

### III. OTRAS DISPOSICIONES

## MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

- 18569** *Resolución de 28 de octubre de 2021, de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, O.A., por la que se publica el Convenio con la Universidad de Málaga, para la caracterización hidrogeológica y evaluación de recursos hídricos subterráneos de la Sierra de Segura (provincias de Jaén y Granada), para su potencial implementación como reserva estratégica de agua en la cabecera de la cuenca del Río Guadalquivir.*

De acuerdo con lo dispuesto en el artículo 48.8 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público, procede la publicación en el «Boletín Oficial del Estado», del Convenio entre la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, O.A. y la Universidad de Málaga para la caracterización hidrogeológica y evaluación de recursos hídricos subterráneos de la Sierra de Segura (Provincias de Jaén y Granada) para su potencial implementación como reserva estratégica de agua en la cabecera de la cuenca del Río Guadalquivir, otorgado el 26 de octubre de 2021, que se anexa a esta resolución.

Sevilla, 28 de octubre de 2021.–El Presidente de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, O.A., Joaquín Páez Landa.

#### ANEXO

**Convenio entre la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, O.A.  
y la Universidad de Málaga para la caracterización hidrogeológica y evaluación  
de recursos hídricos subterráneos de la Sierra de Segura (Provincias de Jaén  
y Granada) para su potencial implementación como reserva estratégica de agua  
en la cabecera de la cuenca del Río Guadalquivir**

En la ciudad de Sevilla, en la sede de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir O.A., el día 26 de octubre de 2021.

#### INTERVIENEN

De una parte, el Sr. don Joaquín Páez Landa, Presidente de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir O.A. en virtud de nombramiento del Secretario de Estado del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de fecha 31 de julio de 2018, en ejercicio de las competencias asignadas al Organismo de Cuenca por los artículos 23 y 24 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, en desarrollo de las funciones que el artículo 30 del mismo texto normativo atribuye al Presidente del Organismo de cuenca, y con competencia para la suscripción del presente Convenio a tenor de lo dispuesto en el artículo 48.2 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

De otra parte el Excmo. Sr. don José Ángel Narváez Bueno, Rector Magnífico de la Universidad de Málaga, según nombramiento realizado por Decreto 6/2020, de 14 de enero (BOJA núm. 11 de 17 de enero de 2020), actuando en nombre y representación de la Universidad de Málaga, con CIF Q-2918001-E y domicilio fiscal en Avenida de Cervantes número 2, 29016 Málaga, de acuerdo con las atribuciones que tiene conferidas en razón de su cargo en el artículo 20.1 de la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades y en el artículo 27.1 de los Estatutos de la Universidad de

Málaga, aprobados por Decreto de la Junta de Andalucía 464/2019, de 14 de mayo (BOJA núm. 93, de 17 de mayo de 2019).

Ambas partes se reconocen mutuamente, en la calidad en que cada uno interviene, con la capacidad legal necesaria para suscribir el presente convenio y, a tal efecto,

#### EXPONEN

I. Que la Constitución Española, en su artículo 45.2 hace una llamada a las distintas Administraciones Públicas para que, mediante una cooperación solidaria, incardinan sus actuaciones a proteger y mejorar la calidad de vida y a defender y restaurar el medio ambiente.

II. Que la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (en adelante Directiva Marco del Agua), señala como objeto de la misma establecer un marco que promueva un uso sostenible del agua basado en la protección a largo plazo de los recursos hídricos disponibles.

Por su parte, la Ley 10/2001, del Plan Hidrológico Nacional, fija como uno de sus objetivos: optimizar la gestión de los recursos hídricos, con especial atención a los territorios con escasez, protegiendo su calidad y economizando sus usos, en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

Para dar cumplimiento a los objetivos expuesto se hace necesario la adquisición de conocimientos estratégicos que partir de los cuales se pueda mejorar la sostenibilidad en el uso del agua en la cabecera de la Cuenca del Río Guadalquivir, mediante la gestión integrada y la protección a largo plazo de los recursos hídricos, prevención del deterioro del estado de las aguas, protección y mejora del medio hidrogeológico y de los ecosistemas acuáticos asociados, y protección frente a la contaminación.

III. Que la Sierra de Segura es una masa de agua subterránea en el límite oriental del territorio de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir O.A. de la que se tiene escaso conocimiento hidrogeológico.

IV. Que desde la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir O.A., se considera prioritario el conocimiento exhaustivo y el seguimiento hidrogeológico en la Sierra de Segura, por lo que se considera necesaria la realización de un estudio de detalle sobre la caracterización hidrogeológica y evaluación de recursos hídricos de cara a la potencial implementación como reserva estratégica de agua en la cabecera de la cuenca.

Además es preciso delimitar las áreas de recarga de los manantiales que constituyen cabeceras de ríos (Aguasmulas, Aguasnegras, Castril, entre otros) y definir la divisoria hidrogeológica con la vecina cuenca hidrográfica del Segura.

V. Que la Universidad de Málaga, a través de su Centro de Hidrogeología, cuenta con un equipo de reconocida solvencia en hidrogeología de acuíferos carbonatados (kársticos) como los de la Sierra de Segura. Dicho equipo ha realizado numerosos estudios y trabajos de investigación que necesitan de un avance y constatación empírica de los resultados siendo fundamental la aplicación práctica en un entorno de especiales características como el que presenta la Sierra de Segura. Las aportaciones y avances del equipo profesional al campo objeto de este convenio ha tenido repercusión en revistas especializadas a nivel nacional e internacional, las cuales se recogen en el Anexo a este Convenio.

VI. Que para la consecución de objetivos de interés general con base en lo expuesto, y al amparo de lo establecido al efecto en el artículo 25.2 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, acuerdan rubricar el presente Convenio, que se registrará por las siguientes:

## CLÁUSULAS

*Primera. Objeto del Convenio.*

El presente Convenio tiene por objeto instrumentar la colaboración, cooperación y la coordinación necesaria entre la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir O.A. y la Universidad de Málaga para la caracterización hidrogeológica y evaluación de recursos hídricos subterráneos de la Sierra de Segura (Provincias de Jaén y Granada) para su potencial implementación como reserva estratégica de agua en la cabecera de la cuenca del Río Guadalquivir, de conformidad con lo establecido en el Anexo Técnico.

*Segunda. Equipo de trabajo y acciones.*

Para la consecución del objeto propuesto en este Convenio, y la materialización de la coordinación y colaboración entre las administraciones firmantes, se creará un Equipo de Trabajo no permanente, al que se dotará de los medios materiales y humanos necesarios para la obtención de resultados.

Tal y como se hace constar en el Expositivo, se considera de la mayor importancia la caracterización hidrogeológica, evaluación de recursos hídricos y delimitación de las áreas de recarga de los manantiales que constituyen cabeceras de ríos (Aguasmulas, Aguasnegras, Castril, entre otros) y definir la divisoria hidrogeológica con la vecina cuenca hidrográfica del Segura.

Para ello se aplicarán diversos métodos de estudio hidrodinámicos, hidroquímicos, isotópicos, trazadores artificiales, etc. Se realizarán trabajos de campo (inventario de puntos de agua, registro de datos de precipitaciones, de caudal y en su caso de nivel piezométrico, medida de parámetros físico químicos del agua y toma de muestras, ensayos con trazadores artificiales), trabajos de laboratorio (análisis químicos, isotópicos y de los trazadores) y trabajos de gabinete (interpretación de los resultados y elaboración de informes técnicos). En el anexo técnico que acompaña a este Convenio se detallan los trabajos a realizar y un cronograma del desarrollo de los mismos.

El equipo de trabajo estará formado por investigadores del Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga, coordinado por el Prof. Bartolomé Andreo Navarro, Catedrático de Geodinámica Externa (Hidrogeología).

*Tercera. Ámbito territorial.*

El ámbito territorial sobre el que se desarrollan los trabajos es la Sierra de Segura.

