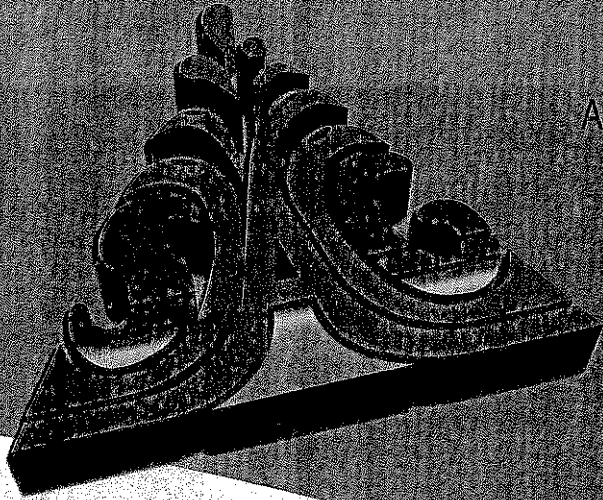


Acuífero Guaraní

Avances en el conocimiento para su gestión sustentable.

Aquífero Guaraní

Avancos no conhecimento para sua gestão sustentável.



Fondo de Universidades del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní

Fundo de Universidades do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guaraní



bnwbp



Universidad Federal de Santa Maria / UFSM, Brasil • Universidad de la República / UdelAR, Uruguay • Universidad Nacional del Litoral / UNL, Argentina • Dirección Nacional de Medio Ambiente / DINAMA, Uruguay • Instituto Nacional del Agua / INA, Argentina • Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires / UNICEN, Argentina • Universidade do Vale do Rio dos Sinos / UNISINOS, Brasil • Universidade Federal de Paraná / UFPR, Brasil • University Waterloo / UW, Canadá • Universidade de São Paulo / USP, Brasil • Universidad Nacional Autónoma de México / UNAM, México • Universidad Tecnológica Nacional / UTN, Argentina • Universidad de Buenos Aires / UBA, Argentina • Universidade Federal de Minas Gerais / UFMG, Brasil • Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear / CDTN, Comissão Nacional de Energia Nuclear / CNEN, Brasil • Universidade Federal do Mato Grosso / UFMT, Brasil • Universidad Católica de Santa Fe / UCSF, Argentina • Universidad Nacional de Asunción / UNA, Paraguay

VULNERABILIDAD Y RIESGO HIDROGEOLÓGICO DEL SAG EN EL ÁREA AFJORANTE DE RIVERA - URUGUAY

P. Collazo¹
M. Auge²
J. Montaña³

1, 3 - Universidad de la República – Facultad de Ciencias. Uruguay

E-mail: mpaula@fcien.edu.uy, jmont@fcien.edu.uy

2 - Universidad de Buenos Aires - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales –Argentina

E-mail: mpauge@ciudad.com.ar

ABSTRACT

The studied area belongs to the outcropping zone of the Guaraní Aquifer in the Department of Rivera, Uruguay. It comprises an approximate area of 2900 Km². The outcropping Guaraní Aquifer (AGa) is formed by two sections, an upper one corresponding to the Rivera Unit (UR) and a lower one corresponding to the Tacuarembó Unit (UT), both with vertical hydraulic continuity. The Rivera Unit is entirely represented by the homonymous formation and it consists of medium to fine sandstones with a mean effective porosity of 14% and mean Transmissivity of 88 m²/día. The Tacuarembó Unit is constituted by fine to very fine sandstone levels interbedded with pelitic sandstone and shales. This unit behaves like unconfined aquifer in the upper section, where it contains the phreatic layer and it passes to semi-confined as the depth increases. The effective porosity is approximately of 9% and mean T 24 m²/día. Chemically, both units are classified as calcic-bicarbonated and magnesian-bicarbonated. To determine the vulnerability, it was applied the GOD method yielding high vulnerability for levels lower than 10m and moderate for levels of water larger than 10m. From the study of risk the conclusions are: high risk of groundwater contamination due to the lack of sewage systems and to the rubbish dump leakage. The industrial activity, cemeteries and mining activity represents moderated risks in most of the cases.

Key words: Guaraní Aquifer Outcrop, Vulnerability, Risk

INTRODUCCIÓN

Se expone a continuación el resumen del informe final del proyecto "Vulnerabilidad y Riesgo Hidrogeológico del SAG en el Área Aflorante de Rivera, Uruguay" Fondo de Universidades - Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Este proyecto fue desarrollado por la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República como Universidad Aplicante, bajo la dirección del Dr. Jorge Montaña y por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires como Universidad Asociada bajo la dirección del Dr. Miguel Augé. La Responsabilidad Científica, estuvo a cargo de la Lic. Paula Collazo. El objetivo principal fue, establecer las características hidrogeológicas del Sistema Acuífero Guaraní (SAG) en el área aflorante del Departamento de Rivera, como base técnica para crear las medidas y normativas de la futura gestión del recurso en un área aflorante

y urbanizada. Los objetivos específicos fueron: determinar las características hidráulicas, hidrodinámicas del acuífero; establecer la composición química natural y su evolución espacial y temporal. En función de la vulnerabilidad del acuífero y de las actividades antrópicas contaminantes, determinar las zonas de riesgo de degradación del agua subterránea.

Área de Estudio

El área investigada corresponde a la zona aflorante del Acuífero Guaraní en el Departamento de Rivera, Uruguay. Ocupa aproximadamente 2900 Km² dispuesta en una faja de dirección N-S, con un largo de 60 Km. y un ancho medio de 35-40 km aproximadamente. Rivera es la principal ciudad que se ubica en el área de estudio, con un total de 65000 habitantes abasteciéndose principalmente de agua subterránea (70%) y el resto con agua superficial, cuyo servicio esta bajo la responsabilidad de OSE (Obras Sanitarias del Estado).

