



PROPUESTA DE NUEVOS CONCEPTOS DE PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO: CLASIFICACIÓN, VALORACIÓN Y DIAGNÓSTICO. APLICACIÓN AL KARST EN FORMACIONES YESÍFERAS DE LA SERRANÍA DE CUENCA

*Proposed new concepts about Hydrogeological Heritage: classification, assessment and diagnosis.
Application to gypsum karst formations in Serrania de Cuenca (Mideast Spain)*

Marc Martínez¹, Esther Alonso² y Jaime Mayordomo^{3*}

¹ Confederación Hidrográfica del Tajo Av. de Portugal, 81 28071 Madrid. marc.martinez@chtajo.es

² IGME C/Ríos Rosas, 23 28003 Madrid. e.alonso@igme.es

³ jjmayordomo@hotmail.com

Abstract: The hydrogeological heritage catalogues the singularity of the places associated with groundwater (the "container"), and the singularity of groundwater (the "content"). Regarding the places, natural or anthropic manifestations (sources, wetlands, wells and other captations) are contemplated, but it can be considered most exokarstic and endokarstic morphologies, because their genesis are closely related to the groundwater activity and the hydrodynamic behavior of the aquifer. Therefore, other classifier concept for the Hydrogeological Heritage is proposed, assessing as criterion, the impact of groundwater in the formation of these morfologies, from infiltration to forms of discharge. Two categories are established: forms and deposits associated with the water discharge and morphologies associated with infiltration areas and hydrodynamism. Likewise a specific index is developed for assessment of this type of heritage, based on a qualitative-quantitative method, as well as another index that allows to realize a diagnosis and to estimate the risk of degradation and conservation. These concepts are applied, for example, to karst forms in Serrania de Cuenca, associated to gypsum deposits of Cretaceous-Tertiary transit, and can be catalogued inside the Hydrogeological Heritage due to its singularity. The area of the Campichuelo is related mainly to the collapse dolines and sinkholes, sometimes with the presence of water and attributable to infiltration and hydrodynamic performance. Meanwhile the Ballesteros pond complex is a set of more than 40 sinkholes and ponds, connected to the karstic aquifer. Both are classifiable as hydrogeological heritage discharge.

Key-words: Assesment, diagnosis, gypsum, Hydrogeological heritage, karst.

Resumen: El patrimonio hidrogeológico cataloga la singularidad del lugar asociado a las aguas subterráneas (el "continente"), como la de las propias aguas (el "contenido"). Respecto al continente, contempla las manifestaciones naturales o creadas por la intervención humana, como son manantiales, humedales, pozos y otras captaciones, pero también puede contemplar a la mayoría de las morfologías exokársticas y endokársticas ya que su génesis está íntimamente asociada a la actividad de las aguas subterráneas y del comportamiento hidrodinámico del acuífero. Por ello se propone otro concepto clasificador para el patrimonio hidrogeológico, valorando como criterio la incidencia del agua subterránea en la formación de estas morfologías, desde su infiltración hasta sus manifestaciones de descarga. Se establecen dos categorías: formas asociadas a áreas de infiltración y funcionamiento hidrodinámico y formas y depósitos asociados a la descarga hídrica. Asimismo se desarrolla un índice específico para valoración y baremación de este tipo de patrimonio, basado en un método cualitativo-cuantitativo, así como otro índice que permita realizar un diagnóstico y estimar el riesgo de degradación y la conservación del mismo. Estos conceptos se aplican, como ejemplo, a formas kársticas de la Serranía de Cuenca, asociadas a los yesos del tránsito Cretácico-Terciario y catalogables dentro de este patrimonio a causa de su singularidad.

Palabras clave: Diagnóstico, karst, Patrimonio hidrogeológico, valoración, yesos.



Martínez, M., Alonso, E. y Mayordomo, J. (2012): Propuesta de nuevos conceptos de Patrimonio Hidrogeológico: clasificación, valoración y diagnóstico. Aplicación al karst en formaciones yesíferas de la Serranía de Cuenca. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 24 (3-4): 197-213.

El presente artículo pretende mejorar la definición y el concepto de patrimonio hidrogeológico; para ello propone nuevos conceptos para dicho patrimonio en la clasificación, y métodos cuantitativo-cualitativos específicos para la valoración, baremación y diagnóstico de los puntos objeto de posible catalogación. Justifica el empleo de morfologías kársticas como elementos clasificadores y definidores de este patrimonio, por las siguientes causas: a) por su génesis asociada al desarrollo heterogéneo de los acuíferos kársticos, de manera superficial, vertical y espacial, b) por su relación con el funcionamiento hidrodinámico del acuífero, desde la infiltración, circulación en los acuíferos y descarga de las aguas subterráneas, y c) por el papel del agua subterránea como elemento modelador de la mayoría de dichas formas, tanto exokársticas como endokársticas.

La nueva clasificación de este patrimonio, así como la nueva propuesta específica de criterios de valoración y diagnóstico para el patrimonio hidrogeológico y se aplica, como ejemplo, a las morfologías singulares asociadas a los depósitos margoyesíferos de la Serranía de Cuenca (provincia de Cuenca) y que corresponden al área del Campichuelo, en el término municipal de La Frontera y al Complejo lagunar de Ballesteros, repartido entre los términos municipales de Arcas del Villar y Villar de Olalla.

Los elementos geomorfológicos como parte del Patrimonio Hidrogeológico

El patrimonio geológico está formado por un conjunto de elementos geológicos singulares representativos de la historia geológica de una región y de la tierra en su conjunto. Estos elementos no renovables son formaciones litológicas, estructuras geológicas, acumulaciones sedimentarias, morfologías del terreno y yacimientos mineros, petrológicos o paleontológicos (Cendrero, 1996; Carcavilla *et al.*, 2007). Durán (1999) propuso incluir asimismo las colecciones de elementos geológicos.

Específicamente, sobre patrimonio geomorfológico existen trabajos (Caballero, 2003 y Carcavilla *et al.*, 2000 en Carcavilla *et al.*, 2007) que incluyen elementos geomorfológicos como escarpes, terrazas, así como espacios fisiográficos que configuran el medio natural, es el caso de cañones y cavidades.

Si las definiciones de estos tipos de patrimonio se basan en la catalogación de elementos no renovables, este concepto puede modificarse con la incorporación de elementos renovables como son las aguas subterráneas y sus manifestaciones externas o con captaciones con algún tipo de declaración (Martínez-Parra y Moreno, 2004) que dan lugar al Patrimonio Hidrogeológico. Incluso se ha propuesto como patrimonio las obras hidráulicas como qanats, minas, acequias y lavaderos (Durán, 2006).

Según Rodríguez-Estrella (2001) está constituido por: "... todos aquellos lugares relacionados con las aguas sub-

terráneas, que teniendo una cierta singularidad, al menos a nivel regional- bajo un punto de vista científico, histórico, cultural, educativo o paisajístico-recreativo - presentan un espacio discreto con el fin de que puedan ser visitados y protegidos". Así, los puntos catalogados dentro del Patrimonio Hidrogeológico (fuentes populares o de importancia científica, balnearios de aguas frías y/o termales, salinas o humedales) presentan características que los hacen únicos, ya sea por su rareza, por su historia o por representar las características químicas o hidrodinámicas de una formación acuífera. Su fragilidad ante las actividades antrópicas hace imprescindible su catalogación y definición de medidas de protección (Durán, 1999; Martínez-Parra y Murillo, 2002; Martínez-Parra, 2004; Martínez-Parra y Moreno, 2004).

Los acuíferos kársticos se desarrollan principalmente en formaciones carbonatadas, pero también en rocas yesíferas y evaporíticas. Se puede considerar que la actividad del agua en otras litologías como agente erosivo desarrolla morfologías singulares que se consideran exclusivamente dentro del concepto de patrimonio geológico; son los cañones fluviales, meandros abandonados, conos de deyección, cárcavas o valles glaciales, entre otros. Sin embargo, en estos casos, el agua no está asociada directamente a acuíferos, y las morfologías son el fruto de una actividad superficial y en superficie del agua. Pero el papel del agua dentro del karst es singular, en cuanto que el desarrollo de estas formaciones se produce durante el movimiento, predominantemente vertical en la zona no saturada y horizontal en la saturada, de aguas principalmente subterráneas.

Las simas, dolinas y demás morfologías son resultado de la actividad del agua en su infiltración hacia la zona saturada del acuífero, aprovechando zonas de infiltración preferencial, como fracturas, fisuras y sumideros, pero también de procesos que se producen en las formaciones acuíferas. Durante todo el proceso de incorporación del agua al acuífero se desarrollan morfologías exokársticas (navas, torcas, dolinas, poljes, callejones) y endokársticas (sistemas de cavidades); y asociadas a la descarga de las aguas se forman manantiales, episódicos o permanentes, así como depósitos tobáceos que forman barreras y lagunas asociadas.

Estas morfologías son producto, por tanto, del ciclo hídrico que se desarrolla en las formaciones karstificables en todas sus fases. De acuerdo con ese planteamiento, se incurriría en una contradicción si se considera como patrimonio hidrogeológico a las manifestaciones clásicas de descarga asociadas al sistema hídrico kárstico (manantiales, lagunas) pero no a las formas asociadas a la recarga del mismo (sumideros y dolinas, entre otras). De tal manera, se puede producir la siguiente paradoja: si resulta adecuado incluir dentro del patrimonio hidrogeológico a una dolina de colapso o un campo de dolinas con agua permanente, no se considera como tal a una dolina seca que tenga el mismo

origen, por otra parte la clasificación de una dolina con agua estacional o episódica relacionada con el acuífero subyacente no resultaría tan sencilla, ya que tanto podría considerarse parte del patrimonio geomorfológico (por su forma) como dentro del hidrogeológico (por la presencia de agua subterránea). Asimismo, resulta complejo diferenciar en qué tipo de patrimonio se puede clasificar una laguna asociada a una barrera de toba caliza cuando ambas formas son el resultado de la actividad del agua subterránea.

Las formas kársticas se han empleado desde un punto de vista geomorfológico para la realización de inventarios sistemático-temáticos de clasificación, orientados al patrimonio geológico, como en la clasificación de López-Martínez *et al.* (2003); sin embargo estas formas pueden englobarse en el patrimonio hidrogeológico, como se ha justificado anteriormente. Rodríguez-Estrella (2001) y, en mayor detalle, Alonso y Martínez-Parra (2007), han contemplado a algunas formas kársticas como aspecto a valorar para la definición del patrimonio hidrogeológico, considerando a estas morfologías, como puntos singulares a los que se asocian construcciones naturales o formas relacionadas con la acción de las aguas subterráneas.

