

Avances en el Sistema de Información Geográfico hidrológico para el sudeste de la provincia de Buenos Aires

Orlando Mauricio Quiroz Londoño^{1,2}, Daniel Emilio Martínez^{1,2}, Héctor Masssone¹

¹ Grupo de hidrogeología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata.

² Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. CONICET.

Mail de contacto: qlondono@mdp.edu.ar

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geografía se han constituido en las últimas décadas en una herramienta fundamental para la gestión de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos. Las principales fortalezas de estos sistemas radican en la capacidad de almacenamiento e integración de diferentes tipos de información y en la potencialidad de representación de la misma, ofreciendo la posibilidad de caracterizar la evolución de los recursos hídricos no solo espacialmente, sino también en forma temporal. Desde hace 8 años el grupo de hidrogeología de la Universidad de Mar del Plata ha venido desarrollando y nutriendo un sistema de información hídrico para el sudeste de la Provincia de Buenos Aires el cual se ha constituido en un elemento integrador entre el grupo de investigación y distintas asociaciones claves en el desarrollo y gestión la región. El objetivo de este trabajo es presentar el desarrollo de este sistema y los alcances obtenidos hasta el momento, se pretende además ofrecer el modelo lógico y la estructura de este sistema a otros grupos o entidades relacionadas con el recurso, propendiendo por la homogenización y centralización de la información hidrológica.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, Provincia de Buenos Aires, Recursos Hídricos, Gestión de información.

ABSTRACT

Geographical Information Systems (GIS) have become in recent decades a fundamental tool for developing solutions for water resources problems. The main strengths of these systems lie on their capacity for storing and integrating different types of data and the potential of representing it, by offering the ability to spatially and temporarily characterize water resources evolution. During the last 8 years the Hydrogeology Research Group (Mar del Plata National University) has been working in the development and storage of hydrologic data in the southeast of Buenos Aires Province. This system has become an integrating element between the different organizations related to water management and our research group. The aim of this paper is to present the development of this system and the obtained achievements. Moreover, the logical model and the structure of this system is shown for other groups or entities involved in the use of water resource, tending to the homogenization and centralization of hydrological information.

Key words: Geographical Information System, Buenos Aires Province, water resources, information management.

Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen uno de los campos más dinámicos y novedosos de aplicación en diferentes áreas del conocimiento en las últimas 4 décadas, con un indudable efecto sobre la sociedad. La principal ventaja de este tipo de sistemas radica en que, además de permitir la representación del mundo real a partir de bases de datos digitales, almacenan y dan integridad a los datos, permitiendo analizar y comparar diferentes temáticas asociadas espacialmente.

Estas características hacen posible, por ejemplo, definir la variación de distintos componentes ambientales en el tiempo y su posible interacción.

Para el caso de los recursos hídricos, la escasez o falta de adecuación de los datos a las necesidades de gestión es todavía uno de los retos fundamentales para su manejo sostenible (Acreman, 1999; USGS, 1998; Llamas *et al.*, 2000). La ausencia de series de datos suficientemente amplias y fiables o la deficiencia en el acceso a las mismas, parece ser el primer

obstáculo a superar en la gestión del recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo.

Los SIG se han convertido en herramientas claves en la ejecución y desarrollo de los diversos proyectos enfocados en la evaluación del recurso hídrico. El uso combinado de herramientas SIG con técnicas de sensores remotos aparece como una de las aplicaciones más comunes. Trabajos como los desarrollados por Saraf y Choudhury (1998); Wendland *et al.* (2003); Shankar and Mohan, (2006); Carrera-Hernández and Gaskin (2007); Ravi Minor *et al.* (2007); Sarah *et al.* (2007), establecen distintas metodologías, que permiten detectar y caracterizar zonas de recarga y descarga de acuíferos. Por su parte, Esteller *et al.* (2003); Dimitriou and Zacharias (2006), Baalousha (2006); Sener and Davraz (2009); Raj Pathak *et al.* (2009) y Massone *et al.* (2010), utilizan la potencialidad ofrecida por estos sistemas para realizar operaciones matemáticas entre distintas coberturas en la elaboración de mapas de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos, estableciendo o modificando las metodologías clásicas. Otra aplicación de los SIG, cuyo desarrollo creció en los últimos años, es el de elemento integrador de información como insumo para los modelos numéricos. Una buena descripción de esta aplicación es ofrecida por Constantin Gogu *et al.* (2001). Trabajos como los desarrollados por Gossel (2004), Gemitz y Tolikas (2004) muestran la utilidad de estos sistemas tanto en la preparación y visualización de los datos de entrada como visualización de los resultados obtenidos en la modelación. En todas estas aplicaciones, es clara la función de los SIG como elementos útiles en la integración y análisis de información espacial relacionada con imágenes de satélite, datos topográficos, geológicos e hidrogeológicos, generando mapas temáticos, cálculos algebraicos de mapas, consultas e identificación de patrones y tendencias espaciales.

