



1984-2020

ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA PARA EL DESARROLLO
ASSOCIAÇÃO LATINOAMERICANA DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA PARA O DESENVOLVIMENTO

Revista Latino-Americana de Hidrogeología

EDICIÓN ESPECIAL. ISSN: 1676-0999.
VERSIÓN ELECTRÓNICA



ACTUALIDAD EN LA HIDROGEOLOGÍA DE URUGUAY

INVESTIGACIÓN GEOTÉRMICA, ACUÍFERO GUARANI,
ARSÉNICO, MODELADO DE FLUJO.

PRESENTE NA HIDROGEOLOGIA DA URUGUAY

*INVESTIGAÇÃO GEOTÉRMICA, AQUÍFERO GUARANI,
ARSÊNICO, MODELAGEM DE FLUXO*

Hermosillo, Sonora, México

OCTUBRE 2020

NÚMERO ESPECIAL - Octubre / 2020-03



Revista Latino-Americana de Hidrogeología

**ACTUALIDAD EN LA HIDROGEOLOGÍA
DE LA REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY**

Rev. Lat. Am. Hidrogeol.	Hermosillo, Mex.	Número especial	pp.1-92	Oct / 2020-03
--------------------------	------------------	-----------------	---------	---------------

Avances en el conocimiento del Sistema Acuífero del Litoral Sur (SALS)

J. de los Santos

A. Menta

M. Giménez

M. Musso

C. Bessouat

A. Flaquer

G. García

S. Ford

J. Gregorio

G. Herrera

G. Hernández

L. Becerra

F. Corbo

J. Ramos

Resumen: El Sistema Acuífero del Litoral Sur de Uruguay (SALS), al oeste del río homónimo), contiene hasta cuatro estratos geológicos, sedimentarios y productivos, cenozoicos, cuya profundidad total puede alcanzar 350 m. Tiene doble permeabilidad, pero su conductividad hidráulica es variable y baja. Las perforaciones producen hasta 100-150 m³/h en pozos de 200 m. El Grupo

de Hidrología Subterránea de la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República de Uruguay (UDELAR), y el Centro de Geociencias, del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), mediante el Fondo Conjunto de Cooperación México-Uruguay, realizaron la primera caracterización completa del área central del sistema. Los productos obtenidos fueron un banco de datos de más de 500 perforaciones (200 de las cuales cuentan con información suficiente), disponibles para su operación en QGIS; relevamientos geofísicos; el mapa hidrogeológico; una carta elemental de vulnerabilidad; una caracterización química de base con más de 70 iones, analizados en muestras representativas de sus distintos sectores; el modelo conceptual y su modelo matemático en régimen permanente; así como recomendaciones para la puesta en vigencia de un plan de gestión.

Palabras clave: sistema acuífero, mapeo, gestión, agua subterránea, hidrogeología.

Recibido: Marzo 24, 2020 /Aceptado: Agosto 15, 2020

Publicado en línea: Octubre, 2020

© 2020

J. de los Santos . A. Menta .

M. Giménez . M. Musso . C. Bessouat .

A. Flaquer . G. García . S. Ford .

J. Gregorio

Grupo de Hidrología Subterránea, IMFIA, FING, Universidad de la República (UDELAR), Montevideo, Uruguay.

E-mail de correspondencia: jedls@fing.edu.uy

G. Herrera . G. Hernández . L. Becerra .

F. Corbo

Centro de Geociencias, Instituto de Geofísica, Universidad Autónoma de México (UNAM), CDMX, México.

J. Ramos

Departamento del Agua, CENUR Regional Norte, UDELAR, Salto, Uruguay.