Así se puede definir, un nuevo tipo de patrimonio hidrogeológico para puntos singulares asociados a litologías kárstificables: el patrimonio hidrogeológico kárstico (PHK), en el que se diferenciarían:

- PHK con morfologías asociadas a áreas de infiltración (recarga) y funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos: simas, cavernas, dolinas, torcas, navas o poljes singulares (figura 1).
- PHK con morfologías y depósitos asociados a la descarga hídrica: lagunas y manantiales singulares; tanto relacionadas con circulaciones locales como de mayor entidad, así como barreras y precipitaciones tobáceas (figura 1).

Una comparación con la clasificación de López-Martínez *et al.* (2003) se recoge en la tabla I. En la misma no se han clasificado dentro del patrimonio hidrogeológico kárstico las pequeñas morfologías de carácter epitelial asociadas al efecto de la precipitación, como son los lapiales, así como las morfologías asociadas a una importante actividad de aguas superficiales (cañones, hoces) y subsuperficiales

(callejones, valles kársticos).

Otro aspecto a considerar en estas morfologías singulares de origen kárstico es que su propia originalidad posibilita que exista documentación asociada tanto de carácter histórico como científico.

Propuesta de valoración para el patrimonio hidrogeológico

Las propuestas de catalogación de patrimonio hidrogeológico deben ir acompañadas de una valoración que permita un diagnóstico propio y específico para cada punto o conjunto de puntos como puede ser un complejo lagunar. Sin embargo, el patrimonio hidrogeológico es un caso particular y diferente del patrimonio geológico, puesto que contempla tanto el continente (fuente, surgencia, laguna, etc) como el contenido (características físico-químicas de las aguas: aguas ferruginosas, radiactivas, salinas, etc). Por ello se ha elaborado un sistema de valoración propio basado en los aspectos habitualmente contemplados en clasificaciones para el patrimonio geológico (Carcavilla *et al.*, 2007).

Una manera sencilla de abordar su valoración es el desarrollo de un sistema cualitativo-cuantitativo para el patrimonio hidrogeológico, basado en numerosos inventarios que lo emplean (Carcavilla *et al.*, 2007; López-Martínez *et al.*, 2003) y que destaca los aspectos que singularizan un punto por encima de otros, precisando siempre del concurso de un especialista en hidrogeología, que asigna un valor a los rangos considerados.

En la propuesta de valoración (Tabla II) se han diferenciado los *aspectos generales* y los *hidrogeológicos*. En cada uno de ellos se deben valorar dichos aspectos para establecer la importancia patrimonial del punto o conjunto de puntos analizados. Esta valoración tendrá un componente subjetivo en cuanto que se propone un punto como catalogable por algún aspecto principal y determinado, aparte de que presente otros complementarios, así, por ejemplo, si se considera el nacimiento del Balneario de Solán de Cabras (Beteta, Cuenca) como patrimonio hidrogeológico, se debe a que las principales características que lo singularizan son los antecedentes históricos, su consideración de agua mi-

Formas y depósitos kársticos	Clasificación de López-Martínez <i>et al.</i>	Clasificación propuesta
Lapiaces	EXOKARST (Formas erosivas)	No contempladas
Cañones, hoces		
Relieves ruñiformes		
Depresiones cerradas: dolinas de disolución, de colapso, navas, torcas, poljes		Morfologías asociadas a áreas de recarga y funcionamiento hidrodinámico
Surgencias kársticas. Depresiones cerradas: lagunas	ENDOKARST (Formas y depósitos)	Morfologías y depósitos asociados a la descarga hídrica
Cavidades		Morfologías asociadas a áreas de recarga y funcionamiento hidrodinámico
Simas		
Callejones	No contempladas específicamente	No contemplados
Valles kársticos		
Precipitaciones kársticas: barreras tobáceas, lagunas asociadas		Morfologías y depósitos asociados a la descarga hídrica

Tabla I Propuesta de clasificación, desde un punto de vista hidrogeológico, y su comparación con una clasificación geomorfológica.



Fig. 1.- Morfologías y depósitos de descarga hídrica (A)-Nacimiento del río Cuervo, (B)-Laguna en Cañada del Hoyo, (C)- Laguna del Marquesado, (D)- Fuente del Caz en Uña. Morfologías asociadas a la infiltración y circulación hidrogeológica (E)- Sima en Las Majadas, (F)- Torca en Lagunaseca.

nero-medicinal y la temperatura de surgencia, por lo que tendrán un mayor peso en la valoración que realice el especialista frente a los demás aspectos. De la misma manera, los Baños de la Rosa (Beteta, Cuenca) de aguas ferruginosas, destacarán en el aspecto hidroquímico.

Los rangos considerados en la baremación, en general, han sido bajo/medio/alto, aplicando una puntuación de 0 a 3; no obstante en algunos aspectos lo se valora la presencia o no de los mismos (valor 0/1). Es por ello que la valoración deberá ser realizada por un hidrogeólogo con conocimientos de la zona y que precisa un reconocimiento de campo.

En los *aspectos generales* se contemplan:

- Los aspectos científicos donde se considera si presentan otra singularidad respecto a otras ciencias relacionadas como son la geomorfología, la geología o la biología; así las lagunas de Cañada del Hoyo (Cuenca) destacarían en su aspecto geomorfológico y biológico.
- Los aspectos históricos recogen la importancia del punto en el desarrollo social y económico de la región donde se localiza, como ocurre con una salina de interior, o, en el caso de un balneario, por su propia historia y conocimiento acumulado.

- Los aspectos paisajísticos permiten valorar la belleza del punto y su entorno, siendo una valoración muy cualitativa; así no obtendrán los mismos puntos un manantial situado en un entorno agredido antrópicamente que otro asociado a un espacio húmedo.
- Los aspectos educativo-divulgativos contemplarían tanto el conocimiento que se tiene del punto, el interés que podría suponer hacia la sociedad en general y su accesibilidad a la población; así por ejemplo tendría una diferente valoración una salina de interior transformada en un taller de verano frente a un manantial situado en una zona alejada de las poblaciones y de difícil acceso.

Los *aspectos hidrogeológicos* reflejan aquellas características que singularizan un punto de agua con respecto a otro, como son:

- La abundancia/rareza del punto y del interés que supone para el patrimonio; así pueden existir numerosas dolinas y simas, pero las de mayor importancia son las conectadas directamente con el acuífero.
- La singularidad en hidrogeología, en la que este sistema de valoración cuantitativa-cualitativa contempla los principales aspectos hidrogeológicos que el especialista considera que tienen importancia en la propuesta del punto, como son el funcionamiento hidrodinámico y la piezometría (entre otros, fenómenos de artesianismo, epikarst, de fuentes vaclusianas, de caracterización de acuíferos regionales o representativos de algún fenómeno local como un trop-plein, etc), hidrometría (si la importancia del punto está causada por su caudal en el caso de un manantial o por la importancia del tipo de surgencia: regional, local, esporádica o temporal), formación acuífera/estructura (la singularidad de formaciones menos comunes como evaporitas o rocas volcánicas; la estructura que favorezca la circulación y surgencia de las fuentes, etc), la relación con espacios húmedos y la disolución/construcción donde se contemplan las formas kársticas asociadas al agua subterránea (desarrollo de simas, cavidades, dolinas, lagunas o barreras tobáceas).

- La singularidad hidroquímica refleja una de las características del patrimonio hidrogeológico que lo particulariza del geológico: las propias aguas (el “contenido” del punto), en cuanto presentan características físico-químicas propias y específicas como son, por ejemplo, aguas ferruginosas, aguas con gases disueltos, con radón o radiactividad natural (las denominadas históricamente fuentes radiales) o aguas muy antiguas y que se pueden datar mediante el empleo de los isótopos.
- La singularidad en temperatura muestra también otra propiedad del “contenido” y no del “continente” como es el reflejo de una anomalía geotérmica asociada a la geología local y reflejada en la hidrogeología.

La valoración y baremación propuesta en la tabla II define el denominado *Índice de Patrimonio Hidrogeológico* (IPH), según la siguiente fórmula:

$$\text{IPH} = \text{Aspectos generales} + \text{Aspectos hidrogeológicos} = [\text{Aspectos científicos (0-3)} + \text{Históricos (0-3)} + \text{Paisajísticos (0-3)} + \text{Educativos}] + [\text{abundancia/rareza (1-4)} + \text{Singularidad hidrogeológica (0-15)} + \text{Singularidad hidroquímica (0-18)} + \text{Singularidad en la Temperatura (0/3)}]$$

Al resultado obtenido se le aplica la siguiente horquilla en la que se establece el interés de la catalogación del punto

- 0-12 Interés bajo (si únicamente contempla aspectos generales)
- 12-26 Interés medio
- 26-40 Interés alto
- 40-52 Interés muy alto

Propuesta para el diagnóstico y conservación del punto a catalogar

Otro aspecto a considerar es el diagnóstico del estado de conservación del punto, tanto en la actualidad como potencialmente en el futuro. El riesgo de degradación y la vulnerabilidad han sido ampliamente estudiados para el patrimonio geológico (Carcavilla *et al.*, 2007). Para su aplicación al patrimonio hidrogeológico, con sus peculiaridades

ASPECTOS GENERALES									
Científicos				Históricos		Paisajísticos		Educativo-divulgativos	
Geomorfológicos		0-1	Interés bajo	0	Interés bajo	0	Interésbajo		0
Geológicos		0-1	Interés medio	2	Interés medio	2	Interés medio		2
Biológicos		0-1	Interés alto	3	Interés alto	3	Interés alto		3
ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS									
Abundancia/rareza en el acuífero				Singularidad en hidrogeología		Singularidad hidroquímica		Singularidad en la temperatura	
Abundante	Numeroso	Escaso	Único	Funcionamiento y piezometría	0-3	Mayoritarios	0-3	Normal	Anómala
1	2	3	4	Hidrometría	0-3	Minoritarios	0-3	0	3
				Formación acuífera/estructura	0-3	Conductividad, salinidad	0-3		
				Relación con espacios húmedos	0-3	Gases	0-3		
				Disolución/ Construcción	0-3	Isótopos	0-3		
						Radiactividad	0-3		

Tabla II. Propuesta de sistema cualitativo-cuantitativo para valorar los puntos del patrimonio hidrogeológico.

entre continente-contenido, se han considerado los definidos por Lopez-Martínez *et al.* (2003) modificándose de la siguiente manera (Tabla III):

- Se contempla el riesgo real, que puede cambiar con el tiempo y que puede generar la propia naturaleza y la actividad humana, y no la vulnerabilidad intrínseca del punto, que corresponde a la potencialidad o susceptibilidad de ser alterado un punto.
- Dentro de este riesgo y, específicamente para el patrimonio hidrogeológico, se ha considerado:
- El riesgo antrópico regional, cuando afecta al acuífero tanto en su funcionamiento, como en sus características físico-químicas; ejemplos de ello es la sobreexplotación que afecta a todo el acuífero, aunque no se produzca junto al punto propuesto, o la contaminación difusa por nitratos, que también afectaría a la calidad química del acuífero.
- El riesgo antrópico local, cuando afecta, concretamente, al punto catalogable y que corresponde a diversas actividades como, entre otras, la cercanía de poblaciones, canteras, vertidos, instalaciones agropecuarias, construcciones próximas u obras hidráulicas.
- El riesgo de origen natural se aplicaría a todos aquellos fenómenos de origen natural que pueden alterar la conservación del punto, como fenómenos meteorológicos, inundaciones si se encuentra en la vega de un río, erupciones en zona volcánica, etc.
- La accesibilidad al mismo se valora entendiendo como “bajo” a la dificultad de acceso y como “extremo” a la facilidad de acceso al mismo.
- La figura de protección contempla la existencia de alguna figura legal (local, autonómica o nacional) que proteja al punto, o una figura de hecho, como que se encuentre protegido por medios privados. Se puntuará considerando “bajo” a la existencia de alguna figura y como “extremo” a la inexistencia de la misma.

