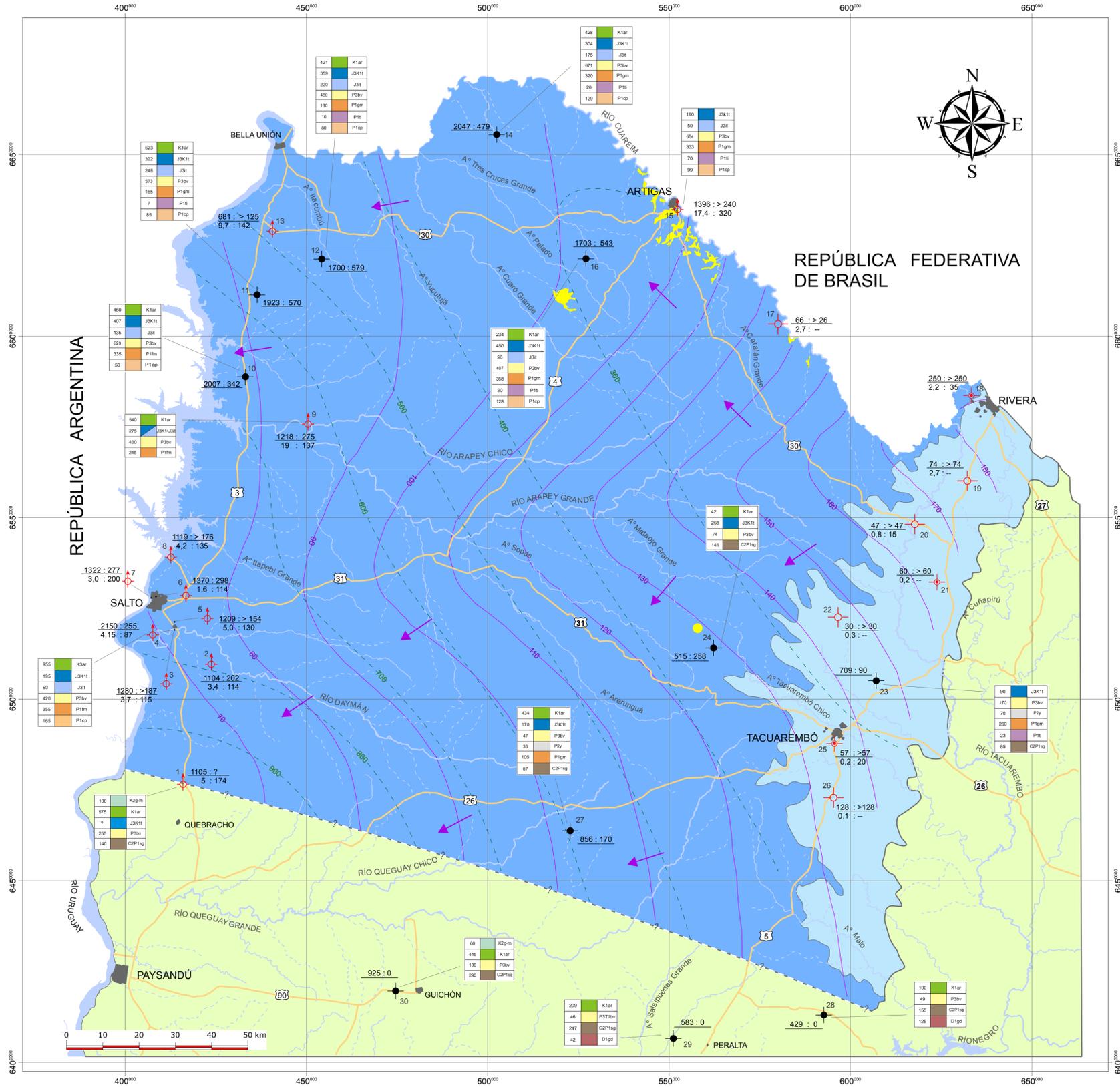
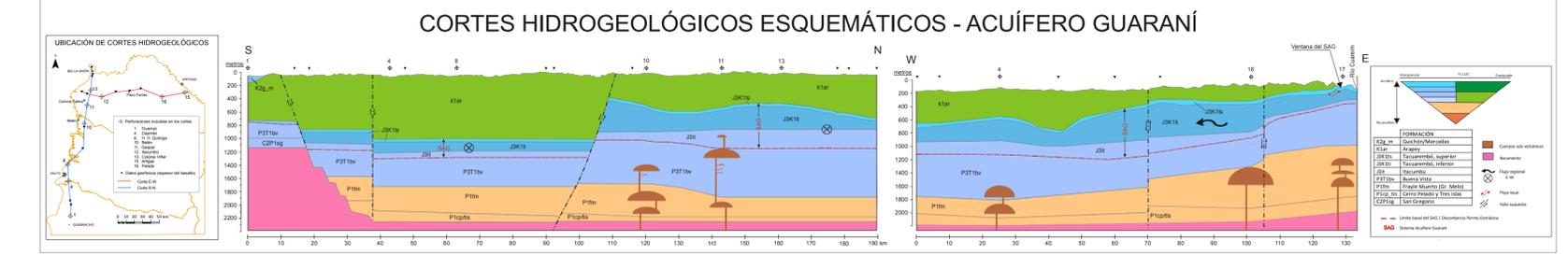
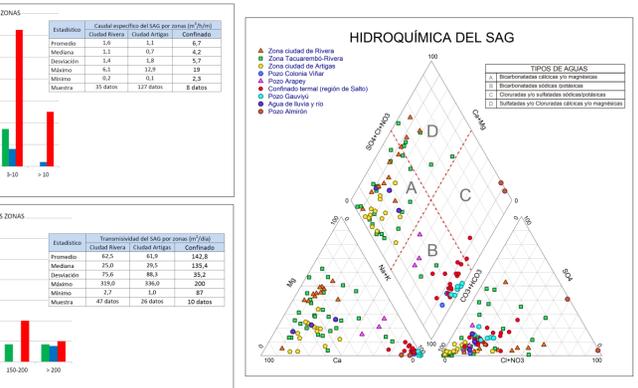
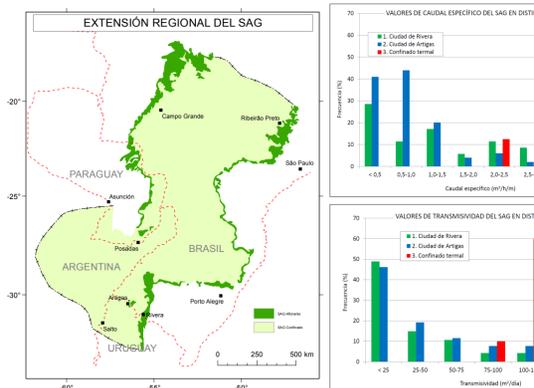
