

Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO
- *Servicio Geológico Nacional*

Informe de TNO

“Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA”

Estudio del Acuífero Patiño - Informe técnico 2.2:

Resumen de trabajos y estudios previos

Fecha

Febrero del 2001

Autor

Jac A.M. van der Gun

Netherlands Institute of
Applied Geoscience TNO
P.O.Box 6012
2600 JA Delft
The Netherlands
www.nitg.tno.nl

Código del proyecto

005.50363

Código del contrato

Contrato No 28/2000

Contratante

Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA)

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint, microfilm of any other means without the previous written consent of TNO.

In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting parties are subject to either the Standard Conditions for Research Instructions given to TNO, or the relevant agreement concluded between the contracting parties. Submitting the report for inspection to parties who have a direct interest is permitted.

© 1998 TNO

Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO has main offices in Delft and Utrecht and branch locations in Heerlen, Nuenen and Zwolle.

The Institute is the central geoscience institute in the Netherlands for information and research on the sustainable management and use of the subsurface and its natural resources.

Netherlands Organization for
Applied Scientific Research TNO

The standard Conditions for Research Instructions given to TNO, as filed at the Registry of the District Court and the Chamber of Commerce in The Hague shall apply to all instructions given to TNO.

Resumen

En el presente informe se revisa la información de trabajos y publicaciones previos con relación al Acuífero Patiño, objeto de estudio del Proyecto “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA” (FEHS). Después de identificar las fuentes de información consultadas, se resume y se comenta en forma temática la información presentada en los diferentes informes y publicaciones.

El informe pretende contribuir a la debida inclusión de los conocimientos existentes en el Estudio del Acuífero Patiño. Aunque es significativa y diversa la información existente, es claro también que falta todavía mucha información y análisis más profundo para eliminar dudas existentes, diagnosticar problemas e investigar posibles soluciones, - elementos de la planificación racional y la gestión sostenible de las aguas subterráneas.

Contenido

Resumen	i
Lista de figuras	iii
Lista de tablas	iv
1 Introducción	1
2 Fuentes de información	3
3 Resumen de información relevante para el estudio del Acuífero Patiño ...	5
3.1 Aspectos geológicos	5
3.1.1 Contexto geológico	5
3.1.2 Geología estructural	5
3.1.3 Ambiente de sedimentación	6
3.1.4 Estratigrafía	6
3.1.5 Características litológicas de las formaciones relevantes	9
3.2 Naturaleza del acuífero	11
3.2.1 Comparación con otros acuíferos en el Paraguay	11
3.2.2 Ubicación	11
3.2.3 Limites	12
3.2.4 Propiedades hidráulicas	13
3.3 Condiciones climatológicas e hidrológicas	13
3.3.1 Clima	13
3.3.2 Hidrología	14
3.3.3 Recarga y descarga de las aguas subterráneas	15
3.4 Extracción de las aguas subterráneas	15
3.5 Calidad de las aguas subterráneas	17
4 Conclusiones	19
5 Referencias	20

Lista de figuras

Figura 1.1	Ubicación y límites de afloramiento del Acuífero Patiño.....	2
Figura 3.1	Mapa geológico según Bartel y Muff (1995).....	7
Figura 3.2	Columna estratigráfica de la ‘Antiforma de Asunción’ (según Gomez, 1991)	9

Lista de tablas

Tabla 3.1	Las formaciones acuíferas principales del Paraguay12
Tabla 3.2	Población en municipalidades situadas en el área del Acuífero Patiño17

1 Introducción

El presente informe forma parte del volumen 2 “Estudio del Acuífero Patiño” de los informes técnicos del proyecto “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA” (FEHS). Los dos otros volúmenes corresponden al “Desarrollo del Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos” (volumen 1) y a “Metodologías y Capacitación” (volumen 3).

El objetivo del informe es presentar un resumen de la información con respecto al Acuífero Patiño, como encontrada en publicaciones disponibles a los consultores encargados del proyecto. Esta información proporciona el punto de salida para el Estudio del Acuífero Patiño y en particular para el estudio con respecto a la Zona Piloto seleccionada. La Figura 1.1 muestra la ubicación y la extensión de la zona que en el presente estudio se denomina “Acuífero Patiño”.

Agradecimientos

El autor agradece al Lic. Félix Villar y al Lic. Félix Carvallo del Departamento de Recursos Hídricos de SENASA por su asistencia en identificar fuentes de información relevantes, prestando además amablemente las publicaciones correspondientes. Agradecimientos se extienden también a Wim van der Linden y Jhony Grommeck por su asistencia en la preparación de las figuras; y a Carlos Molano y Ronnie van Overmeeren por sus resúmenes de publicaciones analizadas.