Los intervalos de diagnóstico resultantes se aplicarán de la siguiente manera:

- 1- 4 Riesgo bajo.
- 4-10 Riesgo moderado.
- 10-15 Riesgo alto.
- 15-20 Riesgo extremo.

Esta metodología de diagnóstico y de riesgo se aplica en el ejemplo que se describe a continuación.

	BAJO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Riesgo antrópico regional	1	2	3	4
Riesgo antrópico local	1	2	3	4
Riesgo de origen natural	1	2	3	4
Accesibilidad	1	2	3	4
Figura de protección	1	2	3	4

Tabla III.- Propuesta de diagnóstico para el patrimonio hidrogeológico.

Aplicación de las propuestas en clasificación, valoración, baremación y diagnóstico en algunas morfologías catalogables como patrimonio hidrogeológico, asociadas a materiales yesíferos en la provincia de Cuenca

En la provincia de Cuenca se pueden encontrar numerosos ejemplos de los dos tipos de patrimonio hidrogeológico kárstico, asociados tanto a las formaciones carbonatadas del Jurásico y Cretácico, las más conocidas, como son las lagunas de Cañada del Hoyo, la laguna del Marquesado, las torcas de los Palancares o la Fuente de la Balsa (Valdemorillo-Sierra); sin embargo, este patrimonio también se encuentra en las menos conocidas morfologías kársticas desarrolladas en los materiales margoyesíferos del Tránsito Cretácico-Terciario: son los complejos lagunares de Ballesteros y del río Moscas (Alonso y Martínez-Parra, 2007), atribuibles principalmente al patrimonio hidrogeológico kárstico con morfologías de descarga, y las formaciones kársticas del Campichuelo, que corresponden, principalmente, a morfologías asociadas a áreas de recarga.

Las geomorfologías asociadas a materiales yesíferos han sido ya propuestas como catalogables dentro del patrimonio geológico; en España el ejemplo paradigmático de patrimonio geológico en yesos lo constituye el karst de Sorbas (Calaforra, 1999), y también, por su excepcionalidad la geoda gigante de Pulpí (Calaforra y García-Guinea, 2000), ambas situadas en Almería. En Europa destaca el Parco Regionale della Vena del Gesso Romagnola (Italia).

Los depósitos margoyesíferos asociados al tránsito Cretácico-Terciario, de edad maastrichtiense y denominados Fm. Margas y yesos de Villalba de la Sierra (Torres *et al.*, 1999) afloran en el extremo occidental de la Serranía, próxima al límite con la Depresión Intermedia, formando parte de los pliegues mesozoicos, principalmente de dirección NO-SE, tanto en sus flancos como en sus ejes. Alcanzan un espesor máximo de 250 m, compuesto de base a techo por calizas y yesos masivos que evolucionan a yesos con intercalaciones de margas verdes y rojas, así como dolomías de escasa continuidad lateral cuya presencia hacia el E es cada vez mayor.

En general, en el proceso de karstificación de las formaciones yesíferas participan la roca karstificable -yesos masivos o interestratificados-y los sedimentos suprayacentes, tanto consolidados como inconsolidados (Gutiérrez *et al.*, 2008). Sus formas se desarrollan en los materiales yesíferos aflorantes, o bajo los materiales suprayacentes, provocando hundimientos de dichos depósitos o fenómenos de subsidencia. Los principales mecanismos de karstificación en yesos son la disolución, el pandeo, el colapso y la sufoión.

La génesis de sus formas endokársticas y exokársticas está condicionada por tres factores: la presencia de agua, cuya infiltración por vías preferenciales favorece la disolución de los materiales (1mm/año para los yesos según Klimchouk, 1996), la fracturación, que favorece la formación de dolinas al constituir zonas de mayor debilidad y vías de infiltración preferencial de las aguas, y, por último, e importante para la propuesta de patrimonio hidrogeológico, las formaciones acuíferas subyacentes, que facilitan la cir-

culación del agua infiltrada, favoreciendo la disolución y la formación de colapsos repentinos en superficie.

Se han escogido dos áreas sobre estos materiales con abundantes formas y puntos singulares aunque poco estudiadas desde un punto de vista hidrogeológico y patrimonial para aplicar las propuestas en clasificación, valoración, baremación y diagnóstico. Estas son:

- El Campichuelo; como ejemplo de patrimonio hidrogeológico de recarga; donde se desarrollan singulares morfologías de hundimiento asociadas a la actividad hidrogeológica subterránea,
- El Complejo lagunar de Ballesteros; como ejemplo de patrimonio hidrogeológico de descarga, donde las lagunas permanentes-dolinas de colapso y de disolución están asociadas a un karst interestratificado, conectadas con el acuífero infrayacente, constituyendo un punto de drenaje del sistema acuífero. Su formación se ha visto favorecida por un conjunto de fracturas NO-SE y conjugadas, desarrollándose alineadamente las lagunas (Martínez-Parra *et al.*, 2010).

Un ejemplo de patrimonio hidrogeológico kárstico de recarga: El Campichuelo

Situación y geología

La zona de estudio se encuentra al N de la comarca del Campichuelo, a 10 km al NO de Cuenca; en el extremo septentrional de la depresión de Mariana, de orientación N-S y rellena de depósitos detríticos terciarios con un espesor máximo de 250 m (Hernández y Lendínez, 1989) (Figura 2). Se extiende por una superficie total de 3,5 km² entorno a la población de la Frontera y un punto singular próximo a Castillejo-Sierra, a 5.6 km al SE de La Frontera.

La estructura de la depresión es compleja, con varios sistemas de fallas (NO-SE, E-O y OSO-ENE) que delimitan bloques elevados o hundidos.

Los depósitos maastrichtienses constituyen el zócalo de la depresión, en el área de estudio se encuentran aflorantes, parcialmente cubiertos por pequeños retazos terciarios y cuaternarios de escasa extensión y un espesor máximo de 60 m, en el entorno de la localidad de La Frontera.

No obstante, aunque el karst se genera en estos materiales del tránsito, la mayoría de las singulares morfologías estudiadas (sima de la Noguerilla, de Castillejo-Sierra o laguna de Tío Dámaso) se desarrollan sobre los retazos de materiales terciarios por colapso de los materiales infrayacentes. Asimismo, los depósitos detríticos pliocuaternarios asociados a los cursos de agua próximos e intermitentes (arroyo Soto de la Rambla y del Horcajo), presentan potencias superiores a 10 m próximos a El Recuenco, engrosadas a causa de una posible subsidencia de dichos materiales yesíferos infrayacentes (Ford y Williams, 1989), fenómenos descritos en la Cuenca del Ebro (Gutiérrez *et al.*, 2008).

Dichos arroyos desembocan en la depresión del Recuenco-1, que constituye una pequeña cuenca endorreica.

Hidrogeología de las formaciones yesíferas

El desarrollo principal del karst se produce en una zona de recarga e interfluvio entre dos ríos, el Escabas al N (880 m s.n.m.) y el Trabaque (900 m s.n.m.) al S.

Los únicos puntos de agua de la zona, relacionados con estos materiales yesíferos son la laguna del Tío Dámaso, asociada a horizontes yesíferos superficiales, y el sondeo de abastecimiento de Ribagorda, situado en la vega del río Trabaque, a 910 m s. n. m., de 180 m de profundidad y cuyo perfil litológico muestra una alternancia de calizas y yesos atribuibles al cambio litológico descrito hacia el E de la depresión; este sondeo capta zonas acuíferas confinadas a partir de 90 m (820 m s.n.m.), y la profundidad de nivel piezométrico (PNP) se sitúa a 31 m (879 m s.n.m.); dicho nivel piezométrico, similar a la cota topográfica de los ríos, indica que éstos suponen la principal zona de alimentación del acuífero.