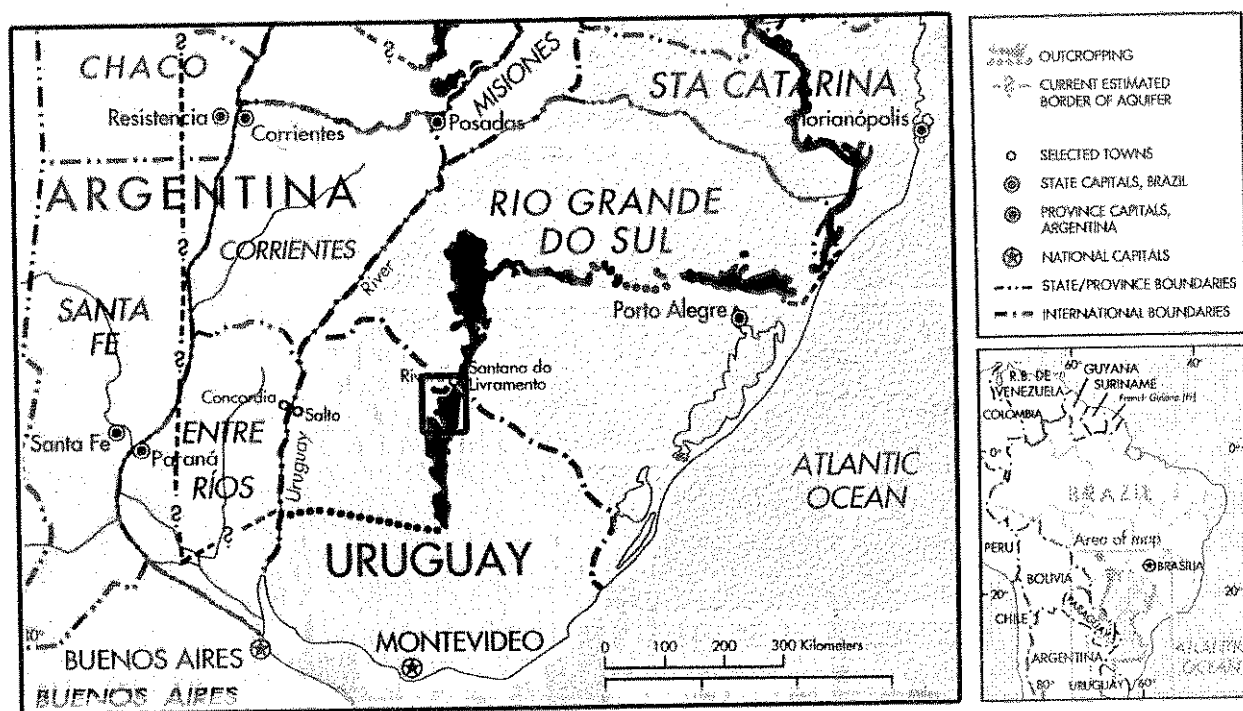


Fig. 1 Ubicación área de estudio

GEOLOGIA

El Acuífero Guaraní aflorante, se localiza en la Cuenca Norte del Uruguay (De Santa Ana, 1989). Ésta se desarrolla en el Noreste, Centro Norte y Noroeste del territorio uruguayo ocupando un área aproximada de 100.000 Km² y forma parte de la Cuenca Paraná que comprende, la parte meridional de Brasil con un área de 1,1 millones Km², la mitad oriental se encuentra en Paraguay con 100 mil Km² y parte de Argentina con 100 mil Km² totalizando aproximadamente 1.400.000 Km². La Cuenca Norte, es una cuenca interior cratónica, constituida por una serie de eventos deposicionales, que van desde el Devónico hasta el Cretácico tardío. El origen de la cuenca se relaciona con diferentes eventos colisionales localizados en el margen activo de la placa Gondwana sudoccidental y mas tarde en un contexto extensional con la apertura del Océano Atlántico Sur. La sedimentación de la cuenca, queda representada por cuatro grandes secuencias: Devónica, Permotriásica, Jurocretácica y Neocretácica. (De Santa Ana, 2004).

Estratigrafía

Se describen a continuación, las formaciones geológicas que integran el área indicando sus comportamientos hidrogeológicos generales (tabla 1). Se incluye a los basaltos de la Formación Arapey, que forman el techo del Sistema Acuífero Guaraní y lo confinan en el sector O. Los datos de subsuperficie, se basaron en interpretaciones de testigos de perforaciones exploratorias de hidrocarburos realizadas en la cuenca por ANCAP (Administración Nacional de Combustibles Alcohol y Portland).

Basamento Cristalino

El subsuelo del Departamento de Rivera, está constituido por rocas ígneas y metamórficas pertenecientes al Basamento Cristalino. Éstas se han alcanzado en localidades cercanas profundidades de 1850 m en la perforación Artigas y 702 m en la perforación Bañado de Rocha. Se le asignan edades que van desde el Paleoproterozoico al Paleozoico inferior. Desde el punto de vista hidrogeológico es un acuífero fisurado, en general con baja productividad, aumentando las mismas según la intensidad de fracturación, los caudales medios oscilan entre 1 y 5 m³/h.

Paleozoico

Formación Cerro Pelado (Pérmico inferior): separada de la Formación San Gregorio y designada como una nueva unidad litoestratigráfica por Goso (1995), litológicamente esta constituida por un paquete de diamictitos pelíticos y pelitas micáceas negras con materia orgánica (De Santa Ana, 2004). Se reconoció en subsuperficie, a profundidades de 266 m y 1750 m de profundidad en perforaciones realizadas por ANCAP.

Formación Tres Islas (Pérmico medio): Compuesta por areniscas finas a medias, conglomerádicas en menor proporción, limolitas y lutitas (Bossi et al, 1998).

Se reconoció en subsuperficie en perforaciones cercanas al área de estudio, a profundidades de 1680 m (perforación Artigas), en el pozo Tacuarembó no se evidencian litologías correspondientes a esta formación. Presenta comportamiento hidrogeológico correspondiente a un acuífero confinado, con baja a muy baja productividad y caudales de 2 m³/h, la transmisividad es de 11 m²/día y la

permeabilidad de 0,8 a 0,9 m/día. El agua subterránea se clasifica como sulfatada clorurada. Montañó, com. pers. 2005).

Formación Fraile Muerto (Pérmico medio): Integrada por pelitas grises, verdosas a negras, finamente laminadas, fosilíferas y areniscas finas a muy finas color blancuzco, correspondientes a un ambiente marino plataformal. (De Santa Ana, 2004). Se distribuye a lo largo de toda la cuenca y en el área de estudio se reconoce en profundidad en perforaciones: Tacuarembó a 148 m con 118 m de espesor y en la perforación Artigas a 1080 m de profundidad con 333 m de espesor. Presenta productividad muy baja, con caudales que no superan el 1m³/h.

Mesozoico

Formación Buena Vista (Triásico inferior): está integrada por areniscas finas a gruesas, interestratificadas con lentes calcáreos y niveles conglomerádicos, de coloración rojiza a amarillenta (Ferrando y Andreis, 1986). En subsuperficie se localiza en las siguientes perforaciones: Tacuarembó a 35 m de profundidad y Artigas a 240 m. Presenta comportamiento hidrogeológico correspondiente a un acuífero confinado, con productividad baja a media (3 - 5 m³/h) y aguas del tipo bicarbonatadas cálcicas. Ésta junto con la Unidad Tacuarembó y Rivera constituyen el sistema hidrogeológico del Acuífero Guaraní.