*Cuarta. Aportaciones.*

Ambas partes se comprometen a aportar los medios materiales, técnicos, humanos y económicos, que sean precisos para la materialización de las acciones de la Cláusula Segunda, que se desarrollan en el Anexo Técnico a este Convenio, y en concreto:

La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, O.A. aportará:

– La puesta a disposición de las instalaciones e infraestructuras para el desarrollo de las acciones de estudio y seguimiento descritas en la Cláusula Segunda, siempre que el uso sea compatible con el Objeto del presente Convenio. Todo ello, sin perjuicio de las limitaciones o prohibiciones que se impongan por causas de seguridad o interés general.

– Sus recursos humanos y técnicos, que incluyen la red piezométrica y foronómica, adscrita al Servicio de Aguas Subterráneas e Hidrología, con especial cualificación en materia hidrológica y de obra pública y que estará a disposición de los trabajos a realizar, siempre que se encuentren dentro las funciones y acciones que tienen encomendadas por el Organismo de Cuenca.

– Un importe total de 50.000 euros, para sufragar los gastos de los recursos que se afectan al Programa, con cargo a la aplicación presupuestaria 23.105.452A.227.06. La cantidad citada se repartirá como sigue:

- 2021: 15.000 euros.
- 2022: 25.000 euros.
- 2023: 10.000 euros.

El abono de las cantidades irá precedido del Acta de la Comisión de Seguimiento del Convenio previsto en la Cláusula Séptima, en la que se concrete el estado y avance de los trabajos y se cuantifique el grado de cumplimiento del Convenio, cuantificándose los gastos asumidos por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir O.A.

Los citados importes se abonarán contra Requerimiento de pago en la cuenta bancaria de la Universidad de Málaga «Contratos y Convenios» número 30028643 abierta en la Oficina Principal de UNICAJA, sita en Plaza de la Marina número 3 29015 Málaga (código cuenta cliente: 2103 0146 90 003002864; IBAN: ES09 2103 0146 90 0030028643).

Una vez efectuado cada ingreso por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir O.A. la Universidad de Málaga emitirá un Certificado del Ingreso recibido, que recogerá la entidad pagadora, la fecha, el concepto y la cantidad.

La aportación económica del Organismo de Cuenca no podrá superar el importe de los gastos derivados de la ejecución del convenio, de conformidad con lo previsto en el artículo 48.6 de la Ley 40/2015, de Régimen Jurídico del Sector Público.

La Universidad de Málaga aportará:

- El equipo científico del Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga.
- El material específico de hidrología e hidrogeología de campo descritos en el Anexo técnico.
- El laboratorio del CEHIUMA, con personal técnico, material e instalaciones, así como las licencias y soportes para el tratamiento, explotación y almacenamiento de los datos obtenidos, que se describen en el Anexo técnico.
- Un profundo conocimiento técnico y científico y una dilatada experiencia en hidrogeología de acuíferos carbonatados (kársticos), como puede constatarse en el curriculum adjunto del investigador responsable.

Quinta. *Derechos sobre los resultados del estudio.*

La propiedad de los resultados del Programa será de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir O.A. y de la Universidad de Málaga, debiendo informar una parte a la otra, con carácter previo, del uso que vaya hacer de esos resultados. Asimismo, en la medida en que estos resultados sean susceptibles de protección, la titularidad de los Derechos de Propiedad Industrial relativos a las invenciones que pudieran derivarse de los citados trabajos de investigación, así como, en su caso, las condiciones de explotación, deberá determinarse en un acuerdo específico entre el Organismo de Cuenca y la Universidad de Málaga.

Toda publicación que resultase de la difusión de esta colaboración deberá registrar el nombre de los dos organismos firmantes, junto con sus respectivos logotipos, así como dejar constancia expresa de que la misma fue objeto de un Convenio.

Sexta. *Confidencialidad.*

Los datos e información que, con independencia de su soporte físico o digital o de otro modo, se intercambie o cree entre ellas en relación al Proyecto con el objetivo de llevar a cabo lo estipulado en el presente Convenio, conste o no el carácter confidencial de la información indicado en la misma tendrán la consideración de Información Confidencial. Se incluye información objeto de derechos de autor, patentes, técnicas,

modelos, invenciones, *know-how*, procesos, algoritmos, programas, ejecutables, investigaciones, detalles de diseño, información financiera, lista de clientes, colaboradores, empleados, relaciones de negocios y contractuales, pronósticos de negocios, planes de mercadeo y cualquier información revelada sobre terceras personas.

Se considerará también información confidencial y siempre que se desprenda de su naturaleza en la medida en que:

- a) Sea secreta en el sentido de que no sea, como cuerpo o en la configuración y reunión precisas de sus componentes, generalmente conocida ni fácilmente accesible para personas introducidas en los círculos en que normalmente se utiliza el tipo de información en cuestión;
- b) Tenga un valor comercial por ser secreta; y
- c) Haya sido objeto de medidas razonables, en las circunstancias, para mantenerla secreta, tomadas por la persona que legítimamente la controla.

Las partes se obligan a no revelar a terceros, de cualquier forma, la Información Confidencial recibida de la otra parte y a no utilizarla para un objetivo distinto del de la ejecución de lo estipulado en el presente Convenio. Esta obligación subsistirá a la expiración del presente Convenio hasta que la información pierda su carácter de Información Confidencial.

No habrá deber alguno de confidencialidad en los siguientes casos:

- a) Cuando la parte receptora tenga evidencia de que conoce previamente la información recibida;
- b) Cuando la información recibida sea de dominio público;
- c) Cuando la información deje de ser confidencial por ser revelada por el propietario;
- d) Aquella información que deba revelarse por ley;
- e) Aquella información que cualquiera de las Partes autorice por escrito a su revelación.

Toda la información intercambiada es propiedad exclusiva de la Parte de la que proceda. En consecuencia, ninguna de las Partes utilizará información de la otra Parte para su propio uso o un fin distinto del aquí estipulado.

#### Séptima. *Comisión de Seguimiento.*

Con la finalidad de llevar a cabo un seguimiento puntual del cumplimiento del presente Acuerdo, se establece una Comisión de Seguimiento que estará formada por dos representantes de cada una de las partes.

Los Representantes Legales de las dos entidades designarán a sus representantes en la Comisión de Seguimiento.

Serán funciones de esta Comisión de Seguimiento resolver las controversias que pudieran plantearse en la interpretación y aplicación del presente Convenio y el seguimiento del grado de cumplimiento del mismo, sirviendo, al tiempo, como vía de información entre las partes.

#### Octava. *Protección de datos de carácter personal.*

Durante la ejecución de los trabajos previstos en este contrato, ambas Partes se comprometen a respetar lo dispuesto en la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, así como lo establecido en su normativa de desarrollo y en el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE, preservando absoluto secreto sobre los datos personales a los que tuviesen acceso en el ámbito de

este Convenio y adoptando todas las medidas necesarias, idóneas y/o simplemente convenientes, de tipo técnico y organizativo, que garanticen su seguridad y protección.

Novena. *Modificación.*

En aplicación de lo dispuesto en el art. 49.g) de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de régimen Jurídico del Sector Público, cualquier modificación del convenio requerirá el acuerdo unánime de los firmantes, mediante la suscripción de la correspondiente adenda modificativa.

Décima. *Eficacia y duración.*

El presente Convenio resultará eficaz una vez inscrito, en el plazo de 5 días hábiles desde su formalización, en el Registro Electrónico estatal de Órganos e Instrumentos de Cooperación del sector público estatal. Asimismo, será publicado en el plazo de 10 días hábiles desde su formalización en el «Boletín Oficial del Estado», a tenor de lo dispuesto en el artículo 48.8 de la Ley 40/2015, en la redacción dada por la Disposición Final Segunda del Real Decreto-ley 36/2020, de 30 de diciembre.

La duración inicial de este Convenio será de tres años, pudiendo ser prorrogado expresamente por escrito y por acuerdo unánime de las partes, por idéntico periodo, a raíz de lo expuesto en el artículo 49.h).2.º de la Ley 40/2015.

Undécima. *Extinción y resolución.*

A tenor de lo dispuesto en el artículo 51 de la Ley 40/2015, el presente Convenio se extinguirá por el cumplimiento de las actuaciones que constituyen su objeto o por incurrir en causa de resolución.

