



LUCAS MALLADA

15

REVISTA DE CIENCIAS

**LUCAS
MALLADA**

LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

15

HUESCA, 2013



INSTITUTO DE ESTUDIOS
ALTOARAGONESES

Diputación de Huesca

LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

INSTITUTO DE ESTUDIOS ALTOARAGONESES

(DIPUTACIÓN DE HUESCA)

Director: José Antonio CUCHÍ OTERINO

Consejo de redacción: Antonio ALCUBIERRE GARCÍA, Pedro ARNAL ATARÉS, Joaquín ASCASO MARTORELL, David BADÍA VILLAS, Raimundo BAMBÓ MOMPRADÉ, Ánchel BELMONTE RIBAS, José Antonio BLECUA ELBOJ, Pilar BOLEA CATALÁN, Miguel CABEZÓN CUÉLLAR, José Ignacio CANUDO SANAGUSTÍN, José CASANOVA GASCÓN, Cristóbal CASTÁN PUEYO, Pilar CATALÁN RODRÍGUEZ, Ángel CRESPO YAGÜE, Belén DIEZMA IGLESIAS, Santiago FÁBREGAS REYGOSA, Francisco Javier GARCÍA RAMOS, José GÓMEZ PORTER, Luis Ángel INDA ARAMENDÍA, Juan Manuel LANTERO NAVARRO, Emilio LEO FERRANDO, José M.^a MAÑAS PASCUAL, Clara MARTÍ DALMAU, Jesús MONREAL PUEYO, Luis MONTANO GELLA, Antonio NAVAL MAS, José María NICOLAU IBARRA, César PEDROCCHI RENAULT, Mariano RAMÓN GIL, Enrique SÁEZ OLIVITO, Jaime SALAS CASTELLANO, José Miguel SANZ LAHOZ, Leopoldo SERENA PUIG, Alfredo SERRETA OLIVÁN, Luis VILLAR PÉREZ y José Luis VILLARROEL SALCEDO

Secretaria: Pilar ALCALDE ARÁNTEGUI

Corrector: Isidoro GRACIA CERDÁN

Coordinación editorial: Teresa SAS BERNAD

Diseño de la portada: Vicente BADENES

Redacción y administración

Instituto de Estudios Altoaragoneses

Parque, 10

E-22002 HUESCA

Tel. 974 294 120

Fax 974 294 122

www.iea.es / lucasmallada@iea.es

ISSN: 0214-8315

Depósito legal: HU-76/2014

Imprime: Gráficas Alós. Huesca

ÍNDICE

PRESENTACIÓN

Sobre el interés de publicar en <i>Lucas Mallada</i> , por José Antonio CUCHÍ	9
---	---

IN MEMORIAM

Notas biográficas sobre Carlos Albasini Martínez, por Gonzalo ALBASINI	13
José María Palacín Latorre, químico, farmacéutico y etnobotánico oscense, <i>in memoriam</i> , por Luis VILLAR	19

ARTÍCULOS

Variedades de olivo cultivadas en la provincia de Huesca, por José CASANOVA, José Manuel GONZÁLEZ y Javier VIÑUALES	29
El oso pardo en el Pirineo: situación y perspectivas de conservación, por Gerardo CAUSSIMONT GARCÍA DE LA PEÑA	49
Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (GIS) a la estimación de la erosión en la cuenca del embalse de Arguis (Huesca), por Pedro Ignacio CRUCHAGA	67
El edificio tobáceo de Isarre (Santolaria la Mayor, Huesca), por José Antonio CUCHÍ, José Luis VILLARROEL, Rafael DOMINGO, Lourdes MONTES y Carlota OLIVÁN	85
Los Ayerbe: tres ingenieros de Montes altoaragoneses y su aportación a la hidrología forestal española, por Jesús PEMÁN e Ignacio PÉREZ-SOBA	99
Efectos del barranquismo sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Formiga (sierra de Guara, Huesca), por Jorge SIERRA y Rocío LÓPEZ-FLORES	161

La cavidad conocida como <i>Sotarraña</i> , en Betorz (Huesca), por José Luis VILLARROEL y José Antonio CUCHÍ	191
---	-----

NOTAS

Nota sobre la cavidad de los Murciélagos (Vadiello, Huesca), por José Antonio CUCHÍ, José Antonio RAUSA y José Luis VILLARROEL	205
Nota sobre varias avalanchas en el pico Labata (Ansó, Huesca), por Fernando RIVERO, José María MARTÍNEZ MONTIEL, Samuel BUISÁN, José Antonio VADA, José Luis VILLARROEL y José Antonio CUCHÍ	215

PRESENTACIÓN

SOBRE EL INTERÉS DE PUBLICAR EN *LUCAS MALLADA*

Estamos en tiempos complejos en materia de ciencia e investigación. Entre otras cosas, asistimos a profundos cambios en asunto de transferencia de información. En las dos últimas décadas los sistemas de búsqueda de información y las comunicaciones electrónicas han experimentado una evolución vertiginosa. Las fichas de cartulina y las separatas son ya historia, desconocidas para las jóvenes generaciones de investigadores. El formato PDF es una herramienta totalmente imprescindible. Para muchos, si algo no se puede encontrar en Internet, para bien o para mal, es que no existe.

En esa misma línea esta revista *Lucas Mallada*, que lleva el nombre de un insigne ingeniero y paleontólogo, también ha cambiado. En primer lugar, su anterior director, el doctor Pedrocchi, ha pasado a disfrutar de un más que merecido descanso. En segundo lugar, y no solo por razones presupuestarias, la revista ha pasado a ser electrónica, aunque pueden obtenerse ejemplares en papel impresos bajo demanda. No es la única entre las del IEA, ni tampoco entre las científicas, que ha pasado a este soporte. A modo de ejemplo, el CSIC también ha migrado sus revistas al formato electrónico. Es verdad que el papel ha dejado un característico olor a nostalgia, pero también ha supuesto un cierto alivio para las sobrecargadas estructuras de las bibliotecas. De hecho, las antiguas colecciones en papel se están digitalizando y sus trabajos se distribuyen con mucha más celeridad por la vía electrónica. Las impresoras existen para quien necesite papel, soporte que tiene todavía un largo recorrido en el mundo cultural. Por otro lado, la edición digital permite incorporar imágenes y figuras con color, algo difícilmente realizable en papel. Y, además, se ahorra tiempo entre la recogida

de manuscritos, la corrección y la edición. El objetivo es que la revista salga con rapidez y periodicidad anual.

En los últimos años publicar se ha convertido en una obsesión para aquellos que quieren seguir la carrera científica. Hay toda una ingeniería de currículum, asunto cuyo análisis nos llevaría lejos del presente tema. Existe una evidente obligación de hacerlo en revistas *de impacto*, *SCI*, indexadas por organismos especializados y sometidas a procedimientos tipo *peer revision*. En resumen, que hay que publicar en inglés y en revistas extranjeras, salvo alguna excepción. Algo necesario, pero no fácil. No es este el lugar para contar experiencias con editores y revisores, por definirlos de forma políticamente correcta, *poco comprensivos*, pero algunos originales son rechazados entre otras razones por el *excesivo localismo* del tema.

Bajo esta premisa, se podría pensar que las revistas científicas locales como *Lucas Mallada* tienen poco interés para un investigador. Pero quizás tienen más recorrido del que pudiera pensarse. Se pueden listar varias razones. En primer lugar, es evidente que nadie publica de entrada su primer artículo en *Science* o *Nature*. Y, por tanto, estas revistas son un buen entrenamiento para autores noveles y sirven para dar forma a manuscritos más completos. En segundo lugar, permiten presentar casos muy locales, *flecos* de trabajos con enfoques precisos. Además, favorecen ofrecer detalles y datos que hay que resumir en otras revistas. Por otra parte, *Lucas Mallada* se publica en un idioma accesible para el público cercano. Un interesante ejercicio sería averiguar cuántos altoaragoneses han podido leer algunos de los interesantes trabajos realizados sobre su tierra. Una última razón, para aquellos trabajos financiados por el propio IEA, es, evidentemente, dar a conocer a la comunidad altoaragonesa los resultados de las ayudas concedidas.

En resumen, solo cabe animar a publicar en *Lucas Mallada*. Esperamos vuestras contribuciones.

José Antonio Cuchí
Director de la revista *Lucas Mallada*

IN MEMORIAM

NOTAS BIOGRÁFICAS SOBRE CARLOS ALBASINI MARTÍNEZ

GONZALO ALBASINI¹

Carlos Albasini Martínez († 2011) nace en Huesca en 1920. Hijo de un comerciante italiano afincado en esta ciudad y de una maestra nacional, es el primero de cinco hermanos. Oscense y altoaragonés ejerciente, mantendrá no obstante la nacionalidad italiana de origen durante años, hasta que sus circunstancias profesionales le obliguen a adoptar la española, compartiendo sus afectos por su ciudad y provincia de Huesca con su querencia por el Piamonte y por Battiggio, la pequeña aldea familiar cercana al Monte Rosa.

Sus primeros estudios los realiza en los colegios de Santa Rosa y de San Viator, y termina el bachillerato en el Instituto de Segunda Enseñanza de Huesca. Como le gustaba comentar, fue su profesor de Agricultura y Técnica Industrial quien le inspiró el interés por la carrera de perito agrícola, aunque probablemente también tuviera que ver su afición por la montaña y la naturaleza, que le lleva a ingresar en 1935 en la Sociedad Española de Alpinismo Peña Guara siguiendo los pasos de su padre, fotógrafo y montañero que fue socio fundador de Turismo del Alto Aragón.

Termina el bachillerato en 1936 y comienza su preparación para ingresar en la Escuela de Peritos de Villaba (Navarra), pero la Guerra Civil y una forzada estancia de dos años en Italia le obligan a posponer el ingreso hasta 1940. Cursaría los estudios como alumno libre, por su condición

¹ gonzaloalbasini@hotmail.com

de extranjero. Aunque asiste a clase regularmente y concluye sus estudios en 1943 con brillantes calificaciones, deberá esperar un tiempo y superar diversas trabas burocráticas para obtener el título oficial, reservado para alumnos españoles.

Por este motivo, sus comienzos profesionales no van a ser en un organismo público, sino en una explotación ganadera y forestal de la sierra de Guadalajara y, posteriormente, en un despacho de ingeniería que realiza proyectos de regadío para el Instituto Nacional de Colonización, en la zona de La Violada (Monegros) y en el canal de Montijo (Extremadura). Será este Instituto el que le contratará en 1947 para llevar a cabo trabajos de topografía y nivelación de tierras para regadío junto a lo que será el nuevo pueblo de Ontinar del Salz, donde terminará residiendo tras contraer matrimonio en 1951 con M.^a Concepción Legaz, maestra de la escuela rural.

Sin embargo, dos años después será asignado al Parque Regional de Maquinaria y deberá trasladarse con su familia a la cercana localidad de El Temple, donde se ubicaba el taller del Parque. Esa circunstancia propiciará que a comienzos de 1955 sea requerido para cubrir de forma provisional una baja en la oficina de Zaragoza y que varios meses después se produzca su traslado definitivo.

Será, pues, en Zaragoza y en el Instituto Nacional de Colonización, transformado más adelante en el Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA), donde desarrolle su carrera profesional, siempre vinculada al desarrollo rural y a los regadíos, compaginando las tareas de oficina con el trabajo de campo cuando es requerido para ello. En 1966 ingresa por oposición en la plantilla del Instituto y en 1970 pasa a depender directamente del ingeniero jefe de la Delegación del Ebro, Francisco de los Ríos Romero, con quien mantendrá una estrecha colaboración durante muchos años.

Colabora con el Consejo Económico Sindical Interprovincial del Ebro (CESIE) en la ponencia de “Regadíos”, dentro de la Comisión de Aprovechamiento Integral de los Recursos Hidráulicos del Río Ebro, estudiando la totalidad de la cuenca hidrográfica, sus recursos hidráulicos, regadíos actuales y futuros, y proyectos de embalses y canales. Su labor es reconocida por el Ministerio de Agricultura con la concesión de la Orden Civil del Mérito Agrícola con la categoría de Caballero.



Fig. 1. Carlos Albasini Martínez.

Cuando en 1974 se crea el Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario, que fusiona el Instituto Nacional de Colonización y el Servicio de Concentración Parcelaria, continúa con su especialización en esta materia en el nuevo puesto de jefe del Equipo de Información Técnica Regional, dentro de la Inspección Regional del Ebro del nuevo Instituto. También desarrolla algunos trabajos por su cuenta, como la “Propuesta de estudio de

la nueva zona regable Hoya de Huesca – Somontano de Guara”, publicada en la revista *Argensola* del Instituto de Estudios Altoaragoneses en 1978 y que más tarde presentaría a una recién creada Diputación General de Aragón, aún en fase preautonómica. Su experiencia le servirá también para participar en el *Estudio de reconocimiento territorial de Aragón (Inter-Aragón)*, como redactor de la ponencia de “Regadíos”. Este estudio fue encargado por el primer Gobierno democrático de Aragón, presidido por Santiago Marraco, para sentar las bases de la ordenación del territorio en la comunidad autónoma que acababa de nacer con el Estatuto de 1982.

En esa época colabora activamente con la Feria Internacional de Maquinaria Agrícola (FIMA) y en los certámenes del Día del Agricultor, lo que le obliga a recorrer la cuenca del Ebro durante quince años consecutivos visitando las obras y mejoras agrícolas presentadas a concurso. En reconocimiento a su labor, le fue concedida la Insignia de Honor de la FIMA en la edición de 1985.

Transferido a la Diputación General de Aragón como consecuencia del traspaso de competencias del Estado a la comunidad autónoma, ejercerá durante un breve periodo como jefe de la Sección de Estudios Previos en la Dirección General de Ordenación Rural, pero un cambio legislativo le obliga a jubilarse inesperadamente a los 66 años, cuando estaba inmerso en el estudio del Plan de Riegos de Aragón. Es el año 1986 y en plena actividad vital continúa con sus estudios de regadíos y otros temas, que ahora puede desarrollar libremente, como las comunicaciones pirenaicas y el ferrocarril de Canfranc, y, asimismo, es nombrado secretario del Colegio de Ingenieros Técnicos Agrícolas, cargo que desempeñará durante ocho años hasta su jubilación definitiva con 74 años de edad, concediéndole el Colegio el Premio José Villacampa como reconocimiento a su labor.

Durante todo ese tiempo y prácticamente hasta su muerte, ocurrida el 1 de febrero de 2011, continuará estudiando y escribiendo artículos sobre diversos temas. Probablemente el último fue una propuesta para el ferrocarril de Canfranc con un túnel de baja cota, alternativa a la travesía central pirenaica por el Vignemale, que no fue publicado. Su legado se compone de casi un centenar de estudios que sus hijos han recuperado y puesto a disposición de la Escuela Politécnica Superior de Huesca —siempre su querida Huesca—, donde se ha asumido la tediosa tarea de ordenar cientos de manuscritos y

documentos varios que, sin duda, nos han de ayudar a conocer mejor la evolución de la agricultura y la política agraria en el valle del Ebro en la segunda mitad del siglo xx.

Junto con su perfil profesional, sus aficiones preferentes fueron las vinculadas a la montaña y la naturaleza, y de forma más general las que tuvieran que ver con el Alto Aragón, ya se tratara de comunicaciones, arte e historia, regadíos, desarrollo rural, turismo, refugios de montaña o senderos de gran recorrido, entre otras. Ya se ha mencionado su afiliación temprana a Peña Guara, también fue socio del Club Alpino Italiano y de la Sociedad Montañeros de Aragón, en cuya Junta Directiva desempeñó varios cargos entre 1970 y 1981, incluido el de presidente en los últimos años de ese periodo.

Su compromiso con la conservación de la naturaleza en la montaña aragonesa se plasma en muy diversas propuestas y actuaciones, como las llevadas a cabo con el colectivo montañero para impedir la construcción de urbanizaciones de alta montaña en Canal Roya o en la Maladeta. Probablemente la de mayor repercusión social fue la campaña en defensa del cañón de Añisclo, iniciada por Montañeros de Aragón y Peña Guara, que concita grandes apoyos y que concluye con la declaración de este singular paraje como Parque Nacional, algo que años atrás no se había conseguido en Canal Roya. Precisamente, por su labor en la campaña de Añisclo le fue otorgada la Medalla de Plata de la Federación Española de Montañismo, y le valió ser nombrado primer vocal de defensa de la naturaleza en la Federación Aragonesa.

Fue una decepción personal que no saliera adelante su propuesta de Parque Nacional de los Cañones de Guara, avalada por Montañeros de Aragón de Zaragoza y su filial de Barbastro, pero no asumida en ese momento por la gente de Huesca. El proyecto fue retomado años después por Santiago Marraço, que impulsó el expediente de declaración al final de su mandato, y como es sabido años después se llegó a la creación de este parque natural, al igual que la protección de los glaciares o el Parque de Posets-Maladeta.

En otro nivel de compromiso, su determinación en favor de los regadíos no le impidió oponerse con firmeza a la construcción de la presa de Lorenzo Pardo en Campo, con variadas propuestas y alternativas. Esta intromisión en contra de la postura oficial no debió de sentar bien a determinados altos funcionarios y, seguramente, le supuso algún disgusto personal.

JOSÉ MARÍA PALACÍN LATORRE,
QUÍMICO, FARMACÉUTICO Y ETNOBOTÁNICO OSCENSE,
IN MEMORIAM

Luis VILLAR¹

El campo de Huesca [...] se considera con razón fertilísimo en plantas [...]. Avanzando desde aquí por la aldea de *Quicena*, vimos la *Ononis fruticosa* adornada de bellísimas flores en las pendientes de las colinas; ese mismo día llegamos a la sierra de *Guara*. (Ignacio de Asso, *Mantissa stirpium indigenarum Aragoniae*, Ámsterdam, 1781)

Toda mi formación es a base de la cultura popular. Lo que me ha sustentado, me conmueve y me motiva es la cultura popular. (Gabriel García Márquez)

La desaparición de José María,² activo investigador y divulgador, deja un vacío muy difícil de llenar en el mundo de los estudios altoaragoneses.

Mientras cursaba el bachiller en su ciudad natal, el joven Palacín solía acompañar a su padre, que era médico, en las visitas que hacía por los alrededores; una de ellas le llevó a Nocito, en la sierra de Guara, territorio que visitaría en muchas ocasiones y donde empezaría a interesarse por el mundo de las plantas y la medicina popular relacionada con ellas.

¹ Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC). Avda. de Nuestra Señora de la Victoria, 12. Apdo. 64. E-22700 JACA. lvillar@ipe.csic.es

² Huesca, 27 de octubre de 1934 – 12 de diciembre de 2013.

Licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Zaragoza en 1958, tras contraer matrimonio en 1960 con María Luisa Rodríguez su profesión le llevó a trabajar en la industria alimentaria, primero en Colombia, luego en Panamá y por último en Puerto Rico. Precisamente en el trópico descubrió la fuerza que tenía el uso popular curativo de las plantas, y además por aquellas fechas Pío Font Quer publicó *Plantas medicinales: el Dioscórides renovado* (1962), obra que José María consideraba “la más importante y extensa que se ha escrito sobre la medicina popular española”.

Posteriormente, en el año 1968, regresó a España y trabajó en el Departamento de Sanidad de Huesca, donde simultaneó esa tarea con la enseñanza de Química Industrial en la Escuela de Ingeniería Técnica de la antigua Universidad Laboral entre 1970 y 1978. Pero sus inquietudes no terminaban ahí y para completar su formación se licenció en Farmacia por la Universidad de Navarra en 1975, donde presentó la tesis de licenciatura titulada *Las plantas en la medicina popular del Alto Aragón*. Eso le permitió adquirir su oficina de farmacia en Huesca, donde desempeñó su labor desde 1976 hasta 1998. Miembro largos años de la Junta del Colegio Oficial de Farmacéuticos de Huesca, fue tesorero del mismo entre 1982 y 1994.

Iniciada su colaboración en Jaca con el profesor Pedro Montserrat y demás botánicos del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC) a mediados de los años setenta, fue recolectando muestras entre 1975 y 1995, las cuales depositó en el Herbario JACA, de dicha institución. Se trata de unos 2500 pliegos, que representan más de 600 especies herborizadas desde Monegros y Quicena, en la Hoya de Huesca, a unos 470 metros de altitud, hasta Urdiceto (Bielsa), a unos 2350 metros, pero con especial atención a puntos como Vadiello y Bonés (Guara), Benasque-Gistaín y los valles de Tena y Canfranc. Ya José María Montserrat escribía en su *Flora y vegetación de la sierra de Guara*: “J. M.^a Palacín ha reunido en los últimos años un herbario con más de 2000 números [...] los principales datos de dicha colección se incorporan al presente catálogo” (MONTSERRAT, 1987); luego, nos ha confirmado que asimismo se conserva un millar de pliegos de nuestro recordado amigo en el Herbario BC, del Instituto Botánico de Barcelona.

Los estudios que había iniciado José María sobre medicina popular fueron pioneros en el Alto Aragón. A pesar de la despoblación rural de los



Fig. 1. José María Palacín Latorre.

años sesenta y setenta, durante más de dos décadas llevó a cabo una intensa labor entrevistando nada menos que a 1500 informantes. Se trataba de entrevistas que hoy llamamos *semiestructuradas*, en las que por medio de muestras de herbario, fotografías o paseos se llega a dirigir el tema hacia los aspectos de interés y se valoran las expresiones en la lengua vernácula común. En ellas supo ganarse la confianza de sus informadores, ya

sea llegando a ellos por medio de personas próximas, ya sea “hablando medianamente” el aragonés, como él dejó dicho. Así conseguía la necesaria fluidez de la conversación y obtenía los mejores resultados. Incluso llegó a conseguir informaciones que se consideraban secretas y solo se transmitían a personas escogidas de máxima confianza. Además, su preparación científica, su experiencia químico-farmacéutica y su entorno familiar médico le permitían interpretar a fondo las causas de las enfermedades y el sentido de los remedios caseros, ya fuera preventivo o curativo, ya significara rebajar su toxicidad por diluciones sucesivas o modificar el pH de una mezcla al añadir “una pizca” de ceniza con el fin de hacerla más efectiva.

Con mucho tesón repetía las entrevistas a los mejores informantes, personas que atesoraban hondos saberes y que aplicaban para curar a personas o a los animales domésticos, unas veces empleando simples, otras mezclas de diversas especies u otros productos, y todo ello acompañado de no pocos ritos y asociado a creencias. A algunas de esas personas, consideradas por él “eslabones perdidos” de nuestra cultura rural, dedicó sus escritos, como el de la “siñá Claudia”, doña Claudia Ferrer Grasa, oriunda de Belarra, aldea agregada a Sabiñánigo, que murió en Huesca a los 78 años (PALACÍN, 1981) y conocía más de 200 plantas que le habían servido para confeccionar unos 700 remedios de origen vegetal, entre otros.

Gracias a estas actividades, José María pudo ir precisando las 600 especies medicinales y tóxicas usadas en tierras del Alto Aragón, desvelando las falsas árnicas, más de una docena, junto a la verdadera (PALACÍN y cols., 1984a), la cincuentena de especies antihipertensivas o hipotensoras, conocidas genéricamente como *mermasangres* (PALACÍN y cols., 1984b), las plantas tóxicas (VILLAR y cols., 1984)... Su participación en el equipo del “Estudio para las plantas medicinales de Huesca” —promovido por la Diputación de Huesca entre 1981 y 1983 y desarrollado por un grupo multidisciplinar coordinado por el autor de estas líneas— se mostró decisiva, tanto en los aspectos etnobotánicos mencionados como en la recopilación de los nombres vulgares de las plantas pirenaicas, prepirenaicas o monegrinas.

Los resultados dieron lugar al libro *Plantas medicinales del Pirineo Aragonés y demás tierras oscenses* (VILLAR y cols., 1987, 1992). Esta publicación

se difundió ampliamente y ha sido escogida como obra de referencia en estudios de ámbito ibérico, por ejemplo en el Catálogo de la Etnoflora Ibérica —desarrollado en la década de los noventa—, al que José María aportó datos sobre plantas alimenticias, medicinales y de uso veterinario, industriales y artesanales, tóxicas, ornamentales, de manejo agrosilvopastoral..., o en el Inventario Español de los Conocimientos Tradicionales relacionados con la Biodiversidad, proyecto ahora en curso bajo los auspicios del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En su presentación, PARDO DE SANTAYANA y cols. (2012) han valorado el trabajo de nuestro etnobotánico con estas acertadas palabras: “Uno de los primeros estudios etnobiológicos modernos fue llevado a cabo en Aragón por J. M.^a Palacín”.

Al hablar de las fuentes, fundamento y metodología de su línea de investigación (PALACÍN, 1994), nos anunciaba que había iniciado la redacción de su tesis doctoral sobre medicina popular del Alto Aragón, pero desgraciadamente esa tarea quedaría inconclusa. No obstante, José María supo transmitir su interés por el tema a muchas personas, entre ellas a sus hijas, la mayor de las cuales, Luisa, dedicó su propia tesis de licenciatura en Medicina al estudio de los ingredientes de origen animal en la medicina casera (PALACÍN RODRÍGUEZ, 1983). Además, la inquietud creada por dichas publicaciones abrió la puerta a nuevos trabajos, como el libro de la misma temática sobre la comarca mediocinqueña (FERRÁNDEZ y SANZ, 1993).

Siguiendo la huella de farmacéuticos altoaragoneses como Campo, Latorre, Fernández Brumós y otros, al formar su propio herbario e investigar en su propia tierra la medicina popular, José María empezó a superar la época de los naturalistas y pirineístas viajeros. De hecho, gracias a su constancia y perspicacia pudo captar muchos aspectos inéditos de la cultura popular altoaragonesa, cultura que contribuyó a divulgar mediante conferencias, charlas, colaboraciones de prensa o escritos en los más variados foros. Anotamos abajo la relación aproximada de sus publicaciones y trabajos, que cubre treinta años, desde 1979 a 2008, momento este en que su salud ya se resentía y le impidió seguir.

Sin el esfuerzo personal, sin el estudio metódico pionero de personas como José María Palacín en la provincia de Huesca, los estudios etnobiológicos no hubieran resurgido como lo hicieron en España y Portugal

durante los años ochenta y noventa del siglo XX, dando paso a equipos multidisciplinarios que ahora ofrecen resultados no solo a escala peninsular, sino internacional.

En las áreas de Ciencias Naturales y Biomedicina del Instituto de Estudios Altoaragoneses, del que fue consejero y asesor desde 1985 hasta su muerte, hemos perdido un referente en el conocimiento de nuestro patrimonio cultural inmaterial y, más aún, en los estudios etnobotánicos pirenaico-ibéricos.

