



II Congreso de Agua Ambiente y Energía, AUGM

AVANCES EN EL ESTUDIO DEL SISTEMA HIDROLÓGICO ALTAMENTE ANTROPICIZADO: ARROYO SAN ANTONIO – ACUÍFEROS SALTO Y ARAPEY.

Andrés Saracho ^a, Julián Ramos ^{a*}, Gonzalo Sapriza ^a, Elena Alvareda ^a, Gonzalo Blanco ^b, Guillermo Dubosc ^a, Nicolás Blanco ^a, Vanessa Erasun ^a, Rafael Banega ^a, Martín Gaye ^a, Paola Russo ^a, Esteban Abelenda ^c, Pablo Gamazo ^{a*}

^a Departamento del Agua, CENUR LN, Universidad de la República, Uruguay. Rivera 1350, Salto, Uruguay. Tel: +59847320410, agua@unorte.edu.uy

^b Centro Universitario Región Este, Treinta y Tres, Universidad de la República, Uruguay, Ruta 8 km 281. Tel: +598 4452 3753, blancogonzalo2@hotmail.com

^c Gabinete de Dirección, Dirección Nacional de Minería y Geología

Ministerio de Industria, Energía y Minería, Hervidero 2861 - Montevideo, Uruguay
Tel. +598 22001951 int. 716, esteban.abelenda@miem.gub.uy

RESUMEN

La búsqueda y caracterización de acuíferos se ha incrementado en las últimas décadas, las posibles causas atienden al panorama mundial de escasez de agua y fenómenos de sequía que afectan intensamente al sector agropecuario, principal sector de Uruguay, en el que se esperan los mayores impactos debidos al cambio climático. Los cursos superficiales y subterráneos se encuentran cada vez más comprometidos no solo en su cantidad sino también en la calidad de sus aguas como es el caso del sistema hidrológico Arroyo San Antonio-Acuíferos Salto y Arapey en el Departamento de Salto. El área estudiada del sistema abarca zonas urbanas y semiurbanas asociadas a la ciudad de Salto y zonas rurales con diferentes tipos de actividad agropecuaria (hortifruticultura, cultivos de secano, feedlots y campo natural). En la zona también se encuentra ubicado el vertedero municipal. Actualmente los permisos para tomas de agua del arroyo se encuentran suspendidos. Dicha capacidad es estimada a partir de coeficientes de escorrentía que simplifican en exceso el funcionamiento del sistema. El presente trabajo presenta avances para el desarrollo de herramientas de soporte a la gestión hidrológica del sistema Arroyo San Antonio – Acuíferos Salto y Arapey, mediante relevamientos geológico, geofísico, topográfico e hidrogeoquímico.

PALABRAS CLAVE: Modelación hidrológica, geofísica, hidroquímica, topografía.



INTRODUCCION

El crecimiento y desarrollo económico implica una mayor demanda de energía y recursos hídricos sobre todo en sistemas hidrológicos altamente antropizados como es el caso del Sistema Arroyo San Antonio-Acuíferos Salto y Arapey en el Departamento de Salto (Figura 1). Una adecuada y eficiente gestión de estos recursos es de vital importancia para cumplir con las demandas asociadas al crecimiento, la sustentabilidad ambiental/ecológica y adaptabilidad al cambio climático de los sistemas hídricos (Loucks, 2009).

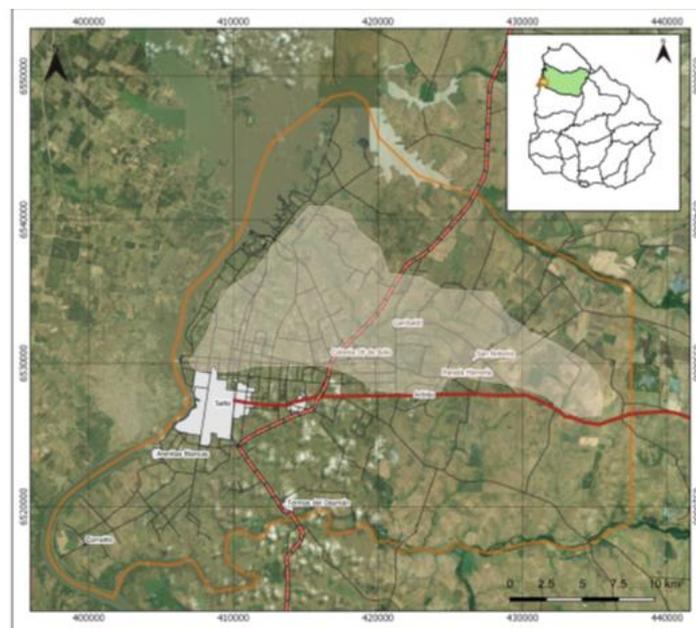


Figura 1. Área de estudio: se observa la delimitación de la cuenca del Arroyo San Antonio de color marrón claro transparente, ubicado en el Departamento de Salto.