Serán causas de resolución del Convenio:

- a) El transcurso del plazo de vigencia del convenio sin haberse acordado la prórroga del mismo.
- b) El acuerdo unánime de todos los firmantes.
- c) El incumplimiento de las obligaciones y compromisos asumidos por parte de alguno de los firmantes.
- d) Por decisión judicial declaratoria de la nulidad del convenio.
- e) Por cualquier otra causa distinta de las anteriores prevista en el convenio o en otras leyes.

En todo caso, ambas partes colaborarán en todo momento de acuerdo con los principios de buena fe y eficacia para asegurar el cumplimiento íntegro de lo pactado.

Duodécima. *Resolución por incumplimiento e indemnizaciones.*

El incumplimiento de las obligaciones previstas en este Convenio, será elevado a la comisión de seguimiento para alcanzar un acuerdo en el seno de la misma. En caso de que no se alcanzara dicho acuerdo se requerirá a la parte incumplidora que realice las obligaciones incumplidas en el plazo de dos meses. Transcurrido el plazo sin que se produzca el cumplimiento de lo requerido, se comunicará la resolución del convenio a la parte incumplidora.

Una vez resuelto el Convenio, las partes procederán a la liquidación de las actuaciones no ejecutadas en los términos previstos en el artículo 52.2 de Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

No obstante lo anterior, si cuando concurra cualquiera de las causas de resolución del convenio existen actuaciones en curso de ejecución, las partes, a propuesta de la comisión de seguimiento podrán acordar la continuación y finalización de las actuaciones en curso que consideren oportunas, estableciendo un plazo improrrogable para su

finalización, transcurrido el cual deberá realizarse la liquidación de las mismas en los términos establecidos en el apartado anterior.

Decimotercera. *Publicidad y transparencia.*

En cumplimiento de las obligaciones en materia de transparencia que, en su caso, vengan legalmente impuestas a las Partes, el presente Convenio será objeto de publicación para garantizar la transparencia de su actividad relacionada con el funcionamiento y el control de la actuación pública por parte de la ciudadanía y de la sociedad en general y favorecer la participación ciudadana en la misma. Serán de aplicación, en su caso, los límites al derecho de acceso a la información pública previstos en la normativa básica y, especialmente, el derivado de la protección de datos de carácter personal, por lo que la publicidad se llevará a cabo previa disociación de los datos personales en él contenidos.

Decimocuarta. *Régimen jurídico y jurisdicción.*

Este Convenio tiene naturaleza administrativa y se regirá por las estipulaciones del presente acuerdo, y por la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público. Las controversias que pudieran plantearse en la interpretación y ejecución del presente convenio, y que no hubieran podido ser resueltas por la comisión de seguimiento prevista en el mismo, deberán resolverse por la jurisdicción contencioso-administrativa, de acuerdo con la Ley 29/1998 de 13 de julio, reguladora de la Jurisdicción.

Y en prueba de conformidad, las partes intervinientes firman el presente Convenio a un solo efecto, y por triplicado, en fecha arriba indicada.–Por la Universidad de Málaga, el Rector, José Ángel Narváez Bueno.–Por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, O.A., Joaquín Páez Landa.

## ANEXO TÉCNICO

### 1. *Introducción*

En el presente documento se describe la metodología, adecuación y medios técnicos que serán usados durante el desarrollo de un convenio conjunta entre el Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga y la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, O.A., cuyo fin es la caracterización hidrogeológica y evaluación de recursos hídricos subterráneos de la Sierra de Segura (Provincias de Jaén y Granada) para su potencial implementación como reserva estratégica de agua en la cabecera de la cuenca del Río Guadalquivir. En este documento se exponen los métodos y los análisis que se utilizarán, la planificación de los trabajos, el presupuesto económico de los mismos y un cronograma con las actividades planteadas que cubre el periodo total de ejecución de los trabajos (3 años). Todas estas tareas serán realizadas por personal del Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (CEHIUMA), con el apoyo del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en el marco de la Unidad Asociada que existe entre el IGME y el CEHIUMA.

La Sierra de Segura, con aproximadamente 3.000 km<sup>2</sup> de superficie total, constituye uno de los afloramientos carbonáticos de mayor extensión de la Península Ibérica, repartido entre las provincias de Jaén, Albacete y Granada. Está formada mayoritariamente por dolomías y calizas del Mesozoico, permeables por fracturación y karstificación, lo que permite a estas rocas almacenar en su interior agua de buena calidad. Los materiales acuíferos existentes en la región se distribuyen en cinco masas de agua subterránea (M.A.S.b) denominadas «Quesada-Castril» (código ES050MSBT000050200), «Segura-Madera-Tus» (ES070MSBT000000015), «Fuente Segura-Fuensanta» (ES070MSBT000000016), «Acuíferos Inferiores de la Sierra de Segura» (ES070MSBT000000017) y «Machada» (ES070MSBT000000018). Esta

división atiende a las características geográficas de la región y, sobre todo, a criterios administrativos, por distribuirse los afloramientos carbonáticos entre dos demarcaciones hidrográficas distintas: la Cuenca Hidrográfica del Río Segura y la Cuenca Hidrográfica del Río Guadalquivir. Así se recoge en la revisión de los Planes Hidrológicos de ambas cuencas, según el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero. En realidad, las M.A.S.b «Quesada-Castril», «Fuente Segura-Fuensanta» y «Machada» conforman, en su conjunto, un gran acuífero constituido por formaciones carbonatadas del Cretácico y Terciario, y denominado «Subunidad de Pliegues y Pliegues-Falla» en el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Jaén (2011). Esta «subunidad» se divide, a su vez, en cuatro grandes sectores según el mismo documento: sierra del Pozo, sierra de Castril, Sierra Seca y la designada como Subunidad Central (Campos de Hernán Perea o de Pinar Negro), que conforma un único acuífero. Los materiales permeables de este último sector ocupan una superficie de 185 km<sup>2</sup> e incluyen en su interior la cuenca endorreica de los Campos de Hernán Perea, situada en la divisoria hidrográfica de los ríos Guadalquivir y Segura. A pesar de su extensión, la parte de los Campos de Hernán Perea correspondiente a la cuenca del Guadalquivir no está asignada a M.A.S. alguna.

La planificación hidrológica de la Cuenca del Guadalquivir obliga a fijar los límites administrativos de las diferentes M.A.S.b en las que se divide la Subunidad de Pliegues y Pliegues-Falla, en la Sierra de Segura. Sin embargo, las características geológicas y geomorfológicas de los relieves de la región, la continuidad y extensión de los afloramientos carbonáticos, las variaciones temporales en la disponibilidad de recursos, así como la distribución espacial y propiedades hidrogeológicas de los distintos materiales hacen que, en ocasiones, resulte complicado establecer de manera precisa los límites, la geometría, los recursos y las relaciones de los diferentes acuíferos existentes en la zona. Es necesaria, por tanto, una actualización de la información hidrológica e hidrogeológica de la región, basada en la aplicación de metodologías específicas para el estudio de acuíferos carbonatados (kársticos), que han permitido obtener resultados satisfactorios en este tipo de medios a nivel nacional e internacional. Entre estos métodos destacan las medidas directas de diferentes parámetros físico-químicos e hidrodinámicos, muestreos periódicos y análisis químicos e isotópicos, registros continuos de series de datos hidrodinámicos e hidroquímicos y uso de trazadores fluorescentes artificiales. Así, mediante la aplicación combinada de técnicas geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas, se podría alcanzar un grado de conocimiento suficiente sobre la variabilidad y disponibilidad temporal de los recursos hídricos presentes en la Sierra de Segura y, con ello, la cuantificación de los volúmenes subterráneos que son anualmente drenados hacia la Cuenca del Río Guadalquivir.