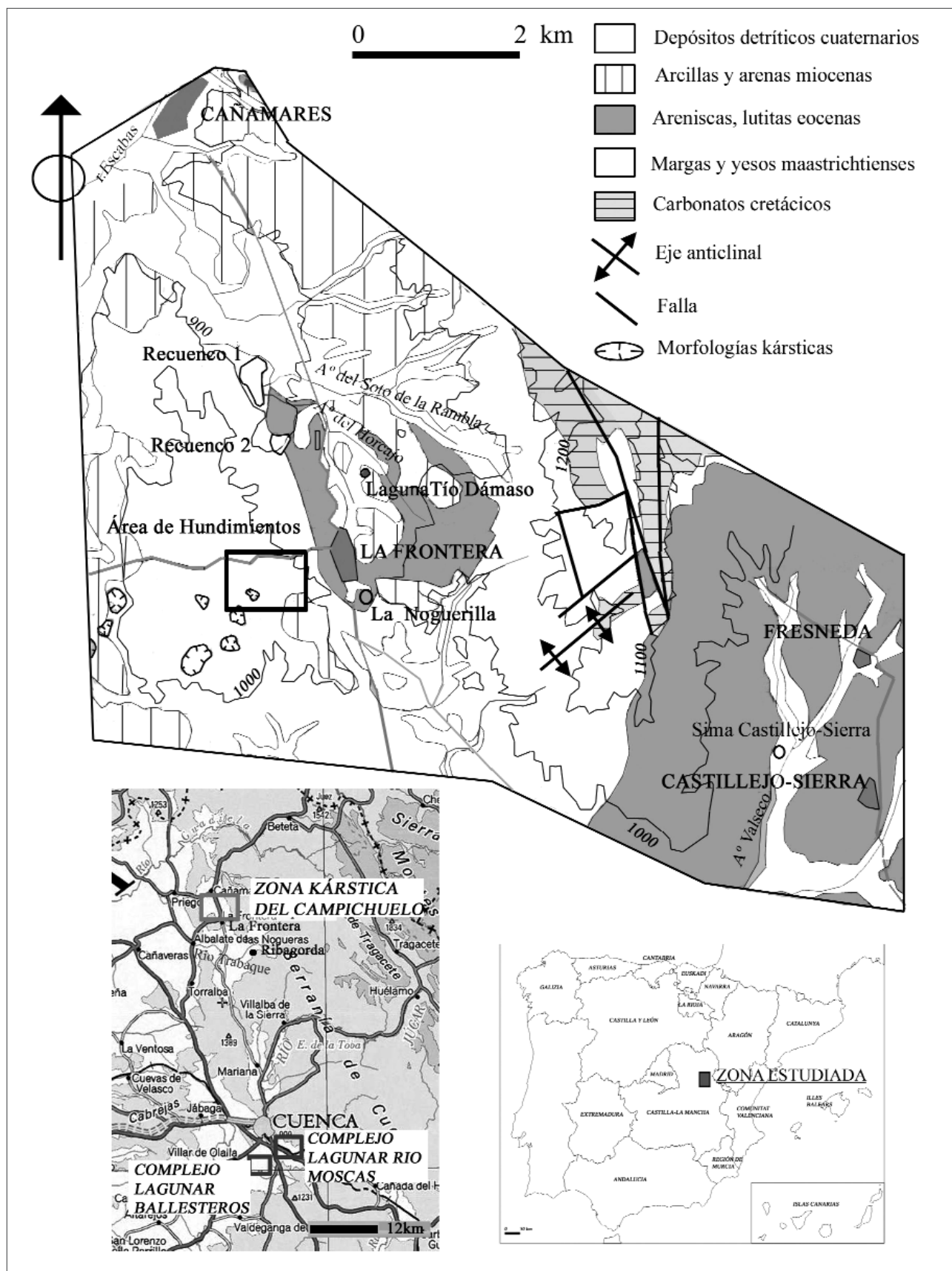
Los depósitos terciarios y pliocuaternarios, dispuestos en pequeñas superficies, forman acuíferos locales que pueden alimentar a los materiales yesíferos por goteo. La pequeña cuenca endorreica de El Recuenco, está parcialmente rellena de materiales pliocuaternarios que son afectados por dos captaciones, una de 20 m de profundidad y PNP de 13 m (febrero de 2000) ó 882 m s.n.m. y, al N, un pozo de 7 m, con una PNP de 4 m (abril de 2008) ó 886 m s.n.m., que capta horizontes más superficiales. Estos niveles piezométricos someros, indican que puede existir dicho goteo.

Morfologías kársticas reconocidas y catalogables. Antecedentes históricos y estado actual

Este área es kársticamente muy activa, con morfologías asociadas a las margas y yesos aflorantes como cubiertos por los depósitos detríticos terciarios y pliocuaternarios, como indica la toponimia local: Las lagunillas, la laguna Blanca, el Hoyo del Espino, así como lagunas temporales y depresiones hacia Cañamares. Junto a dolinas de disolución se producen actualmente fenómenos de colapso de diámetro métrico, aunque en ocasiones superan los 50 m de diámetro.

Las morfologías catalogables, por su peculiaridad, como patrimonio hidrogeológico, desde el punto de vista científico y recreativo-paisajístico, son la Sima de la Noguerilla, la laguna del Tío Dámaso, las depresiones de El Recuenco (Guadalajara, 1998) y la Sima de Castillejo-Sierra. Las tres primeras formas se desarrollan sobre los retazos de materiales terciarios y cuaternarios, y la otra en la vega del río Trabaque sobre los depósitos cuaternarios (Tabla IV). De la Sima de la Noguerilla existe documentación histórica sobre su génesis y evolución, otro de los criterios para ser considerada susceptible de clasificación en el patrimonio hidrogeológico.

Relata Giménez de Aguilar (1927) que la comarca de El Campichuelo es conocida por los hundimientos repentinos. Así comenta que “... se presentan en La Frontera y Cañamares,...., cuyo suelo está sembrado de numerosos agujeros y cuyos efectos son harto conocidos por sus mo-



Toponimia	X	Y	Z	S	Tipo de PHK
Sima de la Noguerrilla	566906	4472510	1000	27.2	PHK con morfologías asociadas a áreas de infiltración y funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos
Recuenco (1)	565533	4475050	885	1300	
Recuenco (2)	565690	4474430	890	770	
Laguna de Tío Dámaso	566820	4473980	929	25	PHK con morfologías asociadas a la descarga hídrica
Sima de Castillejo-Sierra	571950	4470380	940	86	PHK con morfologías asociadas a áreas de infiltración y funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos

Tabla IV. Situación y extensión de los puntos singulares estudiados en el Campichuelo. Puntos clasificados según la definición de patrimonio hidrogeológico kárstico (PHK) (X e Y en UTM, Z-cota topográfica en m s.n.m.; S-superficie en Dm²).

radores. Algunas reses de ganado, sorprendidas por el fenómeno, quedan separadas de sus compañeras en el fondo de las depresiones que se forman; hace varios años, el Dr. Almagro, de Cuenca, entonces Médico de La Frontera, cuando volvía de visitar una de las aldeas anejas, encontró abierto junto al camino un agujero que no existía pocas horas antes". Esta descripción, y la posterior de la formación de la sima de la Noguerrilla, dan cuenta de la fenomenología brusca y rápida asociada a los procesos kársticos en El Campichuelo. Así, en los años 2005 y 2006 se produjeron al O de La Frontera y en los materiales margoyesíferos pequeños colapsos de orden hemimétrico, y profundidades máximas de 3 m, entre cotas topográficas de 1050-1070 m s.n.m.

De las tres formas singulares consideradas patrimonio hidrogeológico kárstico, la sima de la Noguerrilla, El Recuenco y la sima de Castillejo-Sierra se clasificarían como patrimonio hidrogeológico kárstico con morfologías asociadas a áreas de infiltración (recarga) y funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos; sin embargo la laguna de Tío Dámaso podría clasificarse a las morfologías asociadas a la descarga hídrica, al considerarse su génesis ligada a los niveles superficiales yesíferos, aunque desconectados de la formación acuífera a la que se asocian el resto de morfologías.

a) *La sima de la Noguerrilla*: se sitúa a 450 m al SE de La Frontera (Figura 2). Históricamente se tiene noticia de su aparición súbita el 15 de marzo de 1927 (Giménez de Aguilar, 1927) "en un viñado situado en un pequeño altozano, a unos quinientos pasos de distancia al sureste de la Plaza de la Constitución, hundiéndose el suelo el 15 de marzo, a las dos de la tarde, e una extensión de cerca de 300 m², dejando abierto un profundísimo pozo de sección elíptica y paredes casi verticales, que fue agrandándose y redondeándose los días sucesivos." (Figura 3 A, B). Esta descripción constituye un buen ejemplo de formación repentina de dolina de colapso. Giménez de Aguilar proporciona unas dimensiones de 50 x 42 m matizando que por la tarde del día de las medidas el diámetro menor había aumentado 5 m, dando cuenta de la rapidez de acción de este tipo de procesos kársticos. La profundidad medida fue de 150 m aproximadamente y podría conectar las formaciones yesíferas con las carbonatadas cretácicas. Estas dimensiones varían con respecto a las medidas 81 años más tarde, en abril de 2008: 59 x 52 m de diámetro y únicamente 17 m de profundidad, colmatándose, por tanto, 133 m (Figura 3 C). Las paredes no son verticales, sino que muestran una forma de embudo por la denudación de las paredes laterales y el relleno, cre-

ciendo vegetación y arbolado en el fondo de la misma. Aunque a partir del estudio de las imágenes aéreas de 1956 en adelante (Figura 4), no se aprecia una reducción de su diámetro, la instalación en sus proximidades de una explotación agropecuaria y se ha empleado como punto de vertido de escombros y residuos inertes, ha alterado el entorno de la sima y su interior (Figura 3C) lo que hace peligrar su conservación.

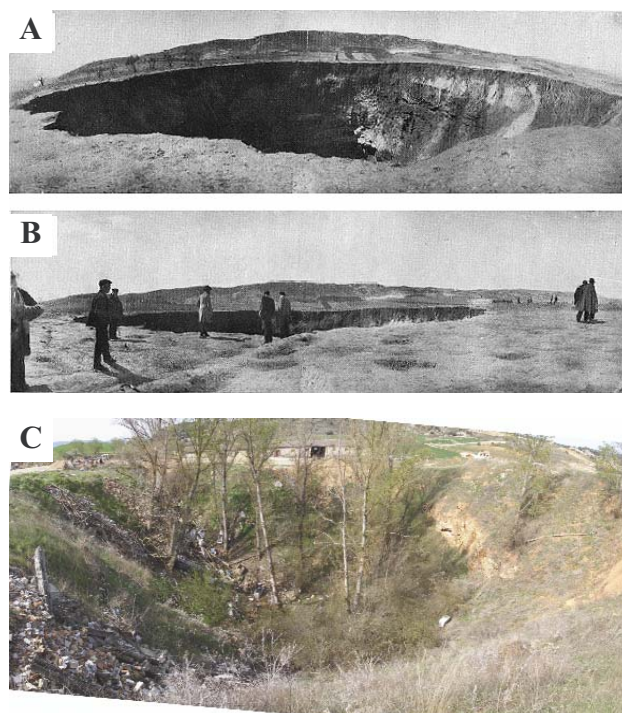


Fig. 3- Diferentes vistas de la dolina de colapso en marzo de 1927 (fotos A y B) (Giménez de Aguilar, 1927) y en el año 2008 (foto C) En la actualidad la sima es empleada como vertedero de residuos inertes.

