

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONEXIÓN HIDRÁULICA ENTRE HUMEDALES Y AGUAS SUBTERRÁNEAS MEDIANTE CRITERIOS HIDROQUÍMICOS EN EL ÁMBITO DE LA PROVINCIA DE JAÉN

BUIL GUTIERREZ, Belén. CIEMAT
FERNÁNDEZ ESCALANTE, Enrique. TRAGSATEC

Palabras clave: hidrogeología, humedal, hidroquímica, evolución hidroquímica, Jaén.

Resumen

Los procesos de interacción agua-roca parecen ser una de las principales causas de la singularidad hidroquímica de gran parte de los humedales situados en la provincia de Jaén y en Andalucía en general. El contexto geológico en que están ubicados estos humedales es determinante en los procesos de mezcla con las aguas de escorrentía, condicionando la tendencia evolutiva de las aguas. La alta especificidad ecológica de estos ecosistemas inducen a pensar en la influencia de las características químicas de las aguas subterráneas en la alta biodiversidad y la singularidad de los ecotonos asociados. En este breve artículo se presenta el panorama de los humedales en la provincia de Jaén, y se propone una gama de alternativas metodológicas para estudiar la influencia de las aguas subterráneas y de los procesos de mezcla e interacción agua-roca en el ecosistema asociado, mediante la aplicación de códigos hidroquímicos y estudios de especiación mineralógica.

Introducción

La mayor parte de la provincia de Jaén está enclavada desde un punto de vista geológico en la zona Subbética y Zonas Externas de la Cordilleras Béticas, así como en la Depresión del Guadalquivir, según la subdivisión clásica basada en la concepción del geosinclinal (FALLOT, 1948).

La sedimentación en las zonas externas y la pérdida de uniformidad sedimentaria de la “Cuenca Bética” por motivos paleogeográficos y tectónicos ha provocado una amplia variedad de litofacies en las áreas de influencia de los humedales existentes, aflorando variadas litologías de edad comprendida, por lo general, entre el Triásico y el Cuaternario.

La amplia variedad de facies hidroquímicas en los escasos humedales existentes, a pesar de haberse generado en contextos geológicos muy diversos, trae consigo la necesidad de plantear metodologías que refuercen los criterios hidrogeológicos convencionales para el estudio de la hidrodependencia o conexión hidráulica agua-acuífero, principal objetivo de este trabajo. Las conclusiones alcanzadas sirven de punto de partida para estudios posteriores de carácter medioambiental y limnológico que aborden la relación agua-biotopo, e indirectamente, acuífero-biotopo.

Los humedales de la provincia de Jaén

De acuerdo con el inventario disponible, elaborado a partir de cartografías del ICONA y revisiones posteriores, en la provincia de Jaén hay un total de 12 zonas húmedas, cuyo listado y posición aparece a continuación, si bien hay que destacar que, contando con los humedales estacionales, esta cifra ronda el medio centenar.

Estos humedales se concentran en la mitad occidental de la provincia (excepto la Laguna de los Perales, en Montizón, sobre un basamento paleozoico herciniano) y han sido originados en contextos variables (Tabla y figura 1). La laguna Grande se ha formado sobre un sustrato de arcillas rojas cuaternarias con cantos y costras calcáreas. Las salinas de San Carlos, Brujuelo, San Benito y San Luis y Santa Catalina se han originado sobre arcillas miocenas (Langhiense superior) con bloques de dolomías triásicas

entremezclados (olistolitos), la de San Fernando se ha generado sobre el mismo sustrato con un paquete de fondos de valle cuaternarios fosilizando a las arcillas miocenas, la charca de Hituelo y las salinas de San José se han configurado sobre arcillas del Langhiense con predominio de olistolitos yesíferos, al igual que las salinas de Barranco Hondo, en las inmediaciones de Jaén capital por el noreste. Las lagunas del Chinche y Honda de Alcaudete se han originado sobre arcillas y margas triásicas que engloban olistolitos diversos (calcáreos y yesíferos) en un ambiente olistostrómico. En este contexto, la mayoría de las lagunas se han formado en cuencas endorreicas con aguas mayoritariamente de lluvia y escorrentía, mientras que otras presentan un mayor porcentaje de aguas de origen subterráneo, o bien se alimentan de aguas de ambos orígenes, influyendo la composición de los olistolitos entremezclados en la calidad del agua en baja cuantía, si bien en algunos casos llegan a funcionar como microacuíferos.