Las actuaciones planteadas en la presente propuesta de convenio van dirigidas a la adquisición de conocimientos estratégicos, a partir de los cuales se pueda mejorar la sostenibilidad en el uso del agua en la cabecera de la Cuenca del Río Guadalquivir, mediante la gestión integrada y la protección a largo plazo de los recursos hídricos, prevención del deterioro del estado de las aguas, protección y mejora del medio hidrogeológico y de los ecosistemas acuáticos asociados, y protección frente a la contaminación. Asimismo, las investigaciones hidrogeológicas podrían contribuir a paliar los efectos de las inundaciones y sequías, sobre todo estas últimas. Todas estas actuaciones contribuirían de manera destacada al desarrollo del Segundo Ciclo de Planificación Hídrica 2015-2021, tal como está establecido en el Plan Hidrológico de Cuenca, además de mantener los caudales ecológicos de acuerdo con la Directiva Marco Europea del Agua. Asimismo, permitiría avanzar en la consecución de los objetivos n.º 13 (Acción por el Clima) y 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres) definidos por la ONU para alcanzar un Desarrollo Sostenible.

## 2. Zona de estudio

La zona de estudio contemplada en esta propuesta corresponde, a grandes rasgos, al conjunto de afloramientos carbonáticos que conforman los relieves alineados según la

dirección NE-SO de las sierras de Almorchón y Las Palomas, los Campos de Hernán Perea, las sierras de la Cabrilla y Castril y Sierra Seca (provincias de Jaén y Granada), dentro de las demarcaciones hidrográficas de los ríos Segura y Guadalquivir. Los afloramientos permeables limitan al noroeste y norte con el río Segura y con el embalse de Anchuricas, al noreste y este con los ríos Zumeta y Castril, respectivamente; al sur con las sierras de Castril y del Pozo y el río Guadalentín, y al oeste con la sierra de las Banderillas y con la divisoria hidrológica entre las dos cuencas (Figura 1). Adicionalmente, se podrán realizar trabajos hidrogeológicos en otros relieves situados hacia el norte, en la zona conocida como del «Relieve Invertido». Además de los ríos mencionados, la red hidrográfica se completa con los ríos Aguasmulas y Borosa, tributarios del río Guadalquivir por su margen derecha. La regulación hídrica se realiza mediante los embalses de El Tranco de Beas en el río Guadalquivir, La Bolera en el río Guadalentín y del Portillo en el río Castril, ya en la Provincia de Granada. En los ríos Segura y Zumeta existen dos pequeños embalses (los de Anchuricas y de la Novia, respectivamente) que se utilizan para la generación de energía hidroeléctrica.

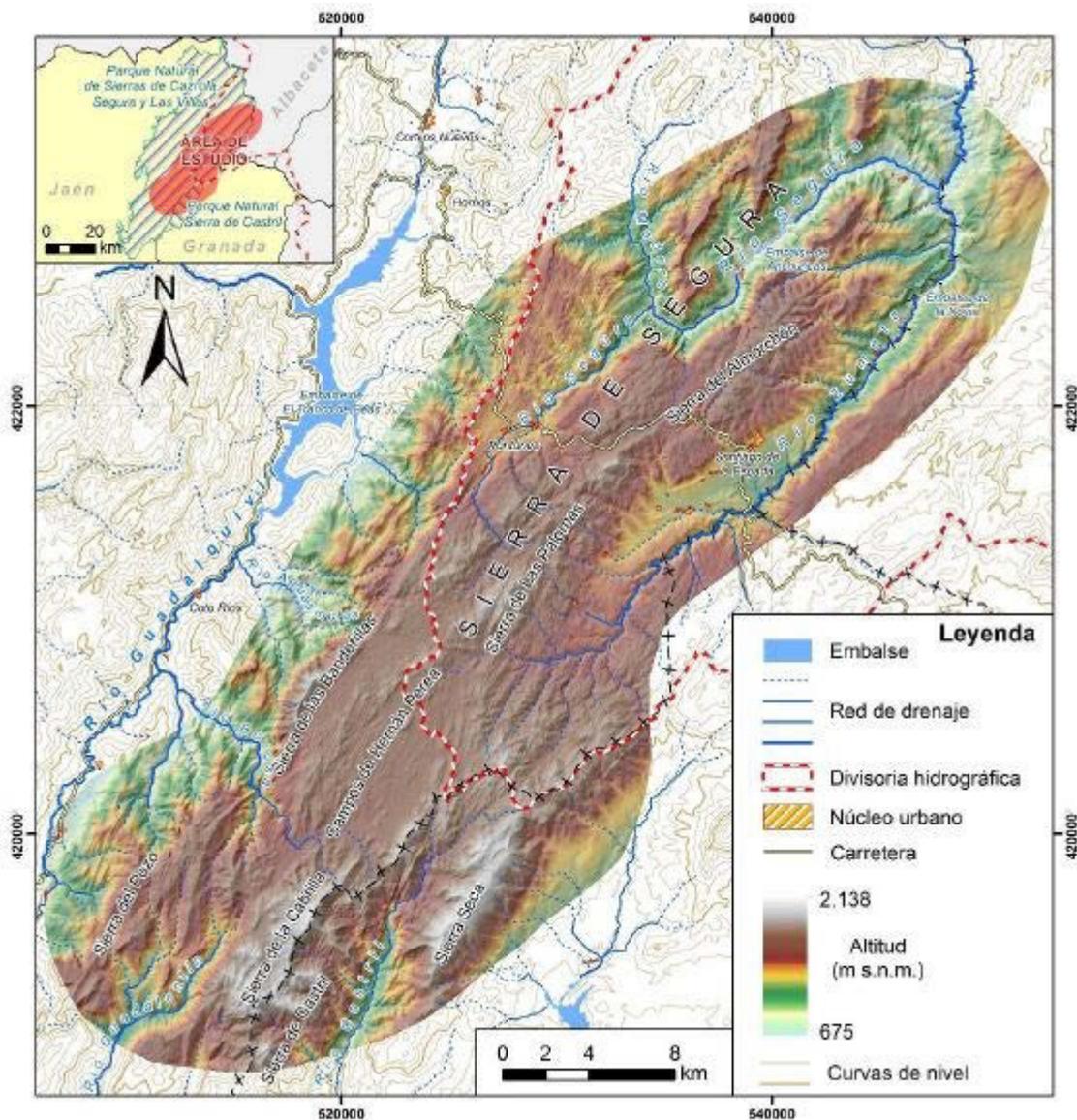


Figura 1: Localización geográfica y fisiografía del ámbito de estudio de la presente propuesta de investigación hidrogeológica en la Sierra de Segura.

### 3. *Objetivos*

Los objetivos generales que se plantean en esta propuesta son:

- Determinar las características hidrogeológicas de los acuíferos carbonáticos del ámbito de actuación de la presente propuesta, con especial interés en el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos existentes en cabecera de la Cuenca Hidrográfica del Río Guadalquivir, estableciendo las relaciones entre ellos, con los acuíferos colindantes, así como con los cursos de agua superficial.
- Cuantificar los recursos hídricos subterráneos disponibles, analizando con especial énfasis las potenciales transferencias de recursos entre acuíferos y entre las demarcaciones hidrográficas de las cuencas del Guadalquivir y Segura, y establecer el balance hídrico para cada sistema hidrogeológico identificado. Se prestará especial atención a la componente de la recarga asociada al deshielo de la nieve.
- Establecer propuestas de gestión de los acuíferos del área de estudio como reserva estratégica para situaciones de sequía.

### 4. *Trabajos a realizar y adecuación*

Para la consecución de los objetivos generales planteados en el apartado anterior los investigadores del CEHIUMA llevarán a cabo las tareas que se indican a continuación.

#### 4.1 Recopilación de antecedentes.

Se realizará una amplia recopilación de la bibliografía geológica e hidrogeológica previamente publicada sobre la zona de estudio y áreas aledañas, así como de los informes técnicos realizados por los distintos Organismos Públicos (Junta de Andalucía, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Gobierno de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Confederación Hidrográfica del Segura, Instituto Geológico y Minero de España, diputaciones provinciales de Jaén y Granada, etc.). La búsqueda bibliográfica permitirá elaborar un inventario preliminar con los principales puntos de agua existentes en el ámbito de estudio.