Las características operativas de esta clase de sistemas, ofrecen además la posibilidad de utilizarlos como elementos centralizadores de datos, brindándoles integridad a los mismos a la vez que aumentan su posibilidad de preservación y reutilización. En este sentido los datos obtenidos en los diferentes proyectos hidrológicos deberían ser considerados como un recurso estratégico necesario para una adecuada gestión del recurso, asegurando su continuidad en el tiempo y utilidad más allá de los objetivos del proyecto que los genera. Esta debería ser una de las premisas al momento de diseñar un sistema de información de este tipo.

Una adecuada gestión de los recursos hídricos obliga a la cooperación entre grupos de investigación, gestores, usuarios y administradores. Esto conlleva a la necesidad de contar con herramientas que permitan el acceso e intercambio de datos e información a diferentes niveles entre los distintos actores.

En este trabajo se describe el diseño e implementación de un SIG que integra la información hidrológica del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, con el objetivo de almacenar y monitorear los principales parámetros hidrológicos de la zona. Este sistema es utilizado como herramienta en la gestión integral de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos. Se muestra como una propuesta de recolección e integración de datos que apoya la cultura hídrica de la región, sirviendo de insumo en los distintos proyectos que en ella se realizan. Se describen además las modificaciones que se le han realizado a este sistema debido a los requerimientos de los principales usuarios del mismo. Se realiza un inventario de la información con la que se cuenta, mucha de la cual es hasta el momento inédita. Se ofrece además el modelo lógico y la estructura de este sistema a otros grupos o entidades relacionadas con el recurso, propendiendo por la homogenización y centralización de la información hidrológica.

Este sistema se diseña como de tipo abierto y centralizado, de uso y modificación libre. Acorde a esto, se ha implementado en diversas herramientas SIG mostrando su versatilidad y compatibilidad, encontrándose actualmente en una fase de publicación de datos en línea.

Área de estudio

El área donde se lleva a cabo este estudio corresponde al Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1). En el mismo, las aguas subterráneas constituyen la principal fuente de abastecimiento para fines urbanos, agrícolas e industriales. Los ríos y arroyos, si bien no son significativos desde el punto de vista de abastecimiento, lo son desde la dinámica de los procesos hidrológicos. Los humedales, como la Laguna La Brava, Laguna de Los Padres, Laguna La Salada y la Laguna costera de Mar Chiquita contribuyen al equilibrio de los sistemas físicos y biológicos a través de numerosos servicios ambientales (Romanelli *et al.*, 2009; Romanelli *et al.*, 2010 (a y b) y Bocanegra *et al.*, 2013)

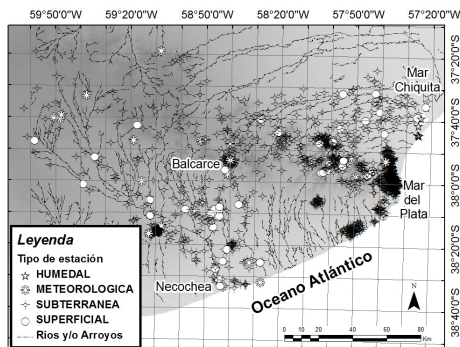


Figura 1. Distribución espacial de las estaciones de muestreo incluidas en el SIG.

