

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO INDEPENDENCIA EN EL ÁREA NORESTE DE LA CIUDAD DE CAAZAPÁ, PARAGUAY, BASADO EN DATOS DE SONDEOS DE EXPLORACION MINERAL

HYDROGEOLOGICAL EVALUATION OF THE INDEPENDENCIA AQUIFER IN THE NORTHEASTERN AREA OF THE CAAZAPÁ CITY, PARAGUAY, BASED ON DATA FROM MINERAL EXPLORATION

NARCISO CUBAS VILLALBA¹ & DIEGO ADÁN LÓPEZ²

¹Docente Investigador con Dedicación Completa (DIDCOM). FACEN-UNA. E-mail: cubasnpy@yahoo.com

²Asistente de Investigación, Dpto. de Geología. FACEN-UNA

Resumen: En el presente trabajo de investigación contiene los resultados de la evaluación hidrogeológica del Acuífero Independencia que ocurre en la zona Noreste de la ciudad de Caazapá, en base a datos de trabajos realizados por compañías de exploración mineral y de sondeos para captación de agua subterránea por empresas de servicio de agua potable.

La ciudad de Caazapá tiene serios problemas de abastecimiento de agua potable, debido a que los pozos que abastecen a la población cubren solamente el 80 % de la demanda de agua potable.

Si bien existen cursos aguas superficiales al Sur de la ciudad como posible fuente para el abastecimiento, pero resulta económicamente inviable dado que dicho curso de agua se encuentra a una distancia de seis kilómetros de la ciudad; además de esto, la utilización de aguas superficiales requieren de costosos procesos de tratamiento para el consumo final.

Los trabajos realizados recientemente por compañía de exploración mineral y de empresas de servicio de agua potable, contribuyeron significativamente para la evaluación hidrogeológica y al mayor conocimiento de las características estratigráficas y litológicas del acuífero Independencia de la porción Noreste de Caazapá.

Los resultados obtenidos confirman la presencia de espesas capas arenosas con buenas condiciones de porosidad y permeabilidad. Además, los ensayos de bombeo y análisis químico del agua subterránea en algunos pozos perforados indican que la zona posee suficiente cantidad y calidad de agua para satisfacer la demanda de agua potable a la ciudad de Caazapá.

Palabras clave: *Acuífero, Permocarbonífero, Prospecto Caazapá, sill de diabasa, Formación San Miguel.*

Abstract: This study contains the results of a hydrogeological evaluation of the Independencia aquifer, found in the northeastern region of the city of Caazapá, Paraguay. This study is based on data from mineral exploration companies and from geophysical logs of water wells made available by water service companies.

The city of Caazapá has serious problems providing drinking water to its inhabitants because the production of the city's water wells meets only 80% of the demand.

Surface water can be found to the south of the city, but economic factors prohibit this from being a viable solution to the city's water needs. Surface water would need to be transported six kilometers to the city; furthermore, surface water requires costly treatment before it is suitable for drinking.

Recent work done by a mineral exploration company and by water service companies has contributed significantly towards the hydrogeological evaluation and the better understanding of the stratigraphic and lithological characteristics of the Independencia aquifer in northeastern Caazapá.

The results obtained confirm the presence of thick beds of sandstone with good porosity and permeability. Furthermore, measurements of water production and chemical analysis of groundwater in selected wells indicate that the aquifer has both the quantity and quality of water necessary to satisfy the demand of the city of Caazapá.

Keywords: *Aquifer, Permocarboniferous, Caazapá prospect, diabase sill, San Miguel Formation.*

INTRODUCCION

La Ciudad de Caazapá está ubicada en la zona Centro-Sur de la Región Oriental de nuestro país, a 224 kilómetros de Asunción; la vía de acceso principal es ruta N° 8 Dr. Blas Garay, que empalma con la ruta N° 2 Mariscal Estigarribia desde el cruce en la ciudad de Coronel Oviedo, pasando por Villarrica. Las coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) que delimitan el área de estudio son las siguientes: Norte: 7106000 – 7116000 m y Este: 563000 – 571000 m.