Abstract: The Southwestern Aquifer System, Uruguay, contain four geological, sedimentary, and productive strata, Cenozoic, whose total depth can reach 350 m. It has double permeability, but its hydraulic conductivity is variable and low. The perforations produce up to 100-150 m³/h in Wells of 200 m deep. The Groundwater Hydrology Group, Faculty of Engineering,

University of the Republic, Uruguay, and the Geosciences Center, Institute of Geophysics, National Autonomous University, Mexico, through the International Cooperation Program of both Countries (AUCI-AMEXCID), performed the first complete characterization of the central area of the aquifer system. The obtained products were: A database on QGIS platform, with more than 500 perforations (200 of which have sufficient information), geophysical surveys, Hydrogeological Map and Preliminary Vulnerability Map, a basic chemical characterization with more than 70 ions analyzed in representative samples, Conceptual Aquifer Model and its corresponding Mathematical Model, and premises for a Management Plan.

Keywords: aquifer system, mapping, management plan, groundwater, hydrogeology.

INTRODUCCIÓN

Uruguay, con una superficie continental de 176215 km², presenta afloramientos de basaltos o rocas ígneas y metamórficas en 65% de su territorio. El resto del territorio corresponde a cuencas sedimentarias, donde es posible la existencia de acuíferos someros, más o menos continuos.

El denominado Acuífero Mercedes, Asencio-Mercedes o Acuífero Litoral Cretácico, se desarrolla en los sedimentos correspondientes a este período geológico, en el litoral este del río Uruguay, abarcando los departamentos Colonia, Soriano, Río Negro y Paysandú.

Si bien este acuífero es transfronterizo, a efectos de unificar la denominación en Uruguay, se propone en este artículo un concepto más abarcador e hidrológico, tal como es Sistema Acuífero del Litoral Sur (SALS).

Se desarrolla en un medio sedimentario con buen grado de consolidación y permeabilidad mixta, variedad litológica, espesores que pueden alcanzar o superar 150 m y formaciones de distinta capacidad geohidrológica, que se apoyan sobre rocas ígneas extrusivas o intrusivas.

Se distinguen en su techo las formaciones Salto y Fray Bentos. Las áreas productivas están asociadas a las formaciones subyacentes Asencio, Mercedes y Guichón. El piso corresponde a las formaciones Arapey o el basamento cristalino.

El SALS cubre necesidades de abastecimiento en pequeñas poblaciones, en la producción ganadera, en las industrias de las ciudades principales y, últimamente, en el riego de cierta escala. Esta nueva demanda trajo aparejada la necesidad de un mejor conocimiento de su estructura y cualidades, por lo cual, la Facultad de Ingeniería de la UDELA, a través del Grupo de Hidrología Subterránea del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (GHS-IMFIA), y el Instituto de Geofísica de la UNAM, a través del Centro de Geociencias, presentaron al II Llamado a concurso de Proyectos convocado por la Agencia Uruguaya de Cooperación Internacional (AUCI) y la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID), la propuesta "Gestión Ambiental del Sistema Acuífero Mercedes", que fuera aprobada para su ejecución en 2015.

El SALS transcurre en una superficie de 23,000 km², aproximadamente. La mayor productividad y uso se radica en los departamentos de Río Negro, Soriano y Paysandú. El área de trabajo se limitó a 11,500 km², 50% de la superficie total, donde el acuífero es continuo y tiene su mayor desarrollo en profundidad (figura 1).

METODOLOGÍA

La metodología fue la usual en este tipo de investigaciones: recopilación de toda la información posible, a saber, bancos de datos de la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA), del GHS-IMFIA, relevamiento de información en el terreno, reconocimiento en campo, cobertura de áreas sin información litológica mediante geofísica, estudio de las condiciones de contorno, elaboración del modelo conceptual y verificación mediante modelación numérica, estudios de la recarga, piezometría general del

área de trabajo, precalibración del modelo numérico, caracterización hidroquímica, mapa hidrogeológico y carta preliminar de vulnerabilidad intrínseca.

