

Métodos para evaluar interacciones entre cuerpos de agua en un humedal y aplicación en dos casos de estudio

T. Betancur*

Universidad de Antioquia, Calle 67 N° 53-108

E. Bocanegra

Universidad Nacional de Mar del Plata, UA-MDP-UTN, CIC, Funes 3350, 7600 Mar del Plata, Argentina

A. Romanelli

Universidad Nacional de Mar del Plata, CONICET, Funes 3350, 7600 Mar del Plata, Argentina

D. Santa

Universidad de Antioquia, Calle 67 N° 53-108

Email de correspondencia: terebetanv@udea.edu.co

RESUMEN: La comprensión de la dinámica de ecosistemas dependientes del recurso hídrico subterráneo, como pueden llegar a serlo algunos humedales, parte del conocimiento del sistema hidrológico. Para alcanzar esta meta se aplica una serie de métodos y procedimientos de análisis que comprenden la caracterización hidrogeológica, la delimitación del área de captura de agua hacia el humedal, el monitoreo piezométrico, la realización de balances de masas. La modelación numérica, los análisis hidrogeoquímicos y los métodos isotópicos permiten refinar y validar los modelos conceptuales. En el marco del proyecto Hydrochemical and isotopic techniques for assessment hydrological processes on wetlands, promovido entre los años 2006 y 2011 por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), Colombia y Argentina compartieron conocimiento y experiencias para entender la dinámica de los humedales Ciénaga Colombia y La Salada. En este texto se resumen aspectos metodológicos y los resultados de los dos casos de estudio considerados.

PALABRAS CLAVE: humedales, agua subterránea, modelo conceptual, hidrogeoquímica, hidrología isotópica.

ABSTRACT: The Understanding of ecosystem dynamics, for example the wetlands, depends of the knowledge of the hydrologic system. Many techniques can be used in order to obtain a good conceptual model of the wetlands and its catchment area: hydrogeology, numerical modeling, hydrogeochemistry, and isotope hydrology. researchers of Argentina and Colombia studied -According with the project: "Hydrochemical and isotopic techniques for assessment hydrological processes on wetlands" (IAEA, 2006 to 2011)- two wetlands hydrogeology dependent: La salada Pond and Cienaga Colombia Weltand. These projects used methodologies similar and they obtained validated hydrological models

KEYWORDS: Wetlands, groundwater, conceptual model, hydrochemistry, environmental isotopes.

1 INTRODUCCIÓN

La comprensión de los sistemas hidrológicos, independientemente de la escala de trabajo, enfrenta al investigador con el reto de evaluar y entender las interacciones que se dan entre los componentes atmosférico, superficial y subterráneo. Cada vez menos el estudio del agua puede seguirse dando de manera compartimentada, cada día más los límites entre cuenca superficial y cuenca vertiente deben ser esta-

blecidos, para poder efectivamente identificar las denominadas zonas de captura hidrológica.

Los humedales, esas extensiones de agua declaradas mediante un tratado intergubernamental (Convención sobre los Humedales-Ramsar, 2007) como ecosistemas estratégicos, son sistemas superficiales cuya permanencia depende en muchas ocasiones de su interacción con las aguas subterráneas. Los humedales figuran entre los medios más productivos del mundo; son cunas de diversidad biológica y fuentes de agua y productividad primaria de las que numerosas especies

vegetales y animales como aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces e invertebrados, dependen para subsistir.

El punto de partida hacia el entendimiento y caracterización del sistema hidrológico, lo constituye la identificación y descripción de los procesos de flujo de agua y de los componentes, entendidos como los medios en los que y a través de los cuáles, se da dicho flujo. Estos elementos conforman lo que se conoce como modelo hidrológico conceptual.

En el marco del programa “Isotopic techniques for assessment of hydrological processes in wetlands”, promovido por la Agencia Internacional de Energía Atómica –IAEA- entre 2006 y 2011, Argentina y Colombia hicieron parte de los 18 casos de estudio a través de los cuales se cumplió con el propósito de aplicar una metodología para evaluar la dinámica del flujo de aguas subterráneas desde y hacia humedales, apoyados en la utilización de técnicas isotópicas con miras a buscar la sostenibilidad de estos ecosistemas estratégicos.