El hundimiento afecta a la cobertera terciaria (arenas medias a gruesas alternantes con arcillas), que corresponde al material no karstificable suprayacente y consolidado, mientras que el material soluble corresponde a margas y arcillas subyacentes y no aflorantes. Así, atendiendo a la descripción de su formación, su génesis es la de una dolina por colapso.

b) *Depresiones de El Recuenco*: situadas a 1900 m al N de La Frontera, son dos depresiones (Figuras 2, 5, tabla II), alineadas de N a S junto a un escarpe de 70 m de desnivel. La septentrional es de mayor tamaño y se sitúa a una cota más baja que la depresión meridional, separadas ambas por



Fig. 4.- Diferentes vistas de la sima en las fotos aéreas de mayo de 1956, noviembre de 1987 y en el año 2006 (Foto A procedente del Servicio Geográfico del Ejército, foto B proveniente de la Dirección General de Política Alimentaria (MAPA), foto C procedente de www.sigpac.es).

un suave relieve. En la depresión septentrional desembocan los arroyos del Soto de la Rambla y del Horcajo, procedentes del entorno de La Frontera. Si antiguamente mantenía de manera permanente el agua, en la actualidad es una zona de recarga de los acuíferos yesíferos, a la que se conducen dichos arroyos, infiltrándose las aguas por los sumideros allí existentes (Figura 5D). Genéticamente se considera una dolina de cobertera en la que un karst activo y cubierto por sedimentos pliocuaternarios no consolidados, sufre procesos de disolución y asentamiento del material suprayacente, produciéndose una subsidencia sinsedimentaria y engrosándose, a su vez, los espesores del material de cobertera.

La presencia de agua en El Recuenco ha pasado de periodos continuados, a largos periodos secos. Así, en el año 1956, la depresión Recuenco-1 presentaba lámina de agua, pero no en la depresión meridional, Recuenco-2, más elevada topográficamente. Durante las décadas comprendidas entre 1970 y la actualidad se produjeron episodios esporádicos de agua, asociados a fuertes pluviometrías como las acaecidas en primavera de 1997 o de 2010 (Figuras 5A, 5B, 5C).

Las presiones antrópicas que reciben son la conversión del vaso de las cuencas en campos de cultivo, la presencia próxima de una gravera y el vertido de aguas residuales al arroyo del Horcajo, infiltrándose por los sumideros en el Recuenco, como se apreció en la visita del año 2008.

c) *Laguna del Tío Dámaso*: dolina con agua permanente, desarrollada sobre depósitos detríticos terciarios y situada a 1100 m al N de La Frontera (Tabla IV). Su forma es casi circular, con un diámetro de 58 m (Figuras 6 y 7). Por su morfología abrupta en su perímetro, el origen puede atribuirse a un colapso del material yesífero subyacente.

d) *Sima de Castillejo-Sierra*: es el fenómeno más distante de los descritos, a 4500 m al SE de La Frontera y a 1100 m al O de Castillejo-Sierra. Es una dolina de colapso desarrollada en una llanura cultivada de origen aluvial, próxima al Arroyo Valseco, de morfología circular, con un diámetro de 37 m y una profundidad estimada de 15 m. Esta dolina afecta a los materiales de cobertera cuaternarios, ad-

quiriendo la forma de un cono truncado. A unos 100 m al O afloran los materiales mastrichtienses y se observa en la vista aérea como en los campos próximos se definen depresiones no apreciables a pie de campo (Figura 8).

Un ejemplo de patrimonio hidrogeológico kárstico de descarga: el Complejo Lagunar de Ballesteros

Situación y geología

El área estudiada se sitúa 7 km al S de la ciudad de Cuenca, por la que circula el río San Martín. Ocupa una superficie aproximada de 2.50 km² y se sitúa entre los términos municipales de Arcas del Villar y Villar de Olalla. Su pendiente es suave, del orden de 14-22 %. Geológicamente se sitúa en el flanco occidental de la Serranía de Cuenca, constituida por materiales carbonatados cretácicos y jurásicos, fuertemente plegados y fracturados. Los materiales del tránsito Cretácico-Terciario forman parte de un sinclinal de orientación NO-SE, en cuyo flanco occidental, y coincidente con el eje anticlinal, se desarrolla el complejo lagunar de Ballesteros (Figuras 1, 9).

El complejo lagunar se sitúa próximo al eje anticlinal del pliegue NNE-SSO, una zona de distensión, donde se desarrollan fracturas de direcciones conjugadas NE-SO y NO-SE. Estas fracturas constituyen un mallado que han favorecido el desarrollo del karst interestratificado y el desarrollo de las geomorfologías asociadas (Figura 10).

Hidrogeología de las formaciones yesíferas

Se han diferenciado dos horizontes acuíferos (Martínez-Parra *et al.* 2010 y 2011); el superior, de 8-10 m de espesor es de naturaleza margoyesífera y el otro, subyacente, de margas yesíferas, calizas, yesos masivos e interestratificados, con un espesor próximo a 50 m, que forma el karst interestratificado al que se asocian las lagunas. Ambos horizontes se encuentran separados por 30 m de una alternancia margocaliza con presencia de yeso pero que no se ha descrito con

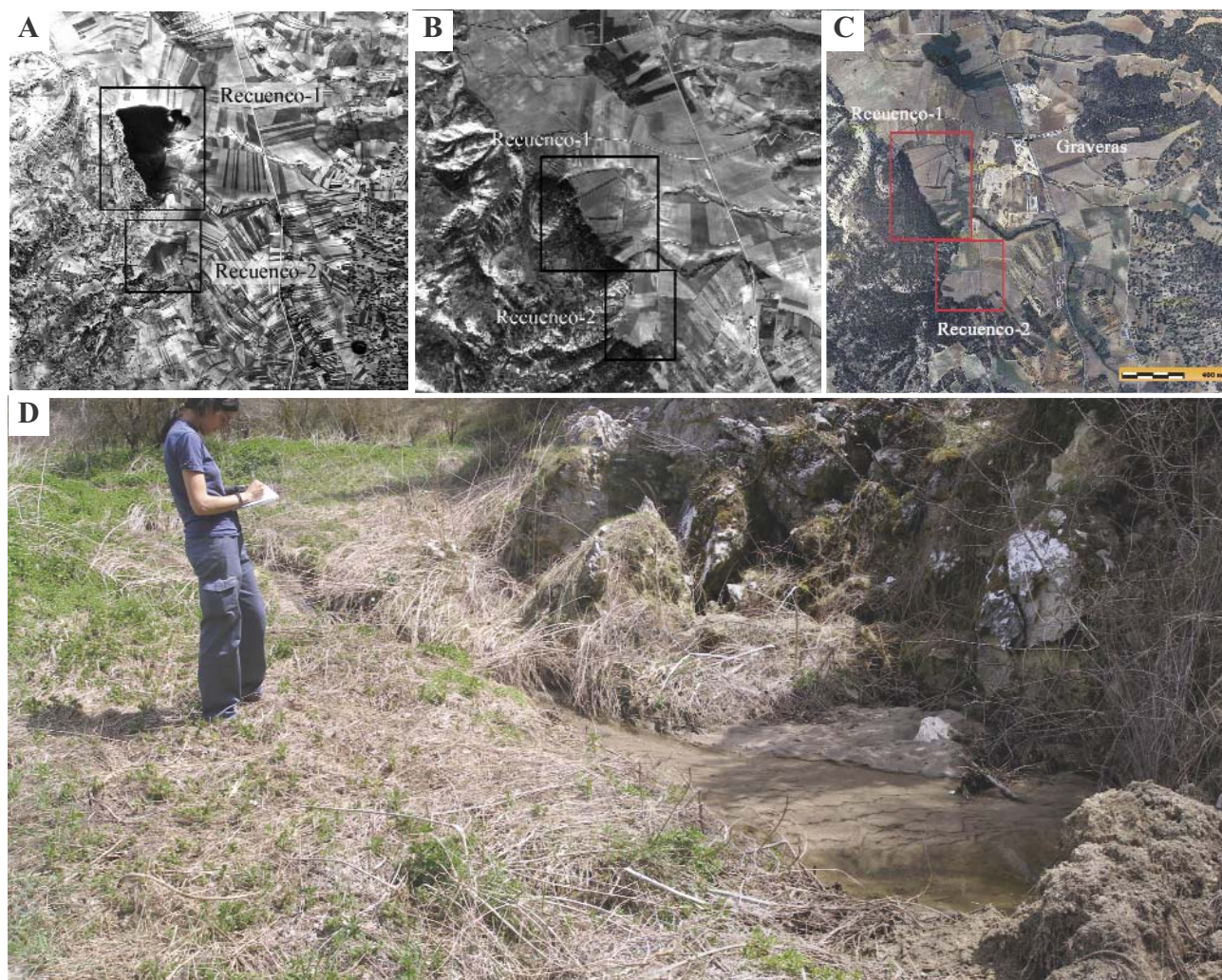


Fig. 5.- Las depresiones del Recuenco en los años 1956, 1987 y 2006 (A a C). Sumidero en la depresión septentrional de El Recuenco en abril de 2008 (D) (fuente fotos: (A) procedente del Servicio Geográfico del Ejército, (B) proveniente de la Dirección General de Política Alimentaria (MAPA), (C) procedente de www.sigpac.es)

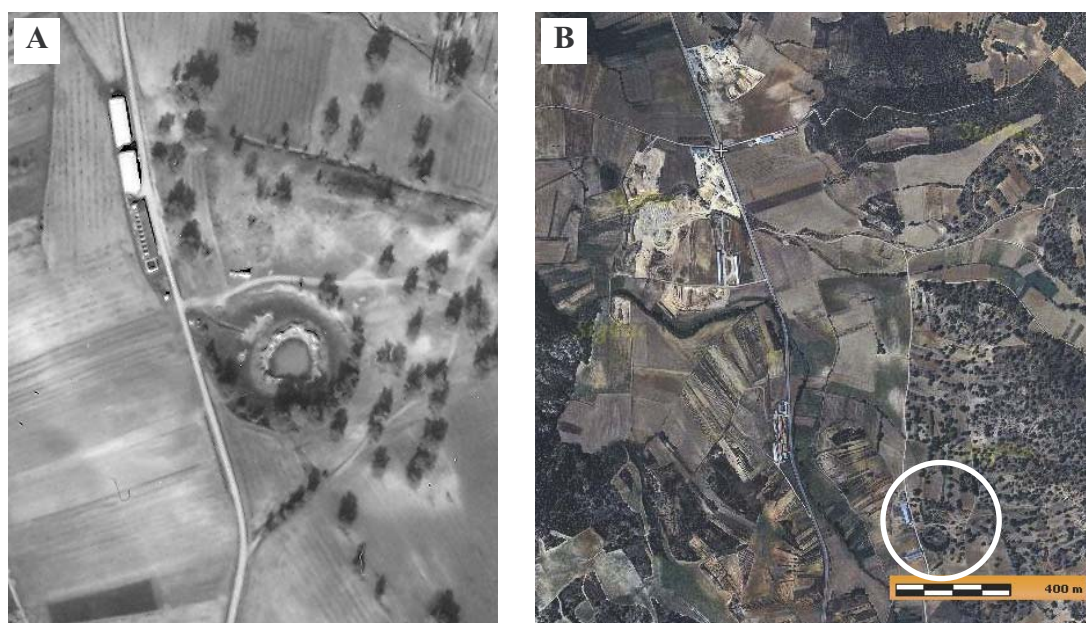


Fig. 6.- La laguna de Tío Dámaso en los años 1987 y 2001 (Foto A procedente de la Dirección General de Política Alimentaria (MAPA), foto B procedente de www.sigpac.es)



Fig. 7.-Laguna de Tío Dámaso en febrero de 2000 y abril de 2008

presencia de agua; sin embargo, también debe encontrarse fracturada y permite la conexión entre ambas formaciones acuíferas. El acuífero yesífero inferior, de naturaleza confinada o semiconfinada, se encuentra parcial o totalmente conectado con el acuífero superior, alimentando a las lagunas en diferente porcentaje aprovechando como vía de ascenso las fracturas a las que se encuentran asociadas. Ello se evidencia en el caudal del río San Martín, que se incrementa, tras su paso por el complejo lagunar, entre 60-75 L/s (Martínez-Parra *et al*, 2011). La laguna de Barraganes (L6, tabla V), la más próxima al río, aporta un caudal de hasta 40

L/s. Así este complejo lagunar corresponde a una zona de descarga del acuífero kárstico y alimenta al río, contrariamente a lo que sucede en el Campichuelo.