Quienes tuvimos la suerte de formar equipo con José María en diversos proyectos y, sobre todo, gozar de su amistad siempre lo recordaremos por los caminos que supo abrir, por su conversación ágil, su entusiasmo y su laboriosidad. Descanse en paz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERRÁNDEZ, J. V., y J. M. SANZ (1993). *Las plantas en la medicina popular de la comarca de Monzón (Huesca)*. IEA. Huesca.
- MONTSERRAT, J. M.^a (1987). *Flora y vegetación de la sierra de Guara*. DGA. Zaragoza.
- PALACÍN RODRÍGUEZ, M.^a L. (1983). *Influencia del reino animal en la medicina popular del Alto Aragón*. Tesis de licenciatura inédita. Universidad de Navarra. Pamplona.
- PARDO DE SANTAYANA, M., R. MORALES, L. ACEITUNO, M.^a MOLINA y J. TARDÍO (2012). El Inventario Español de los Conocimientos Tradicionales. *Ambienta*, 99: 6-24. Madrid.

LISTA APROXIMADA DE LAS PUBLICACIONES DE JOSÉ MARÍA PALACÍN LATORRE

- GIL-SOTRES, P. L., J. M.^a PALACÍN LATORRE y M.^a L. PALACÍN RODRÍGUEZ (1991). Influencia de la materia médica de Dioscórides en la medicina popular del Alto Aragón. *Actas del IX Congreso Nacional de Historia de la Medicina (Zaragoza, 21, 22 y 23 de septiembre de 1989)*: 575-593. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
- PALACÍN, J. M.^a (1979). La magia en la medicina popular altoaragonesa. Serie de diez artículos publicados en el diario *Nueva España* de Huesca los días 13, 20 y 27 de mayo; 3, 10, 17 y 24 de junio, y 1, 8 y 22 de julio.
- PALACÍN, J. M.^a (1979). Notas sobre la medicina popular de Sobrarbe y as Balles. *Revista de Sobrarbe y as Balles*, 5: 10-12. Véase también *Estado actual de los estudios sobre Aragón: actas de las segundas jornadas, celebradas en Huesca del 19 al 21 de diciembre de 1979*: 955-957. ICE. Zaragoza. 1980.
- PALACÍN, J. M.^a (1980). Veterinaria popular en el Serrablo. *Amigos de Serrablo*, 37: 5-9.

- PALACÍN, J. M.^a (1980). Veterinaria popular en el Serrablo. *Amigos de Serrablo*, 38: 5-9.
- PALACÍN, J. M.^a (1980). Notas sobre diferencias toponímicas y uso de remedios vegetales en la medicina popular de Sobrarbe y as Balles. *Estado actual de los estudios sobre Aragón: actas de las segundas jornadas, celebradas en Huesca del 19 al 21 de diciembre de 1979*: 959-962. ICE. Zaragoza.
- PALACÍN, J. M.^a (1981). El último eslabón. *Nueva España*, 2 de abril.
- PALACÍN, J. M.^a (1982). *Las plantas en la medicina popular del Alto Aragón*. Tesis de licenciatura presentada en la Universidad de Navarra. Pamplona.
- PALACÍN, J. M.^a (1983). Uso de criptógamas en la medicina popular del Alto Aragón. *El Ribagorzano*, 30.
- PALACÍN, J. M.^a (1989). La medicina popular en el Alto Aragón, sus costumbres y tradiciones. En A. Urquijo y A. Biarge (coords.), *Energía e industrias aragonesas*, II: 137-150. Madrid.
- PALACÍN, J. M.^a (1994). La “medicina popular”: fuentes para su estudio y método de trabajo. En A. Ubieto (ed.), *Metodología de la investigación científica sobre fuentes aragonesas*, 9: 361-417. ICE / Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
- PALACÍN, J. M.^a (1996). Notas sobre el estudio de la medicina popular del Alto Aragón (Huesca). *Monografías del Jardín Botánico de Córdoba*, 3: 51-55.
- PALACÍN, J. M.^a (2007a). La importancia de la medicina autóctona: medicina popular altoaragonesa (1). *Diario del Alto Aragón*, 1 de julio.
- PALACÍN, J. M.^a (2007b). Las arañas: medicina popular altoaragonesa (2). *Diario del Alto Aragón*, 8 de julio.
- PALACÍN, J. M.^a (2007c). Saúco: medicina popular altoaragonesa (3). *Diario del Alto Aragón*, 15 de julio.
- PALACÍN, J. M.^a (2007d). Sanguijuelas: medicina popular altoaragonesa (4). *Diario del Alto Aragón*, 22 de julio.
- PALACÍN, J. M.^a (2007e). Malva y malvavisco: medicina popular altoaragonesa (5). *Diario del Alto Aragón*, 29 de julio.
- PALACÍN, J. M.^a (2007f). Caracoles: medicina popular altoaragonesa (6). *Diario del Alto Aragón*, 5 de agosto.
- PALACÍN, J. M.^a (2007g). Las culebras en la medicina popular del Alto Aragón. *Diario del Alto Aragón*, 10 de agosto.
- PALACÍN, J. M.^a (2007h). Ruda: medicina popular altoaragonesa (7). *Diario del Alto Aragón*, 12 de agosto.
- PALACÍN, J. M.^a (2007i). Conejo: medicina popular altoaragonesa (8). *Diario del Alto Aragón*, 19 de agosto.
- PALACÍN, J. M.^a (2007j). Romero: medicina popular altoaragonesa (9). *Diario del Alto Aragón*, 26 de agosto.

- PALACÍN, J. M.^a (2007k). Abejas (*Apis mellifica*): medicina popular altoaragonesa (10). *Diario del Alto Aragón*, 2 de septiembre.
- PALACÍN, J. M.^a (2008). Las gallinas en la medicina popular del Alto Aragón. *Diario del Alto Aragón*, 10 de agosto.
- PALACÍN, J. M.^a, L. VILLAR y C. CALVO (1984a). Plantas usadas como “árnica” en el Alto Aragón. *Acta Biol. Mont.*, 4: 473-482.
- PALACÍN, J. M.^a, L. VILLAR y C. CALVO (1984b). Plantas usadas como hipotensoras en el Alto Aragón. *Acta Biol. Mont.*, 4: 483-496.
- VILLAR, L., y J. M.^a PALACÍN (1994). Estudis etnobotànics al Pirineu aragonés i les altres terres d’Osca. Seminari d’Etnobotànica. *Seminaris d’Estudis Universitaris*, 8: 44-49.
- VILLAR, L., J. M.^a PALACÍN, C. CALVO, D. GÓMEZ y G. MONTSERRAT (1984). Plantas tóxicas de uso medicinal en el Pirineo aragonés. *Acta Biol. Mont.*, 4: 497-514.
- VILLAR, L., J. M.^a PALACÍN, C. CALVO, G. MONTSERRAT y D. GÓMEZ (1987). *Plantas medicinales del Pirineo Aragonés y demás tierras oscenses*. Excma. Diputación Provincial de Huesca / Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC. Huesca. 288 pp.
- VILLAR, L., J. M.^a PALACÍN, C. CALVO, G. MONTSERRAT y D. GÓMEZ (1992). *Plantas medicinales del Pirineo Aragonés y demás tierras oscenses*. 2.^a ed. Diputación Provincial de Huesca / Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC. Huesca. 319 pp.
- VILLAR, L., J. M.^a PALACÍN, J. MUNTANÉ y C. BLANCHÉ (1992). Plantas usadas como hipotensoras en la medicina popular del Pirineo. Comunicación presentada en el *I Congreso Mundial de Etnobotánica*. Jardín Botánico de Córdoba (España).

ARTÍCULOS

VARIEDADES DE OLIVO CULTIVADAS EN LA PROVINCIA DE HUESCA

José CASANOVA¹
José Manuel GONZÁLEZ²
Javier VIÑUALES³

RESUMEN.— En este trabajo se describen las diez variedades de olivo localizadas en distintas comarcas oscenses durante la campaña de campo de 2013. Los descriptores cualitativos utilizados son tres del árbol, cuatro de la hoja, diez del fruto y once del endocarpio (COI, 2000). Los resultados se han comparado con las bases de datos de caracterización morfológica, sin haber encontrado coincidencias. También se ha realizado un análisis multivariante con las 29 variedades localizadas, cultivadas y descritas en la provincia de Huesca durante los últimos años.

ABSTRACT.— The present paper describes ten varieties of olive trees located in several districts of Huesca during the field study season of 2013. Several qualitative descriptors (COI, 2000) were used: 3 for the tree type, 4 for the leaves, 10 for the fruit and 11 for the fruit endocarp. The results were compared with the databases: not finding matches where found for morphological characterization. In addition, it has been also conducted a multivariate analysis with 29 varieties localized, described and cultivated in Huesca Province during the recent years.

KEY WORDS.— *Olea europaea*, minority variety, olive tree, fruit, Huesca Province (Spain).

¹ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. jcasan@unizar.es

² Ingeniero agrónomo. viveros.somontano@gmail.com

³ Ingeniero técnico agrícola. jvinales85@yahoo.es

INTRODUCCIÓN

España produce el 50% del aceite de oliva del mundo, siendo también líder en la Unión Europea, de la que produce el 65% (COMITÉ OLEÍCOLA INTERNACIONAL [COI], 2012). En ese entorno, Aragón aporta el 2,3% del total nacional. Es, por tanto, una región de producción minoritaria en la que destaca Huesca, que cultiva 7827 hectáreas (MAGRAMA, 2014), lo que representa apenas un 16% del cultivo en Aragón. Ello es debido a la orientación productiva de la agricultura oscense y al envejecimiento de los agricultores que mantienen las plantaciones clásicas. Aunque esa situación del cultivo no oculta la larga historia del olivo en este territorio.

El olivo llega al valle del Ebro, desde el sur, de mano de los romanos, siguiendo las líneas de expansión ecológica natural (COI, 2012). En Aragón aparecen abundantes ánforas durante los siglos II y I a. C. La poca presencia en siglos posteriores de ánforas procedentes de la Bética permite asumir que el autoabastecimiento era importante, sobre todo a partir del imperio de Augusto, en el que se produce un cambio en la orientación agrícola del valle del Ebro (BLÁZQUEZ, 1980). En Huesca las primeras referencias escritas sobre el cultivo son de finales del siglo VI, entre ellas el testamento de san Vicente de Ascán (BELTRÁN, 2014). El cultivo se expande e integra en la producción agrícola oscense, y ocupa todo el territorio hasta las zonas limitadas por clima o altitud.

Respecto a las variedades que se cultivan en este territorio y, aunque no alude específicamente a Huesca, en el siglo XVII GILABERT (1626), señor de Tamarite de Litera, diferencia únicamente los *acebuches* (olivo silvestre) de otras de *olivo legítimo*, injertado sobre el anterior, del que distingue cuatro variedades, que no nombra, pero de las que describe someramente su fruto y su hoja.

Al ser Huesca un territorio límite del cultivo, este evoluciona incrementándose en unas épocas y desapareciendo en otras, como ya menciona ASSO (1798), que, escribiendo del entorno de Jaca, dice: “Este territorio es también generalmente apto para los olivos, y aun para las moreras, especialmente en Asso, y Bailo, cuya calidad de tierra es excelente, y en algunos otros pueblos, que tienen cañadas hondas y abrigadas. Hace poco, que en la partida de Tiermas, se plantaron algunos olivos de estaca y se dieron

bien; pero hubiera sido más acertado haber preferido los *empeltres*". Sobre otros territorios el mismo autor cita que, en esa época, en el entorno de Huesca: "El cultivo de los olivos se está abandonando en este país, no obstante de ser el terreno muy adecuado para ellos, y de haber sido comunes en los siglos anteriores". Y confirma que en el Somontano se estaban realizando grandes plantaciones en secano. La descripción de variedades es somera, únicamente nombra dos: *Royal* y la *Empeltre* u *Olivo ingerto*.

A principios del siglo XIX, en el estudio sobre las variedades cultivadas en España (MEGINO, 1808), el apartado de variedades de Aragón es el más extenso, presumiblemente por el conocimiento del territorio de este ilustrado zaragozano. Nombra y describe las variedades *Royal*, *Negral*, *Sevillano*, *Racimillo* o *Uba*, *Acebuche*, *Picudillo*, *Manzanillo*, *Cirujal* o *Largal* y *Empeltre* o *Zuequecilla*.

Don Félix de Azara, en 1818, describe morfológicamente las variedades con caracteres como tamaño de la hoja, densidad de copa o tamaño del fruto (BAULNY, 1968). El autor llega a describir diez variedades, que son *Manzanilla* (*Alquecerana*), *Cerecera* (*Royeta*), *Negral* (*Neral*), *Panseña* (*Panseñera*), *Mochuta* (*Mochuto*), *Grosal*, *Olivonera*, *Verdeña*, *Minutesa* y *Rebordenca*, variedades de difusión en el entorno de Alquézar. El mérito de este trabajo es que la descripción se realiza únicamente tres años después de que Rojas Clemente describiera variedades de olivo con estos criterios morfológicos (RALLO, 2005). Podemos considerar, por tanto, el texto de Félix de Azara como uno de los primeros trabajos sobre descripciones varietales realizados en España (VIÑUALES, 2007).

A lo largo del siglo XIX se produjo una evolución importante en la agricultura oscense: heladas que obligaron a la replantación, como la de 1888, la crisis finisecular de demanda de aceite, la competencia del aceite andaluz y la orientación cerealícola de la provincia. En los textos se mencionan menor número de variedades, lo que tiene como consecuencia la homogeneización de las cosechas y una mejora en la calidad del aceite. Se apunta como variedad dominante *Empeltre* en todo Aragón. A inicios del siglo XX continúa la expansión por Huesca de *Empeltre* y se comienza a plantar *Arbequina* (PINILLA, 1995). En esa época se realizó el estudio del olivo en el valle del Ebro (CRESPO, 1909). En él se mencionaban las variedades cultivadas en Huesca, de las que describe el área de cultivo, técnicas de manejo,

plagas y enfermedades. Las variedades son *Salceña* o *Varal blanco*, *Carrasqueño*, *Gordal*, *Empeltre*, *Manzanillo*, *Negral*, *Arbequina*, *Sevillana*, *Royal*, *Negral de Caspe* y *Verdal*.

En años sucesivos la superficie cultivada siguió incrementándose lentamente, a costa de las plantaciones arrancadas de viñedo muerto por la filoxera y la recuperación del mercado, y se llegó a las 24 048 hectáreas en 1934 (PINILLA, 1995). Otro estudio sobre el olivo en Aragón (PRIEGO, 1930) describe las principales variedades oscenses, que son *Verdeña*, *Empeltre*, *Alquecerana* y *Arbequina*, así como dos cultivos de menor importancia: la *Negral de Bierge* y la *Caspolina* o *Sevillano*. Para ello utiliza los caracteres morfológicos del árbol (ramas, hojas, fruto y hueso), que complementa con algunos caracteres agronómicos.

En esa publicación se da una visión global de la situación de la agricultura en el Somontano de Barbastro. Cuando menciona el cultivo del olivo, describe las variedades por la hoja y el fruto, además de caracteres agronómicos. Nombra que las variedades más cultivadas son *Alquecerana*, *Blancal*, *Empeltre*, *Manzanilla*, *Negral*, *Rosal*, *Sevillano* y *Verdeña*.

ORTEGA y CADAHIA (1957) califican la 9.^a región olivarera (la que incluye Huesca) se considera como específica de las variedades *Empeltre* y *Negral*, y se describe la limitación del cultivo en las heladas y la sequía. En la actualidad Huesca pertenece a la región 8.^a (valle del Ebro), en la que se mencionan como variedades principales *Empeltre* y *Farga* (COI, 2012).

No ha sido hasta inicios del siglo XXI cuando se han retomado diversos estudios sobre las variedades de olivo cultivadas en Huesca. MARCO y PERNA (2005) incluyen información de producciones y rendimientos de distintas variedades del Somontano.

La metodología moderna de caracterización morfológica de variedades de olivo cumple los criterios del COI (2000). Los primeros estudios que han seguido esos criterios son los de VIÑUALES (2007), que realiza una caracterización de 19 variedades del Somontano. Estas son *Albaretta*, *Alcampelina*, *Alía*, *Alquecerana*, *Arbequina*, *Blancal*, *Cerruda*, *Gordal del Somontano*, *Injerto (Empeltre)*, *Mochuto*, *Nación*, *Negral de Bierge*, *Neral*, *Olivera de Nadal*, *Panseñera*, *Piga*, *Royeta de Asque* y *Sevillano (Caspolina)*. ESPADA y cols. (2009) vuelven a caracterizar algunas de las

descritas por Viñuales y analizan la calidad de los aceites producidos por diez de ellas.

La prospección de variedades se realiza por otras comarcas como la Hoya de Huesca (VIÑUALES, 2009), en la que describe 14 variedades: *Alquecerana*, *Alcampelina*, *Arbequina*, *Caspolina*, *Cerruda de Liesa*, *Empeltre*, *Olivonero de Apiés*, *Olivonero de Ayerbe*, *Olivonero de Murillo*, *Negral de Bierge*, *Negral de Ibieca*, *Picudo de Labata*, *Rosal* y *Verdeña*.

Tras esta revisión se comprueba que Huesca es una zona rica en variedades de interés, en un entorno frío, con limitaciones para el cultivo. Cabe recordar que en el Banco de Germoplasma Mundial de Olivo se mantienen unas 400 variedades españolas en proceso de caracterización (IFAPA, 2014).

En este artículo se plantean dos objetivos: el primero es la prospección y la caracterización de variedades de olivo realizadas en diversas comarcas de Huesca durante el año 2013 para completar el mapa de variedades principales de Huesca; y, además, realizar un análisis multivariante de las variedades caracterizadas durante los últimos años, tanto de ese estudio como de las descritas en trabajos previos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Prospección y caracterización de variedades de olivo en 2013

Se realizaron diversos viajes por las comarcas de la Hoya de Huesca, Ribagorza y Sobrarbe, principalmente, y esporádicas visitas a Cinca Medio y Somontano. En cada territorio se contactó con agricultores, se localizaron olivos en el campo y se ofreció un cuestionario para completar la información de la variedad. Además, se recolectó material vegetal para su multiplicación.

En el campo se eligieron los árboles representativos de cada una de las variedades. De estos se completaron las fichas para realizar la caracterización morfológica, que se ha estructurado según los descriptores cualitativos (COI, 2000), con intervalos amplios y categorías identificables, agrupándolos en tres de tipo de árbol, cuatro de la hoja, diez del fruto y once del endocarpio. El cuadro resumen se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Descriptores para la caracterización de variedades de olivo (COI, 2000).

<i>Árbol</i>	
Vigor	Bajo (3)* – Medio (5) – Elevado (7)
Porte	Erguido (3) – Abierto (5) – Llorón (7)
Densidad	Clara (3) – Media (5) – Espesa (7)
<i>Hojas</i>	
Forma	Lanceolada (1) – Elíptico-lanceolada (2) – Elíptica (3)
Longitud	Corta (3) – Media (5) – Larga (7)
Anchura	Estrecha (1) – Media (2) – Ancha (3)
Curvatura longitudinal del limbo	Hiponástica (1) – Plana (2) – Epinástica (3) – Helicoidal (4)
<i>Fruto</i>	
Peso	Bajo (1) – Medio (2) – Elevado (3) – Muy elevado (4)
Forma	Alargada (1) – Ovoidal (2) – Esférica (3)
Simetría (A)	Simétrico (1) – Ligeramente asimétrico (2) – Asimétrico (3)
Diámetro máximo del fruto (B)	Hacia la base (1) – Centrado (2) – Hacia el ápice (3)
Ápice (A)	Apuntado (1) – Redondeado (2)
Base (A)	Redondeada (1) – Truncada (2)
Pezón	Ausente (1) – Esbozado (3) – Evidente (9)
Presencia de lenticelas	Escasas (1) – Abundantes (2)
Tamaño de las lenticelas	Pequeñas (1) – Grandes (2)
Color del fruto	Negro (1) – Violeta (2) – Rojo vinoso (3)
<i>Endocarpio</i>	
Peso	Bajo (1) – Medio (3) – Elevado (5) – Muy elevado (7)
Forma (A)	Alargado (1) – Elíptico (2) – Ovoidal (3) – Esférico (4)
Simetría (A)	Simétrico (1) – Ligeramente asimétrico (2) – Asimétrico (3)
Simetría (B)	Simétrico (1) – Ligeramente asimétrico (2)
Diámetro máximo del hueso (B)	Hacia la base (1) – Centrado (2) – Hacia el ápice (3)
Ápice (A)	Apuntado (1) – Redondeado (2)
Base (A)	Apuntada (1) – Truncada (2) – Redondeada (3)
Superficie (B)	Lisa (1) – Rugosa (2) – Escabrosa (3)
N.º de surcos fibrovasculares	Bajo (1) – Medio (2) – Alto (3)
Distribución de surcos fibrovasculares	Uniforme (1) – Agrupados junto a la sutura (2)
Terminación del ápice	Sin mucrón (1) – Con mucrón (9)

(*) Valor en la matriz de datos.

Tras la localización se visitaron las parcelas tres veces para completar las fichas. La caracterización varietal resultante se compara con diversas fuentes. La bibliografía consultada incluye, principalmente, estudios similares realizados en territorios de la antigua Corona de Aragón: Cataluña, (TOUS y ROMERO, 1993), Valencia (ÍÑIGUEZ y PAZ, 1999), Francia (MOUTIER y cols., 2004, 2011; BRETON y cols., 2012) e Italia (LUPO, 2012). Además, se han consultado el catálogo de variedades de España (RALLO, 2005) y el *Catálogo mundial de variedades* (COI, 2000, 2012).

Análisis multivariante de las variedades de olivo

En esta parte del trabajo se han añadido las variedades descritas en Huesca en 2013, junto con las caracterizadas por VIÑUALES (2007, 2009), ya que nunca se han estudiado esas variedades en conjunto. Se utiliza un método de análisis multivariante para datos no métricos, el Análisis de Cluster. Se eliminaron los descriptores no discriminantes y se ha aplicado el algoritmo de aglomeración jerárquico, método UPGMA (método de la media ponderada entre grupos), elaborando la matriz de distancias con la distancia euclídea promedio (HAIR, 1999) mediante el programa XLSTAT (2014). El dendrograma resultante muestra las distancias morfológicas relativas entre las diferentes variedades, generando grupos y subgrupos varietales y diferenciando homonimias (variedades que se nombran igual pero son diferentes) y sinonimias (variedades que se nombran distintas pero son la misma).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prospección de variedades de olivo en la provincia de Huesca

La comparación de las variedades localizadas en Huesca durante la campaña 2013 con las diferentes bases de datos consultadas, utilizando el mismo formato y aplicando el mismo método estadístico multivariante, no ha producido coincidencias. La descripción de las variedades estudiadas en esta fase se muestra en la tabla II. Las fichas completas y detalladas de todas las variedades cultivadas en Huesca se muestran en la página web de CASANOVA y cols. (2014). En ellas se ha recopilado, además, información complementaria: historia, localización, importancia de la variedad y calidad del aceite.

Tabla II. Resultado de la caracterización morfológica de variedades de olivo localizadas y descritas en 2013. Los descriptores para el árbol son vigor (VI), porte (PO) y densidad (DE). Para la hoja, forma (FOh), longitud (LO), anchura (AN) y curvatura (CU).

Para el fruto, peso (PEf), forma (FOf), simetría A (SAf), diámetro B (DBf), ápice A (AAf), base A (BAf), pezón (PZ), lenticelas (LE), tamaño de las lenticelas (TL) y color (CO). Respecto al endocarpio, peso (PEe), forma (FOe), simetría A (SAe), simetría B (SB), diámetro B (DBe), ápice A (AAe), base A (BAe), superficie B (SB), surcos (SU), distribución de surcos (DU) y ápice (AAe). Las variedades descritas son *Albás* (ALB), *Rañinera* (RAÑ), *Cerrudo de Liesa* (CER), *Olivonero de Ayerbe* (OLI), *Aceitunero* (ACE), *Biecuda de Benavente* (BIB), *Biequeruda* (BIE), *Gordera* (GOR), *Picudo de Labata* (PIC) y *Royeta de Abizanda* (ROY).

	Árbol			Hoja			Fruto										Endocarpio											
	VI	PO	DE	FOh	LO	AN	CU	PEf	FOf	SAf	DBf	AAf	BAf	PZ	LE	TL	CO	PEe	FOe	SAe	SB	DBe	AAe	BAe	SB	SU	DU	AAe
ALB	7	3	5	2	5	2	2	3	2	2	2	2	1	1	2	2	1	5	1	2	1	3	1	3	2	3	1	9
RAÑ	7	3	5	2	5	3	2	3	3	2	2	2	2	1	2	1	2	5	3	1	1	2	2	3	2	2	2	9
CER	5	7	7	1	5	1	2	3	1	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	2	2	1	2	3	2	2	2	9
OLI	5	5	5	2	5	2	2	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	5	2	3	1	2	2	3	2	2	2	9
ACE	5	7	7	2	5	2	2	4	2	3	2	2	2	1	2	2	1	5	2	3	1	3	2	2	1	2	2	9
BIB	5	5	7	2	5	2	2	2	1	3	2	2	2	3	2	1	1	3	1	3	1	3	2	1	3	3	1	9
BIE	7	7	7	2	1	2	2	2	1	3	2	1	2	1	1	1	1	5	2	3	2	2	1	2	2	2	1	9
GOR	5	5	5	1	5	1	2	4	3	1	2	2	1	1	2	1	1	7	2	1	1	2	2	1	2	2	2	9
PIC	3	5	5	1	5	1	2	2	2	1	2	2	2	3	1	1	2	5	2	3	1	2	1	3	2	2	2	9
ROY	3	5	5	2	3	2	2	2	2	3	2	1	2	1	1	1	2	5	2	3	2	2	1	3	2	2	2	9

En la mayoría de las parcelas estudiadas se localizan, como variedades principales, *Verdeña*, *Empeltre* o *Arbequina*. Por ello se comentan a continuación únicamente las variedades no descritas previamente.

Albás

Esta variedad es la más importante en la zona central de la Ribagorza y se denomina también *Robal* en Lascuarre. En la comarca de La Litera, donde se conoce con el nombre de *Guansal*, se localiza también, aunque en menor cantidad.

Es un olivo vigoroso y con tendencia al crecimiento vertical. Su fruto es de buen tamaño, con grandes y abundantes lenticelas. Estas olivas son empleadas para comer, tanto para verdeo como para oliva negra curada con sal, ya que son dulces.

Rañinera

La variedad se localiza en la parte norte de la provincia de Huesca y en zonas de elevada altitud: Rañín, Guaso, Boltaña, La Capana, Lascuarre, Roda de Isábena... Se han encontrado muy pocos olivos en producción de esta variedad, ya que la gran mayoría están abandonados debido a las dificultades de su cultivo por la orografía y el clima de estas zonas.

En la zona norte de Sobrarbe, donde es la variedad más importante, se denomina *Rañinera*, *Común* o *Gordera*. En la Ribagorza también se han localizado olivos de esta variedad, principalmente en Roda de Isábena, y se les llama *Olivón de Roda*.