Además, se buscarán informes técnicos sobre las infraestructuras hidráulicas ligadas a la captación de las aguas subterráneas existentes en el ámbito de actuación de la presente propuesta. Durante el desarrollo de los trabajos, y una vez finalizado el inventario de sondeos y piezómetros existentes en la zona de estudio, se llevará a cabo una recopilación de las columnas litológicas de las perforaciones realizadas en la zona de estudio. Las columnas litológicas de los sondeos y piezómetros aportarán información muy valiosa sobre la geología del subsuelo en varios sectores de la Sierra de Segura, lo que ayudará a conocer mejor la geometría en profundidad de los acuíferos.

#### 4.2 Control de las precipitaciones (lluvia y nieve).

Se llevará a cabo un control de las precipitaciones (lluvia y nieve) caída en las principales áreas de recarga de los acuíferos existentes en el ámbito de actuación de la presente propuesta, puesto que representan la mayor componente de entrada de agua a los mismos. Para dicho control se utilizará la red de estaciones meteorológicas disponible en la zona, pertenecientes a distintos organismos públicos (AEMET, redes SAIH Guadalquivir y Segura, etc.). Con el fin de cubrir las principales áreas de recarga de los acuíferos de la zona de estudio se deberían instalar estaciones meteorológicas adicionales, sobre todo en el interior de los Campos de Hernán Perea o en otros lugares que estén desprovistos de infraestructuras para el registro automático de variables climáticas. Las estaciones meteorológicas, con capacidad para la medida y almacenamiento horario de datos, deberían ubicarse en puntos situados entre 1.500 y 2.000 m s.n.m., que corresponden al rango de altitud de los principales afloramientos permeables de la zona.

#### 4.3 Muestreo del agua de lluvia y nieve.

Se instalarán entre 4 (mínimo) y 10 (máximo) puntos de recogida de agua meteórica (lluvia y nieve) en las áreas de recarga de los principales acuíferos. Consistirán en dispositivos capaces de acumular muestras de agua de las precipitaciones e impedir que se produzca evaporación, ya que ésta concentraría las sales disueltas y provocaría el fraccionamiento isotópico del agua.

Las muestras recogidas serán analizadas en el laboratorio del CEHIUMA para determinar la concentración del ion Cl<sup>-</sup> y los isótopos de la molécula del agua ( $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$ ). El primero permite realizar balances de cloruros, que informan sobre la proporción del agua de las precipitaciones que se infiltra en el acuífero (recarga), en tanto que los isótopos de la molécula de agua de lluvia, combinados con la composición isotópica del agua de los manantiales, aportan información sobre la cota de recarga del agua drenada por cada surgencia, aspecto importante a la hora de delimitar los diferentes sistemas acuíferos, y sobre el funcionamiento hidrogeológico de los mismos.

Los puntos de recogida de agua de lluvia y nieve se dispondrán de tal manera que cubran toda la zona de estudio (desde el noreste hasta el suroeste) así como diferente altitud, puesto que ésta es una de las variables que condiciona la composición isotópica del agua de lluvia.

Siempre que sea posible, el muestreo se llevará a cabo después de cada evento pluviométrico.

#### 4.4 Control periódico del caudal de descarga de las principales surgencias y ríos.

Se realizará un control periódico del caudal de descarga de los principales manantiales y de los ríos relacionados con el drenaje de los acuíferos carbonáticos, mediante aforos puntuales que cubrirán todas las situaciones hidrodinámicas: crecida, decrecida y estiaje. En condiciones de flujo próximo a laminar, los aforos se realizarán con micromolinetes de la marca OTT, modelo C3, equipado con tres hélices calibradas y adaptadas a flujos de agua de diferente velocidad (lentos, moderados y rápidos). En condiciones de flujo claramente turbulento, particularmente en situaciones de crecida y sin sección de aforos definida, se utilizará un aforador químico de la casa suiza MADD Technologies, modelo SalinoMADD (Figura 2).

En condiciones de aguas altas el control de caudales incluirá los manantiales o puntos de descarga permanente y, también, los principales manantiales de tipo trop plein, así como los arroyos en los que se produzca descarga de aguas subterráneas.

La frecuencia media de medida aproximada será cada dos semanas, si bien en condiciones de aguas altas la frecuencia será mayor y menor en condiciones de estiaje.

#### 4.5 Registro continuo del caudal de descarga.

Se llevará a cabo un control continuo del caudal de descarga de los manantiales y ríos que drenan los acuíferos de la zona de estudio mediante la instalación y mantenimiento de sensores capaces de registrar y almacenar datos del nivel (altura) de lámina de agua con periodicidad de horaria. Los datos de altura serán transformados en datos de caudal previa obtención de la curva de gastos del punto de aforo de cada manantial o río.

Se utilizarán sensores de presión, con corrección barométrica, de la marca Dataflow Systems, modelo Odyssey Depth/Temperature Logger (Figura 3), con rango de variación de altura de lámina de agua comprendida entre 0 y 5 m y una capacidad de almacenamiento de 32.000 datos. La precisión de estos equipos es de 1 milímetro. Su instalación se realizará en secciones de cauce invariables para que la relación entre la altura de agua y el caudal se mantenga constante durante el desarrollo de los trabajos.

Se priorizará la instalación de estos sensores en los principales manantiales y en aquellos que presenten un comportamiento más kárstico, es decir, cuyas respuestas a las precipitaciones (eventos de recarga) sean más rápidas y, por tanto, más difícil de controlar por medio de aforos puntuales de caudal.

#### 4.6 Control piezométrico.

Se realizarán medidas periódicas de la profundidad del nivel piezométrico en todos los sondeos y piezómetros que sea posible. Estas medidas incluirán necesariamente diferentes situaciones climatológicas (épocas de recarga y estiaje) y se apoyarán en el inventario de los sondeos y piezómetros existentes en la zona de estudio, el cual se actualizará durante el presente proyecto. Para realizar las medidas se utilizará una sonda de nivel de la casa OTT, de 300 m de longitud de cable, equipada con indicadores de nivel luminoso y acústico, y con cinta graduada centimétrica.

Las medidas de nivel se realizarán con una periodicidad media de 2-3 semanas, si bien la frecuencia será mayor durante los meses con lluvia y menor durante el verano.

Si se considerara conveniente, porque las variaciones piezométricas así lo aconsejaran, podrían instalarse sensores de presión, con corrección barométrica, de la casa neozelandesa Dataflow Systems, modelo Odyssey Depth/Temperature Logger, para la medida en continuo (periodicidad horaria) del nivel de agua en alguno de los sondeos o piezómetros controlados.

#### 4.7 Medidas in situ de conductividad eléctrica, temperatura, pH y oxígeno disuelto.

Se llevará a cabo la medida periódica de la conductividad eléctrica, temperatura, pH y del oxígeno disuelto en el agua drenada por los principales mananciales. En aquellos en los que se considere oportuno se podrá medir también la turbidez del agua. Para ello se utilizarán equipos de campo de las casas comerciales WTW (modelos 3310) y Hach-Lange (modelo HQ40d), equipados con sus respectivos sensores (Figura 4). Los equipos de campo se calibrarán periódicamente de acuerdo con las recomendaciones de los respectivos fabricantes utilizando para ello las soluciones patrón distribuidas por las mismas casas comerciales. Esto asegurará que las medidas a lo largo del periodo de duración del proyecto sean comparables entre sí. En el caso concreto del sensor de pH, la calibración se hará antes de cada día de campo dada la deriva característica de este tipo de sensores.

La medida de todos los parámetros inestables se realizará en el mismo punto de surgencia del agua con una periodicidad media de 2 semanas, mayor durante los meses con lluvia y menor durante los meses secos.

#### 4.8 Registro continuo de la conductividad eléctrica y temperatura del agua.

Preferentemente en los mananciales más significativos y que muestren las respuestas más rápidas a los eventos de precipitación, se instalarán equipos adicionales para el registro continuo de la conductividad eléctrica y temperatura del agua drenada. La frecuencia de medida será de 1 h, lo que permitirá registrar variaciones de conductividad eléctrica y temperatura del agua que pasan desapercibidas cuando el control se lleva a cabo mediante medidas puntuales semanales o incluso diarias. Al mismo tiempo, estos registros podrán ser comparados con los procedentes del control en continuo del caudal de descarga en el mismo manantial.