NOMBRE	X (UTM)	Y (UTM)	MUNICIPIO	HOJA 50
Laguna de los Perales	495700	4247800	Montizón	864
Laguna Grande	450700	4198600	Baeza	926
Salinas de San Carlos	441300	4193400	Jaén	926
Salinas de Brujuelo	440800	4192300	Jaén	926
Salinas de Don Benito	442400	4190500	Jaén	926
Salinas de San Luis y Santa Catalina	442600	4190800	Jaén	926
Salina de San Fernando	409800	4180300	Torredonjimeno	946
Charca de Hituelo	406500	4179300	Martos	946
Salinas de San José	410600	4179600	Martos	946
Salinas de Barranco Hondo	436400	4185800	Jaén	947
Laguna del Chinche	398300	4163800	Alcaudete	968
Laguna Honda	399100	4161900	Alcaudete	968

Tabla 1. Humedales inventariados en la provincia de Jaén. Situación geográfica.

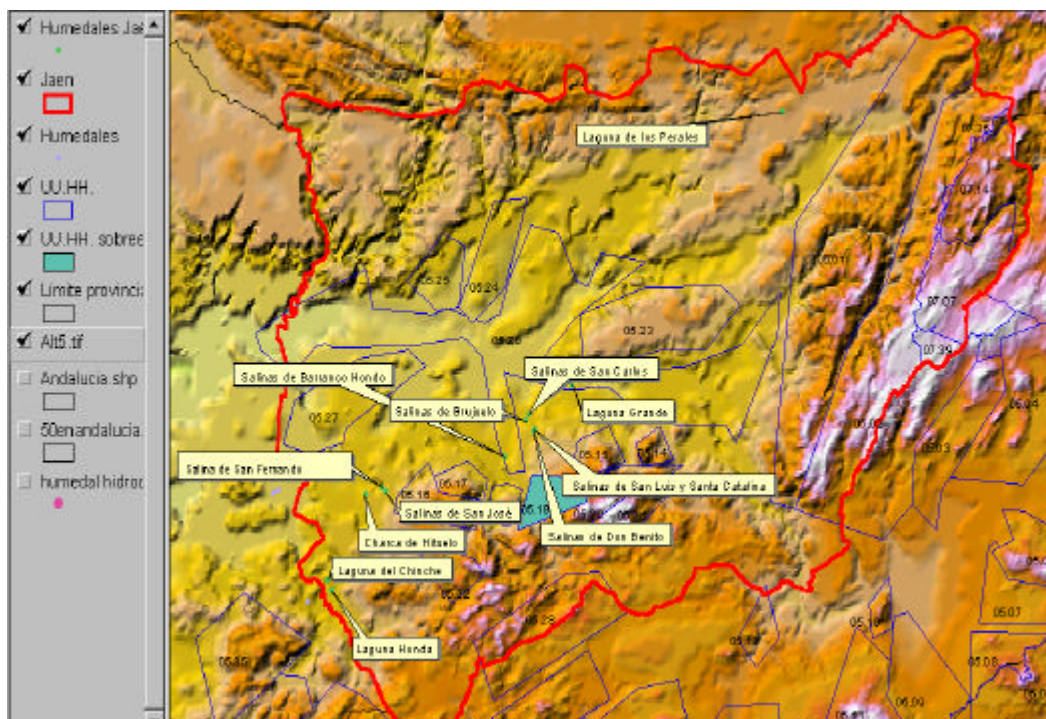


Figura 1. Humedales en la provincia de Jaén y unidades hidrogeológicas. Escala aprox. 1:1250000.

En los humedales lagunares generados por escorrentía en zonas endorreicas, los procesos de interacción agua-roca tienen menor influencia en su composición química que en los humedales dependientes de

acuíferos alimentadores (hidrodependientes). Si bien puede haber un tercer tipo de humedales lagunares generados por aguas de ambos orígenes, en los que los porcentajes de mezcla y la composición de las aguas intermedias condicionan la generación de facies hidroquímicas muy singulares y diferentes, incluso en humedales muy cercanos. Este parece ser el caso del espacio natural protegido de las lagunas Honda (Alcaudete), distante unos 2050 metros de la Laguna del Chinche, sobre materiales cuyo carácter olistostrómico resulta patente, tras observar en campo numerosos vestigios de mezclas e intercalaciones de materiales de distintas edades y orígenes. De este modo es frecuente encontrar en el margen de las lagunas yesos, areniscas, conglomerados, calizas, etc. de distintos ambientes genéticos pero que coexisten espacialmente, lo que influye directamente en la composición de sus aguas y del lecho, y consecuentemente en su limnología.