Los sistemas hídricos superficiales presentes en el Sudeste Bonaerense están caracterizados por el desarrollo de redes de drenaje de escasa expresión topográfica, donde se identifican claramente dos vertientes a partir de la divisoria que constituye el Sistema de Sierras Septentrionales de la Provincia; la vertiente norte, donde se destacan las cuencas del Arroyo Grande, del Arroyo Dulce, del Arroyo Vivoratá, entre otras menores y la vertiente sur, integrada principalmente por la cuenca del Río Quequén Grande, y otras de menor extensión como la del Arroyo El Moro. En todas ellas el escurrimiento subterráneo aparece como elemento esencial de la dinámica hídrica, siendo el soporte del caudal de base de ríos y arroyos (Martínez *et al.* 2010), regulando a través de los movimientos verticales del nivel freático gran parte de la dinámica de los procesos de inundación (Quiroz Londoño *et al.*, 2013). La hidrología es altamente dependiente de los aportes subterráneos y de las precipitaciones *in situ* (Kruse, 1986; Quiros *et al.*, 2002).

De acuerdo al esquema de regiones hidrogeológicas de la Provincia de Buenos Aires definidas por González (2005), se reconocen en el sudeste provincial 3 regiones: *Serrana*: corresponde al Sistema de Sierras Septentrionales (Tandilla), presenta sobre el basamento hidrogeológico de cuarcitas un desarrollo muy variable en espesor de sedimentos loessoides que conforman un acuífero libre (sección Epiparariana de Sala *et al.*, 1983); *Interserrana-Periserrana*: es la de mayor extensión areal y donde la secuencia hidrolitológica se compone de un reducido espesor de sedimentos eólicos, arenas fluviales y limos que conforman la zona no saturada. El acuífero freático está contenido en terrenos del

Pampeano, adquiriendo en profundidad un carácter semilibre (cuando el espesor es considerable) en función de la anisotropía vertical; y por último, la región *Costera*: coincidente con la faja mediana, está caracterizada por la presencia de un acuífero libre por sobre los sedimentos pampeanos.

El clima en la región es templado con precipitaciones que se incrementan en dirección SW-NE desde los 700 mm hasta alcanzar valores superiores a los 900 mm. Los mayores registros pluviométricos mensuales se producen durante los meses de verano.

En el mismo período la evapotranspiración real según Thornthwaite varía entre 650 y 750 mm/año (Kruse *et al.*, 1997). Este sector bonaerense constituye una de las áreas de producción agrícola más importantes de Argentina, además, en ella se encuentran un importante número de ciudades (Mar del Plata, Necochea, Balcarce, entre otras), pueblos y asentamientos dispersos.

Metodología

La metodología empleada para generar este SIG fue descrita por Quiroz *et al.* (2007). La figura 2 muestra las modificaciones que ha tenido el modelo conceptual del SIG en los últimos años, acorde a los requerimientos de los usuarios tanto externos como internos. Todos los cambios y actualizaciones se realizaron igualmente en los modelos físicos y lógicos.

El modelo físico se sigue manteniendo en Acces 2000, debido a su compatibilidad con el software ArcGis. Sin embargo se han realizado implementaciones en diferentes programas tales como gvSIG y la base de datos Postgres - Postgis, ambos software libre, con muy buenos resultados.

La implementación de las consultas alfanuméricas en internet a la base de datos se desarrollaron con lenguajes de programación PHP y MYSQL, todos estos igualmente software libre.

Resultados y discusión

El incremento en tipo y volumen de datos que actualmente maneja el SIG, se puede observar en la tabla 1. La cobertura espacial y el tipo de estación que actualmente han sido incluidas en el SIG se ilustra en la Figura 1.

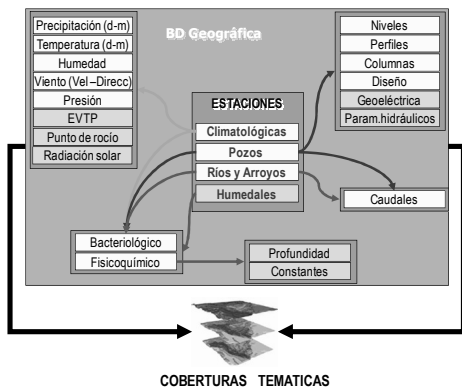


Figura 2. Variaciones en el modelo conceptual del SIG. Los cambios de indican con sombreado.