Morfologías kársticas reconocidas y catalogables. Antecedentes históricos y estado actual

Está formado por 40 dolinas de las cuales un 45 % tienen agua permanente (Sanz 2005, Martínez-Parra *et al.*, 2010) (Figuras 10, 11). Se encuentran comprendidas en un polígono de coordenadas UTM (572438,4428670), (574362,

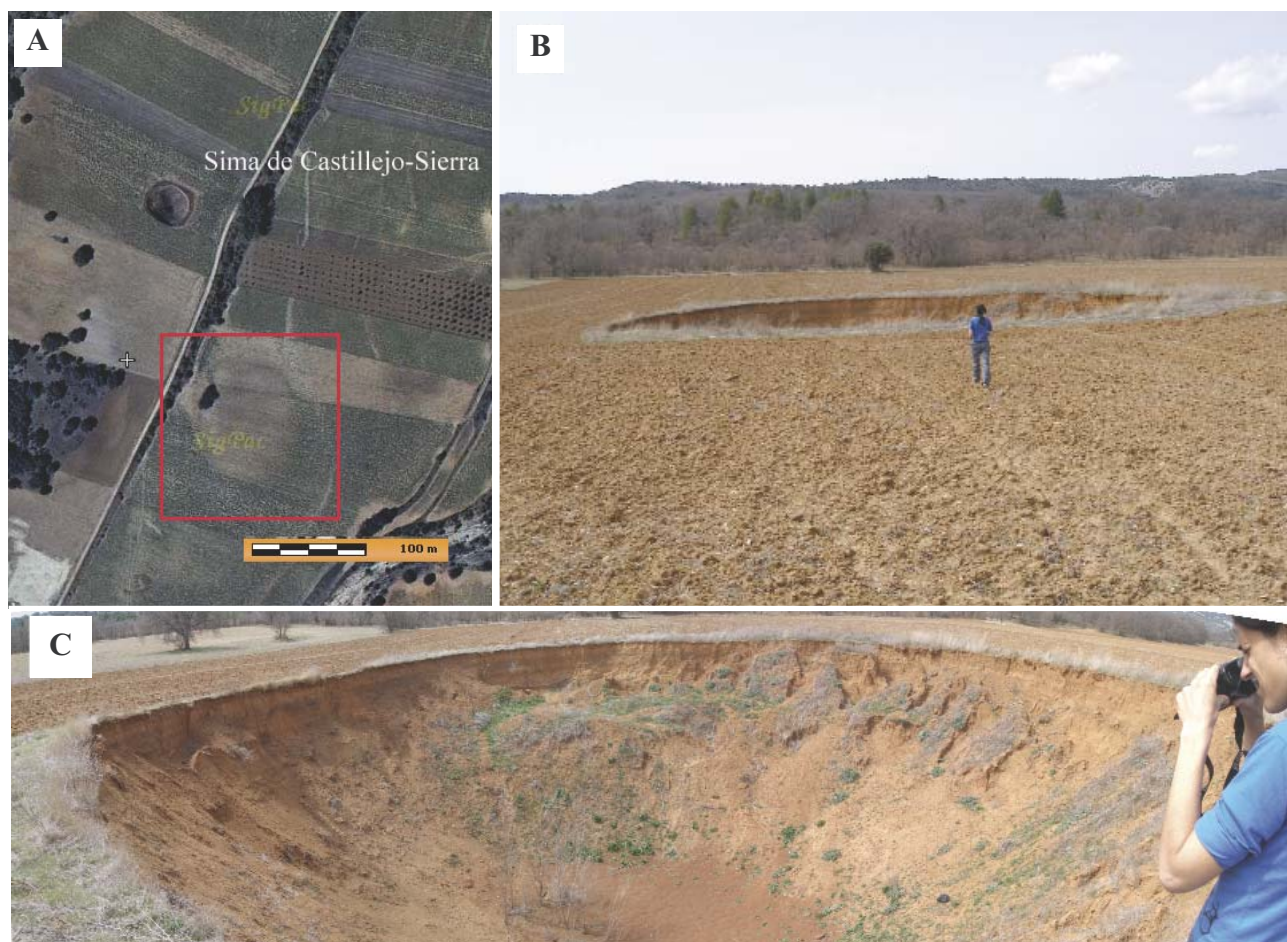


Fig. 8.- Situación en foto aérea (www.sigpac.es) y vistas de la dolina de Castillojo-Sierra. En rojo una zona de depresión no visible en superficie.

Tipos	A(1)	M(2)	C(3)	Tipo PHK
Dolinas secas		L21, L22, L24, L25, L26, L29, L30, L35, L36, L37, L38	D=12-187 S=1.5-1050	PHK con morfologías asociadas a áreas de infiltración y funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos
Lagunas permanentes	AP(S)	L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L15, L17, L19, L31, L42	P= 1.5-14.3 D=21-63 S=10-78	PHK con morfologías y depósitos asociados a la descarga hídrica
Lagunas esporádicas	AS	L14, L16, L18, L20, L33, L34, L37, L39, L40, L41	P=0.5-1.5 D=1-35 S=0.1-15	

Tabla V. Morfologías existentes en el Complejo Lagunar de Ballesteros y propuesta de clasificación de PHK. Leyenda: (1): tipo de alimentación: AP(S)- acuífero profundo (y superficial), AS-acuífero superficial; (2)-morfología kárstica; (3): principales características morfométricas mínimas y máximas, P-profundidad en m, D- diámetro máximo en m, S- superficie en Dm².

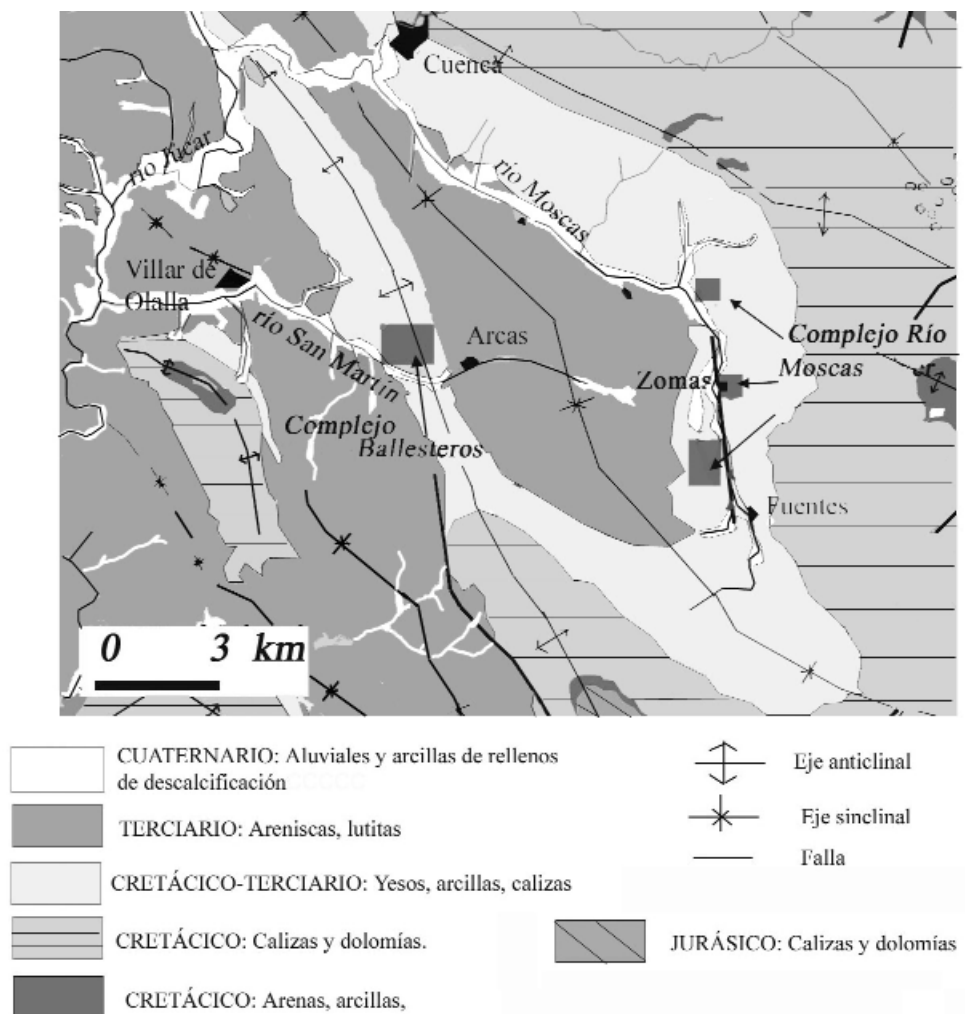


Fig. 9.- Mapa geológico simplificado del Complejo lagunar de Ballesteros (modificado de Ramírez *et al.*, 1973).