La zona de estudio (Figs 1), está situado en la porción occidental del Cuenca del Paraná que se caracteriza por la presencia de rocas sedimentaria de edad Carbonífero y Pérmico (Harrington 1950, Putzer 1962), con similitud litológica y estratigráfica al otro lado de la cuenca en la porción Brasilera.

La secuencia, en Paraguay Oriental fue denominada informalmente por TAC (1979) como Permocarbonífero y fue dividida por el mismo trabajo en dos secciones; la primera sección basal de la secuencia es reconocida por TAC (1979), como Permocarbonífero Inferior (LPC) que más tarde el Proyecto Par 83/005 (1986) denominó como Formación Coronel Oviedo de edad Carbo-

nífero Superior. La segunda unidad sobrepuesta a la anterior fue denominada en principio como Permocarbonífero Superior (UPC) por (TAC, 1979), diferenciado a su vez en cuatro unidades: San Miguel, Tacuary, Tapytã y Cabacué, aflorante principalmente al Este de la ciudad de Caazapá. El Proyecto Par 83/005 (1986) le asignó el nombre de Grupo Independencia, reduciendo a su vez la cantidad de unidades a dos formaciones; San Miguel y Tacuary. Según la interpretación de Par 86/005 (1986) las dos unidades superiores Tapytã y Cabacué (TAC, 1979), corresponden a la base de los sedimentos eólicos de Formación Misiones de edad Mesozoica. La división en cuatro formaciones del Permocarbonífero Superior (UPC) fueron sustentados en interpretaciones de los ambientes y/o fácies deposicionales observados en muestras de testigo de pozos perforados por The Anschutz Corp (TAC) entre los años 1979-1983 y en un mapeo preliminar. En el área, ocurren además unidades aloformacionales pertenecientes al Cuaternario que están conformadas por suelos lateríticos y sedimentos recientes. Los sedimentos Carboníferos y Pérmico fueron intruídos por *sills* y diques de diabasa de edad Mesozoica, correspondiente a la Formación



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio y de pozos de exploración perforados.