Los principales cambios realizados obedecen a la inclusión de datos y a la forma de almacenamiento de los mismos. En este último aspecto se tuvo en cuenta para cada dato, incluir información referente a profundidad y fecha en las entidades que así lo requirieron. Un ejemplo de esto fueron las mediciones de perfiles de parámetros físicoquímicos: para cada pozo se diseñó una entidad que permitiera incluir las diferentes determinaciones de los distintos parámetros a diferentes profundidades, pudiendo repetirse estas mediciones en múltiples fechas.

Las principales entidades adicionadas fueron: Columna litológica, Diseño de captación, Evapotranspiración potencial, Parámetros físicoquímicos constantes, Parámetros físicoquímicos en humedales, Parámetros físicoquímicos en profundidad, Presión diaria, Punto de rocío, Radiación solar diaria, Velocidad del viento, Geoelectrica de pozos, Parámetros hidráulicos. Se adicionó además una entidad básica de almacenamiento para las muestras tomadas en humedales.

Entre los principales resultados en la gestión de este SIG vale la pena mencionar los acuerdos logrados con organismos tanto públicos como privados para que permitan la alimentación del sistema con datos de sus estaciones meteorológicas e información referente a pozos almacenados en sus bases de datos. Tal es el caso de la Municipalidad de Benito Juárez, Estancia La Ventura, la Escuela Agropecuaria de Lobería, (<http://www.agrarialoberia.com.ar/clima/>) e INTA Balcarce (<http://inta.gob.ar/idades/721000/unidad-integrada-balcarce>) entre otras. Desafortunadamente los alcances tecnológicos

que actualmente posee este SIG, no permiten realizar estas migraciones en tiempo real por lo cual en todos los casos se tiene un desfase temporal que puede variar entre 1 y 2 meses.

Tabla 1. Cantidad, tipo y cobertura temporal de registros actuales en el SIG. Celdas sin color de fondo se corresponden a entidades nuevas.

Tabla	Registros		Datos	
	2007	2013	Desde	Hasta
Estaciones	229	1352		
Dirección del Viento (diaria)	3089	5292	1993	2007
Temperatura (diaria)	8766	42193	1993	2007
Temperatura (mensual)	36	36	2004	2004
Precipitación (Mensual)	993	3067	1938	2007
Precipitación (diaria)	75728	129266	1998	2007
Humedad (diaria)	3093	29375	1998	2007
Aforos	15460	17260	1963	2007
Niveles de Agua Subterránea	1007	36076	2003	2007
Análisis Químicos	532	32013	2003	2007
Columna litológica	0	113		
Diseño	0	17		
Evapotranspiración potencial	0	4475	2007	2013
Par. físicoquímicos constantes	0	6887	2010	2013
Par. físicoquímicos en humedales	0	4259	2007	2013
Par. Físicoquímicos en profundidad	0	2074	2007	2010
Presión diaria	0	5765	1998	2012
Punto de rocío	0	725	2007	2013
Radiación solar diaria	0	2481	2007	2013
Velocidad del viento	0	2362	2007	2013
Geoelectrica de pozos	0	69		
Parámetros hidráulicos	0	3		
Total de Registros	108933	325160		

Usando como eje integrador este sistema, se han podido igualmente establecer acuerdos de cooperación con entidades regionales como son el comité de cuenca del Río Quequén Grande (CCRQG) y la Asociación de Riego Pampeano (ARP). La primera ha adoptado este sistema como elemento de base en los estudios y proyectos que se desarrollan o planean desarrollarse en la cuenca. Sus integrantes se han convertido con el tiempo en importantes fuentes de generación y recopilación de información.

Por su parte la ARP, entidad con la cual se ha venido trabajando en los últimos meses, viene utilizando este SIG como estructura de almacenamiento del monitoreo diario de niveles en piezómetros distribuidos en la región. En este sentido, se tienen instalados para la zona 16 puntos de medición continua cada 4 horas. 12 de ellos pertenecientes a la Asociación de Riego Pampeano y los 4 restantes de nuestro grupo de investigación. Vale la pena resaltar que los equipos instalados por nuestro grupo vienen registrando en forma ininterrumpida desde el año 2007. A su vez diversas estancias

en la zona reportan mediciones quincenales o mensuales del nivel freático. Tal es el caso de la estancia El Moro Viejo, el cual posee mediciones continuas de nivel desde el año 2003. Toda esta información ha permitido realizar cálculos de recarga utilizando la metodología de Variación de Niveles Freáticos (VNF) en varios puntos de la cuenca (Quiroz Londoño et al., 2012 a y b). Estos valores han fluctuado entre el 14 y 17 % de la precipitación.

