

**COMITÉ INTERGUBERNAMENTAL COORDINADOR DE LOS PAÍSES DE LA CUENCA DEL PLATA**



ARGENTINA



BOLIVIA



BRASIL



PARAGUAY



URUGUAY



**PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE  
LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA,  
EN RELACIÓN CON LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD  
Y EL CAMBIO CLIMÁTICO**

**PROYECTO PILOTO DEMONSTRATIVO  
CUENCA DEL CUAREIM  
Memoria de la Carta Hidrogeologica**

Diciembre 2015

# CONTENIDO

HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL CUAREIM/QUARAÍ	2
1. INTRODUCCIÓN	2
2. PROCEDIMIENTOS, METODOLOGÍAS Y CONCEPTOS	2
3. UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS, DESCRIPCIÓN	4
3.1. Domínio Hidrogeológico Fracturado	5
3.1.1. Unidad Hidroestratigráfica Arapey/Serra Geral (UH-A/SG)	5
3.2. Domínios Hidrogeológicos Porosos	9
3.2.1. Unidad Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu (UH-R/B)	9
3.2.2. Unidad Hidroestratigráfica Salto (Sistema Salto/Arapey)	14
3.2.3. Unidad Hidroestratigráfica Aluviones/Coluviones	15
3.2.4. Unidad Hidroestratigráfica Aluviões Fluviais	16
4. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA CARTA HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL CUAREÍM/QUARAÍ	16
5. BIBLIOGRAFIA	19
6. EQUIPO DE TRABAJO	20

# HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL CUAREIM/QUARAÍ

## 1. INTRODUCCIÓN

La carta hidrogeológica y la memoria que la acompaña forman parte de los productos elaborados por el grupo técnico binacional (Brasil y Uruguay) en el marco del Proyecto Piloto Demostrativo de la cuenca del Cuareim/Quaraí. Para la realización de la misma se adoptaron los mismos criterios metodológicos que para la Carta Hidrogeológica de la Cuenca del Plata, también confeccionada durante el desarrollo del Programa Marco.

Los productos elaborados se basan en una recopilación, ordenamiento, análisis e integración de datos geológicos e hidrogeológicos de ambos países y pretenden servir de insumo en las tareas de gestión integrada de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata.

## 2. PROCEDIMIENTOS, METODOLOGÍAS Y CONCEPTOS

A partir del relevamiento, análisis, procesamiento e integración de la información geológica, hidrogeológica y de perforaciones de la cuenca se confeccionó la carta hidrogeológica según la metodología usada por CPRM (Servicio Geológico de Brasil) y detallada en varias publicaciones (Oliveira Diniz et al. 2014, Oliveira Diniz 2012, A. Brito Monteiro 2013).

La primera gran división se basa en las características lito-estructurales de las unidades geológicas, que condicionan la forma como se almacena y transmite el agua subterránea en las mismas. De esta manera se identificaron y separaron en la cuenca dos tipos de Dominios hidrogeológicos o Unidades hidro-litológicas:

A. Unidades hidro-litológicas **Porosas**: sedimentos y rocas sedimentarias que almacenan y transmiten agua a partir de los espacios vacíos entre los granos (poros). Generalmente ocurren en forma continua y abarcan grandes áreas, por lo que pueden ser acuíferos importantes en términos de reserva y productividad.

B. Unidades hidro-litológicas **Fracturadas**: están formadas por rocas que almacenan y transmiten agua a partir de espacios vacíos generados por fracturación. Las rocas plutónicas, efusivas, metamórficas y sedimentos fuertemente litificados forman acuíferos de este dominio hidrogeológico. Son acuíferos en general poco productivos, discontinuos y anisótropos.

La representación en la carta de estos dos DOMINIOS se realizó a través de colores, que según su intensidad, dan una idea cualitativa del potencial acuífero de cada región (Figura 3.1).

Dentro de estos Dominios Hidrogeológicos se diferencian los Acuíferos granulares de los fracturados, que pueden ser homogéneos o presentar zonas con productividad diferente. Por ejemplo el acuífero Rivera/Botucatú puede tener mayor productividad confinado que libre. A su vez puede presentar una productividad muy baja o inclusive nula cuando aparece litificado y/o en zonas topográficas elevadas.

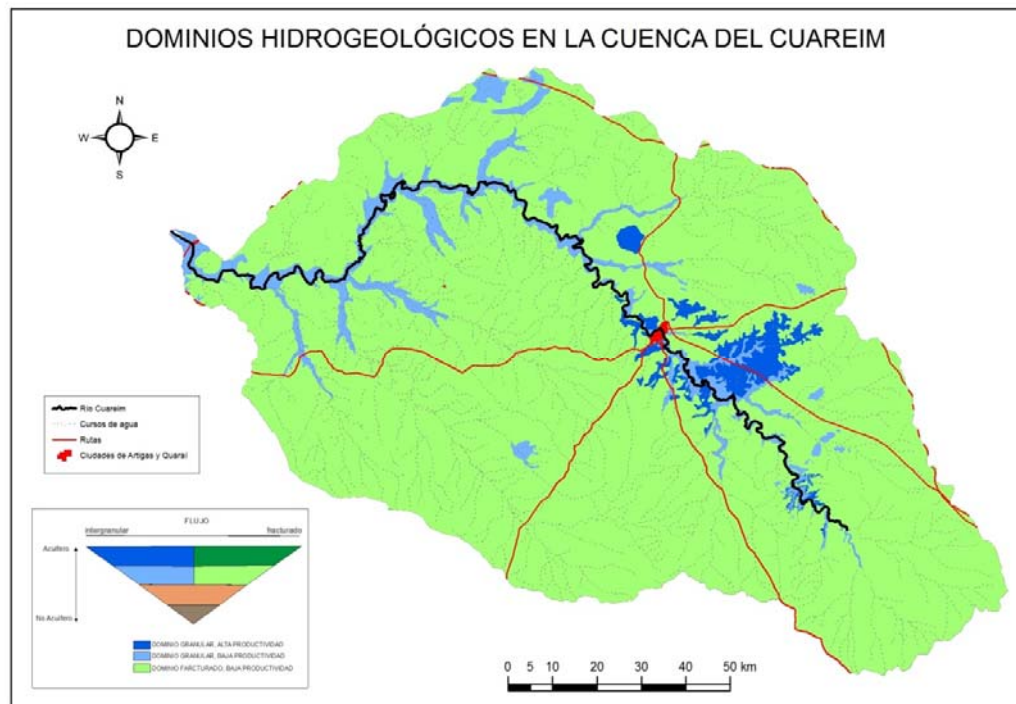


Figura 3.1: Dominios Hidrogeológicos en la Cuenca del Cuareim.

En función de lo anterior se definen las UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS: formaciones geológicas o partes de ellas que almacenan y transmiten agua subterránea de forma semejante y con la misma productividad en el orden de magnitud.

La reunión de dos o más acuíferos puede originar un SISTEMA ACUÍFERO, de dominio espacial limitado en superficie y profundidad, relacionados o no entre sí, que constituyen una unidad práctica para la exploración o explotación (Oliveira Diniz et al. 2014).

Para la confección de la carta hidrogeológica de la cuenca del Cuareim se utilizaron dos criterios de clasificación. Por un lado se separaron con diferente color los Dominios

Hidrogeológicos y por otro lado con un código alfanumérico las Unidades Hidroestratigráficas y su productividad. Para asignar la productividad a dichas unidades se utilizó la información hidráulica de las perforaciones de la cuenca, tomando los valores promedios. (ver Figura 3.2 y Cuadro 3.1)



COLOR MAPA	CÓDIGO MAPA	INTERPRETACIÓN
	(5) K1ar (2)K1r	-Acuífero fracturado, libre -Unidad Hidroestratigráfica Arapey -Edad cretácico inferior -Productividad muy baja
		-Acuífero granular, confinado -Unidad Hidroestratigráfica Rivera -Edad cretácico inferior -Productividad alta

Figura 3.2: Ejemplo de simbología usada en la carta Hidrogeológica de la Cuenca del Cuareim/Quaraí.

CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS					
Qs (m <sup>3</sup> /h/m )	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Clase	Productividad
≥ 4,0	≥ 10 <sup>-02</sup>	>10 <sup>-04</sup>	≥ 100	(1)	<b>Muy Alta:</b> Suministro de agua de importancia regional (abastecimiento de ciudades y grandes irrigaciones). Acuífero que se destaca en el ámbito
2,0 ≤ Q/s < 4,0	10 <sup>-03</sup> ≤ T < 10 <sup>-02</sup>	10 <sup>-05</sup> ≤ K < 10 <sup>-04</sup>	50 ≤ Q < 100	(2)	<b>Alta:</b> Características semejantes a la clase anterior, sin embargo se sitúa dentro de la media nacional de buenos acuíferos.
1,0 ≤ Q/s < 2,0	10 <sup>-04</sup> ≤ T < 10 <sup>-03</sup>	10 <sup>-06</sup> ≤ K < 10 <sup>-05</sup>	25 ≤ Q < 50	(3)	<b>Moderada:</b> Suministro de agua para abastecimiento local, en pequeñas comunidades, uso para irrigación en zonas restringidas.
0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 <sup>-05</sup> ≤ T < 10 <sup>-04</sup>	10 <sup>-07</sup> ≤ K < 10 <sup>-06</sup>	10 ≤ Q < 25	(4)	<b>Generalmente baja,</b> pero localmente moderadas: Abastecimiento de agua para satisfacer la oferta de consumo local o privada.
0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 <sup>-06</sup> ≤ T < 10 <sup>-05</sup>	10 <sup>-08</sup> ≤ K < 10 <sup>-07</sup>	1 ≤ Q < 10	(5)	<b>Por lo general muy baja,</b> pero localmente baja: Suministros continuo de agua es apenas garantizado.
< 0,04	< 10 <sup>-06</sup>	< 10 <sup>-08</sup>	< 1,0	(6)	<b>Poco Productivo o No Acuífero:</b> suministros insignificantes de agua. Suministros restringidos al uso de bombas de mano.

Cuadro 3.1: Clases de productividad de las unidades Hidroestratigráficas.

### 3. Unidades Hidroestratigráficas, Descripción

En base a la información geológica e hidrogeológica de la cuenca se identificaron y separaron siete Unidades Hidroestratigráficas que se muestran en forma resumida en el siguiente cuadro y se describen con cierto detalle en las siguientes páginas:

DOMINIOS HIDROGEOLÓGICOS	SISTEMA ACUIFERO	UNIDAD HIDROESTRATIGRÁFICA	TIPO	PRODUCTIVIDAD	SIMBOLO MAPA
POROSO		Aluviones	Libre	5	Q2dac
		Aluviones/Coluviaciones	Libre	5	Q12dca
	Salto/Arapey	Salto	Libre	5	N2s
	Guaraní	Rivera/Botucatu	Libre	2	J3K1r/J3K1b
		Rivera/Botucatu	Confinado	1 o 2	J3K1r/J3K1b
		Tacuarembó/Guará	Confinado	1	J3t/J3g
FRACTURADO		Arapey/Serra Geral	Libre	5	K1a/K1sg

Cuadro 3.2: Resumen de Unidades Hidroestratigráficas de la cuenca del Cuareim/Quaraí.

### 3.1 Dominio Hidrogeológico Fracturado

#### 3.1.1 Unidad Hidroestratigráfica Arapey/Serra Geral (UH-A/SG)

La UH-A/SG como todos los acuíferos fracturados es heterogénea y anisótropa, con circulación y almacenamiento de agua subterránea restringida a las zonas fracturadas verticales y subverticales. Por lo que los parámetros hidráulicos y la productividad pueden variar en forma importante en zonas adyacentes. Pero a diferencia de otros tipos de acuíferos, UH-A/SG puede presentar estructuras horizontales/subhorizontales, especialmente en las zonas de contacto entre derrames y niveles vesiculares/brechoides.

Las discontinuidades en la lava por donde potencialmente puede circular y almacenarse el agua subterránea son:

- Fracturas de enfriamiento que se producen por la contracción de la lava y quedan restringidas al derrame, en especial en la zona central y base (diaclasas).
- Los contactos entre derrames y la zona altamente vesicular que pueden sufrir fenómenos de meteorización generando discontinuidades horizontales/subhorizontales.
- Discontinuidades tectónicas, producidas por esfuerzos post-enfriamiento de la lava (sin y post evento efusivo), generando fallas y fracturas que pueden tener gran desarrollo horizontal y vertical, pudiendo intersectar más de una colada.

La forma de emplazamiento de los derrames, la distribución espacial de sus estructuras intra e inter derrames y los múltiples estadios de su formación imprimen a este tipo de acuífero una notable y peculiar heterogeneidad física. La conductividad hidráulica es muy variable y compleja de evaluar y prever. Esta importante variación lateral de la permeabilidad resulta en

las existencias de pozos productivos y pozos secos a corta distancia uno de otro [Freitas, M. A. et al. 2002].

El modelo hidrogeológico estructural de circulación de aguas subterráneas en los basaltos para la región NW de la Formación Arapey sería: las fracturas tectónicas son las principales vías de circulación de agua, pudiendo cortar varios derrames. Esta circulación principal alimenta y conecta a las diaclasas, de escasa longitud y generalmente restringidas a la zona masiva de la lava, y que actúan como vías de circulación menor [Hausman & Fernández 1967]. Estos autores minimizan la importancia de las estructuras horizontales para la circulación de agua.

Por otra parte en otras regiones sería relativamente importante la circulación y almacenamiento de agua en las juntas horizontales, localizadas en el tope y base del derrame así como los contactos entre derrames [G. Lastoria et al. 2006], aunque puede tener una productividad baja si están aisladas [Roehe Reginato et al. 2007]

Además de la presencia de discontinuidades, otros aspectos pueden influir en el potencial hidrogeológico de la zona: tipo y densidad de discontinuidades, interconexión entre las mismas, presencia o no de relleno en las fracturas. Inclusive algunos autores han postulado una correlación entre dirección de las fracturas y productividad de las perforaciones [Roehe Reginato & Strieder 2006].