Formación Tacuarembó (Jurásico superior): constituida por ciclos de areniscas finas a muy finas, alternando con ciclos pelíticos de color grisáceo a verdoso. Aflora en la mayor parte del área de estudio. Desde el punto de vista hidrogeológico se comporta como un acuífero libre a semiconfinado, con valores de coeficiente de almacenamiento que

van de 10⁻² a 10⁻³ y transmisividad media de 24 m²/día, la productividad es baja, con caudales medios de 3 a 5 m³/h, el agua se clasifica como bicarbonatada cálcica y bicarbonatada magnésica, presentando valor medio de pH de 6,5. Constituye la Unidad Tacuarembó del Acuífero Guaraní aflorante.

Formación Rivera (Jurásico superior): Integrada por areniscas finas a medias, rojizas. Aflora en la ciudad de Rivera y alrededores (figura 2). No hay certeza sobre el espesor máximo, pero datos de perforaciones realizadas por OSE (Obras Sanitarias del Estado) indican un espesor medio de 65 m. Se comporta como un acuífero libre, con productividad media a alta registrándose valores de más de 50 m³/h. La permeabilidad media calculada es 2,7 m/día y la transmisividad media de 88 m²/día. El agua se clasifica como bicarbonatada cálcica y bicarbonatada magnésica, presentando valores de pH inferiores a 6. Constituye la Unidad Rivera del Acuífero Guaraní aflorante.

Formación Arapey (Cretácico inferior): Está representada por una sucesión de derrames basálticos. Constituye el límite O del área de estudio y la porción confinante del Acuífero Guaraní, al O de la Cuenca Norte. Se comporta como un acuífero fisurado, de media a alta productividad, con caudales que van de 5 a 100 m³/h hacia el O. El agua subterránea se clasifica como bicarbonatada cálcica.

Cenozoico

Aluviones (Holoceno): Depósitos que forman el relleno aluvial de ríos y arroyos. En los cursos del área investigada están constituidos por arenas finas provenientes de la erosión de las formaciones Tacuarembó y Rivera.

Edad	Formación Geológica	Litología	Unidad Hidrogeológica	Espesor medio (m)	Comportamiento Hidrogeológico
Holoceno	Suelos	Arenas finas a medias, limo arcillita.		5	Constituyen el medio a través del cual se produce la recarga subterránea en la mayor parte del ámbito estudiado.
Cretácico Inf.	Arapey	Lavas básicas.	Acuífero fisurado.	80	Acuífero fisurado, de alta a media productividad (5-100 m ³ /h). Bicarbonatada cálcica, F=3-5 ppm.
Jurásico sup.	Rivera	Areniscas finas a medias, rojizas. Estratificación cruzada. Ambiente eólico	Acuífero Guaraní aflorante (Unidad Rivera)	65	Acuífero libre de productividad media (3-60 m ³ /h). T = 88 m ² /día. K=2,7m/día. Bicarbonatada cálcica, pH<6.
Jurásico sup.	Tacuarembó	Areniscas finas intercaladas con limoarcillitas y arcillitas. Estratificación paralela, cruzada. Ambiente fluvial	Acuífero Guaraní aflorante (Unidad Tacuarembó)	100	Acuífero libre a semiconfinado, de baja a muy baja productividad (1-5 m ³ /h). K= 1,4 m/día, T = 24 m ² /día, S= 10 ⁻² a 10 ⁻³ . Bicarbonatada cálcica.
Triásico	Buena Vista	Areniscas finas a gruesas, blancuzcas y rojizas. Estratos lenticulares. Ambiente fluvial	Acuífero Guaraní confinado	100	Acuífero semiconfinado, de baja productividad (1-5 m ³ /h). Bicarbonatada cálcica.
Pérmico medio	Fraille Muerto	Siltitos y areniscas finas. Ambiente plataforma marina.		100	Acuífero / acuitado.
Pérmico medio	Tres Islas	Areniscas, pelitas blancas. Ambiente continental.	Acuífero Pérmico. San Gregorio-Tres Islas.	30	Acuífero confinado, de muy baja a baja productividad (2 m ³ /h). T= 12 m ² /día. S= 10 ⁻⁶ . Agua sulfatada clorurada (F=1-1,8 ppm).
Pérmico inf.	Cerro Pelado	Arcillitas, pelitas, pelitas arenosas ricas en materia orgánica.	Acuífero Pérmico. San Gregorio	50	Acuífero / acuitado.
Pérmico inf.	San Gregorio	Diamictitos, pelitas y areniscas. Ambiente glacial.	Acuífero Pérmico. San Gregorio	50	Acuífero confinado, de media productividad (40 m ³ /h). T=70-80 m ² /día. S=10 ⁻⁵ . Agua Clorurada sódica, con alto contenido de sales
Precámbrico	Basamento Cristalino	Granitos, migmatitas, anfíbolitas	Acuífero figurado /Acuífero		Basamento hidrogeológico

Tabla 1. Columna estratigráfica del área de estudio

HIDROGEOLOGÍA

El principal uso del agua subterránea, correspondiente al Acuífero Guaraní aflorante (AGa), es el abastecimiento público, seguido por el riego e industrial en menor proporción. Éste, está constituido por la Unidad Rivera que constituye la sección superior y la Unidad Tacuarembó constituyendo la inferior (tabla 2). Este criterio se adoptó en función de la existencia de continuidad hidráulica vertical entre las dos secciones, debido a la falta de unidades de baja permeabilidad (acuicludo, acuífugo) que actúen separando las secciones mencionadas.

Unidad Hidrogeológica Rivera: esta unidad se corresponde en su totalidad con la Formación Rivera. Se compone por areniscas medias a finas, cuarzosas, con poca proporción de material fino, hecho que aumenta su porosidad efectiva. Su potencia es reducida, siendo el valor medio 65 m, pero alcanza valores superiores a 100 m cuando ocurre en cotas elevadas (250 a 300 m). La porosidad principal es intergranular, con valor medio de porosidad eficaz de 14 %. A esta, se le suma la porosidad secundaria originada por el intenso grado de fracturación. Debido a que se presenta en sitios topográficamente elevados y en zonas donde predomina el campo natural, esta unidad es poco explotada. La transmisividad de esta unidad obtenida de

la reinterpretación de ensayos de bombeo, resultó de 88 m²/día. Valores de 242 a 300 m²/día con caudal específico de 6 m³/h/m, fueron presentados por Pessi y Hardí (1995), siendo estos valores muy elevados de acuerdo a lo obtenido en el resto de los ensayos de bombeo. Montañó et al (1998), obtienen para esta unidad valores de 140 y 151 m²/día, con caudal específico de 2,7 y 3,4 m³/h/m.

Del estudio estadístico se observa que las profundidades más frecuentes de los pozos se ubican entre los 20 y 60 m, perforaciones más profundas corresponden a las realizadas por OSE. Los caudales más frecuentes son entre 1 - 10 m³/h, encontrándose valores superiores a los 50 m³/h.