También han permitido establecer información sobre el comportamiento del acuífero con relación al cambiante régimen climatológico que se ha venido presentando en los últimos años. Se espera en los próximos meses, con estos datos, poder comenzar a establecer niveles de alerta para eventos de sequía e inundación.

También se han incluido en el SIG, desde hace dos años, el monitoreo de niveles de algunas lagunas y sus arroyos afluentes y efluentes. A este tipo de estaciones se ha anexado información asociada a la batimetría, variaciones en el nivel y monitoreo fisicoquímico e isotópico. Actualmente se poseen datos de las lagunas La Salada (partido de Necochea), Laguna La Brava (Partido de Balcarce) y la laguna de los Padres (Partido de General Pueyrredón).

Uno de los logros más relevantes de este SIG al interior de nuestro grupo de investigación ha sido la integración de datos de 5 tesis doctorales que se vienen desarrollando y dos trabajos que se realizaron en años anteriores (entre ellos una tesis doctoral). Esto ha permitido el uso e interacción de todos los datos generados, evitando superposiciones en los trabajos de campo, asegurando además su integridad, seguridad y preservación.

A este sistema ha sido integrado también al laboratorio de hidrología isotópica de la Universidad Nacional de Mar del Plata como uno de sus componentes, permitiendo el almacenamiento y control de la información de las mediciones de ^{18}O y ^2H generada en el mismo. Esto ha permitido mayor integración entre los diferentes proyectos que se vienen desarrollando.

En esta etapa de desarrollo del sistema, se ha iniciado la construcción de consultas alfanuméricas a través de internet de la base de datos. Para esto se han desarrollado una primera versión de interfaz que permite tanto a usuarios externos como internos tener acceso a los datos con diferentes tipos de nivel de accesibilidad (Figura 3).



Figura 3. Interfaz para consulta alfanumérica.

En la dinámica y mantenimiento de este sistema se ve inmersa la recopilación periódica de información, para lo cual se generan gastos anuales que alcanza una inversión de \$ 3800 y un total de 4876 km recorridos. Este dato debe tenerse en cuenta como mantenimiento del sistema al momento de plantear proyectos nuevos.

En <http://www.mdp.edu.ar/hidrogeologia/>, se encuentran disponibles para descargar información referente a este sistema. Se incluye documentación del modelo entidad relación, modelo lógico y modelo físico. Este último preparado en el manejador de base de datos Access. Dicha publicación se hace propendiendo por la homogenización y unificación de la información hidroológica en diferentes aéreas, lo cual sería beneficioso en un futuro para la centralización general de la misma.

Conclusiones

Las características de sistema abierto con que se planteo este SIG, ha permitido realizar ajustes al mismo. Tales modificaciones han incluido la adhesión de nuevas entidades y replanteo de las ya existentes.

El volumen de datos que conforman el SIG ha crecido más 300% desde 2007. Las condiciones técnicas actuales no permiten la actualización en tiempo real de la información, ocasionando un desfase temporal en la actualización de información que puede alcanzar los 2 meses. Este se convierte en principal escoyo a superar por este sistema.

Este sistema de información ha servido como base para la manipulación, integración, comparación y análisis de datos utilizados en 6 proyectos de investigaciones nacionales e internacionales y 5 tesis doctorales. Convirtiéndose de esta manera en aporte real a

la cultura hídrica del sudeste de la provincia de Buenos Aires.

Se hace necesario comenzar con la capacitación de personal de las diferentes entidades participantes en la generación y recolección de datos. Dicha capacitación debe estar enfocada en la manipulación de este sistema mediante herramientas SIG.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo queremos expresar nuestro agradecimiento a los propietarios y empleados de las diferentes estancias y establecimientos que colaboran con toma y recopilación de datos y muestras. Al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), por el apoyo económico en la compra de equipos para medición de nivel. La financiación económica para la realización de este trabajo fue otorgada por al ANPCyT (PICT 07 390). Agradecemos igualmente a la Autoridad del Agua de la provincia de Buenos Aires, al Comité de Cuenca Hídrica del Río Quequén Grande por su apoyo y colaboración y a la Asociación de Riego Pampeana.