En síntesis las características estructurales como tipo, densidad, conectividad, dirección y relleno de las discontinuidades pueden ser diferentes entre áreas próximas entre sí. Por lo que un modelo hidrogeológico más ajustado de la cuenca solo se puede obtener a partir de estudios detallados e información más exacta y controlada, lo que escapa a los alcances del presente trabajo.

Como una primera aproximación a los aspectos estructurales de la Formación Arapey/Serra Geral dentro de la cuenca del Cuareim/Quaraí, se muestran en la figura 3.3 la red de discontinuidades obtenidas a partir de la fotolectura de imágenes satelitales de alta resolución e imágenes de relieve de sombras (hillshade) producida a partir del procesamiento del modelo de elevación de la Nasa (SRTM). También se utilizó las fracturas y fallas extraídas de antecedentes cartográficos. Esa información se procesó para obtener un diagrama de direcciones de los lineamientos o fracturas (roseta) y un mapa de densidad de fracturas (Figura 3.4). En las figuras se observa que las direcciones predominantes son NE y NW, en particular

se destacan levemente las direcciones N 50-70 E, N 30-50 W y N 70 W. En lo que respecta a la concentración de fracturas, se observa que las zonas de mayor densidad se localizan al sur y este de la cuenca, coincidiendo en general con la región de menor espesor de lava. Y en otros sectores coincidiendo groseramente con las principales estructuras interpretadas como fallas.



Figura 3.3: Carta de foto-lineamientos de la Formación Arapey/Serra Geral con diagrama de direcciones

Esta unidad Hidroestratigráfica cubre la mayor parte de la cuenca del Cuareim/Quaraí (+ 90 %) y con espesores en general superiores o muy superiores a los 100 m. Por lo que es la principal fuente de agua subterránea de bajo costo (poca profundidad de pozos), pequeños caudales y relativamente buena calidad de agua. Su uso se restringe al abastecimiento de agua de pequeños poblados, uso doméstico y abrevadero de ganado. Fueron identificadas a partir de la recopilación tanto en Brasil como en Uruguay 342 perforaciones que extraen agua de esta unidad, con información heterogénea en cuanto a tipo de datos disponibles. Con la información de las perforaciones (profundidad de pozo y de napa, caudal y caudal específico) se ejecutó un análisis estadístico básico. Los resultados se presentan en forma de gráfica, con un cuadro estadístico adjunto (Figura 3.5).



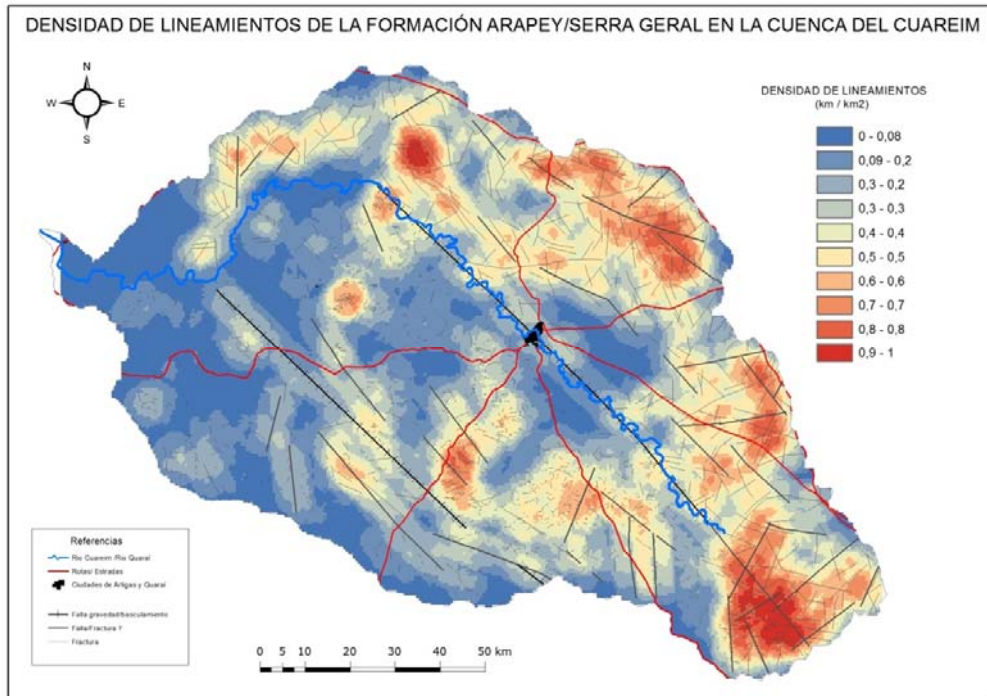


Figura 3.4: Carta de densidad de fracturas de la Formación Arapey/Serra Geral

La mayoría de las perforaciones (más del 80 %) presentan profundidades iguales o menores a los 100 m, los intervalos más frecuentes son entre 50 y 100 m y entre 25 y 50 m. La media de profundidades es de cerca de los 60 m y la mediana en el entorno de los 50 m.

La localización de las napas representa la ubicación en profundidad de las estructuras (fallas, diaclasas y estructuras horizontales) por las que circula el agua subterránea. En el caso de las perforaciones con datos (167 pozos), las estructuras "portadoras" de agua subterránea se intersecaron a una profundidad máxima de 204 m y una profundidad mínima de 3 m. Estas estructuras se localizaron entre los 48 m (promedio) y 40 m (mediana), siendo que para la mayoría de los pozos (~80 %), las estructuras portadoras se intersecaron a menos de 60 m.

En cuanto a los caudales se registraron un máximo de 83 m<sup>3</sup>/h hasta un mínimo de 0,1 m<sup>3</sup>/h, siendo el valor promedio de 4,2 m<sup>3</sup>/h y la mediana de 2,6 m<sup>3</sup>/h. Si bien existe cierta dispersión en los caudales, la mayoría (60 %) de los pozos presenta caudales entre 1 y 5 m<sup>3</sup>/h y la enorme mayoría (más del 90 %) los caudales son menores a 10 m<sup>3</sup>/h.

Por último el caudal específico, que representa la relación entre volumen de agua extraído por unidad de descenso, es un buen indicador de la productividad de las perforaciones. De las 76 perforaciones relevadas con datos suficientes para el cálculo de este parámetro, más del 35 % presentan valores de caudal específico menor a 0,25 m<sup>3</sup>/h/m y más del 80 % menor a 2,0 m<sup>3</sup>/h/m. El valor más alto encontrado fue de 6,25 m<sup>3</sup>/h/m y el menor de 0,02 m<sup>3</sup>/h/m, siendo el promedio 0,86 m<sup>3</sup>/h/m y la mediana 0,38 m<sup>3</sup>/h/m.

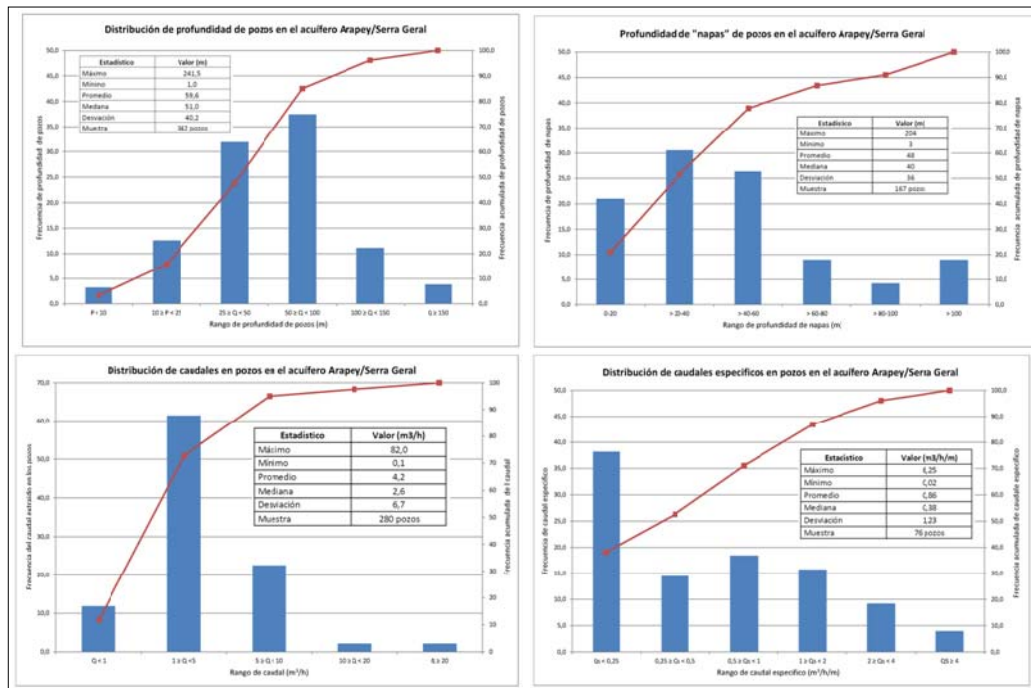


Figura 3.5: Análisis de los datos de profundidad de pozos, de napa, caudal y caudal específico de perforaciones que extraen agua de la Unidad Hidroestratigráfica Arapey/Serra Geral

## 3.2 Dominios Hidrogeológicos Porosos

### 3.2.1 Unidad Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu (UH-R/B)

Esta unidad se corresponde con la parte superior (aproximadamente 50 m) del Sistema Acuífero Guaraní. Está compuesta por paquetes (sábanas y dunas) de arena fina a media, bien seleccionada, de colores rojizos a naranjas, con estratificación cruzada de alto ángulo y gran porte y estratificación plano paralela. En la zona de Artigas estas arenas se presentan desde friables o con cierto grado de cementación hasta muy tenaces producto de una fuerte silicificación [S. Gagliardi, 2008]. Representa un típico acuífero poroso, donde el agua se almacena entre los espacios de los granos de arena (poros) y circula a través de las conexiones

intergranulares, que pueden ser más o menos afectadas por el grado de cementación de la roca.

Dentro de la región de la cuenca del Cuareim/Quaraí, se presenta bajo dos situaciones estructurales/hidrogeológicas distintas. Por un lado en la mayor parte de la cuenca está cubierto por decenas de metros de basalto (sector oriental) hasta cientos de metros de basalto (sector occidental) constituyendo un acuífero confinado. Por otro lado, en pequeñas regiones (ventanas sedimentarias), se presenta aflorante o por debajo de pocos metros de sedimentos aluviales modernos, constituyendo un acuífero de tipo libre ó en relación compleja con el basalto, como ocurre en la propia ciudad de Artigas generando un acuífero libre a semiconfinado.

La principal región aflorante de la UH-R/B, tanto por su extensión como por su intensidad de explotación, se localiza en y alrededores de las ciudades de Artigas y Quaraí. Esta zona presenta una geología relativamente compleja, en donde afloramientos de areniscas alternan con zonas cubiertas de decenas de metros de lava y en profundidad pueden aparecer derrames intercalados con niveles de areniscas [S. Gagliardi, 2008]. Esta situación compleja desde el punto de vista estructural, estratigráfico e hidrogeológico, genera dificultades a la hora de interpretación de los datos hidráulicos de la UH-R/B. Según S. Gagliardi (2008), esta complejidad puede producir barreras hidráulicas y condicionar la continuidad hidráulica lateral y vertical del acuífero.

Por otra parte, en esta zona compleja de la ciudad de Artigas, varias perforaciones relativamente profundas están captando agua también del acuífero subyacente a la UH-R/B.

Este acuífero "profundo" se conoce como Tacuarembó en Uruguay y Guará en Brasil, presenta aspectos litológicos diferentes a la UH-R/B (ver capítulo geología).

Una estimación de los parámetros hidráulicos del Sistema Acuífero Guaraní en la ciudad de Artigas (Acuíferos Rivera y Tacuarembó), es presentada en el trabajo de Pérez A. et al. (2000)

Según estos autores es posible observar que el acuífero presenta diferentes transmisividades, en los diferentes niveles de aporte estudiados, verificándose que los valores más altos se encuentran en el nivel más profundo entre los 150 a 210 m (Cuadro 3.3).

	Nivel explotado	Trasmisividad (m <sup>2</sup> /día)	Coefficiente de almacenamiento
Área Bajo Basalto	54 – 120 m	194	10 <sup>-4</sup>
Área aflorante	60 – 120 m	374	4,50 x 10 <sup>-3</sup>
Área aflorante	150 –210 m	855	1,36 x 10 <sup>-3</sup>

Cuadro 3.3: Datos hidráulicos del acuífero Guaraní, estimados en perforaciones localizadas en la ciudad de Artigas. Tomado de Pérez A. et al. (2000)

Para la parte superficial del acuífero Guaraní, que la podemos asimilar en principio a la UH-R/B, los valores de trasmisividad parecen ser sensiblemente más bajos, en el orden de algunos pocos m<sup>2</sup>/día hasta decenas de m<sup>2</sup>/día, como se observa en las perforaciones más someras presentadas en el cuadro 3.4.