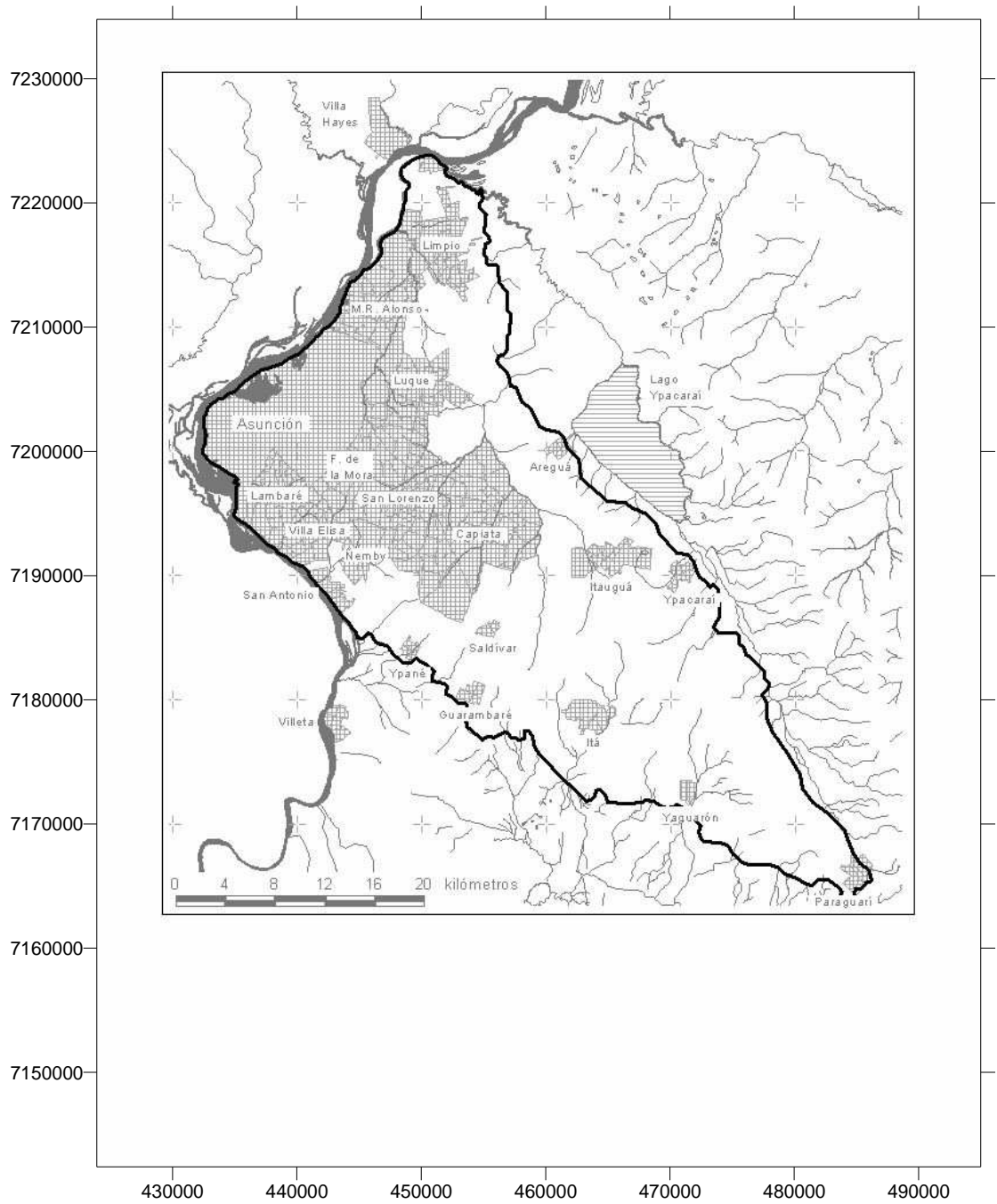


Figura 1.1 Ubicación y límites de afloramiento del Acuífero Patiño

2 Fuentes de información

El Acuífero Patiño es explotado intensamente y existe información puntual de muchos de sus pozos, de la cual alguna parte se encuentra en los archivos del Departamento de Recursos Hídricos del SENASA. Sin embargo, es relativamente pequeña la cantidad de informes y publicaciones con respecto al Acuífero Patiño o de interés para el mismo. A continuación se mencionan los informes y publicaciones relevantes que fueron identificados.

Mapa Geológico y Mapa Hidrogeológico del Paraguay

El proyecto PAR 83/05, ejecutado por la Comisión Nacional de Desarrollo Integrado del Chaco (Ministerio de Defensa Nacional) y la Organización de las Naciones Unidas, ha dado pautas importantes al desarrollo y la diseminación del conocimiento de la geología e hidrogeología del Paraguay. El proyecto publicó en 1986 el Mapa Geológico 1: 1 000 000 y el Mapa Hidrogeológico 1: 1 000 000 de todo el territorio nacional. Ambos mapas se confeccionaron con base en una metodología internacionalmente estandarizada. Por ejemplo, para el mapeo hidrogeológico se utilizó la clasificación y leyenda desarrolladas por la UNESCO que son utilizadas mundialmente. Ambos mapas están acompañados por un texto explicativo (Naciones Unidas, 1986a y 1986b), en el cual se resumen los conocimientos acerca del tema, con referencias a trabajos previos y las fuentes principales de información. Aunque parte de la información ha perdido actualidad por datos y análisis posteriores, los mapas y sus textos explicativos todavía constituyen una referencia muy valiosa con respecto a la geología e hidrogeología del país.

1^{er} Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay

Este simposio tuvo lugar del 22 a 26 de julio 1991, en la Casa de la Cultura (Salón de Actos) en Asunción. Fue organizado por CNDRICH, SENASA, CORPOSANA, COMINGE, FACEN-UNA y AGP, con apoyo de GTZ. Las memorias del simposio contienen varias contribuciones que son de interés para el estudio del Acuífero Patiño. Cabe destacar: “Acuíferos potenciales del Paraguay” por Eugenio Godoy; “Evolución y estado actual del conocimiento hidrogeológico del Paraguay” por Eugenio Godoy, Félix Villar, Félix Carvalho y Santiago Jara; y “Consideraciones morfoestructurales y estratigráficas de la antiforma de Asunción y su relación con la exploración de aguas subterráneas” de Dario Gomez.

2^o Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay

Organizado por la Sociedad Paraguaya de Aguas Subterráneas, este simposio Paraguay, tuvo lugar de 20 a 24 de noviembre de 1995 en la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. Entre los artículos publicados en las memorias del simposio

son de relevancia especial para el Estudio del Acuífero Patiño: “Observaciones geológicas de Paraguay Central en relación al agua subterránea.” por Wilmar Bartel y Rolf Muff; “Contribución al conocimiento hidrogeológico del área de Guarambaré” por Félix Carvallo, Félix Villar, Humberto Villalba y Antonio Montanholi; y “Contaminación del Agua Subterránea del Gran Asunción” por Juan Rios Otero, Oscar Martinez y Carlos Centurión.

Publicaciones del SENASA

Dos publicaciones recientes preparadas por profesionales del SENASA contribuyen altamente al conocimiento de las condiciones del Acuífero Patiño y sus aguas subterráneas. La primera es “Riesgos en la explotación del Acuífero Patiño en el área noreste del Departamento Central. SENASA” (1996) por Félix Villar, Félix Carvallo y Antonio Montanholi. Presenta la visión de los autores con respecto a la sostenibilidad de la explotación de las aguas de dicha acuífero y llama la atención hacia la necesidad de la planificación racional del uso de las mismas. La segunda es la publicación No.2 del Departamento de Recursos Hídricos, Dirección de Agua y Saneamiento del SENASA, bajo el título: “Departamento Central del Paraguay: Banco de Datos de pozos perforados por SENASA” (1999). Es un resumen muy sistemático y altamente útil de datos hidrogeológicos de los pozos perforados por SENASA en el Departamento Central. La mayoría de estos pozos están situados en el Acuífero Patiño.

Sistema de indicadores socio-económicos y demográficos

Este CD, publicado en 1999 por la Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos, contiene proyecciones de la población para los años 1995 hasta 2000, al nivel de los distritos. Además incluye otros datos socio-económicos y demográficos interesantes, entre los cuales los porcentajes de los hogares y de la población, que no cuentan con infraestructura sanitaria adecuada.

Mapas topográficos

Los mapas topográficos disponibles – impresiones en escala 1: 50 000 en papel de DISERGEMIL y archivos electrónicos de la DGEEC – han sido valiosos para analizar parte de la información mencionada arriba.