Referencias

- Acreman, M. C. (1999). Guidelines for sustainable management of groundwater –fed catchments in Europe. Report of groundwater and river Resour. Action Prog. On a European Scale (Grapes) to the EU Commission (ENV4-CT 95-0186). Inst. Of Hydrology, Wallingford, UK.
- Baalousha H. (2006). Vulnerability assessment for the Gaza Strip, Palestine using DRASTIC H. *Environ Geol* 50: 405–414
- Bocanegra, E. Quiroz Londoño O, M. Martínez D. E. y Romanelli, A. (2013). Quantification of the water balance and hydrogeological processes of groundwater–lake interactions in the pampa plain, Argentina. *Environmental Earth Sciences*. SPRINGER. 2013 DOI 10.1007/s12665-012-1916-4. Vol. 68. Pp 2347–2357.
- Carrera Hernández J.J and Gaskin S.J. (2007). Spatio temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico. *Journal of Hydrology*. Volume 336, Issues 3–4, PP 231–249.
- Constantin Gogu R, Carabin. G., Hallet V., Peters V. and Dassargues A. (2001). GIS-based hydrogeological databases and groundwater modelling. *Hydrogeology Journal* 9:555–569.
- Dimitriou E, and Zacharias L. (2006). Groundwater vulnerability and risk mapping in a geologically complex area by using stable isotopes, remote sensing and GIS techniques, *Environ Geol* 51: 309–323
- Esteller, M.V, E. Quentin & C. Díaz-Delgado. (2003). Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la determinación de parámetros utilizados en la construcción de mapas de vulnerabilidad de acuíferos. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*, 2: (1), 17-30.
- Gemitz A. and Tolikas D. (2004): Development of a sharp interface model that simulates coastal aquifer flow with the coupled use of G.I.S. *Hydrogeology Journal*, 12(3): 345-356
- González, N. (2005). Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En: R.E de Barrio, R.O. Etcheverry, M.F. Caballé y E. Llambías (edit.). *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*. La Plata, Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. Cap. XXII: 359-374.
- Gossel, W., & Ebraheem, A.M., & Wycisk, P. (2004). A very large scale GIS based groundwater flow model for the Nubian sandstone aquifer system in Eastern Sahara (Egypt, Northern Sudan and Eastern Libya).- *Hydrogeology Journal* 12 (6): 698-713.
- Kruse E. (1986). Aspectos geohidrológicos de la vertiente sudoriental de Tandilia, cuencas de los arroyos Vivoratá, Las Brusquitas y El Durazno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Tomo XLI (3-4):367-374.
- Kruse, E., P. Laurencena, P. Deluchi y L. Varela. (1997). Caracterización de la red de drenaje para la evaluación hidrológica en la Región Interserrana (Provincia de Buenos Aires). En: *Actas del I Congreso Nacional de Hidrogeología y II Seminario Hispano-Argentino sobre Temas actuales de Hidrogeología Subterránea*. Bahía Blanca, 133-145 pp.
- Llamas R., Hernandez – Mora, N., Martinez, L (2000). El uso sostenible del agua subterránea. Serie A. Uso intensivo de las aguas subterráneas, aspectos ecológicos, tecnológicos y éticos. *Fundación marcelo Botín*. Madrid.
- Martínez D.E., Solomon K., Dapeña C., Quiroz Londoño O.M., Massone H. E. (2010). Determinación de la edad del agua en el acuífero pampeano, en la cuenca del río quequén grande (Buenos Aires). *Revista Latinoamericana de hidrogeología*. ISSN 1767.0099. Volumen 6. Junio. Pp 83-89.