DATOS GENERALES			DATOS HIDRÁULICOS							PERFIL LITOLÓGICO				FUENTE
Nº en Figura 3.8	Ciudad	PP (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	NE (m)	ND (m)	QS (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m/día)	S	K (m/día)	Basalto (m)	Arenisca (m)	Basalto (m)	Arenisca (m)	
1	Artigas	157	50	4,77	45	1,24	17		0,3	0-44	44-49	49-100	100-157	1
2	Artigas	170	60	9,9	63	1,13	19	1,66 x 10 <sup>-3</sup>	0,6	0-17	17-170			2
3	Artigas	104	18	33	41	2,25	44,2	4,7 x 10 <sup>-4</sup>	0,9	0-52	52-104			2
4	Artigas	122	22	30,1	75	0,49	10	3,57 x 10 <sup>-4</sup>		0-73	73-122			3
5	Artigas	116	52	29,5	44,5	3,47	50			0-56	56-116			3
6	Artigas	115	110	11,1	36	4,42	110	4,28 x 10 <sup>-3</sup>	1,58	0-56	56-115			3
7	Artigas	170	130	11,4	22	12,26	364	4,41 x 10 <sup>-4</sup>	6,2		0-202			3
8	Artigas	370	100	surg	13	11,00	319		1,26	0-36	36-321	321-380	380-400	1
9	Artigas	43,5	6,5	13,4	27,4	0,46	11,3	5,52 x 10 <sup>-5</sup>	1,9		0 a 12	12 a 38	38 a 43,5	2
10	Artigas	52,8	3	27,44	31,52	0,74	18,9		4,7	0-13	13-52,8			2
11	Quarai	126	40	76	86	4,00	29,52 (FU)		0,336 (FU)	0-52	52-126			4
12	Quarai	112	31,7	31,3	90,2	0,64	21,29 (FU)		0,278 (FU)	0-60	60-64	64-96	96-112	4
13	Quarai	102	60,9	2,37	24,48	2,37	95,04 (FU)		0,973 (FU)	0-16	16-30	30-76	76-102	4
14	Quarai	176	100	1,29	50	2,05	62,88 (FU)		0,360 (FU)	0-98	98-176			4
15	Quarai	144	108	26,55	100	1,50	37,44 (FU)		0,324 (FU)	0-51	51-70	70-119	119-144	4
16	Quarai	168	66,56	14,46	30,9	4,05	31,2 (FU)		0,194 (FU)	0-24	24-30	30-108	108-168	4

Fuente : 1 Fondo Universidades (FU); 2 Gagliardi S.- 2008; 3 OSE; 4 CPRM/Siagas

Cuadro 3.4: Recopilación de datos hidráulicos de perforaciones en la zona de Artigas/Quarai

Se realizó una recopilación de más de 200 perforaciones que extraen agua del acuífero Guaraní, localizadas la enorme mayoría en y alrededores de las ciudades de Artigas y Quarai y unas pocas en otra zonas, ya sea sobre arenisca o con espesores de basalto menores a los 100 m. Para intentar analizar aquellos datos de pozos que solo extraen agua de la UH-R/B se procedió a seleccionar únicamente pozos sobre arenisca con profundidades menores a los 100 m. El resultado del procesamiento para los parámetros hidráulicos como caudal y caudal específico se muestran gráficamente en las figuras 3.6 y 3.7, acompañados de un tabla con los principales estadísticos. En cada figura se analizó primero (gráfico a la izquierda) el conjunto de todos los datos y luego se realizó el análisis por separado (gráfico a la derecha) de pozos sobre arenisca (acuífero libre) de pozos con basalto en el techo (acuífero confinado).

Para el conjunto de datos, la mayoría (+ del 50 %) de los pozos que captan agua de la UH-R/B presentan un caudal entre 2,5 y 5 m<sup>3</sup>/h y más del 80 % su caudal es menor a 10 m<sup>3</sup>/h. El máximo caudal registrado es de 100 m<sup>3</sup>/h y el mínimo de 0,3 m<sup>3</sup>/h, siendo el promedio 7,2 m<sup>3</sup>/h de y la mediana de 4,8 m<sup>3</sup>/h. Si se tiene en cuenta los datos por separado, es decir discriminando por tipo de acuífero, vemos que para los pozos sobre arenisca se mantiene la misma tendencia, pero los caudales de pozos con basalto en el techo presenta una gran dispersión, estando el grueso de los pozos comprendidos entre el intervalo de 2,5 y 25 m<sup>3</sup>/h y siendo el promedio de 15,3 m<sup>3</sup>/h, mediana de 6 m<sup>3</sup>/h y desviación 21,3 m<sup>3</sup>/h.

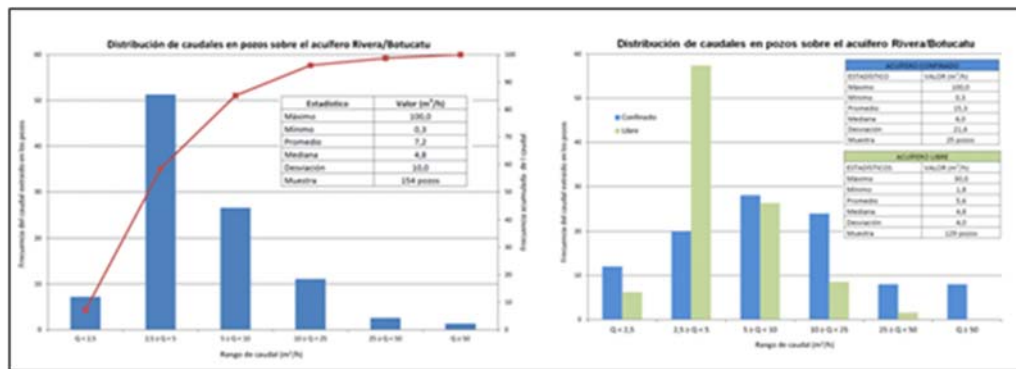


Figura 3.6: Análisis de los datos de caudal de perforaciones que extraen agua de la Unidad Hidroestratigráfica Rivera/Botucatú

En lo que respecta al caudal específico gran parte de los pozos (más del 30 %) presentan valores entre 0,5 y 1,0 m<sup>3</sup>/h/m y la enorme mayoría (más del 90 %) valores menores a 2,5 m<sup>3</sup>/h/m. El máximo valor registrado es de 6,9 m<sup>3</sup>/h/m y el menor de 0,01 m<sup>3</sup>/h/m, siendo el promedio de 1,05 m<sup>3</sup>/h/m y la mediana de 0,72 m<sup>3</sup>/h/m.

Cuando se analizan los datos por tipo de acuífero, se observa que los caudales específicos de los pozos sobre arenisca (acuífero libre) presentan una tendencia similar a la anteriormente descrita para el conjunto de los datos. En cambio en los pozos con basalto en el techo (acuífero confinado), se observa que hay un grupo importante (40 %) con caudal específico algo mayor que si tomamos los datos en conjunto, con caudales entre 2,5 y 1,0 m<sup>3</sup>/h/m. Pero también hay un porcentaje importante (20 %) con caudales específicos bajos (menor a 0,25 m<sup>3</sup>/h/m). Esto hace que los estadísticos centrales (promedio y mediana) sean bastante parecidos para ambos grupos.

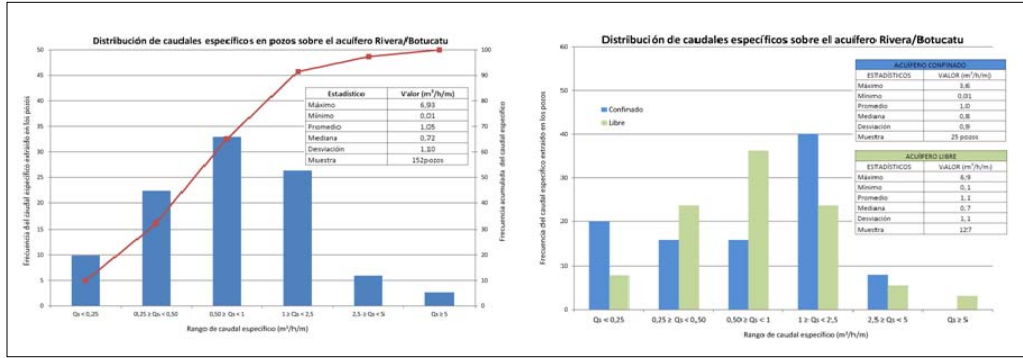


Figura 3.7: Análisis de los datos de caudal específico de perforaciones que extraen agua de la Unidad Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu

Para la región de Artigas y Quaraí, a partir de los datos puntuales de caudal específico en los pozos relevados, se realizó un mapa de tipo predictivo. En el mismo se muestra como varía en la región el caudal específico y cuáles son los valores más probables de este parámetro en una determinada localización (Figura 3.8). Complementan este mapa, los puntos de las perforaciones utilizadas para realizar la interpolación, discriminados por tipo de acuífero (libre o confinado). Además se señalan las perforaciones que presentan parámetros hidráulicos que son mostrados en el cuadro 3.4.

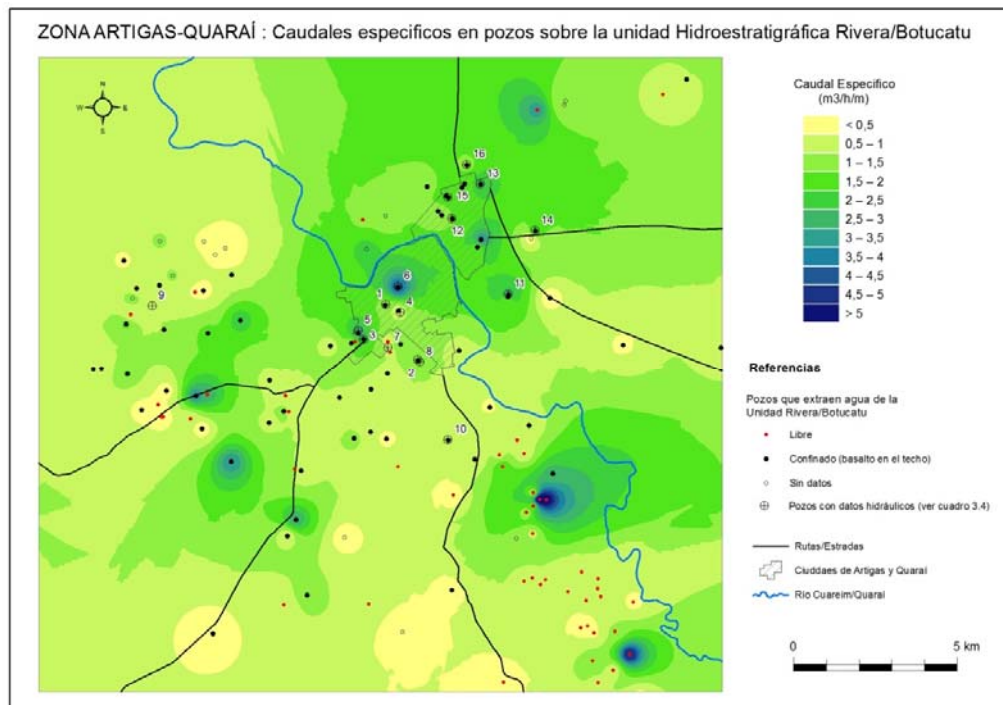


Figura 3.8: Distribución espacial del caudal específico en base a perforaciones que captan agua en la Unidad Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu

### **3.2.2 Unidad Hidroestratigráfica Salto (Sistema Salto/Arapey)**

Esta unidad aparece en forma de pequeños cuerpos en el extremo oeste de la cuenca del Cuareim/Quaraí, en los alrededores de la localidad de Bella Unión, Uruguay. Está integrada por arena hasta conglomerados en cuerpos lenticulares. Potencialmente presenta buena aptitud litológica para el almacenamiento y circulación de agua en importantes cantidades, pero su extensión es muy restringida por lo que desde el punto de vista de la productividad se la clasifica como de productividad baja a muy baja. Al sur, en los alrededores de la ciudad de Salto (Uruguay), esta misma unidad desarrolla cuerpos más extensos y potentes, por lo que la productividad es sensiblemente mayor. Del lado de Argentina, esta unidad se conoce como Salto Chico, presenta una enorme extensión y relativamente buena potencia que junto una posición topográfica baja generan un acuífero de muy alta productividad. En varios pozos de la localidad de Salto, aparentemente el acuífero Salto estaría conectado hidráulicamente con la unidad acuífera inferior fisurada Arapey, está última sería de donde captan el agua los pozos, constituyendo el sistema acuífero Salto-Arapey. [Massa E. 1994]

Se relevaron 30 perforaciones que extraen agua subterránea de la zona de Bella Unión donde aflora la formación Salto. Los datos son muy escasos y solo se refieren a profundidades de las perforaciones y caudales extraídos. Además no se pudo discriminar el acuífero de donde se capta agua, por lo que la información y análisis mostrado en la figura 3.9 se refiere tanto a pozos sobre el acuífero Salto como al sistema acuífero Salto-Arapey.

La profundidad de las perforaciones varía entre 20 m y 98 m. Cerca del 80 % de los pozos tiene profundidad igual o menor a 50 m y la profundidad promedio y mediana es de 42 m y 39 m respectivamente.

En lo que respecta a la cantidad de agua extraída, los datos son muy variables con caudales buenos de 30 m<sup>3</sup>/h hasta pozos "pobres" con extracciones de 1 m<sup>3</sup>/h, siendo el promedio 10 m<sup>3</sup>/h y la mediana 8 m<sup>3</sup>/h.

Datos hidráulicos son conocidos solo en su área tipo, en y alrededores de la ciudad de Salto, es decir unos 150 km al sur de Bella Unión. Esta información, con ciertas precauciones se puede utilizar para caracterizar hidrogeológicamente, los afloramientos de esta unidad dentro de la cuenca. La transmisividad promedio de esta unidad hidroestratigráfica se estima en 50 m<sup>2</sup>/día.



Si se considera para el acuífero un espesor promedio de 20m, el valor de la permeabilidad es de 2.5 m/día. El caudal específico promedio es de 2,5 m<sup>3</sup>/h/m, con un máximo de 5,2 m<sup>3</sup>/h/m y un mínimo de 0,3 m<sup>3</sup>/h/m [Montaño J. 2004].

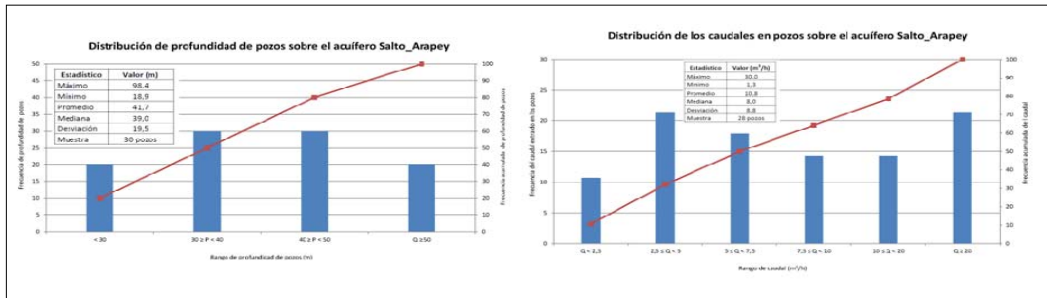


Figura 3.9: Análisis de los datos de profundidad de pozos y caudal de perforaciones que extraen agua de la Unidad Hidroestratigráfica Salto/Arapey.