Química

Las aguas de esta unidad, se caracterizan por presentar concentraciones muy bajas en todos los iones estudiados, con un promedio de sólidos disueltos totales de 60 mg/l. Se trata de aguas recientes, en las que su composición está principalmente influida por el agua de infiltración y con un aporte muy escaso del componente sólido del acuífero. El pH medio es 5,6. Las aguas de esta unidad, se clasifican siguiendo el diagrama de Piper como aguas bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas magnésicas.

Unidad Hidrogeológica Tacuarembó: esta unidad se corresponde con la Formación

	Unidad Hidrogeológica	Sección	Comportamiento	Espesor medio
Acuífero	Unidad Rivera	Superior	Libre	65 m
Guaraní Aflorante (AGa)	Unidad Tacuarembó	Inferior	Libre a Semiconfinado	100 m

Tabla 2. Unidades hidrogeológicas propuestas.

Tacuarembó. Está contenida en un paquete sedimentario, constituido por niveles de arenisca fina a muy fina intercalados con niveles de arenisca arcillosa y limonitas pertenecientes a la Formación Tacuarembó. Se comporta como libre en la sección superior de la formación, donde contiene a la capa freática y pasa a semiconfinado a medida que aumenta la profundidad. Aflora en una extensa zona de N a S, desde la ciudad de Rivera hasta la localidad de Curtina, conformando una faja de unos 160 km de largo por 35 a 40 km de ancho. Hacia el Oeste subyace los derrames basálticos de la Formación Arapey. La transmisividad media obtenida a través de ensayos de bombeo es 24 m²/día y la permeabilidad de 1,4 m/día. La porosidad efectiva obtenida mediante análisis petrográfico y ajustada siguiendo el método de Briggs, Shantz es 9%. También presenta porosidad secundaria, originada por disolución del cemento y clastos, principalmente de feldespatos, que eleva el valor de porosidad total de la roca.

Química

Para el estudio químico de la Unidad Tacuarembó se analizaron 43 muestras de agua abarcando toda el área de estudio. De la interpretación de los resultados surge que el agua subterránea se clasifica mayoritariamente en bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas magnésicas, siendo el pH medio 6,3 y los STD de 173 mg/l.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Laboratorio

El principal objetivo de este estudio es conocer las características petrográficas y la distribución de la porosidad de las areniscas pertenecientes a las unidades hidrogeológicas del Acuífero Guaraní

aflorente. Se ha comprobado que la porosidad y la permeabilidad de las areniscas, están directamente relacionadas con la mineralogía, la textura y el régimen diagenético e indirectamente por el área de aporte de la fracción clástica y las facies depositacionales (Limarino, Inet, 2000).

Para el estudio petrográfico se analizaron 20 secciones delgadas, (10 correspondientes a la Formación Rivera, 10 a la Formación Tacuarembó). Los porcentajes relativos a los componentes clásticos (modas detríticas QFL) como la cuantificación de los minerales autígenos fueron efectuados a partir del conteo de 300 y 500 puntos utilizando el método de Gazzi-Dickinson. La clasificación petrográfica se realizó según Pettijhon et al, (1987).

Del estudio petrográfico se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 3) Las muestras (II-3, III-1, III-2, 34-6, 34B-1, II-1', II-1, Pat 4/1, 20) corresponden a la Formación Rivera y las (34-5, 34-5b, II-2, 34-2, 22, 34-1, Tac 1/3, Pat 1/2, Pat 1/3, Pat 1/6) a la Formación Tacuarembó.

La Formación Rivera incluye principalmente cuarzoarenitas y con menor frecuencia subarcosas y sublitoarenitas, con buena selección. Estas areniscas se destacan por el alto contenido en cuarzo monocristalino y por el escaso contenido en feldespatos, predominando los feldespatos potásicos en relación a las plagioclasas. El cemento principal es el óxido de hierro. La porosidad total observada en estas areniscas es de origen primario y varía desde 9 % a 28 %, siendo el promedio de 17 %. Las areniscas de la Formación Tacuarembó, presentan mayor variación incluyendo subarcosas, sublitoarenitas, grauvaca feldespática y grauvaca lítica. La selección es moderada y el cemento principalmente arcilloso, con matriz pelítica. El cuarzo monocristalino sigue predominando en la composición clástica, observándose un aumento en la proporción

Muestra	Clasificación petrográfica	n	Selección	Componentes (%)				Composición clástica (%) recalculada al 100%						
				Clastos	Matriz	Cemento	Poros*	Qm	Qp	QT	Kfeld	Plagioc	Opacos	Otros**
II-3	Cuarzoarenita	315	Buena	72,0	-	11.7 (Ht)	16,1	91,6	4,8	96,4	0,4	0,4	0	2,6
III-1	Cuarzoarenita	319	Buena	76,8	-	10.6 (Ht)	10,6	96,7	-	96,7	0,4	0,0	1,2	1,6
III-2	Subarcosa	223	Buena	83,4	-	4.8 (Ht)	15,1	86,6	5,9	92,5	5,9	1,0	0,5	0
34-6	Cuarzoarenita	416	Buena	70,6	-	20.2 (Ht)	9,1	98,2	1,3	99,5	0,0	0,0	0,3	0
34B-1	Cuarzoarenita	440	Buena	65,2	-	14.3 (Ht)	20,4	95,4	2,0	97,4	0,0	0,0	0	2,6
II-1'	Cuarzoarenita	425	Buena	61,6	-	10.6 (Ht)	27,8	93,9	2,8	96,7	0,0	0,0	0	3,2
II-1	Subarcosa	433	Buena	82,6	-	6.9 (Ht)	10,3	89,6	3,6	93,2	6,3	0,2	0	0
Pat 4/1	Sublitarenita	537	Moderada	56,4	-	7.6(arcillas)	25+(11)	86,1	5,0	91,1	2,0	1,3	0,7	5.3líticos#
20	Cuarzoarenita	449	Buena	47,8	-	11.5(arcillas)	22.7+(17.8)	95,3	0,5	95,8	0,9	0,0	0,5	2.8líticos#
4 CO	Subarcosa	486	Buena	47,7	-	6.0(arcillas)	45+(2)	87,4	4,3	91,7	2,0	2,6	1,0	0.4líticos#
34-5	Subarcosa	447	Buena	48,0	-	8.7(arcillas)	19.2+(10.5)	82,5	4,4	86,9	8,0	3,6	0,7	0.7líticos
34-5b	Sublitarenita	410	Buena	45,4	8.0 pel	4.2(arc)/11.2(Ht)	11+(20.5)	89,2	2,2	91,4	-	0,5	3,2	5.0líticos#
II-2	Sublitarenita	328	Moderada	73,4	-	7.6(arcillas)	18,9	72,2	2,5	74,7	2,9	2,9	1.2(zircón)	18.3líticos#
34-2	Subarcosa	489	Moderada	55,0	-	12.7(arcillas)	13.3+(2.6)	87,4	1,1	88,5	4,8	1,5	0.7(zircón)	4.5líticos#
22	Sublitarenita	575	Buena	43,1	-	11.4(arcillas)	24.5+(20.8)	80,6	1,6	82,2	4,0	2,0	6+0.4(zircón)	7.7líticos#
34-1	Sublitarenita	541	Moderada	51,8	-	16.5(arcillas)	13.9+(17.9)	91,0	2,5	93,5	0,7	0,0	0,4	5.4líticos#
Pat 1/2	Grauvaca Fd	515	Moderada	41,4	30.1 pel	7.2(arcillas)	15.3+(6.0)	79,3	5,2	84,5	8,0	2,3	0,5	5líticos#
Pat 1/3	Grauvaca Fd	536	Moderada	38,0	24.3 pel	20.2(arcillas)	11.7+(7.0)	89,0	-	89,0	2,0	3,0	1,0	1.0líticos#
Pat 1/6	Grauvaca Fd	352	Moderada	43,5	34.1 pel	-	21+(1.4)	87,0	0,7	87,7	2,6	5,2	3,0	2.0líticos#
Tac 1/3	Grauvaca Lítica	415	Moderada	52,3	20.2 pel	13.0 (CaCO3)	6.5+(8.0)	72,0	20,2	77,1	4,0	5,5	2,0	11.4líticos#