2 MARCO CONCEPTUAL

La investigación, estudio, evaluación y control de los componentes del ciclo hidrológico, requiere un amplio conjunto de conocimientos, medios, observaciones y métodos que permitan abordar desde diversos puntos de vista complementarios la complejidad y variabilidad de cada uno de esos componentes, de sus interrelaciones y de su relación con el medio físico, químico y biótico. Difícilmente una única técnica o método simple lleva a resultados seguros, que tengan la confianza de que se trata de una aproximación razonable a la realidad. A los métodos físicos e hidrodinámicos que han sido desarrollados más tempranamente y de mayor tradición, se han sumado más recientemente los métodos químicos, hidroquímicos e hidrogeoquímicos, que amplían muy notablemente el panorama y, además de proporcionar enfoques cuantitativos, permiten con frecuencia ensayar la adecuación de los modelos conceptuales y buscar alternativas para la interpretación y evaluación. Estos métodos químicos se amplían extraordinariamente, mejoran mucho su potencial y abren numerosas nuevas vías cuando se consideran las variaciones isotópicas y el contenido en isótopos estables y radioactivos. Muchos de estos métodos están ya bien contrastados y se han ido convirtiendo en herramientas al alcance ordinario de los hidrólogos, y que se deben usar comúnmente (Custodio, 2002).

Orientados por el propósito de evaluar la dinámica hidrológica que tiene lugar en torno a un humedal dependiente de las aguas subterráneas y a partir de la información disponible se formula un modelo hidrológico

conceptual preliminar, con el que se hace evidente la necesidad de obtener nueva información para lograr un mejor entendimiento de los procesos que ocurren en estos sistema naturales; de esta manera se establecen los criterios y procedimientos para diseñar y poner en marcha redes de monitoreo a partir de las cuales se puedan reunir elementos para refinar un modelo hidrodinámico. La modelación numérica permite ajustar el modelo conceptual y simular escenarios futuros que muestren la posible respuesta del medio a cambios naturales o de origen humano. Un modelo hidrogeoquímico permite refinar el modelo conceptual y la hidrología isotópica proporciona argumentos para su validación. Finalmente un conocimiento mejor y más completo de un sistema proporciona mejores elementos para el establecimiento de medidas de manejo y la toma de decisiones en pro de la sostenibilidad ambiental (figura 1).

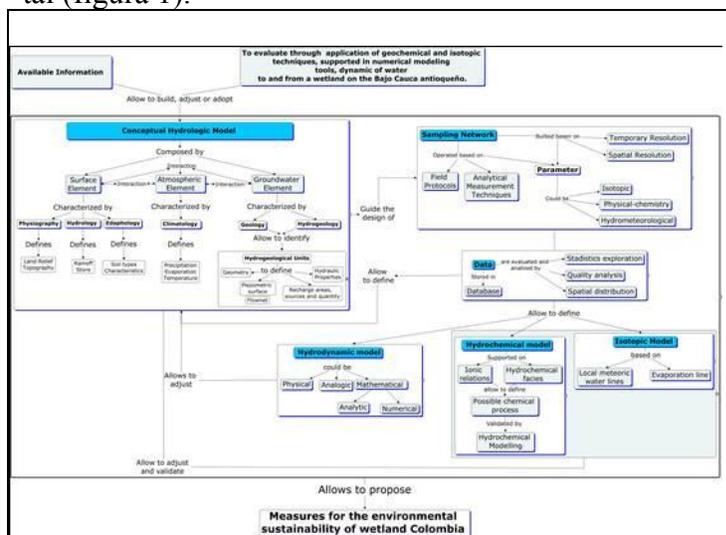


Figura 1. Esquema metodológico para la evaluación de modelos hidrológicos Humedal-acuífero (Elaborado por Santa, Martínez y Betancur, 2010).