Su fruto tiene un gran tamaño y forma redondeada. Se utiliza para comer como oliva negra, y también para la extracción de aceite. Las hojas son muy características, puesto que son cortas, muy anchas y tiene un color verde oscuro intenso.

Cerruda de Liesa

Esta variedad tiene cierta importancia en la zona oeste de la comarca de la Hoya y se considera variedad secundaria en los pueblos de Liesa, Labata, Aguas, Ibieca, Torres de Montes... También se ha encontrado de forma dispersa en algunos pueblos del Somontano y de Sobrarbe, como Barbastro, Berbegal, Estadilla y Abizanda.

El olivo tiene un color blanquecino y el ramaje es muy denso, por eso se llaman *Cerrudas*. El fruto es de tamaño entre mediano y grande, de forma alargada y color negro en madurez. Sus hojas son estrechas, planas y alargadas. Se utiliza para comer curada con sal.

Olivonero de Ayerbe

En muchas zonas de la comarca de la Hoya se denomina *Olivones* a los olivos que producen frutos para consumo directo como olivas negras. En la zona de Ayerbe se ha localizado un grupo homogéneo de olivos con los mismos caracteres morfológicos que llamamos *Olivoneros de Ayerbe*. La zona de difusión de estos olivos está en Ayerbe y algunos pueblos próximos

como Loscorrales, Sarsamarcuello y Santa Eulalia de Gállego. No obstante, en esta localidad existe otro *Olivonero* que tiene características diferentes y que aún no ha sido completamente caracterizado.

El olivo es de vigor medio y aspecto llorón, con los ramos fructíferos de forma péndula. El fruto es de tamaño medio, con el ápice redondeado; las lenticelas son escasas, pequeñas y poco apreciables.

Aceitunero

Variedad local de la comarca de Sobrarbe que se localiza en la zona de Abizanda. Su fruto tiene un buen tamaño y se emplea para aliño como oliva verde.

Biecuda de Benavente

Esta variedad se localiza en la Ribagorza, en una pequeña zona cercana a los pueblos de Benavente de Aragón y de Capella. El fruto es asimétrico, de tamaño medio y forma alargada. Se utiliza solo para la extracción de aceite. La hoja es de forma elíptico-lanceolada, de longitud media y anchura media.

Biequeruda

Estos olivos se encuentran en una parte de la Ribagorza, en Lascuarre y otros pueblos próximos. Hay olivos muy antiguos de esta variedad y de gran tamaño, como el que se puede ver en la figura 1, que está muy cerca de Lascuarre.

El fruto es asimétrico, de tamaño medio y forma alargada. Se utiliza solo para la extracción de aceite. La hoja es de forma elíptico-lanceolada, de longitud larga y anchura media.

Gordera

Variedad local de la comarca de Sobrarbe que se encuentra en la zona de Abizanda. El fruto es simétrico, de tamaño muy grande y forma esférica.



Fig. 1. Porte de la variedad *Biequeruda*.

Las hojas son lanceoladas, estrechas y de longitud media. Se emplea para aliño como oliva verde por el gran tamaño de las olivas.

Picudo de Labata

Variedad local de la Hoya de Huesca que solo se ha localizado en el pueblo de Labata. Es una variedad de vigor bajo y de buenas características agronómicas por su gran productividad. Se denomina *Picudo* por la forma claramente apuntada del ápice de sus frutos. El fruto es asimétrico, de tamaño medio y forma alargada. Se utiliza solo para la extracción de aceite. La hoja es de forma elíptico-lanceolada, de longitud larga y anchura media.

Royeta de Abizanda

Variedad local de la zona norte entre Sobrarbe y el Somontano, se encuentra en los pueblos de Abizanda y de Mipanas. Es una variedad poco

vigorosa y productiva, cuyo fruto no adquiere un color negro del todo en maduración y por eso se denomina *Royeta*. No hay olivos muy antiguos de esta variedad y en Abizanda están injertados en pies de otras variedades locales, como *Gordera* o *Blancal*. El fruto es asimétrico, de forma ovoidal y de peso medio. Se utiliza solo para la extracción de aceite. La hoja es de forma elíptico-lanceolada, de longitud corta y anchura media.

Análisis multivariante de las variedades cultivadas en Huesca

El resultado del dendrograma aporta ocho grupos (fig. 2). A continuación se describen brevemente los aspectos más importantes que caracterizan a cada agrupación:

- El grupo formado por las variedades *Olivonero de Ayerbe*, *Cerruda*, *Rañinera*, *Olivera de Nadal*, *Nación*, *Gordal del Somontano*, *Neral* y *Negral de Bierge* tiene como aspectos comunes el porte abierto y la densidad media del árbol. La forma de la hoja es elíptico-lanceolada y el diámetro del fruto es centrado, que también tiene lenticelas pequeñas. El endocarpio es simétrico hacia la base y el ápice tiene mucrón.
- El grupo de las variedades *Alía*, *Albareta* y *Arbequina* tiene en común el bajo vigor del árbol y la hoja corta y de anchura media. Mientras, el fruto es esférico, simétrico y sin pezón. El endocarpio tiene pocos surcos y el ápice es redondeado y de similar diámetro.
- El grupo formado por *Biecuda de Benavente*, *Empeltre*, *Blancal*, *Albás*, *Aceitunero* y *Verdeña* presenta similares características de hoja y el fruto es ovoidal. Son de ápice redondeado, con lenticelas abundantes y de color negro. El endocarpio es ligeramente asimétrico en todas las variedades, el diámetro hacia el ápice y el ápice tiene mucrón.
- La variedad *Alquecerana* se parece al grupo previo, pero de hoja más corta, sin pezón y escasas lenticelas. Mientras, el endocarpio se diferencia en que es elíptico y ligeramente asimétrico.
- El grupo varietal formado por *Royeta*, *Panseñera*, *Alcampelina*, *Picudo de Labata*, *Cerrudo de Liesa* y *Gordera* tiene como características

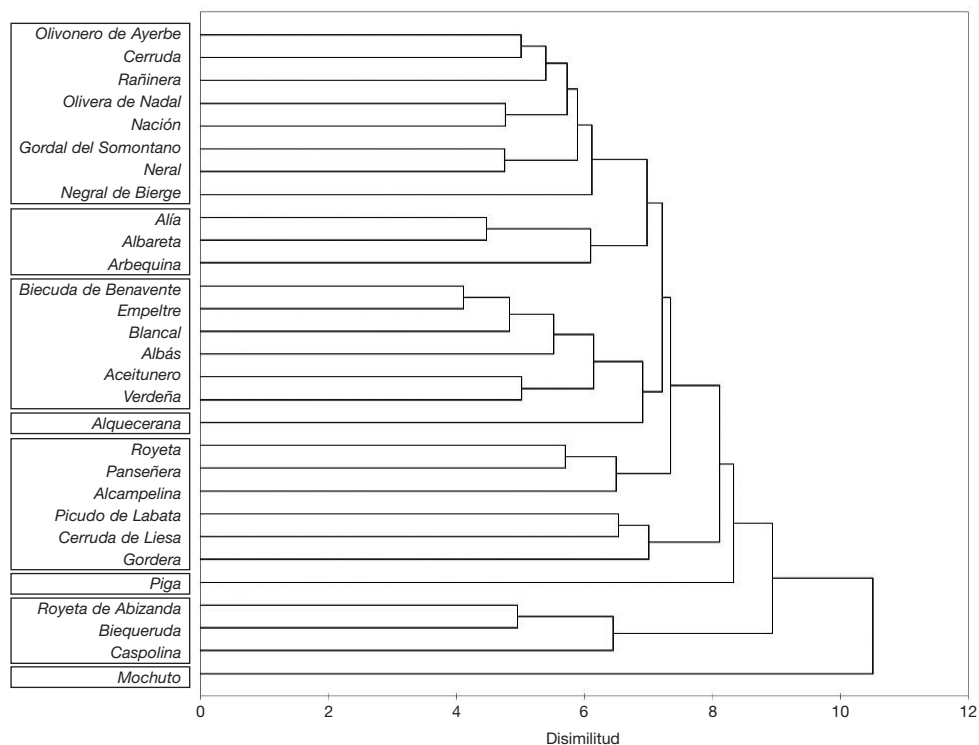


Fig. 2. Dendrograma de las variedades de olivo caracterizadas y cultivadas en Huesca.

comunes el porte abierto del árbol y la longitud media de la hoja. Mientras, el fruto tiene el ápice redondeado y sin pezón. El endocarpio también presenta el ápice redondeado.

- La variedad *Piga* tiene el árbol de porte abierto y vigor medio; el peso del fruto es medio, ligeramente asimétrico, de color negro y con el endocarpio simétrico y apuntado.
- El grupo de las variedades *Royeta de Abizanda*, *Biequeruda* y *Caspolina* tiene en común la forma de la hoja, que es elíptica-lanceolada y plana. Los frutos son asimétricos, de diámetro centrado y base truncada, sin pezón, y el ápice del endocarpio es ligeramente asimétrico y apuntado. Tienen un número medio de surcos fibrovasculares.
- La variedad *Mochuto* es la que más se separa del resto. Mencionada ya por AZARA (1818), es variedad de copa densa y de hoja media. El

peso del fruto es elevado y de color violeta, con lenticelas grandes. El peso del endocarpio es elevado, de forma elíptica, base redondeada y el ápice apuntado.

Como resumen final se muestra un mapa de la provincia de Huesca con la distribución de las variedades localizadas en cada comarca estudiada (fig. 3). Durante la campaña de 2013 se han localizado otras diez variedades que se han marcado con asterisco en dicha figura.

Es importante considerar que la mayoría de este material vegetal tiene características peculiares, como son resistencia al frío, doble aptitud y porte medio o bajo. De hecho, variedades como *Royeta de Asque* o *Verdeña* del Somontano son utilizadas por una multinacional (GRUPO AGROMILLORA, 2010) como parental para los nuevos cultivares de plantaciones superintensivas.

De las variedades que son mencionadas en la figura 2, las minoritarias suelen ser árboles únicos o de poca difusión en un entorno limitado y fueron localizadas gracias a los agricultores, que conocen sus parcelas. Esto coincide con el trabajo sobre olivos singulares de Andalucía (MUÑOZ-DÍEZ y cols., 2014), en el que solo se caracteriza un 14% de las variedades conocidas. En Huesca un ejemplo de esa índole sería la *Olivera de Nadal*, declarada como árbol singular en Aragón (DGA, 2014), árbol único, caracterizado, multiplicado, pero no estudiado agrónomicamente. En las condiciones de cultivo que se dan en las comarcas oscenses, es fundamental la información proporcionada por el agricultor para la localización de variedades, ya que, según la FAO (1996), una variedad está abocada a la desaparición en el momento en el que se pierde la información asociada a ella.

En la olivicultura actual, diez variedades ocupan más del 75% de la superficie cultivada (PÉREZ y MARCOS, 2012), aunque se está produciendo una lenta renovación en la producción, ya que la difusión del cultivo permite ofertar genotipos más adaptados a zonas frías y de vigor moderado, aspecto que puede ser cubierto por alguna de estas variedades minoritarias.

Otro aspecto que cabe considerar son las variedades importantes en una zona específica, pero que no se han expandido fuera de ese entorno. Es el caso de la variedad *Alquecerana*, que se concentra en el Somontano. Las características del aceite y la integración en el territorio son aspectos únicos que aportarían calidad y diferenciación en el mercado oleícola.

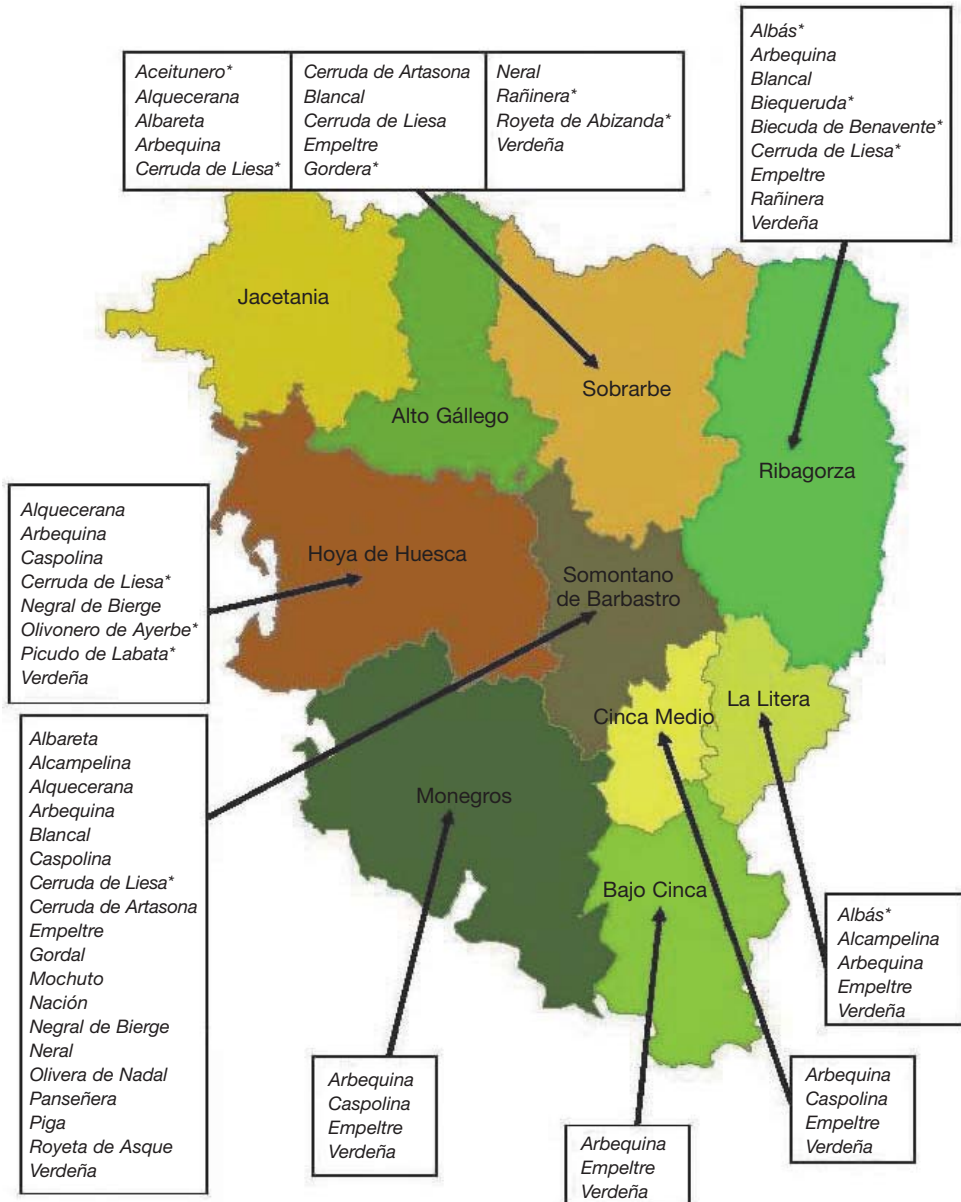


Fig. 3. Relación de las variedades localizadas y caracterizadas los últimos años en la provincia de Huesca. La variedad con asterisco (*) fue caracterizada durante la campaña de 2013.

A partir de este momento falta estudiar aspectos agronómicos, comportamiento frente a la vecería, manejo de plantación o resistencia a enfermedades. En este contexto es fundamental la elaboración de estrategias para su conservación, ya que cada vez son menos los agricultores que reconocen las variedades y su desaparición produce erosión genética. Para evitarlo, la mayoría de estas variedades recuperadas se encuentran plantadas en Castillazuelo y en la Escuela Politécnica Superior de Huesca. Pero falta realizar una prospección más profunda, puesto que la riqueza varietal localizada es aún muy abundante, principalmente en zonas límite de cultivo.

CONCLUSIONES

En los últimos años se han localizado y caracterizado un gran número de variedades de olivo en la provincia. Durante la campaña de 2013, han sido diez las que no se habían descrito todavía en las bases de datos consultadas. Muchas de ellas están localizadas en plantaciones únicas y con pocos árboles. Esta riqueza está ligada a las características climáticas y agronómicas de la provincia de Huesca.

La elaboración del dendrograma con todas las variedades cultivadas en la provincia genera una serie de asociaciones que podrían ser adecuadas para su estudio posterior. La diversidad encontrada es un aliciente para buscar diferentes objetos de estudio.

El éxito de esta campaña de muestreo parece sugerir que queda mucho material de olivo por caracterizar. Convendría realizar una prospección por las zonas más al límite del cultivo. Recuperar y mantener las variedades tradicionales es un reconocimiento a los agricultores que las han cuidado y un apoyo a una agricultura con futuro.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de los agricultores por la información suministrada, el tiempo que nos han prestado y la dedicación a sus olivos.

Este trabajo fue financiado por una Ayuda de Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en su convocatoria de 2012.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSO, I. (1798). *Historia de la economía política de Aragón*. Francisco Magallón. Zaragoza. Facsímil: Guara. Zaragoza. 1983. 487 pp.
- AZARA, F. (1818). *Los olivos de Alquézar y sus aldeas*. Informe inédito.
- BAULNY, O. (1968). Trois textes de Félix de Azara: les oliviers d'Alquézar. *Pyrénées*, 73: 35-41.
- BELTRÁN, M. (1996). Economía del Aragón romano. En *Historia de Aragón, II: economía y sociedad*: 41-56. IFC. Zaragoza. Disponible en <http://ifc.dpz.es/recursos/publicaciones/19/33/03beltranllorism.pdf> [consulta: 20/4/2014].
- BLÁZQUEZ, J. M.^a (1980). La exportación del aceite hispano en el Imperio romano. En J. M.^a Blázquez (coord.), *Producción y comercio del aceite en la Antigüedad. Primer Congreso Internacional*: 19-46. Universidad Complutense. Madrid. Disponible en <http://www.cervantesvirtual.com/obra/la-exportacin-del-aceite-hispano-en-el-imperio-romano-estado-de-la-cuestin-0/> [consulta: 20/4/2014].
- BRETON, C., y A. BERVILLÉ (coord.) (2012). *Histoire de l'olivier*. Quae. París. 224 pp.
- CASANOVA, J., J. M. GONZÁLEZ y J. VIÑUALES (2014). *Varietades de olivo en la provincia de Huesca*. Disponible en http://epsh.unizar.es/~jcasan/variedades_olivo/variedades.html [consulta: 20/4/2014].
- COMITÉ OLEÍCOLA INTERNACIONAL (2000). *Catálogo mundial de variedades de olivo*. Consejo Oleícola Internacional. Madrid. 360 pp.
- COMITÉ OLEÍCOLA INTERNACIONAL (2012). *General description of olive growing in Spain*. Disponible en <http://www.internationaloliveoil.org/> [consulta: 20/4/2014].
- CRESPO, I. (1909). *El olivo en la cuenca del Ebro: clima y suelo, variedades, cultivo, accidentes, enfermedades y modo de combatirlas*. Antonio Marzo. Madrid. 191 pp.
- DGA (2014). *Árboles singulares de Aragón: la olivera de Nadal*. Disponible en http://www.redaragon.com/turismo/naturaleza/arboles_singulares/1311_guia.asp [consulta: 20/4/2014].
- ESPADA, L., F. ABÓS y M.^a S. GRACIA (2009). *Varietades de olivo cultivadas en el Somontano de Barbastro y características de sus aceites*. DGA. Zaragoza. 27 pp.
- FAO (1996). *Plan de acción mundial para la conservación y la utilización sostenible de los recursos filogenéticos para la alimentación y la agricultura y la Declaración de Leipzig*. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/016/aj631s.pdf> [consulta: 20/4/2014].
- FERNÁNDEZ, R., y D. BARRANCO (2008). *El cultivo del olivo*. MundiPrensa. Madrid. 846 pp.
- GILABERT, F. (1626). *Agricultura práctica con la qual puede uno llegar a ser perfecto agricultor, en lo más necesario para la vida humana, en qualquier tierra que estuviere*. Sebastián de Cormellas. Barcelona. Disponible en http://books.google.es/books/about/Agricultura_Pratica_Con_La_Qval_Pvede_vn.html?id=V0FXAAAACAAJ&redir_esc=y [consulta: 20/4/2014].

- GRUPO AGROMILLORA (2010). Superados los 15 años de cultivo superintensivo en las fincas Hacienda San Miguel y La Boella. *Olint*, 19: 12-18.
- HAIR, J. (1999). *Análisis multivariante*. Prentice Hall. Madrid. 768 pp.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA (IFAPA). *Banco mundial de variedades de olivo*. Disponible en <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturay-pesca/ifapa/web> [consulta: 20/4/2014].
- ÍÑIGUEZ, A., y S. PAZ (1999). *Variedades del olivo de la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana (Cuadernos de Tecnología Agraria. Serie Olivicultura, 1). Valencia. 267 pp.
- MAGRAMA (2014). *Superficies y producciones de cultivos 2012-2013*. Disponible en http://www.magrama.gob.es/estadistica/pags/anuario/2012/AE_2012_13.pdf [consulta: 20/4/2014].
- MARCO, P., y A. PERNA (2005). *Situación de la olivicultura en la comarca del Somontano*. Trabajo sin publicar. Comarca del Somontano.
- MEGINO, A. (1804). *El aceite*. Venecia. 262 pp. Disponible en <http://books.google.es/books?id=UxtlQwAACAAJD1504> [consulta: 20/4/2014].
- MOUTIER, N., Ch. PINATEL, A. MARTE y J. P. ROGER (2004). *Identification et caractérisation des variétés d'olivier cultivées en France*. Tomo I. Naturalia Turriers. París. 246 pp.
- MOUTIER, N., Ch. PINATEL, A. MARTE y J. P. ROGER (2011). *Identification et caractérisation des variétés d'olivier cultivées en France*. Tomo II. Naturalia Turriers. París. 248 pp.
- MUÑOZ-DÍEZ BARRANCO, D., y L. RALLO (2014). Prospección de los olivos singulares de Andalucía. En *El patrimonio oleícola: análisis de la diversidad oleícola*: 99-114. Disponible en <http://www.magina.org/biblioteca/publicaciones/patrimoniooleicola.pdf> [consulta: 20/4/2014].
- MUZZALUPO, I. (ed.) (2012). *Olive germplasm – Italian catalogue of olives varieties*. InTech. Croatia. 342 pp.
- ORTEGA, M., y P. CADAHIA (1957). Producción de aceituna y elaboración de aceites. *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, 12: 9-86.
- PALÁ, R., y S. FERRANDO (1933). *Los estudios económico-social-agrarios de Aragón: el Somontano de Barbastro*. Industrias Gráficas Uriarte. Zaragoza. 184 pp.
- PÉREZ, M., y D. MARCOS (2012). *Las variedades minoritarias de olivo: origen, difusión e interés*: 1-10. Provedo (Reportaje, 22). Disponible en <http://www.variedadesdeolivo.com> [consulta: 20/4/2014].
- PINILLA, V. (1995). *Entre la inercia y el cambio: el sector agrario aragonés (1850-1935)*. Ministerio de Agricultura. Madrid. 546 pp.
- PRIEGO, J. M. (1930). *Las variedades de olivo de Aragón y Rioja*. Instituto de Investigaciones Agronómicas. Madrid. 48 pp.

- RALLO, L. (coord.) (2005). *Varietades de olivo en España*. Junta de Andalucía, MAPA y Mundiprensa. Madrid. 478 pp.
- TOUS, J., y A. ROMERO (1993). *Varietades del olivo: con especial referencia a Cataluña*. Fundación La Caixa. Barcelona. 172 pp.
- VIÑUALES, J. (2007). *Las variedades de olivo del Somontano*. DPH. Huesca. 162 pp.
- VIÑUALES, J. (2009). *Varietades de olivo en la Hoya de Huesca*. Trabajo sin publicar. ADESHO. 58 pp.
- XLSTAT (2014). XLSTAT Software. © Addinsoft 1995-2014. Disponible en <http://www.xlstat.com/> [consulta: 20/2/2014].

EL OSO PARDO EN EL PIRINEO: SITUACIÓN Y PERSPECTIVAS DE CONSERVACIÓN

Gerardo CAUSSIMONT GARCÍA DE LA PEÑA¹

RESUMEN.— Después de disminuir hasta casi desaparecer, el oso pardo en el Pirineo ocupa hoy dos núcleos: uno central, con 23 individuos y varias hembras reproductoras, y otro occidental, con solo dos machos. Se describen los métodos de estudio y de seguimiento de la especie, la historia de su población pirenaica, su censo y distribución actual, los problemas de conservación e interacciones con la actividad humana, y sus perspectivas en el Pirineo.

ABSTRACT.— After declining to almost disappearing, the brown bear in the Pyrenees occupies today two areas, one central area with 23 individuals and several breeding females, and a western area with only two males. The article describes methods of study and monitoring of the specie, the history of its Pyrenean population, its census and current distribution, conservation issues and interactions with human activity, and prospects in the Pyrenees.

KEY WORDS.— Brown bear, *Ursus arctos*, Pyrenees, Spain, France.

INTRODUCCIÓN

Este artículo es un resumen de la conferencia dada en el Instituto de Estudios Altoaragoneses de Huesca el 9 de abril de 2014 dentro del Ciclo de Primavera, que, bajo la coordinación de Luis Villar, ha estado dedicado

¹ Vicepresidente del comité científico del Parc National des Pyrénées y presidente de la ONG FIEP (Fonds d'Intervention Éco-Pastoral – Groupe Ours Pyrénées), a la que corresponden las imágenes que se incluyen en este artículo. gerard.caussimont2@orange.fr

este año a los “Mamíferos del Alto Aragón: ecología y conservación”. Pretende ofrecer un estado de la cuestión sintético sobre la situación del oso pardo en el Pirineo, sus problemas de conservación y las perspectivas futuras.

El autor es el presidente del Fonds d’Intervention Éco-Pastoral – Groupe Ours Pyrénées (FIEP), una ONG de protección de la naturaleza que tiene como objetivo la conservación de todos los elementos del ecosistema pirenaico: las especies (el oso, en particular), los hábitats y la ganadería de montaña. “Para que el oso y el pastor puedan vivir juntos en el Pirineo”, es el eslogan y la filosofía del FIEP desde su creación, en 1975. El FIEP fue el iniciador del seguimiento del oso pardo en Pirineos Atlánticos (1978), Navarra y Aragón (1983), y hoy sigue participando activamente en el seguimiento dentro de las redes Oso Pardo oficiales.

MÉTODOS DE ESTUDIO Y SEGUIMIENTO DEL OSO PARDO

Las redes de seguimiento de las poblaciones de oso pardo pirenaicas existentes en España (Gobiernos de Aragón y Navarra, y Generalitat de



Fig. 1. Macho y hembra de oso pardo.