Por otro lado existe una pareja de humedales hidrodependientes, es decir, cuyo funcionamiento depende de su conexión a un acuífero, en las que la calidad de las aguas está subordinada en mayor medida de las pautas de reacción y del periodo de permanencia en el acuífero del agua que las alimenta. Es el caso de la Laguna Grande de Baeza INP (Espacio de interés Protegido) y LIC (Lugar de Interés comunitario) y las Salinas de Barranco Hondo de Jaén, asociadas a la UU.HH. 05-26 (Aluvial del Guadalquivir-Jaén).

Metodología propuesta

La conexión hidráulica entre humedales y acuíferos puede ser sólidamente soportada mediante técnicas de procesos de interacción agua-roca, si bien, cualquier estudio de esta índole requiere el mayor grado de conocimiento posible de la geología contextual, de las condiciones de contorno y en definitiva, del funcionamiento del sistema. Este puede quedar suficientemente definido mediante la elaboración de una cartografía hidrogeológica específica que refleje con precisión el gradiente hidráulico, líneas de flujo, equipotenciales, etc. También es preciso elaborar un balance hídrico que proporcione datos relativos a la tasa de infiltración en el área de influencia.

La metodología propuesta para el análisis de la conectividad hidráulica entre los humedales y las aguas subterráneas incluye las etapas comunes a un trabajo de investigación geológica en sus aspectos de trabajo de campo y laboratorio, así como el tratamiento de datos los analíticos, que en última instancia implica la modelización hidrogeoquímica de este tipo de sistemas naturales (Figura 2).

La génesis de estos humedales puede ser diversa pudiendo tener un origen subterráneo, meteórico o sub-superficial e incluso responder a un proceso de mezcla de aguas de orígenes diversos. El estudio de la composición química y fisicoquímica de las aguas de las lagunas y de su entorno geológico constituyen una herramienta de gran utilidad en la determinación de la génesis y evolución de este tipo de humedales.

La caracterización hidrogeoquímica de cualquier sistema natural debe iniciarse con la localización de los puntos de muestreo de la fase acuosa dentro de su contexto geológico e hidrogeológico. Este conjunto de datos, junto con los obtenidos a partir del estudio de los materiales encajantes, constituye el punto de partida de la etapa de caracterización y modelización geoquímica de estos sistemas.

La primera etapa del planteamiento metodológico, previa verificación de la bondad de los datos analíticos, lo constituye la **descripción y el análisis de las relaciones establecidas entre los parámetros fisicoquímicos y químicos** de las aguas. Este tipo de tratamiento permite obtener información en dos direcciones: a) caracterizar y clasificar las muestras aportando una valiosa información sobre los posibles materiales y ambientes geoquímicos a través de los cuales se ha desarrollado la/s pauta/s de flujo, así como del conjunto de procesos geoquímicos más relevantes que han operado en el interior del sistema y b) delimitar la existencia de procesos secundarios que han podido afectar a las aguas.

En el caso de disponer de un elevado número de alicuotas caracterizadas por múltiples valores, el **tratamiento estadístico** mediante un análisis multivariante (supervisado o no supervisado en función del grado de conocimiento del sistema) permitirá la reducción del número de variables, la predicción de

nuevos datos aplicando métodos de interpolación o extrapolación, la agrupación de las muestras y la discriminación de muestras situadas en grupos de distinto significado hidroquímico.

En el caso que nos ocupa, y debido al contexto hidrogeológico en el que se enmarcan estos sistemas, es muy probable la contribución de aguas de origen subterráneo y superficial en la génesis y evolución de los humedales. Esta doble contribución podría enmascarar la posible conexión de los mismos con las aguas subterráneas dependiendo de las diferencias de composición química existente entre las aguas que intervienen en el proceso de mezcla (superficiales y subterráneas).