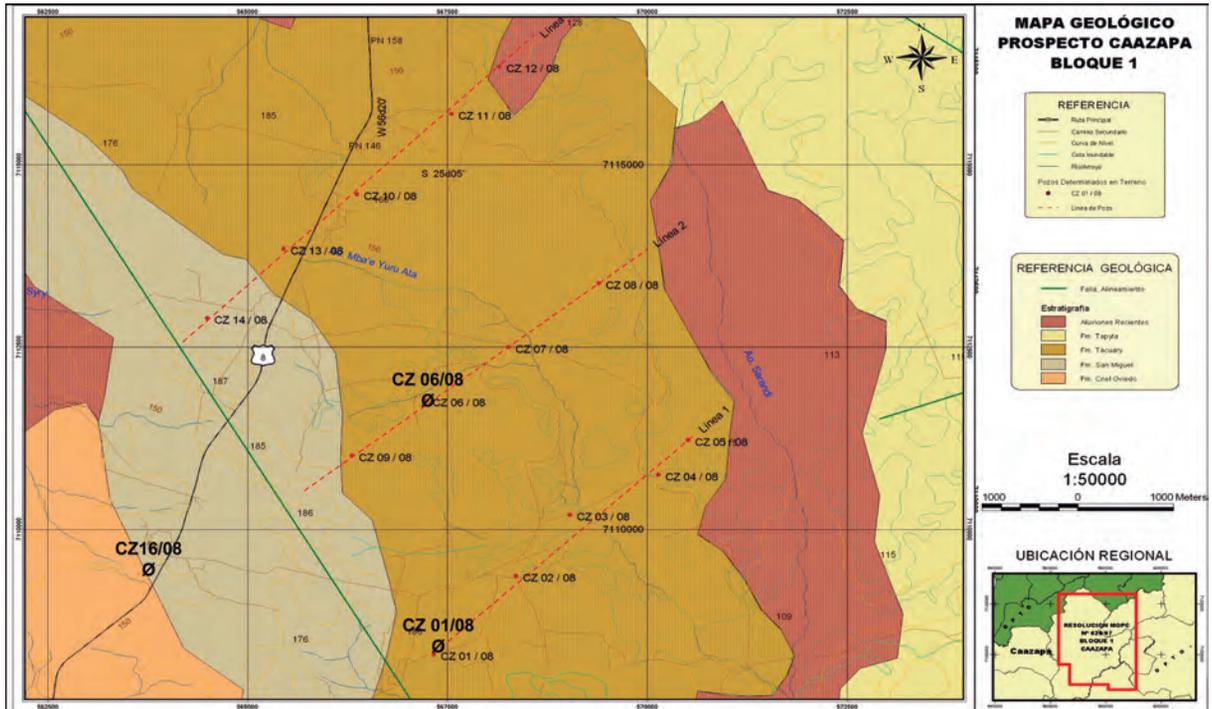


Figura 2. Mapa Geológico del sector NE de Caazapá, modificado de TAC (1982) con ubicación de pozos de exploración mineral perforados en el año 2008 por Wildhorse Energy S.A.

Alto Paraná (Proyecto Par 86/003 1986). En general los estratos poseen dirección NW-SE buzando de 3° a 5° hacia ENE.

Geología Local (Fig. 2)

La unidad Permocarbonífero Superior (UPC) (TAC, 1979) o Grupo Independencia (Par 86/005 (1986) reúnen un conjunto de rocas sedimentarias asignadas al Pérmico Superior (Horrington, 1950), compuesto por espesas secciones de sedimentos continentales, lacustres y marino somero. Está constituido por cuatro formaciones: San Miguel, Tacuary, Tapyta y Cabacua (TAC, 1979) y afloran principalmente al Este de la ciudad de Caazapá.

El Permocarbonífero Inferior (LPC), equivalente a la Formación Coronel Oviedo, se compone litológicamente de diamictitas, areniscas y varvitas depositadas en ambiente marino y continental, con marcada influencia de clima glacial durante la sedimentación. Escasos afloramientos de litología correspondiente a esta unidad pueden ser observados al costado de la ruta N° 8 en el tramo que unen

las ciudades de Caazapá, Maciel, Moisés Bertoni y Fulgencio Yegros hacia al Oeste y Suroeste de Caazapá.

La cobertura superficial en el área, dependen de la topografía; las áreas con relieve más elevado o zonas altas predominan suelos profundos laterítico arenoso-arcilloso generalmente de color marrón rojizo oscuro; el espesor de este tipo de suelo varía entre 10 a 30 metros. En las zonas bajas predominan suelos arcillosos-limosos de color gris claro a oscuro, generalmente orgánico, con espesores entre 2 y 10 m.

Hidrogeología Local

De acuerdo al Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní en Paraguay (SAGPY), el acuífero Guaraní en Paraguay se extiende de Norte a Sur, a lo largo de todo el territorio de la Región Oriental del Paraguay. El límite occidental está representado por los sedimentos Permocarboníferos denominados Grupo Independencia y Formación Coronel Oviedo res-

pectivamente que son clasificados como acuíferos semiconfinados (Par 83/006, 1986).

El Acuífero Independencia es un acuífero granular de extensión limitada y bastante heterogénea. Se estima que esta unidad posee un espesor máximo de unos 700 m. Presentan elevada anisotropía y ocurren en forma libre a semiconfinada en la zona aflorante, hacia el Oeste. Aparecen como semiconfinados a confinados por los sedimentos de la Formación Misiones hacia el Este de la Región Oriental.

Debido a su composición litológica con predominancia limo-arcillosa, el acuífero Independencia tiene una permeabilidad muy baja y como consecuencia un potencial regional poco significativo, aunque sus aguas son de buena calidad química (SAG 2005).

El Acuífero Coronel Oviedo es un acuífero granular, constituido por depósitos de origen glacial marino y continental. El espesor promedio de esta unidad es de unos 670 m; aunque en la zona de estudio aparece en forma muy reducida hacia el Oeste. Contiene normalmente agua subterránea de buena calidad, pero suele presentar a veces agua con mayor mineralización.