- Massone, H., Quiroz Londoño, O.M and Martínez, D. (2010) Enhanced groundwater vulnerability assessment in geological homogeneous areas: a case study from the Argentine Pampas. *Hydrogeology Journal* 18: 371–379.
- MINOR, T.; RUSSELL, C.; y MIZELL, S. (2007). Development of a GIS-based model for extrapolating mesoscale groundwater recharge estimates using integrated geospatial data sets. *Hydrogeology Journal* 15: 183-195.
- Quiros, R., J.J. Rosso, A. Rennella, A. Sosnovsky y M. Boveri. (2002). Estudio sobre el estado trófico de las lagunas pampeanas. *Interiencia*, 27: 584-591.
- Quiroz Londoño O, M; Martínez D,E y Massone H, E. (2012). Estimación de recarga de acuíferos en ambientes de llanura con base en variaciones de nivel freático. *Revista tecnología y ciencias del agua*. México. 2012. ISSN 0187-8336. VOL. III, NÚM. 2, Abril-Junio. pp.123- 130.
- Quiroz Londoño O, M. Martínez D,E y Massone H, E. (2012). Evaluación comparativa de métodos de cálculo de recarga en ambientes de llanura. La llanura interserrana bonaerense (argentina), como caso de estudio. *Revista DYNA (Journal of th school of mine)*. Medellín - Colombia. 2012. ISSN 0012-7353. Vol 171. Pp 239-247.
- Quiroz Londoño O. M, Grondona S. I, Massone H. E, Farenga M, Martínez G, Martínez D. E (2013). Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio. *GeoFocus*, 2013, nº 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157.
- Quiroz Londoño O. M, Massone H , Martínez D. E. (2007) sistema de información geográfica para el manejo integral de información hidrológica en la cuenca el río Quequén grande, provincia de buenos aires, argentina. "... En V Congreso de Hidrogeología y III Seminario hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea. Paraná, Entre Ríos, Argentina. 16 – 19 de octubre de 2007. Pag 296 - 306. ISBN 978-987-23936-3-2.
- Raj Pathak,d, Hiratsuka A, Awata I, Chen L. (2009). Groundwater vulnerability assessment in shallow aquifer of Kathmandu Valley using GIS-based DRASTIC model. *Environmental Geology* Volume 57, Issue 7, pp 1569-1578
- Ravi Shankar M.N. & G. Mohan. (2006). Assessment of the groundwater potential and quality in Bhatsa and Kalu river basins of Thane district, western Deccan Volcanic Province of India. *Environ Geol* 49: 990–998.
- Romanelli A., Quiroz Londoño O. M, Massone H. E. y Escalante A. H. (2010). Validación y ajuste del modelo hidrogeológico conceptual de un humedal de la llanura pampeana, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Limnetica*. Asociación Ibérica de Limnología ISSN 0213-8409, Vol. 29, Nº. 2, págs. 407-418.
- Romanelli, A., Quiroz Londoño O. M., Massone H. E., Martínez D. E. y Bocanegra E. (2010). El agua subterránea en el funcionamiento hidrológico de los humedales del sudeste bonaerense, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Boletín Geológico y Minero, Instituto Geológico y Minero de España*. 121 (4): 373-386, ISSN: 0366-0176.
- Romanelli, A., Quiroz Londoño, O.M., Martínez, D.E. y Bocanegra, E. (2009). Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de la laguna la salada y su relación con el acuífero pampeano (partido de Necochea, provincia de Buenos Aires) VI Congreso Nacional de Hidrogeología y IV Seminario hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. 24 – 28 de agosto de 2009. ISBN 978-987-1082-36-7 Pag. 601 - 611
- Sala. J.M., N. González y E. Kruse. (1983). Generalización Hidrológica de la Provincia de Bs. As. Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Comité Nacional para el Programa Hidrológico Internacional. Olavarría. Argentina
- Saraf AK, Choudhury PR. (1998) Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites. *Int J Remote Sens* 19:1825–1841
- Sarah O. Tweed & Marc Leblanc & John A. Webb & Maciek W. Lubczynski (2007) Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments, southeastern Australia *Hydrogeology Journal* 15: 75–96
- Sener S and Davraz A. (2009) Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: a case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Isparta, Turkey) *Hydrogeology Journal*
- United Satet Geological Suirvey (USGS). (1998). Strategic directions for the U.S. Geolcgcgical Survey Ground-Water resources Program. A report to congress. Water resources Division. Reston, Virginia. 14 pp.

- Varni, M., Rivas, R. y Entraigas, I. (2003). Interacción de un cuerpo de agua superficial con el agua subterránea en la llanura pampeana, Argentina. *Información Tecnológica*, 14(6):97-104.
- Wendalf F, Kunkel R, Tetzlaff B, Dorhofer G (2003). Gis based determination of mean long-term groundwater recharge in lower Saxony. *Environmental Geology* 45 (2),237-278