El resultado de la exploración hidrológica básica en una zona determinada es un modelo conceptual del sistema hídrico. Como lo manifiestan Andersson y Woessner (1991) refiriéndose al compartimiento subterráneo, un modelo conceptual es una representación pictórica del sistema de flujo de agua, frecuentemente en forma de un bloque diagrama o una sección transversal. Para el sistema hidrológico, el modelo conceptual comprende la identificación y descripción de los componentes y procesos que se presentan en los diferentes compartimentos del ciclo hidrológico. La definición de lo que es un modelo hidrológico conceptual está en construcción; en general el término “modelo conceptual” ha hecho parte del lenguaje de la modelación numérica al plantearse qué es el objeto de representación mediante una malla de elementos, bloques o diferencias finitas que se desea reproducir a partir de la solución de un sistema de ecuaciones diferenciales

parciales. Sin embargo toda descripción de un sistema constituye un esfuerzo por representarlo y eso es lo que en términos amplios se conoce como modelo. Los científicos exploran la naturaleza para entenderla y describirla. La simplificación es necesaria porque una reconstrucción completa del sistema es imposible (Betancur, 2008). Bredehoeft (2005), expresa que un modelo conceptual es la idea básica o construida de cómo operan los sistemas y procesos.

Un modelo conceptual siempre está cargado de cierta incertidumbre, hay dos condiciones importantes que deben seguirse si se quiere encontrar el modelo conceptual más apropiado: se deben coleccionar tantos datos como sea posible, una metodología complementaria puede proporcionar nueva información que cambie el modelo actual, y el investigador o analista debe tener la mente abierta al hecho de que la nueva información recolectada puede cambiar el modelo drásticamente, y aún así el modelo final nunca representará fielmente el sistema real (Bredehoeft, 2005).

La representatividad de los modelos obtenidos depende de la calidad de la información que pueda recopilarse para su construcción, la que a su vez está limitada por la disponibilidad de recursos financieros. En una situación ideal se dispondría de información dura pero en la realidad, en mayor o menor grado se requiere hacer inferencias y construir lo que se denomina inferencia blanda. Además siempre se debe apoyar el modelo en información preexistente y en modelos predefinidos de otro tipo: modelos fisiográficos, climáticos, hidrográficos, entre otros. La incertidumbre de estos modelos se traslada inevitablemente al modelo hidrológico.

Hay que señalar que un modelo hidrológico contiene numerosas interpretaciones cualitativas y subjetivas; la prueba de su validez sólo se logra mediante la aplicación de técnicas de investigación específicas que permiten interpretar los procesos y luego de que se construya un modelo numérico y se comparen los resultados de la simulación con las observaciones de campo (Betancur 2008).

A partir de un modelo hidrológico conceptual de las interacciones entre aguas superficiales y subterráneas, nuevas preguntas y nuevas hipótesis de trabajo dan origen al planteamiento de objetivos para investigar y, así ampliar el conocimiento del sistema hidrológico. Para estudiar el origen y la evolución de las aguas que a partir de la precipitación fluyen por las corrientes superficiales o se incorporan al medio subterráneo utilizando técnicas hidroquímicas, se requiere el diseño de una red de monitoreo que facilite la toma de muestras a partir de la cual se obtienen los datos que al ser analizados y procesados permiten interpretar químicamente el sistema y proponer un modelo hidroquímico; de forma complementaria se pueden in-

cluir análisis del comportamiento de isótopos ambientales. La validez desde el punto de vista termodinámico del modelo logrado, se alcanza una vez se realicen tareas de modelación inversa que permitan identificar, a la luz de las condiciones naturales del medio, los posibles procesos responsables de dicha evolución. Finalmente se tendrá un modelo conceptual mejor sustentado, menos incierto y a punto de ser sometido a nuevas preguntas en búsqueda de nuevas respuestas y un conocimiento más completo.

