Revisión de Sistemas de Monitoreo Automático para Aguas Subterráneas

Liz Báez
Facultad Politécnica
Universidad Nacional de Asunción
San Lorenzo, Paraguay.
Email: lizbaezl@gmail.com

Juan Pablo Nogués
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Universidad Paraguayo Alemana
San Lorenzo, Paraguay.
E-mail: juan.nogues@upa.edu.py

Cynthia Villalba
Facultad Politécnica
Universidad Nacional de Asunción
San Lorenzo, Paraguay.
Email: cvillalba@pol.una.py

***Resumen*—Contar con datos oportunos y precisos para evaluar la presencia de contaminantes en las aguas es de suma importancia. Las aguas subterráneas son una fuente de abastecimiento para el uso doméstico e industrial, por lo tanto, existe la necesidad de evaluar y realizar el seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas. Es por ello que se desea conocer las principales soluciones propuestas para el monitoreo automático de la calidad de aguas subterráneas en tiempo real, para ello se decide realizar un mapeo sistemático de la literatura.**

De 85 trabajos analizados, solo 9 cumplieron con los criterios de selección definidos. De los trabajos analizados, se pudo identificar que el uso de sensores combinados con tecnologías inalámbricas, es una solución adecuada para el monitoreo automático de la calidad de aguas subterráneas en tiempo real. Los parámetros de calidad del agua subterránea monitoreados fueron el pH, conductividad eléctrica, salinidad, arsénico, carbonato de calcio, nitrato, cloruro y amonio. Los trabajos seleccionados correspondieron a publicaciones realizadas, en su mayoría (89 %), antes del 2010, tratándose sobre estudios puntuales o patentes. No se encontró ninguna revisión bibliográfica sobre el tema de monitoreo automático de calidad de aguas subterráneas en tiempo real.

***Palabras clave:* mapeo sistemático, monitoreo automático, calidad del agua subterránea.**

***Abstract* - Having timely and accurate data to assess the presence of contaminations in water is extremely important. Groundwaters are a source of supply for domestic and industrial use, therefore, there is a great need for assessing and monitoring the quality of groundwater. In this context, this paper explores the main proposals for automatic monitoring of groundwater quality real-time solutions, for this it was decided to conduct a systematic mapping.**

85 works were analyzed, 9 met the criteria for selection. From the studies analyzed, it was identified that the use of wireless technologies combined with sensors would be a solution for automatic quality monitoring of groundwater in real time. The quality parameters of groundwater monitoring were pH, electrical conductivity, salinity, arsenic, calcium carbonate, nitrate, chloride and ammonium. Most identified publications (89 %), papers and patents, were before 2010. No literature on the subject of automatic monitoring of groundwater quality in real time was found.

***Keywords:* systematic mapping, automatic monitoring, groundwater quality.**

I. Introducción

El agua potable es vital para el bienestar de la población y los acuíferos son una fuente de abastecimiento, por lo tanto existe la necesidad para la evaluación y seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas. La degradación continua de los recursos hídricos se deben al financiamiento inapropiado que conducen a la mala gestión del agua, a las prácticas agrícolas redundantes y obsoletas, y al desarrollo urbano [1].

Contar con datos oportunos y precisos para evaluar las condiciones del agua es de suma importancia para manejar situaciones adversas como la presencia de contaminante en las aguas que son utilizadas para el uso doméstico e industrial, la sequía y la pérdida de líquido bombeado en la agricultura y otras actividades. En muchas ocasiones, los datos de las condiciones del agua, no están disponibles en el momento oportuno o con la frecuencia que se necesita (días o semanas) para poder gestionar correctamente los recursos hídricos y tomar decisiones pertinentes.

Cuando las muestras de agua se recogen en campo y luego son analizadas en los laboratorios, se requiere de tiempo y mano de obra. Esto no sólo dan mediciones de puntos limitados sino también, se convierte en un método costoso para lugares remotos; además el transporte de las muestras puede alterar sus propiedades químicas [1].