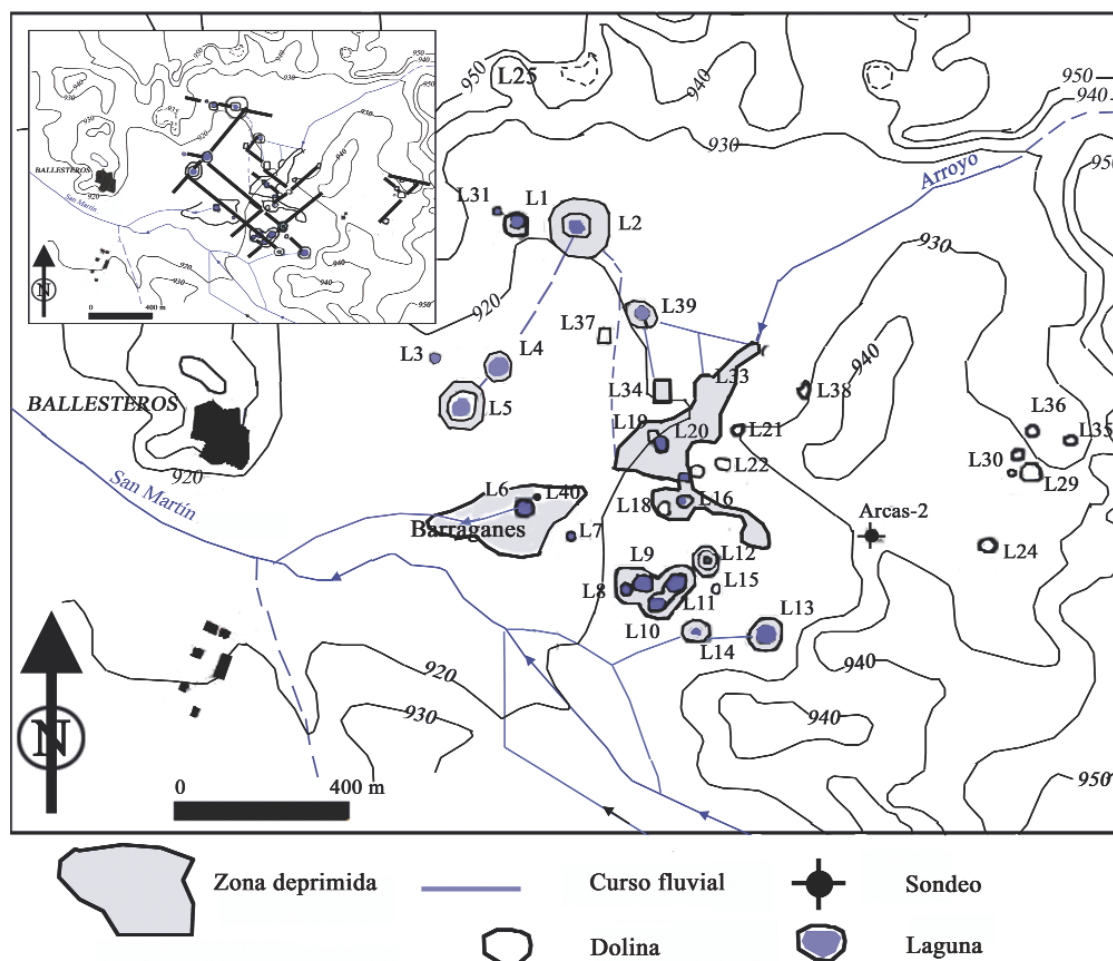


Fig. 10.- Identificación de las lagunas del Complejo lagunar de Ballesteros e interpretación genético-estructural de las mismas (modificado de Martínez-Parra *et al.*, 2011).

4428670), (574362, 4427230) y (572438, 4427230). Las morfologías predominantes en el complejo lagunar son las formas exokársticas correspondientes a dolinas de disolución y de colapso. La diferencia de cota en el complejo lagunar no alcanza los 25 m. Es un karst activo, con colapsos recientes, documentados en 2003 (Martínez-Parra *et al.*, 2010).

Las lagunas permanentes tienen diámetros entre 20-60 m, siendo las lagunas más profundas las que se encuentran en las proximidades del cauce del río San Martín, así la laguna de Barraganes alcanza los 14.3 m de profundidad máxima. Predominan las lagunas en forma de embudo, aunque también se encuentran de fondo plano y de carácter mixto. Algunas de ellas se conectan formando complejos deprimidos o uvalas con varias de ellas conectadas. Existen dolinas secas o con agua estacional al E del complejo, en una zona más elevada (entre 10 y 20 m), y que constituye a su vez una pequeña cuenca endorreica y zona de infiltración preferencial.

La conexión con el acuífero inferior no es igual para todas las lagunas, con diferentes porcentajes de restricción. Ello favorece que en algunas de las lagunas, en verano, las aguas estén más evaporadas y sobresaturadas en calcita, precipitando un fango calizo que define una orla blanca característica en las mismas (Figura 11C).

Este complejo lagunar ha sido estudiado desde diversos puntos de vista, como el biológico y limnológico (Cama-

cho, 1997) o el hidrogeológico (Martínez-Parra *et al.*, 2010; 2011). Sin embargo, dentro del patrimonio hidrogeológico, todo este conjunto lagunar se considera catalogable bajo un punto de vista científico (su peculiar funcionamiento hidrodinámico y su desarrollo geomorfológico singular) y también paisajístico-recreativo, y presenta un espacio discreto con el fin de que puedan ser visitados y protegidos, como describe la definición de Rodríguez-Estrella (2001). De tal manera fue propuesto como patrimonio en Martínez-Parra (2004) y Alonso y Martínez-Parra (2007). Aplicando la clasificación propuesta, estas formas se encuadrarían en el PHK con morfologías y depósitos asociados a la descarga de acuíferos.

Este complejo lagunar se encuentra protegido por la figura de Reserva Natural desde el año 2002 (DOCM nº 26, de 01.03.02).

Aplicación de la propuesta de diagnóstico de la valoración y del riesgo del patrimonio hidrogeológico

La aplicación del IPH a los dos conjuntos estudiados muestran que las morfologías de recarga y descarga en la zona del Campichuelo muestran un *interés patrimonial medio*, al igual que las dolinas secas del área de Ballesteros, mientras que las lagunas de dicho Complejo corresponden a un *interés patrimonial alto*, gracias a constituir un com-

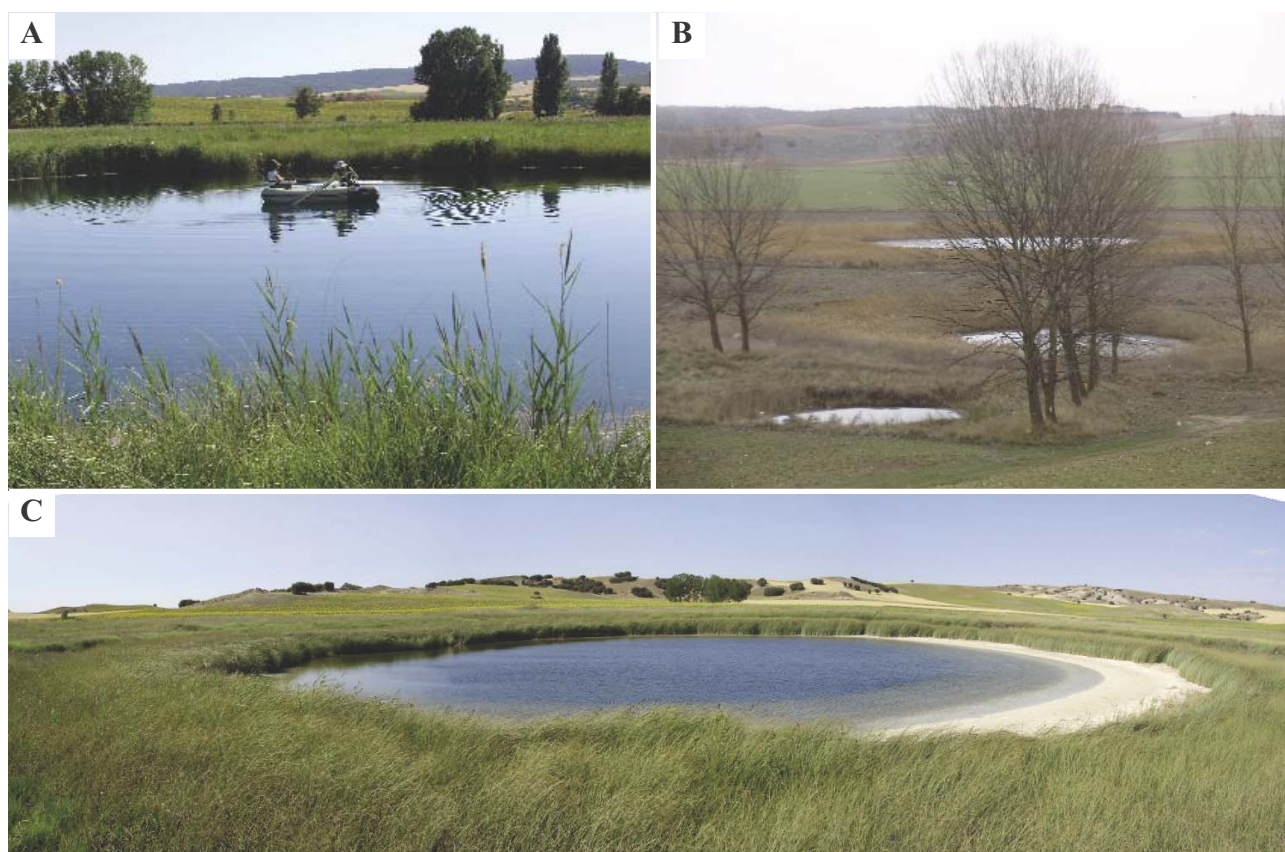


Fig. 11.- Laguna de Barraganes (L6) en julio de 2009 (A), lagunas L31, L1 y L2 en enero de 2010, con la lámina de agua helada (B) y (C) laguna L4 en julio de 2009 con la presencia del fango calizo en la orilla.

plejo lagunar histórico y estudiado, así como a estar asociado a litologías evaporíticas (Tabla VI).

El riesgo de degradación/protección (Tabla VII) muestra un riesgo alto para El Campichuelo, como se ha evidenciado en la descripción de los puntos, debido a la actividad antrópica, mientras para el caso del Complejo lagunar de Ballesteros, al existir una declaración de zona protegida por la JCCLM, el riesgo es menor, de carácter moderado.

Las medidas de gestión y conservación para el área del Campichuelo de carácter más inmediato, pasan por una regulación de actividades por parte del municipio de La Frontera en el Plan de Ordenación Local, la limpieza y desescombro de los vertidos realizados en la sima de la Noguerilla y en la laguna del Tío Dámaso, junto a una limita-

ción de acceso de vehículos y personas mediante algún tipo de vallado respetuoso con el entorno. Las lagunas del Recuenco son de más difícil gestión, pero debería tratarse las aguas que se vierten en la sima (Recuenco-1), para evitar cualquier interacción físico-química con las formaciones acuíferas infrayacentes, así como la regulación de las actividades del entorno.