3 CASOS DE ESTUDIO

En La Pampa Argentina se destaca la presencia de numerosos cuerpos de agua en un ambiente propicio para la formación de humedales. La economía de esta región se basa fundamentalmente en la agricultura y la ganadería. También en esta latitud los denominados “wetlands” representan áreas de inmensa diversidad biológica. La Laguna La Salada (figura 2), está localizada en la zona de captura de la cuenca del río Quequen, es el humedal más grande de la región y según el balance de masas el agua subterránea constituye un componente fundamental en los flujos de agua que se dan a través de ella (Romanelli et al, 2010).

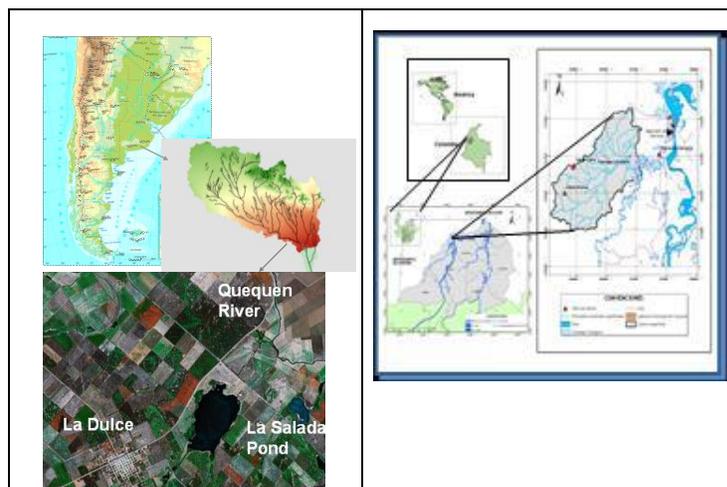


Figura 2. Localización de las áreas de estudio

El sistema hidrológico Ciénaga Colombia (figura 2) ubicado en el Bajo Cauca antioqueño es un ecosistema estratégico, constituye un mecanismo regulador de caudales en el río Man entre épocas de invierno y verano y soporta una amplia variedad de recursos ecológicos que son significativos en el desarrollo socioeconómico de la zona; además a través de la retención, transformación y remoción de sedimentos, nutrientes y contaminantes juega un papel fundamental en los ciclos de la materia y en la calidad de las aguas. Este complejo hídrico se encuentra fuertemente impactado por actividades humanas asentadas en el área como: la tala rasa para ampliación de potreros, la extracción de madera, la caza y la pesca indiscriminadas, el manejo

inadecuado de los drenajes y la construcción de jarrillones y terraplenes para reducir las inundaciones y ampliar las fincas ganaderas, habilitar terrenos para el crecimiento urbano y construir carreteras y otras obras. Estas prácticas introducen cambios en la dinámica natural del sistema, afectando entre otros los procesos hidrológicos que involucran las corrientes superficiales y el acuífero libre de la región (CORANTIOQUIA y Neotrópicos, 2002).

4 METODOLOGÍA

Para los dos casos de estudio que aquí se documentan (La Salada LS y Ciénaga Colombia CC) se aplicaron las herramientas y obtuvieron los productos que se indican en la tabla 1 (figura 3). A partir de Modelos Digitales de Elevación y red de drenaje, se delimitaron las cuencas superficiales correspondientes a las entradas de agua a los humedales Ciénaga Colombia y La Salada, del monitoreo piezométrico se obtuvo información suficiente para definir las redes de flujo subterráneo con las cuales se delimita hidrológicamente la zona de captura de los humedales; los métodos de balance hídrico proporcionaron una primera aproximación a la separación de las diferentes fuentes de entrada de agua a los sistemas lénticos. Mediante procedimientos de modelación numérica (usando modelos directos e inversos) se reprodujo la hidrodinámica de cada sistema hidrológico; y finalmente los análisis hidroquímicos e isotópicos permitieron validar los modelos conceptuales.

5 RESULTADOS

Fueron relevantes dentro de estos dos proyectos los hallazgos logrados en términos de la determinación de las “huellas digitales” que marcan las rutas del flujo de agua, la determinación de factores de tiempos de residencia de agua en el sistema, el establecimiento de la efectiva interacción entre aguas superficiales y subterráneas en estos ecosistemas dependientes de acuíferos.