Catalunya) y en Francia (Réseau Ours Brun – Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, ONCFS), utilizan esencialmente los métodos siguientes:

- Realización de transectos fijos, repartidos de manera homogénea dentro del área de campeo del oso, para la observación de indicios y para conocer el uso estacional del territorio.
- Recogida y control de testimonios de la presencia de oso, y peritaje de ataques al ganado.
- Otros métodos para el estudio de la dinámica poblacional y la individualización de los osos:

Medición de huellas (fig. 2), que permite distinguir las grandes categorías siguientes de osos: crías del año, jóvenes de 1,5 años, sub-adultos, machos y hembras.



Fig. 2. Huella de pata delantera de oso en el barro.

Análisis de material genético para contribuir al censo de individuos presentes cada año y conocer su filiación (fig. 4).

Cámaras fotográficas automáticas para individualizar a los osos, contribuir a su censo anual y estudiar su comportamiento y el uso que hacen del territorio (figs. 5 y 6).

Tipos de indicios

Se describe quién, cómo y dónde se han tomado las muestras o datos. En primavera se buscan huellas, en la nieve y en el barro (fig. 2), e indicios de búsqueda de alimentación: hayucos, bellotas o cadáveres de ungulados conservados bajo la nieve, larvas e insectos de la madera en troncos en descomposición (fig. 3), excrementos con hierba, hojas y tallos tiernos de las plantas de zonas húmedas.



Fig. 3. Tronco de abeto abierto por el oso en busca de larvas e insectos.



Fig. 4. Recogida de pelos de oso en el tronco de un árbol para su análisis genético.

En la época del celo también se encuentran indicios de marcaje olfativo, al orinar y al frotarse en los árboles, para encontrarse (macho y hembra) o evitarse (machos y jóvenes). Al hacerlo dejan arañazos y pelos en esos árboles utilizados por generaciones de osos pardos (fig. 4).

En verano el oso dispone de insectos y de frutos carnosos en los bosques (fresas, frambuesas, moras) y en los pastos de altura (arándanos), o en los pedregales (escuernacabras). Se suelen encontrar excrementos que acreditan su consumo.

También consume huevos y larvas de hormigas, excavando los hormigueros en forma de domo, en el bosque, y volteando grandes piedras o excavando un tocón. Para el naturalista, con la costumbre, es fácil identificar la autoría de los hechos al observar los restos de estos hormigueros tras el paso del oso. Aunque el tiempo es más seco, en el cruce de algún arroyo o en una zona de barro se pueden encontrar sus huellas. También en los bosques frescos, expuestos al norte, se observan encames excavados en la tierra para aguantar los días de calor antes de que refresque por la noche y el oso pueda alimentarse con mayor seguridad.

El otoño es una estación crítica para el oso pardo, ya que tiene que acumular reservas de grasa indispensables para su sueño invernal, que no es

sino una defensa natural para superar una época del año en la que la comida escasea. Los indicios de alimentación que se encuentran en otoño están vinculados con frutos (excrementos de hayucos, bellotas, avellanas, serbas, alisas), con insectos (hormigas) o con carroñas. Las lluvias otoñales y las primeras nevadas permiten encontrar algunos rastros entre las distintas zonas de alimentación o de reposo. En otoño, ante los primeros fríos, se encuentran encames de oso en zonas más templadas, expuestas al sur, buscando el calor.

En invierno el frío y la nieve obligan al oso pardo a adaptarse a la escasez de comida, durmiendo y viviendo de sus reservas de grasa. Sin embargo, los años en que el invierno se retrasa o la primavera se adelanta, y hay comida, el oso inverna menos. En algunos casos, como en el invierno de 2013-2014, la escasez de nieve en las cotas bajas y la abundancia de hayuco hicieron que muchos osos siguiesen activos, excepto en los episodios de grandes nevadas.

Los indicios que se encuentran en invierno son huellas en la nieve y señales de alimentación, como excrementos de hayucos o de bellotas... El hallazgo de una osera activa (que solo se realiza en verano, cuando está desocupada) es algo excepcional. Se reconoce que es una osera invernal no solo por la cantidad de pelos hallados en el interior de la cueva o del cubil excavado, sino también por la presencia de un encame o *nido* elaborado por el oso con distinto material a su alcance (helechos, hierba, bojes...).

Una herramienta muy útil: la cámara digital automática

Las redes de seguimiento españolas y francesas utilizan cámaras automáticas digitales de fotografía y vídeo para el seguimiento de la población de osos (figs. 5 y 6). Esta generación de cámaras ha aportado una herramienta esencial que contribuye a conocer mejor a los individuos, su distribución y sus movimientos a lo largo del año, su reproducción (celos y crías), la supervivencia de los jóvenes, la búsqueda de alimentación estacional... Al combinarse esta técnica con los análisis genéticos y el seguimiento indirecto, se ha dado un paso esencial en el conocimiento anual de la población, su composición, su distribución y sus problemas de supervivencia.



Fig. 5. El oso Canelito, nacido en 2004, fotografiado por una cámara automática del FIEP el 9 de mayo de 2013 en el valle de Ossau.



Fig. 6. El oso Neré, nacido en 1997, fotografiado por una cámara automática del FIEP el 16 de junio de 2013 en el valle de Ossau.

HISTORIA RECIENTE Y SITUACIÓN ACTUAL DEL OSO PARDO

La población de oso pardo pirenaico ha ido disminuyendo a lo largo de los últimos siglos, como en otros lugares del planeta. Su área de distribución se ha ido reduciendo a medida que avanzaba la colonización humana y su hábitat se limitaba a las montañas más inaccesibles. Tal y como se puede apreciar en la tabla 1, el declive se ha acelerado en la segunda mitad del siglo XX hasta llegar a una casi desaparición a mediados de la década de los noventa. Si no hubiese sido por la reintroducción de algunos individuos en los años 1996-1997 y 2006, hoy el oso pardo se habría extinguido en el Pirineo. Las causas del declive de la población autóctona de osos son múltiples y se suman unas a otras. Sin embargo, se pueden establecer estas como principales:

- La persecución (batidas, veneno, furtivismo...) desde hace varios siglos, acelerada por la mejora de la eficacia de las armas de fuego, de fácil acceso.
- La consanguinidad, la mala reproducción, a partir de un número insuficiente de individuos.
- La pérdida de parte del hábitat, por la penetración y las molestias que genera el modo de vida moderno.

En 2013 el oso pardo se distribuía en dos núcleos. El núcleo occidental comprende los departamentos franceses de Pirineos Atlánticos y de Altos Pirineos, y Navarra y Huesca en España. El núcleo central abarca desde el este de Huesca, el valle de Arán y los valles catalanes hasta el límite con Andorra, y

Tabla 1. Evolución de la población de oso pardo en el Pirineo desde 1950 a la actualidad.

<i>Año</i>	<i>Núcleo occidental</i>	<i>Núcleo central-oriental</i>	<i>Total</i>
1954	50	20	70
1970	30	6	36
1984	14	4	18
1990	9	1	10
1995	5-6	0 En 1996-1997, reintroducción de 3	5-6
2005	4	10 En 2006, reintroducción de 5	14
2013	2	23 (1 †)	25

en Francia, los departamentos de Alto Garona y Ariège. La figura 7 presenta el mapa de distribución en 2013. El área abarca 4300 km², de los cuales 2100 corresponden a Francia, desde Navarra hasta Cataluña. La densidad es muy baja, siete veces menor que la existente en los montes cantábricos.

Según el censo de población de 2013 y las redes de seguimiento en Francia y España, se localizaron e identificaron un mínimo de 25 osos:

- Pirineo occidental: 2 machos (nacidos en 1997 y 2004).
- Pirineo central: 23 osos.
 - 8 hembras adultas (4 reproductoras).
 - 4 machos adultos (1 reproductor).
 - 3 machos y 2 hembras subadultos.
 - 3 subadultos indeterminados.
 - 3 crías (2 oseznos de la osa Hvala y una cría muerta por accidente).

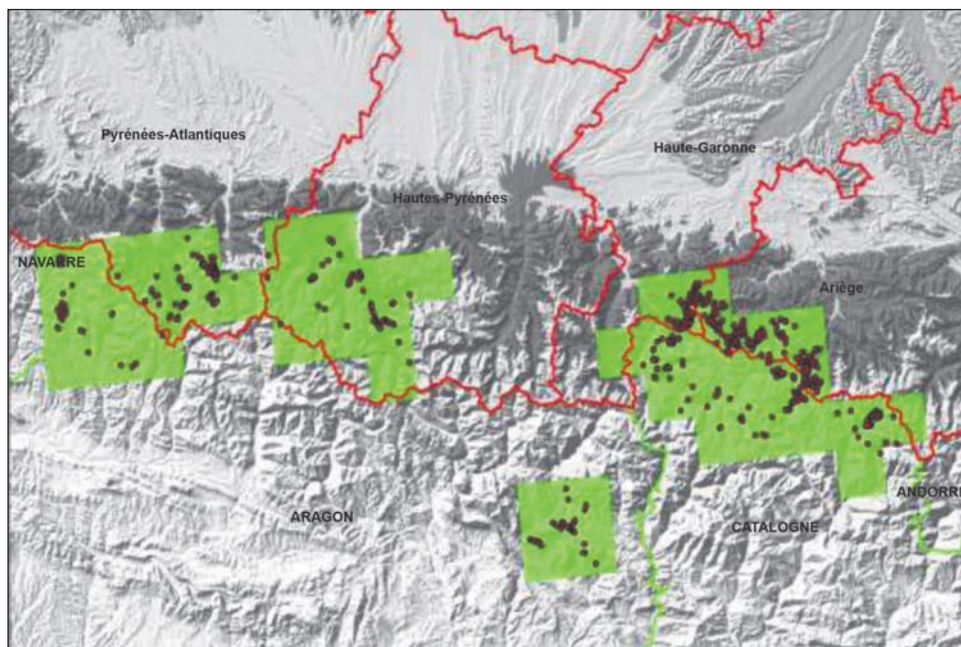


Fig. 7. Mapa de distribución de la población de oso pardo en el Pirineo en 2013. (Redes de seguimiento de Francia y España, Réseau Ours Brun – ONCFS)

ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL OSO EN TODO EL PIRINEO

El oso pardo es una especie protegida por la ley, tanto en España como en Francia, así como por la Directiva europea Hábitats y por el Convenio de Berna. Una parte del área de distribución de la especie en el Pirineo está en territorios de la Red Natura 2000, pero solo una pequeña parte se incluye dentro de espacios protegidos como son los parques nacionales.

Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el oso es una especie en peligro de extinción en todo el Pirineo. España y Francia tienen la obligación de promulgar planes de recuperación y medidas de gestión que permitan que la especie alcance “un estado de conservación favorable” en el Pirineo. Esto supone que el área de distribución no disminuya (por ejemplo, con la desaparición del núcleo occidental), que la población aumente hasta alcanzar la viabilidad, que el hábitat se conserve y que las perspectivas de su conservación mejoren.

En 2013, con los criterios de la Directiva Hábitats, el estado de conservación del oso pardo se consideraba “desfavorable e inadecuado” (MNHN, 2013) en cuanto a su población y las perspectivas de conservación de su área de distribución. Esto se explica por su demografía y la previsible desaparición de la parte occidental del área, donde solo viven dos machos.

Problemas de conservación

El núcleo del Pirineo occidental, en el que, como se ha dicho, viven solo dos machos, está en peligro de extinción si no se refuerza rápidamente con hembras. En cuanto al Pirineo central, en su núcleo central 18 de los 23 osos descienden del macho dominante Pyros. Esto implica un riesgo de consanguinidad y una precariedad demográfica a medio plazo. Existe, pues, la necesidad del reforzamiento poblacional para introducir variabilidad genética.

Análisis y amenazas sobre el hábitat

Un estudio reciente (MARTIN y cols., 2012), basado en modelos de disponibilidad del hábitat pirenaico en comparación con la situación del oso en

la cordillera cantábrica, indica que en la actualidad el oso pardo cuenta en el Pirineo con unos hábitats favorables. Este estudio señala que el hábitat permitiría la vida de unos 110 a 250 osos. En los últimos años la utilización del territorio pirenaico por osos autóctonos y osos introducidos y su descendencia demuestra también que los osos disponen de zonas de alimentación, de reposo, de reproducción y de desplazamiento suficientes.

La amenaza de pérdida de hábitat, por destrucción, sigue vigente en cuanto a los proyectos de creación o, sobre todo, de ampliación y de conexión de estaciones de esquí, por causa de la urbanización, las infraestructuras, la modificación del medio natural y la presencia humana permanente que suponen. La segunda amenaza para la disponibilidad de hábitat para el oso es la penetración humana intensa que pueden suponer las vías de comunicación abiertas al público o las instalaciones turísticas que provocan una afluencia masiva y que puede dificultar la circulación o la tranquilidad de la especie en parte de su territorio.

Una gestión forestal inadecuada puede influir muy negativamente en el hábitat del oso. La regularización de masas forestales, con empobrecimiento de la biodiversidad, las talas a mata rasa y la creación de pistas que facilitan el acceso (incluso peatonal) del público al bosque influyen negativamente sobre la disponibilidad del medio para que el oso pueda realizar sus funciones vitales.

Interacciones con la actividad humana

La caza, sea legal o ilegal, ha sido hasta fechas muy recientes uno de los principales responsables de la disminución de la población hasta llevarla al borde de la extinción. Citemos como ejemplo los últimos osos que se ha confirmado que fueron tiroteados: Claude (1994), Mellba (1997), Cannelle (2004) y Balou (herido, en 2008).

Sin embargo, en la última década parece ser que este fenómeno va disminuyendo, gracias a las mayores precauciones de los cazadores y a la mayor implicación de sus organizaciones ante las campañas de prensa desastrosas para su imagen tras la muerte de varios osos. Se han llevado a cabo por parte de las Administraciones campañas de sensibilización de los cazadores en ambas vertientes del Pirineo. Se han promulgado normas, en

Francia y en Aragón, para adaptar la caza o suspenderla en caso de presencia de oso. Por ejemplo, se han creado zonas sin batidas temporales en zonas de alimentación otoñal en el departamento de Pirineos Atlánticos. Pero el riesgo cero de accidente no existe, de ahí la necesidad de contar con una población suficiente que pueda soportar este tipo de problemas.

En segundo lugar, hay una interacción entre el oso y la ganadería. En el Pirineo, el oso consume plantas e insectos en un 90% de su dieta. Los daños al ganado debidos al oso son ocasionales y limitados, pues representan un 0,05% del ganado lanar presente en la alta montaña, mientras otras causas suponen del 3 al 5% de pérdidas entre las 600 000 cabezas de ganado ovino existentes en el Pirineo francés. La mortandad anual por accidente o enfermedad representa entre unas 18 000 y 30 000 cabezas.

En 2013 los daños por osos afectaron a 252 ovejas en Francia y a 95 en España. En total, fueron 347 las indemnizaciones por ovejas dañadas, y más de la mitad por causas indeterminadas. Otras causas impactan también de forma muy significativa en el ganado lanar cuando se halla en los pastos, en particular los ataques de perros en libertad. Por ejemplo, solo en el año 2000, 92 ovejas fueron muertas por perros en los valles de Aspe y Ossau. En los valles occidentales aragoneses, entre 1999 y 2003, 310 ovejas resultaron muertas y 49 heridas por perros.

Existen diversas soluciones. Si se adoptan medidas adecuadas en el manejo del ganado (mastines, agrupación nocturna de rebaños...), los daños del oso son casi inexistentes. Por ejemplo, en los valles bearneses hubo indemnizaciones por 5 ovejas en 2013, entre unas 80 000 que pastan en la zona de campeo de Neré y Canelito. En los valles aragoneses occidentales se indemnizó en 2013 por 6 ovejas, de unas 18 000 presentes en los puertos. Ahora bien, si no se adoptan medidas adecuadas la predación depende de los individuos, de la climatología y de los alimentos disponibles.

Por otro lado, están las ayudas a la ganadería en zona de osos. Hoy en Francia, Aragón, Cataluña y Navarra existen sistemas de indemnización y ayudas diversas a la ganadería de montaña que permiten a los pastores convivir con el oso pardo, bajo formas distintas, según los territorios y las épocas. Así, en Aragón, las indemnizaciones son correctas y existe

una ayuda del Gobierno de Aragón para reagrupar al ganado en caso de presencia de osos (dos patrullas oso o pastores subvencionados), y se ponen cercados móviles, luces y mastines a disposición de los ganaderos en zona de osos.

En la actualidad hay pocos daños: en 2013 hubo 20 ovejas muertas entre los valles occidentales y los valles orientales. El Gobierno de Aragón indemnizó por un importe de 7110 €. Esas indemnizaciones se desglosan del siguiente modo:

— Por 1 oveja autóctona (la mayoría de los ataques implican la pérdida de 1 cabeza de ganado)	197,5 €
— Por pérdida del cordero	65,3 €
— Por molestias generadas por el ataque	252,0 €
— <i>Total</i>	514,8 €

En el Pirineo occidental francés ha habido ayudas a los pastores en zona de osos desde 1979: “Para que el oso y el pastor puedan vivir juntos en el Pirineo”. La mayoría de estas actuaciones fueron promovidas, creadas y llevadas a cabo, al menos en su inicio, por el FIEP, con el apoyo de WWF France, el Ministerio de Medio Ambiente, la Unión Europea y patrocinadores privados, con los siguientes objetivos:

- Indemnizar al pastor por las molestias en caso de ataque, además de indemnizar por las reses afectadas.
- Adoptar iniciativas de subvención a favor del transporte con mulos, los cercados eléctricos de protección y la renovación de refugios para pastores, así como ayudas agroambientales.
- Informar a los pastores y ganaderos sobre las medidas específicas en zona de osos y sobre la biología de la especie.
- Facilitar a los pastores transportes gratuitos de material con helicóptero.
- Conceder el préstamo gratuito de radioteléfonos conectados a la red telefónica.
- Promocionar el queso artesano producido en esta zona (fig. 8), bajo la marca Pé Descaous (*Pie Descalzo*, como se apoda al oso en el Béarn), por el FIEP, WWF France y la Asociación de Pastores.



Fig. 8. Queso de la marca bearnesa Pé Descaous, objeto del programa de valorización del queso artesano producido en esta zona de osos francesa.

Hoy estas actuaciones se siguen llevando a cabo, por parte de las Administraciones o por ONG como el FIEP, con fondos tanto públicos como privados.

Por qué salvar al oso pardo

Conservar el oso es proteger la biodiversidad pirenaica. Es una especie *paraguas*, puesto que, protegiéndola, se protegen de forma indirecta muchas otras especies que componen la comunidad de su hábitat.

El oso es patrimonio de los Pirineos (fig. 9), tanto desde el punto de vista natural como cultural (carnavales, mitos, leyendas, cuentos, toponimia...). Es símbolo de una naturaleza pirenaica en buen estado de conservación. Puede ser una ventaja para desarrollar un turismo sostenible (fig. 10), como ya se ha hecho con éxito en Asturias, en Trentino y Abruzos, en Italia, y de forma incipiente en el Pirineo central, así como para mantener una ganadería de montaña promocionando productos de alta calidad.

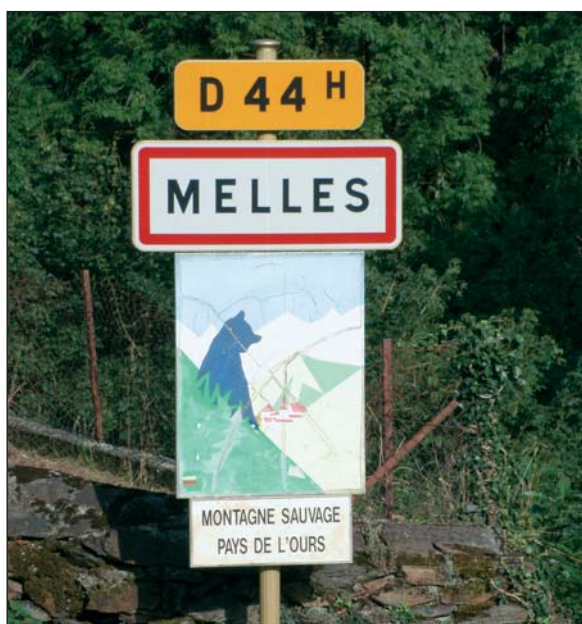


Fig. 9. El oso como reclamo turístico en el cartel de la localidad de Melles, en el valle del Garona.



Fig. 10. Estatua de oso delante de un establecimiento hostelero en el valle de Arán.

Por fin, salvar al oso es salvarnos a nosotros mismos, trabajando entre todos, aunque nuestros intereses sean diferentes, para conservar el planeta.

Perspectivas

El oso es un problema humano y revela una situación de contrastes. Existe una aceptación social del oso pardo de forma mayoritaria entre los habitantes del Pirineo, como lo han demostrado varias encuestas de opinión llevadas a cabo en 2003, 2004, 2005 y 2008 en el Pirineo francés. Hay pastores favorables al oso y muchos con una posición neutral. Además, existen iniciativas de desarrollo sostenible con la imagen del oso a nivel turístico y ganadero.

Pero también hay actitudes de rechazo, minoritarias pero muy activas, y actos de furtivismo aislados pero dramáticos en una población de osos tan pequeña y con pocas hembras. El oso es tomado como *rehén* por algunos líderes, como medio de presión para obtener subvenciones o en sus luchas por el poder, al no tener un verdadero proyecto para su territorio. Falta una línea de conducta de conservación de la especie y una voluntad política clara por parte de ambos Estados y de los Gobiernos autónomos españoles. ¿Queremos un futuro para la biodiversidad pirenaica, simbolizada por el oso y el pastor, o una montaña vacía y *banal*?

Queda por escribir la última página: cada uno, en el lugar que ocupa, tiene que asumir su responsabilidad. Es la apuesta por la gestión sostenible del territorio. El hombre de hoy ha de corregir los errores del pasado y dejar para el mañana un patrimonio natural, cultural y humano del que se sienta orgulloso, a favor de la *vida* en todos sus aspectos. El oso y el pastor son dos facetas de este mismo ecosistema pirenaico, heredado de nuestros antepasados.

CONCLUSIONES

Para conservar el oso pardo, es urgente en todo el Pirineo:

- Elaborar planes actualizados de recuperación del oso pardo, tanto en Francia como en España, y que ambos Estados trabajen de forma coordinada.

- Reforzar la población de osos en el Pirineo occidental y centro-oriental.
- Mantener las ayudas a la ganadería lanar, a cambio de protección y vigilancia de los rebaños, no a fondo perdido.
- Promover, a nivel oficial, la valorización socioeconómica del oso para actividades locales respetuosas con el oso y su hábitat.
- Preservar la voluntad de ambos Estados y de las comunidades autónomas españolas para salvar este elemento fundamental del patrimonio natural y cultural pirenaico.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a don Luis Villar Pérez y al IEA por su invitación a participar en el Ciclo de Primavera de 2014.

Agradezco también los datos aportados por los demás miembros de las redes de seguimiento del oso pardo en el Pirineo español y francés, bajo la coordinación de la ONCFS, los Gobiernos de Aragón y de Navarra, y la Generalitat de Catalunya.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAUSSIMONT, G. (1997). *Avec le naturaliste sur les pas de l'ours brun des Pyrénées*. FIEP-Loubatières. Toulouse. 207 pp.
- MARTIN, J., F. DECALUWE y P.-Y. QUENETTE (2012). Une estimation de la qualité des habitats pour l'ours brun dans les Pyrénées: intérêts pour la gestion. *Revue Faune Sauvage*, 297 (4): 36-40.
- MNHN (Muséum National d'Histoire Naturelle) (2013). *L'ours brun dans les Pyrénées. Expertise collective scientifique*. París. 27 pp.
- ONCFS (2013). *Suivi de l'ours brun dans les Pyrénées françaises. Rapport annuel année 2013*. Pau. 47 pp.

APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) A LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN EN LA CUENCA DEL EMBALSE DE ARGUIS (HUESCA)

Pedro Ignacio CRUCHAGA¹

RESUMEN.— En este texto se analiza la aplicación del modelo de predicción de la erosión RUSLE a la cuenca vertiente al embalse de Arguis, en Huesca, mediante distintos Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta técnica permite determinar, a un bajo coste en recursos y tiempo, las zonas más productoras de sedimentos responsables de la colmatación de este embalse. El modelo define como zonas más fácilmente erosionables las margas y los campos de cultivo situados sobre areniscas. Para la determinación de los factores que hacen a estas zonas tan vulnerables sería necesario un trabajo de campo más detallado.

ABSTRACT.— The application of the prediction model of watershed erosion RUSLE to the basin of the Arguis Dam in Huesca, using GIS tools, is discussed in this text. This technique allows to determine, at a low cost in time and resources, the areas which contribute the sediments responsible for the clogging of the reservoir. The model define as more easily erodible areas the marls badlands and the fields located on sandstone. The determination of which factors make these areas are being so vulnerable would require a more detailed field work.

KEY WORDS.— GIS, erosion, clogging, RUSLE, Arguis Dam, Huesca (Spain).

¹ pedro.cruchaga.ambiental@gmail.es

INTRODUCCIÓN

El aterramiento de los embalses es un importante problema en su gestión, al disminuir paulatinamente su capacidad de almacenamiento. Durante siglos el embalse de Arguis ha sido una importante reserva de agua para los riegos de la ciudad de Huesca. Construido a finales del siglo XVII, ha sido objeto de varios recrecimientos debido a problemas de colmatación por la naturaleza margosa de su cuenca, como muestra a modo de ejemplo la figura 1, tomada antes del último recrecimiento.

La determinación de las zonas más sensibles a la erosión y, por tanto, aportadoras de sedimentos a este embalse facilitaría y optimizaría el efecto de cualquier posible medida correctora que pudiera acometerse *a posteriori* por los gestores o responsables de su mantenimiento, alargando su vida útil y, por tanto, reduciendo los costes materiales y sociales de posibles recrecimientos.

El modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) es el modelo de predicción de erosión aplicado, ya que ha sido ampliamente probado



Fig. 1. Aterramiento en el embalse de Arguis hacia 1921.
(Foto: Archivo Grupo Excursionista ADACAS)

en distintos trabajos de toda índole, ha demostrado fiabilidad y adaptabilidad a distintas condiciones ambientales y ha dado unos valores orientativos aceptables.

El empleo de herramientas del tipo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilita y disminuye el coste para la aplicación de modelos de predicción. Esta mejora se debe a la posibilidad de ser llevada a cabo por un solo técnico y a la optimización del número de muestreos necesarios, minimizando las salidas de campo.

El objetivo de este artículo es obtener una primera estimación de la erosión en la cuenca alta del río Isuela, en la zona del embalse de Arguis, mediante la aplicación de un SIG.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio es la cuenca vertiente al embalse de Arguis, en el municipio oscense del mismo nombre. Este embalse represa la cabecera del río Isuela, pequeño afluente del Flumen. La cuenca del río Isuela se suele subdividir en zona alta y baja, que limitan en Nueno, donde se modifica la morfología del río por el cambio de geología y la pendiente del terreno.