La **evaluación de la existencia de procesos de mezcla** entre distintas aguas conlleva, como primera cuestión, la elección de sus elementos trazadores, que deben de comportarse como conservativos en dicho proceso. La elección de estos elementos está sujeta, en la medida que sea factible, a una serie de condicionantes entre los que podemos destacar: 1.- ha de tratarse de un elemento con un grado bajo de incertidumbre analítica, 2.- ha de mostrar una diferencia de concentración observable entre los polos extremos de la mezcla con objeto de definir las posibles proporciones de la misma en el agua problema y ser capaces de describir el proceso y, 3.- tener un comportamiento típicamente controlado en el sistema lo que implica un enriquecimiento de los mismos en las soluciones que definen los extremos de mezcla. Una vez seleccionados los elementos trazadores del proceso de mezcla, su estudio se llevará a cabo mediante la realización de correlaciones binarias entre los elementos de comportamiento conservativo en las aguas representativas de los polos extremos y las aguas a caracterizar. Por último, la modelización geoquímica mediante códigos informáticos (ej. PHREEQC, EQ3/6, etc.) permitirá una caracterización más completa de dicho proceso cuyo conocimiento es imprescindible en la modelización geoquímica de los procesos de interacción agua-roca.

Cabe señalar un aspecto metodológico de gran interés para la determinación de la contribución de procesos de mezcla y más concretamente, en el caso que nos ocupa, en el análisis de la hidropendencia de las lagunas con los acuíferos subterráneos. Nos referimos a la realización de muestreos estacionales de las aguas que nos permitan disponer de un registro temporal de datos analíticos de las mismas con objeto de verificar la presencia de variaciones estacionales y/o temporales en su composición química y analizar las tendencias obtenidas.

Una vez evaluada la posible contribución de procesos de mezcla en la génesis de los distintos humedales y su probable hidrodependencia con acuíferos subterráneos, estamos en condiciones de analizar si las diferentes facies hidroquímicas observadas en las lagunas corresponden a episodios intermedios de una misma tendencia evolutiva, bien de un único acuífero o de acuíferos hidráulicamente conectados, o por el contrario son el resultado de aguas procedentes de acuíferos hidroquímicamente aislados. El desarrollo de esta etapa implica un conocimiento exhaustivo de las características petrológicas y mineralógicas del material encajante. El tratamiento de los datos mediante la utilización de códigos de **modelización geoquímica** deberá plantearse en función de la cantidad y tipo de información de la que se disponga para el sistema objeto de estudio. En función de la posibilidad de que el sistema pueda haber alcanzado o no una situación de equilibrio entre sus componentes, la modelización geoquímica se realizará desde un planteamiento termodinámico o cinético.

A partir de la modelización geoquímica podemos realizar cálculos de especiación-solubilidad con objeto de determinar el estado de saturación del agua respecto a la mineralogía y gases de interés en el sistema, cálculos de pautas de reacción con objeto de estimar, entre otros usos, la transferencia de masa y la composición del agua en puntos intermedios de la pauta de flujo entre puntos de composición conocida, predecir la pauta y el desarrollo de reacciones hipotéticas supuestas, simular procesos de evaporación, de mezcla de disoluciones, etc. y por último, los cálculos de balance de masas para determinar la cantidad de minerales reactivos (de interés en el sistema) y los productos que deben disolverse o precipitar entre dos puntos seleccionados como inicial y final, para dar cuenta de la calidad del agua observada en ambos puntos. Para el buen desarrollo de estos cálculos es conveniente apoyarse en el conocimiento de la hidrogeología de los sistemas.