Tabla 1. Métodos y productos aplicados y obtenidos para los dos casos de estudio

HERRAMIENTA	LS	CC
Delimitar cuenca superficial: DEM, Red de drenaje	X	X
Identificar fuentes (entradas subterráneas): Piezometría – red de flujo subterránea.	X	X
Balance hídrico	X	X
Probar modelo hidrológico usando modelo numérico de flujo.	X	X
Incorporar herramientas hidroquímicas e hidrología isotópica.	X	X

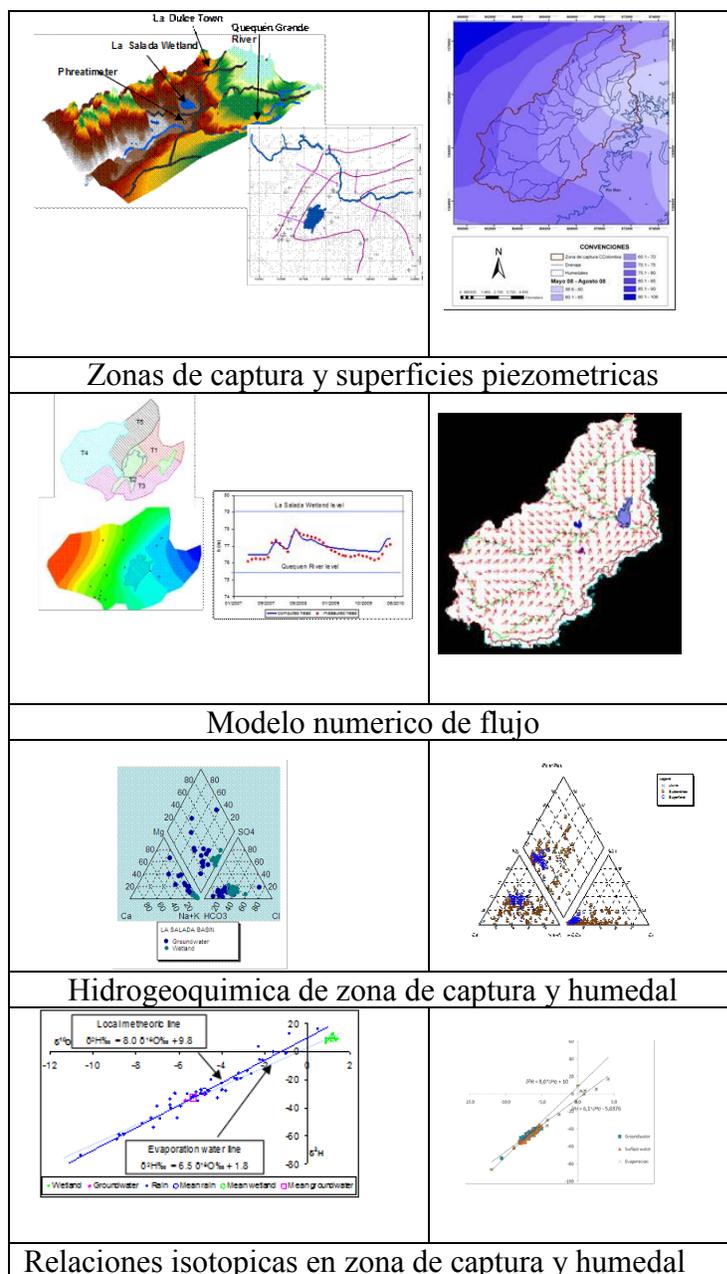


Figura 3. Modelo hidrológico de interacción agua superficial agua subterránea en los humedales La Salada (Argentina) Ciénaga Colombia (Colombia)

Acerca de las rutas de flujo subterráneo, los modelos piezométricos revelan en ambos casos la existencia de aportes de flujo base a los humedales, la hidroquímica evidencia claros efectos de evaporación, mientras que los valores isotópicos del $\delta^{18}O$ y δ^2H , indican que el agua albergada en los humedales tiene aportes desde el acuífero adyacente.

