Acuífero Guaraní presenta zonas en la que se comporta como acuífero libre recibiendo recarga directa de lluvias y otras en las que es confinado.

¹ La permeabilidad representa la velocidad con que un fluido (en este caso el agua) circula a través de los poros de un sólido (en este caso el acuífero). También puede entenderse como la capacidad de un acuífero para transmitir el agua (Luthin, 1990).

² La porosidad efectiva es la suma de vacíos interconectados a través de los cuales circula el agua subterránea. Para acortar términos se la suele llamar sólo porosidad.

Fig 4. Corte regional de la Cuenca del Paraná, la cual contiene al Sistema Acuífero Guaraní (H-H')



Fuente: Modificado de Northfleet y otros. 1969.

EL PROYECTO SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ (SAG)

El Proyecto Sistema Acuífero Guaraní pretende concertar criterios y medidas que permitan la gestión y el desarrollo sustentable del acuífero. El desarrollo sustentable preconizado por la moderna gestión de los recursos hídricos podrá garantizar al Acuífero Guaraní el desempeño de variadas funciones tales como producción permanente de aguas de buena calidad y energía hidrotermal para diferentes usos.

La necesidad de preparar el proyecto surgió de las investigaciones realizadas por las universidades de la región sobre el sistema hídrico del acuífero Guaraní y por el nivel de conciencia con relación a su importancia regional y global, alcanzado por las instituciones responsables de la administración de los recursos hídricos, en los cuatro países.

En julio del 2000 se inició la preparación del proyecto con la realización del seminario de Lanzamiento llevado a cabo en Santa Fé – Argentina. En mayo del 2003 se inicia oficialmente la ejecución del proyecto, en un acto realizado en la ciudad de Montevideo/Uruguay, sede de la Coordinación General del Proyecto.

En general, el proyecto prevé entre otros la expansión y consolidación del conocimiento básico del Sistema Acuífero Guaraní (SAG), crear un marco de acción para el manejo, permitir la participación pública a través de un marco institucional y de información apropiada, realizar el monitoreo y evaluar la

situación del SAG, ejecutar medidas que eviten la contaminación de fuentes puntuales y difusas³.

El Proyecto Sistema Acuífero Guaraní es financiado a través de una donación del Fondo Mundial para el Medioambiente (GEF) del Banco Mundial, dinero aportado como contrapartida por los 4 países a los que le pertenece el acuífero (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay) y dinero aportado por otras agencias donantes como la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), el Servicio Geológico Alemán (BGR⁴) y el Banco Holandés.

EL PROYECTO SISTEMA ACUIFERO GUARANI EN LA REPUBLICA DEL PARAGUAY

La República del Paraguay se ha asociado con el Servicio Geológico Alemán (BGR) a través de un proyecto bilateral para asegurar su contrapartida al Proyecto SAG. A través de este proyecto está previsto efectuar estudios hidrogeológicos en una zona preelegida a fines de mejorar los conocimientos básicos del funcionamiento de este sistema en el país. Esta zona de estudio se ubica, a grandes rasgos, en un triángulo delimitado por las ciudades de Caaguazú, Ciudad del Este y Encarnación, al que se le ha agregado una parte del Departamento de Misiones.

En concordancia con el Proyecto Sistema Acuífero Guaraní del GEF, el proyecto SEAM-BGR se extenderá también por 4 años. Entre las actividades a realizar figuran:

- Recopilación y análisis de la información existente. Aquí se refiere principalmente a los datos referidos a pozos perforados en la zona de estudio.
- Mejora de la base de datos a través de toma puntual de datos de campo, por ejemplo toma de muestra de agua para análisis físico-químico.
- Elaboración de un mapa base de la Región Oriental del Paraguay.
- Realizar mapas temáticos incluyendo datos de la Región Oriental y los países vecinos en el mapa base.
- Definición del modelo conceptual, es decir de cómo funciona el sistema desde el punto de vista hidrogeológico. Aquí se deberá hacer una primera estimación de las permeabilidades y porosidades, así de los límites hidráulicos del sistema.

³ Contaminación puntual sería aquella efectuada por una fuente puntual como un pozo ciego o la descarga de una industria. Contaminación difusa es la que tiene lugar superficialmente como a través de insecticidas, herbicidas o fertilizantes en la industria agrícola.