3 Resumen de información relevante para el estudio del Acuífero Patiño

3.1 Aspectos geológicos

3.1.1 Contexto geológico

El texto explicativo de Naciones Unidas (1986a) permite entender la geología del Acuífero Patiño en un contexto más amplio. Según dicha publicación, “los principales elementos geotectónicos del Paraguay están constituidos por cuencas sedimentarias del Fanerozoico y altos regionales que los separan. La estructura tectónica actual del Paraguay es de edad Cretácico-Terciario, período de intensa reactivación estructural seguido por manifestaciones ígneas de carácter volcánico, estando los más jóvenes representados las basanitas oliviníticas de la Formación Ñemby con 46 m.a. (oligoceno).” En la Región Oriental se puede distinguir la cuenca sedimentaria del Paraná, separada de las cuencas sedimentarias del Chaco por el Arco de Asunción y limitada al norte por el Alto de Apa y al sur por el Alto de Caacupu. Dentro de la cuenca del Paraná, en su parte suroeste, se encuentra un alto estructural de rocas del Silúrico, denominado “Alto de Asunción”. Luego, en la parte central del Alto de Asunción se localiza la depresión del Lago Ypacaraí, con dirección N 30° W, provocado por hundimientos de bloques escalonados. Es en esta depresión donde se localiza el Acuífero Patiño.

3.1.2 Geología estructural

Carvallo (2001) resume la geología estructural de la siguiente manera: “Durante el periodo Cretácico existió, en el área de Asunción, un gran movimiento vertical con el levantamiento de las rocas del Silúrico y la formación del Valle/Graben de Ypacaraí. Este proceso de movimentación vertical, un verdadero proceso de rift, provoca, en el Cretácico Superior, un nuevo ciclo de sedimentación representado por los conglomerados y fanglomerados de la Formación Patiño, producto sedimentario derivado de la erosión de los sedimentos del Silúrico y de las areniscas de la Formación Misiones. Según, Gómez Duarte (1991), el área es el resultado de: (a) el tectonismo que afecta la zona quedando una fosa limitada por rocas del Silúrico (línea Villeta – Carapegua, y Emboscada – Santo Tomas.) y (b) sedimentación o carga de la fosa con aporte de fragmentos de los macisos rocosos circundantes. Fácilmente pueden distinguirse alineaciones estructurales en la zona en cuestión representadas por los cursos de agua. Las debilidades ocasionadas por estos fracturamientos de la corteza permitieron la incorporación de a la superficie, o cercana a esta, de magmas ígneos básicos”.

3.1.3 Ambiente de sedimentación

Como comenta Carvalho (2001): “El tectonismo que afecto la parte centro oriental del País fue el causante de la formación de una Mega Estructura – el rift de Asunción. Esta gran Fosa dio inicio a la acumulación de sedimentos característicos de depósitos de talud (conglomerados) desarrollados, debido al paleo relieve, en un sustrato irregular de la áreas fuentes cercanas a los bordes oriental y occidental de la Estructura. El área, desde entonces, fue afectada por tectonismo que produjeron fallamientos permitiendo la deposición de sedimentos propios de conos aluviales, coluviales y deltas (fanglomerados). Con posterioridad el drenaje de los tributarios de la región y el Río Paraguay, en el extremo Norte, dio como resultado una gran variación litológica, de un área a otro debido a la fuente de materiales ayudado por el tectonismo local contemporáneo a la deposición. En este ambiente se depositaron también sedimentos posteriores al rift constituidas por fracciones clásticas finas (aluviones de Formaciones del Cuaternario).”

3.1.4 Estratigrafía

Hay cierta inconsistencia o evolución entre las descripciones estratigráficas de diferentes fuentes de información, por lo tanto a veces puede ocurrir alguna confusión al respecto.

Los primeros Investigadores de la geología del Paraguay, tales como Harrington, Eckel y Putzer, confundieron a la Formación Patiño con las unidades geológicas de la Formación Misiones. Franco y otros, durante el Proyecto PAR 83/005, caracterizaron una secuencia clástica de granulometría gruesa, con espesor de algunos centenas de metros y constituido principalmente por conglomerados, denominados estos Conglomerados Patiño (Spinzi 1983). El Proyecto PAR 83/005 (Naciones Unidas, 1986), empleó por primera vez, en su texto explicativo, el término Formación Patiño para designar una asociación litológica consistente en conglomerados y areniscas. (Carvalho, 2001).

Según Naciones Unidas (1986a), la Formación Patiño tiene edad de fines del Cretácico hasta el Cenozoico inferior. Fue depositada en la parte occidental del Alto de Asunción, en un graben constituido por bloques hundidos dentro de la depresión de Ypacaraí. Yace encima de sedimentos silúricos del Grupo Caacupe, en algunas partes tal vez encima de remanentes de la Formación Misiones (Triásico-Jurásico). En ciertas zonas está intruida por las rocas ígneas de la Formación Ñemby (Oligoceno-Mioceno). El afloramiento principal de la Formación Patiño forma una zona aproximadamente triangular situada entre Paraguairí, Limpio y la curva en el Río Paraguay al oeste de la ciudad de Asunción (véase la Figura No 3.1). Al lado oriental está separada por una falla de sedimentos silúricos, al lado sur está bordeada por rocas cristalinas, y al oeste está yuxtapuesta a los sedimentos más jóvenes del Chaco, al otro lado del Río Paraguay. La formación aflora también en la zona de La Colmena (Departamento de Paraguairí) y en una zona limitada al noroeste del Río Paraguay (Villa Hayes y