### 3.2.3 Unidad Hidroestratigráfica Aluviones/coluviones

Esta unidad aflora, también en el extremo oeste de la cuenca del Cuareim/Quaraí, pero en los alrededores de la localidad brasilera de Barra do Quaraí. Está integrada por areniscas finas hasta conglomerados, de color marrón a rojizos. Esta unidad, conocida como Aloformación Guterres, podría ser equivalente a la formación Salto, anteriormente descrita.

Se pueden realizar las mismas consideraciones que para la unidad Salto, en cuanto posee un buen potencial hidrogeológico y es común alumbrar caudales relativamente importantes, pero dada su pequeña extensión se clasifica como una unidad hidrogeológica de muy baja productividad, solo de importancia local.

Se relevaron para esta unidad 21 perforaciones con datos de profundidad y caudal. El tratamiento y análisis se muestra en la figura 3.10.

La profundidad mayor de las perforaciones sobre esta unidad es de 61 m y la mínima de 14 m, siendo el promedio y la mediana bastante similares en el entorno de los 35 m. El rango de profundidades más frecuente (cerca del 40 %) es menor a 30 m, presentando la gran mayoría de los pozos (cerca del 90 %) profundidades menores a 50 m.

En lo que respecta a los volúmenes extraídos de agua, el caudal máximo es de 8 m<sup>3</sup>/h y el mínimo es de 1,8 m<sup>3</sup>/h. El promedio y la mediana son bastante similares estando en el entorno



de los 4,0 m<sup>3</sup>/h. El rango de caudales más frecuente (cerca del 50 %) es de entre 2 y 4 m<sup>3</sup>/h m, presentando la gran mayoría de los pozos (cerca del 90 %) caudales menores a 6 m<sup>3</sup>/h.

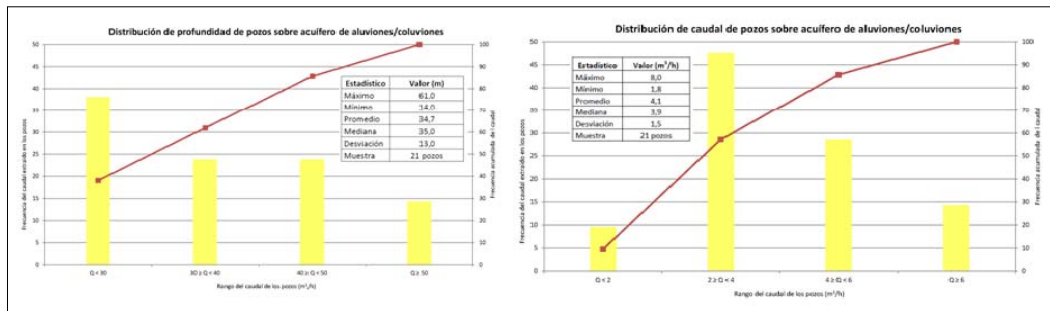


Figura 3.10: Análisis de los datos de profundidad de pozos y caudal de perforaciones que extraen agua de la Unidad Hidroestratigráfica Aluviones/coluviones.

### 3.2.4 Unidad Hidroestratigráfica Aluviones fluviales

La unidad Hidroestratigráfica aluviones se refiere a los depósitos de los principales cursos de agua, especialmente el Río Cuareim/Quaraí, que se están acumulado actualmente o se depositaron en un pasado reciente. Dentro de ellos pueden tener cierto potencial hidrogeológico aquellos cuerpos mayores integrados por sedimentos gruesos, desde arena a conglomerados, formados por la dinámica fluvial. Pero en general se trata de depósitos pequeños, lenticulares y poco potentes que salvo raras excepciones de captaciones puntuales de agua subterránea, no tienen importancia como acuífero.

## 4 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA CARTA HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL CUAREIM/QUARAÍ

Dentro de la carta principal además de separar las unidades Hidroestratigráficas por dominio y productividad se presenta en forma gráfica información sobre pozos relevados en la cuenca.

Esta información además de proporcionar la ubicación geográfica de cada captación de agua subterránea, nos indica el acuífero de donde se extrae agua y los rangos de caudales dentro del cual está comprendido cada pozo (ver Figura 3.12). Otra información complementaria son las isolíneas de igual espesor de lava (Formación Arapey/Serra Geral), que nos indica la profundidad a la que se localiza el techo de la Unidad Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu confinada (o parte superior del Sistema Acuífero Guaraní). Los valores de isoespesor fueron calculados utilizando las herramientas geoestadísticas de ArcGis usando el método “*empirical bayesian kriging*”. La información puntual utilizada es heterogénea tanto en la precisión

(espesor de datos de perforaciones y estimación de espesor a partir de estudios geofísicos) como en la distribución espacial. Esta heterogeneidad, sumado a que la pila volcánica presenta probablemente, en varias regiones dentro de la cuenca, variaciones importantes de espesor en cortas distancias (zona de fallas de gravedad y basculamiento) hace que deban tomarse los datos de isoespesor calculados, con cierta precaución (ver Figura 3.13).

Rango de caudal de perforaciones por acuífero	
Acuífero	Caudal (m3)
Aluviones	• < 2
	• 2 a 5
	• > 8
Salto_Arapey	• < 5
	• 5 a 10
	• > 10
Arapey/Serra Geral	• < 10
	• 10 a 30
	• > 30
Rivera/Botucatu	• < 10
	• 10 a 25
	• > 25

Figura 3.11: Información complementaria: simbología utilizada en la carta hidrogeológica de la cuenca del Cuareim/Quaraí.

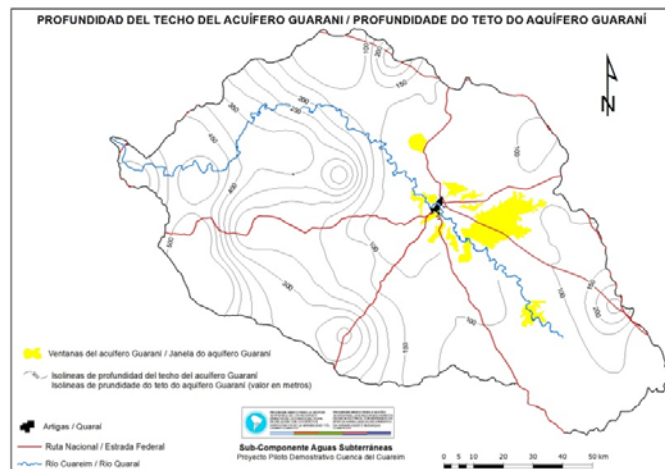


Figura 3.12: Información complementaria: profundidad del techo del acuífero Guaraní en la carta hidrogeológica de la cuenca del Cuareim/Quaraí.

Acompañando a la carta Hidrogeológica de la Cuenca del Cuareim/Quaraí se adjuntaron varios documentos complementarios, que aportan diferente tipo de información sobre la cuenca. En particular se confeccionaron dos mapas, uno de densidad de pozos y otro de volumen anual explotado de agua subterránea. El volumen anual extraído por perforación se estimó multiplicando el caudal por 8 horas de bombeo por 365 días para los pozos registrados, excepto para los pozos públicos de abastecimiento humano donde el tiempo de bombeo utilizado fue de 20 horas diarias. Como unidad de representación se utilizó una malla cuadrada

de 5 x 5 km, por lo que la densidad o volumen anual de extracción representa cantidad de pozos o volumen anual de extracción dentro de la cuenca cada 25 km<sup>2</sup>.

El mapa, presentado en la figura 3.14, muestra claramente que la mayor concentración de perforaciones para agua se localiza en las ciudades y alrededores de Artigas y Quaraí, además de la región al sur de Artigas, con una segunda zona de menor densidad de pozos en los alrededores de Bella Unión y Barra do Quaraí. La misma situación se observa para el volumen anual de extracción, en donde una gran parte del abastecimiento público de agua en las ciudades de Artigas y Quaraí (unas 65.000 personas) proviene de pozos. En la zona sur de la ciudad de Artigas hay también un importante consumo de agua subterránea para riego.

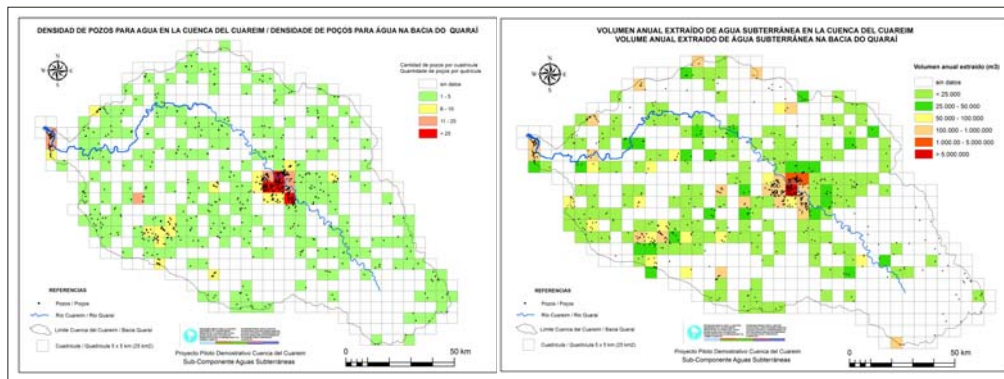


Figura 3.13: Densidad de pozos y volumen anual extraído de agua subterránea en la cuenca del Cuareim/Quaraí.

## 5. BIBLIOGRAFIA

BRITO MONTEIRO A. (2013): Manual de Preenchimento dos Atributos de Hidrogeologia Geólogo. Taller sub-componente Aguas Subterráneas, Programa Marco CIC-Plata. CPRM, Recife, Brasil.

FLORES MACHADO J. L. (2005): Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do sistema aquífero Guarani no Rio Grande do Sul. Tese de doutorado, Universidade do Vale do Rio Dos Sinos. São Leopoldo – Rio Grande do Sul.

FONDO DE UNIVERSIDADES – SAG. (2005): Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en Rivera-Libramento y Cuaraí-Artigas. Informe Final; Universidade Federal de Santa Maria (Brasil) y Universidad de la República, Facultad de Ingeniería (Uruguay). Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní

FREITAS, MARCOS A. et al. (2002): Diagnóstico dos recursos hídricos subterráneos do oeste do Estado de Santa Catarina - Projeto Oeste de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/SDA-SC/EPAGRI.

GAGLIARDI SERGIO (2008): Caracterización geológica e hidrogeológica de la ciudad de Artigas y sus alrededores. Trabajo final de la licenciatura en Geología. Facultad de Ciencias, Universidad de la Republica.

HAUSMAN A. & FERNÁNDEZ A. (1967): Hidrogeología de los basaltos del NW, Universidad de la Republica, Comisión de investigación científica, Facultad de Agronomía, Uruguay.

LASTORIA GIANCARLO et al. (2006): Hidrogeologia da formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. Revista de Águas Subterráneas, ABAS, v.20, n.1, p.139-150.

MASSA E. (1994): Contribución al estudio del sistema acuífero Salto-Arapey. Noroeste del Uruguay. Dirección Nacional de Minería y Geología (URUGUAY). Informe inédito

MONTAÑO J. (2004): El acuífero Salto: Un recurso hídrico Cenozoico. Cuencas Sedimentarias de Uruguay – Paleozoico, DIRAC Facultad de Ciencias, Udelar, Uruguay.

OLIVEIRA DINIZ J. A. (2012): Proposta metodológica para elaboração de mapas hidrogeológicos. Estudo de caso: a folha Rio São Francisco, SC- 23, CPRM, Recife, Brasil

OLIVEIRA DINIZ J. A. et al. (2014): Manual de Cartografia Hidrogeológica, Recife: CPRM-Serviço Geológico do Brasil

OLIVEIRA DINIZ J. A. (2012): Proposta metodológica para elaboração de mapas hidrogeológicos. Estudo de caso: a folha Rio São Francisco, SC- 23, CPRM, Recife, Brasil

PEREZ A. et al (2000): Comportamiento del Acuífero Guaraní en la Ciudad de Artigas, Uruguay. 5º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea – ALHSUD. Fortaleza, Brasil.

ROEHE REGINATO P. A. (2007): Comportamento hidrodinâmico de poços tubulares associados a aquíferos fraturados condicionados por estruturas primárias das rochas vulcânicas. XVII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos- São Paulo- 2007.

ROEHE REGINATO P. A. & STRIEDER A. J. (2006): Caracterização estrutural dos aquíferos fraturados da Formação Serra Geral na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul Revista Brasileira de Geociências, volume 36, 2006.

## **6. EQUIPO DE TRABAJO**

### **BRASIL**

João Alberto Oliveira Diniz

José Luís Flores Machado

Roberto Kirchheim

Robson Carlo da Silva

Thiago Luiz Feijó de Paula

### **URUGUAY**

Javier Techera

Ximena Lacués

Enrique Massa

Alberto Manganelli

### **Coordinadores del GT-Agua Subterránea**

#### **BRASIL**

Gerônimo Rocha

#### **URUGUAY**

Lourdes Batista



COMITÉ INTERGOVERNAMENTAL COORDENADOR DOS PAÍSES DA BACIA DO PRATA



ARGENTINA



BOLÍVIA



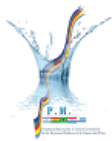
BRASIL



PARAGUAY



URUGUAY



**PROGRAMA MARCO PARA GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS  
HÍDRICOS DA BACIA DO PRATA, CONSIDERANDO OS EFEITOS  
DECORRENTES DA VARIABILIDADE E MUDANÇAS DO CLIMA**

# **PROJECTO PILOTO DEMONSTRATIVO BACIA DO QUARAÍ Nota Técnica**

Dezembro 2015

# SUMÁRIO

HIDROGEOLOGIA DA BACIA DO CUAREIM/QUARAÍ	2
1. INTRODUÇÃO	2
2. PROCEDIMENTOS, METODOLOGIAS E CONCEITOS	2
3. UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS, DESCRIÇÃO	4
3.1. Domínio Hidrogeológico Fraturado	5
3.1.1. Unidade Hidroestratigráfica Arapey/Serra Geral (UH-A/SG)	5
3.2. Domínios Hidrogeológicos Porosos	9
3.2.1. Unidade Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu (UH-R/B)	9
3.2.2. Unidade Hidroestratigráfica Salto (Sistema Salto/Arapey)	13
3.2.3. Unidade Hidroestratigráfica Aluviões/Coluviões	14
3.2.4. Unidade Hidroestratigráfica Aluviões Fluviais	15
4. INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR DA CARTA HIDROGEOLÓGICA DA BACIA DO CUAREÍM/QUARAÍ	15
5. BIBLIOGRAFIA	17
6. EQUIPE DE TRABALHO	19



## 1 INTRODUÇÃO

A carta hidrogeológica e a memória técnica que a acompanham, formam parte dos produtos elaborados pelo grupo técnico binacional (Brasil e Uruguai) no Marco do Projeto Piloto Demonstrativo da Bacia do Cuareim/Quaraí. Para a sua elaboração foram adotados os mesmos critérios metodológicos utilizados no Mapa Hidrogeológico da Bacia do Prata, também desenvolvido durante o transcorrer do Programa Marco.