Los equipos que se utilizarán son los que se enumeran a continuación:

- WTW 3310. Capacidad para 32.000 medidas horarias (~3,5 años).
- Hobo U24-001. Memoria con capacidad para 18.500 medidas horarias (~2 años).
- CTD Diver. Capacidad para 32.000 medidas horarias (~3,5 años).

Se procederá periódicamente a la descarga de los datos almacenados en la memoria de los equipos, la sustitución de las baterías –cuando proceda– y a su limpieza y calibración.

Los datos de conductividad eléctrica y temperatura registrados por estos equipos se compararán con las medidas realizadas in situ mediante los equipos de campo, para comprobar la validez de las calibraciones.

4.9 Control periódico de la composición química del agua, del carbono orgánico total y de la fluorescencia natural del agua drenada por los principales manantiales.

Se realizarán campañas de muestreo periódicas para la recogida de muestras de agua de los principales manantiales. Se recogerán dos botellas de agua por muestra: una de cristal de topacio de 60 ml de capacidad, para análisis isotópicos ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ), y otra del mismo material pero de 250 ml, para análisis químicos. Los análisis serán realizados en el CEHIUMA por personal técnico de laboratorio. Las muestras de agua se mantendrán refrigeradas hasta su análisis.

Los parámetros químicos que se analizarán en cada muestra son: componentes mayoritarios ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), alcalinidad, componentes nitrogenados ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), otros componentes minoritarios ( $\text{Br}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), carbono orgánico total disuelto (COT), nitrógeno total (NT) y fluorescencia natural del agua. La evolución temporal de las concentraciones de los componentes seleccionados aportará información sobre el funcionamiento hidrogeológico del acuífero o sector de acuífero drenado por cada uno de los manantiales controlados. Los componentes mayoritarios, nitrogenados y minoritarios serán analizados con un cromatógrafo iónico Metrohm HPLC Compact 881 IC pro (aniones) y un cromatógrafo iónico Metrohm HPLC Compact 930 IC flex (cationes), ambos con una precisión de  $\pm 0,01$  mg/l (Figura 5). La alcalinidad se determinará mediante un valorador automático de la casa Metrohm, modelo Titrand 888, utilizando ácido sulfúrico 0,02N (Figura 5).

El COT aporta información sobre el origen del agua drenada por el manantial (aguas de reciente infiltración o de la zona saturada del acuífero), el tiempo de tránsito desde la zona de recarga hasta el punto de descarga (mayor COT indica menor tiempo de tránsito) y, en su caso, la posible existencia de contaminación. El análisis de este parámetro y del nitrógeno total (NT) se realizará en el laboratorio del CEHIUMA por medio de un equipo Shimadzu, modelo TOC-V CSN (Figura 6).

La fluorescencia natural de las muestras de agua recogidas en los principales manantiales informa acerca del origen de la materia orgánica disuelta en el agua subterránea, tanto de la que tiene un origen natural en el sistema (infiltración rápida de agua procedente del suelo), como de la derivada de procesos de contaminación antrópica. Se utilizará el espectrofluorímetro PERKIN ELMER LS-55 con el que cuenta el laboratorio del CEHIUMA (Figura 6). Los análisis se llevarán a cabo dentro de las 48 horas siguientes a la recogida de la muestra para minimizar los errores por degradación de la materia orgánica contenida en el agua.

La recogida de muestras de agua se realizará cada dos semanas, como promedio, aunque tras los principales eventos de lluvia la frecuencia de muestreo será mayor y durante los meses secos, en los que la composición química del agua subterránea se mantiene más constante, la frecuencia de medida será menor.

4.10 Determinación de los isótopos de la molécula de agua ( $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$ ) y del  $^{13}\text{C}$  del carbono inorgánico disuelto.

Se determinarán los isótopos estables de la molécula de agua ( $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$ ) en las muestras de precipitaciones (lluvia y nieve) y de manantiales puesto que aportan información sobre la altitud a la que se produce la recarga de los acuíferos y sobre el funcionamiento hidrogeológico de los mismos. En el caso de las muestras de precipitación, se tomarán medidas para evitar la evaporación del agua hasta el momento de su recogida, ya que provocaría el fraccionamiento isotópico de la molécula de agua. En todos los casos las muestras se tomarán en botellas de cristal de topacio para protegerlas de la radiación solar y se mantendrán refrigeradas hasta el momento de su análisis que se realizará en el laboratorio del CEHIUMA.

Para ello se usará un analizador isotópico de agua PICARRO modelo L2120i-CRS (Figura 7).

La señal isotópica del  $^{13}\text{C}$  correspondiente al carbono inorgánico disuelto en las muestras de agua de los manantiales aporta información sobre el tiempo de

permanencia del agua en el interior del acuífero y si ésta se realiza en condiciones de sistema abierto (zona no saturada) o cerrado (zona saturada) al CO<sub>2</sub>. Cuanto mayor (menos negativo) es el valor de <sup>13</sup>C, mayor es el tiempo de permanencia. Los análisis de este parámetro se efectuarán en el laboratorio del CEHIUMA y para ello se utilizará un analizador isotópico de carbono PICARRO modelo G<sub>1111i</sub>- CRDS acoplado a un equipo OI-A Aurora 1030 (Figura 7).

En todos los casos, la frecuencia de recogida de muestras de agua de manantial para el análisis de estos isótopos será la misma que la establecida en la tarea 4.9.

#### 4.11 Ensayos de trazadores artificiales fluorescentes.

A partir de los conocimientos geológicos e hidrogeológicos disponibles, junto con el control hidrodinámico e hidroquímico-isotópico previamente descrito, se planteará la realización de varios ensayos de trazadores artificiales para contrastar el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos, evaluar los tiempos de respuesta ante la infiltración de las precipitaciones y calcular velocidades de flujo. Asimismo, los ensayos de trazadores permitirán determinar la eventual conexión hidrogeológica entre distintos sectores del área de estudio, particularmente entre los Campos de Hernán Perea y los manantiales que drenan hacia cauces situados en las cuencas hidrográficas de los ríos Segura y Guadalquivir.

Los puntos de inyección simultánea de trazador variarán entre 3 (mínimo) y 6 (máximo) y corresponderán a sumideros kársticos activos o, en su defecto, a zonas con gran desarrollo de la karstificación (campos de lapiaz muy desarrollados, por ejemplo) donde se produzca la infiltración directa del agua de lluvia en el acuífero. Los puntos de inyección se seleccionaran atendiendo a su ubicación en distintos sectores (norte, sur, este y oeste) de los Campos de Hernán Perea, tanto a un lado como a otro de la divisoria hidrográfica entre las cuencas de los ríos Guadalquivir y Segura (Figura 1).

Los manantiales a controlar para detectar la llegada de los trazadores serán principalmente los ubicados en cauces pertenecientes a la Cuenca del río Guadalquivir (ríos Aguasmulas, Borosa y Castril), y eventualmente algunos situados en cauces vertientes a la Cuenca del Río Segura (ríos Segura y Zumeta) (Figura 1).

Las muestras de agua se recogerán en botellas de topacio de 60 ml y serán analizadas con el espectrofluorímetro PERKIN ELMER LS-55 con el que cuenta el laboratorio del CEHIUMA. El ensayo se realizará preferentemente en aguas altas y en otoño o en primavera, coincidiendo con un evento de recarga de tipo pluvial.

#### 4.12 Caracterización y balance hidrogeológico de los acuíferos. Evaluación de los recursos hídricos subterráneos drenados hacia la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.

Se determinarán los componentes del balance hidrogeológico que intervienen en el funcionamiento de los acuíferos del área de trabajo (entradas procedentes de la infiltración del agua de lluvia/fusión nival y, en su caso, de la escorrentía, y salidas por manantiales, por bombeos o por transferencias subterráneas hacia otros sistemas). Se estimarán los recursos hídricos subterráneos disponibles para distintas situaciones hidrológicas (años secos, húmedos y medios), una vez descontados los aprovechamientos actuales y los caudales ecológicos, y se evaluarán las potenciales transferencias de recursos entre los acuíferos pertenecientes a las demarcaciones hidrográficas del Segura y Guadalquivir.