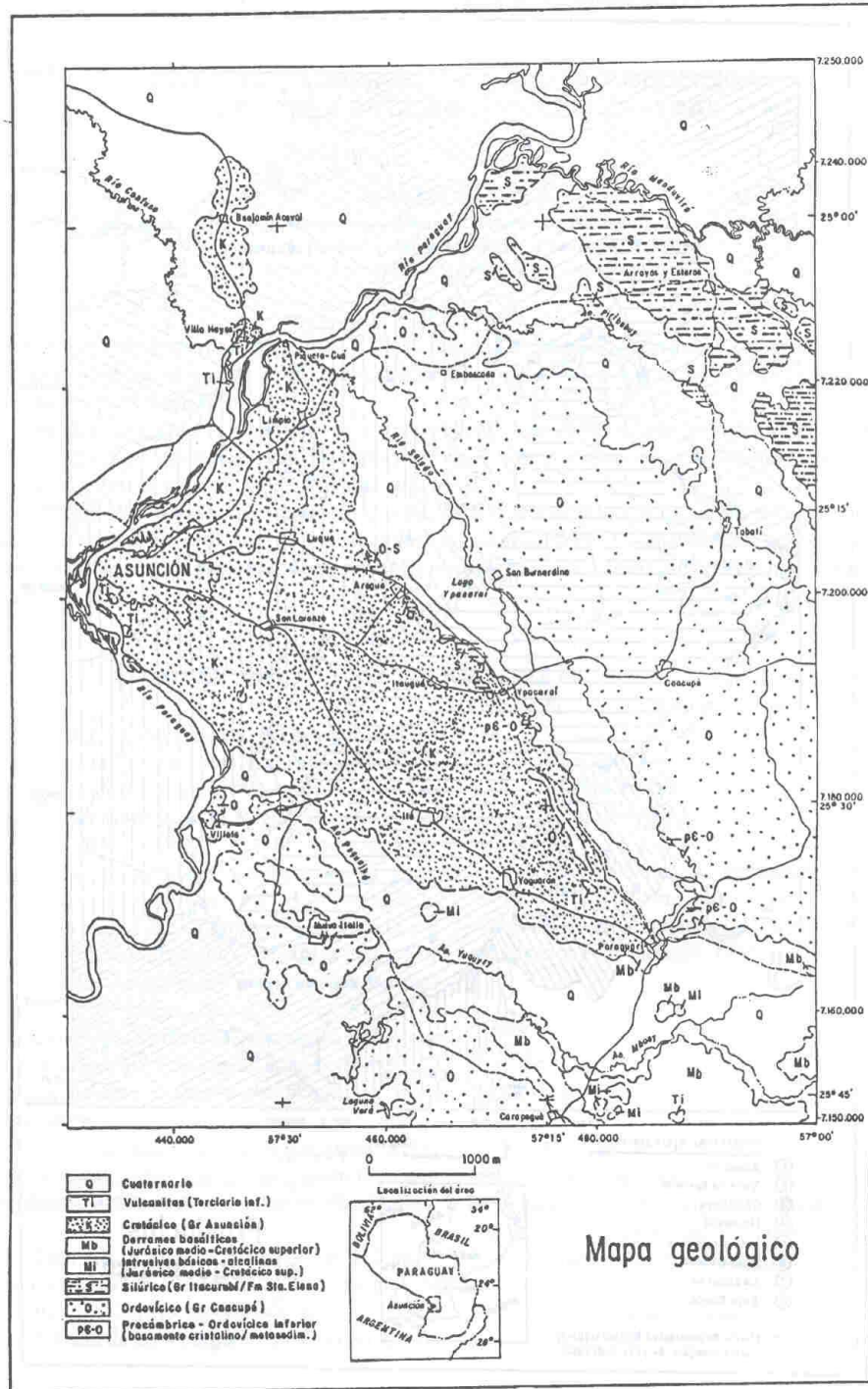


Figura 3.1 Mapa geológico según Bartel y Muff (1995)

Benjamín Aceval). Las areniscas de la última zona podrían estar en contacto subterráneo con las de la zona triangular Asunción – Limpio – Paraguari, pero las fuentes de información no comentan al respecto.

El informe de Naciones Unidas (1986a) menciona como otras formaciones de interés dentro del Alto de Asunción la Formación Ñemby (ya mencionada arriba) y la Formación San Antonio.

La primera es resultante del tectonismo reactivado en el Oligoceno-Mioceno y está constituida por intrusivas básicas que contienen grandes cristales de olivino. Ocurren en las zonas Ñemby-Lambaré y Tacumbú, y también en la margen occidental del Río Paraguay (Villa Hayes y Benjamin Aceval), abarcando un total de 5 km² en afloramientos. El informe comenta que una manifestación de tal importancia sugiere una anomalía crustal de gran magnitud para el área de Asunción, concluyéndose que “se trata, en realidad, de un “rift” incipiente asociado al abatimiento de una megaestructura (Arco de Asunción).”

En la Formación San Antonio, están agrupados los sedimentos acumulados en las proximidades del Río Paraguay y sus afluentes, que se encuentran en una cota inferior a 70 metros sobre el nivel del mar. Está constituida por una arenisca clara crema, de granulación media a gruesa con gravillas dispersas, intercaladas con lutitas. El informe sugiere edad pleistocena, aunque menciona también la amplia deposición de sedimentos de edad holocénica en los valles de la red de drenaje actual, sin mencionar si están incluidos en la Formación San Antonio o no.

Publicaciones posteriores (Gómez, 1991; Bartel & Muff, 1995) tienden a una estratigrafía más detallada, como se ilustra en la columna estratigráfica de la Figura 3.2. Gómez (1991) presenta dos grupos de sedimentos paleozoicos, ambos incluyendo tres formaciones: el Grupo Caacupé del Ordovícico/Silúrico y el Grupo Itacurubí del Silúrico. Aparte de conglomerados en la base del Grupo Caacupé, están compuestos de areniscas de grano fino a grueso, y en parte de lutitas. Luego, distingue el Grupo Asunción que incluye todos los sedimentos de edad cretácica, con la Formación Patiño en su parte inferior y las Formaciones Cerro Perú y Itapytapi en su parte superior. Está superpuesto por las Formaciones Lambaré y San Antonio. Sin embargo, Gómez habla en el mismo artículo (Gómez, 1991) del *Grupo Patiño*, y ocasionalmente refiere a toda la secuencia como Formación Patiño. Entonces, “Patiño” puede tener significados estratigráficos diferentes, según autor y fecha de publicación¹. Rocas intrusivas de la Formación Sapucái penetran la secuencia paleozoica, mientras que los intrusivos de la Formación Ñemby llegan hasta el techo del Grupo Asunción. Llama la

¹ En el presente informe el “Acuífero Patiño” es asociado no solamente a la Formación Patiño en la definición estricta de Gómez (1991), sino a toda la secuencia del Grupo Asunción.

atención que Gómez (1991) ya no considera presente la Formación Misiones dentro de la fosa del Alto de Asunción.

Según Orué (1997), la Formación Patiño se presenta en forma discordante sobre depósitos marinos del Grupo Itacurubí y por debajo, también en forma discordante, de sedimentos de edad Cuaternaria.

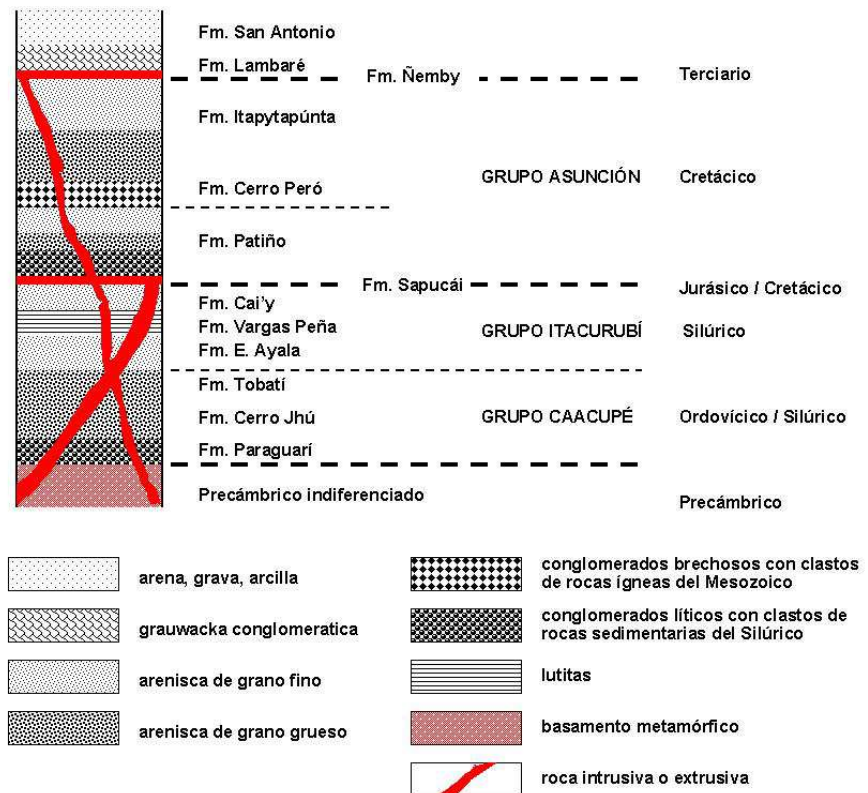


Figura 3.2 Columna estratigráfica de la 'Antiforma de Asunción' (según Gomez, 1991)