Motivado por el problema mencionado, el objetivo de este estudio consiste en identificar las soluciones existentes para el monitoreo automático de las aguas subterráneas en tiempo real, mediante una revisión exploratoria de manera a incluir los resultados en un mapeo sistemático de la literatura. Donde además de alcanzar el objetivo, se conocerá si en los últimos años la comunidad científica ha planteado inquietudes similares a las que motivan a este artículo y se seleccionarán los trabajos de investigación realizados recientemente en el área. Los resultados de este estudio serán utilizados como punto de partida para la realización de futuras revisiones sistemáticas, en base a las respuestas encontradas.

De Sousa et. al (2013) [2], define el mapeo sistemático como "un tipo de estudio secundario que pretende resumir y sintetizar el estado del arte actual de un área específica, proporcionando un mapa general del área".

El resto del documento se estructura de la siguiente forma: en la sección 2 se explica el método de investigación y los detalles del mapeo sistemático de la literatura llevado a cabo; la sección 3 muestra los resultados de la investigación, en la sección 4 se discuten los hallazgos realizados en la sección anterior y su relación con los objetivos generales del trabajo;

por último, la sección 5 resume las conclusiones a las que se llegó durante la realización de este trabajo.

II. Método de Investigación

El mapeo sistemático de la literatura fue el método utilizado para encontrar una solución al objetivo planteado, donde los resultados de la búsqueda se utilizan para responder a preguntas de investigación más específicas.

Se realizó un mapeo sistemático de la literatura para conocer los trabajos publicados, que cumplan con los criterios de selección definidos y de esta manera obtener evidencias sobre el objetivo planteado.

El mapeo sistemático se realizó mediante el siguiente procedimiento [3]: A) Definir preguntas de investigación, B) Realizar la búsqueda de la literatura, C) Seleccionar trabajos, D) Clasificar trabajos y E) Extraer y realizar la agregación de datos.

II-A. Preguntas de Investigación

Para lograr el objetivo de este estudio, se proponen preguntas de investigación (RQ) concretas para obtener un conocimiento más detallado sobre el tema. Las preguntas de investigación a responder en este estudio son las siguientes:

- RQ.1. ¿Qué solución/es se han planteado para el monitoreo automático de la calidad de aguas subterráneas en tiempo real?
- RQ.2. ¿Qué parámetros son monitoreados?

II-B. Fuente de datos y estrategia de búsqueda

La fuente de datos utilizada fue el motor de búsqueda del Google Scholar. Especializado en literatura científica-académica, con amplia cobertura de publicaciones del área de ciencias de la computación e indexa varios catálogos de publicaciones como IEEE, ACM, Springer, Elsevier y otros [1].

La estrategia de búsqueda consistió en definir varias cadenas de búsquedas relacionadas con el tema de investigación (Cuadro I), para refinar el vocabulario e identificar mejores resultados. Debido a la gran cantidad de trabajos arrojados por las búsquedas, en esta revisión se tuvieron en cuenta los primeros 10 trabajos de los resultados obtenidos con cada cadena, ordenados por el criterio de relevancia.

Debido a los constantes cambios de la tecnología, inicialmente se realizó una búsqueda acotada al periodo 2010-2016. Como se observa en el Cuadro I, al acotar los años (2010-2016) solo se ha seleccionado 1 trabajo relevante. Por este motivo se decidió realizar una segunda búsqueda sin restringir los años, obteniendo mejores resultados. Cabe mencionar que el trabajo seleccionado en la primera búsqueda, no se encuentra entre los trabajos seleccionados de la segunda búsqueda. Se encontraron 15 trabajos repetidos entre las cadenas de búsquedas, éstos fueron contabilizados como resultados de la primera cadena en la que fueron encontrados.

La precisión que se visualiza en el Cuadro I se obtiene de calcular el porcentaje de trabajos que cumplen con los criterios de selección definidos (trabajos seleccionados) considerando el total de trabajos revisados en cada cadena (10 primeros trabajos ordenados por relevancia). El total se obtiene de la unión (sin repetidos) de los resultados obtenidos en las cadenas de búsquedas. Las cadenas que obtuvieron mayor precisión fueron # C1, # C3 y la # C4.

II-C. Selección de Trabajos

Para la selección de trabajos se definieron los siguientes criterios de selección:

Criterios de Inclusión (CI):

- CI1: trabajos que tratan el monitoreo automático de aguas subterráneas de manera exclusiva o en al menos una sección.
- CI2: trabajos que mencionan el diseño técnico utilizado para el monitoreo.
- CI3: trabajos que presentan un método para el monitoreo automático de la calidad del agua subterránea.
- CI4: trabajos que tratan el monitoreo automático de aguas subterráneas con transferencia de resultados en tiempo real.