MÉTODOS

La metodología empleada durante el trabajo de investigación comprendió tres fases de trabajo:

Trabajo de Gabinete

Consistente en recopilación de todas las informaciones relevante existente o disponible del área; estas informaciones se encuentran en los archivos del Viceministerio de Minas y Energía, dependiente del MOPC, Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA), Municipalidad de Caazapá y empresas privadas de Servicio de agua potable. En base a la información disponible se han realizado reprocesamiento y reinterpretación de la información histórica, especialmente del área NE de Caazapá; los tipos de datos son registros litológicos, informes, testigos y otro tipo de muestras de perforación disponibles, con el objeto de identificar áreas y nivel con ocurrencia de la Formación San Miguel y así evaluar las características litológicas

y potencial como acuífero.

Los resultados obtenidos en la fase anterior sirvieron de modelo geológico e hidrogeológico para la planificación de investigaciones más detalladas en la siguiente fase de trabajo; estos datos permitieron seleccionar las áreas más favorables desde el punto de vista estratigráfico y estructural para la campaña de perforación de pozos estratigráficos.

Trabajo de campo

Después de completarse la primera fase se dieron inicio a los trabajos de perforación de pozos en el área seleccionada. Dentro del programa de trabajo de campo de la empresa se perforaron un total de 18 pozos de exploración mineral en el área NE de Caazapá, distribuidos en tres líneas de dirección NE –SW (Fig.2). En la primera línea L-1 se perforaron cinco pozos localizados entre las compañías Ñu Pyahu-mí y Rosario Sarandy; el pozo CZ 01 fue seleccionado para la evaluación hidrogeológica.

La segunda línea L-2, abarca la parte central del Prospecto Caazapá y sobre esta fueron perforados tres pozos de los cuales fue estudiado el pozo CZ 06.

La tercera línea de pozos se denomina L-3 su trazado abarca la porción NW del Prospecto Caazapá; de los cinco pozos perforados el pozo CZ 16 quedó como pozo de evaluación hidrogeológica. La profundidad promedio de cada pozo fueron estimados inicialmente entre 150 m para los pozos ubicados hacia la zona oeste, 200 m en la porción central y 250 para el límite Este donde las profundidades han variado de acuerdo a la inclinación de los estratos hacia el centro de la cuenca y hasta alcanzar el basamento de edad Carbonífero.

Los registros litológicos de pozos fueron complementados con perfilaje geofísico realizados con sondas *Century*, provisto de electrodos para lecturas de gamma natural (cps y API), Potencial Espontáneo (SP), Resistividad normal 16” y 64” (ohmm/m). La lectura de los registros fue realizado en los pozos previo al entubamiento y en condiciones llenado con fluidos de perforación.

Durante la construcción de cada pozo se realizaron muestreo continuo de "cutting" muestreados a intervalos de un metro; el registro litológico de

los “cutting” fueron analizados y clasificados con ayuda de lupa binocular y cartilla geotécnica. Una vez que la perforación alcanzó la profundidad final programada, se procedieron a los perfilajes geofísicos y después la entubación, colocación de filtros de gravas y cementación hasta el techo de roca.

Una vez completado el pozo se realizaron las pruebas de bombeo para medir el caudal de agua, nivel estático, nivel dinámico y el abatimiento; el test de bombeo se realizó a caudal constante, y se determinó además la recuperación de nivel del agua.

Análisis de laboratorio

Durante el test de bombeo se procedió al muestreo de agua del pozo, que posteriormente fue enviado al Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, para su correspondiente análisis físico-químicos y bacteriológicos.

Ensayos de bombeo

Se realizaron test de bombeo en tres pozos CZ 01, CZ 06 y CZ 16 (Tabla 1), de los 18 pozos perforados por la empresa Widhorse Energy S.A., en el área

NE de Caazapá.

El objetivo de la empresa fue determinar la calidad y cantidad de agua en la Formación San Miguel, a fin de entregar a las comunidades asentadas en el área, como una contribución social de la empresa Wilhorse Energy S.A., a satisfacer sus necesidades de agua potable.