El Isuela nace en la sierra de Bonés. Dentro de la cuenca del embalse discurre un pequeño tramo como cauce superficial a través de la cubeta margaosa, con *badlands*, antes de alcanzar la cola del mismo. El embalse de Arguis, con más de 300 años de antigüedad, tiene su vaso en margas y la cerrada en calizas. El volumen máximo almacenable es del orden de 2,3 hm³ de agua (GRASA, 1997). Desde el pie del embalse (donde se acaba la zona de estudio), el río se encaja linealmente, a través del congosto fluviookárstico del Isuela, hasta Nueno. A partir de allí discurre con alguna sinuosidad por el piedemonte hasta su desembocadura en el Flumen, cerca del núcleo de Buñales.

La geología de la zona estudiada, siguiendo a PUIGDEFÁBREGAS (1975), se compone de cuatro tipos de materiales geológicos. En la base aparecen calizas del Eoceno, de la formación Guara. Sobre ellas, formando el vaso del pantano, margas grises del Eoceno, de la formación Arguis. Encima, margas y areniscas de la formación Belsué. A techo, areniscas continentales de la formación Campodarbe, que conforman la sierra de Bonés y el puerto del Monrepós.

Las características climáticas del área de estudio dan valores medios anuales del orden de los 800 milímetros de precipitación y 10 °C de temperatura. La vegetación se compone de quejigos en las zonas de solana y pinar de pino silvestre en la cara norte. En estas zonas, en especial en las de canchales, se llevaron a cabo repoblaciones hacia 1940. En la zona del pico del Águila quedan algunos pies de hayas aislados. El uso del territorio comprende algunos campos todavía en cultivo y otros muchos que estuvieron en producción hasta 1960, pinares de repoblación, algún bosque natural, antiguas zonas de pastoreo y *badlands*.

La cubeta de Arguis se encuentra comunicada de norte a sur mediante la A-23 (antigua N-330) y hacia el oeste por la carretera comarcal hacia Bentué de Rasal. La zona de estudio se define gráficamente en la figura 2. La cota más alta es de 1631,65 msnm y la más baja de 633,276 msnm. La coordenada UTM del centroide del polígono estudiado es X: 715000, Y: 4687500, Huso 30 (Datum ETRS89) – EPSG: 25830.

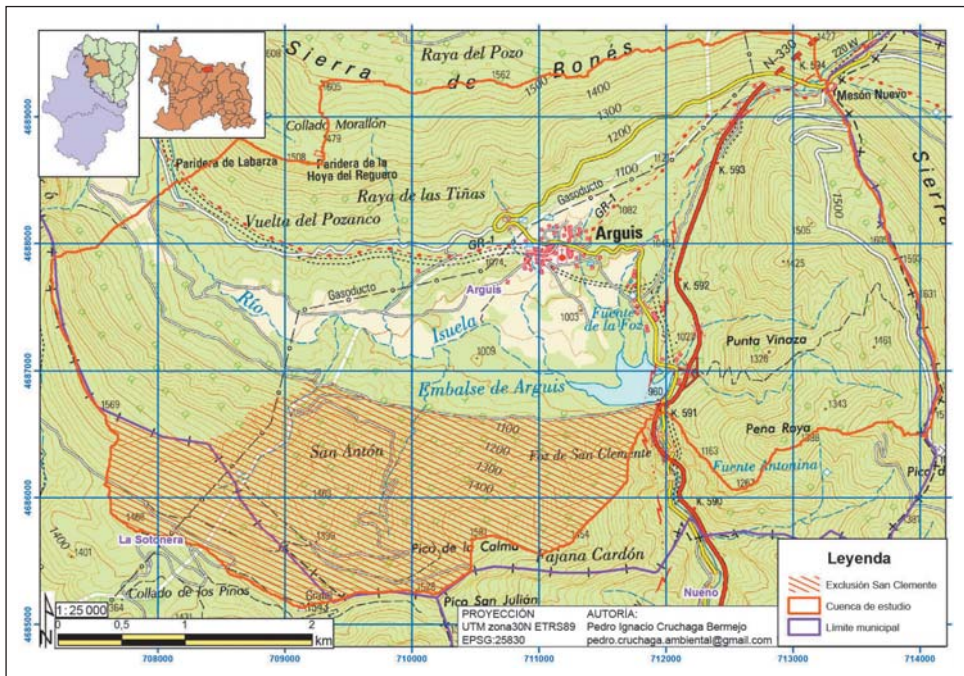


Fig. 2. Localización de la zona de estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Herramientas digitales

En este artículo se han empleado tres bases cartográficas. En primer lugar se ha utilizado el modelo digital del terreno (MDT), con un tamaño de pixel de 5 metros, generado en 2011 y ofrecido por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). La segunda base son las ortofotos de “máxima actualidad”, de julio de 2012, ofrecidas también por el IGN. Se han utilizado para las descargas las hojas del mapa topográfico nacional 1: 50 000 (MTN 50) números 209, 210, 247 y 248. La tercera base es la geología de Aragón, en formato vectorial, de la plataforma SITAR de la DGA. Todos estos productos se encontraban en la proyección estándar de este trabajo definida por el EPSG: 25830.

Estas bases se han manejado, para el análisis mediante SIG, con los programas arcGIS 10.1, Kosmo 3.0, Qgis 2.0.1 y arcSWAT 2012.10.1.14, y el conjunto de paquetes independientes Libreoffice 4.1.4.2.

En primer lugar se ha definido la zona de estudio. Para ello se ha realizado un análisis de la cuenca de Arguis, que se ha dividido en subcuencas, sirviéndonos de la herramienta arcSWAT (extensión del programa arcGIS) sobre el MDT del IGN. Con esta extensión se obtienen los cauces superficiales que vierten al embalse, las subcuencas y la cuenca vertiente, tomando como punto final de vertido el pie del embalse.

A esta zona inicial de estudio se le ha eliminado la parte de la cuenca de Arguis vertiente a la foz de San Clemente. Según GIMENO y CUCHÍ (1996), se trata de una zona de calizas muy karstificadas que drenan subterráneamente el paraje de las Calmas. Se le ha estimado en este trabajo una superficie de 480,271 hectáreas, que vierten directamente a la foz. Este drenaje kárstico hace despreciable el poco arrastre de materiales que se pueda dar en esta zona hacia el embalse, al ser mínima la escorrentía superficial.

La RUSLE

Se ha empleado el modelo matemático RUSLE, de predicción de pérdida de suelos, definido por Chris M. Mannaerts en 1999, según el texto de ANTEZANA (2001).

La RUSLE estima las pérdidas de suelo anuales (A) para una cuenca dada mediante la ecuación

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

R es la contribución del factor lluvia, K es la erosionabilidad del suelo, LS es el factor que relaciona la longitud de las laderas y su pendiente, C está relacionada con la cobertura vegetal y P indica el efecto de las actuaciones para controlar la erosión. La determinación de los distintos factores de cálculo que componen la ecuación RUSLE es un proceso complejo y específico para cada uno de ellos, que se resume a continuación.

El factor R es un factor de cálculo complicado, para el que se necesitan largas series de hietogramas. Al no haberse podido disponer de los mismos, R se ha obtenido a partir de los valores promedio que ofrece ICONA (1988). Para toda la cuenca de Arguis se ha aplicado un valor constante de 150. Este parámetro se podría definir con más exactitud a partir del análisis de datos de distintos pluviómetros que habría que colocar en el perímetro, dentro de la zona de estudio, en el embalse y a media ladera. Estos habrían de registrar los datos durante un mínimo de tres años. A partir de ellos se calcularía el valor R de cada uno, de acuerdo con la metodología presentada en ICONA (1988). Posteriormente, se extrapolarían estos valores a una capa *raster*, definiendo un valor para cada píxel de 5 metros en la zona de estudio.

Hay que reseñar que no existe un estudio de suelos para esta zona. Para definir los distintos valores de K se han estimado distintos tipos de suelo a partir del producto cartográfico ofrecido por la DGA para la geología de Aragón. Para cada uno de los tipos de material geológico en la zona se han definido, con criterio de experto, unos parámetros medios edafológicos que se presentan en la tabla 1. Luego, se define un valor de K para cada tipo de

Tabla 1. Propiedades físicas estimadas de los distintos suelos de la cuenca de Arguis empleadas para determinar su erosionabilidad (K).

<i>Roca</i>	<i>Textura</i>	<i>Limo + arena fina (%)</i>	<i>MO (%)</i>	<i>Arena gruesa (%)</i>	<i>Permeabilidad</i>	<i>Estructura</i>
Arenisca	Arenosa	60	1	5	4 (baja)	1
Marga	Arcillo-limosa	40	0,5	0,5	6 (muy baja)	4
Caliza	Franca	20	3	2	2 (alta)	3

Tabla II. Resultados estimados de erosionabilidad (K) tras la aplicación del nomograma ARS (1975).

<i>Tipos de suelo</i>	<i>Primera aproximación de K</i>	<i>K</i>
Arenisca	0,32	0,32
Marga	0,24	0,28
Caliza	0,03	0,05

suelo en un archivo vectorial, tras aplicar la nomografía para determinar el factor de erosionabilidad del suelo (K) según ARS (1975). El resultado final por tipos de suelo se muestra en la tabla II y, gráficamente, en la figura 3.

Para concluir, se definió para cada parcela con su tipo de suelo el valor de K obtenido en un archivo vectorial SIG. El resultado final se muestra en la figura 3. Se trata de valores aproximados. Evidentemente, sería bueno contar con un estudio de suelos detallado para esta zona.

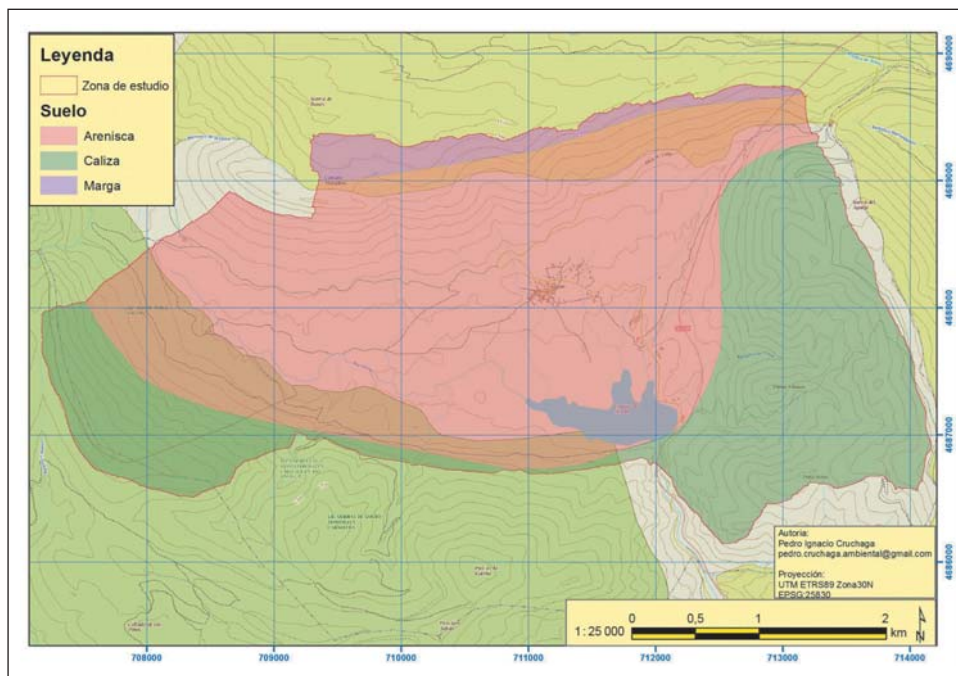


Fig. 3. Mapa de tipos de suelo en la zona de estudio, subdivididos en suelos sobre calizas, margas y areniscas.

Para calcular el valor de LS se necesita la longitud del recorrido máximo y la inclinación de la pendiente vencida. Para lograr esto se han dividido las subcuencas vertientes en 24 unidades de ladera, con el corte de estas zonas y los cauces superficiales que se presentan en la figura 4. Para la cuenca vertiente al inicio del cauce superficial se ha dividido esta siguiendo el cauce superficial, desde su nacimiento hasta el punto en la divisoria de menor cota. Una vez delimitadas las laderas vertientes, se ha definido para cada una de ellas el recorrido del agua desde el punto más elevado de la ladera hasta el cauce superficial estable vertiente. Este recorrido es el valor que se ha tomado como l . En los extremos de cada uno de estos recorridos se han definido los dos puntos e importado los valores de elevación de cada punto desde el MDT. Se exporta este valor máximo y mínimo de cota correspondiente a cada línea que define l . Conocidos el recorrido en metros y el desnivel salvado, se obtienen los dos datos necesarios para despejar el valor del factor LS mediante la ecuación

$$LS = (l / 72,6)^m \times S$$

Los valores de m y S se calculan mediante las ecuaciones

$$m = 0,1342 \times \log \text{ neper } (P) + 0,192$$

$$S = 10,8 \times \text{sen}A + 0,03, \text{ cuando } P < 9\%$$

$$S = 16,8 \times \text{sen}A - 0,5, \text{ cuando } P \geq 9\%$$

Para todas estas fórmulas, l es el recorrido (m) del agua desde el punto más elevado de la ladera hasta el cauce superficial estable vertiente, P es la inclinación en % (adimensional) y A es el ángulo del recorrido en grados. Los resultados se presentan en la figura 4, donde se han definido 24 unidades que aparecen con coloración individual.

Para obtener el valor de C se ha definido una zonificación de usos del suelo mediante fotointerpretación de las ortofotos del IGN. Para cada una de ellas se ha asignado un valor de C según ICONA (1988) y ANTEZANA (2001). Las unidades de usos del suelo y valores asignados de C se presentan en la tabla III.

Para la determinación del valor de P se consideró que la única intervención de prevención de erosión existente en la zona son algunos cultivos en bancales, que pueden datar desde el siglo XVII hasta principios del siglo pasado. Aunque están en un proceso de degradación, a estas zonas se ha asignado

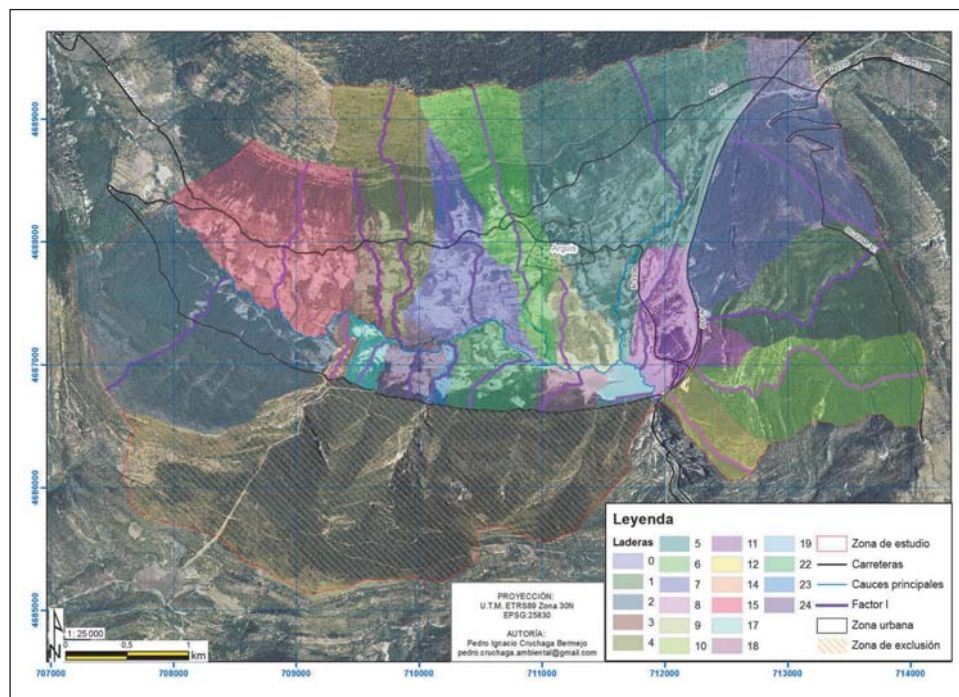


Fig. 4. Mapa de laderas en la cuenca del embalse de Arguis.

Tabla III. Unidades de usos del suelo y valor de C (cobertura vegetal) para la cuenca de Arguis.

Unidad	Descripción	Valor C
Marga	Afloramientos de margas grises	0,45
Roca	Afloramientos de roca viva	0,45
Canchal	Canchales o gleras	0,45
Bosque	Comunidades silvícolas	0,03
Arbusto	Comunidades arbustivas	0,13
Campo abandonado	Antiguos campos de labor claramente abandonados	0,2
Campo	Campos de labor en activo	0,46
Agua	Superficie ocupada por agua, lámina del embalse	0
Urbano	Zona urbana o edificada	0
Perturbación antrópica	Zona de perturbaciones antrópicas: carreteras, taludes, desmontes...	0

un valor de 0,3. Para el resto de las zonas se asignó el valor 1, que indica que no hay ninguna intervención siguiendo la normativa de ICONA (1988).

Para obtener el valor final de la RUSLE se ha realizado un geoproceto de intersección entre las distintas capas de polígonos que contenían los diferentes valores, y en esta capa final se ha realizado el cálculo del valor A mediante la multiplicación de los distintos valores de cada una de las componentes del modelo.

Para concluir, combinando los valores de las diversas unidades se ha obtenido A, la degradación potencial anual en tm/ha, y se ha realizado un análisis estadístico descriptivo básico de los valores obtenidos por el SIG.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La superficie inicial que se ha de estudiar, tras el análisis de cuencas vertientes, es de 2112,875 hectáreas. De esta superficie inicial se ha excluido la zona kárstica, vertiente subterráneamente a la foz de San Clemente, y se considera inapreciable el arrastre de materiales hasta el embalse. La superficie de trabajo donde se aplica el modelo, tras la exclusión de esta zona, es de 1632,604 hectáreas.

Los resultados obtenidos al analizar los datos del modelo RUSLE, según los usos del suelo, se muestran en la tabla IV. Para cada una de las áreas definidas se presentan los valores de los diversos componentes de la RUSLE, más el correspondiente valor de A en tm/ha/año. Para cada una de las unidades se ofrecen los valores medio, máximo y mínimo, varianza y desviación específica.

Los valores obtenidos son valores estimados, por lo que deben ser tomados con todas las precauciones. Desde luego sería más que interesante realizar una validación de resultados a partir de trabajo de campo. Los valores más altos se dan para las áreas de margas y campos, algo esperable. Los valores correspondientes a los afloramientos de roca carecen de sentido. Son afloramientos muy reducidos, pero escarpados. Y, evidentemente, no hay suelo sobre ellos.

Los datos que presenta la tabla I permiten establecer un primer valor sobre la masa de sedimentos teórica que se está desplazando hacia el

Tabla iv. Resultados medios de los valores de la RUSLE por usos del suelo para la cuenca de Arguis.

		Área (m ²)	C	P	K	LS	R	A (tm/ha/año)
<i>Agua</i>	Suma	353 236,971						
	Media	32 112,452	0,000	1,000	0,246	23,477	150,000	0,000
	Mínimo	62,368	0,000	1,000	0,050	2,756	150,000	0,000
	Máximo	82 621,198	0,000	1,000	0,320	75,297	150,000	0,000
	Varianza	947 408 828,269	0,000	0,000	0,014	852,807	0,000	0,000
	Desviación específica	30 780,007	0,000	0,000	0,120	29,203	0,000	0,000
<i>Arbusto</i>	Suma	4 600 249,758						
	Media	28 396,603	0,130	0,987	0,296	61,676	150,000	352,164
	Mínimo	0,001	0,130	0,300	0,050	3,481	150,000	3,394
	Máximo	693 571,258	0,130	1,000	0,320	84,871	150,000	529,593
	Varianza	7 314 597 864,244	0,000	0,009	0,006	593,850	0,000	29 569,454
	Desviación específica	85 525,422	0,000	0,094	0,076	24,369	0,000	171,958
<i>Bosque</i>	Suma	7 937 078,631						
	Media	81 825,553	0,030	1,000	0,189	53,985	150,000	43,872
	Mínimo	0,013	0,030	1,000	0,050	2,756	150,000	0,620
	Máximo	1 049 564,166	0,030	1,000	0,320	84,871	150,000	122,214
	Varianza	31 546 015 567,901	0,000	0,000	0,018	930,721	0,000	1988,414
	Desviación específica	177 611,980	0,000	0,000	0,135	30,508	0,000	44,592
<i>Campo</i>	Suma	798 861,912						
	Media	25 769,739	0,460	0,797	0,320	63,049	150,000	1131,737
	Mínimo	0,013	0,460	0,300	0,320	3,579	150,000	79,027
	Máximo	167 097,482	0,460	1,000	0,320	84,871	150,000	1873,943
	Varianza	1 811 803 608,971	0,000	0,101	0,000	471,311	0,000	429 941,643
	Desviación específica	42 565,286	0,000	0,318	0,000	21,710	0,000	655,699
<i>Campo abandonado</i>	Suma	287 097,419						
	Media	8444,042	0,200	0,876	0,288	63,483	150,000	449,690
	Mínimo	0,001	0,200	0,300	0,050	3,579	150,000	34,360
	Máximo	47 372,404	0,200	1,000	0,320	84,871	150,000	814,758
	Varianza	102 696 266,278	0,000	0,071	0,008	560,776	0,000	78 926,617
	Desviación específica	10 133,917	0,000	0,267	0,087	23,681	0,000	280,939

Tabla iv. (continuación)

		Área (m ²)	C	P	K	LS	R	A (tm/ha/año)
<i>Canchal</i>	Suma	38 486,309						
	Media	5498,044	0,450	1,000	0,127	74,164	150,000	655,574
	Mínimo	732,406	0,450	1,000	0,050	65,565	150,000	221,282
	Máximo	13 318,507	0,450	1,000	0,320	80,520	150,000	1681,129
	Varianza	13 678 745,401	0,000	0,000	0,015	36,187	0,000	421 056,102
	Desviación específica	3698,479	0,000	0,000	0,122	6,016	0,000	648,888
<i>Marga</i>	Suma	1 575 460,985						
	Media	10 503,073	0,450	0,986	0,307	58,662	150,000	1226,129
	Mínimo	0,119	0,450	0,300	0,050	3,481	150,000	29,105
	Máximo	136 632,944	0,450	1,000	0,320	84,871	150,000	1833,205
	Varianza	361 104 514,161	0,000	0,010	0,003	796,366	0,000	404 969,223
	Desviación específica	19 002,750	0,000	0,098	0,057	28,220	0,000	636,372
<i>Perturbación antrópica</i>	Suma	391 660,585						
	Mínimo	0,041	0,000	1,000	0,050	3,481	150,000	0,000
	Máximo	117 002,207	0,000	1,000	0,320	84,871	150,000	0,000
	Varianza	447 655 090,882	0,000	0,000	0,009	671,888	0,000	0,000
	Desviación específica	21 157,861	0,000	0,000	0,094	25,921	0,000	0,000
<i>Roca</i>	Suma	156 378,931						
	Media	12 029,149	0,450	1,000	0,278	72,132	150,000	1333,966
	Mínimo	1571,848	0,450	1,000	0,050	62,227	150,000	269,720
	Máximo	60 058,572	0,450	1,000	0,320	79,917	150,000	1681,129
	Varianza	213 506 336,217	0,000	0,000	0,009	44,446	0,000	221 525,890
	Desviación específica	14 611,856	0,000	0,000	0,097	6,667	0,000	470,665
<i>Urbano</i>	Suma	187 532,966						
	Media	8930,141	0,000	1,000	0,269	31,730	150,000	0,000
	Mínimo	126,882	0,000	1,000	0,050	2,756	150,000	0,000
	Máximo	49 706,475	0,000	1,000	0,320	75,297	150,000	0,000
	Varianza	266 238 525,748	0,000	0,000	0,011	1110,548	0,000	0,000
	Desviación específica	16 316,817	0,000	0,000	0,106	33,325	0,000	0,000

embalse. Es evidente que no todo este material se quedará en su vaso, dado que se hacen purgas de fangos durante el otoño. Sin embargo, existe una reducción de volumen embalsable. La Confederación Hidrográfica del Ebro ofrece un valor de 2,7 hm³, mientras que el ya mencionado trabajo de GRASA (1997) registra un volumen menor.

Los resultados del análisis, agrupados según el tipo de suelo, se muestran en la tabla v.

Los datos obtenidos ofrecen una interpretación del uso del territorio realizado por los distintos gestores que han intervenido en esta zona. La figura 5 presenta la distribución espacial y los usos del suelo en la cuenca del embalse de Arguis.

Tabla v. Resultados de la RUSLE, agrupados según los tipos de suelo, en la cuenca de Arguis.

		Área (m ²)	C	P	K	LS	R	A (tm/ha/año)
<i>Marga</i>	Suma	628 027,088	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Media	157 006,772	0,130	1,000	0,280	70,781	150,000	386,464
	Mínimo	42 901,711	0,130	1,000	0,280	62,227	150,000	339,761
	Máximo	229 046,078	0,130	1,000	0,280	75,297	150,000	411,121
	Varianza	5 079 450 385,672	0,000	0,000	0,000	25,816	0,000	769,624
	Desviación específica	71 270,263	0,000	0,000	0,000	5,081	0,000	27,742
<i>Caliza</i>	Suma	5 539 792,572	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Media	60 215,137	0,112	1,000	0,050	52,744	150,000	44,735
	Mínimo	0,897	0,000	1,000	0,050	2,756	150,000	0,000
	Máximo	1 049 564,166	0,450	1,000	0,050	84,871	150,000	271,755
	Varianza	25 887 550 118,028	0,023	0,000	0,000	948,577	0,000	5053,706
	Desviación específica	160 896,085	0,152	0,000	0,000	30,799	0,000	71,089
<i>Arenisca</i>	Suma	10 158 224,807	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Media	21 476,162	0,234	0,969	0,320	59,250	150,000	659,340
	Mínimo	0,001	0,000	0,300	0,320	2,756	150,000	0,000
	Máximo	799 281,071	0,460	1,000	0,320	84,871	150,000	1873,943
	Varianza	4 614 993 634,614	0,034	0,021	0,000	737,592	0,000	421 141,898
	Desviación específica	67 933,744	0,184	0,144	0,000	27,159	0,000	648,954

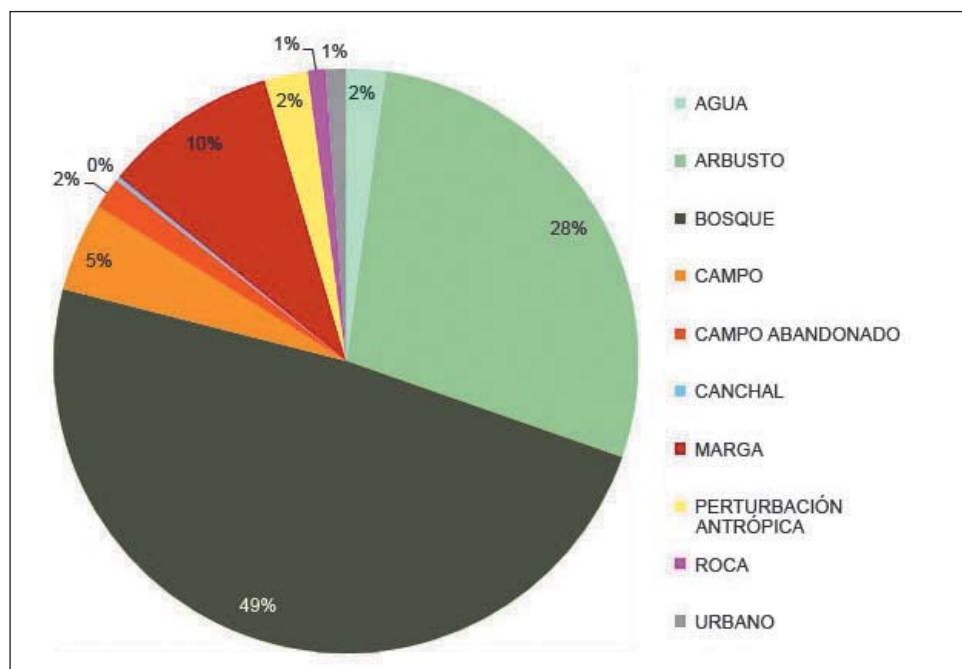


Fig. 5. Usos del suelo en la cuenca del embalse de Arguis.