Os produtos elaborados se baseiam na recompilação, ordenamento, análise e integração de dados geológicos e hidrogeológicos dos dois países e pretendem servir de insumo nas tarefas de gestão integrada dos recursos hídricos na Bacia do Prata.

## 2 PROCEDIMENTOS, METODOLOGIA E CONCEITOS

A partir do exame, análise, processamento e integração da informação geológica, hidrogeológica e de perfurações na bacia se confeccionou um mapa hidrogeológico segundo a metodologia utilizada pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil), como detalhada em várias publicações (Oliveira Diniz, 2012; A. Brito Monteiro, 2013; Oliveira Diniz et al. 2014).

Baseia-se nas características litoestruturais das unidades geológicas, que condicionam a forma como se armazena e transmite a água subterrânea nas mesmas. Desta maneira se identificaram e separaram na bacia, dois tipos de Domínios hidrogeológicos ou Unidades hidrolitológicas:

- A. Unidades hidrolitológicas **Porosas**: sedimentos e rochas sedimentares que armazenam e transmitem água a partir dos espaços vazios entre los grãos (poros). Geralmente ocorrem de forma continua e englobam grandes áreas, podendo se constituir em aquíferos importantes em termos de reserva e produtividade.
- B. Unidades hidrolitológicas **Fraturadas**: estão formadas por rochas que armazenam e transmitem água a partir de espaços vazios gerados por fraturação. As rocas plutônicas, efusivas, metamórficas e sedimentos fortemente litificados formam os aquíferos deste domínio hidrogeológico. São aquíferos em geral pouco produtivos, descontínuos e anisótropos.

A representação em mapa desses DOMÍNIOS se realizou através de cores, que segundo sua intensidade dá uma ideia qualitativa do potencial aquífero de cada região (Figura 3.1).

Dentro desses Domínios Hidrogeológicos se diferenciam os Aquíferos Granulares dos fraturados, às vezes homogêneos ou apresentando zonas com produtividades diferentes. Por exemplo, o aquífero Rivera/Botucatu pode ter maior produtividade, quando confinado, do que quando ocorre como livre. Por outro lado, pode apresentar uma produtividade muito baixa, ou mesmo nula, quando aparece litificado e/ou em zonas topograficamente elevadas.

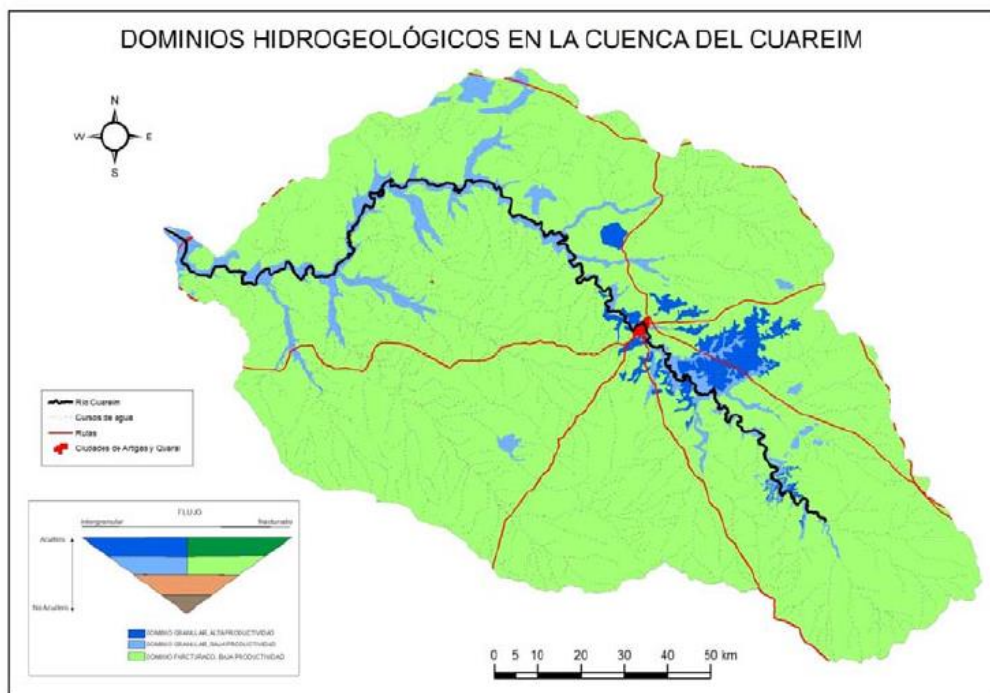


Figura 3.1: Domínios Hidrogeológicos da Bacia do Cuareim/Quaraí

Em sequência foram definidas as UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS: formações geológicas ou parte delas que armazenam e transmitem água subterrânea de forma semelhante e com a mesma ordem de grandeza.

A reunião de dois ou mais aquíferos pode originar um SISTEMA AQUÍFERO, de domínio limitado em superfície e profundidade, relacionados ou não entre si, que constituem uma unidade prática para exploração ou exploração (Oliveira Diniz et al. 2014).

Para a confecção da carta hidrogeológica da bacia do Quaraí se utilizaram dois critérios de classificação. Por um lado, se separaram com diferentes cores os Domínios Hidrogeológicos e por outro lado, com um código alfanumérico, as Unidades Hidroestratigráficas e suas produtividades. Para assinalar a produtividade dessas unidades, se utilizaram informações hidráulicas das perfurações de poços tubulares existentes na bacia, tomando os valores médios (ver Figura 3.2 e Quadro 3.1.).

COLOR MAPA	CÓDIGO MAPA	INTERPRETACIÓN
	(5) K1ar (2) K1r	-Acuífero fraturado, libre -Unidad Hidroestratigráfica Arapey -Edad cretácico inferior -Productividad muy baja
		-Acuífero granular, confinado -Unidad Hidroestratigráfica Rivera -Edad cretácico inferior -Productividad alta

Figura 3.2: Exemplo de simbologia usada no mapa Hidrogeológico da Bacia do Cuareim/Quaraí

CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS					
Qs (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Classe	Produtividade
≥ 4,0	≥ 10 <sup>-02</sup>	>10 <sup>-04</sup>	≥ 100	(1)	<b>Muito Alta:</b> Fornecimento de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes núcleos urbanos)
2,0 ≤ Q/s < 4,0	10 <sup>-03</sup> ≤ T < 10 <sup>-02</sup>	10 <sup>-05</sup> ≤ K < 10 <sup>-04</sup>	50 ≤ Q < 100	(2)	<b>Alta:</b> Características semelhantes à classe anterior, porém situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.
1,0 ≤ Q/s < 2,0	10 <sup>-04</sup> ≤ T < 10 <sup>-03</sup>	10 <sup>-06</sup> ≤ K < 10 <sup>-05</sup>	25 ≤ Q < 50	(3)	<b>Moderada:</b> Fornecimento de água para abastecimento local em pequenas comunidades, uso para irrigação em áreas restritas.
0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 <sup>-05</sup> ≤ T < 10 <sup>-04</sup>	10 <sup>-07</sup> ≤ K < 10 <sup>-06</sup>	10 ≤ Q < 25	(4)	<b>Geralmente baixa, porém localmente moderada:</b> Abastecimento de água para atendimento de consumo local ou privado.
0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 <sup>-06</sup> ≤ T < 10 <sup>-05</sup>	10 <sup>-08</sup> ≤ K < 10 <sup>-07</sup>	1 ≤ Q < 10	(5)	<b>Geralmente muito baixa, porém localmente baixa:</b> Fornecimento contínuos de água dificilmente são garantidos.
< 0,04	< 10 <sup>-06</sup>	< 10 <sup>-08</sup>	< 1,0	(6)	<b>Pouco Produtivo ou Não Aquífero:</b> Fornecimentos insignificantes de água, restritos ao uso de bombas manuais. .

Quadro 3.1: Classes de produtividades das Unidades Hidroestratigráficas

### 3. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS

Com base nas informações geológicas e hidrogeológicas disponíveis, se separaram sete unidades Hidroestratigráficas, que se mostram, de forma resumida, no quadro 3.2, sendo posteriormente descritas com maior detalhe:

#### 3.1. Domínio Hidrogeológico Fraturado

A UH-A/SG como todos os aquíferos fraturados é heterogênea e anisotrópica, com circulação e armazenamento de água subterrânea restrita as zonas fraturadas verticais e subverticais. Seus parâmetros hidrodinâmicos e de produtividade podem variar de forma importante em zonas adjacentes. Porém, ao contrário de outros tipos de aquíferos, a UH-A/SG pode apresentar estruturas horizontais/sub-horizontais, especialmente nas zonas de contato entre derrames e níveis vesiculares/brechóides.

DOMINIOS HIDROGEOLÓGICOS	SISTEMA AQUÍFERO	UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA	TIPO	PRODUTIVIDADE	SIMBOLO MAPA
POROSO		Aluviões	Livre	5	Q2dac
		Aluviões/Coluviões	Livre	5	Q12dca
	Salto/Arapey	Salto	Livre	5	N2s
	Guaraní	Rivera/Botucatú	Livre	2	J3K1r/J3K1b
		Rivera/Botucatú	Confinado	1 o 2	J3K1r/J3K1b
		Tacuarembó/Guará	Confinado	1	J3t/J3g
FRATURADO		Arapey/Serra Geral	Livre	5	K1a/K1sg

Quadro 3.2: Resumo das Unidades Hidroestratigráficas da Bacia Cuareim/Quaraí

As descontinuidades na lava, por onde potencialmente podem circular ou se armazenar águas subterrâneas são:

- Fraturas de resfriamento que se produzem pela contração da lava e ficam restritas ao derrame, em especial na zona central e base (diaclasses);
- Contatos entre derrames e a zona altamente vesicular que podem sofrer fenômenos de meteorização gerando descontinuidades horizontais/sub-horizontais;
- Descontinuidades tectônicas, produzidas por esforços pós-resfriamento da lava (sin- e pós- evento efusivo), gerando falhas e fraturas que podem ter grande desenvolvimento horizontal e vertical, podendo atingir mais de um derrame.

A forma de localização dos derrames, a distribuição espacial de suas estruturas *intra* e interderrames e os múltiplos estágios de sua formação imprimem a este tipo de aquífero uma notável e peculiar heterogeneidade física. A condutividade hidráulica é muito variável e complexa para avaliar e prever. Esta importante variação lateral de permeabilidade resulta na existência de poços produtivos e poços secos a pequenas distâncias uns dos outros (Freitas, M. A. et al. 2002).

O modelo hidrogeológico estrutural de circulação das águas subterrâneas nos basaltos para a região NW da Formação Arapey seria: as fraturas tectônicas são as principais vias de circulação de água, podendo cortar vários derrames. Esta circulação principal alimenta e conecta diaclasses, de pequenos comprimentos e geralmente restritas a zonas maciças da lava e que atuam com vias de circulação menores [Hausman & Fernández 1967]. Esses autores minimizaram a importância das estruturas horizontais para a circulação de água.

Por outro lado, em outras regiões torna-se relativamente importante a circulação e armazenamento de água nas juntas horizontais, localizadas no topo e na base do derrame, assim como os contatos entre derrames (G. Lastoria et al. 2006), ainda que possa ter uma produtividade baixa quando isoladas (Roehe Reginato et al. 2007).

Além da presença de descontinuidades, outros aspectos podem influir no potencial hidrogeológico da zona: tipo e densidade das descontinuidades, interconexão entre as mesmas, presença ou não de preenchimento nas fraturas. Inclusive alguns autores tem postulado uma correlação entre direções das fraturas e produtividades das perfurações (Roehe Reginato & Strieder 2006).

Em síntese, as características estruturais como tipo, densidade, conectividade, direção e preenchimento das descontinuidades podem ser diferentes entre áreas próximas entre si. Por essa razão, um modelo hidrogeológico mais ajustado desta bacia somente pode ser obtido a partir de estudos detalhados e informações mais exatas e controladas, o que escapa dos alcances do presente trabalho.

Como uma primeira aproximação aos aspectos estruturais da Formação Arapey/Serra Geral dentro da bacia do Cuareim/Quaraí, se mostram na figura 3.3 a rede de descontinuidades obtidas a partir de fotointerpretação de imagens de satélites de alta resolução e imagens de relevo sombreado (hillshade), produzidas a partir do processamento do modelo de elevação da NASA (SRTM). Também se utilizaram fraturas e falhas extraídas de antecedentes cartográficos. Essa informação foi processada para obter um diagrama de direções dos lineamentos ou fraturas (roseta) e um mapa de densidade de fraturas (Figura 3.4). Nessas figuras se observa que as direções predominantes são NE e NW, em particular se destacam levemente as direções N 50-70 E, N 30 – 50 W e N 70 W. Com respeito a concentração de fraturas, se observa que as zonas de maior densidade se localizam ao sul e leste da bacia, coincidindo em geral com a região de menor espessura de lava. E em outros setores coincidindo grosseiramente com as principais estruturas interpretadas como falhas.