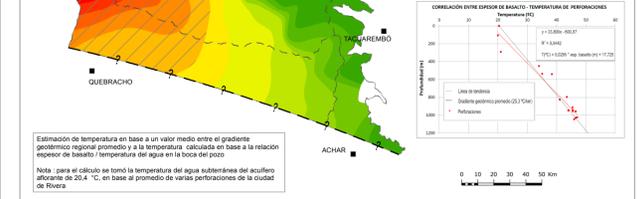
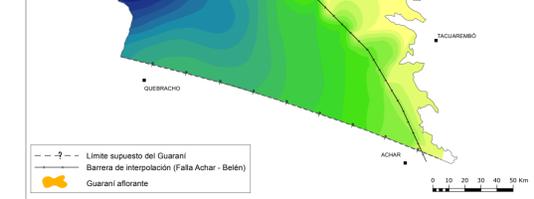
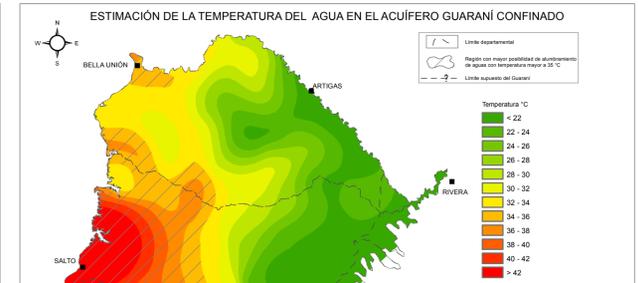
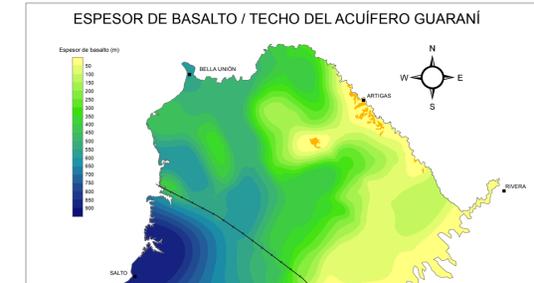