3.1.5 Características litológicas de las formaciones relevantes

Los siguientes extractos de Naciones Unidas (1986a) pueden caracterizar la Formación Patiño, la cual en su definición de entonces probablemente corresponde al Grupo de Asunción de Gómez (1991):

“La formación está constituida por sedimentos conglomeráticos en la base y arenosos hacia el techo. Posee fuerte coloración roja (.....). El espesor mínimo de la formación está estimado en 150 metros y la unidad abarca un área de 1777 km². Sus

afloramientos más arenosos están alrededor de Asunción y a lo largo de la depresión de Ypacaraí, fueron por mucho tiempo confundidas con las areniscas de la Formación Misiones y así presentadas en varios mapas del Paraguay.(.....). Las capas conglomeráticas poseen una secuencia granulométrica decreciente, de abajo hacia arriba, muy bien expuesta en las localidades de San Antonio, Ypané, Arroyo Ytotoró, Cerro Perú (Paraguarí), Compañía Salado-í (al norte de Limpio) y Cerro Patiño, donde se encuentra la exposición más completa de la formación. Los cantos de los conglomerados, con tamaños hasta 40 cm, muestran una “suite” completa de las rocas regionales, incluso cantos de areniscas silicificadas de la Formación Misiones, de las intrusivas alcalinas y rocas del Silúrico. En la dirección del techo de la unidad hay una disminución de las capas conglomeráticas, con aumento de espesor de las capas arenosas. (.....) La disposición tridimensional de los cuerpos conglomeráticos es una indicación de que se trata de fanglomerados que rellenaron el “graben” de Asunción o depresión de Ypacaraí. El área de mayor potencia deposicional es hacia el Este.”

La descripción de Gómez (1991) concuerda a grandes rasgos con la de arriba, tomando en cuenta las discrepancias en las definiciones estratigráficas. Se puede observar en la Figura 3.2 que dicho autor considera dentro del Grupo Asunción dos secuencias litológicas de conglomerados basales hacia areniscas finas en el techo.

Carvallo (2001) añade:

“La diversidad litológica de la Formación Patiño es grande presentando cuatro litofacies, dos de naturaleza conglomerática, una fanglomerática y la última arenosa (Orué 1997).

La facie conglomerática presenta dos tipos de conglomerados: (1) Oligomicticos, conglomerados formados por un solo tipo de roca, tiene colores claros, sin estratificación, semi-consolidados, friables, localmente silicificados, matriz cuarzosa de granulometría mediana a gruesa, cantos de cuarzo de pocos milímetros a 10 cm. Redondos y accidentalmente fragmentos de rocas. (2) Polimícticos, conglomerados formados por varios tipos de rocas, de coloración rosada, características similares a los anteriores pero, cantos subredondeados a anguloso no mas de 15 cm. De cuarzo, cuarzitas, areniscas, argilitas, de rocas básicas alcalinas.

La facie fanglomerática es de color rojo a marrón, sin estratificación, semi consolidada, generalmente friables, localmente silicificada, la matriz es de granulometría media a gruesa de naturaleza silico – arcillosa, integrada por óxidos de hierro los clastos contienen cantos angulosos a subredondeados con diámetros de peso milímetros a 40 cm. Del piso al techo se nota disminución de la granulometría.

La facie arenosa está representada por areniscas de coloración rojiza a rosada y a veces amarilla, son bien seleccionada, friables, localmente silicificadas, presentan estratificación cruzada, la granulometría va de fina a gruesa, la matriz puede ser

arcillosa o de óxido de hierro. Estas características fueron las causantes de la confusión con la Formación Misiones.”

3.2 Naturaleza del acuífero

3.2.1 Comparación con otros acuíferos en el Paraguay

La Tabla 3.1, basada en Naciones Unidas (1986b) presenta los sistemas acuíferos principales del Paraguay. Según las dimensiones y la continuidad hidráulica se distinguen acuíferos locales y acuíferos regionales. Los acuíferos regionales de mayor extensión incluyen en primer lugar los aluviones cuaternarios de los ríos principales, que abarcan alrededor de 48,000 km². Luego, exclusivamente en el Chaco, tienen gran extensión los acuíferos terciarios del Chaco Oeste y el Chaco Este, y el acuífero cretácico de Adrian Jara. En la Región Oriental, finalmente, tiene gran extensión (mayor de 37,000 km²) el acuífero regional de la Formación Misiones (Acuífero Guaraní), el cual además tiene continuación en zonas del Brasil, de la Argentina y del Uruguay. Con excepción del Acuífero Adrian Jara, todos estos acuíferos regionales de gran extensión son de permeabilidad con base en la porosidad intergranular de los sedimentos que forman la matriz litológica (acuíferos porosos).

El Acuífero Patiño está indicado en el mapa de Naciones Unidas (1986b) como un acuífero poroso de bajo potencial de explotación, es decir con capacidad específica inferior a 1.0 m³/h/m. Aunque es de carácter regional, el Acuífero Patiño fue clasificado como acuífero de extensión restringida, por tener una superficie total de solamente unos 2000 km² (las estimaciones varían de 1770 a 2010 km²). Sin embargo, en contraste con el carácter somero de los acuíferos cuaternarios, su espesor es del orden de algunas centenas de metros; y contrariamente a los acuíferos del Chaco, contiene generalmente agua de muy bajo grado de mineralización.

3.2.2 Ubicación

Cabe observar que el Acuífero Patiño se presenta en tres partes separadas: la zona de forma más o menos triangular Asunción-Limpio-Paraguarí, la pequeña zona de Villa Hayes-Benjamin Aceval (extensión de la zona anterior, al otro lado del río) y una zona de afloramientos de la Formación Patiño en el área de La Colmena (Paraguarí) a Villarrica (Guairá). El énfasis en este informe es en la primera zona, de unos 1173 km² de extensión (Véase la Figura 1.1).