Esta unidade Hidroestratigráfica cobre a maior parte da bacia do Cuareim/Quaraí (+90%), com espessuras em geral superiores aos 100 m. Por isso é a principal fonte de água subterrânea de baixo custo (pequena profundidade dos poços), pequenas vazões e qualidades de água relativamente boas. Seu uso se restringe ao abastecimento de água de pequenos povoados, uso doméstico e bebedouros de gado. Foram identificados a partir da recompilação, tanto no Brasil como no Uruguai de 342 perfurações que extraem água desta unidade, com informações heterogêneas quanto aos dados disponíveis. Com a informação das perfurações (profundidade de poços e das camadas, vazão e vazão específica) se executou uma análise estatística básica. Os resultados se apresentam na forma gráfica, por meio de um quadro estatístico anexo (Figura 3.5).



Figura 3.3: Mapa de fotolineamientos da Formação Arapey/Serra Geral com diagrama de direções

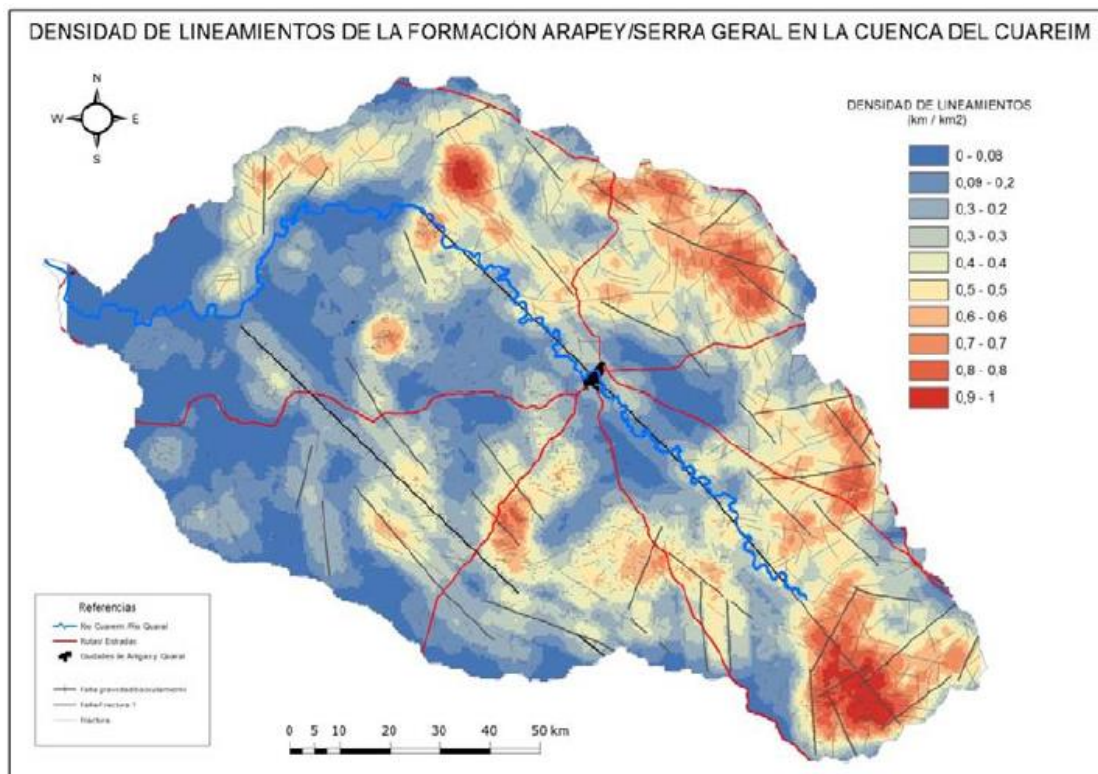


Figura 3.4: Mapa de densidade de fraturas da Formação Arapey/Serra Geral



A maioria das perfurações (mais de 80%) apresentam profundidades iguais ou menores que 100 m, os intervalos mais frequentes são entre 50 e 100 m e entre 25 e 50 m. A média de profundidades é de cerca de 60 m e a mediana é no entorno dos 50 m.

A profundidade do lençol freático representa a localização em profundidade das estruturas (falhas, diaclases e estruturas horizontais) pelas quais circula a água subterrânea. No caso das perfurações com dados (167 poços), as estruturas “portadoras” de água subterrânea foram interceptadas a uma profundidade máxima de 204 m e um profundidade mínima de 3 m. Estas estruturas se localizaram entre os 48 m (média) e 40 m (mediana), sendo que para a maioria dos poços (~80%), essas estruturas portadoras foram encontradas a menos de 60 m.

Com relação as vazões foi registrado um máximo de 83 m<sup>3</sup>/h até um mínimo de 0,1 m<sup>3</sup>/h, sendo o valor médio de 4,2 m<sup>3</sup>/h e a mediana de 2,6 m<sup>3</sup>/h. Embora exista certa dispersão entre as vazões, a maioria (60%) dos poços apresenta vazões entre 1 e 5 m<sup>3</sup>/h e a grande maioria (mais de 90%) das vazões são menores que 10 m<sup>3</sup>/h.

Por ultimo a vazão específica, que representa a relação entre o volume de água extraído por unidade de rebaixamento, é um bom indicador da produtividade das perfurações. Das 76 perfurações pesquisadas com dados suficientes para o calculo deste parâmetro, mais de 35% apresentaram vazão específica menor que 0,25 m<sup>3</sup>/h/m e mais de 80% menor que 2,0 m<sup>3</sup>/h/m. O valor mais alto encontrado foi de 6,25 m<sup>3</sup>/h/m e o menor de 0,02 m<sup>3</sup>/h/m, sendo a média de 0,86 m<sup>3</sup>/h/m e a mediana de 0,38 m<sup>3</sup>/h/m.

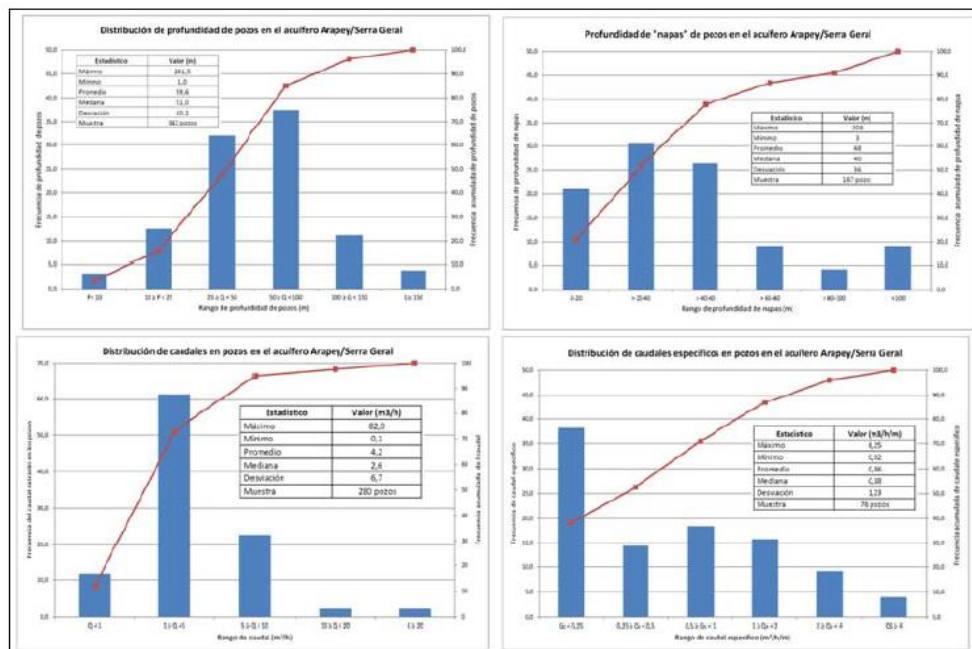


Figura 3.5: Análise dos dados de profundidade de poços, camadas, vazão e vazão específica de perfurações que extraem água da Unidade Hidroestratigráfica Arapey/Serra Geral

## **3.2. Domínios Hidrogeológicos Porosos**

### **3.2.1. Unidade Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu**

Esta unidade corresponde à parte superior (aproximadamente 50 m) do Sistema Aquífero Guarani. Está composta por pacotes (areias e dunas) de areia fina a média, bem selecionada, de cores roxas a laranjas, com estratificação cruzada e alto ângulo e grande porte e estratificação planoparalela. Na zona de Artigas estas areias se apresentam desde friáveis ou com certo grau de cimentação até muito endurecidas, produto de uma forte silificação (S. Gagliardi, 2008). Representa um típico aquífero poroso, onde a água se armazena entre os espaços dos grãos de areia (poros) e circula através das conexões intergranulares, que podem ser mais ou menos afetadas pelo grau de cimentação da rocha.

Dentro da região da bacia do Cuareim/Quaraí, se apresenta sob duas situações estruturais/hidrogeológicas distintas. Por um lado na maior parte da bacia está coberta por dezenas de metros de basaltos (setor oriental), até centenas de metros de basalto (setor ocidental) constituindo um aquífero confinado. Por outro lado, em pequenas regiões (janelas sedimentares), se apresenta aflorante ou por baixo de poucos metros de sedimentos aluviais modernos, constituindo um aquífero do tipo aquífero livre ou em relação complexa com o basalto, como ocorre na própria cidade de Artigas, gerando um aquífero livre a semiconfinado.

A principal região aflorante da UH-R/B, tanto por sua extensão como por sua intensidade de exploração, se localiza nas cidades de Artigas e Quaraí e em seus arredores. Esta zona apresenta uma geologia relativamente complexa, onde os afloramentos de arenitos se alternam com zonas cobertas por dezenas de metros de lava e em profundidade podem aparecer derrames intercalados com níveis de arenitos (S. Gagliardi, 2008). Esta situação, complexa do ponto de vista estrutural, estratigráfico e hidrogeológico, gera dificuldade na hora da interpretação de dados hidráulicos da UH-R/B. Segundo S. Gagliardi (2008), esta complexidade pode produzir barreiras hidráulicas e condicionar a continuidade hidráulica lateral e vertical do aquífero.

Por outro lado, nesta complexa zona da cidade de Artigas, várias perfurações relativamente profundas estão captando também águas do aquífero subjacente a UH-R/B.

Este aquífero “profundo” conhecido como Tacuarembó no Uruguai e Guará no Brasil, apresenta aspectos litológicos diferentes da UH-R/B (ver capítulo de geologia).

Uma estimativa dos parâmetros hidráulicos do Sistema Aquífero Guarani na cidade de Artigas (Aquíferos Rivera e Tacuarembó), é apresentada no trabalho de Perez A. et al. (2000).



Segundo esses autores é possível que o aquífero apresente diferentes transmissividades nos diferentes níveis estudados, verificando-se que os valores mais altos se encontram no nível mais profundo, entre os 150 e 210 m (Quadro 3.3).

	Nível explotado	Trasmisividad (m <sup>2</sup> /día)	Coefficiente de almacenamiento
Área Bajo Basalto	54 – 120 m	194	10 <sup>-4</sup>
Área aflorante	60 – 120 m	374	4,50 x 10 <sup>-3</sup>
Área aflorante	150 –210 m	855	1,36 x 10 <sup>-3</sup>

Quadro 3.3: Dados hidráulicos do aquífero Guaraní, estimados em perfurações localizadas na cidade de Artigas. Segundo Pérez et al. (2000)

Para a parte superficial do aquífero Guaraní, se pode assimilar em princípio que os valores de transmissividade parecem ser sensivelmente mais baixos, da ordem de alguns poucos m<sup>2</sup>/dia até dezenas de m<sup>2</sup>/dia, como se observa nas perfurações mais rasas apresentadas no quadro 3.4.

DATOS GENERALES			DATOS HIDRÁULICOS						PERFIL LITOLÓGICO				FUENTE	
Nº en Figura 3.3	Ciudad	PP (m)	Q (m3/h)	NE (m)	ND (m)	QS (m3/h/m)	T (m2/dia)	S	K (m/dia)	Basalto (m)	Arenisca (m)	Basalto (m)		Arenisca (m)
1	Artigas	157	50	4,77	45	1,24	17		0,3	0-44	44-49	49-100	100-157	1
2	Artigas	170	60	9,9	63	1,13	19	1,66 x 10 <sup>-3</sup>	0,6	0-17	17-170			2
3	Artigas	104	18	33	41	2,25	44,2	4,7 x 10 <sup>-4</sup>	0,9	0-52	52-104			2
4	Artigas	122	22	30,1	75	0,49	10	3,57 x 10 <sup>-4</sup>		0-73	73-122			3
5	Artigas	116	52	29,5	44,5	3,47	50			0-56	56-116			3
6	Artigas	115	110	11,1	36	4,42	110	4,28 x 10 <sup>-3</sup>	1,58	0-56	56-115			3
7	Artigas	170	130	11,4	22	12,26	364	4,41 x 10 <sup>-4</sup>	6,2		0-202			3
8	Artigas	370	100	surge	13	11,00	319		1,26	0-36	36-321	321-380	380-400	1
9	Artigas	43,5	6,5	13,4	27,4	0,46	11,3	5,52 x 10 <sup>-5</sup>	1,9		0 a 12	12 a 38	38 a 43,5	2
10	Artigas	52,8	3	27,44	31,52	0,74	18,9		4,7	0-13	13-52,8			2
11	Quaraí	126	40	76	86	4,00	29,52 (FU)		0,336 (FU)	0-52	52-126			4
12	Quaraí	112	31,7	31,3	90,2	0,64	21,29 (FU)		0,278 (FU)	0-60	60-64	64-96	96-112	4
13	Quaraí	102	60,9	2,37	24,48	2,37	95,04 (FU)		0,973 (FU)	0-16	16-30	30-76	76-102	4
14	Quaraí	176	100	1,29	50	2,05	62,88 (FU)		0,360 (FU)	0-98	98-176			4
15	Quaraí	144	108	26,55	100	1,50	37,44 (FU)		0,324 (FU)	0-51	51-70	70-119	119-144	4
16	Quaraí	168	66,56	14,46	30,9	4,05	31,2 (FU)		0,194 (FU)	0-24	24-30	30-108	108-168	4

Fuente : 1 Fondo Universidades (FU); 2 Gagliardi S.; 2008; 3 OSE; 4 CPRM/Siagas

Quadro 3.4: Recompilação de dados hidráulicos de perfurações na zona de Artigas/Quaraí

Foi realizada uma recompilação de mais de 200 perfurações que extraem água do aquífero Guaraní, a grande maioria localizadas nos arredores das cidades de Artigas e Quaraí e algumas poucas em outras zonas, quer seja sobre arenitos ou sobre espessuras de basaltos menores que 100 m. Para tentar analisar dados daqueles poços que extraem água apenas da UH-R/B foram selecionados apenas poços sobre arenitos, com profundidades inferiores aos 100 m. O resultado do processamento para os parâmetros hidráulicos como vazão e vazão específica, é mostrado graficamente nas figuras 3.6 e 3.7, juntamente de uma tabela com os principais dados estatísticos. Em cada figura se analisou primeiro (gráfico da esquerda) o conjunto de todos os dados e depois foram realizadas as análises em separado (gráfico da direita) dos poços sobre arenitos (aquífero livre) e de poços com basalto no teto (aquífero confinado).