Tabla 3. Características petrográficas de las areniscas del Acuífero Guarani.

* La porosidad (), corresponde a la porosidad secundaria. ** Si no se indica otra cosa se trata de zircón y rutilo principalmente. Ht: hematina; #: clastos que se componen de posible vidrio volcánico alterado a clorita de grano muy fino. Qm = Cuarzo monocristalino, Qp=Cuarzo policristalino, Qt= Cuarzo total.

Unidades Hidrogeológicas	Porosidad total (m) (%). Método petrográfico			Retención específica (mr)	Porosidad efectiva (me) (%). Fórmula Briggs y Shantz		
	Media	Máx.	Mín		Media	Máx.	Mín
Rivera	17	28	9	3,18	14	25	6
Tacuarembó	15	24	6	5,57	9	18	0,9

Tabla 4. Porosidad total y efectiva (%) para areniscas de la Unidad Rivera y Tacuarembó.

de feldespatos con respecto a las anteriores. Los fragmentos líticos se componen de posible vidrio volcánico alterado a clorita de grano fino. La porosidad total en estas areniscas es de origen primario con valores que varían desde 6% a 24%, siendo el promedio de 15%. Se observa también porosidad secundaria, no efectiva, generada principalmente por disolución de feldespatos, se trata de poros discontinuos y aislados que aumentan la porosidad total al 27%.

Porosidad y permeabilidad

Se presenta a continuación una tabla con los valores de porosidad total y efectiva para las areniscas aflorantes en el área de estudio, obtenidos por análisis

petrográfico. En ella, se puede observar como la Formación Rivera presenta valores más altos no solo de porosidad total sino también de porosidad eficaz que los de la Formación Tacuarembó. El valor medio de porosidad total obtenido para la primera es de 17% con máximo de 28% y mínimo de 9%, mientras que para la Formación Tacuarembó el valor medio de la porosidad total es de 15% con máximo de 24% y mínimo de 6%. Para determinar la porosidad efectiva, se calculó la retención específica, considerando nulo el término con porcentaje de arcilla. El valor medio de la porosidad efectiva para las areniscas de la Formación Rivera es de 14% con un máximo de 25% y un mínimo de 6%. En el caso de la Formación Tacuarembó el valor

Autores	Perforación	Prof. (m)	Unidad Hidrogeológica	T (m ² /día)	S	q (m ³ /h/m)
Pessi, Hardi (1995)	OSE 10.4.005		Rivera – Tacuarembó	169	2,7 x10 ⁻³	2,3
Pessi, Hardi (1995)	OSE 10.4.007		Tacuarembó	70 a 120	0,5 a 1,5 x10 ⁻³	2,0
Pessi, Hardi (1995)	OSE 10.4.016	70	Rivera	242 a 300	2,5 x10 ⁻⁴	6,0
Montaño et al (1998)	OSE 724/1	84,50	Rivera-Tacuarembó	155	x10 ⁻³	3,4
Montaño et al (1998)	OSE 1161	51,30	Rivera	140	x10 ⁻³	2,7
Montaño et al (1998)	OSE 961/1	102,50	Rivera	151		3,4
Pérez & Rocha (2001)	OSE 10.4.034	53	Tacuarembó	37,5	5,02 x10 ⁻³	1,8

Tabla 6. Determinación de T, S, q, de diversos autores.

medio de la porosidad efectiva es de 9% con un máximo de 18% y un mínimo de 1%.

Ensayos de Bombeo

Con el objeto es estimar los parámetros hidráulicos de la Unidad Rivera y Tacuarembó, se realizó un ensayo de bombeo y se reinterpretaron 5 ensayos de perforaciones realizadas por la OSE, obteniéndose para la Unidad Rivera una transmisividad media de 88 m²/día, y para la Unidad Tacuarembó una media de 24 m²/día. La permeabilidad media obtenida para la UR, es de 2,7 m/día y una media de 1,4 m/día para la UT. Valores de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y caudal específico, fueron obtenidos por distintos autores.

Red de Flujo

El mapa piezométrico, se presenta en la figura 2, allí se observa que la divisoria de agua subterránea coincide prácticamente con la divisoria de agua superficial, dado que esta última actúa como ámbito de recarga preferencial. La orientación dominante de la divisoria subterránea es NS con desviación al S-SO en el tramo medio de la misma.

La dirección de flujo dominante es hacia el SE con componentes subordinadas hacia el NE, donde se incrementa notoriamente el gradiente hidráulico y hacia el O-NO en dirección a la zona de descarga natural.

El ámbito de descarga natural cuya equipotencial mas baja tiene 150 m, se ubica al O de la divisoria mencionada previamente y está controlada en la mayor parte de su extensión por el Río Tacuarembó (efluente). Presenta una orientación subparalela a la divisoria principal de agua subterránea con un flujo dominante de tipo centrípeto.

VULNERABILIDAD Y RIESGO

Para determinar la vulnerabilidad en el área aflorante del Acuífero Guaraní, se utilizó el método GOD, propuesto por Foster (1987).

El resultado de aplicar éste método para las unidades del Acuífero Guaraní aflorante, se exponen en la tabla 7. Allí se puede apreciar los índices de vulnerabilidad ponderados, resultando para la Unidad Rivera alta en niveles de agua inferiores a los 20 m y media para niveles de agua

superiores a este. En lo que respecta a la Unidad Tacuarembó los resultados son similares, encontrándose vulnerabilidad alta para niveles de agua inferiores a 10 m y media para niveles de agua superiores a los 10 m. Los índices de vulnerabilidad obtenidos son semejantes a los obtenidos por Hirata (1997) en la Formación Botucatu y Piramboia, en el Estado de Sao Paulo. La vulnerabilidad del acuífero fue representada en un mapa de vulnerabilidad del Acuífero Guaraní aflorante (figura 3). En él se puede observar como las zonas de vulnerabilidad más alta se localizan al O y al S de la ciudad de Rivera.