Criterios de Exclusión (CE):

- CE1: el trabajo no está disponible en inglés.
- CE2: el trabajo no es patente o artículo publicado en una revista científica o conferencia.

II-D. Clasificación de Trabajos

Se realizó una clasificación de trabajos, teniendo en cuenta sus características en conjunto con toda la información bibliográfica correspondiente.

Los tópicos considerados para la clasificación de trabajos fueron:

- Referencia: número de referencia bibliográfica.
- Nombre del trabajo: nombre completo del trabajo.
- Autor/ Inventores: lista autores del trabajo.
- Lugar de publicación: nombre de revista o congreso en donde se publicó el trabajo.
- Palabras clave: lista las palabras clave utilizadas en el trabajo.
- Año: año de publicación del trabajo.
- Revisión: identifica si el trabajo es una revisión o estado del arte.
- Patente: identifica las patentes.
- Trata sobre acuífero: diferencia trabajos que tratan exclusivamente sobre monitoreo de acuíferos, de aquellos que solo lo mencionan en una sección.
- Trata sobre el diseño técnico: identifica trabajos que explican el diseño técnico utilizado para el monitoreo automático.
- Método de monitoreo: identifica el tipo de tecnología de monitoreo automático utilizada. Tipo: Imágenes satelitales, métodos eléctricos, red de sensores inalámbricos.
- Trata sobre análisis de calidad del agua: identifica trabajos que tratan sobre algún tipo de análisis de calidad de agua, ya sea físico, químico o microbiológico.

Cuadro I
CADENAS DE BUSQUEDAS 1 y 2 UTILIZADAS EN LA REVISION

		Búsqueda 1: periodo 2010-2016					Búsqueda 2: sin restricción de años				
#	Cadenas de búsqueda	#	# de trabajos revisados	# trab. repetidos	# trabajos seleccionados	Precisión	#	# de trabajos revisados	# trab. repetidos	# trabajos seleccionados	Precisión
C1	groundwater "monitoring system"	~12.700	10	0	0	0%	~27.100	10	0	4	40%
C2	groundwater monitoring system AND wsn	~1.890	9	1	0	0%	~2.630	10	0	1	10%
C3	groundwater automated monitoring system	~16.600	6	4	1	10%	~72.300	8	2	3 (+1 repetido)	40%
C4	remotely monitor groundwater	~17.100	7	3	0	0%	~29.600	7	3	0 (+3 repetidos)	30%
C5	groundwater quality remote sensing	~17.600	9	1	0	0%	~88.600	9	1	0	0%
	Total	~65.890	41	9	1		~220.230	44	6	8	

- Parámetros: lista los parámetros de calidad de agua monitoreados en los trabajos. Ej: pH, Nitratos, Nitritos, Hierro, pH, turbidez, coliformes, etc.
- Cadenas: identifica la cadena de búsqueda en la cual el trabajo resultó entre los 10 primeros, ordenados por relevancia.

II-E. Extracción de datos y síntesis

Inicialmente, se revisó el título y *abstracts* de los 85 trabajos. En esta revisión, 15 trabajos (1 del periodo 2010-2016 y 14 sin acotar los años) fueron seleccionados, pero los mismos no contaban con la información necesaria para verificar el cumplimiento de todos los criterios de selección, entonces, se procedió a la lectura de la introducción y conclusión. En este proceso, fueron seleccionados 9 trabajos. En la Figura 1 se resume el proceso realizado; se muestran los trabajos seleccionados que aplicaron a los criterios de selección para la búsqueda acotada y no acotada.

Se elabora una planilla de extracción de datos con los tópicos (mencionados en la etapa de clasificación de trabajos) de los trabajos seleccionados, donde se registraron los hallazgos (Cuadro II).

III. Resultados

Luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, y realizada la unión de resultados de las búsquedas 1 y 2, se obtuvo un total de 9 trabajos que cumplían con los criterios de selección. La lista de trabajos seleccionados y sus características, se muestran en el Cuadro II.

Los trabajos seleccionados para su lectura completa correspondieron a 5 artículos publicados y 4 patentes.