#### 4.13 Propuesta de gestión hídrica de los acuíferos carbonáticos existentes en la cabecera de los ríos Guadalquivir y Negratín.

Se establecerán diferentes recomendaciones de gestión de los recursos hídricos subterráneos existentes en la parte meridional de la Sierra de Segura, que sirvan de base para una futura propuesta de explotación de todo el sistema, que contemple la

posibilidad de fijar una parte de los recursos hídricos subterráneos como reserva estratégica para situaciones de sequía.

## 5. *Equipo de trabajo*

El equipo de trabajo estará formado por integrantes del Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (CEHIUMA), dirigido por el Profesor Bartolomé Andreo Navarro, Director de dicho centro y Catedrático de Geodinámica Externa (Hidrogeología) de la Universidad de Málaga. Actuará como coordinador adjunto del proyecto el Dr. Matías Mudarra Martínez, Profesor Contratado Doctor en la misma universidad. Otros investigadores del CEHIUMA que participaran en el desarrollo de los trabajos son Juan Antonio Barberá Fornell, José Manuel Gil Márquez, Beatriz de la Torre Martínez, José Francisco Martín Rodríguez, Javier Martín Arias, Jorge Prieto Mera y José Manuel Nieto López. Además, se contará con el apoyo del Instituto Geológico y Minero de España bajo la coordinación del Dr. Juan José Durán Valsero (Director del Departamento de Investigación en Recursos Geológicos, en el que se encuentran las aguas subterráneas), en el marco del Convenio de Unidad Asociada que existe entre el IGME y el CEHIUMA. Completa el equipo de trabajo el Doctor Francisco Moral Martos, Profesor Titular de la Universidad Pablo de Olavide.

## 6. *Plazos de ejecución (cronograma)*

Para la realización del estudio hidrogeológico completo se estima necesario un periodo de tres años hidrológicos (36 meses), con objeto de que los acuíferos estén sometidos a diferentes condiciones de precipitación (años húmedos, medios y/o secos) e hidrodinámicas (crecida, decrecida y estiaje). De esta forma los resultados obtenidos estarán más contrastados y tendrán mayor representatividad para la planificación hidrológica y gestión del agua. En el cronograma adjunto se detalla el alcance temporal de las tareas establecidas para el global del trabajo, 36 meses.

Tarea	Alcance	Meses																	
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
4.1	Recopilación de antecedentes																		
4.2	Control de las precipitaciones (lluvia y nieve)																		
4.3	Muestreo del agua de lluvia y nieve																		
4.4	Control periódico del caudal de descarga de las principales surgencias y ríos																		
4.5	Registro continuo del caudal de descarga																		
4.6	Control piezométrico																		
4.7	Miedidas in situ de conductividad eléctrica, temperatura, pH y oxígeno disuelto																		
4.8	Registro continuo de la conductividad eléctrica y temperatura del agua																		
4.9	Control periódico de la composición química del agua, del carbono orgánico total y de la fluorescencia natural del agua drenada por los principales manantiales																		
4.10	Determinación de los isótopos de la molécula de agua (δ18O y δ2H) y del 13C del carbono inorgánico disuelto																		
4.11	Ensayos de trazadores artificiales fluorescentes																		
4.12	Caracterización y balance hidrogeológico de los acuíferos. Evaluación de los recursos hídricos subterráneos drenados hacia la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir																		
4.13	Propuesta de gestión hídrica de los acuíferos carbonáticos existentes en la cabecera de los ríos Guadalquivir y Negratín																		
	Reuniones de seguimiento																		
	Emisión de informes								1									1	
	Informe 1: informe parcial																		
	Informe 2: informe final																		2

## CURRICULUM VITAE DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL

(Solo incluye méritos de los últimos 3 a 5 años)

## Parte A. Datos personales:

Nombre y apellidos: Bartolomé Andreo Navarro.

DNI/NIE/pasaporte: \*\*\*\*\*

Edad: \*\*.

Núm. identificación del investigador:

Researcher ID:

Código Orcid 0000-0002-3769-7329.

## A.1 Situación profesional actual:

Organismo: Universidad de Málaga.

Dpto./Centro: Departamento Ecología y Geología. Facultad de Ciencias.

Dirección: Campus Universitario de Teatinos.

Teléfono: 95-2132004.

Correo electrónico: andreo@uma.es

Categoría profesional: Catedrático de Universidad.

Fecha inicio: 12 de julio de 2011.

Espec. cód. UNESCO: 250605.

Palabras clave: Hidrogeología, recursos hídricos.

## A.2 Formación académica (título, institución, fecha).

Licenciatura/Grado/Doctorado	Universidad	Año
Licenciado en Ciencias Geológicas.	Universidad de Granada.	1989
Doctor en Ciencias Geológicas (Hidrogeología).	Universidad de Granada.	1996

## A.3 Indicadores generales de calidad de la producción científica.

Cuatro sexenios de Investigación (último sexenio: 2002-2017) y 1 Sexenio de Transferencia.

Trece tesis doctorales dirigidas desde 2003 y 9 en los últimos 10 años (entre ellas, 3 Doctorados europeos, 2 Mención Internacional y 1 Premio Extraordinario de Doctorado).

Ochenta artículos publicados en revistas del SCI. h index: 22 (20 sin autocitas)

Citas totales: 1.501. Sin autocitas: 1.308. Citas por año: 2015: 169; 2016: 132; 2017: 159; 2018: 214; 2019: 225. Total últimos 5 años: 899 citas. 180 citas de promedio.

## Parte B. Resumen libre del currículum.

Licenciado (1989) y Doctor (1996) en Ciencias Geológicas por la Universidad de Granada. Entre octubre de 1994 y abril de 1995 fue Profesor Asociado. Después, Ayudante de Facultad (hasta febrero de 2000), Profesor Asociado (desde febrero hasta agosto de 2000), Profesor Titular (desde agosto de 2000 hasta julio de 2011) y finalmente Catedrático de Universidad (desde julio de 2011). Tiene reconocidos 5 quinquenios de docencia. Desde 2007 dirige el Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga y, desde 2008, el Máster Universitario de Recursos Hídricos y Medio Ambiente. Es Subdirector del edificio de Investigación Ada Bayron (Universidad de Málaga) desde 2016 y responsable del Grupo de Investigación RNM-308 (PAIDI, Junta de Andalucía) desde 2017. Codirector de la Unidad Asociada «Estudios Hidrogeológicos Avanzados» al Instituto Geológico y Minero de España.

La investigación desarrollada se ha centrado principalmente en el ámbito de la Hidrogeología. Es autor de más de 300 publicaciones científicas, 80 de ellas en revistas indexadas. Más del 75% de éstas presentan factores de impacto en torno a la mitad o

superior en las correspondientes categorías y el 50% están en el primer tercio. Las publicaciones no indexadas son artículos en revistas científicas nacionales y en libros, la mayoría con sistema de revisión por pares; algunos de los libros son de editoriales prestigiosas internacionales (Springer, Balkema, Taylor & Francis). Tiene reconocidos 4 sexenios del MEC (tiene sexenio vivo), 1 sexenio de transferencia y 5 tramos autonómicos.

A lo largo de su trayectoria ha participado en 55 proyectos de investigación, de algunos de los cuales ha sido Investigador Principal: 5 proyectos de la DGICYT, 4 de la Junta de Andalucía (3 de Excelencia), 3 Acciones Integradas, 5 de Infraestructuras (FEDER) y 3 de la UNESCO. Resultado de todo ello han sido las publicaciones científicas antes citadas.

En el ámbito de la transferencia de resultados de la investigación, ha participado en 55 Contratos Empresa-Universidad (en más de la mitad como IP). Ha intervenido en varias ediciones de cursos y como guía de excursiones o itinerarios sobre Recursos Hídricos.