Para determinar el riesgo, se utilizó el definido por Foster y Hirata (1988), como la interacción entre la vulnerabilidad natural del acuífero y la carga potencialmente contaminante aplicada en el suelo o en la superficie. La carga contaminante se refiere a la actividad humana que pudiera generar una contaminación y alterar así la calidad de las aguas subterráneas, está asociado al riesgo y no indica que la actividad este causando daño a un acuífero determinado.

Las fuentes potenciales de contaminación se clasifican en los siguientes índices: reducido, moderado y elevado peligro de generar carga contaminante (Hirata, Foster, 1988). El estudio de riesgo se focalizó específicamente en la ciudad de Rivera, allí es donde la Unidad Rivera, adquiere su mayor expresión, proporcionando al acuífero una vulnerabilidad alta a moderada, a esta situación se le agrega el bajo porcentaje de red de saneamiento (30%) y los asentamientos humanos, que generan importantes cargas contaminantes. Para poder determinar el riesgo, se identificaron las principales actividades que podrían generar contaminación a las aguas subterráneas. Siguiendo la metodología propuesta, se confeccionó un cuadro, donde se expone el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas a partir de la interacción entre la carga potencial contaminante considerada y la vulnerabilidad del acuífero (tabla 8). De allí se desprende que existe riesgo alto de contaminación al Acuífero Guaraní aflorante, debido a la falta de saneamiento, al lixiviado

Acuífero	Unidad	Profundidad del Nivel de agua	Acuífero /litología	Nivel del agua	Índice de vulnerabilidad	Clasificación
AGa	Rivera	10	0,8	0,8	0,64	Alta
		20	0,8	0,7	0,56	Alta-Moderado
		30	0,8	0,6	0,48	Moderado
	Tacuarembó	10	0,7	0,8	0,56	Alta-Moderado
		20	0,7	0,7	0,49	Moderado
		30	0,7	0,6	0,42	Moderado
		50	0,7	0,5	0,35	Moderado

Tabla 7. Índice de Vulnerabilidad. Método GOD

			Vulnerabilidad	
			Moderada	Alta
Carga Potencial Contaminante	Actividad Industrial	Reducida a Moderada	Bajo a Moderado	Moderado a Alto
	Residuos sólidos urbanos	Alto	Alto	
	Actividad minera	Reducido a Moderado	Bajo a Moderado	Moderado a alto
	Asentamientos irregulares	Alto	Alto	Alto
	Cementerios	Moderado	Moderado	
	Estaciones de servicio	Alto	Alto	Alto
	Saneamiento	Alto	Alto	Alto

Tabla 8. Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

de residuos sólidos domiciliarios, en este caso se tendrá que evaluar la situación real y estudiar medidas correctivas (figura 4 y 5). En cualquier caso, deberán ser implementadas estrategias de monitoreo adecuadas. La actividad industrial, cementerios, actividad minera representan riesgo moderado en la mayoría de los casos.

CONCLUSIONES

El AGa, está constituido por la Unidad Rivera que constituye la sección superior y la Unidad Tacuarembó constituyendo la inferior. La Unidad Rivera, esta compuesta por areniscas finas a medias, cuarzosas, bien seleccionadas, de coloración rojiza. La transmisividad media obtenida es 88 m²/día y la permeabilidad de 2,7 m²/día. La Unidad Tacuarembó, esta constituida por ciclos de areniscas finas a muy finas, cuarzosas a feldespáticas, de coloración blanquizca a rojiza alternando con ciclos pelíticos, de color grisáceo a verdoso y

niveles centimétricos a decimétricos de arcilla rojiza plástica. La transmisividad es baja variando entre 15 a 41 m²/día, con una media de 24 m²/día.

El principal uso del agua subterránea en la zona de estudio es para abastecimiento de agua potable para la ciudad de Rivera. El agua subterránea que se extrae a través de perforaciones realizadas por la OSE, constituyen el 70 a 80% del abastecimiento total.

La dirección de flujo dominante es hacia el SE con componentes subordinadas hacia el NE, donde se incrementa notoriamente el gradiente hidráulico y hacia el O-NO en dirección a la zona de descarga natural. Del estudio hidroquímico se desprende que las aguas subterráneas de la unidad Rivera y las de la Unidad Tacuarembó, se clasifican en bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas magnésicas. Con respecto a las determinaciones de campo, el pH presenta valores medios de 5,6 en la Unidad Rivera.

La vulnerabilidad del AGa, resultado de la aplicación del método GOD fue la

Uruguay un manejo y reglamentación adecuada para preservar el acuífero.

3. Establecer los radios de protección del acuífero que limiten o aseguren la no alteración de la calidad del agua del acuífero y/o la no generación de inconvenientes de interferencia.

4. En función del desarrollo y la extensión del área de plantación forestal será imprescindible realizar un estudio específico del impacto que tiene esta actividad en el acuífero.

5. Formar un comité científico que tenga por finalidad lograr un acuerdo sobre la correlación de las formaciones geológicas

y acuíferas del área transfronteriza.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría General del Proyecto Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Fondo Universidades (Fondo de Cooperación entre el Banco Mundial y el Gobierno de los Países Bajos (BNPP)).

Merecen un agradecimiento especial por su colaboración, el Lic. A. Pérez, el Dr. C. Gaucher, la Lic. E. Peel, Lic. M. Montañó Lic. L. Chigliano, X. Lacués, V. Gianotti y el Lic. Y. Resnichenko.