En cuanto a la publicación de trabajos, la mayoría de los trabajos seleccionados (89 %) corresponde al periodo 2000-2010, solo 11 % corresponde al periodo 2011-2016.

El 55 % de los trabajos seleccionados son artículos presentados en conferencias (44 %) y revistas (11 %), los demás trabajos (45 %) son patentes de los años 2000, 2002 y 2007. No se identificó ningún trabajo de revisión bibliográfica sobre el tema del monitoreo automático de aguas subterráneas.

IV. Discusión

En la revisión realizada se encontraron tres métodos utilizados para la adquisición de los datos para el monitoreo del agua subterránea: imágenes satelitales, métodos eléctricos y redes de sensores inalámbricos.

Las imágenes satelitales se han desarrollado en las últimas décadas como una opción de la teledetección para el estudio de los recursos hídricos y la gestión del agua [13-14]. Los trabajos identificados [15-18] han utilizado los datos de los satélites GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) para cuantificar la disponibilidad de recursos de agua subterránea, con el objetivo de monitorear el agotamiento de las aguas subterráneas [15-17] y el impacto hidrológico de las sequías [18].

Otra tecnología identificada en la revisión fue la utilización de los métodos eléctricos [19-20]. Se utilizó el método de resistividad compleja en el monitoreo remoto de la calidad del agua subterránea, para evaluar el CO2, pH y conductividad del agua [19]. También se desarrolló el sistema ALERT (Automated time-Lapse Electrical Resistivity Tomography) para monitorear acuíferos costeros y obtener imágenes volumétricas geoeléctricas del subsuelo [20]. Esta tecnología utiliza la resistividad compleja para monitorear la calidad del agua en sitios remotos, fuera de laboratorio, mientras que el sistema ALERT realiza el monitoreo transmitiendo bajo demanda las imágenes volumétricas del subsuelo a una estación remota.

Las Redes de Sensores Inalámbricos (Wireless Sensor Network - WSN) consisten en un sistema de monitoreo automatizado que permite la recolección de datos en tiempo real, con un sistema de sensores in situ, y la transferencia instantánea a través de una red [4]. En esta revisión, las WSN se utilizan para inspeccionar las características y la calidad de las aguas subterráneas [4, 6-9]. Los trabajos seleccionados tratan sobre estudios puntuales (aplicados a un área determinada) y se encontraron además varias patentes de invención [5, 10-12], referentes a las tecnologías de los dispositivos que realizan el monitoreo automático de la calidad de aguas subterráneas en tiempo real.

Los tres métodos mencionados se encargan de monitorear automáticamente el agua subterránea pero se diferencian en los