Existen ejemplos en el mundo de sistemas hidrológicos con una gran interacción de agua superficial y subterránea, bajo una gran presión antrópica, donde por carecer de herramientas de gestión eficaces, asociadas a una mala caracterización del funcionamiento del sistema, sus recursos se han visto fuertemente afectados tanto en cantidad, calidad y biodiversidad asociada (Massuel and Riaux 2017; Evans, 2007; Custodio et al., 2002; Sapriza-Azuri et al., 2013, 2015b). Existe falta de información sobre la caracterización de algunos de los principales sistemas hidrológicos del Uruguay sobre todo de acuíferos al norte del país y los modelos hidrológicos desarrollados, sólo



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO

25 SET
al
27 2019

Montevideo



II CONGRESO DE AGUA
AMBIENTE Y ENERGÍA

AUGM



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY

en casos excepcionales han sido utilizados como herramienta de gestión (Gamazo et al., 2015a). A su vez, los modelos implementados siempre se han considerado de forma desacoplada, separando la hidrología de superficie y la subterránea. Es por ello que es necesario elaborar herramientas de gestión hidrológica basadas en modelos hidrológicos integrados que contribuyan a una maximización de los objetivos propuestos (Ross, 2017; Pulido-Velázquez et al., 2006; Cai et al., 2003; Sophocleous, 2000). El presente trabajo muestra los resultados obtenidos, hasta el momento, en el Proyecto ANII-FMV denominado: “Hacia una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Sistemas Hidrológicos Altamente Antropizados: Arroyo San Antonio - Acuíferos Salto y Arapey”.

Es por ello que el presente trabajo muestra información relevante que será soporte para los estudios de gestión integrada del sistema hidrológico propuesto, con el fin de desarrollar un modelo matemático conceptual tanto superficial como subterráneo, integrando información de diversos tipos: climática, observaciones de campo de calidad y cantidad de agua, usos de suelo y posibles cambios en el mismo por la intervención antropogénica de la zona.

METODOLOGÍA

Mediante un enfoque multidisciplinario se aplicarán sistema técnicas de prospección geofísica, medición de parámetros hidrológicos, caracterización geológica y geoquímica, e hidroquímica, para la generación de información que contribuirá al avance en el conocimiento de la interacción entre el arroyo y el acuífero, y el posible impacto de actividades antropogénicas potencialmente contaminantes en la zona de estudio.

RESULTADOS

En cuanto a la geofísica aplicada al sistema se obtuvo la caracterización geoelectrica de formaciones geológicas, mediante los métodos geofísicos SEV (Sondeo Eléctrico Vertical) y SAMT (Sondeo Audiomagnetotelérfico) implementando el método de la tomografía de resistividad eléctrica (Figura 2).