Tabla 3.1 Las formaciones acuíferas principales del Paraguay

	Acuíferos regionales de gran extensión	Acuíferos regionales de extensión restringida	Acuíferos locales
Cenozoico	Cuaternario (Q) Chaco Oeste (Tco*) Chaco Este (Tqce*)		Paleocauces (Qcp*) Mesocauces (Qccs)
Mesozoico	Adrián Jara (Kaj*) Misiones (Jm)	Patiño (Kp) Agua Dulce (Kad*)	Acaray (Ka) Basalto (Kb)
Paleozoico		Caacupé (Sc)	Independencia (Pi) Cnel Oviedo (Cco) Palmar de las Islas (Cpi*) Itacurubí (Si) Itapucumbí (Ei)
Precámbrico			Basamento cristalino (Pc)

(las formaciones acuíferas con * corresponden exclusivamente a la región del Chaco)

3.2.3 Límites

Las areniscas del Acuífero Patiño en la zona triangular Asunción-Limpio-Paraguarí están limitadas por fallas a todos lados. Al lado este – de Limpio a Paraguarí – se encuentra la falla de Ypacaraí, por la cual dichas areniscas se hallan yuxtapuestas a sedimentos cuaternarios, areniscas paleozoicas, materiales basálticos y rocas del basamento (Bartel y Muff, 1995). Una falla al lado sur ha creado condiciones más o menos similares allá. En el área de Guarambaré a lo largo de esta falla hay intrusiones de la Formación Ñemby que forman localmente una barrera impermeable (Carvallo y otros, 1995). Este fenómeno posiblemente se presenta en otras partes también. Por el contraste en permeabilidad provocado por las fallas y por las condiciones topográficas, se produce descarga de las aguas subterráneas a lo largo de los límites este y sur. Respecto al límite oeste, la información disponible es más escasa. En rasgos generales el Río Paraguay y el sistema de fallas que definen su curso son considerados como límite occidental. Sin embargo, faltan detalles al respecto en las publicaciones revisadas. Como se observa que existen afloramientos de la Formación Patiño en Villa Hayes y Benjamín Aceval (véase la Figura 3.1), no es imposible que hay otras extensiones de las areniscas hacia el oeste o noroeste, enterradas bajo los sedimentos más recientes del Chaco. Los mapas y datos disponibles sugieren que hay contacto hidráulico entre el Acuífero Patiño y el Río Paraguay de modo que el último determina los niveles de base en dicho acuífero.

3.2.4 Propiedades hidráulicas

Godoy (1991) menciona que cambios acentuados de sedimentos pelíticos a arenosos en cortas distancias controlan el caudal explotable de este acuífero, por lo cual es necesario un riguroso control geológico para el éxito de perforaciones de pozos. Según el mismo autor, por la condición litológica, la conductividad hidráulica varía de 0.1 y 3.4 m/día y la transmisividad varía de 0.2 a 135 m²/día. Esto concuerda con los datos del caudal de los pozos reportados por SENASA (1999), que oscilan entre 2 y 130 m³/hora, con la mayoría entre 25 y 40 m³/hora. Los mismos datos indican que el caudal específico de los pozos frecuentemente está en el intervalo de 0.5 a 2.0 m³/h/m, un poco más favorable que el promedio de 0.8 m³/h/m estimado por Naciones Unidas (1986b).

En el acuífero predominan condiciones hidráulicas libres y semi-confinadas (Bartel & Muff, 1995) – lo cual corresponde con los registros litológicos de SENASA (1999) – aunque a veces se presentan condiciones de artesianismo con surgencia (Naciones Unidas, 1986b).

3.3 Condiciones climatológicas e hidrológicas

3.3.1 Clima

La Memoria del Mapa Hidrogeológico del Paraguay (Naciones Unidas, 1986b) presenta un sinopsis de las condiciones meteorológicas en todo el país. Muestra en dirección este-oeste una tendencia monótona de las precipitaciones anuales medias decrecientes de unos 1700 mm en la frontera oriental (Río Paraná) a menos de 500 mm cerca a la frontera occidental con Bolivia (Gral. E.A. Garay). Con Asunción y Villarrica como estaciones meteorológicas indicativas de la zona del Acuífero Patiño se puede inferir una precipitación media anual de 1400 a 1500 mm para dicha zona.

Las precipitaciones se presentan durante todos los meses del año, pero en la Región Oriental (en el informe de Naciones Unidas representada por la estación de Villarica) es notable una variación estacional, con valores mínimos en agosto, máximos en octubre y valores por encima del promedio durante el período de octubre a marzo.

El informe de Naciones Unidas (1986b) muestra también que la temperatura media anual varía de 21°C en el sureste del país hasta más de 25°C en la zona norte. La evapotranspiración potencial según Thornthwaite sigue la misma tendencia, con valores numéricos de 1100 mm/año a 1500 mm/año. Los valores interpolados para la zona del Acuífero Patiño son una temperatura media de 22 °C y la evapotranspiración

anual media de 1175 mm. Entonces, se hace inferir que hay excedente de precipitación, especialmente en los períodos abril-junio y octubre-noviembre.

3.3.2 Hidrología

Las lluvias suelen tener intensidad bastante grande en la zona del Acuífero Patiño, y la morfología de la zona es caracterizada por pendientes topográficas hacia las zonas limítrofes. Por lo tanto se observa una red de drenaje centrifugal bien desarrollada para evacuar el excedente de las precipitaciones pluviales (véase la Figura 1.1).

Por inspección de los mapas topográficos es posible subdividir la zona del Acuífero Patiño en tres zonas hidrográficas distintas:

Zona 1 (Sistema del Río Paraguay):

Esta zona es drenada por arroyos que descargan directamente al Río Paraguay. Consiste de una faja de 5-10 km de ancho bordeando el Río Paraguay, incluyendo las zonas urbanas de Limpio, Mariano Alonso, Asunción, Lambaré, Fernando de la Mora, Villa Elisa, San Antonio y Ñemby. Su extensión es de 410 km² o sea 35% del área total.

Zona 2 (Sistema del Lago Ypacaraí/Río Salado):

Esta zona consiste de la zona central y las zonas a lo largo del borde oriental, y incluye las zonas urbanas de Luque, San Lorenzo, Areguá, Capiatá, Itaguá, Ypacaraí y Pirayú. Drena hacia el Lago Ypacaraí (zona 2a), hacia el Río Salado que conecta el lago con el Río Paraguay (zona 2c) o hacia la zona pantanosa al norte del lago (zona 2b). Su extensión es de 507 km² o sea 43% del área total, con áreas de 152, 314 y 41, respectivamente, para las subzonas 2a, 2b y 2c.

Zona 3 (Sistema del Ao Caañabé):

Ocupa la zona sur, donde se encuentran Guarambaré, Ita y Yaguarón. Tiene extensión de 256 km² o sea el 22% del área total. Las aguas de drenaje de esta zona son conducidos por arroyos hacia el Ao Caañabé, el cual alimenta una zona extensa de pantanos al sur de Nueva Italia.

Aunque el Río Paraguay es la base de drenaje regional para toda el área, es claro que las aguas de drenaje de algunas zonas tienen importancia especial con respecto a las condiciones hidrológicas del lago (zona 2a) y la sostenibilidad de los ecosistemas húmedos de los pantanos (zonas 2b y 3).