Los test de bombeo, fueron realizados a caudal constante, con una duración de 24 horas como mínimo. Si bien existen varios métodos de interpretación del test de bombeo, solo se ha utilizado el método de Theis, debido a la limitación para la realización de ensayos de larga duración y la no disponibilidad de pozos de observación indispensable para el cálculo del coeficiente de almacenamiento (S). Por otro lado, tampoco fue posible aplicar el método de Cooper-Jacob debido a la corta duración de los test de bombeo.

Interpretaciones de la curva de descenso versus tiempo de bombeo muestran que el acuífero San Miguel, corresponde al tipo confinado. En dos pozos CZ 06 y CZ 16, el test de bombeo al alcanzado el régimen de equilibrio; en el pozo CZ 01, tal condición no se ha alcanzado.

Tabla 1. Resumen de los parámetros hidráulicos obtenidos en los ensayos de bombeo de los tres pozos del área NE de Caazapá.

Pozo	Lugar	Parámetros hidráulicos						Recuperación	
		Nivel Estático	Nivel Dinámico	Caudal promedio m ³ /h	Duración min.	Transmisiv. m ² /día	Caudal especific. lcom ³ /h/m	Duración en min.	Recuperac. %
CZ 01	Sta. María	21.5	24.27	6.68	1440	41.3	2.41	900	90.00
CZ 06	Ñu Pyahu mi	0.00	17.30	9.08	1440	7.88	0.525	20.0	97.68
CZ 16	Rojas Silva	14.5	42.60	5.41	1440	5.86	0.193	390	90.30

En general los valores de Transmisividad de la Formación San Miguel en el área NE de Caazapá son bajos, varían desde 6 a 42 m²/día. Los pozos ubicados hacia el sector SE del Prospecto Caazapá, presentan mayores valores de Transmisividad, con una disminución hacia el NW. Los bajos valores se deben principalmente a los intervalos tomados para el cálculo de la misma, correspondiendo a zonas con mayor pérdida de carga.

Sin embargo, los test realizados han permitido conocer el potencial hidrogeológico de la Formación San Miguel en el área NE de la ciudad de Caazapá, así como su comportamiento como acuífero confinado.

Análisis químico de agua subterránea

En el laboratorio de Calidad de Agua fueron realizados los análisis físico-químico y bacteriológico de las muestras de aguas subterráneas de los tres pozos del sector NE de Caazapá por Wildhorse Energy S.A. Los resultados se muestran en las Tablas 1-4 y las figuras 3-5.

RESULTADOS

Los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos muestran que las aguas subterráneas de la Formación San Miguel, presentan variaciones de tipos de aguas de acuerdo a la ubicación en zona, que se deben probablemente al flujo regional preferencial del agua subterránea desde el NW hacia el SE.

Considerando los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) existen variaciones, con valores bajos, 41 mg/l hacia el sector Oeste como el caso de la muestra de agua del pozo CZ 16; este valor de STD, es muy similar al agua de lluvia. Hacia el E y SE presentan mayor mineralización con valores alto a intermedio entre 186 mg/l en el pozo CZ 06 y 108 mg/l en el pozo CZ 01. Este aumento en el contenido de los Sólidos totales disueltos, evidencian mineralización del agua de la Formación San Miguel hacia el E y SE, debido a proceso de mezcla con agua fósil o por la influencia de las intrusiones basálticas que tuvo su mayor efecto hacia el Este y SE.

Tabla 2. Resultados de análisis químico de agua del pozo CZ 01.

Iones	mg/l	Otros	mg/l
Ca ⁺⁺	4,49	Fe total	0,025
Na ⁺	3,07	Br	0,0
K ⁺	7,07	Mn	<0,005
Mg ⁺⁺	2,98	Cr	<0,001
HCO ₃ ⁻	4,94	O ₂ Cons	0,50
SO ₄ ⁻	3,36	STD	108
CL ⁻	3,02	Alcalin.	21,5
Suma	28,93	Dureza	23,46

En cuanto a la alcalinidad se observan valores dispares, los pozos CZ 01 y CZ 16, contiene baja alcalinidad entre 35 mg/l y 21,5 mg/l respectivamente. En cambio el valor más alto es en el pozo CZ 06 con 186,6 mg/l.