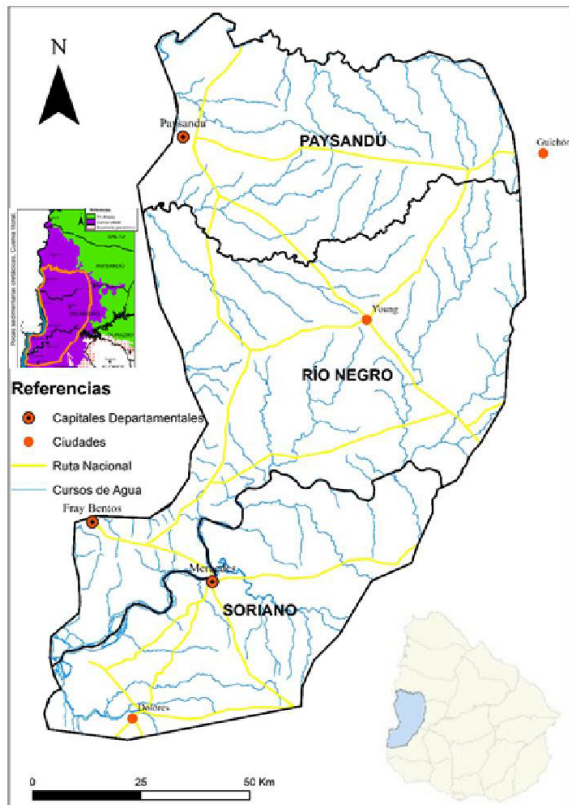


Figura 1. Sistema Acuífero del Litoral Sur – Sector estudiado.

El banco de datos, con toda la información reunida y generada, se dispuso en la plataforma QGis, de uso libre. Se dio prioridad a los datos aportados por las perforaciones que tenían descripción litológica completa y coherente, así como a la geofísica somera y profunda ejecutada en proyectos anteriores y en el presente: Sondeos eléctricos verticales (SEV), tomografías eléctricas (ERT) y sondeos audiomagnetotelúricos (AMT). La figura 2 muestra la cobertura obtenida.

Se procedió luego a la construcción de la geología de superficie 1:250000, mediante compilación informativa en distintas escalas y relevamientos in situ (figura 3). Se realizaron 6 cortes litológicos para definir la geometría del modelo numérico.

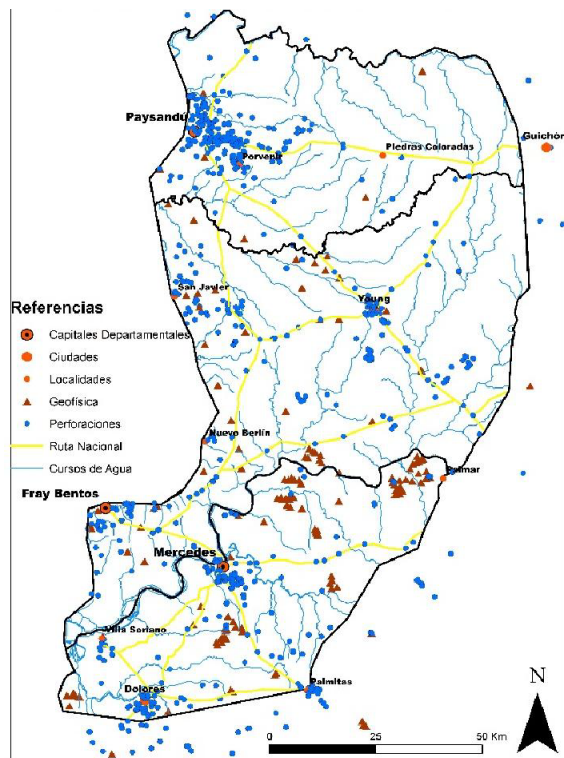


Figura 2. Banco de datos de perforaciones y geofísica reunida y generada.