Otros méritos de investigación: conferencias impartidas, asistencia a congresos, estancias en varios centros de otros países de cuatro continentes. Ha obtenido varios Premios de Investigación: de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español (2000), de la Academia Malagueña de Ciencias (2006) y del Instituto Geológico y Minero de España y distinciones por artículos publicados en las revistas *Hydrogeology Journal* y *Water Resources Research*.

Ha dirigido 13 tesis doctorales (9 en España, 1 en Marruecos y 1 en Reino Unido), 2 tesinas y un buen número de trabajos de fin de máster. Ha sido miembro de numerosos tribunales de tesis doctorales, parte de ellos fuera de España, y ha sido evaluador externo de varias. Es revisor habitual de revistas indexadas de su especialidad, miembro del Comité Editorial de 3 (entre ellas, *Journal of Hydrology*), revisor de proyectos de investigación nacionales e internacionales, ha estado 4 años como adjunto al área de Ciencias de la Tierra de ANEP y actualmente es miembro de la comisión de acreditación del profesorado universitario de la ANECA. Ha promovido y coordinado, con otros investigadores, la implantación de un Simposio Internacional sobre recursos hídricos en medios kársticos (Eurokarst), que se celebra cada 4 años en Málaga (próxima edición en 2021). En la última década ha formado parte de comités científicos y/o de organización de más de una veintena de simposios (nacionales e internacionales), Asociación Internacional de Hidrogeólogos, Comité de la Academia Karstológica Internacional, Comité Español del Programa Internacional de Geociencias de la UNESCO.

Parte C. Méritos más relevantes (ordenados por tipología):

#### C.1 Publicaciones.

Hartmann, A.; Barberá, J.A., Andreo, B. (2017): On the value of water quality data and informative flow states in karst modelling. *Hydrology and Earth System Science*, 21: 5971-598. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-21-5971-2017>

Montiel, D.; Dimova, N.; Andreo, B.; Prieto, J.; García Orellana, J. y Rodellas, V. (2018): Assessing submarine groundwater discharge (SGD) and nitrate fluxes in highly heterogeneous coastal karst aquifers: challenges and solutions. *Journal of Hydrology*, 557: 222-242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.036>

Barberá, J.A.; Mudarra, M.; Andreo, B. y De la Torre, B. (2018): Regional scale analysis of karst underground flow deduced from tracing experiments. Examples from carbonate aquifers in Malaga province (S Spain). *Hydrogeology Journal*, 26: 23-40. DOI: 10.1007/s10040-017-1638-5.

Andreo, B.; Barberá, J.A.; Mudarra M.; Marín, A.I.; García-Orellana, J.; Rodellas, V. y Pérez, I. (2018): A multi-method approach for groundwater resources assessment in coastal carbonate (karst) aquifers: the case study of Sierra Almirajara (S Spain). *Hydrogeology Journal*, 26: 41-56. DOI: 10.1007/s10040-017-1652-7.

Mudarra, M.; Hartmann, A. y Andreo, B. (2019): Combining experimental methods and modelling to quantify the complex recharge behavior of karst aquifers. *Water Resources Research*. 1384-1404, DOI: 10.1029/2017WR021819.

Gil Márquez, J.M.; Andreo, B. y Mudarra, M. (2020): Groundwater dating tools ( $^3\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ , CFC-12, SF6) coupled with hydrochemistry to evaluate the hydrogeological functioning of complex evaporite-karst settings, *Journal of Hydrology*, 580 (124263). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124263>

De la Torre, B., Mudarra, M. y Andreo B. (2020): Investigating karst aquifers in tectonically complex alpine areas coupling geological and hydrogeological methods. *Journal of Hydrology X* 6 (2020) 100047 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100047>

Nieto, J.M.; Barberá, J.A., y Andreo B. (2020): Hydro-environmental changes assessment after Guadalhorce river mouth channelization. An example of hydromodification in Southern Spain. *Catena*, 189 (104461). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104461>

Olarinoye, T.; Gleeson, T.; Marx, V.; Seeger, S.; Adinehvand, R.; Alloca, V.; Andreo B.; y otros (2020): Global karst springs hydrograph dataset for research and management of the world's fastest-flowing groundwater. *Nature, Scientific Data*, 7, 59. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0346-5>

Martín-Arias, J.; Martínez Santos, P. y Andreo B. (2020): Modelling the effects of climate change and population growth in four intensively exploited Mediterranean aquifers. The Mijas range, Southern Spain. *Journal of Environmental Management*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110316>

## C.2 Proyectos.

Título: Karst Aquifer Resources availability and quality in the Mediterranean Area (KARMA project). Proyecto Europeo de la Convocatoria PRIMA: Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area (Referencia: PCI2019-103675). Entidad financiadora: Consorcio PRIMA-Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades en España. Duración: 2019-2022. Investigadores responsables: Nico Goldscheider (Univ. Karlsruhe) es el Coordinador General y Bartolomé Andreo (UMA) el coordinador del equipo español.

Título: Processes, cycle and sustainability of the critical zone in Karst Systems. IGCP-661. Entidad financiadora: UNESCO. Duración: 2017-2021. Cuantía: 30.000 euros. Investigador responsable: Jiang Zhongcheng, Yuan Daoxian, Zhang Cheng (China), Martin Knez (Eslovenia), Chris Groves (EE.UU.), Augusto Auler (Brasil), Jiang Yongjun (China), Bartolomé Andreo Navarro (España) y Ezzat Raeisi (Irán).

Título: Desarrollo de modelos conceptuales y matemáticos a partir de la caracterización hidrogeológica de acuíferos carbonatados (kársticos). Proyecto CGL2015-65858-R. Entidad financiadora: Dirección General de Investigación Científica. Duración: 1 de enero de 2016-31 de diciembre de 2018. Cuantía: 70.000 euros. Investigador responsable: Bartolomé Andreo Navarro.

Título: Hydrological and environmental restoration of wetlands in the Delta of Guadalhorce River (Málaga, Spain) reusing treated wastewater. Proyecto 8.06/44.4486. Entidad financiadora: Fundación Coca Cola (Atlanta, USA). Duración: 1 de enero de 2016-31 de diciembre de 2018. Cuantía: 324.000 dólares USA. Investigador responsable: Bartolomé Andreo Navarro.

## C.3 Contratos, méritos tecnológicos o de transferencia.

Título: Contribución a la promoción y supervisión de proyectos de investigación en el ámbito del ciclo integral del agua

Empresa/Administración financiadora: Fundación CETAaqua Andalucía.  
Duración, desde: 1 de septiembre de 2014 hasta: 31 de diciembre de 2019.  
Investigador responsable: Bartolomé Andreo Navarro.

Cuantía: 100.000 euros.

Título: Inventario de recursos hídricos subterráneos y caracterización de acuíferos compartidos entre demarcaciones hidrográficas.

Empresa/Administración financiadora: Instituto Geológico y Minero de España

Duración, desde: 1 de octubre de 2018, hasta: 30 de noviembre de 2019.

Investigador responsable: Bartolomé Andreo Navarro

Cuantía: 60.500 euros

Título: Caracterización de acuíferos y de su comportamiento hidrodinámico en las Demarcaciones Hidrográficas Intracomunitarias de Andalucía.

Empresa/Administración financiadora: Tragsatec / Dirección de Planificación y Recursos Hídricos de la Junta de Andalucía.

Duración, desde: 17 de julio de 2019, hasta: 16 de julio de 2020.

Investigador responsable: Bartolomé Andreo Navarro.

Cuantía: 52.249,87 + IVA.

#### C.4 Patentes.

Hay tres métodos que contaron con mi participación activa en la propuesta original de los mismos. Son métodos (modelos) que no existían antes y que se han aplicado en España y en otros países para estimación de la recarga (APLIS), cartografía de vulnerabilidad a la contaminación (COP) y delimitación de perímetros de protección en manantiales kársticos (COP+K). Estos métodos fueron publicados y no pudieron ser patentados.

*(Las figuras citadas en este Anexo técnico pueden ser consultadas en la página web de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir)*