Los tipos de iones presente en el agua subterránea también presentan variaciones de valores con respecto a la ubicación del área; hacia el sector NW del área, donde fue perforado el pozo CZ 16 contiene agua del tipo bicarbonatada Ca-Mg. En cambio, las aguas subterráneas de los pozos ubicados hacia

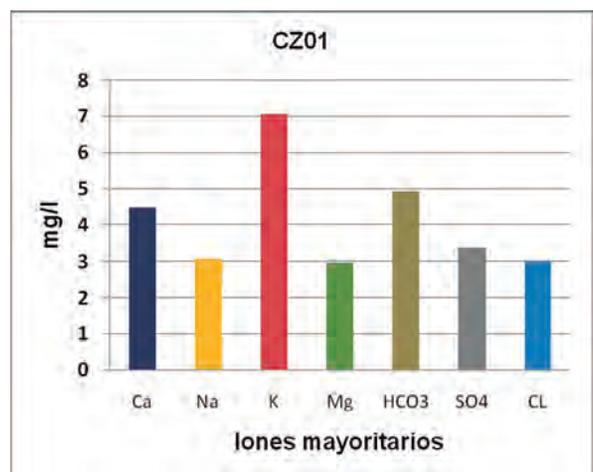


Figura 3. Representación gráfica en barras de las concentraciones en mg/l de iones mayoritarios presente en el agua subterránea pozo CZ01.

Tabla 3. Resultados de análisis químico de agua del pozo CZ 06.

Iones	mg/l	Otros	mg/l
Ca ⁺⁺	34,0	Fe total	0,045
Na ⁺	33,6	Br	0,0
K ⁺	1,65	Mn	<0,005
Mg ⁺⁺	11,19	Cr	<0,001
HCO ₃ ⁻	179,14	O ₂ Cons	0,00
SO ₄ ⁻	3,93	STD	186
CL ⁻	3,06	Alcalin.	186,61
Suma	266,57	Dureza	131,0

el sector SE corresponden a aguas del tipo bicarbonatada Ca-Na, como el caso del pozo CZ 06 y en el pozo CZ 01 el agua subterránea responde a una mezcla de los tipos de bicarbonatada Ca-Mg con sulfatada-clorurada K-Na.

Los valores de pH medidos en laboratorio varían desde 5,8 (CZ01), 7,7 (CZ16) y 8,7 (CZ06). Valores normales del pH en agua subterránea es entre 5,5 – 8,5; dentro de este rango están los pozos CZ 01 y CZ16. El pH del agua en el pozo CZ 06, se encuentra fuera del límite del rango aceptable correspondiendo a agua fuertemente alcalina. Químicamente las aguas subterráneas de la Formación San Miguel bicarbonatadas cálcicas, con baja

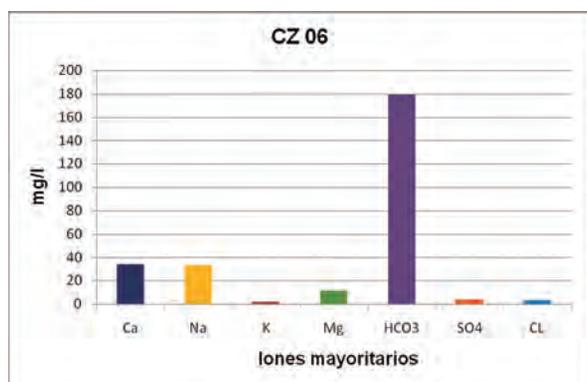
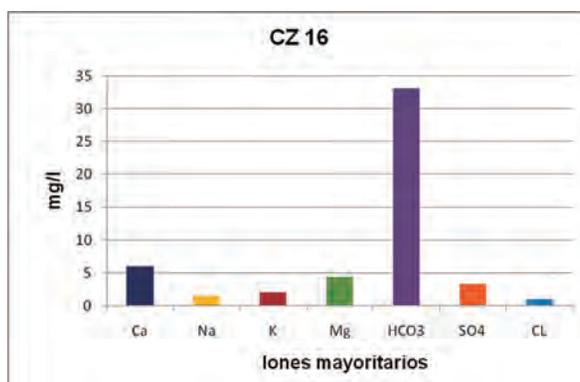
Tabla 4. Resultados de análisis químico de agua del pozo CZ 16.