En la actualidad el uso mayoritario es el forestal, y en segundo lugar está el arbustivo. Estos dos tipos suman el 77% de la superficie estudiada, frente a un escaso 5% de la superficie empleada para cultivos. La superficie cultivada, apreciable en las fotografías aéreas de 1956, se ha reducido al mínimo. De hecho, solo hay un habitante del municipio de Arguis afiliado a la Seguridad Social en actividad agrícola a fecha de 2013 (IAEST, 2014). Este escaso porcentaje de uso también podría ser consecuencia de la escasa calidad de los suelos y los problemas de erosión en las parcelas. Esto se apoya en el dato de que un 2% de la superficie total son campos abandonados, que se distribuyen a los pies de las laderas, o bien antiguos cultivos a media ladera, dispuestos en terrazas.

Destaca la gran representatividad en superficie que presentan las margas, con cerca de un 10% de la superficie. En la cartografía generada se observa que estas se distribuyen mayoritariamente a los pies de ladera, entre las zonas arbustivas e intercaladas en el fondo de valle, así como entre las zonas en cultivo.

Como se puede observar en la figura 6, los datos de erosionabilidad de los terrenos, obtenidos del modelo y agrupados por usos del suelo, indican que las zonas más erosionables son los campos, las margas y los afloramientos rocosos. Por el contrario, bosques y arbustos presentan los valores mínimos. Al combinar estos resultados con los porcentajes de usos del suelo, como se muestra en la figura 5, se observa que las zonas más exportadoras son las margas desnudas y los campos, pues estos dos usos del suelo presentan un alto grado de erosionabilidad y una gran representatividad en la zona de estudio.

Las margas, bien desnudas y con *badlands*, bien cultivadas, constituyen la litología más fácilmente erosionable, con independencia de los otros factores que les pueden afectar. Por otro lado, las zonas con suelos de arenisca presentan una mayor variabilidad. Esto se debe a que en los suelos sobre arenisca los factores determinantes están relacionados con la cobertura vegetal, con las medidas de control de la erosión y con el relieve (factores C, P y LS, respectivamente), y no exclusivamente con el tipo de suelo.

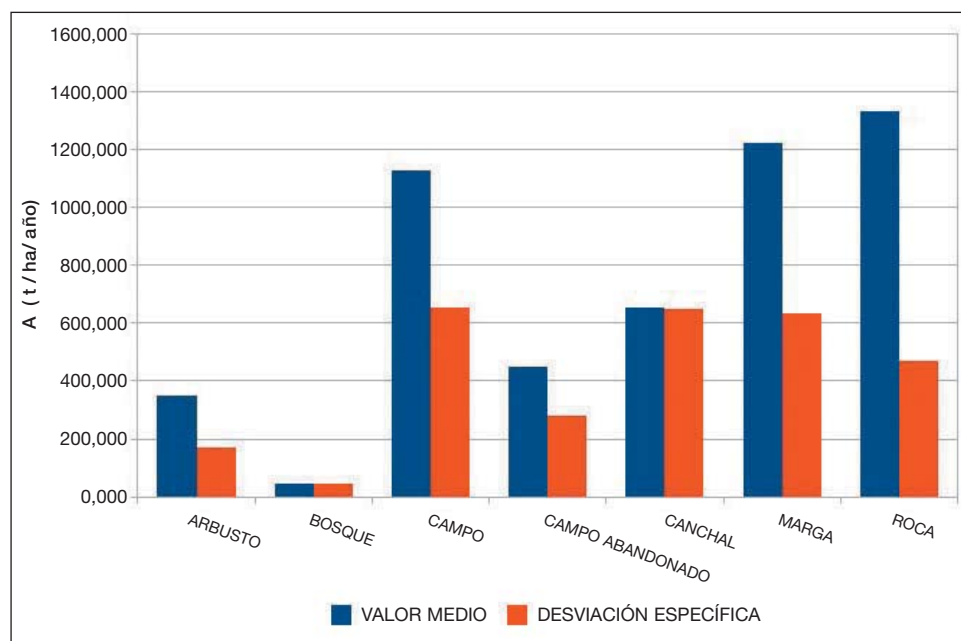


Fig. 6. Valores estimados de A según los usos del suelo para la cuenca del embalse de Arguis.

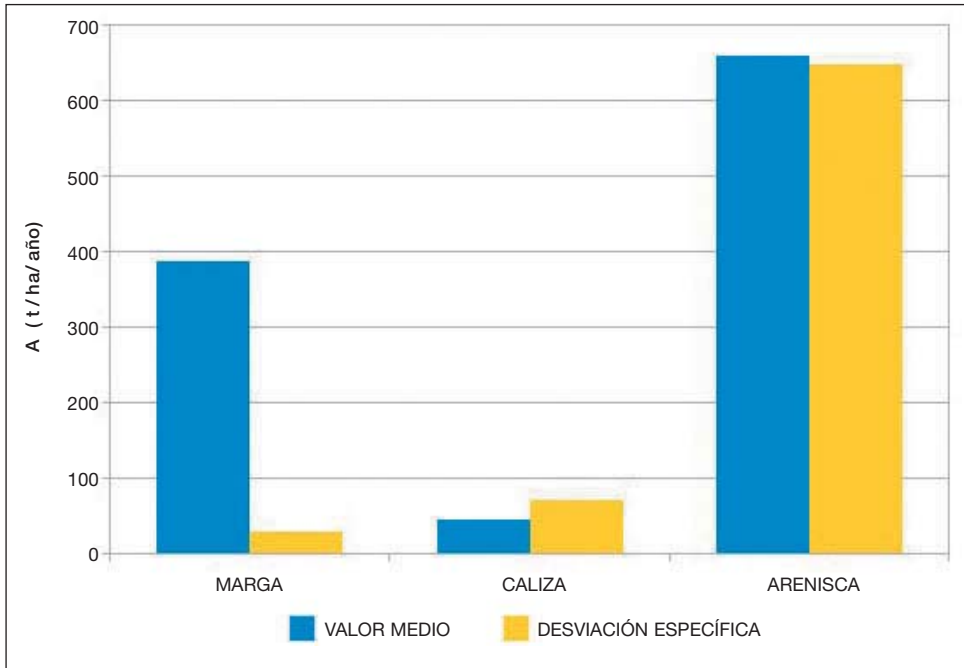


Fig. 7. Valores de A según los tipos de suelo para la cuenca del embalse de Arguis.

Por suelos, según el presente estudio, los más erosionables son los situados sobre areniscas, como muestra la figura 7. Así pues, en principio, es en las zonas con suelos sobre margas y en las zonas con suelo de arenisca y uso agrario donde se deberían centrar las posibles actuaciones y medidas de gestión a fin de reducir su erosionabilidad y, con ello, minimizar el aporte de materiales que colmata el embalse.

La combinación de los resultados de la RUSLE se presenta cartográficamente en la figura 8, donde se observa su distribución y las zonas definidas como sensibles (uso agrario o de marga, situadas encima de arenisca), localizadas en los pies de ladera y en el fondo de valle, orientadas hacia el sur. Esta distribución se ajusta a las zonas de mayor exposición solar, aprovechadas tradicionalmente para el uso agrario por su mayor productividad. Estas zonas son más fácilmente mecanizables para su explotación por su proximidad al pueblo, con buenos accesos y desniveles suaves. Sin embargo, se encuentran prácticamente abandonadas en su totalidad. Puede ser

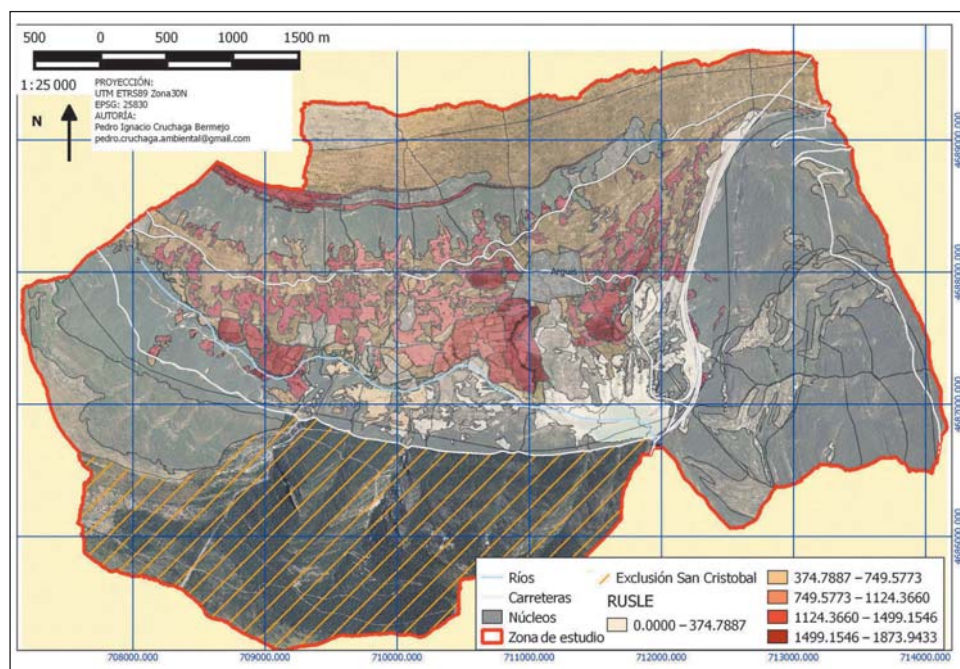


Fig. 8. Resultados del modelo RUSLE en la zona de estudio.

una cuestión de sequedad edáfica. Por el contrario, las zonas repobladas o con bosque natural presentan los menores valores de erosión.

A partir del análisis realizado, se observa que las áreas de alto riesgo de erosión carecen, además, de medidas de gestión para el control de la erosión. Por ello, sería recomendable acometer una mejora en la cubierta vegetal mediante técnicas de restauración ambiental e implementar medidas de control de la erosión.

CONCLUSIONES

La cuenca del embalse de Arguis es una interesante zona de estudio para evaluar la aplicación de modelos de erosión. Es necesario resaltar la ausencia de valores reales para las variables R (efecto de la pluviometría) y K (factores del suelo).

Este artículo es un trabajo preliminar y sus resultados son meramente estimativos. Las zonas con mayor índice de erosión en la cuenca de estudio

se corresponden con las margas y cultivos situados sobre suelo de tipo arenisca. Estas zonas se distribuyen en el fondo de valle y a los pies de ladera, zonas con una pendiente moderada. Las zonas de bosque sobre calizas son las áreas menos sensibles a la erosión.

Es evidente que sería necesario disponer de estudios climatológicos y edafológicos adecuados. Un estudio específico interesante sería la evaluación de la velocidad de alteración de la marga del propio vaso del embalse. Hay que señalar, también, la carencia de estudios de validación que permitan corroborar los valores obtenidos.

Por último, sería recomendable mejorar la cubierta vegetal y controlar la erosión.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la ayuda de José Antonio Cuchí, profesor de la Escuela Politécnica Superior de Huesca. Y, por otro lado, la colaboración de diversos amigos y familiares en la corrección de este texto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTEZANA, J. C. (2001). *Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo revisado RUSLE en sistemas de producción agrícola de la cuenca Taquiña*. Tesis de maestría profesional en Levantamiento de recursos hídricos (manejo y conservación de cuencas). Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS).
- GIMENO, Y., y J. A. CUCHÍ (1996). El karst de la cuenca alta del río Isuela (Prepirineo, Huesca). En *Actas del Congreso sobre Recursos Hídricos en Regiones Kársticas*: 145-156. Vitoria.
- GRASA, R. (1997). *Estudio hidrológico de la cuenca del embalse de Arguis*. Proyecto fin de carrera de ingeniero técnico en Explotaciones agropecuarias. EPS. Huesca.
- IAEST (2014). Ficha territorial por municipios: Arguis. Disponible en <http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasGenericas/ci.EstadisticaLocal.detalleDepartamento> [consulta: 21/4/2014].
- ICONA (1988). *Agresividad de la lluvia en España: valores del factor R de la ecuación universal de pérdida de suelos*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- PUIGDEFÁBREGAS, C. (1975). *La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca*. IEP. Jaca. 118 pp.

EL EDIFICIO TOBÁCEO DE ISARRE (SANTOLARIA LA MAYOR, HUESCA)

José Antonio CUCHÍ¹
José Luis VILLARROEL¹
Rafael DOMINGO²
Lourdes MONTES²
Carlota OLIVÁN³

RESUMEN.— Este artículo describe sucintamente algunas características de la toba asociada con la fuente de Isarre, situada en el barranco de Vadiello, pequeño afluente del Guatizalema. La toba corta el curso del barranco de Vadiello y presenta algunos restos arqueológicos englobados en su masa.

ABSTRACT.— The present paper presents briefly some characteristics of the tufa deposits associated to the spring of Isarre, located in the Vadiello Creek, small affluent of Guatizalema River. The tufa deposit cuts off the Vadiello Creek. Some archaeological remains are present inside the tufa body.

KEY WORDS.— Travertine, karst, Isarre, Vadiello, Huesca (Spain).

¹ Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles (GTE). Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio I+D+i. Universidad de Zaragoza. C/ Mariano Esquillor, s/n. E-50018 ZARAGOZA. cuchi@unizar.es, jlvilla@unizar.es

² Área de Prehistoria. Facultad de Ciencias Humanas y de la Educación. Universidad de Zaragoza. Pza. de la Constitución, s/n. E-22001 HUESCA. rdomingo@unizar.es, lmontes@unizar.es

³ carlotaoliván@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Un rasgo frecuente en los sistemas kársticos es la formación de depósitos de tobas carbonatadas en las surgencias, consecuencia de la reprecipitación de carbonato cálcico cuando el agua subterránea surge al exterior. Este proceso se asocia habitualmente con el calentamiento del agua y el crecimiento de vegetales, los cuales quedan englobados en la masa, dejando improntas y huecos característicos. Como la tasa de crecimiento de las tobas está asociada con la actividad kárstica, y esta con el clima, con una clara relación directa entre agua, clima y vegetación, el estudio de edificios tobáceos fósiles ha cobrado interés por la información que ofrecen para el análisis de las modificaciones climáticas en el pasado.

Las tobas son frecuentes en el arco calizo mediterráneo, con espectaculares y conocidos ejemplos en el Parque Nacional de Plitvice, en Croacia, y el de Pamukkale, en Turquía. En el Mediterráneo español han sido estudiadas por diversos autores. A modo de ejemplo se pueden citar DURÁN y cols.



Fig. 1. Edificio tobáceo en Santa Elena (Biescas).

(1988) y RODRIGO y SENCIALES (2012), en las sierras de Málaga; ORDÓÑEZ y GARCÍA DEL CURA (1997), en las Lagunas de Ruidera, y GARCÍA DEL CURA y cols. (1997), en Alcaraz. En Aragón la mayor parte de los trabajos corresponden a la Cordillera Ibérica, como por ejemplo SANCHO y cols. (1994, 1997) y RUBIO (2002). En el Alto Aragón hay también bonitos e interesantes ejemplos de edificios tobáceos, como el de Santa Elena de Biescas (fig. 1). Pero no han sido estudiados, salvo el asociado con la fuente del Molar, en Camporrells, por SANCHO (1988).

Las Sierras Exteriores prepirenaicas, básicamente formadas por materiales calizos, presentan edificios tobáceos de interés, como son el de la ermita de la Virgen de los Ríos (Rasal) y los existentes en los cañones de Calcón, Cienfuens, Formiga, Fornocal y Alcanadre. Para contribuir al conocimiento de este tipo de depósitos, el objetivo de este artículo es presentar unos primeros datos sobre el manantial de Isarre y la toba asociada en el valle de Vadiello, término municipal de Loporzano, en el Alto Aragón.

ZONA DE ESTUDIO

El barranco de Vadiello o Isarre es un pequeño valle, de ahí su nombre, por el que circula un modesto afluente que desemboca en el río Guatizalema por la derecha, aguas abajo de la presa de Vadiello (fig. 2). El cauce mayor tiene una longitud de 3360 metros hasta la desembocadura. La superficie total, 6,3 km², está hoy prácticamente cubierta por un pinar, repoblado en la década de 1960. En el pasado el valle albergó la desaparecida población de Isarre. En sus campos, hasta la repoblación forestal, se mantuvieron algunos huertos cultivados por vecinos de Santolaria la Mayor.

Geológicamente, el valle es complejo. La ladera norte del valle y parte de la cabecera están formadas por conglomerados del Oligoceno. En el fondo afloran arcillas y yesos del Triásico superior, mientras que la ladera sur ofrece calcarenitas y calizas del Cretácico superior y del Eoceno. Varios cabalgamientos afectan al Triásico al oeste y por el centro del valle (MILLÁN, 2006; MONTES, 2009). Por ello, el valle presenta una clara disimetría morfológica transversal debido a las diferencias litológicas. Los conglomerados muestran un relieve enérgico, con importantes paredes verticales y típicos mallos, como los Pepes. Por el contrario, las laderas en calizas son mucho más suaves y con abundantes canchales de gelifracción.

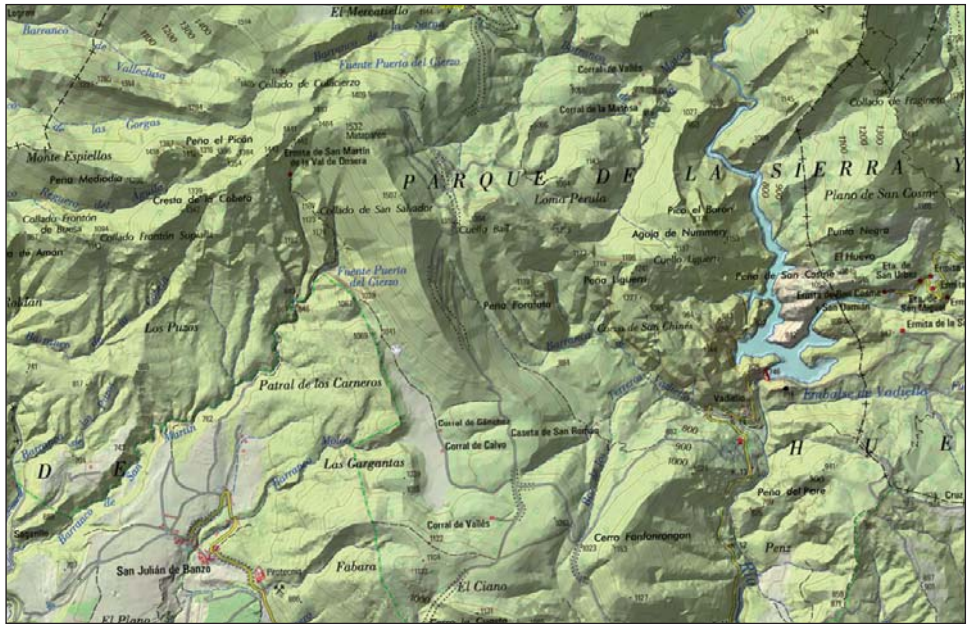


Fig. 2. Marco topográfico del barranco de Vadiello. (IBERPIX. Instituto Geográfico Nacional).

La cabecera está dividida en tres subcuencas paralelas. La septentrional, que nace al pie de los Pepes (cota 1226), está muy encajada y se abre íntegramente en conglomerados. La cabecera intermedia, el barranco de Cueva Foradada, nace en las inmediaciones de Cuello Bail y también se abre en estos materiales. Su tramo inicial está muy poco incidido. Queda colgado y se desploma en una espectacular cascada temporal en las inmediaciones de la ermita de San Chinés. La tercera cabecera, que también nace cerca de Cuello Bail, tiene una sección asimétrica y una trayectoria en arco entre conglomerados y calizas, para unirse a los otros dos barrancos cabeceros cerca de la ya mencionada ermita rupestre.

Desde San Chinés el barranco lleva una clara trayectoria lineal, NW-SE, por el pie de los mallos de Ligüerre hasta su desembocadura. Recibe algunos pequeños barrancos desde la orilla norte, que se despeñan en Lazas y Escomentué (SALAMERO, 2002). Por el sur, desde cerro Fanfarongan, se encuentra el barranco de los Terreros, su afluente más extenso, que llega aguas abajo de San Chinés. En su parte final se halla la toba objeto de este estudio. El barranco principal de Vadiello solo lleva agua en su zona superior

durante el invierno y en épocas de lluvia. Suele estar seco en sus cabeceras en verano. Entonces recoge agua de la fuente de Isarre, de la que se conocen dos aforos: 14,19 litros/segundo (23 de septiembre de 2011) y 14,06 litros/segundo (13 de octubre de 2011), realizados mediante el método de dilución por Antonio Azcón y Carlota Oliván.

EL MANANTIAL DE ISARRE

El manantial de Isarre, también conocido como de *Ligüerri* o *Ligüerre*, y es posible que en algún estudio se le llame *Escomentué*, es el punto de agua más importante del valle de Vadiello, al que se accede por una pista forestal desde las cercanías del embalse del mismo nombre y por el denominado *Camino Natural*. Es un humedal cubierto de carrizos donde se han realizado varias obras de captación. Entre ellas está la actual toma de agua, provista de un pequeño cercado, para uso de la casa de administración del embalse de Vadiello, de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) (fig. 3). Hay también una balsa de extinción de incendios y una antigua toma de agua, hoy en desuso (fig. 4a).



Fig. 3. Manantial de captación para la casa de administración de la Confederación Hidrográfica del Ebro.



Fig. 4a. Vertedero en el arroyo de Isarre.

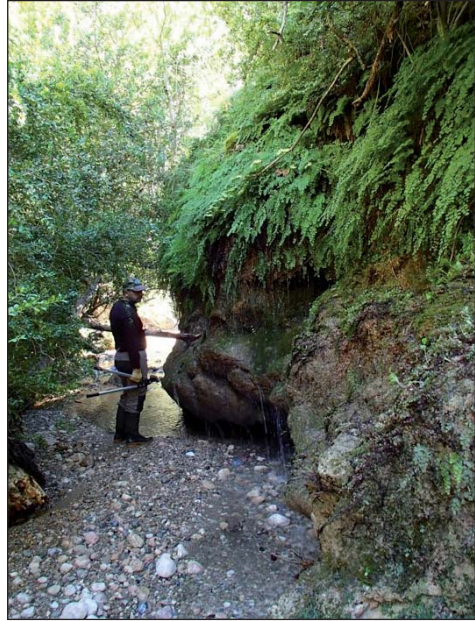


Fig. 4b. Confluencia con el barranco de Vadiello.

El agua aflora en la zona de carrizos formando un pequeño arroyo que se encaja en su tramo final a partir de la antigua toma. Muy cubierta la parte final por abundante vegetación, el agua cae al barranco de Vadiello de forma difusa a través de una zona de crecimiento activo de toba (fig. 4b).

Las aguas del manantial fueron muestreadas con motivo de la tesis doctoral de Carlota Oliván, entre 2009 y 2011. Conductividad eléctrica (CE), temperatura (t), pH y alcalinidad se determinaron en campo. Las muestras se analizaron en el laboratorio del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Los resultados se presentan en la tabla I. Los datos muestran un agua de tipo bicarbonatado cálcico magnésica. Se ha aplicado el programa WATEQF del U. S. Geological Survey a los parámetros de la tabla I, junto con los datos de temperatura y pH de campo. Los resultados, que se presentan en la tabla II, indican una insaturación general de las aguas en diferentes minerales con índices de saturación (SI) inferiores a la unidad. La excepción son el aragonito, la calcita, la dolomita y la magnesita, cuya sobresaturación, $SI > 0$, es coherente con la presencia de la toba que se describe sucintamente en el siguiente apartado.

Tabla I. Datos de calidad química de la fuente de Isarre (OLIVÁN, 2013).

<i>Fecha de muestreo</i>	<i>23/8/2011</i>	<i>26/8/2010</i>	<i>31/8/2009</i>
DQO mg/l	0,70	0,5	0,5
Alcalinidad mg/l	222,0	244,0	329,4
SO ₄ ²⁺ mg/l	114,20	37,85	38,44
Cl ⁻ mg/l	47,87	4,36	4,55
NO ₃ ⁻ mg/l	1,58	1,54	1,23
Na ⁺ mg/l	35,34	3,95	4,29
K ⁺ mg/l	2,16	0,60	0,68
Ca ²⁺ mg/l	82,00	56,00	48,11
Mg ²⁺ mg/l	25,00	27,00	25,00
SiO ₂ mg/l	5,90	5,70	8,20
CO ₂ mg/l	1,10	9,90	9,90
TOC mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5
RS 180° mg/l	445,2	335,0	261,8
CE laboratorio μS/cm 25 °C	647	464	375
CE campo μS/cm 25 °C	657	503	728
pH laboratorio	7,91	7,66	7,67
pH campo	8,09	7,31	7,41
Temperatura campo	16,8	16,0	15,8

Tabla II. Resultados de la aplicación del programa WATEQF a aguas del manantial de Isarre.

<i>Fecha de muestreo</i>	<i>23/8/2011</i>	<i>26/8/2010</i>	<i>31/8/2009</i>
SI del aragonito	0,548	-0,302	-0,147
SI de la calcita	0,698	-0,152	0,003
SI de la dolomita	1,128	-0,392	-0,052
SI de la magnesita	0,086	-0,581	-0,395

Sorprenden un poco los datos y la variación de conductividad eléctrica de Isarre, superiores a los del cercano manantial de Fuenmayor. La temperatura es también más alta, dado que Fuenmayor presenta una temperatura media próxima a los 12 °C (CUCHÍ y cols., 2002; VILLARROEL y CUCHÍ, 2004). Por ese motivo, el 16 de octubre de 2013 se realizó un estudio de campo que ha mostrado una cierta complejidad en los tipos de agua. La

fuelle de la casa de la CHE (fig. 3) presenta una CE de 542 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25 °C y una temperatura de 14 °C. El agua en el vertedero de la figura 4a daba una CE de 783 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25 °C y una temperatura de 14,3 °C. Para el agua en la balsa de incendios, CE = 387 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25 °C y $t = 15,3$ °C. Dos regueros de agua en el carrizal presentaron respectivamente 392 y 545 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25 °C y 13,5 y 13,9 °C.