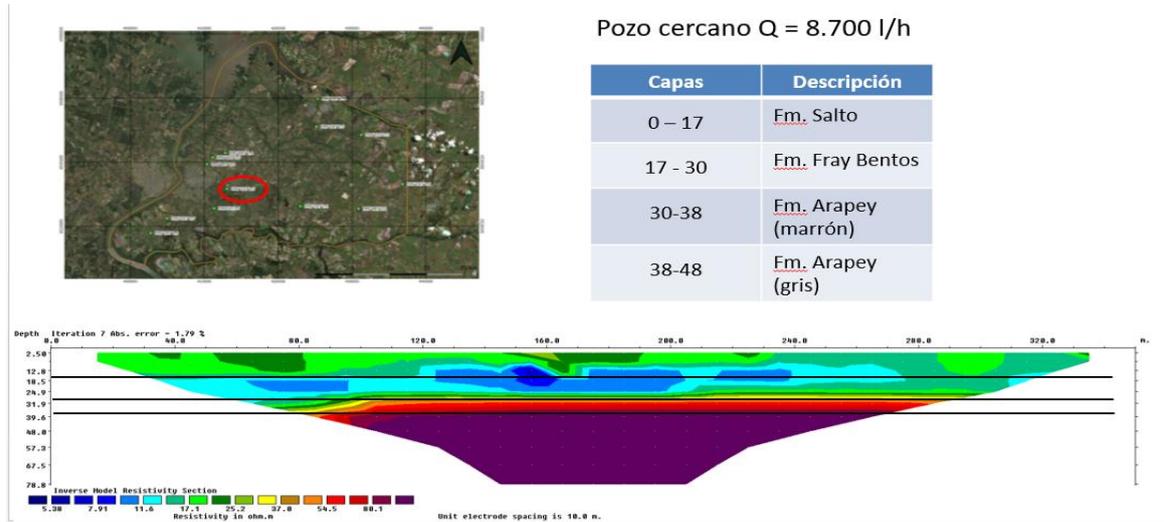


Figura 2. En la esquina superior izquierda se muestra el mapa de la zona de estudio. Esquina superior derecha datos sobre capas obtenidas del Diagrama de Tomografía FMV ERT 1.5 (debajo) indicando los resultados de perfiles de las variaciones de resistividad eléctrica en ohm.m del subsuelo (en azul zonas de baja resistividad).

En cuanto a la caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas provenientes de 20 pozos el Diagrama de Piper mostró mayoritariamente magnésicas bicarbonatadas. Los resultados de parámetros fisicoquímicos se observan en la Tabla 1. T, CE, ORP y pH se determinaron in situ en cada sitio de muestreo.

Tabla 1. Resultados preliminares de la Primer Campaña de Muestreo.

Id	Corr X	Corr Y	Acuífero	Prof. (m)	T (°C)	CE (uS/cm)	ORP (mV)	pH	Dureza (ppm CaCO ₃)	Ptot (ug/L)
P1_0	413100	6531551	Salto Arapey	42	22.5	321.35	74.0	7.73	297.5±6.1	50.0±0.0
P2_0	411114	6522647	Fm. Fray Bentos y Guichón	27.5	21.8	414.45	114.8	7.07	278.1±3.0	ND
P3_0	410256	6530114	Salto-fray bentos	50	22.0	360.75	106.9	7.24	258.7±2.4	61.5±0.7
P4_0	406491	6525556	Fm. Fray Bentos	31	23.0	274.15	113.6	6.78	62.5±9.1	ND
P5_0	409086	6527857	Fm. Fray Bentos	28	22.5	579.1	101.2	7.16	336.4±6.1	178.5±4.9
P6_0	421896	6532955	Fm Arapey	68	25.2	531.95	83.1	6.74	340.7±8.3	50.0±0.0
P7_0	407188	6523295	Salto		22.3	217.85	111.1	7.88	154.2±10.7	ND
P8_0	423041	6528528	Fm Arapey	30	21.0	710.85	132.7	6.64	424.8±9.1	50.0±0.0
P9_0	428412	6531472	Fm. Fray Bentos y	80	21.8	553.75	-50.0	6.99	342.8±3.0	ND



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO

25 SET
al
27 2019

Montevideo



II CONGRESO DE AGUA
AMBIENTE Y ENERGÍA

AUGM



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY

			Fm Arapey							
P10_0	412394	6537431	Arapey	26.2	22.5	573.4	81.9	7.09	474.4±6.1	57.0±5.6
P11_0	407590	6526971	Fm. Arapey	28	24.9	695.3	93.2	7.11	317.0±3.0	55.5±2.1
P12_0	417368	6537165	Arapey	21	22.0	532.8	105.4	7.16	327.7±2.2	78.0±0.0
P13_0	400263	6517690	Fm. Fray Bentos y Guichón	sd	25.4	575.25	110.4	6.91	254.4±6.1	50.0±0.0
P14_0	414678	6534160	Arapey	45	24.1	519.45	58.8	8.13	280.3±6.1	50.0±0.0
P15_0	403599	6519716	salto	17	22.9	471	122.1	7.55	267.4±6.1	50.0±0.0
P16_0	407911	6529765	Fm. Fray Bentos y Fm Arapey	32	22.5	480.8	95.9	7.32	310.5±2.2	59.5±6.3
P17_0	408342	6533217	Fm. Fray Bentos y Fm. Arapey	52	21.4	549.85	501	6.56	793.5±6.1	50.0±0.0
P18_0	413908	6520036	Arapey	58	21.3	683.5	109.1	7.51	226.4±9.1	ND
P19_0	410945	6525357	Arapey	39	22.6	544.75	138.3	7.04	439.9±6.0	50.0±0.0
P20_0	411021	6532229	Salto / Fray Bentos	30	22.7	391.15	84.7	7.09	267.4±6.1	50.0±0.0