Los tiempos de tránsito del agua entre el medio hidrogeológico y el humedal fueron determinados para la laguna La Salada mediante el análisis integrado de CFCs y gases nobles, arrojando edades aparentes de 50 años para el agua subterránea y 25 años para el río

Quequen en relación con La Salada (Bocanegra et al, 2011). Para Ciénaga Colombia no se han adelantado análisis de edad relativa

Los balances hídricos y análisis de oscilación de niveles freáticos en torno a los humedales La Salada y Ciénaga Colombia permitieron en ambos casos confrontar y delimitar la zona de captura y establecer la relación topológica entre cuenca superficial y subterránea.

La interacción entre acuífero y humedal para los casos La Salada y Ciénaga Colombia, determina que ambos humedales quedan incluidos dentro de la denominación de dependientes del agua subterránea, al existir pruebas hidrodinámicas, hidroquímicas e isotópicas que evidencian los aportes desde cuerpos superficiales y desde el medio hidrogeológico.

6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

A través de la ejecución del proyecto Hydrochemical and isotopic techniques for assessment hidrological processes on wetlands, promovido entre los años 2006 y 2011 por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), se generaron espacios de discusión e intercambio de experiencias que permitieron avanzar en la consolidación de propuestas metodológicas para evaluar la interacción entre aguas subterráneas y “wetlands”. El objetivo de lograr este propósito radicaba en el hecho conseguir un mejor conocimiento de estos ecosistemas estratégicos para contar con mas y mejores argumentos para emprender la toma de decisiones en el sentido de implementar medidas de manejo que propendan por su sostenibilidad ambiental. Los casos específicos de la laguna La Salada en Argentina y Ciénaga Colombia en Colombia, representaron dos ejemplos en los que gracias a una permanente comunicación y vínculos entre investigadores de los dos países, fue posible intercambiar con mayor frecuencia métodos y resultados, concretando dos modelos hidrológicos apoyados en técnicas de construcción y validación similares.

El desarrollo de los dos proyectos evidencia que la combinación de técnicas hidrológicas convencionales acompañadas de la utilización de metodologías de modelación numérica, hidroquímicas e hidrología isotópica permite mejorar el conocimiento de un modelo hidrológico conceptual y entender la dinámica e interacciones entre los compartimientos superficial y subterráneo asociados a la zona de captura de un humedal.

7 REFERENCIAS

- Anderson, M. P. and Woessner, W. W., 1992. Applied Groundwater Modeling. Simulation of flow and advective transport. Academic Press, San Diego. 381 p.
- Betancur, T., 2008. Una aproximación al conocimiento de un sistema acuífero tropical. Caso de estudio: Bajo Cauca antioqueño. Tesis doctoral. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. 227 P.
- Betancur, T., 2011. Use of isotopic techniques for the assessment of the hydrological interactions between surface and groundwater. Rio Man – Cienaga Colombia (IAEA-CN-186-106), International Symposium on Isotopes in hidrology, marine ecosystems and climate change studies. p148.
- Bredehoeft, J., 2005. The conceptualization model problem—surprise. Hydrogeology journal, 13:37–46
- Bocanegra, E., Martínez, D., Romanelli, A., Quiroz Londoño, M. 2011. Isotope techniques and flow modelling for the assessment of groundwaterwetland interactions in the Pampa Plain, Argentina. “La Salada” Pond as a study case. Geophysical Research Abstracts. Vol. 13, EGU2011-879. EGU General Assembly.
- Custodio, E., 2002. Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico: principios y aplicaciones (Traducción al español). Wook Editores, Madrid.
- Corantioquia y Neotropicos., 2002. Diseño e implementación inicial de los componentes institucional y operativo de visión Panzenú, Informe Final. Medellín. p 152.
- Romanelli A., Quiroz M., Massone H. Martínez D. 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, 121 (4): 373-386. ISSN: 0366-0176.