⁴ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

Fig 5. El área rodeada por la línea en rojo indica la zona de estudio del Proyecto Sistema Acuífero Guaraní en el Paraguay



Fuente: Proyecto Sistema Ambiental de la Región Oriental (SARO)

- Desarrollo de un modelo numérico de la zona de estudio para ser usado como herramienta de gestión.
- Inclusión de los datos adicionales provenientes del proyecto SAG y actualización del modelo numérico.
- Evaluación del modelo numérico expandido como herramienta de gestión del acuífero.

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL SISTEMA ACUIFERO GUARANI EN EL PARAGUAY

La Formación Misiones, que es la principal unidad dentro del sistema, está conformada por rocas areniscas de color rojizo, de grano medio a grueso, con estratificación entrecruzada así como porosidades y permeabilidades medias a altas. Los caudales promedio extraídos de pozos son del orden de los 22 m³/h (caudales específicos⁵ de 1m³/(h*m)). Estos sedimentos tienen

⁵ Caudal específico es el cociente entre el caudal de agua total extraído del pozo y la longitud perforada del pozo.

un espesor variable de 200 a 400 metros. En parte está aflorando, es decir que el techo de la formación está sobre la superficie, y en parte la formación está cubierta por los derrames de lava basáltica de la Formación Alto Paraná que actúan como capa confinante.

La extensión de la Formación Misiones en el territorio paraguayo es de aproximadamente 67.000 km², correspondiendo más del 50% a la zona de exposición o aflorante. Es decir que tiene características de acuífero libre y constituye probablemente el área de recarga. Unos 30.000 km² corresponden a la zona cubierta por los basaltos de la Formación Alto Paraná en donde el acuífero ya es confinado. El confinamiento determina características de artesianismo (agua bajo presión) y termalismo (aguas termales con temperaturas entre 30 a 60 °C) en la mayor parte del área (Orúe, 1996).

En el siguiente cuadro se muestran las profundidades a las que aparece la Formación Misiones, así como su espesor, en distintas localidades del territorio Paraguayo.

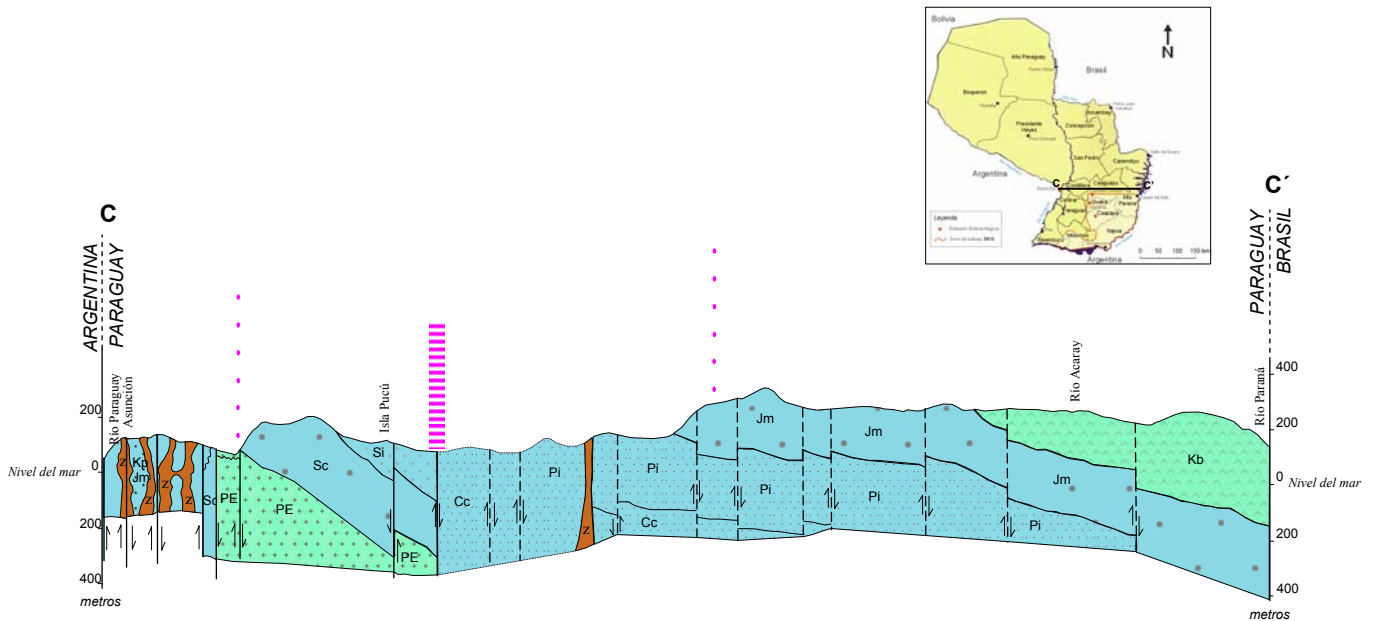
Cuadro 3. Características de la Formación Misiones en el Paraguay