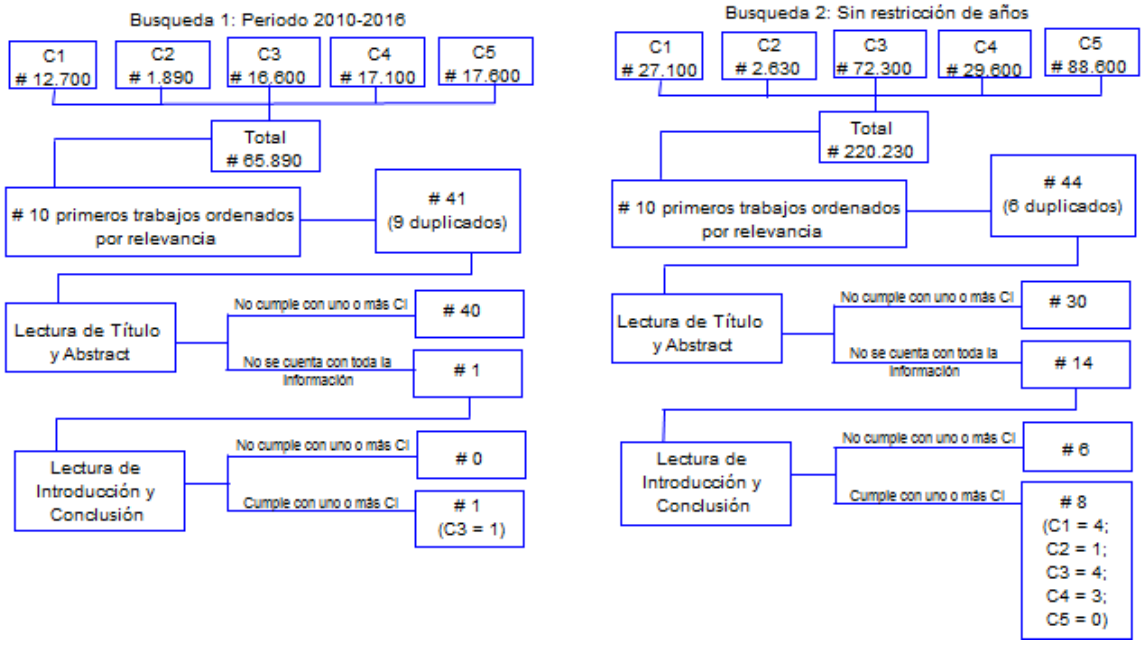

Figura 1. Proceso realizado para el mapeo sistemático de la literatura.

Cuadro II
LISTA DE TRABAJOS IDENTIFICADOS QUE APLICARON A LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LAS BÚSQUEDAS 1 Y 2, ORDENADOS POR AÑO DE PUBLICACION.

Ref	Nombre del trabajo	Autor/ Inventores	Lugar de publicación	Palabras clave	Año	Revi-sión	Paten te	Trata sobre acuíferos	Diseño técnico	Método de monitoreo	Análisis de calidad del agua	Parámetros	Cade na/s
[4]	Automated Groundwater Monitoring Using Telemetry	H. Taffahi, N. Bensouda, Y.S. Alj	Conference on Intelligent Systems Modelling & Simulation (ISMS), 2013 4th International	Groundwater; telemetry; radio frenquency	2013	No	No	Completo	Si	Sensores inalámbricos	Si	pH, sodio, cloruro	C3
[5]	Groundwater monitoring system	R. Ruizenaar	Patente	N/A	2007	No	Si	Completo	Si	Sensores inalámbricos	Si	N.E	C1
[6]	Design and deployment of a remote robust sensor network: Experiences from an outdoor water quality monitoring network	T. Le Dinh, W. Hu, P. Sikka, P. Corke, L. Overs, S. Brosnan	Proceedings - Conference on Local Computer Networks, LCN	N.E	2007	No	No	Completo	Si	Sensores inalámbricos	Si	salinidad y el nivel de la napa freática	C3
[7]	Designing Wireless Sensor Networks as a Shared Resource for Sustainable Development	N. Ramanathan, L. Balzano, D. Estrin, M. Hansen, T. Harmon, J. Jay, W. Kaiser, G. Sukhatme	International Conference on Information and Communication Technologies and Development, 2006. ICTD '06.	N.E	2006	No	No	Sección	Si	Sensores inalámbricos	Si	humedad del suelo, temperatura y nitratos	C3
[8]	A review of the national groundwater monitoring network in Korea	J. Lee, M. Yi, Y. Yoo, K. Ahn, G. Kim, J. Won	Hydrological Processes	National Groundwater Monitoring Network; Groundwater Law; water level; recharge; Korea	2006	No	No	Completo	Si	Sensores inalámbricos	Si	N.E	C1
[9]	Ground Water Monitoring using Smart Sensors	S. Anumalla, B. Ramamurthy, D.C. Gosselin, M. Burbach	International Conference on Electro Information Technology, 2005 IEEE	N.E	2005	No	No	Completo	Si	Sensores inalámbricos	No	Nivel del agua	C2
[10]	Method and system to remotely monitor groundwater treatment	T. M. Sivavec, P. D. Mackenzie, S. S. Baghel, J. J. Salvo	Patente	N/A	2002	No	Si	Completo	Si	Sensores inalámbricos	Si	N.E	C3, C4
[11]	Monitoring, diagnostic, and reporting system and process	J. J. Salvo, P. D. Mackenzie	Patente	N/A	2002	No	Si	Completo	Si	Sensores inalámbricos	Si	N.E	C1, C4
[12]	Automated groundwater monitoring system and method	G. E. Granato, K. P. Smith	Patente	N/A	2000	No	Si	Completo	Si	Sensores inalámbricos	Si	N.E	C1, C3,C4

tipos de evaluaciones que realizan (características o calidad del agua subterránea) y la manera en que transmiten los resultados del monitoreo.