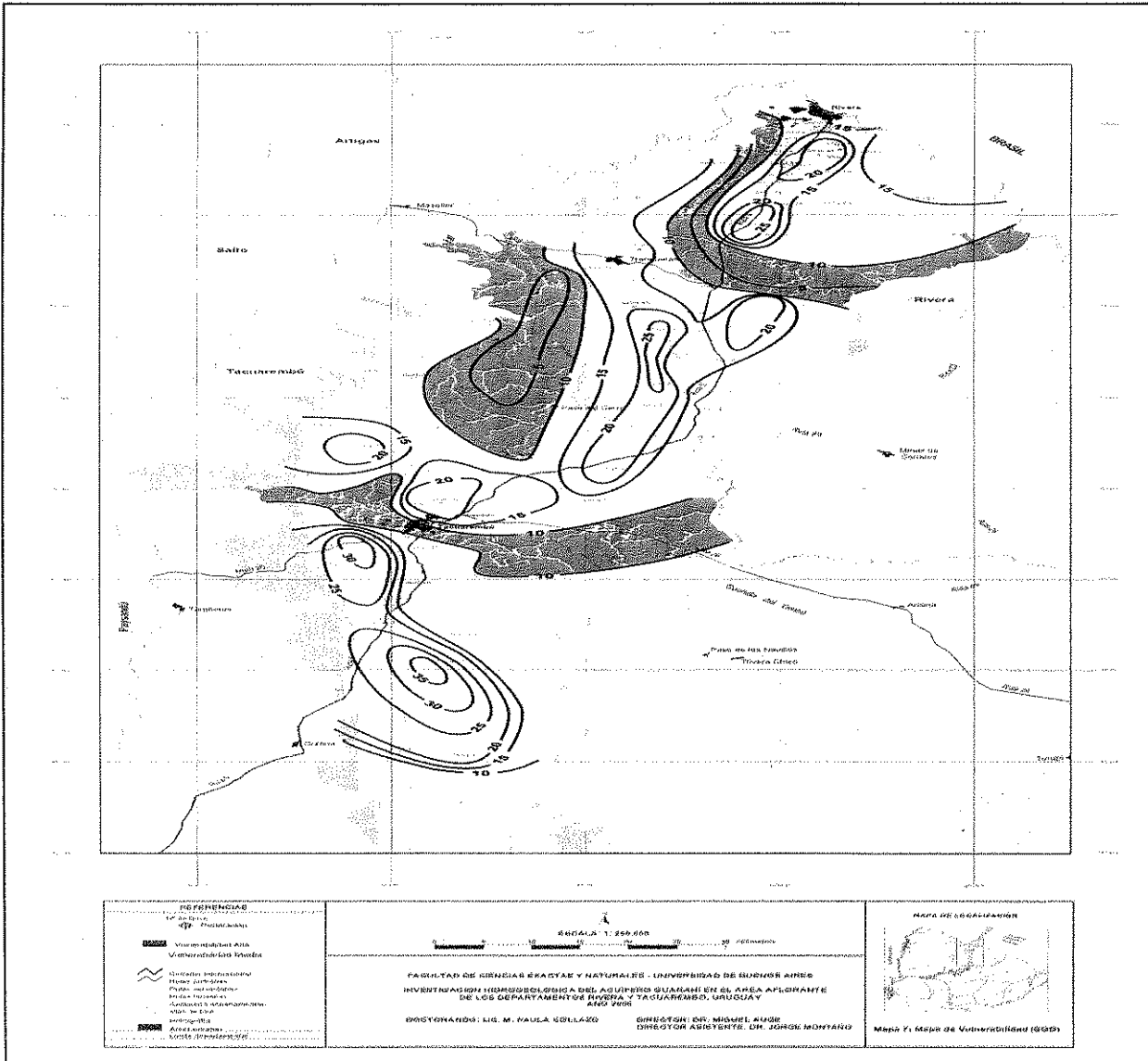


Figura 3. Mapa de vulnerabilidad (GOD)

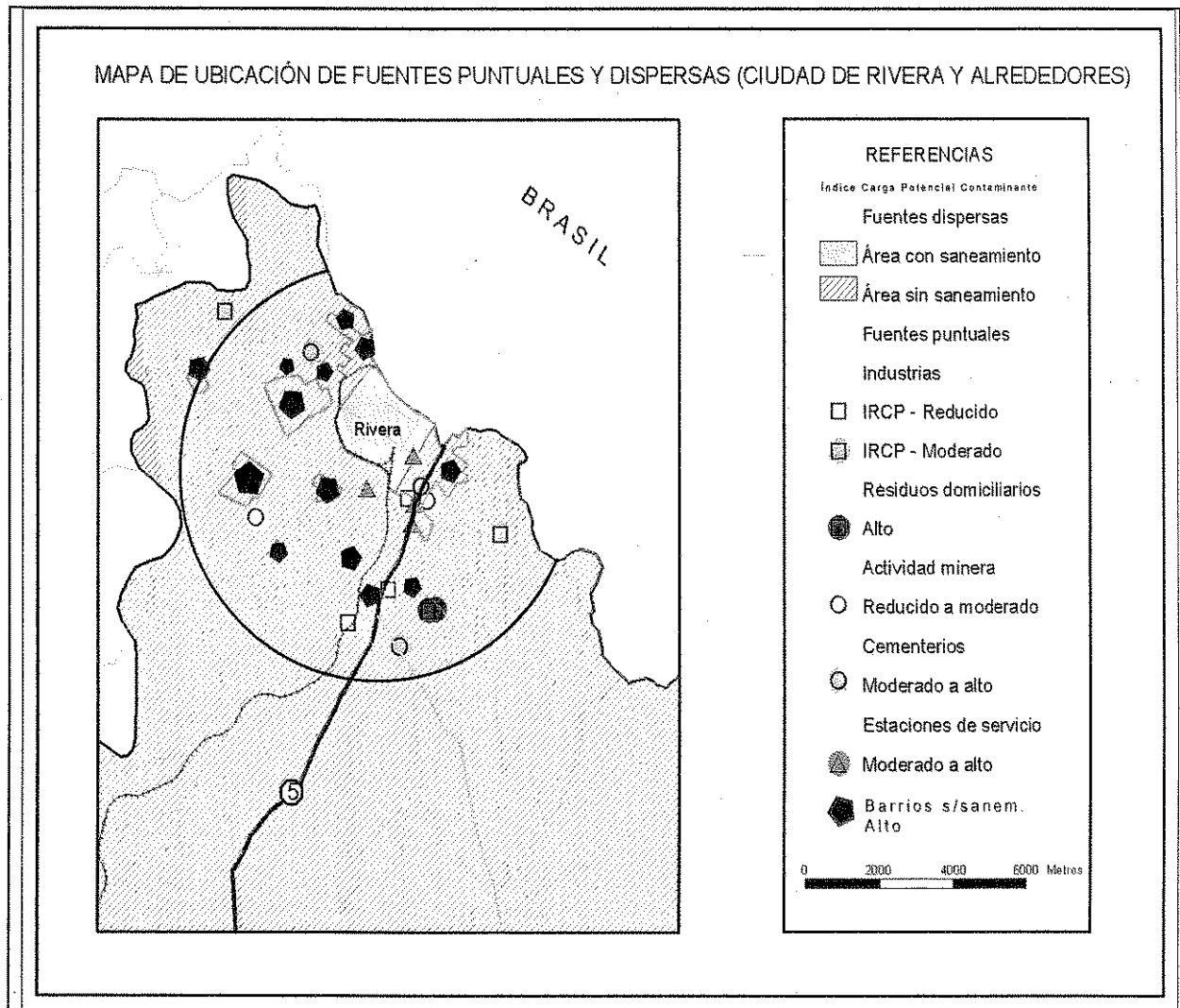


Figura 4. Mapa ubicación de fuentes puntuales y dispersas

BIBLIOGRAFÍA

Auge M. 2001. Acuífero Guaraní. Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) # 57: 53-58 y # 58: 56-60. Buenos Aires.