LUGAR	NIVELES SUPERIOR E INFERIOR, POR DEBAJO DE BASALTOS (m)	ESPESOR (m)
P.J.Caballero	150 – 400	250
Salto del Guairá	600 – 950	350
Ciudad del Este	500 – 800	300

Fuente: Larroza y otros. 2002.

En cuanto a la base del acuífero (substrato hidrogeológico), ésta está definida por sedimentos arcillosos de mayor antigüedad.

Fig 6. Corte horizontal del Sistema Acuífero Guaraní en el Paraguay desde el Río Paraguay a la altura de Asunción en el oeste hasta el Río Paraná al este



- Referencias:**
- Kp:** Acuífero granular representado por areniscas friables
 - Jm:** Acuífero granular representado por areniscas eólicas, corresponde a la Formación Misiones
 - Sc:** Acuífero granular representado por areniscas con conglomerado basal
 - Si:** Acuífero granular representado por areniscas separadas por formaciones de lutitas
 - PE:** Acuífero fracturado representado por granitos, esquistos y cuarcitas
 - Cco:** Acuífero granular representado por sedimentos de origen glaciar, siltitas, lutitas y areniscas
 - Pi:** Acuífero granular representado por alternancia de areniscas y siltitas
 - Kb:** Acuífero granulado representado por derrames basálticos y areniscas intercaladas
 - z:** Rocas intrusivas, a veces formando elevaciones locales. No son acuífero

Fuente: Mapa hidrogeológico del Paraguay. Ejecutado bajo el proyecto Gobierno Nacional – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo/PNUD (1986).

BIBLIOGRAFIA

- **Água Subterrânea: Conceitos, reservas, usos e mitos.** Brasília-DF. 1999. Produto do III Programa de Suporte Técnico à Gestão de Recursos Hídricos. Secretaria de Recursos Hídricos (MMA), Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior (ABEAS).
- **Albuquerque Rocha, G.** 1996. Mega Reservatório de Água Subterrânea do Cone Sul: Bases para uma Política de Desenvolvimento e Gestão. Contribuição ao Seminário Internacional “Aquífero Gigante do Mercosul”, Curitiba, 23/24 de maio de 1996.
- **Amore, L..** 2002. Projeto Aquífero Guaraní - A Experiencia das Nações envolvidas com Ênfase no Brasil. II Simposio Paraguayo de Geología y III Simposio Paraguayo de Agua Subterrânea y Perforación de Pozos. Asunción, Paraguay.
- **Gobierno Nacional – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo/PNUD - Proyecto PAR/83/005.** 1986. Mapa Hidrogeológico del Paraguay. Asunción, Paraguay.
- **Larroza, F.; S. Fariña; J. Paredes.** 2002. Consideraciones Preliminares del Acuífero Guaraní en el Paraguay Oriental. II Simposio Paraguayo de Geología y III Simposio Paraguayo de Agua Subterrânea y Perforación de Pozos. Asunción, Paraguay.
- **Luthin, J.N.** 1990. Drenaje de tierras agrícolas. Teoría y Aplicaciones. Noriega editores, Editorial Limusa, México. 684 páginas.
- **Northfleet, A.A.; R.A. Medeiros; H. Muhlmann.** 1969. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. Bol. Téc. Petrobras. 12(3): 291-346.
- **Orué, D..** 1996. Síntesis da Geologia do Paraguai Oriental, com Ênfase para o Magmatismo Alcalino Associado. Dissertação de Mestrado. USP. São Paulo, Brasil.
- **Proyecto Sistema Ambiental de la Región Oriental (SARO).** Cooperación Técnica entre el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Paraguay y el BGR de Alemania.