Para o conjunto de dados, a maioria (+ de 50%) dos poços que captam água da UH-R/B apresentam uma vazão entre 2,5 e 5 m<sup>3</sup>/h e em mais de 80% sua vazão é menor que 10 m<sup>3</sup>/h. A máxima vazão registrada foi de 100 m<sup>3</sup>/h e a mínima de 0,3 m<sup>3</sup>/h, sendo a média de 7,2 m<sup>3</sup>/h e a mediana de 4,8 m<sup>3</sup>/h. Se forem levados em conta os dados separados, discriminados por aquífero, veremos que para os poços sobre os arenitos se mantém a mesma tendência, porém as vazões dos poços com basaltos no teto apresentam uma grande dispersão, estando a maioria dos poços compreendidos no intervalo de 2,5 a 25 m<sup>3</sup>/h, com valor médio de 15,3 m<sup>3</sup>/h, mediana de 6 m<sup>3</sup>/h e desvio padrão de 21,3 m<sup>3</sup>/h.

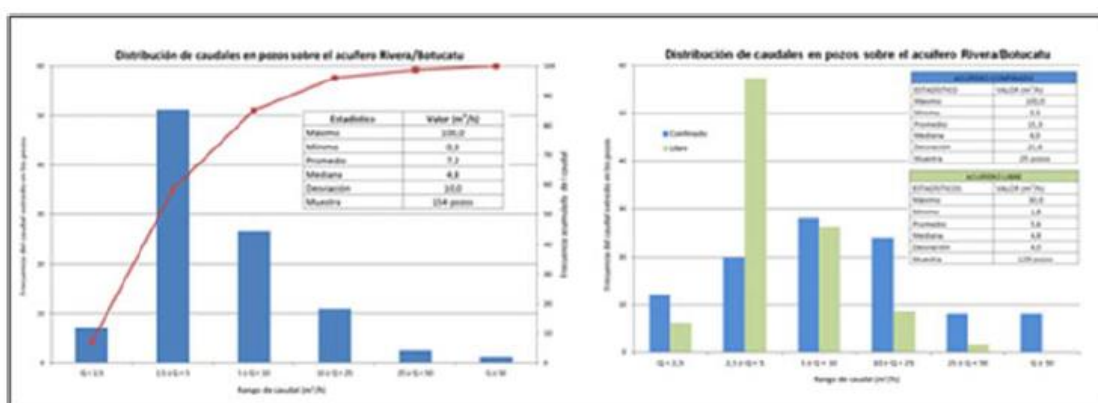


Figura 3.6: Análises dos dados de vazão das perfurações que extraem água da Unidade Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu

No que diz respeito às vazões específicas, grande parte dos poços (mais de 30%) apresentam valores entre 0,5 e 1,0 m<sup>3</sup>/h/m, e a grande maioria (mais de 90%) mostram valores inferiores a 2,5 m<sup>3</sup>/h/m. O maior valor registrado é de 6,9 m<sup>3</sup>/h/m e o menor de 0,01 m<sup>3</sup>/h/m, sendo a média de 1,05 m<sup>3</sup>/h/m e a mediana de 0,72 m<sup>3</sup>/h/m.

Quando se analisam os dados por tipo de aquífero, se observa que as vazões específicas dos poços sobre arenitos (aquífero livre) apresentam uma tendência similar a anteriormente descrita para o conjunto de dados. Por outro lado, nos poços com basalto no teto (aquífero confinado) se observa que há um grupo importante (40%) com vazões específicas pouco maiores que quando analisamos todo o conjunto de dados, com vazões entre 2,5 e 1,0 m<sup>3</sup>/h/m. Porém, também há uma porcentagem importante (20%) com vazões específicas baixas (menores que 0,25 m<sup>3</sup>/h/m). Isto faz com que os dados estatísticos centrais (média e mediana) sejam bastante parecidos para os dois grupos.

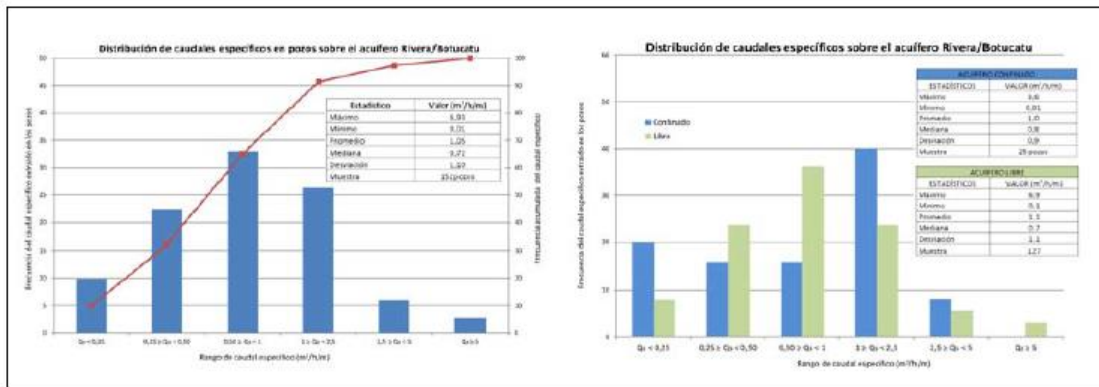


Figura 3.7: Análises dos dados de vazão específica de perfurações que extraem água da Unidade Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu

Para a região de Artigas e Quaraí, a partir dos dados pontuais de vazão específica dos poços analisados, se realizou um mapa de tendências. No mesmo se mostra como varia na região a vazão específica e quais são os valores mais prováveis deste parâmetro em uma determinada localização (Figura 3.8). Complementam este mapa, os pontos das perfurações utilizados para realizar a interpolação, discriminados por tipo de aquífero (livre ou confinado). Além disso, se assinalam as perfurações que apresentam os parâmetros hidráulicos mostrados no quadro 3.4.

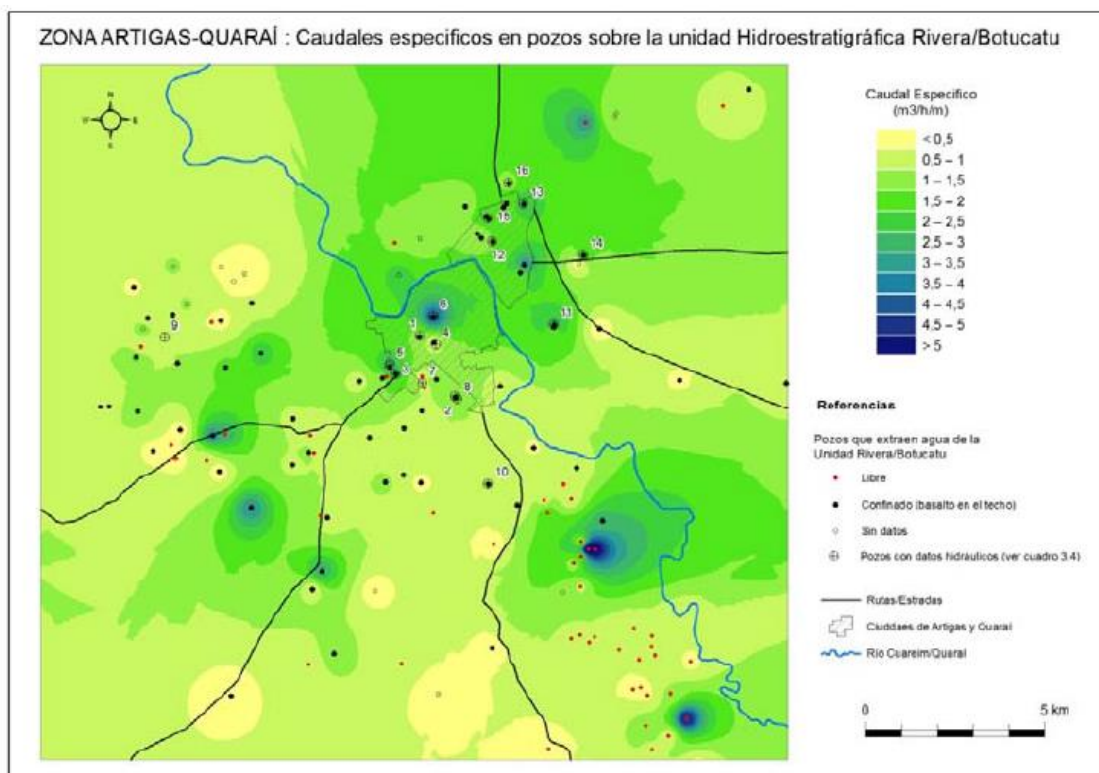


Figura 3.8: Distribuição espacial da vazão específica com base em perfurações que captam água da Unidade Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu

### 3.2.2 Unidade Hidroestratigráfica Salto (Sistema Salto/Arapey)

Esta unidade ocorre na forma de pequenos corpos no extremo oeste da bacia do Cuareim/Quaraí, nos arredores da localidade de Bella Unión, Uruguai. Está integrada por areias e conglomerados em corpos lenticulares. Potencialmente apresenta boa aptidão litológica para o armazenamento e circulação de água em importantes quantidades, porém sua extensão é muito restrita, razão pela qual sob o ponto de vista de produtividade seja classificada como de produtividade baixa a muito baixa. Ao sul, nos arredores da cidade de Salto (Uruguai), esta mesma unidade desenvolve corpos mais extensos e potentes, sendo a produtividade sensivelmente maior. Do lado da Argentina, esta unidade é conhecida como Salto Chico, apresentando uma enorme extensão e potencialidade relativamente boa o que, junto a uma baixa posição topográfica gera um aquífero de produtividade muito alta. Em vários poços da localidade de Salto, aparentemente o aquífero Salto estaria conectado hidráulicamente com a unidade aquífera inferior fraturada Arapey, de onde seriam captadas as águas subterrâneas, constituindo o sistema aquífero Salto-Arapey (Massa E., 1994).

Foram cadastradas 30 perfurações na zona de Bella Unión, onde aflora a Formação Salto. Os dados são muito escassos e somente se referem a profundidades das perfurações e vazões extraídas. Além disso, não se pode discriminar o aquífero captado, razão pela qual a informação e análise mostrada na figura 3.9 se refere tanto a poços sobre o aquífero Salto com o sistema aquífero Salto-Arapey.

A profundidade das perfurações varia entre 20 m e 98 m. Aproximadamente 80% dos poços tem profundidade igual ou menor que 50 m, com valor médio de 42 m e mediana de 39 m.

Com relação a quantidade da água extraída, os dados são muito variáveis, com boas vazões, da ordem de 30 m<sup>3</sup>/h até poços “pobres”, com extrações de 1 m<sup>3</sup>/h, sendo a média de 10 m<sup>3</sup>/h e a mediana de 8 m<sup>3</sup>/h.

Dados hidráulicos são conhecidos somente em sua área-tipo, nos arredores da cidade de Salto, a uns 150 km ao sul de Bella Unión. Esta informação, com certas precauções pode ser utilizada para caracterizar hidrogeologicamente os afloramentos dessa unidade dentro da bacia. A transmissividade média para esta unidade hidroestratigráfica é estimada em 50 m<sup>2</sup>/dia.

Se for considerada para o aquífero uma espessura média de 20 m, o valor da permeabilidade será de 2,5 m/dia. A vazão específica média é de 2,5 m<sup>3</sup>/h/m, com um máximo de 5,2 m<sup>3</sup>/h/m e um mínimo de 0,3 m<sup>3</sup>/h/m (Montaño, I., 2004).

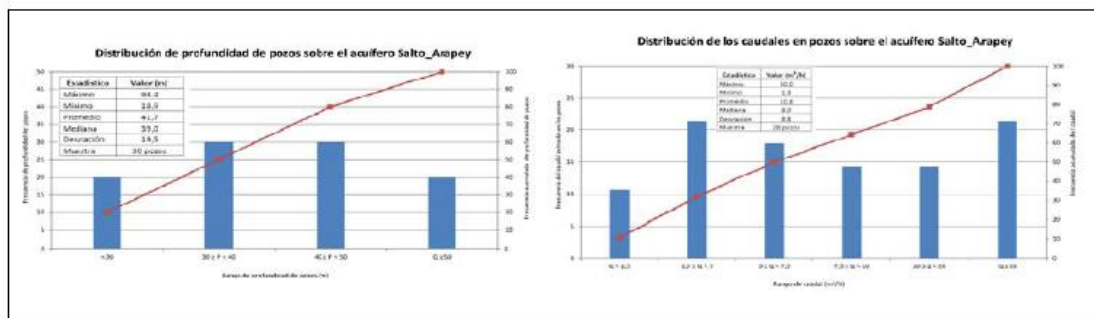


Figura 3.9: Análise dos dados de profundidade de poços e vazões de perfurações que extraem água da Unidade Hidroestratigráfica Salto/Arapey

### 3.2.3 Unidade Hidroestratigráfica Aluviões/Coluviões

Esta unidade aflora também no extremo oeste da bacia do Cuareim/Quaraí, porém nos arredores da localidade brasileira de Barra do Quaraí. É formada por areias finas até conglomerados de cor marrom a roxas. Esta unidade, conhecida como Aloformação Guterres, pode ser equivalente a Formação Salto, anteriormente descrita.