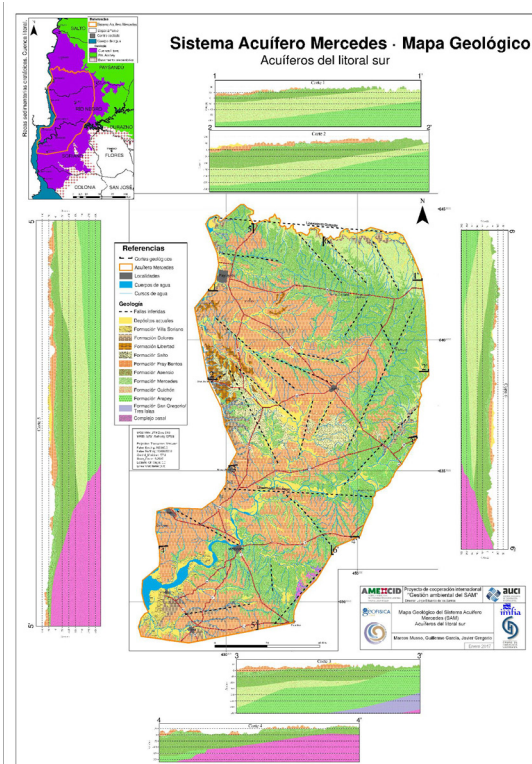


Figura 3. Mapa geológico y cortes litológicos.

Las perforaciones incluidas en el banco de datos no fueron suficientes para establecer una piezometría confiable. Por esta razón, se dividió el área de estudio en cuadrados de 5 km de lado, y se realizó un relevamiento adicional de nuevas perforaciones, midiendo su nivel piezométrico. La figura 4 muestra la piezometría obtenida en mayo de 2016.

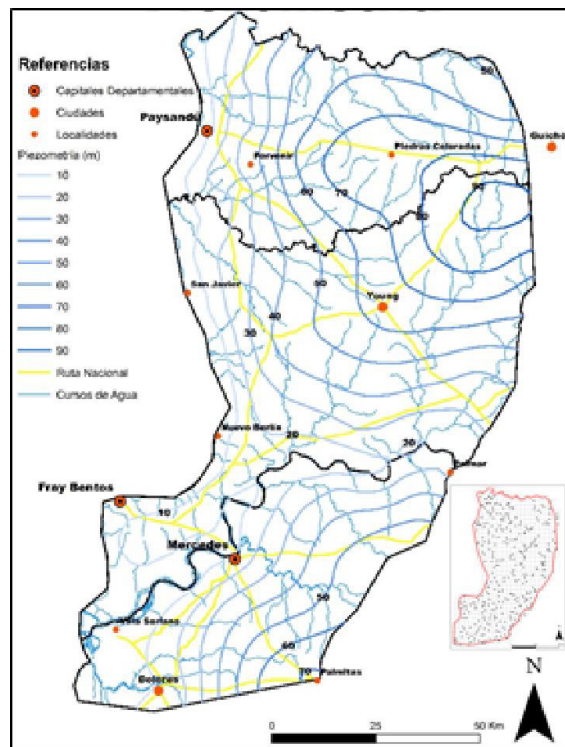


Figura 4. Piezometría - Mayo 2016.

RESULTADOS

La figura 5 resume los diagramas de Stiff con la caracterización hidroquímica. Las aguas predominantes son bicarbonatadas cálcicas, lo que insinúa una recarga reciente y local.

A continuación, se definió el modelo conceptual del SALS. En la figura 4 pudo observarse la forma de la superficie piezométrica, que define el escurrimiento, mientras en la figura 6 se ven los tres estratos geológicos que componen el sistema acuífero y su dinámica.

La figura 7 presenta una precalibración en régimen estacionario del modelo numérico, a efectos de verificar el modelo conceptual.

Para ajustar las piezometrías observadas y calculadas deberá reunirse mayor cantidad de datos y calibrar el modelo subdividiéndolo.