En el caso del Complejo Lagunar de Ballesteros, su definición como Reserva Natural desde el año 2002, limita las actividades potencialmente alteradoras del patrimonio, aunque se precisaría un estudio hidrogeológico de mayor detalle que establezca si se necesita un perímetro de protección de las aguas subterráneas con una mayor superficie que la actualmente contemplada.

	Toponimia	ASPECTOS GENERALES				ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS				TOTAL
		Científicos	Históricos	Paisajísticos	Divulgativos	A/R	Sing. hidrogeológica	Sing. Hidroquímica	T ^a	
ZONA DEL CAMPICHUELO	Sima de la Noguerilla	2	2	0	2	4	7	0	0	17
	Recuenco (1)	2	2	1	2	4	8	2	0	21
	Recuenco (2)	2	2	1	2	4	8	2	0	21
	Laguna de Tío Dámaso	2	2	1	1	4	8	2	0	19
	Sima de Castillejo-Sierra	2	2	1	1	4	7	0	0	16
COMPLEJO LAGUNAR BALLESTEROS	Dolinas secas	1	1	2	2	3	7	0	0	16
	Lagunas permanentes	3	2	2	2	3	15	5	0	32
	Lagunas esporádicas	3	2	2	2	3	15	5	0	32

Tabla VI. Aplicación del criterio propuesto para la valoración del patrimonio hidrogeológico.

Toponimia	Riesgo antrópico					Total
	Regional	Local	Natural	Accesibilidad	Protección	
Sima de la Noguerrilla	1	4	1	3	4	13
Recuenco (1)	1	4	1	3	4	13
Recuenco (2)	1	3	1	3	4	12
Laguna de Tío Dámaso	1	3	1	4	4	13
Sima de Castillejo-Sierra	1	2	1	3	4	11
Dolinas secas	1	2	1	3	1	8
Lagunas permanentes	1	2	1	3	1	8
Lagunas esporádicas	1	2	1	3	1	8

Tabla VII. Aplicación del criterio de riesgo a la degradación y de la protección del patrimonio hidrogeológico.

Conclusiones

El sistema kárstico se debe considerar, a grandes rasgos, como un gran sistema acuífero, en el que el agua subterránea se desplaza de la superficie (zona de recarga) hacia las zonas de descarga, que cuando se manifiestan externamente forman surgencias de distinto funcionamiento, humedales y lagunas, así como depósitos asociados a los mismos. Las formas kársticas más singulares del sistema pueden, por tanto, considerarse catalogables como parte del Patrimonio Hidrogeológico, definiéndose el Patrimonio Hidrogeológico Kárstico (PHK), en el que se diferencian dos tipos: PHK con morfologías y depósitos asociados a la descarga hídrica (lagunas, manantiales y depósitos tobáceos singulares) y el PHK con morfologías asociadas a áreas de infiltración y funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos (simas, cavernas, dolinas, torcas, navas o poljes singulares).

Dicha clasificación se ha aplicado para las morfologías kársticas en yeso descritas en la Serranía de Cuenca. Así, como PHK de recarga se ha considerado a algunas de las morfologías del Campichuelo, un karst con abundantes manifestaciones externas (pequeñas simas, dolinas, entre otras) que tiene también formas singulares como son la sima de la Noguerrilla, las depresiones de El Recuenco, la laguna del Tío Dámaso y la sima de Castillejo-Sierra. Estas formas están relacionadas con la actividad del agua en su recorrido al acuífero, lo que las hace catalogables como elementos patrimoniales y, sin embargo, no tiene manifestaciones externas en las que el agua sea un elemento principal. Como PHK con morfologías de descarga se han clasificado las morfologías del Complejo Lagunar de Ballesteros, un conjunto de más de 40 dolinas, con un 45 % de las mismas con agua permanente de origen subterráneo, manifestando una conexión con el acuífero y suponiendo la descarga del mismo.

Asimismo, se ha propuesto, para aplicar en todos los puntos de patrimonio hidrogeológico, un sistema de valoración cualitativo-cuantitativo (IPH) que establece como criterios de valoración los aspectos generales (científicos, históricos y paisajísticos) y los aspectos hidrogeológicos (abundancia/rareza, singularidad en hidrogeología, en hidroquímica y en temperatura). Su aplicación a los ejemplos estudiados muestran que dichos puntos muestran un interés patrimonial moderado a alto.

El diagnóstico del riesgo de degradación y la protección también ha sido valorado con un índice específico pro-

puesto para este tipo de patrimonio, basado en el riesgo antrópico y natural, la accesibilidad y la existencia de figuras de protección. La aplicación a los ejemplos propuestos muestran un riesgo alto para los puntos de la zona del Campichuelo, con evidentes acciones antrópicas negativas, mientras que para el Complejo lagunar de Ballesteros el riesgo es moderado.

La aplicación de este método cualitativo-cuantitativo de valoración y baremación ofrece unos resultados convincentes y adecuados con el interés que presentan los puntos potencialmente catalogables, al igual que la estimación del riesgo de degradación y protección, por lo que estos índices son extrapolables para la valoración de los puntos considerados como Patrimonio Hidrogeológico.

Agradecimientos

A Antonio Crespo, por acompañarnos a los lugares visitados, a Juan Vázquez, por su desinteresado apoyo en el desarrollo del mismo y a los revisores del mismo, por sus interesantes aportaciones.

Referencias

- Alonso, E., Martínez-Parra, M. (2007): Patrimonio hidrogeológico y las aguas minerales en la provincia de Cuenca. XII Congreso Internacional de Energía y recursos minerales. Oviedo. CD-ROM.
- Calaforra, J.M. (1999): El karst en yesos de Sorbas. En Durán, J.J., Nuche, R. (Eds.): Patrimonio Geológico de Andalucía. EN-RESA, 32-35.
- Calaforra, J.M., García-Guinea, J. (2000): La Geoda Gigante de Pulpí. Boletín de la Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst, Sedeck, 1:52-53. Camacho A (1997). Ecología de los microorganismos fotosintéticos en las aguas microaerobias y anóxicas de la laguna de Arcas. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia.
- Carcavilla, L., López-Martínez, J. y Durán, J.J. (2007): Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Publicaciones del IGME. Serie: Cuadernos del Museo Geominero (7).
- Cendrero, A. (1996): El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. En MOPTMA (Ed.): El Patrimonio Geológico. Bases para su protección, conservación y utilización, 17-38.
- Durán J.J. (1999): El patrimonio geológico de España: situación actual y perspectivas de futuro. En: Mata-Perelló, J.M. y Serra, J. (Eds.): *I Simposium Transfronterizo sobre Patrimonio Natural*. Lleida, 1: 7-20.

- Durán, J.J. (coord.) (2006): Patrimoni Geològic i Hidrogeològic de les Illes Balears. IGME- Conselleria de Medi Ambient del Govern Balear.
- Ford, D.C., Williams P.W. (1989): Karst geomorphology and hydrology. Unwin Hyman, London.
- Giménez de Aguilar, J. (1927): El abismo de la sima de la No-guerilla (Cuenca). Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Comunicaciones, t XXVII: 192-199.
- Guadalajara, E. (1998): Lagunas y humedales protegidos en Cuenca. CSIC-Asociación Cultural "El Cubillo" Laguna Seca (Cuenca). Junta de Comunidades de Castilla la Mancha.
- Gutiérrez, A., Guerrero, J., Lucha, P. (2008): A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain. *Environmental Geology*, 53(5): 993-1006.
- Hernández, A., Lendínez, A. (1989): Mapa geológico 150.000, hoja nº 564 (Fuertescusa). IGME, Madrid.
- Klimchouk, A. (1996): The typology of gypsum karst according to its geological and geomorphological evolution. En: Klimchouk, A., Lowe, D., Cooper, A. y Sauro, U. (Eds.) *Gypsum Karst of the World*. *International Journal of Speleology*, 25(3/4): 49-60.
- López-Martínez, J.; Durán J.J., Carcavilla, L. y Arrese, B. (2003): Estudio de Geología y Geomorfología de la Sierra de Ayllón. UAM, Tragsatec y Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. 418 p. (inédito).
- Martínez-Parra, M., De la Hera, A., López-Pamo, E., Moreno, M.J., Montero, E., Santofimia, E. (2010): Geomorphological characteristics of the karst-related lakes in gypsum in the Arcas and river Moscas Lake complexes (Cuenca province). En: Andreo, B. *et al.* (eds.) *Advances in research in karst media*. Springer-Verlag: 361-365.
- Martínez-Parra, M., Murillo, J.M. (2002): Los manantiales y galerías asociados a los materiales volcánicos en la provincia de Girona (Catalunya): un singular ejemplo de patrimonio geológico. *Actas do Congresso Internacional sobre Património Geológico e Mineiro*. Comunicaciones, 141-151.
- Martínez-Parra, M., Moreno, L. (2004): Propuesta de catálogo de puntos singulares del Patrimonio Hidrogeológico de la Región de Murcia. *Geotemas*, 6(4): 123-126.
- Martínez-Parra, M. (2004): Propuesta de catálogo de puntos singulares del patrimonio hidrogeológico de la Serranía de Cuenca. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*. Comunicaciones del VIII Simposio de Hidrogeología. Zaragoza. Comunicaciones, T. XXVII: 399-408.
- Martínez-Parra, M., López-Pamo, De la Hera, A., Santofimia, E. (2011). Main characteristics of ponds associated with gypsum karst aquifer in the Arcas pond complex (Cuenca, Spain). *Carbonates and Evaporites*, 26(1): 47-60.
- Ramírez, J., Porteo, J.M., Olivé, A. (1973): Mapa geológico de España 1:50.000, hoja nº 635 (Fuentes). IGME, Madrid.
- Rodríguez-Estrella, T. (2001): El patrimonio hidrogeológico de la Región de Murcia. En: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (Ed.): *Reflexiones sobre el futuro del agua ante el siglo XXI*. Libro homenaje a Emilio Pérez. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Murcia, 225-257.
- Sanz, E. (2005): El karst en yesos en Fuentes. *Karst and environment Fundación Cueva de Nerja, Nerja-Málaga*. Book of proceedings, 1: 351-358.
- Torres, T., Portero, J., Del Olmo, P. (1999). Mapa geológico 1:50.000, hoja nº 563 (Priego). IGME, Madrid.

MANUSCRITO RECIBIDO EL 12 DE JUNIO DE 2011.

ACEPTADO EL MANUSCRITO REVISADO EL 23 DE DICIEMBRE DE 2011.