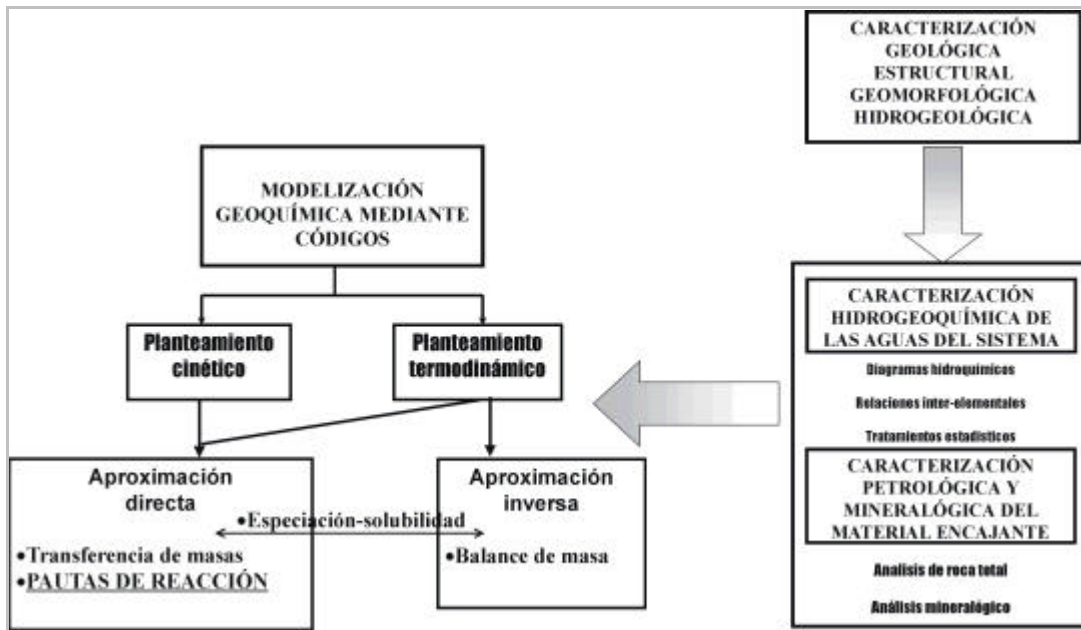


Figura 2.- Planteamiento metodológico general aplicado al tratamiento del estudio de la conectividad-hidráulica entre humedales y acuíferos subterráneos.

Consideraciones

La conexión hidráulica entre humedales y acuíferos puede ser estudiada mediante procedimientos hidroquímicos específicos, si bien, resulta imprescindible abordar el problema con un conocimiento lo mayor posible de las condiciones de contorno geoquímicas, hidrológicas e hidrogeológicas, tanto a escala regional, para comprender el funcionamiento global del sistema y los flujos profundos, como local, que fijen las premisas de actuación.

Determinados contextos geológicos, como pueden ser los olistostromas, pueden conferir a los humedales características hidroquímicas muy singulares, dada la alta heterogeneidad y anisotropía del acuífero o pequeños acuíferos que los conforman y la alta variabilidad mineralógica de los materiales, que pueden originar facies hidroquímicas diferentes en lugares muy próximos y en el mismo contexto geológico.

La influencia de pequeños olistolitos o acuíferos compartimentados no puede ser detectada con facilidad mediante técnicas hidrogeológicas clásicas, por lo que resulta de utilidad el empleo de técnicas hidroquímicas e hidrogeoestadísticas.

La metodología propuesta comprende el conjunto de las técnicas clásicas de caracterización y modelización hidrogeoquímica utilizadas en el estudio y caracterización de sistemas acuosos naturales. La aplicación de las técnicas de modelización geoquímica mediante códigos informáticos depende de la cantidad y tipo de información disponibles sobre el sistema objeto de estudio. Los resultados van a estar condicionados por el grado de conocimiento del mismo.

En función de estas consideraciones, y una vez caracterizadas las aguas desde el punto de vista hidroquímico, la evaluación de la conexión hidráulica de este tipo de sistemas acuosos (humedales) con acuíferos subterráneos es factible a partir de la realización de modelos de pautas de reacción. Estos cálculos permiten la simulación de procesos de interacción agua-roca, obteniendo la evolución de las aguas provocada por reacciones de precipitación y disolución, así como la simulación de procesos de mezcla de aguas. La comprensión del funcionamiento hidrogeológico de este tipo de sistemas de elevada complejidad y el conocimiento geológico del contexto en el que se enmarcan constituyen la primera premisa para abordar un estudio de estas características.

Bibliografía

- ICONA. (1987). "Mapas de Estados Erosivos. Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir".
- TRAGSA; TRAGSATEC (1998). "Restauración Hidrológico Forestal de Cuencas y Control de la Erosión". 2ª edición revisada y ampliada. Mundi-Prensa Libros. Madrid.
- CASADO, S. & MONTES, C. (1995). Guía de los lagos y humedales españoles. Ecosistemas. J. M. Reyero Editor.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1989). Ecosistemas áridos y endorreicos españoles. En: "Zonas áridas en España: 223-238. Real Academia de Ciencias de Madrid.
- Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA). Ley 2/1989, de 18 de julio, que aprueba el inventario de Espacios Naturales y establece medidas para su protección (BOJA núm. 60, de 27 de julio de 1989).