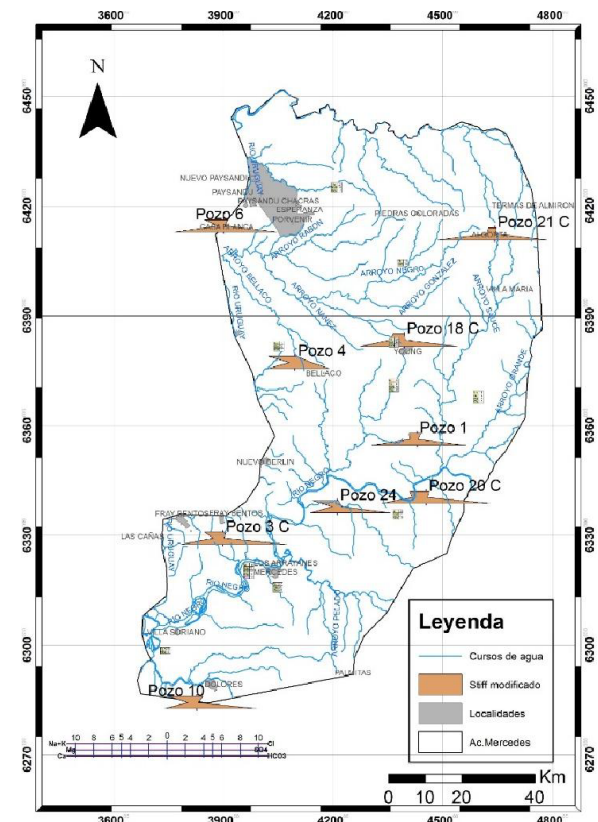


Figura 5. Diagramas de Stiff.

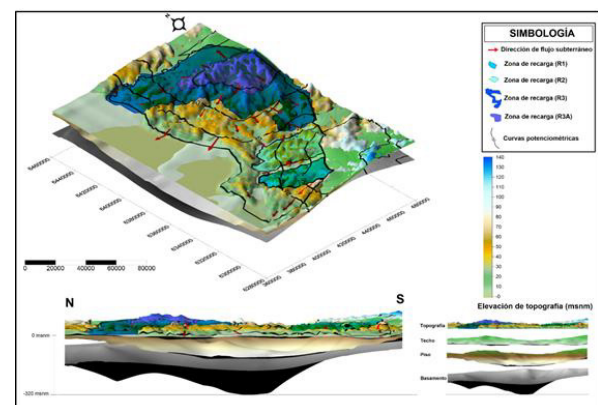


Figura 6. Modelo conceptual.

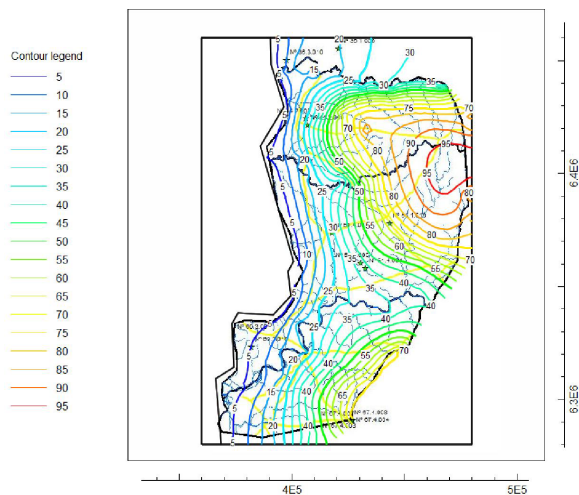


Figura 7. Modelo numérico.

La figura 8 presenta una síntesis del modelo de recarga aplicado a la cuenca Paso de las Piedras (Visual Balan v2), en el arroyo Don Esteban. La figura 9 muestra, al norte, la cuenca antedicha. Sobre 1,200 mm de precipitación media anual, 127 mm corresponden a la recarga calculada (10.6%) mediante Visual Balan. Por el método de separación de flujo base se obtuvo una recarga estimada de 96 mm (8%).

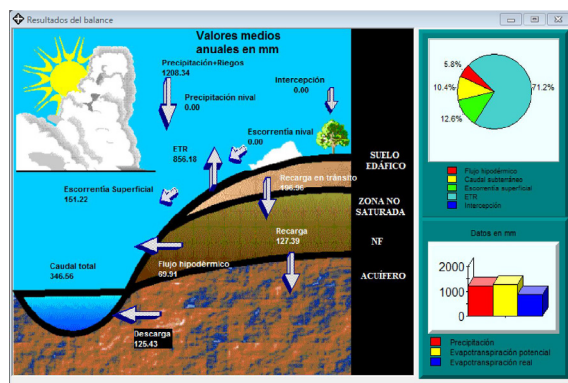


Figura 8. Visual Balan v2. Recarga en zona norte.