MAPA DEL SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ EN URUGUAY



REFERENCIAS DEL MAPA

Profundidad del pozo (m)	Espesor del SAG (m)
2150 - 255	115 - 87
1700 - 579	170 - 130
1218 - 275	19 - 137
1119 - 176	4.2 - 135
1280 - 187	3.7 - 115
1105 - 174	5 - 174
1104 - 202	3.4 - 114
1370 - 298	1.6 - 114
1209 - 154	5.0 - 130
1322 - 277	3.0 - 200
4.2 - 135	4.2 - 135
1119 - 176	4.2 - 135
1280 - 187	3.7 - 115
1105 - 174	5 - 174
1104 - 202	3.4 - 114
1370 - 298	1.6 - 114
1209 - 154	5.0 - 130
1322 - 277	3.0 - 200



EL ACUÍFERO GUARANÍ EN URUGUAY

Aspectos Generales

El Sistema Acuífero Guarani - SAG (Acuífero Gigante del Mercosur) es un enorme reservorio mundial de agua dulce subterránea que se extiende por cerca de 1.000.000 km² en América del Sur, abarcando partes de Brasil (87,4%), Argentina (20,8%), Paraguay (8,0%) y Uruguay (3,7%). Este acuífero está formado por las rocas sedimentarias mesozoicas continentales clásticas que ocurren en la cuenca del Paraná/Chocoyense, limitadas en su base por una discordancia regional Fierro-Ecrotática, y en el tope por dorsales Eocretácicas [Consortio Guarani - 2008]. Así definido, el SAG en Uruguay, está integrado por la Formación Tacuarembó de edad Jurásico Tardío-Eocretácica y por la Formación Tacuambú Jurásico Tardío. Algunos trabajos incluyen también dentro del SAG a los sedimentos pesantitos Permianos tardíos, subyacentes a las unidades Tacuarembó e Itacumbú, conocidos en Uruguay como Formación Buena Vista.

Aspectos geológicos

Las unidades geológicas/hidrogeológicas que integran el SAG en Uruguay forman parte de la pila volcánica-sedimentaria que rellena la cuenca Norte ubicada en el centro-norte del país desde el Cretácico hasta el Cenozoico, y se corresponde con extremo sur de la cuenca sedimentaria del Paraná. Dichas unidades sedimentarias que conforman el acuífero en nuestro país presentan las siguientes características: La Formación Tacuarembó, miembro superior, de origen eólico, está integrada por areniscas finas a medias, cuarzozas y bien seleccionadas. Su espesor en general no supera los 50 m, con algunas regiones, como en Artigas, que podrían alcanzar los 100 m (Gagliardi S. 2008). El miembro inferior de dicha formación está integrado por arenas muy finas a media, cuarzo-feldespáticas, con grado de selección variable. Es común la presencia de niveles pelíticos y arcillosos, así como arenas con matriz limo-arcillosa. El ambiente de deposición del miembro inferior es fluvio-lacustre, con episodios eólicos intercalados y su potencia en general no supera los 250 m. La formación Itacumbú está integrada por areniscas finas a medias subilíticas y arcólicas, muy micáceas con intercalación de estratos pelíticos y ocasionales niveles arcillosos, margosos y carbonatados. Esta unidad se desarrolla en subsuperficie y es de origen fluvio-lacustre [de Santa Ana H. & Veroslavsky G. 2004]. Su espesor máximo conocido es de 250 m.