IV-A. Respuesta RQ.1

En relación a la pregunta RQ.1 sobre las solución/es que se han planteado para el monitoreo automático de la calidad de aguas subterráneas en tiempo real, se identificó el uso de sensores combinados con tecnologías inalámbricas para la construcción de Redes de Sensores Inalámbricos (WSN). Entre sus limitaciones podemos mencionar: se utiliza en pequeñas escalas, ausencia de sensores adecuados, sensores costosos por ejemplo para el monitoreo de nitrato, ausencia de sensores in situ económicos y fiables para todos los parámetros necesarios de calidad del agua, existe la necesidad de sensores con bajo consumo de energía [1]. A pesar de estas limitaciones, siguen siendo muy eficaz debido a las evaluaciones fiables y la recopilación de datos en tiempo real [1]. Esta tecnología fue utilizada en los 9 trabajos seleccionados.

IV-B. Respuesta RQ.2

Respecto a la pregunta RQ.2 sobre los principales parámetros utilizados en el monitoreo automático de calidad del agua subterránea en tiempo real, se listan en el Cuadro III los parámetros monitoreados en los trabajos seleccionados y los sensores utilizados para monitorear los parámetros.

Cuadro III
PARAMETROS UTILIZADOS EN EL MONITOREO AUTOMATICO DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA EN TIEMPO REAL.

Parámetros	Sensores	Referencias
pH	Sensor de pH	[4] [7]
Conductividad eléctrica	Sensor de conductividad eléctrica	[4]
Salinidad	Sensor de conductividad eléctrica	[6]
Arsénico	Sensor de Arsénico	[7]
Carbonato de calcio	Sensor de Carbonato de calcio	[7]
Nitrato	Sensor de Nitrato	[7]
Cloruro	Sensor de Cloruro	[7]
Amonio	Sensor de Amonio	[7]

También se utilizaron los sensores inalámbricos para monitorear automáticamente otras características, no relacionadas a la calidad del agua: la profundidad del agua subterránea [4, 6-7, 9], el subsuelo y la cantidad de agua subterránea que se bombea hacia fuera [6], humedad del suelo [7], temperatura [7].

V. Conclusión

El objetivo de este estudio fue obtener evidencia sobre la existencia de soluciones para monitorear automáticamente las aguas subterráneas, utilizando un método de mapeo sistemático de la literatura, que permite analizar un conjunto de trabajos de investigación y responder a las preguntas de investigación planteadas sobre:

RQ.1. ¿Qué solución/es se han planteado para el monitoreo automático de la calidad de aguas subterráneas en tiempo real?

RQ.2. ¿Qué parámetros son monitoreados?

Inicialmente, las búsquedas fueron acotadas a un periodo de tiempo, entre los años 2010 y 2016 (búsqueda 1), con el fin de conseguir técnicas actuales o utilizadas en los últimos años; pero debido a la escasa cantidad de artículos que cumplían con los criterios de selección, se realizó otra búsqueda sin acotar los años (búsqueda 2). Quitando las restricciones se obtuvo mejores resultados. El total de resultados obtenidos en ambas búsquedas fue de 9 trabajos seleccionados que cumplieron con los criterios de selección.

Se identifica a las WSN como la solución para monitorear automáticamente las aguas subterráneas. Los parámetros monitoreados en los trabajos seleccionados fueron: pH, conductividad eléctrica, salinidad, arsénico, carbonato de calcio, nitrato, cloruro, amonio, profundidad del agua subterránea, humedad del suelo y temperatura.

Como trabajo futuro, se pretende profundizar sobre los estudios basados en WSN, estudiando las características técnicas, ventajas y limitaciones para proponer un diseño de monitoreo automático de aguas subterráneas para el acuífero Patiño.

Referencias

[1] H. Zia, N. R. Harris, G. V. Merrett, M. Rivers, and N. Coles, "The impact of agricultural activities on water quality: A case for collaborative catchment-scale management using integrated wireless sensor networks," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 96, pp. 126–138, 2013.

[2] R. de Souza, C. Lopes, F. Bezerra, and C. R. B. de Souza, "RAMANI: Uma Ferramenta de Apoio à Colaboração durante a Execução de Estudos Sistemáticos," in X Brazilian Symposium in Collaborative Systems, 2013, p. 144.