La figura 10 muestra el mapa hidrogeológico, con los pozos más representativos y su litología. En tanto, la figura 11 muestra la carta preliminar de vulnerabilidad intrínseca y la figura 12 resume la piezometría y las áreas forestadas, que, junto con la carta de vulnerabilidad, permitirán definir las zonas a proteger en el futuro inmediato, por parte de las autoridades nacionales del agua.

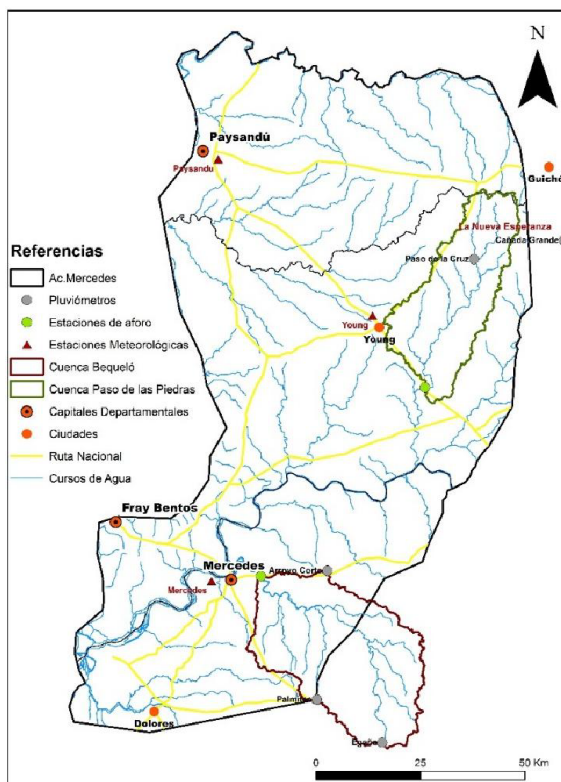


Figura 9. Cuencas para estudio de recarga.

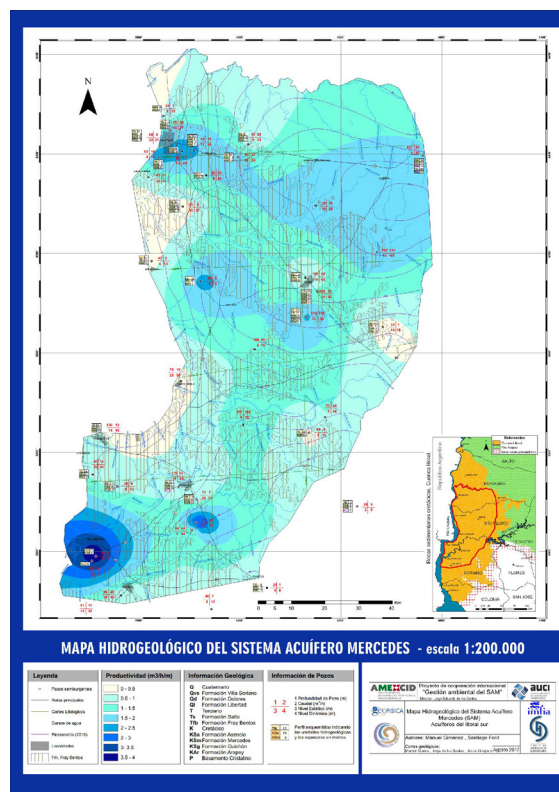


Figura 10. Mapa Hidrogeológico.