Extensión y confinamiento

El SAG ocupa un área de 40.000 km² en la región norte y noroeste del Uruguay, que corresponde al 23 % de la superficie del país y al 3,7% del total del acuífero transfronterizo Guarani. La mayor parte del SAG se encuentra confinado (87 %) por lavas cretácicas de la provincia basáltica continental del Paraná (Formación Araspey en Uruguay), que pueden llegar a espesores superiores a 1 km. En el sector sur-oriental el SAG aflora en una extensión regional alargada en sentido N-S, con 180 km de largo y unos 35 km de ancho (alrededor de 5.300 km²). Además existen pequeñas "ventanas" del SAG rodeadas de la formación Araspey, denominadas ventanas sedimentarias. La más importante ventana del SAG en Uruguay, se localiza al SE de la ciudad de Artigas, aparte de las ventanas de Paguro, Rincón de Pacheco y Pape Núñez.

Circulación de agua en el SAG

La zona aflorante del SAG constituye un importante ingreso directo de agua al sistema, estimándose, según diferentes trabajos, que la recarga está entre el 2 al 9 % del promedio anual de precipitaciones. En las zonas adyacentes a la zona aflorante del SAG, formadas por espesores relativamente pequeños de basalto, se produce una recarga indirecta del acuífero poroso a través de fracturas y zonas alteradas de la lava. El flujo de agua subterránea a nivel regional, en la zona confinada, es en sentido de E a W, con variaciones locales en la región aflorante del acuífero. En el sector occidental del SAG confinado existen una zona de surgencia, con incrementos de los niveles estáticos "virtuales" hacia el río Uruguay, sobre todo en los alrededores de la ciudad de Salto, con presiones de cargas en algunas perforaciones mayores a 4,0 kg/cm² y caudales de surgencias que alcanzan los 230 m³/día. El SAG aflorante en las zonas de Rivera y Artigas se presenta como un acuífero múltiple, heterogéneo y anisótropo en donde se pueden diferenciar dos partes: a) una superior o acuífero somero libre (Rivera), con valores moderados/altos de permeabilidad, pH y conductividad eléctrica relativamente bajas y b) una parte inferior o acuífero profundo semi-confinado, con diferentes niveles, de permeabilidad variable, pH y conductividad eléctrica mayor (Pérez A. et al 2000, Pérez A. & Rocha L. 2002, Rodríguez L. et al 2008, Gagliardi S. 2008). La circulación del agua a nivel regional en el SAG estaría controlada por la compartimentación tectónica-volcánica relacionada a la actividad subvolcánica Cretácica (filones y sill) y a los esfuerzos tectónicos que experimento la región: grandes fallas principalmente de dirección NV-SE, subsidencia y levantamientos de bloques, altos estructurales. Las variaciones hidráulicas e hidroquímicas en los diferentes sectores del SAG en Uruguay serían el reflejo de un sistema heterogéneo producto de la compartimentación del acuífero. (Montaña J. et al. 2002)

Aspectos hidroquímicos

Según los antecedentes hidroquímicos el miembro superior de la formación Tacuarembó/acuífero superior o Rivera, tiene valores de transmisividad entre 140 a 300 m²/día y caudales específicos entre 0,4 y 5,3 m³/m²/día. El miembro inferior/acuífero profundo presenta valores de transmisividad entre 25 y 120 m²/día y caudales específicos entre 0,8 y 2,4 m³/m²/día (Montaña J. & Pessa M. 1988; Pérez A. y Rocha L. 2002; Rodríguez L. et al 2008). Para los datos publicados en diferentes trabajos, sin discriminar nivel de captación, los valores de transmisividad varían entre 2,7 y 319 m²/día, con una mediana de 25 m²/día y los valores de caudal específico varían entre 1,2 a 6,1 m³/m²/día, con una mediana de 1,1 m³/m²/día. Los caudales máximos alcanzados en esta zona, por parte de los pozos de OSÉ, están en el entorno de los 60-70 m³/día.

2. Zona de Artigas

En esta zona el principal nivel explotado es el acuífero Rivera (Tacuarembó miembro superior) y algunos pozos profundos también captarían agua del miembro inferior (Gagliardi, S. 2008). Todo el acuífero presenta diferentes niveles, siendo el de mayor transmisividad el nivel más profundo entre 150 a 210 m (Pérez et al 2000). El valor de los pozos más profundos explotados por OSÉ están entre 5 a 488 m²/día con una mediana de 160 m²/día. Se puede inferir para la parte más superficial del acuífero una transmisividad del orden de 5 a 20 m²/día (Gagliardi, S. 2008).