Estos datos sugieren el afloramiento de varios tipos de agua, relacionados seguramente con la complejidad geológica y estructural del lugar que ha pueste en contacto, de forma alternativa, los materiales permeables de las calizas y dolomías de la formación Pont de Suert (facies Muschelkalk – Triásico) con las arcillas y yesos de la facies Keuper (Triásico). Por este motivo, y con los conocimientos actuales, es difícil por ahora asignar área o áreas de captación al acuífero o acuíferos que afloran en Isarre. Sería razonable realizar un estudio más detallado.

LA TOBA DE ISARRE

Como se muestra en la figura 4b, el manantial está asociado con un edificio tobáceo de gran tamaño que no es fácil dimensionar por la espesa vegetación y las dificultades de acceso. Por fotografía aérea se puede estimar una superficie cercana a las 3,5 hectáreas. El espesor máximo, en observación del flanco este desde el Camino Natural, es del orden de 50 metros (fig. 5). La toba corta transversalmente el barranco de Vadiello, represándolo. Al finalizar la toba, aparece un escalón característico en el cauce.

La toba presenta diversas facies. Es inobservable en la zona de repoblación y en los antiguos campos. Es una toba activa en facies de musgos en la llegada difusa de aguas de la fuente al barranco (fig. 4b). Sin embargo, en general, parece que la toba es fósil, pero sus frentes son de difícil acceso y están recubiertos también de vegetación espinosa y hiedras. El único punto accesible encontrado, con uso de cuerdas en la zona inferior, se halla en el vértice noreste, sobre el cauce actual y por la derecha del segmento rojo de la figura 5. En la zona alta la toba muestra grandes oquedades, tipo tallos gruesos (fig. 6). A unos 16 metros bajo la superficie superior aparece un nivel terrígeno de 1 metro de potencia (fig. 7). Presenta pequeños cantos de toba, caracoles e incluso un nivel ceniciento, de unos 10 centímetros, con carbones y cerámica. Esta tiene aspecto de la propia de la Edad del



Fig. 5. Toba fósil desde el Camino Natural de Vadiello hacia el oeste.
El segmento rojo marca un espesor próximo a los 50 metros.



Fig. 6. Toba fósil de tallos gruesos, en la zona alta de la parte final este.



Fig. 7. Nivel terrígeno, con ceniza y restos cerámicos, en la zona alta de la parte final este.

Bronce. Su presencia dataría esta parte del depósito en una antigüedad máxima de 4000 años. Suponiendo un proceso homogéneo, esto corresponde a una formación de toba de 0,4 metros por siglo.

En el entorno más inmediato se conocen restos de esta época en la vecina cueva de los Murciélagos, donde la datación de un húmero humano en 3210 ± 30 BP confirmó anteriores citas que atribuían a la Edad del Bronce algunos restos cerámicos quizás procedentes de su desmantelado depósito funerario (MONTES y cols., 2004). Hasta ahora, es el único yacimiento de la Edad del Bronce confirmado en la zona, al margen de las cerámicas recuperadas hace años en las cuevas de la Reina, hoy sumergidas bajo el embalse de Vadiello. Sondeos realizados en el gran abrigo que acoge la mencionada ermita de San Chinés y en el llamado *abrigo de la Toma del Agua*, a orillas del Guatizalema, han resultado infructuosos (MONTES y cols., 2003 y 2004).

Como ya se ha señalado, la toba ha cortado y represado parcialmente el barranco de Vadiello, produciendo el salto final. Aparentemente existe algún tipo de equilibrio entre su crecimiento y el efecto erosivo de las avenidas del barranco principal, reforzado por el acarreo de cantos rodados procedentes de la erosión del conglomerado en las cabeceras. En la actualidad hay una morfología de cauce tipo pasillo entre toba y conglomerado que se observa parcialmente en las figuras 4*b* y 5. También, justo aguas arriba del salto, se observa un proceso de encajamiento en retroceso, incluida una pequeña sima.

El salto permite apreciar parcialmente la base de la toba, afectada por una fuerte karstificación con formación de estalagmitas y por brechificación (fig. 8*a*). Esta última parece estar relacionada con los indicios de un retroceso y desmantelamiento del edificio tobáceo que pueden observarse en las figuras 8*a* y 8*b*. Esto sugiere que una parte importante de este edificio se pudo generar en un periodo pasado, por ahora indefinido, con mayor aporte de agua y formación de toba por parte del manantial.



Fig. 8a. Base de la toba, karstificada y brechificada.



Fig. 8b. Restos de toba al pie del salto.

CONCLUSIONES

En este artículo se ofrece un primer estudio sobre la toba de Isarre. Está asociada a una serie de manantiales, poco estudiados, que afloran en un humedal. La toba, de grandes dimensiones, ha cortado parcialmente el barranco temporal de Vadiello, cuya cabecera está formada básicamente por conglomerados. Existe cierto equilibrio entre la tendencia de la toba a cerrar más el cauce y la erosión lineal por avenidas, probablemente acrecentado por el acarreo de cantos rodados reciclados de la meteorización de los conglomerados.

En la parte final del edificio tobáceo la erosión deja al descubierto un cortado de unos 50 metros de altura. En la zona superior, además de facies de tallos gruesos, se encuentra un nivel terrígeno con restos arqueológicos. Estos permiten una datación aproximada y una estimación del crecimiento del orden de 0,4 metros por siglo. La base de la toba está muy karstificada y afectada por brechificación, en un proceso de desmantelamiento. Sería interesante realizar un estudio más detallado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la dirección de Antonio Azcón, hidrogeólogo del Instituto Geológico y Minero de España, durante los aforos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUCHÍ, J. A., J. L. VILLARROEL y J. A. MANSO (2002). Características del manantial de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). *Geogaceta*, 31: 75-78.
- DURÁN, J. J., R. GRÜN y J. M. SORIA (1988). Edad de las formaciones travertínicas del flanco meridional de la sierra de Mijas (provincia de Málaga, Cordilleras Béticas). *Geogaceta*, 5: 61-63.
- GARCÍA DEL CURA, M.^a Á., J. A. GONZÁLEZ-MARTÍN y S. ORDÓÑEZ (1997). El sistema de represas tobáceas poco evolucionadas del río Arquillo (Alcazar-Albacete). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 22: 321-332.
- MILLÁN, H. (2006). *Estructura cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 53). Huesca. 398 pp., 5 mapas.
- MONTES, L., J. A. CUCHÍ y R. DOMINGO (2003). Prospecciones y sondeos en las Sierras Exteriores de Aragón. V campaña, 2002. *Saldvie*, 3: 313-329.

- MONTES, L., J. A. CUCHÍ, R. DOMINGO y M. MARTÍNEZ BEA (2004). Prospecciones y sondeos en las Sierras Exteriores de Aragón. VI campaña, 2003. *Saldvie*, 4: 383-394.
- MONTES, M. J. (2009). *Estratigrafía del Eoceno-Oligoceno de la cuenca de Jaca (sinclinorio del Guarga)*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 59). Huesca. 355 pp., 1 mapa.
- OLIVÁN, C. (2013). Delimitación, evaluación de la recarga y funcionamiento hidrodinámico del acuífero drenado por el manantial kárstico de Fuenmayor (Prepirineo aragonés). Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 196 pp.
- ORDÓÑEZ, S., y M.^a Á. GARCÍA DEL CURA (1997). Tipología y génesis de depósitos tobáceos fluviolacustres: el sistema tobáceo de las Lagunas de Ruidera (Ciudad Real-Albacete). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 22: 333-348.
- RODRIGO, J., y J. M.^a SENCIALES (2012). Las plataformas travertínicas y tobáceas de la provincia de Málaga (España). *Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia*, 34: 83-102.
- RUBIO, C. (2002). Estudio paleobotánico en tobas carbonatadas del Cuaternario de la localidad de Cañizar del Olivar (Teruel). *Teruel*, 88-89: 155-177.
- SALAMERO, E. (2002). *Sierras de piedra y agua*. Camping Mascún. Huesca. 331 pp.
- SANCHO, C. (1988). El polje de Saganta (Sierras Exteriores pirenaicas, provincia de Huesca). *Cuaternario y Geomorfología*, 2 (1-4): 107-113.
- SANCHO, C., A. JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, A. MELÉNDEZ-HEVIA y J. L. PEÑA (1994). Las formaciones travertínicas holocenas de la cuenca del río Guadalaviar (sierra de Albarracín, provincia de Teruel). Aspectos geomorfológicos y paleoclimáticos. *Reunión Nacional de Geomorfología*, 1: 159-174.
- SANCHO, C., J. L. PEÑA y A. MELÉNDEZ (1997). Controls on Holocene and present-day travertine formation in the Guadalaviar River (Iberian Chain, NE Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 41: 289-307.
- VILLARROEL, J. L., y J. A. CUCHÍ (2004). Estudio cualitativo de la respuesta, de mayo de 2002 a abril de 2003, del manantial kárstico de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca) a la lluvia y la temperatura atmosférica. *Boletín Geológico y Minero*, 115 (2): 237-246.

LOS AYERBE: TRES INGENIEROS DE MONTES ALTOARAGONESES Y SU APORTACIÓN A LA HIDROLOGÍA FORESTAL ESPAÑOLA

Jesús PEMÁN¹
Ignacio PÉREZ-SOBA²

RESUMEN.— Este artículo presenta una síntesis biográfica y técnica de una *saga familiar* de ingenieros de Montes altoaragoneses (Pedro Ayerbe Allué, Benito Ayerbe Aísa y José María Ayerbe Vallés), que realizaron una destacada y pionera aportación a la hidrología forestal española durante el siglo XX. Esta aportación se produjo, en particular, en obras de corrección de torrentes y de aludes en el Pirineo de Huesca: en la cuenca alta del río Gállego (torrentes de Arratiecho, Arás, Arguisal, Escuer y Sía, así como la defensa del balneario de Panticosa) y en las cercanías de Canfranc (torrente de Los Meses, para la defensa de dicho pueblo, y las grandes obras de defensa de la Estación Ferroviaria Internacional de Los Arañones). Todas estas obras, de las que se presenta un abundante material gráfico, constituyen ejemplos extraordinarios del éxito de la corrección hidrológico-forestal después de décadas de funcionamiento.

ABSTRACT.— This paper presents a biographical and technical synthesis of a lineage of forestry engineers from Huesca, Aragon (Pedro Ayerbe Allué, Benito Ayerbe Aísa and José María Ayerbe Vallés), who made an outstanding and pioneering contribution to the Spanish forest hydrology during the 20th century. This contribution came especially from performing works of torrent and snow avalanche correction in the Pyrenees of Huesca: in the

¹ Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal. Universidad de Lleida. C/ Rovira Roure, 191. E-25199 LLEIDA. peman@pvcf.udl.cat

² Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Zaragoza. Gobierno de Aragón. Paseo de María Agustín, 36. E-50071 ZARAGOZA. iperezs@aragon.es

Upper Gállego River (torrents of Arratiecho, Arás, Arguisal, Escuer and Sía, and the defence of the Panticosa Spa); and near the town of Canfranc (torrent of Los Meses, for the defence of the village, and the great defence works of the International Railway Station of Los Arañones). All these works, of which abundant graphic material is presented, are extraordinary and successful examples of forest hydrological correction after decades of operation.

KEY WORDS.— Forest hydrological correction, torrents, snow avalanches, forestry engineers, Pyrenees of Huesca, Aragon (Spain).

INTRODUCCIÓN

La *familia forestal*, como se llamaba en ocasiones al Cuerpo de Ingenieros de Montes, estuvo constituida por no pocas familias de sangre, dado que era frecuente la existencia de hermanos entre las primeras promociones de ingenieros de Montes (José y Ramón Jordana Morera, Sebastián y Domingo Vidal Soler, Santiago y Domingo Olazábal Gil de Muro o los cuatro hermanos Briones García-Escudero, por ejemplo) y, más tarde, de tíos y sobrinos o de padres e hijos.

Una de las familias forestales más conocidas entre las primeras promociones fue la de los altoaragoneses Ayerbe, que contó con cuatro ingenieros de Montes: Pedro Ayerbe Allué y su hijo José María Ayerbe Vallés; Benito Ayerbe Aísa, primo hermano de Pedro, y su hijo Rafael Ayerbe Vallés. Esta familia procedía del caserío de Melés, barrio de la aldea de Radiquero próximo a Alquézar. Se dio además la especial circunstancia de que, a excepción de Rafael, todos ellos destacaron en los trabajos de restauración hidrológico-forestal y protección contra aludes en las cuencas de los ríos Gállego y Aragón. Rafael Ayerbe Vallés, primo de José María, estuvo destinado bastantes años en el Ministerio de Hacienda, por lo que tuvo otras dedicaciones profesionales.

La restauración o corrección hidrológico-forestal ha sido uno de los más tradicionales campos de actuación de la ingeniería de Montes en España. El objetivo de los trabajos de corrección, según el célebre ingeniero francés de aguas y bosques Prosper DEMONTZEY (1882), era “transformar los torrentes en arroyos”. Dicho autor definía el *torrente* como toda corriente de agua que discurre por un cauce generalmente corto y con una pendiente superior al 6%, con crecidas breves y casi siempre súbitas de caudal y con una fuerza

capaz de socavar la montaña; el torrente deposita en el valle los materiales que arrastra, lo que provoca que su curso divague. Por el contrario, por *arroyo* entendía un curso de agua de cauce estrecho, con una velocidad y un caudal de sus aguas reducidos, lo que imposibilita su capacidad de socavar y transportar materiales; conserva, por ello, sus aguas limpias. La transformación de torrentes en arroyos consigue mejorar las características ecológicas del curso de agua, por un lado, y mitigar muy eficazmente de manera radical, en la raíz del problema, las avenidas catastróficas típicas de los cursos torrenciales.

Ocioso sería aquí recordar las múltiples obras de corrección hidrológico-forestal con que la ingeniería de Montes ha contribuido al desarrollo de nuestro país y a la mejora de la naturaleza: algunos resúmenes se hallan, por ejemplo, en MADRIGAL (ed.) (1999: 161-270), CONAMA (2004) y, sobre todo, PALACIO (coord.) (2013). Pero conviene señalar que, desgraciadamente, aún están pendientes de ser conocidas y valoradas por la sociedad, y, aún más, de ser evaluadas técnicamente para producir un cuerpo de doctrina técnica a partir de su funcionamiento real durante muchas décadas: “la existencia de estas obras, brillante herencia de nuestros antecesores, plantea una serie de deberes verdaderamente elementales: inventariar todas las estructuras existentes, tenerlas localizadas y georreferenciadas, y, en general, encarar una labor continua de evaluación” (PÉREZ-SOBA, 2002: 93). En particular, como señaló con acierto un ingeniero de Montes con tanta experiencia en materia de corrección torrencial como Natalio Camacho, “en materia de hidrología forestal de montaña, todo lo experimentado y practicado a lo largo y ancho del Pirineo central [...] constituye ya un amplio cuerpo de doctrina específica que procedería sistematizar y compendiar” (ANÓNIMO, 2002: 88).

Se puede decir que, en un caso desgraciadamente poco común, los Ayerbe sí lograron ser profetas en su tierra, donde han recibido justos homenajes a su abnegada dedicación y a su extraordinario empeño en la protección y conservación del territorio. Así, en Canfranc-Estación, poco después del fallecimiento de José María, se inauguró el paseo de los Ayerbe (fig. 1), que discurre al pie del torrente de Estiviellas, desde la plaza de las Escuelas hasta el viejo túnel de Somport, y desde el cual se pueden observar los trabajos de defensa que se realizaron en los torrentes de Cargates, Epifanio y

Borreguil de Samán. Del éxito de estos trabajos nos da una idea la rotulación que se ha dado a estos torrentes en su cruce con el paseo de los Melancólicos: en efecto, ya no son torrentes, ahora son arroyos. Más recientemente, en Canfranc-Estación también, con la inauguración en 2011 del centro A Lurte, en la casa forestal de los ingenieros, se ha rendido y se rinde merecido homenaje a la familia Ayerbe. Allí se puede profundizar, con la documentación que se exhibe, en algunos aspectos de su actividad profesional en los trabajos de defensa contra aludes, en los que son los pioneros

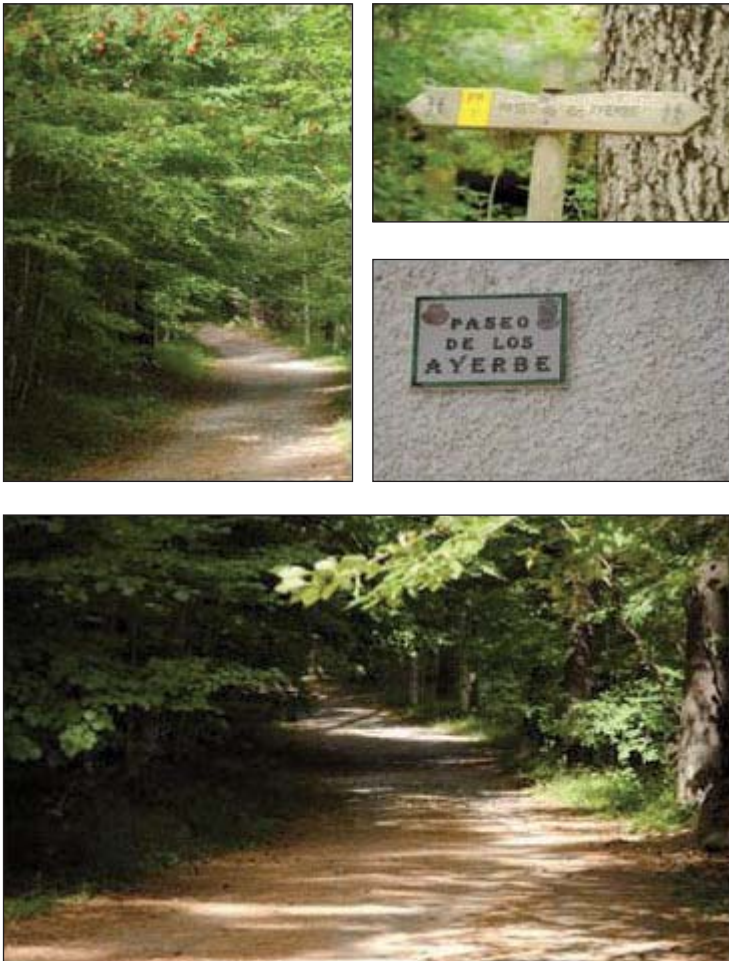


Fig. 1. Paseo dedicado a los Ayerbe en Canfranc-Estación, que discurre bajo el dosel de los pinares albares, entre abedules, arces, serbales, hayas y avellanos. (Fotos: J. Pemán)

en España. Por otro lado, en Biescas se inauguró en 1975 el Parque Forestal Arratiecho, diseñado por el ingeniero de Montes Ramiro Puig Valls y que rinde homenaje a Pedro Ayerbe por sus trabajos en dicho torrente. Desde el verano de 2011 se ubica en este espacio el Biescas Aventura, publicitado como el mayor parque de aventura en árboles de los Pirineos. Sin duda alguna, él sonreiría al conocer que el temido Arratiecho es hoy un parque forestal de aventuras único en el Pirineo.

No obstante, fuera del ámbito local la magna labor hidrológico-forestal de los Ayerbe es aún muy poco conocida. Por ello, es objetivo de este artículo presentar una síntesis biográfica y técnica de esta familia de ingenieros de Montes (Pedro, Benito y José María Ayerbe), que divulgue su pionera aportación a la hidrología forestal española, complete con sus biografías la de los aragoneses destacados y avance en el análisis y difusión de las obras hidrológico-forestales realizadas en el Pirineo español.

APUNTES BIOGRÁFICOS DE LOS TRES AYERBE

Pedro Ayerbe Allué (1861-1935)



Fig. 2. Pedro Ayerbe Allué, con uniforme de gala del Cuerpo de Ingenieros de Montes.
(Foto facilitada por Tomás Ayerbe)

Nacido en Radiquero el 5 de diciembre de 1861, Pedro Ayerbe Allué era hijo de Joaquín Ayerbe y de Justa Allué. Ingresó en la Escuela Especial de Ingenieros de Montes (la única entonces existente, sita en San Lorenzo de El Escorial) en 1883 y terminó sus estudios en 1887, con el número 8 de la trigésimotercera promoción de la escuela (figs. 2 y 3). Su ingreso en el Cuerpo de Ingenieros de Montes tuvo lugar ese mismo año, el 5 de noviembre.

Se casó con María del Carmen Vallés Fortuño, con la que tuvo siete hijos: María del Carmen, María Pilar, María del Rosario, María de la Cruz, María Teresa, José María y Luis María. José María fue el único que siguió profesionalmente las huellas de su padre y estudió la carrera de Ingeniería de Montes.

Pedro Ayerbe estuvo en activo durante cuarenta y tres años, los cuales fueron un ejemplo de dedicación a su tierra natal y al ámbito de la corrección hidrológico-forestal. Comenzó en agosto de 1887, al realizar sus prácticas



Fig. 3. Alumnos de la trigésimotercera promoción de la Escuela de Ingenieros de Montes. Pedro Ayerbe es el primero sentado por la derecha. El resto son, según el orden de la promoción: Federico Sigüenza, Francisco Mira, José María Castejón, Enrique Albéniz, Cipriano Sainz, Roque Pérez de Percebal, Estanislao Arrillaga y Miguel de la Torre. (Foto facilitada por Tomás Ayerbe)

reglamentarias en el Distrito Forestal de Huesca, al cual se incorporaría oficialmente desde el mismo momento de su entrada en el Cuerpo. El amor de Pedro por su provincia destacó desde el inicio de su carrera profesional. Una de las primeras pruebas de ello fue la Exposición Universal de Barcelona de 1888, para la que formó una colección típica de las especies arbóreas y arbustivas del Pirineo por encargo del jefe del Distrito Forestal de Huesca, José Regal Fernández. De este trabajo se hizo eco la prensa: “además del afán de cumplir escrupulosamente su deber oficial, [Pedro Ayerbe] tiene en esta interesante tarea el noble estímulo de ser un hijo amante de la prosperidad material y del prestigio del país” (ANÓNIMO, 1888).

En ese distrito seguiría hasta 1901, cuando pasó a depender del Servicio Hidrológico-Forestal creado por Real Decreto de 7 de junio de ese año. Pero quedó vinculado de nuevo a Huesca, ya que estuvo adscrito a la División Hidrológico-Forestal de la Cuenca Media del Ebro, que comprendía los ríos Aragón, Gállego y Jalón. Esta división fue inicialmente la 3.^a, luego formó parte de la 1.^a y, de 1907 en adelante, pasó a ser la 6.^a. En 1908 Pedro ascendió a jefe de la División y, en ese mismo año, recibió la Orden del Mérito Agrícola. Permaneció en la 6.^a División hasta su nombramiento en 1927 como consejero inspector general del Consejo Forestal, máximo órgano consultivo en materia de montes.

Fue ordenada su jubilación forzosa por Real Decreto de 4 de enero de 1929, el cual, aun “reconociendo los méritos y buenos servicios prestados en el desempeño de los diversos destinos que le han sido confiados en el Cuerpo”, entendía que Pedro debía jubilarse “teniendo en cuenta lo penoso del trabajo de inspección en edades avanzadas”. El argumento era falaz, como señalaba la prensa de la época: “es el caso que el Sr. Ayerbe, afortunadamente para él y los suyos, posee una salud, una agilidad física y un despejo intelectual verdaderamente envidiables” (ANÓNIMO, 1930: 201). Él, por tanto, no se aquietó y, representado como letrado por su yerno Julio Martínez de la Fuente, recurrió su jubilación ante el Tribunal Supremo, con todo éxito, puesto que la sentencia de ese alto tribunal de fecha 14 de junio de 1930 anuló íntegramente el decreto y ordenó reponer al recurrente, a todos los efectos legales, en el Cuerpo de Ingenieros de Montes. Esa reposición causó el natural revuelo, puesto que, por lógica, desplazó hacia abajo en el escalafón a todos los que habían ascendido aprovechando su vacante.

La segunda y definitiva jubilación de Pedro Ayerbe tuvo lugar poco después, el 5 de diciembre de 1930; aun así, entre su reposición al Cuerpo y su definitiva jubilación, llegó a ser, por pocas semanas y a causa de una vacante por fallecimiento, presidente de sección del Consejo Forestal. Pedro murió el 22 de mayo de 1935.