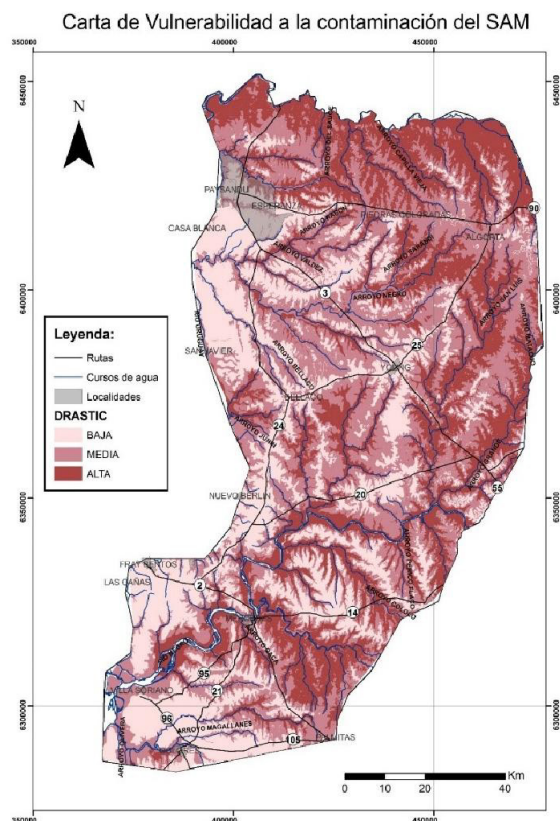


Figura 11. Carta de vulnerabilidad intrínseca.

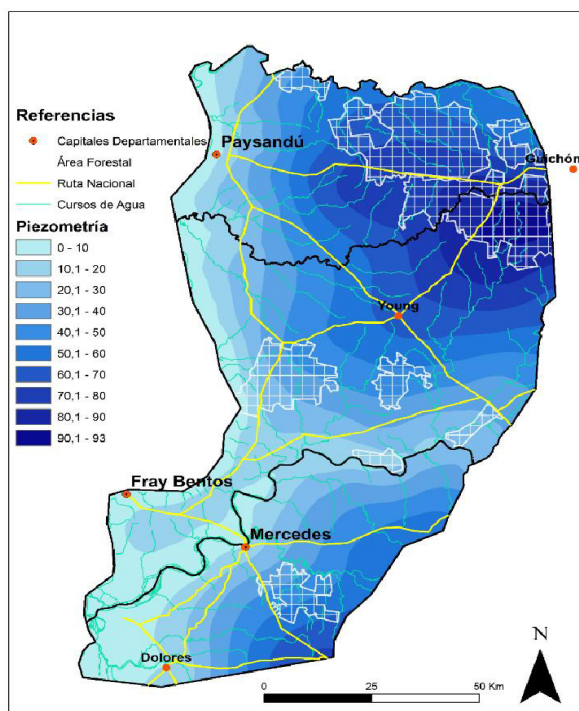


Figura 12. Potenciometría. Áreas de recarga y áreas forestadas.

CONCLUSIONES

La dinámica de las aguas subterráneas tiene sentido SE-NO y NE-SO, mediante dos subsistemas: el primero tiene su límite en el río Negro, y el segundo en el sector comprendido entre el río Negro y el río Uruguay. Cabe destacar que hacia el río Queguay, al norte, escurre un porcentaje del agua de recarga directa del segundo subsistema.

La recarga es del orden de 8 a 11% de la precipitación media anual, y se produce principalmente al NE y SE del área de estudio, en zonas de afloramiento de las formaciones Asencio y Mercedes. Las aguas son del tipo bicarbonatadas cálcicas.

La zona más productiva del SALS se encuentra al sur, con caudales específicos del orden de 4 m³/h/m como máximo.

Deben reunirse más datos para ajustar las piezometrías observadas y calculadas mediante el modelo numérico de flujo, a efectos de calibrar el régimen estacionario.

Las zonas de mayor vulnerabilidad a la contaminación están asociadas a las áreas cercanas a los cursos de agua. Predominan índices medios y bajos de vulnerabilidad.

El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, a través de la DINAGUA y la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA), cuentan ahora con herramientas suficientes para implementar un primer plan de gestión del SALS, sistema acuífero de valor estratégico para el país.