*El Id indica la identificación que se le da a cada sitio, donde P corresponde a pozo y están numerados consecutivamente y luego del guion el 0 indica que corresponde a la primera campaña de muestreo. Corr X , Corr Y son las coordenadas respectivas de cada sitio. Fm significa formación, Prof. es profundidad del pozo en metros y Ptot (fosforo total). ND (no detectable)

CONCLUSIONES

Se pudo constatar que la tomografía de resistividad eléctrica permitiría diferenciar los principales horizontes geo-eléctricos presentes en el área (rocas sedimentarias, basalto fracturado y basalto masivo), lo que constituye un resultado hidrogeológico relevante para la investigación, por cuanto los dos primeros representan las zonas colectoras por excelencia en los acuíferos Salto y Arapey. Asimismo, la tomografía de resistividad eléctrica, resultó de gran utilidad para cartografiar el grado de alteración del basalto y podría ser útil a futuro para determinar la morfología de los contactos, sin embargo aún falta recabar información geológica para caracterizar las formaciones. En cuanto a la hidroquímica, las aguas provenientes del acuífero Arapey son relativamente más duras ya que presentan mayores niveles de calcio y magnesio (474.3-154.2 ppm CaCO₃) y conductividades eléctricas (CE) entre 710.85-217.85 uS/cm, siendo más salinas que las



25 SET
al
27 2019
Montevideo



II CONGRESO DE AGUA
AMBIENTE Y ENERGÍA

AUGM



provenientes del acuífero Salto, rango cuya dureza se encuentra entre 336.35-62.53 ppm CaCO_3 y cuyos valores de CE fueron entre 579.10-274.15 uS/cm. Son aguas mayoritariamente magnésico-bicarbonatadas. En cuanto a los elevados niveles de fósforo total encontrados podrían reflejar contaminación proveniente de actividades antropogénicas de la zona de estudio. La información obtenida de manera multidisciplinaria, resulta fundamental para la caracterización y construcción del modelo del Sistema Hidrológico: Arroyo San Antonio - Acuífero Salto Fm Arapey, contemplando además efectos antrópicos que servirán a la gestión integrada de los recursos hídricos en sistemas hidrológicos altamente antropizados.

AGRADECIMIENTOS

Este equipo quiere agradecer a la ANII Fondo María Viñas por la financiación para llevar adelante la ejecución del Proyecto mencionado. A DINAGUA, OSE y CEREGAS por el respaldo y la información brindada.

REFERENCIAS

- Cai, X., McKinney, D. C., & Lasdon, L. S. (2003). Integrated hydrologic-agronomic-economic model for river basin management. *Journal of water resources planning and management*, 129(1), 4-17.
- Custodio, E. (2002). Acuífer overexploitation: what does it mean? *Hydrogeol. J.*, 10, 254-277.
- Gamazo P, Ramos J, Olivera M, (2015a) evaluación y actualización de los modelos del SAG de zonas piloto de Uruguay, Informe técnico DIANAGUA
- Loucks, D. P. (2000). Sustainable water resources management. *Waterinternational*, 25(1), 3-10.
- Massuel, S. & Riaux. Groundwater overexploitation: why is the red flag waved? Case study on the Kairouan plain aquifer (central Tunisia) *J. Hydrogeol J* (2017).
- Sapriza Azuri, G. (2013). A methodology to assess the combined effect of climate change and groundwater overexploitation over the Upper Guadiana basin, Spain. Doctoral Thesis. Universitat Politècnica de Catalunya
- Sapriza Azuri, G., Jódar, J., Navarro, V., Slooten, L. J., Carrera, J., & Gupta, H. V. (2015a). Impacts of rainfall spatial variability on hydrogeological response. *Water Resources Research*, 51(2), 1300-1314.
- Sapriza-Azuri, G., Jódar, J., Carrera, J., & Gupta, H. V. (2015b). Toward a comprehensive assessment of the combined impacts of climate change and groundwater pumping on catchment dynamics. *Journal of Hydrology*, 529, 1701-1712.
- Ramos, J. "Caracterización geólogo-geofísica de un sector del sistema acuífero Salto-Arapey mediante el empleo del SAMT y técnicas geomáticas" Tesis en opción a Master en geofísica aplicada, mención investigaciones hidrogeológicas e ingeniero-geológicas.
- Ross, A. (2017). Speeding the transition towards integrated groundwater and surface water management in Australia. *Journal of Hydrology* (In press).
- Sophocleous, M. (2000). From safe yield to sustainable development of water resources—the Kansas experience. *Journal of Hydrology*, 235(1), 27-43.
- WPCF, A. (1992). AWWA. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 17, 1816.