3.3.3 Recarga y descarga de las aguas subterráneas

Como consecuencia de la morfología del área, el Río Paraguay y otros cuerpos importantes de aguas superficiales (Lago Ypacaraí, Río Salado) no están en condiciones de recargar el Acuífero Patiño. Por lo tanto, la recarga natural del Acuífero Patiño básicamente proviene del excedente de las precipitaciones pluviales locales. Naciones Unidas (1986b) estima que esta recarga directa es de 1 a 2 % de la precipitación media, es decir unos 14 a 28 mm por año, en promedio.

Esta tasa de recarga ha sido adaptada por otros autores también (por ejemplo, Godoy, 1991; Villar et al., 1996), pero no se ha podido sacar en claro como se determinó el valor mencionado, ni hay evidencia que ha sido verificado de alguna manera con datos locales. Entonces, las estimaciones de la recarga promedia con base en dicha tasa pueden divergir bastante de los valores reales; por lo tanto, mucha cautela es requerida cuando se sacan conclusiones.

No se ha encontrado todavía ninguna referencia a componentes de recarga indirecta del agua subterránea, como por la infiltración de aguas servidas y por pérdidas de las aguas distribuidas. En esta conexión hay que tomar en cuenta el agua suministrada por Corposana, extraída en cantidades apreciables del Río Paraguay, entonces de una fuente de agua externa.

Con respecto a la descarga de las aguas del Acuífero Patiño, los informes y artículos consultados se limitan a la descarga por bombeo. Aunque evidentemente hay descarga de las aguas subterráneas por manantiales y por alimentación de los flujos base de los ríos y arroyos, no se encontraron estimaciones al respecto, ni balances hídricos subterráneos que la toman en cuenta.

3.4 Extracción de las aguas subterráneas

Varios fuentes (Naciones Unidas, 1986b; Godoy, 1991; Villar y otros, 1996) mencionan la explotación intensiva del Acuífero Patiño. El mismo acuífero está situado en la zona más densamente poblada y más industrializada del país, entonces la demanda de agua es alta.

Parte de esta demanda está cubierta por CORPOSANA, otra parte tiene que suplirse con agua subterránea. Según Naciones Unidas (1986b) a mediados de los años '80 el 75.5% de la población de la capital fue atendida por CORPASANA, planificándose aumentar la capacidad de 240 000 m³/día a 520 000 m³/día durante el período 1985-2008. Además estaba en pleno funcionamiento el abastecimiento de agua por CORPASANA de San Lorenzo, Mariano Roque Alonso, Fernando de la Mora y

Luque, encontrándose en estado avanzado (70%) la terminación del sistema de agua para la ciudad de Paraguarí.

Las proyecciones demográficas de la DGEEC (1999) permiten estimar la población dentro del área del Acuífero Patiño. Como se puede observar en la Tabla 3.2, la población acumulada de las municipalidades situadas enteramente o parcialmente dentro del área del acuífero se proyectó para el año 2000 en 1.93 millones. Algunas municipalidades se extienden hacia fuera del área delineada, entonces parte de su población no vive dentro de la misma. Después de corregir para los habitantes correspondientes, resultaría según estos datos para el año 2000 unos 1.2 a 1.5 millones de personas dentro de la zona triangular delineada del Acuífero Patiño. Sin embargo, de acuerdo a experiencia del SENASA en el área, la tasa de crecimiento de la población es mucho mayor que la asumida por la DGEEC, debido al fenómeno de migración hacia la zona. En la estimación del SENASA el área actualmente debe tener aproximadamente 2.0 millones de habitantes. Sin duda, una parte considerable de esta población depende del agua subterránea para uso doméstico y también debe ser importante el uso de la misma para fines industriales.

Villar y otros (1996) estimaron la extracción de aguas subterráneas en parte del área considerada, más o menos correspondiendo con la Zona Hidrográfica no. 2 definida arriba en la sección 3.3.2 (*Sistema del Lago Ypacaraí/Río Salado*). En esta zona de unos 247 km² y con una población cercana a los 500 000 habitantes, se estimó la descarga solamente por pozos perforados por SENASA en un 7.5 millones de metros cúbicos por año, con la observación que no están incluidos los pozos particulares. Luego se estimó la recarga – con base en 1.5% de la precipitación de 1500 mm/año – obteniéndose 7.41 millones de metros cúbicos por año. Los autores concluyeron que las aguas subterráneas en la zona están sobreexplotadas, lo cual puede resultar en daños que “irían desde la reducción de caudales de los pozos, pasando por la sensible variación de niveles estáticos, hasta el reacomodo del subsuelo por la ausencia de uno de los factores de equilibrio, provocando desplazamientos en el subsuelo.” Los autores, consecuentemente, incluyen una propuesta para estudios, registros y otras actividades preparatorias para planificar el uso racional de los recursos hídricos subterráneos, dentro del concepto de desarrollo sustentable.

Evidentemente las estimaciones tienen su margen de imprecisión y una elaboración completa del balance hídrico sin duda contribuiría a conocimientos más profundos de los cambios que se están produciendo. Sin embargo, con razón los autores llaman atención para el problema de las extracciones de agua cada vez mayores, que tarde o temprano provocarán problemas si no son controladas.

Fuera de esta publicación no se encontraron otras estimaciones elaboradas de la extracción de aguas subterráneas en la zona, ni de su relación con la recarga y otros componentes del balance hídrico subterráneo.

Tabla 3.2 Población en municipalidades situadas en el área del Acuífero Patiño

Departamento	Municipalidad	Población proyectada		Tasa anual de crecimiento %	Población estimada fuera del área considerada			
		1995	2000		No	<10%	10-50%	>50%
ASUNCIÓN	Asunción	541714	561386	0.7	x			
CENTRAL	Areguá	29589	34305	3.0		x		
	Capiatá	105622	132044	4.6	x			
	Fdo. De la Mora	116798	142067	4.0	x			
	Guarambaré	15100	18384	4.0		x		
	Ita	43503	50121	2.9		x		
	Itaugua	45858	55609	3.9			x	
	Lambaré	123383	152599	4.3	x			
	Limpio	44508	55905	4.7		x		
	Luque	145015	179665	4.4		x		
	M. R. Alonso	48720	59951	4.2	x			
	Ñemby	48251	59366	4.2	x			
	San Antonio	18740	23530	4.7	x			
	San Lorenzo	173804	233016	6.0	x			
	Villa Elisa	36928	45236	4.1	x			
	Ypacaraí	16571	18281	2.0				x
	Ypané	10627	11526	1.6			x	
J. Aug. Saldivar	26583	33302	4.6	x				
PARAGUARI	Pirayú	15107	15093	0.0				x
	Yaguerón	26004	25871	-0.1		x		
	Paraguarí	22214	22843	0.6				x
TOTAL		1654639	1930100	3.1				

Tabla basada en la información numérica de CGEEC (1999)

3.5 Calidad de las aguas subterráneas

El informe de Naciones Unidas (1986b) comenta que el agua en el Acuífero Patiño “es generalmente de buena calidad química.” Los análisis químicos incluidos en SENASA (1999) confirman que el grado de mineralización generalmente es muy bajo, ya que la conductividad eléctrica es inferior a 100 microsiemens/cm en la mayoría de las muestras y pasa los 300 microsiemens/cm en solamente el 10% de las muestras.