Iones	mg/l	Otros	mg/l
Ca ⁺⁺	6,0	Fe total	0,190
Na ⁺	1,54	Br	0,0
K ⁺	2,09	Mn	<0,005
Mg ⁺⁺	4,38	Cr	<0,001
HCO ₃ ⁻	33,12	O ₂ Cons	0,16
SO ₄ ⁻	3,36	STD	41
CL ⁻	1,02	Alcalin.	35,05
Suma	51,51	Dureza	33,0

mineralización, con valores ligeramente alto de Fe total y Fósforo total.

Según los análisis físico-químico del agua, en general a excepción del contenido de hierro, el agua cumple con todos los parámetros establecidos en la Norma vigente NP 24 001 80 del Instituto de Tecnología y Normalización (INTN), con excepción del hierro y fósforo que requeriría un tratamiento adecuado para el control.

El pozo CZ 16, se ha encontrado contaminación de Coliforme totales con 200 UCF/100ml y Coliforme fecales 35UFC/100ml. Aparentemente la contaminación se debió al inadecuada manipulación durante la toma de muestra de agua de este pozo, ya

**Figura 4.** Representación gráfica en barras de las concentraciones en mg/l de iones mayoritarios presente en el agua subterránea pozo CZ06.**Figura 5.** Representación gráfica en barras de las concentraciones en mg/l de iones mayoritarios presente en el agua subterránea pozo CZ16.

que en la zona cercana al pozo no existen fuentes potenciales de contaminación.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el área de estudio fueron identificados dos unidades sedimentarias de edad Carbonífero y Pérmico. La primera unidad aflora principalmente hacia el W de Caazapá y forma una faja de dirección N-S. En el sector NE de Caazapá, predominan rocas sedimentarias del Grupo Independencia, atribuida al Pérmico Superior formando también una faja de ocurrencia de dirección N-S, paralela a la Formación Coronel Oviedo; el contacto entre estas dos unidades es por falla de dirección NW-SE.

El grupo Independencia en el área de estudio está constituido por tres formaciones: San Miguel, Tacuary y Tapyta (TAC, 1979). La formación San Miguel constituye la base del Grupo Independencia y en el área de estudio posee espesor promedio de 50 m; siendo constituida por areniscas de grano medio a fino de color rosado a gris, matriz arcillosa, friable a moderadamente cementada por hematita y carbonato.

Por debajo de esta unidad se encuentran rocas sedimentarias de grano fino a muy fino constituido por arcillitas laminada de color marrón oscuro a negro generalmente orgánico a veces con intercalaciones de siltita gris verdosa y areniscas gris calcáreas de espesor variable, correspondiente a la Formación Coronel Oviedo de edad Carbonífero; el contacto entre ambas unidades es de carácter erosivo.

Por encima de la Formación San Miguel, se encuentra la Formación Tacuary; se trata una secuencia progradacional de depósitos sedimentarios de ambientes deltaicos transicionales y marinos somero compuesto por areniscas, siltitas, arcillitas; en parte las areniscas están cementadas por carbonato. Ocurren intercalada niveles de oolitas silíceas atribuibles a depósitos marino somero con aguas agitadas.

La tercera unidad del Grupo Independencia es la Formación Tapytã; esta unidad se encuentra por encima de la Formación Tacuary, en contacto transicional y ocurre principalmente en los pozos

ubicados más al Este del área de estudio. Está compuesto por areniscas de grano medio a grueso con escasa matriz, con raras intercalaciones de arcillitas o siltitas masivas a laminadas. Su espesor varía también desde unos 20 m hacia el Oeste hasta 120 m hacia el Este. En general los estratos poseen dirección NW-SE con leve buzamiento de 3 a 5° hacia ENE.

Las unidades Carbonífero y Pérmico fueron intruidas por varios sill de diabasa de la Formación Alto Paraná de edad Mesozoica; las capas de diabasa se disponen en forma paralela a subparalela entre los estratos afectando preferentemente la zona de contacto de distintas unidades y actúan a su vez como capa confinante de los acuíferos inferiores.