Los caudales específicos varían entre 0,1 a 13 m³/m²/día, con una mediana de 0,7 m³/m²/día. Los caudales máximos alcanzados en esta zona, por parte de los pozos de OSÉ, están en el entorno de los 130 m³/día.

3. Zona Terminal confinada

En esta zona el SAG alcanza los mayores espesores, con potenciales que podrían superar los 400 m en el sector nor-oeste y está confinado por hasta más de 1 km de basalto en la zona de la ciudad de Salto. Los datos de transmisividad de la literatura presentan una enorme dispersión, pero tomando los promedios y excluyendo los valores extremos, está se encuentra entre 80 y 200 m²/día, con una mediana de 135 m²/día, valores coincidentes con los de Olegía & De los Santos 2003 (87 a 198 m²/día). Mientras tanto los caudales específicos están en el entorno de 4 m³/m²/día en el bloque Salto, pasando a más de 10 m³/m²/día en el bloque Araspey. Los caudales de surgencia oscilan entre 60 y 230 m³/día.

Termalismo e hidroquímica del acuífero Guarani en Uruguay

Dentro del área confinada la ocurrencia de termalismo por gradiente geotérmico (promedio para la zona 25,3°C/km, de Lima Gomes 2009) se da en el eje del río Uruguay con temperaturas que llegan hasta los 47°C, en pozos surgentes en la zona de Salto. En el área de afloramiento de la región de Rivera la temperatura promedio del agua subterránea es de 20°C, aumentando paulatinamente hacia el oeste con el espesor del confinamiento (existe una fuerte correlación positiva entre temperatura del SAG y espesor del basalto confinado).

En lo que respecta a la hidroquímica y referido a las perforaciones profundas de Uruguay Carrizo et al - 2010, propusieron cinco ambientes termales, que ordenados de norte a sur son: Araspey, Salto, Guaviyú, Guichón y Paso Ulieste. Los mismos se diferencian por la composición hidroquímica de las aguas que son bicarbonatadas clóricas en el norte, en tanto al sur se orientan en bicarbonatadas sulfatadas y sodio y aumentan la presencia de sulfatos. Las aguas subterráneas de los ambientes Araspey y Salto están contenidas en acuíferos jurásico-cretácicos del SAG, en tanto para los tres restantes ambientes (Guaviyú, Guichón y Paso Ulieste), los acuíferos están en formaciones geológicas permo-carboníferas pre-SAG. Excepto en el bloque Araspey, se han detectado valores altos de As en el corredor termal, incrementándose estos valores de norte a sur, midiéndose hasta 85 µg/L en la perforación Guaviyú. El As es aportado por las formaciones eopaleozoicas pre-SAG Buena Vista y Yaguarí, cuya fuente son las cenizas volcánicas contenidas en esos sedimentos (Gastmann, D. et al. 2010).

La conductividad eléctrica, que se relaciona en forma directa con el contenido de sales, es de un promedio de 215 µS/cm en la zona de Rivera (valor promedio 6,4 unidades de pH) y de un promedio de 300 µS/cm en la zona de Artigas (valor promedio 7,5 unidades de pH). El pH es ácido en la zona de Rivera (valor promedio 6,4 unidades de pH) y ácido a ligeramente básico en la zona de Artigas (valor promedio 7,5 unidades de pH).

Fuentes de Información

Administración de las Obras Sanitarias del Estado (OSE), División Aguas Subterráneas (2016), Pozo 10 a 2008, Pozo Club de Rivera, Montevideo; OSE, Barrios, A. (2011), Geología de la región entre el río del Departamento de Tacuarembó, Montevideo; Facultad de Ciencias, 2015 Trabajo final de Licenciatura en Geología, Biblioteca Facultad de Ciencias, Montevideo

Castro, W. (1990), Estudios sobre los recursos hídricos del Uruguay, CEPAL, Programa de recursos naturales y energía.

Carroll, R., Stapp, M., & Massa E. (2010) Caracterización hidroquímica de las regiones termal de Uruguay. In: Actas VI Congreso Uruguayo de Geología, Uruguay, 2010.

Colzati, A. (2002) Investigación hidrogeológica del acuífero Guarani en el área aflorante de Rivera y Tacuarembó. Tesis de posgrado en USA - Departamento de Geología Universidad de Colorado.