Sin embargo, Godoy (1991) menciona la contaminación de los cursos de agua en la zona del Acuífero Patiño y en consecuencia la contaminación de los acuíferos. Añade que “es altamente prioritario realizar una evaluación de este acuífero, referente a la evolución de los niveles y calidades del agua (....)”. Tomando en cuenta la gran densidad de la población (véase la Tabla 3.2) y las condiciones generalmente freáticas del acuífero, existen fuentes importantes de contaminación en un ambiente bastante vulnerable. Por consiguiente, es realista anticipar el riesgo de la contaminación de las aguas subterráneas.

Bartel & Muff (1995) llaman atención a la “contaminación natural” de las aguas subterráneas por la ingesión de agua salada desde el oeste a través de los acuíferos salinos ubicados en la provincia Bajo Chaco. Según ellos, el fenómeno se produce en mayor escala en toda la franja a lo largo del Río Paraguay, y en especial en la zona de Villa Hayes – Benjamin Aceval. No proporcionan datos o referencias para validar este tipo de contaminación, ni presentan un análisis para demostrar la plausibilidad hidráulica de dicha ingesión bajo condiciones de fuerte gradiente hidráulico en la dirección opuesta.

Los mismos autores mencionan también –otra vez sin datos de validación - la contaminación natural por alteración y lixiviación de diques y sills basálticos en horizontes saturados, y la contaminación superficial antropogénica bien observable en la provincia hidrogeológica de Asunción.

Ríos Otero y otros (1995) llevaron a cabo un estudio de contaminación del agua subterránea en áreas puntuales del Gran Asunción. Las diferentes áreas de estudio fueron seleccionadas por su proximidad a un potencial foco de polución conocido, tales como arroyos, vertederos de basura, canteras, etc. Se realizaron el análisis físico-químico en 44 muestras provenientes de pozos y el análisis bacteriológico en 24 muestras.

Como también fue el caso en el estudio de Carvallo y otros (1995), se ha encontrado una amplia gama de tipos químicos de agua, incluyéndose las bicarbonatadas, sulfatadas y cloruradas. Algunas interpretaciones presentadas en términos del intercambio de iones no convencen plenamente, debido al hecho que no se conoce el perfil hidroquímico original de las aguas involucradas. Sin embargo, los altos contenidos de colonias de bacterias y las altas concentraciones de nitratos (hasta 143 mg/l (!) en la ubicación del Hotel del Paraguay) evidentemente indican la presencia de contaminaciones. Una muestra sacada en el norte de la ciudad, a unos 5 km del Río Paraguay, tiene conductividad de 1455 microsiemens/cm, anomalía tentativamente asociada con una intrusión salina del acuífero de la Formación Chaco.

4 Conclusiones

Los trabajos y estudios previos con relación al Acuífero Patiño proporcionan información muy valiosa para el Estudio del Acuífero Patiño del Proyecto “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA” (FEHS).

Aunque los conocimientos existentes son significativos y diversos, es claro también que falta todavía mucha información y análisis más profundo para eliminar dudas existentes, diagnosticar problemas e investigar posibles soluciones, - elementos de la planificación racional y la gestión sostenible de las aguas subterráneas.

5 Referencias

- Bartel, Wilmar & Rolf Muff, 1995. Observaciones geológicas de Paraguay Central en relación al agua subterránea. 2º Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay.
- Carvalho, Félix, Félix Villar, Humberto Villalba y Antonio Montanholi, 1995. Contribución al conocimiento hidrogeológico del área de Guarambaré”. 2º Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay.
- Carvalho, 2001. Aspectos geológicos. Informe interno preparado con relación al taller de presentación del proyecto FEHS.
- CNDRICH, SENASA y CORPOSANA, 1991. Memorias der 1º Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay, 22 a 26 de julio 1991, Casa de la Cultura (Salón de Actos), Asunción, Paraguay. Organizado por CNDRICH, SENASA, CORPOSANA, COMINGE, FACEN-UNA y AGP, con apoyo de GTZ.
- Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos, 1999. Sistema de indicadores socio-económicos y demográficos (en CD). Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos de la Secretaría Técnica de Planificación.
- Godoy, Eugenio. 1991. Acuíferos potenciales del Paraguay. 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay. Casa de la Cultura, Asunción. Paraguay.
- Godoy, E; F. Villar, F. Carvalho y S. Jara 1991. Evolución y estado actual del conocimiento hidrogeológico del Paraguay. 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay. Casa de la Cultura, Asunción. Paraguay.
- Gomez, Dario. 1991. Consideraciones morfoestructurales y estratigráficas de la antiforma de Asunción y su relación con la exploración de aguas subterráneas. 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay. Casa de la Cultura, Asunción. Paraguay.
- Naciones Unidas, 1986a. Mapa Geológico del Paraguay, Texto Explicativo. Proyecto PAR 83/05, Asunción, Paraguay. Gobierno de la República del Paraguay, Comisión Nacional de Desarrollo Integrado del Chaco/ Ministerio de Defensa Nacional y Organización de las Naciones Unidas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Departamento de Cooperación Técnica para el Desarrollo. 93 páginas.
- Naciones Unidas, 1986b. Memoria del Mapa Hidrogeológico de la República del Paraguay, escala 1: 1 000 000. Proyecto PAR 83/05, Asunción, Paraguay. Gobierno de la República del Paraguay, Comisión Nacional de Desarrollo

- Integrado del Chaco, y Organización de las Naciones Unidas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 106 páginas.
- Rios Otero, Juan; Martinez Oscar y Carlos Centurión 1995. Contaminación del Agua Subterránea del Gran Asunción. 2º Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay.
- SENASA, 1999. Departamento Central del Paraguay: Banco de Datos de pozos perforados por SENASA. Publicación no. 2, Departamento de Recursos Hídricos, Dirección de Agua y Saneamiento del SENASA.
- Sociedad Paraguaya de Aguas Subterráneas, 1995. Aguas subterráneas – Reserva económica estratégica y vital. Memorias der 2º Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay, 20 a 24 de noviembre de 1995, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. Organizado por la Sociedad Paraguaya de Aguas Subterráneas (SPAS) y la Cooperación Hidrogeológica Paraguayo-Alemana (DRH y BGR). 242 páginas
- Spinzi, Angel M y Alfredo Garcete 1991. Estudio Geológico para la Captación de agua Subterránea en la localidad de Ypacarai Paraje Ita Pytuanga (Paraguay). 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay. Casa de la Cultura, Asunción. Paraguay.
- Villar, Félix, Félix Carvallo y Antonio Montanholi, 1996. Riesgos en la explotación del Acuífero Patino en el área noreste del Departamento Central. SENASA, Departamento de Recursos Hídricos, San Lorenzo, Paraguay.