El potencial hidrogeológico del área NE de Caazapá, es mayor comparado con el acuífero Coronel Oviedo, el cual actualmente abastece de agua potable a la ciudad de Caazapá. Se ha comprobado que la Formación San Miguel es un acuífero regional de espesor promedio de 45 m y contiene agua dulce de baja mineralización.

Los ensayos de bombeo fueron insuficientes para evaluar las características hidrogeológicas reales del acuífero debido a la corta duración de los ensayos, bajo caudal de bombeo y la ausencia de pozos de observación.

No obstante los pozos ensayados indican que pueden producir cada uno entre 50 y 90 m³ de agua por día considerando 10 horas de bombeo, con descenso mínimo y la recuperación del 90%. La Transmisividad y el Caudal Específico resultaron con valores bajo debido a que fueron calculados en tramos del ensayo donde se observa alta pérdida de carga.

Los resultados de los análisis químicos indican que las aguas subterráneas de la Formación San Miguel, presentan variaciones de tipos de aguas de acuerdo a la ubicación en zona; estas variaciones se deben probablemente al flujo regional preferencial del agua subterránea desde el NW donde el tipo de agua es bicarbonatada Ca-Mg, con mayor mineralización y probable intercambio cationes entre Mg y Na hacia el E donde se ha encontrado agua del tipo bicarbonatada Na-Ca en el pozo CZ 06; en el

pozo CZ 01 localizado en el extremo SE, presenta mezcla de aguas entre bicarbonatada Ca-Mg y Sulfatada-Clorurada K-Na.

AGRADECIMIENTOS

Al Prof. Darío Gómez, Country Manager de la empresa Widhorse Energy S.A., por proveer parte de los datos de la exploración de Uranio en el área NE de Caazapá.

BIBLIOGRAFIA

- The Anschutz Corporation (TAC) 1982. Annual summary of exploration operations in Paraguay, Vol 1. Int. Comp. Report Asunción - Paraguay.
- Carlson, L. A., 1981. Progress Report Caazapá. TAC Depart. Corresp. to John Pearson.
- Fariña, S. 2007. Uso Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní en la Región Oriental del Paraguay. Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní - Región Oriental del Paraguay SEAM - BGR. Vol. 2. Geología e Hidrogeología.
- Harrington, H., 1950. Geología del Paraguay Oriental. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Contribuciones Científicas Serie E Geología, 82 pág. Buenos Aires.
- Hsu, F. T., 1979. Detailed Exploration. Volume III Caazapá Area: TAC, Internal Report.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1998. Guías para la calidad de agua potable. Publicación Científica Nº 8. Vol. 3. 138 pág.
- Orue, D. 1996. Síntese da Geologia do Paraguai Oriental, com Ênfase para o Magmatismo Alcalino associado. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, 163 pág.
- Proyecto PAR 83/005. 1986. Mapa Geológico del Paraguay. PNUD – MDN, Mapa Escala 1:1.000.000. Texto Explicativo. 93pág.
- Proyecto PAR 83/006. 1986. Mapa Hidrogeológico del Paraguay. PNUD – MDN, Mapa Escala 1:1.000.000. Texto Explicativo. 80pág.
- Sistema Acuífero Guaraní (SAG). 2005. Manual de perforación de pozos tubulares para la investigación y captación de agua subterránea. UNEP (United Nations Environment Programme). Proyecto para la protección ambiental y manejo sostenible del acuífero. 94 pág.
- SENASA (Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental, PY) 1994. Contribución al conocimiento Hidrogeológico del área de Caazapá. Publicación Técnica Nº 1. 34 pág.
- Theis, C.V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans Am. Geoph. Union, pp 519-534.
- Trombe, F. 1986. Las aguas subterráneas. Editorial Orbis. España.
- Villanueva, M. & Iglesias, A. 1984. Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Ed. ITGE. Barcelona, España. Documento Electrónico. <http://aguas.igme.es/igme/publica/libro35/lib35.htm>.