Podem-se fazer as mesmas considerações que aquelas feitas para a unidade Salto, que mostra um bom potencial hidrogeológico sendo comum vislumbrar vazões relativamente importantes, porém dada a sua pequena extensão, se classifica como uma unidade hidrogeológica de produtividade muito baixa, de importância apenas local.

Foram encontradas para esta unidade 21 perfurações com dados de produtividade e vazão. O tratamento estatístico e análise são mostrados na figura 3.10.

A maior profundidade das perfurações nesta unidade é de 61 m e a menor de 14 m, sendo o valor médio e a mediana bastante próximos, em torno dos 35 m. O intervalo de profundidades mais frequente (cerca de 40%) é menor que 30 m, a maioria dos poços (cerca de 90% do total) mostram profundidades menores que 50 m.

Com relação aos volumes de água extraídos, a vazão máxima é de 8 m<sup>3</sup>/h e o mínimo é de 1,8 m<sup>3</sup>/h. A média e a mediana são bastante parecidas, situando-se em torno dos 4,0 m<sup>3</sup>/h. O intervalo de vazões mais frequentes (cerca de 50%) é de 2 – 4 m<sup>3</sup> m, enquanto a grande maioria dos poços (cerca de 90%) mostra vazões inferiores a 6 m<sup>3</sup>/h.



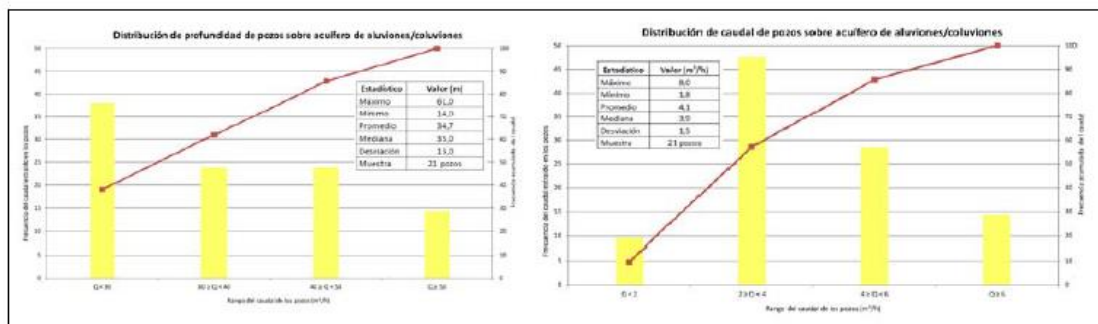


Figura 3.10: Análise dos dados de profundidade de poços e vazões de perfurações que extraem água da Unidade Hidroestratigráfica Aluviões/Coluviões

### 3.2.4 Unidade Hidroestratigráfica Aluviões Fluviais

A Unidade Hidroestratigráfica aluviões se refere aos depósitos dos principais cursos d'água, especialmente o rio Cuareim/Quaraí, que se acumulam atualmente o se depositaram em um passado recente. Dentro delas se pode ter certo potencial hidrogeológico naqueles corpos maiores formados por sedimentos grossos, desde areia a conglomerados, formados pela dinâmica fluvial. Porém, em geral se tratam de depósitos pequenos, lenticulares e pouco potentes que, salvo raras exceções de captações pontuais de água subterrânea, não tem importância como aquíferos.

## 4. INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE O MAPA HIDROGEOLÓGICO DA BACIA DO CUAREIM/QUARAI

Dentro do mapa principal, além de separar as unidades Hidroestratigráficas por domínio e produtividade, se apresenta de forma gráfica informações sobre poços cadastrados na bacia.

Esta informação, além de proporcionar a localização geográfica de cada captação de água subterrânea, nos indica o aquífero do qual se extrai águas e intervalos de vazões dentro do qual está compreendido o poço (ver Figura 3.12). Outra informação complementar são as isolinhas de igual espessura de lava (Formação Arapey/Serra Geral), que nos indica a profundidade na qual se localiza o teto da Unidade Hidroestratigráfica Rivera/Botucatu confinada (ou a parte superior do Sistema Aquífero Guarani). Os valores de isoespessuras foram calculados utilizando as ferramentas geoestatísticas do software ArcGis, usando o método "empirical bayesian Kriging". A informação pontual utilizada é heterógena tanto na precisão (espessura de dados de perfurações e estimativa de espessuras a partir de estudos geofísicos), como na distribuição espacial. Esta heterogeneidade, somado ao fato de que o pacote vulcânico provavelmente apresenta, em várias regiões dentro da bacia variações importantes de espessuras em curtas distancias (zonas de falhas de gravidade e basculamentos) realça a necessidade de serem tomados dados de isoespessuras calculadas, com certa precaução (ver Figura 3.13).

Rango de caudal de perforaciones por acuífero	
Acuífero	Caudal (m3)
Aluviones	• < 2
	• 2 a 5
	• > 8
Salto_Arapey	• < 5
	• 5 a 10
	• > 10
Arapey/Serra Geral	• < 10
	• 10 a 30
	• > 30
Rivera/Botucatu	• < 10
	• 10 a 25
	• > 25

Figura 3.11: Informação complementar: simbologia utilizada no Mapa Hidrogeológico da Bacia do Cureim/Quaraí

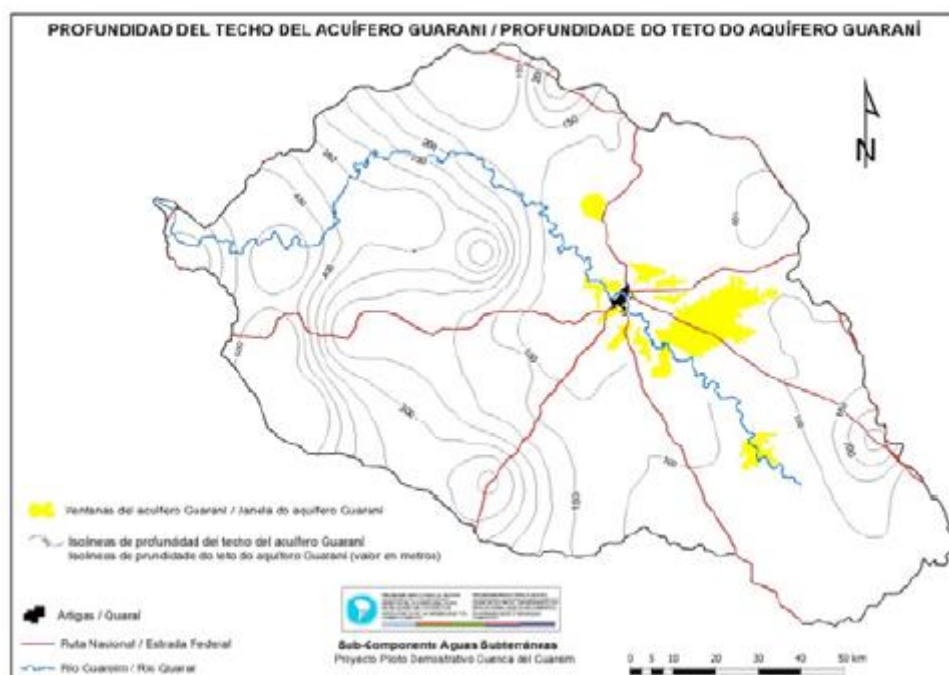


Figura 3.12: Informação complementar: profundidade do teto do aquífero Guarani no Mapa Hidrogeológico da Bacia do Cuareim/Quaraí

Acompanhando o mapa Hidrogeológico da Bacia do Cuareim/Quaraí se adicionaram vários documentos complementares, que aportam diferentes tipos de informação sobre a bacia. Em particular, se confeccionaram dois mapas, um de densidade de poços e outro de volume anual explotado de água subterrânea. O volume anual extraído por perfurações foi estimado multiplicando a vazão por 8 horas de bombeamento e 365 dias para os poços registrados, exceto para os poços públicos de abastecimento humano, onde o tempo de bombeamento utilizado foi de 20 horas diárias. Como unidade de representação se utilizou uma malha quadrada de 5 x 5 km pelo que, a

densidade ou volume anual de extração representa a quantidade de poços ou volume anual de extração dentro da bacia a cada 25 km<sup>2</sup>.

O mapa, mostrado na figura 3.14, mostra claramente que a maior concentração de perfurações para água se localiza nas cidades e nos arredores de Artigas e Quaraí, além da região sul de Artigas, com uma segunda zona de menor densidade de poços nos arredores de Bella Unión e Barra do Quaraí. A mesma situação se observa para o volume explotado anualmente, onde grande parte do abastecimento público de água nas cidades de Artigas e Quaraí (uma 65.000 pessoas) provém de poços. Na zona sul da cidade de Artigas há também um importante consumo de água subterrânea para irrigação.

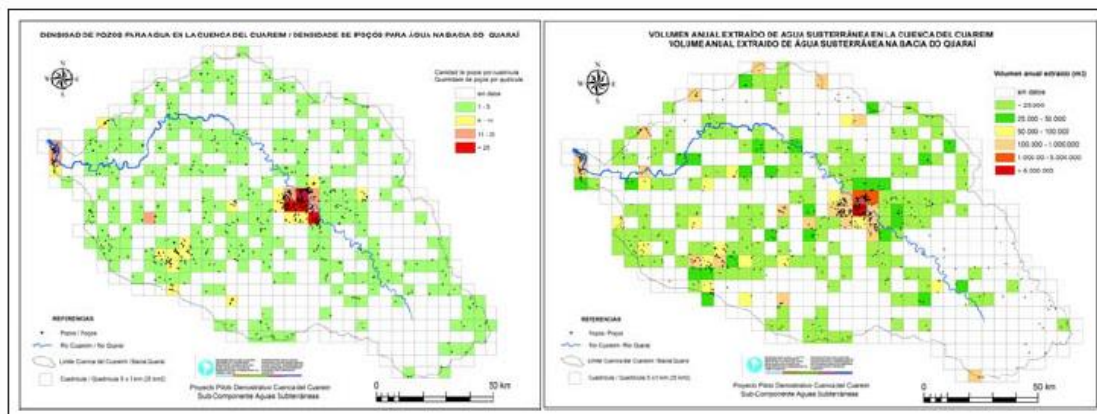


Figura 3.13: Densidade de poços e volume anual extraído de água subterrânea na Bacia do Cuareim/Quaraí



## 5. BIBLIOGRAFIA

BRITO MONTEIRO A. (2013): Manual de Preenchimento dos Atributos de Hidrogeologia Geólogo. Taller sub-componente Aguas Subterráneas, Programa Marco CIC-Plata. CPRM, Recife, Brasil.

FLORES MACHADO J. L. (2005): Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do sistema aquífero Guarani no Rio Grande do Sul. Tese de doutorado, Universidade do Vale do Rio Dos Sinos. São Leopoldo – Rio Grande do Sul.

FONDO DE UNIVERSIDADES – SAG. (2005): Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en Rivera-Libramento y Cuaraí-Artigas. Informe Final; Universidade Federal de Santa Maria (Brasil) y Universidad de la República, Facultad de Ingeniería (Uruguay). Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní

FREITAS, MARCOS A. et al. (2002): Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina - Projeto Oeste de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/SDASC/ EPAGRI.

GAGLIARDI SERGIO (2008): Caracterización geológica e hidrogeológica de la ciudad de Artigas y sus alrededores. Trabajo final de la licenciatura en Geología. Facultad de Ciencias, Universidad de la Republica.

HAUSMAN A. & FERNÁNDEZ A. (1967): Hidrogeología de los basaltos del NW, Universidad de la Republica, Comisión de investigación científica, Facultad de Agronomía, Uruguay.

LASTORIA GIANCARLO et al. (2006): Hidrogeologia da formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. Revista de Águas Subterrâneas, ABAS, v.20, n.1, p.139-150.

MASSA E. (1994): Contribución al estudio del sistema acuífero Salto-Arapey. Noroeste del Uruguay. Dirección Nacional de Minería y Geología (URUGUAY). Informe inédito

MONTAÑO J. (2004): El acuífero Salto: Un recurso hídrico Cenozoico. Cuencas Sedimentarias de Uruguay – Paleozoico, DIRAC Facultad de Ciencias, Udelar, Uruguay.

OLIVEIRA DINIZ J. A. (2012): Proposta metodológica para elaboração de mapas hidrogeológicos. Estudo de caso: a folha Rio São Francisco, SC- 23, CPRM, Recife, Brasil

OLIVEIRA DINIZ J. A. et al. (2014): Manual de Cartografia Hidrogeológica, Recife: CPRM-Serviço Geológico do Brasil

OLIVEIRA DINIZ J. A. (2012): Proposta metodológica para elaboração de mapas hidrogeológicos. Estudo de caso: a folha Rio São Francisco, SC- 23, CPRM, Recife, Brasil

PEREZ A. et al (2000): Comportamiento del Acuífero Guaraní en la Ciudad de Artigas, Uruguay. 5º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea – ALHSUD. Fortaleza, Brasil.

ROEHE REGINATO P. A. (2007): Comportamento hidrodinâmico de poços tubulares associados a aquíferos fraturados condicionados por estruturas primárias das rochas vulcânicas. XVII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos- São Paulo- 2007.

ROEHE REGINATO P. A. & STRIEDER A. J. (2006): Caracterização estrutural dos aquíferos fraturados da Formação Serra Geral na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul Revista Brasileira de Geociências, volume 36, 2006.

## **6. EQUIPE DE TRABALHO**

### **BRASIL**

João Alberto Oliveira Diniz  
José Luís Flores Machado  
Roberto Kirchheim  
Robson Carlo da Silva  
Thiago Luiz Feijó de Paula

### **URUGUAY**

Javier Techera  
Ximena Lacués  
Enrique Massa  
Alberto Manganelli

### **Coordenadores do GT-Agua Subterrânea**

#### **BRASIL**

Gerônimo Rocha

#### **URUGUAY**

Lourdes Batista