[3] K. Petersen, R. Feldt, and S. Mujtaba, "Systematic mapping studies in software engineering," in 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, 2008, pp. 1-10.

[4] H. Taffahi, N. Bensouda, and Y. S. Alj, "Automated Groundwater Monitoring Using Telemetry," presented at the 2013 4th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, 2013.

[5] R. Ruizenaar, "Groundwater monitoring system. U.S. Patent Application No. 11/853,960.," 2007.

[6] T. Le Dinh, W. Hu, P. Sikka, P. Corke, L. Overs, and S. Brosnan, " Design and deployment of a remote robust sensor network: Experiences from an outdoor water quality monitoring network," presented at the 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2007), 2007.

[7] N. Ramanathan, L. Balzano, D. Estrin, M. Hansen, T. Harmon, J. Jay, et al., "Designing wireless sensor networks as a shared resource for sustainable development," presented at the 2006 International Conference on Information and Communication Technologies and Development 2006.

[8] J. Y. Lee, M. J. Yi, Y. K. Yoo, K. H. Ahn, G. B. Kim, and J. H. Won, "A review of the national groundwater monitoring network in Korea," Hydrological Processes, vol. 21(7), pp. 907-919, 2007.

[9] S. Anumalla, B. Ramamurthy, D. C. Gosselin, and M. Burbach, "Ground water monitoring using smart sensors," presented at the 2005 IEEE International Conference on Electro Information Technology, 2005.

[10] T. M. Sivavec, P. D. Mackenzie, S. S. Baghel, and J. J. Salvo, "Method and system to remotely monitor groundwater treatment. U.S. Patent No. 6,491,828. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.," 2002.

[11] J. J. Salvo and P. D. Mackenzie, "Monitoring, diagnostic, and reporting system and process. U.S. Patent No. 6,356,205. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.," 2002.

[12] G. E. Granato and K. P. Smith, "Automated groundwater monitoring system and method. U.S. Patent No. 6,021,664. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.," 2000.

[13] C. García Sáez, "Caracterización de la distribución de especies de importancia biológica en el ordenamiento ecológico marino: evaluación de metodologías existentes y propuesta de agenda de investigación," in Ordenamiento ecológico marino. Visión integrada de la regionalización, ed México: Instituto Nacional de Ecología, 2009, pp. 87 - 105.

[14] A. Calera Belmonte, “El uso de la teledetección en la gestión del agua en la agricultura de regadío. Caso de Estudio en La Mancha,” presented at the 1ra. Reunión de Riego, España, 2008.
[15] B. R. Scanlon, L. Longuevergne, and D. Long, “Ground referencing GRACE satellite estimates of groundwater storage changes in the California Central Valley, US,” Wat. Resour. Res., vol. 48, 2012.
[16] P. Chinnasamy, J. A. Hubbart, and G. Agoramoorthy, “Using Remote Sensing Data to Improve Groundwater Supply Estimations in Gujarat, India,” Earth Interactions, vol. 17(1), pp. 1-17, 2013.
[17] K. A. Voss, J. S. Famiglietti, M. Lo, C. de Linage, M. Rodell, and S. C. Swenson, “Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region,” Water Resour. Res., vol. 49, pp. 904–914, 2013.
[18] D. Long, B. R. Scanlon, L. Longuevergne, A. Y. Sun, D. N. Fernando, and H. Save, “GRACE satellite monitoring of large depletion in water storage in response to the 2011 drought in Texas,” Geophys. Res. Lett. , vol. 40, pp. 3395–3401, 2013.
[19] B. Dafflon, Y. Wu, S. S. Hubbard, J. T. Birkholzer, T. M. Daley, J. D. Pugh, et al., “Monitoring CO2 intrusion and associated geochemical transformations in a shallow groundwater system using complex electrical methods,” Environ Sci Technol, vol 47 (1), p. 314-321, 2012.
[20] R. D. Ogilvy, P. I. Meldrum, O. Kuras, P. B. Wilkinson, J. E. Chambers, M. Sen, et al., “Automated monitoring of coastal aquifers with electrical resistivity tomography,” Near Surface Geophysics, vol. 7, pp. 367-375, 2009.