REFERENCIAS

- Al-Abadi, A. (2014). GIS-based DRASTIC model for assessing intrinsic groundwater vulnerability in northeastern Missan governorate, southern Iraq. *Applied Water Science*, 7(1), 89-101.
- Aller, L. (1987). DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. US USEPA Report (600/02-85/018).
- Anderson, M. P., & Woessner, W. M. (1992). *Applied Groundwater Modeling*. San Diego California: Academic Press, Inc.

- Bonjour, M. (2013). Heterogeneidades hidrogeológicas de la cuenca inferior del río Uruguay (Trabajo final de la licenciatura). Uruguay: Facultad de Ciencias. Universidad de la República.
- Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Hidrogeología. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS). (2009). Barcelona, España.
- Corbo, F., Oleaga, A., & De los Santos, J. (2014). Elaboración de un modelo conceptual del acuífero Mercedes, Uruguay, basado en prospección geofísica. México: I. P. G. H.
- De los Santos, J. (1997). Modelación numérica del Sector Este del Acuífero Raigón. Proyecto CONICYT-BID 71/94. 1T.
- _____ (1999). Carta de Vulnerabilidad del Acuífero Raigón. DINAMA-IMFIA. Spitz, K., & Moreno, J. (1996). A practical guide to groundwater and solute transport modeling. Canadá: John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-471-13687-3
- Foster, S. S. D. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of Soil and Groundwater to pollutants. En W. Van Duijvenbooden, & H. G. Van Waegenigh (Eds.), TNO Committee on Hydrological Research Information, 38, 69-83.
- Goso, C. (1999). Análise estratigráfica do grupo Paysandú (Cretáceo) na Bacia do Litoral, Uruguay. (Tesis doctoral). Río Claro, Brasil: UNESP.
- Goso-Aguilar, C., Manganelli, A., Fernández-Turiel, J. L., García-Vallés, M., & Gimeno, D. (2008). Hidrogeoquímica del Acuífero Mercedes en el oeste de Uruguay. V Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. Mar del Plata, Argentina.
- Goso, C., & Perea, D. (2004). El Cretácico post-basáltico de la Cuenca litoral del río Uruguay: geología y paleontología. En G. Veroslavsky, M. Ubilla, & S. Martínez (Eds.). Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales-Mesozoico. Montevideo, Uruguay: DIRAC, Facultad de Ciencias.
- Heinzen, W., Carrión, R., Massa, E., Pena, S., & Stapff, M. (2003). Mapa Hidrogeológico del Uruguay. DINAMIGE. MIEM. Recuperado de <http://www.dinamige.gub.uy/ch25.htm>
- Krishna, (2015). Groundwater vulnerability to pollution mapping of Ranchi district using GIS. Applied Water Science, 5, Issue 4, 345-358.
- Manganelli, A., Goso-Aguilar, C., Guerequiz, R., Fernández-Turiel, J. L., García-Vallés, M., Gimeno, D., & Pérez, C. (2007). Groundwater arsenic distribution in southwestern Uruguay. Environmental Geology, 5(53), 827-834.
- Preciozzi. (1985). Mapa Geológico del Uruguay escala 1:500.000. Montevideo, Uruguay: DINAMIGE. MIEM.
- Samper, J., & García-Vera, M. A. (2004). Visual-Balan, un modelo interactivo de balance hidrológico: estado actual y desarrollos futuros. VIII Simposio de hidrogeología. Zaragoza, 18-22 octubre 2004 (pp. 595-604).
- Struckmeier, W. F., & Margat, J. (1995). Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend. Heise. A.I.H, 17, 177.
- Tófalo, O. R., Pazos, P. J., & Sánchez-Bettucci, L. (2011). Estudio composicional de sedimentitas silicoclásticas y paleosuelos de la formación Mercedes (Cretácico Superior), Uruguay. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 68(4), 12.
- Vrba, J., & Romijn, E. (1986). Impact of Agricultural Activities on Ground Water. Heise. IAH, 5, 332.
- Vrba, J., & Zaporozec, A. (1994). Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. Verlag Heinz Heise. IAH, 16, 131.