Auge M. 2001. Vulnerabilidad de acuíferos semiconfinados. Ensayo preliminar. Red CYTED de Vulnerabilidad de Acuíferos. Inéd: 1-4. La Plata.

Auge M. Hirata R. y F. López Vera. 2003. Vulnerabilidad a la contaminación con nitratos del Acuífero Puelche en La Plata - Argentina. CEAL. Inéd: 1- 201. Madrid.

Bossi, J. et al. 1998. Carta Geológica del Uruguay. Esc. 1/500.000. Montevideo, Uruguay.

Bossi, J. et al. 2001. Carta Geológica del Uruguay. Esc. 1/500.000. Presentada en le 11º Congreso Latinoamericano de Geología, 3º Congreso Uruguayo de Geología. Montevideo, Uruguay.

Custodio, E, Llamas, E. 1983. Hidrogeología Subterránea. Tomo 1 y 2. Ed. Omega. España.

Decoud, P, Rocha, L. 2000. Aportes a la hidráulica subterránea del Acuífero Guaraní

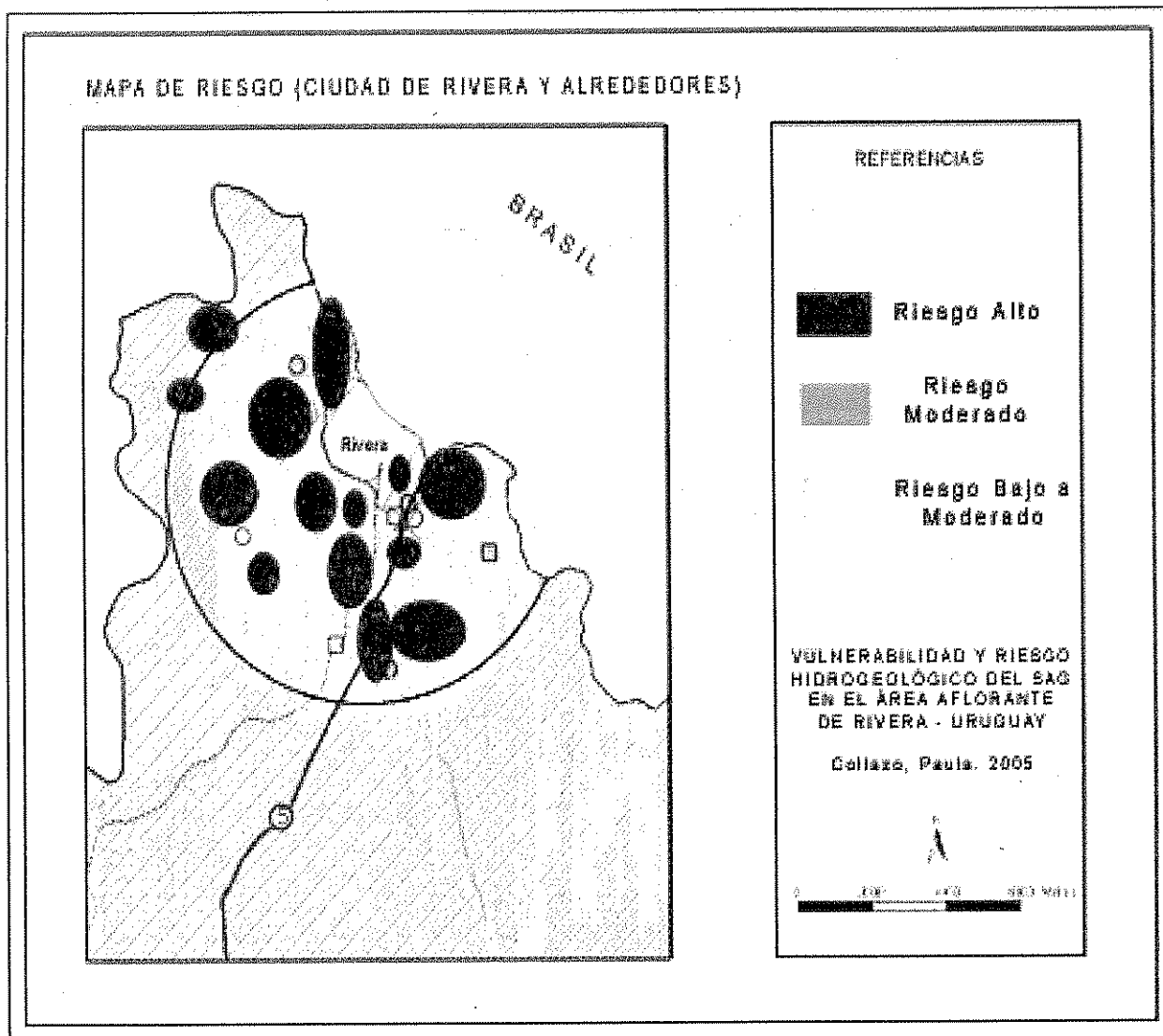


Figura 5. Mapa de Riesgo

en el NW del Uruguay. I Congreso Mundial Integrado de Águas Subterráneas. Pp.284. Ceará, Brasil.

Fili M., Rosa Filho E., Auge M., Montaña J. y Tujchneider O. 1998. El Acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Inst. Tecnol. Geomin. de España. Vol. 109 # 4: 73-78. Madrid.

Foster S. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution, risk and protection strategy. TNO Comm. on Hydrog. Research. Proceed. and Information # 38: 69-86. The Hague.

Foster, S., R. Hirata 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. CEPIS: 1-81. Lima.

Hardi, G., Pessi, M. 1995. Estudio Hidrogeológico de Rivera. Informe Técnico. OSE.

Hirata, et al. 1997. Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterráneas no Estado de São Paulo. Volume I. IG/CETESB/DAEE. São Paulo.

Montaña, J. et al. 1998. Acuíferos

Regionales en América Latina. Sistema Acuífero Guaraní. Capítulo argentino-uruguayo. UNL. ISBN 987-508-033-0.

Montaño, J., Pessi. 1985. Estudio Hidrogeológico Rivera. Informe Técnico. OSE.

Pessi, M., Hardi, G. 1998. El sistema acuífero Tacuarembó en la ciudad de Rivera, Uruguay. 4to Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. ALHSUD, Montevideo-Uruguay. pp.460-468

Perez, A., Rocha, L. 2002. Aportes al Conocimiento del Acuífero Guaraní. Área ciudad de Rivera – Uruguay. XXXII IAH & VI ALHSUD “Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano”. Mar del Plata –Argentina. pp.598-605.

Santa Ana, H. 2004. Análise Tectono-Estratigáfica das Sequencias Permotriasica e Jurocretácea da Bacia Chacoparanaense Uruguaya. Tesis. De Doctorado. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro (SP)