Consortio Guarani (2008) - Modelo Rivel de hidrología y Simulación numérica de la zona no saturada en bases hidrográficas. Tomo 4. Volumen 4. Proyecto para la Protección Ambiental del Sistema Acuífero Guarani (SAG).

Consortio Guarani (2009) - Simula sobre la geología del sistema acuífero Guarani, informe final. Tomo 1, Volumen 5. PISAG de Santa Ana H. & Veroslavsky G. (2004). La tectónica sedimentaria de la cuenca Norte de Uruguay. Edad Jurásico - Cretácico temprano. Cuencas sedimentarias Uruguay - Mesozoico. Ediciones OISEA - SAG, Facultad de Ciencias, Uruguay.

de Santa Ana H. et al (2004). Cuenca norte: Estratigrafía del Carbonífero-Cretácico. Cuencas sedimentarias de Uruguay. Paleozoico. Ediciones OISEA - Facultad de Ciencias, Uruguay.

Dezobry, J. & Rocha, L. (2000). Aportes a la hidrología subterránea de acuífero Guarani en el NW del Uruguay. In: Joint World Congress on Groundwater Hydrology. Inform Final del Congreso.

Gagliardi, S. (2008). Caracterización geológica e hidrogeológica de la ciudad de Artigas y sus alrededores en Uruguay. In: Joint World Congress on Groundwater Hydrology. Final del Congreso.

Gagliardi, S. et al (2015). Evaluación y actualización de los modelos del SAG de zonas Piloto de Uruguay. Fundación Riocard, DRAGUA.

Deplo, del Agua - ODEAR, Salto.

Gastmann, D. et al (2010). Influencia del arcopélio hidrogeológico sobre las condiciones de arsénico en aguas subterráneas a lo largo del corredor termal de Uruguay. In: Actas del VI Congreso Uruguayo de Geología, Uruguay, 2010.

Hezren, W. et al (1989 - 2002). Impacto hidroquímico de Uruguay - DINAMIG, y hidrología citada en esas publicaciones.

Pérez, A. y Rocha, L. (1988) Caracterización hidroquímica de las regiones termal de Uruguay. Revista ABAS, Vol. 1, N.º 1. BRAS.

Montaña, J. et al (2002). Importancia de las estructuras geológicas en el modelo conceptual del sistema acuífero Guarani - Área Uruguay. Revista ABAS, Vol. 1, N.º 1.

Olegía, A. (2002) Contribución a la hidrología del acuífero Guarani en el sector Uruguay. Un enfoque integral (Tesis). Olegía, A. y De los Santos J. (2003). Estudio de la determinación de parámetros hidrográficos en pozos del acuífero Guarani (Uruguay). Discusión comparativa. In: Congreso Argentino de Hidrogeología, Rosario, Argentina.

Pérez, A. y Rocha, L. (2002). Importancia de las estructuras geológicas en el modelo conceptual del sistema acuífero Guarani - Área Uruguay. Revista ABAS, Vol. 1, N.º 1.

Programa Marco para la gestión sostenible de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata, en relación al cambio climático (2016). Documento Proyecto Piloto: Dinamismo, conflictos en el uso de agua en la cuenca del río Cuareme-Quarí, Capítulo 2.6 (versión para validar).

Pérez A. et al (2001). Comportamiento del acuífero Guarani en la ciudad de Artigas, Uruguay. In: Joint World Congress on Groundwater Hydrology. Inform Final del Congreso.

Pérez A. & Rocha L. (2002). Aportes al conocimiento del acuífero Guarani. Área ciudad de Rivera - Uruguay. Groundwater and Human Development. Boca Raton, E. Martínez, D. Bascaglia.

Rodriguez, L. et al (2008). Desarrollo hidrogeológico para la gestión de la Recarga y la Vulnerabilidad del Sistema Acuífero Guarani en Araspey y Tacuarembó. Inform Final del Congreso.

Rodriguez, L. et al (2010). Sistema de Información Geográfica - Sistema de Información Geográfica - SAG. Tomo 4. Volumen 5. PISAG. UNIVIA Internacional (2008). Hidrogeología del acuífero Guarani - Salto. Tomo 4. Volumen 2. PISAG.

SINVA (1999). Contribución al conocimiento de la geología e hidrogeología del sistema acuífero de la cuenca Chocoyense Oriental Argentina.