En lo que se refiere a sus aportaciones profesionales destaca, sobre todas ellas, su condición de pionero de la hidrología forestal y de la corrección de torrentes en España. Más adelante trataremos extensamente de los trabajos concretos de corrección de torrentes proyectados y dirigidos por Pedro Ayerbe, pero cabe subrayar también su concepción teórica de la hidrología forestal; en particular, de su carácter integrador y global. Es significativa, en este sentido, su participación en la célebre polémica sostenida por el ingeniero de Montes Nicolás Ricardo García Cañada (otro excelente hidrólogo forestal, compañero de Ayerbe en la 6.^a División Hidrológico-Forestal) y el ingeniero de Caminos Pedro González Quijano. Esta polémica, bien estudiada por GÓMEZ MENDOZA (1989), enfrentaba a los partidarios de las grandes obras hidráulicas en los cauces (González Quijano) con los defensores de la naciente hidrología forestal (García Cañada), que, sin negar el valor de dichas obras, señalaban que eran inútiles, o poco útiles, si no se complementaban con actuaciones de carácter forestal en las partes altas y medias de las cuencas de alimentación. Ayerbe se alineaba claramente con esta última postura, pero de una manera integradora, no excluyente, señalando lo que hoy parece obvio: que las obras hidráulicas en los cauces y las hidrológico-forestales en las cuencas son soluciones complementarias entre sí. Esa necesidad de integrar la restauración de la cubierta vegetal con la corrección hidrológica de los cauces, objetivo del Servicio al que perteneció desde sus inicios, queda patente en este escrito:

tan absurda es la teoría que pretende resolver el problema de restauración y el hidrológico en general con solo obras hidráulicas, como la que quiere solucionarlo con solo la repoblación, dado el estado actual de las cuencas. Uno y otro procedimiento, practicados aisladamente, son de todo punto insuficientes, y ejemplos tenemos que justifican nuestro aserto. (AYERBE, 1912)

Pedro insistiría en este aspecto, al hablar sobre la rápida colmatación de los embalses debido a la alta carga de sedimentos, en un artículo que titulaba “El desastre hidráulico” y en el que se hacía eco de una intervención de

Manuel Allendesalazar en el Senado sobre la poca eficacia de los pantanos que se habían construido. Lo explicaba con estas sencillas preguntas:

[...] ¿en qué proyecto de obra hidráulica de esta clase consta el detenido estudio de la cuenca de alimentación desde el punto de vista indicado? ¿Se ha complementado en algún caso el proyecto de construcción con otro de reconstitución forestal de la cuenca, tanto para evitar el seguro aterramiento, como para la regularización del curso de agua, de la cual depende la mayor y, en muchos casos, alimentación del pantano, para poder obtener del mismo el rendimiento útil pretendido? (AYERBE, 1913a)

Por ello, Pedro fue muy partidario de que los ministros y directores generales visitasen los trabajos forestales como forma de tomar conciencia de su importancia y, así, allanasen los obstáculos burocráticos para su realización. En 1913 el director general de Agricultura, Tesifonte Gallego, visitó las obras de la defensa de la Estación Internacional de Canfranc, hecho que quedó recogido en varias revistas de la época (fig. 4). También es interesante la carta abierta que dirigió al director de la revista *España Forestal* para salir al paso de los rumores que indicaban que las obras del torrente de Los Meses habían sufrido importantes desperfectos con las lluvias caídas en julio de 1923. Pedro daba buena cuenta del estado de las obras y de lo infundado de los rumores, dejando al final una reflexión que merece destacarse:

siempre fue nuestra práctica el estar atentos a las indicaciones resultantes de la constante observación de la mayor o menor bondad de los trabajos que se ejecutan, a fin de introducir en ellos las convenientes modificaciones, pero sin olvidar por esto un momento las enseñanzas de aquel famoso epitafio: “Aquí yace un español que estando bien quiso estar mejor”. Y a él nos atendemos prudentemente, en la mayoría de los casos. (AYERBE, 1923)

Otro aspecto destacado de Pedro Ayerbe fue su condición de propagandista entre la sociedad de la extraordinaria importancia del Servicio Hidrológico-Forestal. No se cansaba de repetir en sus escritos que la salvación de la agricultura y de la industria española dependía de la normalidad de sus cursos de agua, entendiendo por tal que los mismos tuvieran el mayor caudal y lo más constante posible, sin dañar con su fuerza las vertientes de los cauces y sin verter en los valles su capacidad de arrastre (AYERBE, 1908). Así, Pedro colaboró en la redacción de cartas forestales, donde se trataban diferentes cuestiones de interés para el Cuerpo, y en la realización de exposiciones forestales, como la que montó con Felipe

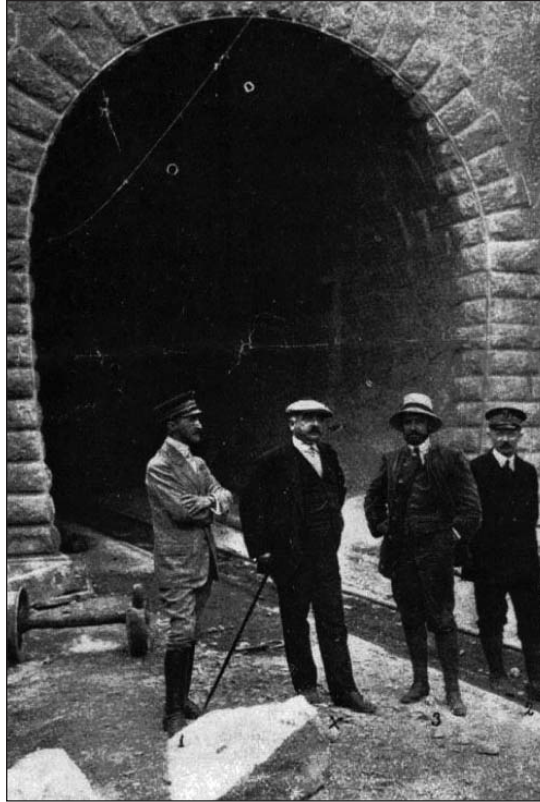


Fig. 4. Fotografía publicada en la revista *Nuevo Mundo* el 14 de agosto de 1913, que recoge la visita del director general de Agricultura, Tesifonte Gallego, a las obras de defensa contra aludes y avenidas de la Estación de Canfranc. De izquierda a derecha, Pedro Ayerbe, Tesifonte Gallego, el señor Vilatelli (ingeniero italiano responsable de la perforación del túnel) y Benito Ayerbe, en la entrada del túnel de Somport.

Romeo en Zaragoza en 1909, que fue visitada por el ministro de Fomento, José Sánchez-Guerra, el cual visitó también las obras hidrológico-forestales que se estaban iniciando en Canfranc. La labor de difusión de Pedro Ayerbe quedó plasmada en numerosos artículos (AYERBE, 1908, 1912, 1913*a*, 1913*b*, 1918, 1922). También cabe subrayar que fue académico fundador, en 1916, de la Academia de Ciencias de Zaragoza (hoy Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza), en la cual pronunció en 1919, precisamente, el discurso de contestación al de ingreso de Nicolás Ricardo García Cañada.

Benito Ayerbe Aísa (1872-1917)

Primo hermano de Pedro, Benito Ayerbe Aísa nació en Sesa, pequeño municipio cercano a la capital oscense, el 15 de octubre de 1872, hijo de Rafael Ayerbe y Benita Aísa. Ingresó en la Escuela de Ingenieros de Montes en 1899 y terminó sus estudios en 1903 como número 1 de su promoción, la cuadragesimoctava (fig. 5). Ingresó en el Cuerpo el 17 de agosto de 1903 y tuvo, como primer destino, el Distrito Forestal de Huesca. El 1 de noviembre de 1906 fue destinado a la 6.^a División Hidrológico-Forestal, donde se hizo cargo de la sección primera del río Aragón. Se casó con Dolores Vallés Foradada, prima hermana de la mujer de Pedro, con la que tuvo dos hijos: Rafael y Santos. Murió, de forma repentina, en 1917, a los 45 años de edad.

A diferencia de Pedro, a quien hemos visto escribiendo con frecuencia y participando en la vida intelectual de su tiempo, Benito Ayerbe fue un ingeniero volcado en la redacción y dirección de proyectos: solo conocemos de su pluma un artículo (AYERBE AÍSA, 1913), y lo dedicó, precisamente, a describir sus trabajos de corrección en Los Arañones (Canfranc).



Fig. 5. Retrato de Benito Ayerbe Aísa, con uniforme de residencia del Cuerpo de Ingenieros de Montes, realizado a lápiz a partir de una fotografía de la década de 1910. (Foto facilitada por Tomás Ayerbe)

Según los unánimes testimonios de la época, eran rasgos distintivos de su carácter la bondad, la modestia, la entrega absoluta a su trabajo, la capacidad de observar e interpretar los procesos en la naturaleza y la originalidad e innovación en las soluciones técnicas con las que afrontaba los problemas. Se multiplican las citas que dan fe de este carácter de atento observador e innovador. Por ejemplo, el ingeniero de Montes Francisco Bernad, destinado en la 4.^a División Hidrológico-Forestal y singular propagandista de la ciencia forestal, en una carta abierta que escribe al célebre Ricardo Codornú (el ingeniero de Montes que fue conocido como *apóstol del árbol*), le comenta, acerca de su reciente visita a los trabajos de corrección que se estaban realizando en Arañones:

Cada uno de los torrentes de Arañones tiene una característica distinta: el Cargates es un torrente de arrastres; el Estiviellas es un torrente de aludes, con muy pocos arrastres, y el Epifanio participa de las dos condiciones.

Benito Ayerbe, observador como pocos, y enamorado de su obra como ninguno, me decía siempre: “En estos torrentes no hay proyecto posible de corrección *a priori*; hay que corregirlos como ellos indiquen; hay que estudiarlos constantemente, porque cada año, con el deslizamiento de la nieve, varían por completo las características”. Yo pensaba emplazar aquí un dique de tal clase, y al bajar el alud me descarnó la ladera, dejándome al descubierto variaciones en el perfil, y he tenido que variar mi propósito. Si hago el año pasado tal obra, como me proponía, hubiera sido completamente ineficaz. (BERNAD, 1919)

El mismo autor ya había subrayado años antes el modo en que Benito había creado doctrina con su canalización del torrente de Los Meses:

La cuenca de la torrentera de la derecha, la de los derrumbamientos grandes y poca recogida de aguas, está más que restaurada, reconstituida con una preciosa canalización en escalones, modelo Ayerbe, pues ni yo al menos, ni los Ingenieros que la han visitado, ni los que han visto las restauraciones francesas y suizas, declaran haber encontrado nada parecido ni un ejemplo similar de corrección. (BERNAD, 1913)

La más destacada novedad que aportó Benito a la hidrología forestal, no ya española, sino mundial, fue referida a la defensa contra aludes: el diseño conocido como *dique vacío* (fig. 6), un tipo de dique muy resistente y de notable altura, pero con una alcantarilla de fondo muy grande (unos 4 metros de ancho y 10 de alto), que retenía el alud y disipaba su energía, dejando pasar los arrastres que lo acompañaban o los que se

produjeran por fenómenos torrenciales, sin forzar de este modo innecesariamente la estructura. El origen de este originalísimo diseño, que ha pasado a ser típico de la ingeniería de Montes española, fue precisamente la observación de la naturaleza, como nos describe, con un estilo casi novelesco, el mismo Bernad:

Voy a contarte el origen de los llamados ya diques vacíos, obras de una eficacia colosal para contener los aludes; obras de las que no hacen indicación alguna, ni Demontzey, ni Thiery, ni Costa de Bastelica, ni ninguno de los autores que conocemos la generalidad, de corrección de torrentes. El año 1914 o el 1915, no estoy seguro cuál de los dos, desarraigó en otoño el viento dos grandes pinabetes en las laderas del Epifanio, a bastante distancia del emplazamiento de la estación. Al caer sobre una capa de nieve ya acumulada, quedaron cruzados en el cauce del torrente; siguió nevando, y los árboles desaparecieron por completo entre la nieve. Llegó la primavera, y la gran masa del alud se deslizó, llevando envueltos en ella los pinabetes. Bajó unos 150 o 200 metros y el alud se detuvo, sin causa aparente para ello. A los pocos días de deshielo la parte baja del alud se desprendió de la masa total, y la parte alta, que tendría seguramente 25 o 30 000 metros cúbicos, quedó en la caja del torrente, detenida por los pinabetes, que se habían empotrado por sus cabezas en un estrechamiento del cauce, por el cual, al estar atravesados, no pudieron pasar. Siguió el deshielo, formó por debajo de los troncos un verdadero túnel y allí licuaron poco a poco las masas de nieve detenidas. Al observar el efecto, Benito Ayerbe se dijo a sí mismo: “Si dos pinabetes cruzados en el cauce me producen este efecto, sustituyéndolos por un robusto dique, con un gran mechinal en el centro para que por él puedan pasar incluso árboles que bajen con el alud envueltos, el efecto debe ser muchísimo mayor”. Propuso uno, con el temor natural de todas las innovaciones, y el resultado fue sencillamente maravilloso. Allí queda el alud y allí licúa poco a poco, y por el mechinal, de cuatro metros de anchura por diez de alto, baja el agua con más o menos abundancia, según la rapidez del deshielo. Hoy hay en el Epifanio dos diques vacíos y medio (digo medio, porque al más elevado le falta la coronación y el arco de cierre del mechinal), y de ellos no pasa la nieve, ni pasará, como no se produzca una verdadera perturbación geológica. (BERNAD, 1919)

Esa constante innovación atrajo la atención sobre las obras de Benito Ayerbe de dos maneras. En primer lugar positivamente, puesto que los profesores de la Escuela de Ingenieros de Montes realizaron multitud de visitas a sus trabajos para mostrar a los alumnos ideas que todavía no estaban recogidas en ningún libro de texto (ANÓNIMO, 1917). De hecho, a través de estas visitas los Ayerbe influían también en la creación de una ciencia



Fig. 6. Un ejemplo de los *diques vacíos* inventados por Benito Ayerbe. El de la imagen fue construido por José María Ayerbe en el torrente de Estiviellas (Canfranc). En este caso particular, al habitual gran mechina de fondo se añaden otros diez mechinales algo menores alineados a un nivel superior. (Foto facilitada por Tomás Ayerbe)

hidrológico-forestal propiamente española. Es de destacar, en este sentido, su conexión con uno de los más prestigiosos ingenieros de Montes del primer tercio del siglo XX, Fernando Baró Zorrilla, a la sazón profesor de Transportes Forestales en la Escuela, quien visitó en 1913 las obras de Pedro Ayerbe en Biescas y de Benito Ayerbe en Canfranc (BARÓ, 1913) (fig. 7). Baró impartiría en 1917 unas interesantísimas conferencias en el Ateneo de Madrid, luego reunidas en forma de libro (BARÓ, 1917), en las cuales ya se recogen, como cuerpo de doctrina aún incipiente, los progresos hechos en las divisiones hidrológico-forestales, de cuyos ingenieros Baró se reconoce expresamente deudor:

Y, en fin, a la juventud forestal aquí reunida, hombres del mañana, y en quien la Patria espera; seguid el ejemplo de esos dignísimos Ingenieros cuya obra os he mostrado y cuyos nombres callo por no herir su modestia; han luchado [...] y han vencido, faltos de recursos materiales muchas veces, faltos del aura popular cuya enemiga han soportado con esa heroica resignación que da la fe en la causa y en la ciencia, y ni aun siquiera han recibido el justo aplauso de quienes deben conocer la utilísimas labor que han realizado.

Pero también, como es frecuente, los éxitos profesionales de Benito Ayerbe provocaron las críticas de algunos compañeros, que consideraban que rozaba la temeridad. Sin embargo, Benito tenía una extraordinaria seguridad y confianza en el acierto de sus decisiones, confianza que, sin duda, se basaba

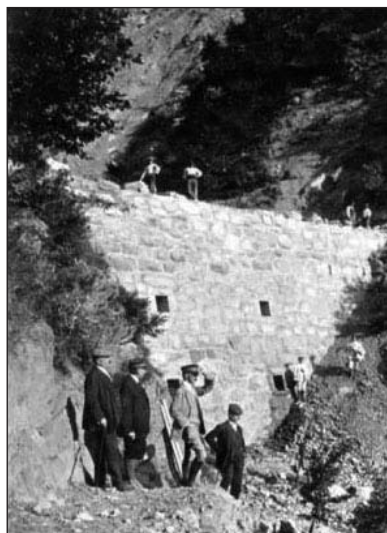


Fig. 7. De izquierda a derecha, Tesifonte Gallego, Benito Ayerbe y Pedro Ayerbe, al pie de uno de los diques de defensa de la Estación de Canfranc. Fotografía tomada en 1913 con motivo de la visita realizada a las obras por el director general. (Foto facilitada por Tomás Ayerbe)

en una profunda reflexión previa. El mismo Bernad nos da un buen ejemplo, al tratar de la restauración del torrente de Los Meses, en un texto en el que se indica que también Pedro participaba de esa seguridad en uno mismo:

Al pie del dique primero, y en medio de las sonrisas cariñosas de las gentes de Canfranc, estableció Ayerbe su vivero en el sitio más peligroso y por donde la avenida invadía el pueblo. ¡Varios años lleva dando plantas y las que dará!, porque no hay señal que el torrente se quiera o se pueda meter con él, por ahora al menos [...] En la parte que ofrece más peligro de derrumbamiento, estableció nuestro Ayerbe un refugio para los obreros y depósito de herramientas. En esto de los emplazamientos de cosas permanentes en sitios de peligro, hay algo de manía de familia, pues el Ayerbe del Arratiecho [su primo Pedro], también estableció su vivero en la parte, al parecer, más peligrosa, y allí sigue; todo lo cual no indica más que la convicción que poseen de que lo que hacen es eficaz y de seguro éxito. (BERNAD, 1913)

Precisamente, este mismo texto de Bernad menciona otra crítica que parece recaía sobre los Ayerbe, la de que eran más ingenieros de mampostería que de repoblación, y la respuesta es inapelable:

Y vamos a la parte que hasta ahora dio lugar a más comentarios, muchos bordeando la censura, lanzados por algunos espíritus críticos, superintelectuales y aficionados a juzgar de las cosas de memoria. A mí me dicen que soy un apasionado de los trabajos del Pirineo aragonés; no es verdad; digo lo que veo y veo ese problema difícil, brillantemente resuelto por Ingenieros modestos, que hasta que han vencido en su difícil empresa, no han pensado en proporcionarse personalmente un átomo de comodidad. Dicen los comentaristas censores, que los Ayerbe dedican más atención a las obras que a la repoblación, y yo, no con razones aquí, sino recorriendo las Divisiones, les demostraría que casi en ninguna se lleva al campo más planta que en el Pirineo aragonés [...] Y termino felicitando muy cariñosamente al Sr. Ayerbe y rogándole desdeñe, desde la altura en que su trabajo felizmente para todos lo ha colocado, esas pequeñas murmuraciones y cavilaciones, de los que tengo la seguridad de que, si se tomaran la molestia de hacer una agradable expedición por el Pirineo, variarían de manera de pensar, como no quieran sentar plaza de mentecatos. (BERNAD, 1913)

Estas críticas no nos extrañan: con su constante trabajo y sus reiterados aciertos, los Ayerbe ponían en evidencia a algunos compañeros que parecían haber olvidado que el lema dado a la ingeniería de Montes española desde la fundación de su primera Escuela Especial es “Saber es hacer; el que no hace, no sabe”. Ya de su primo hermano Pedro habían hablado también los críticos, y la incisiva respuesta la daba una publicación de tanto prestigio en el mundo de la ingeniería española como la revista *Madrid Científico*:

¿Vida oficial del Sr. Ayerbe? Cuarenta años de servicios, día por día, sin haber hecho uso de licencia más que una vez en un mes. El señor Ayerbe fue el primero que acometió en España los grandes trabajos de ingeniería de montaña y a él se deben la corrección y encauzamiento de las ingentes torrenteras de las vertientes pirenaicas, completando su obra con meritísima labor de repoblación forestal. Entre su labor y la de los forestales teorizantes de nuestra villa y corte, fracasados en cuantas empresas han intervenido, hay alguna diferencia. (ANÓNIMO, 1930: 201)

De hecho, fuera de esas críticas tan poco fundadas, Benito Ayerbe recibió, en vida y a su muerte, el unánime reconocimiento de cuantos le trataron. Bernad señala, por ejemplo, el extraordinario aprecio en que le tenían los ingenieros y arquitectos encargados de la obra del ferrocarril y de la Estación Internacional:

He pasado unos días en el Pirineo aragonés con el buen Benito de Ayerbe, que tiene a su cargo la papeleta hoy de más entidad y compromiso del

oficio, porque trabaja en una zona donde los censores que puede tener son *indocumentados*, del tipo de los Ingenieros del ferrocarril del Norte, la Inspección del Estado en la construcción del túnel y estación internacional y los italianos que han hecho la perforación del túnel de Somport [...] Y en estas condiciones, lo primero que en Canfranc, los Arañones, se echa de ver, es el cariñoso respeto con que todas estas entidades se dirigen a nuestro gran Benito, consultándole, así como de pasada, más de un incidente de sus obras, y, recíprocamente, la forma cortés en que responden cuando el de Ayerbe, para la solución de sus cosas, a ellos se dirige. (BERNAD, 1913)

En el mismo sentido se expresaron Florentino Azpeitia Florén (ingeniero de Montes que llegaría a ser director general de Montes, Caza y Pesca Fluvial, y que, como veremos, fue destinado muy joven a la sección de Canfranc y acompañaría a Benito en los últimos años de su vida) y la redacción de la *Revista de Montes* (órgano oficioso de expresión del Cuerpo de Ingenieros de Montes):

Con él no solo desaparecía el competente iniciador de estos notables trabajos en España, sino también un atento observador de la Naturaleza que a fuerza de constancia y estudio había conseguido adquirir un profundo conocimiento de estos fenómenos y una gran experiencia para interpretar debidamente los más pequeños detalles. (AZPEITIA, 1922a)

Honda pena nos causa tener que dar cuenta a nuestros lectores de la pérdida, por todos conceptos dolorosa, de un ingeniero distinguidísimo y un amigo entrañable, cuya figura ocupará siempre un lugar preeminente entre los que han iniciado en España el importante servicio de la restauración de montañas. Cobróle afecto, por sus bondades, cuantos tuvieron la suerte de tratarle, y diéronle merecida fama, por sus aciertos, los trabajos que practicó en las vertientes de Canfranc, dejando tras de sí una obra cuyos prestigios brillarán más claramente libres de las sombras de la modestia en que cuidaba de envolverlos. (ANÓNIMO, 1917)

José María Ayerbe Vallés (1902-1972)

Hijo de Pedro Ayerbe Allué y María del Carmen Vallés, José María nació el 8 de enero de 1902 en Huesca. Cursó la carrera de ingeniero de Montes, que terminaría en 1926 con el número 3 de la septuagesimosegunda promoción (figs. 8 y 9). Muy significativamente, fue número 2 de esa misma promoción José María García Nájera, a quien haremos luego referencia como autor de un texto clásico sobre hidrología forestal.



Fig. 8. José María Ayerbe Vallés, con uniforme de gala del Cuerpo de Ingenieros de Montes. (Foto facilitada por Tomás Ayerbe)



Fig. 9. Curiosa fotografía de los alumnos de la septuagesimosegunda promoción de la Escuela de Ingenieros de Montes: con las sillas del aula de dibujo construyeron un arco triunfal. José María Ayerbe es el segundo por la izquierda. El resto de los compañeros son Luis Carderera, José María García Nájera, Matías Urruticoechea y Recaredo Sáez de Santa María. (Foto facilitada por Tomás Ayerbe)

José María se casó el 6 de junio de 1928 con María Pilar Mora Monforte y tuvieron siete hijos: Pilar, Pedro, José, María Jesús, Tomás, Carmen y Javier. Si bien ninguno siguió los caminos profesionales de su padre, Tomás ha mantenido y mantiene la memoria viva de los trabajos forestales de sus familiares.

Aunque parece ser que no ingresó formalmente en el Cuerpo de Ingenieros de Montes hasta 1939, a causa de la falta de vacantes, ya en 1928 consta destinado en la Confederación Hidrográfica del Duero. Allí proyectó y dirigió una notabilísima obra de corrección hidrológico-forestal, la restauración de las llamadas cuestas de Saldaña (Palencia), unos páramos detríticos que padecían una erosión extraordinariamente grave. Para su restauración, José María redactó en 1928 y 1930 sendos proyectos de repoblación y corrección, cuya ejecución supuso la repoblación forestal de más de 1000 hectáreas y la construcción de cientos de diques de gaviones (fig. 10). Recientemente, han



Fig. 10. José María Ayerbe, en el centro, en su época en la Confederación Hidrográfica del Duero. Probablemente la fotografía se tomara en el bienio radical-cedista de la Segunda República (1933-1935), durante los trabajos de repoblación de las cuestas de Saldaña (Palencia), puesto que el personaje de la derecha es Ricardo Cortes Villasana, abogado y diputado de la Confederación Española de Derechas Autónomas (CEDA) en las Cortes republicanas, muy vinculado a Saldaña, y que fue asesinado por el bando republicano en Madrid en 1936. El personaje de la izquierda es el líder de la CEDA, José María Gil-Robles y Quiñones de León. (Foto facilitada por Tomás Ayerbe)

sido estudiados los resultados a largo plazo de la restauración hecha por Ayerbe en Saldaña (NAVARRO, MONGIL y ARAUJO, 2013), con la conclusión de que se trata de un gran éxito, en todos los aspectos.

A inicios de 1943 José María consiguió su traslado a Huesca, cuando se incorporó a la 6.^a División Hidrológico-Forestal. Accedió a su Jefatura en 1961, cuando la División se había ya convertido en un servicio dependiente del Patrimonio Forestal del Estado, organismo creado en 1935 y refundado en 1941, y que a partir de 1955 pasó a ser, a su vez, una subdirección de la Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial.

José María fue un sucesor de los trabajos de su padre, Pedro, y sobre todo de su tío Benito, en las obras de defensa contra aludes en el Pirineo altoaragonés. En 1947 dirigió y redactó un nuevo proyecto de defensa de la Estación Internacional de Canfranc, que tenía por objeto defender las zonas todavía vulnerables que no se habían corregido con los proyectos anteriores según el plan de 1919. Con el proyecto se trataba de impedir la formación de aludes, disminuyendo la pendiente de la ladera con puentes de nieve, y de contener los bloques de piedra que pudieran desprenderse, con obras de retención como los muros de mampostería hidráulica (TORNIL, 1992). En 1955 redactó el proyecto de defensa contra aludes del balneario de Panticosa. Más adelante detallaremos la ejecución de estos proyectos.

Desde el punto de vista teórico, la aportación principal de José María Ayerbe a la hidrología forestal española fue la adaptación a España de los estudios sobre la física de la nieve realizados por suizos y franceses en las décadas de 1930 y 1940, que había estudiado con detenimiento (AYERBE, 1949). Fue, por tanto, el pionero de la nivología en España, ciencia nacida en Suiza en 1931, según él mismo relata. Los puentes de nieve, los nuevos modelos de diques vacíos o los diques rastrillo son algunas de las innovaciones de José María en los trabajos de defensa contra aludes (AYERBE, 1953, 1954, 1955, 1967a). De especial relevancia fue el capítulo que redactó en la segunda edición de los *Principios de hidráulica torrencial*, escrito por su compañero de promoción José María García Nájera (AYERBE, 1962). Como señala este en el prólogo del libro, los trabajos de José María habían conseguido reconocimiento internacional:

[...] mi querido compañero José María Ayerbe Vallés, Ingeniero Jefe de la 6.^a División Hidrológico Forestal, que con tan brillante éxito continuó los

trabajos de defensa contra los aludes iniciados por familiares suyos y perfeccionados por él con otros originales que causaron un justificado asombro a los Congresistas de la FAO, que visitaron el pasado año de 1961, y esto teniendo en cuenta que entre ellos figuraban ingenieros suizos, que se han considerado siempre como maestros en tal materia. (GARCÍA NÁJERA, 1962)

Al igual que su padre, José María publicó numerosos escritos de divulgación de los trabajos de restauración hidrológico-forestal (AYERBE, 1952, 1955, 1965, 1967*b*). Y, como él, insistió en el carácter integrador de la hidrología forestal, complemento inexcusable de las obras hidráulicas:

Así pues, la cubierta vegetal constituye el elemento natural de la regulación hidráulica de una cuenca, y existe otro elemento, el almacenamiento por medio de embalses, que proporciona el modo artificial que complementa al natural. Las repoblaciones forestales regulan los caudales y protegen el suelo, conservándolo y evitando su aterramiento [...] Al templar esta marcha de agua sobre las superficies de las cuencas y limitar el transporte de materiales, serán el mejor colaborador de los embalses para ser ambos trabajos el fundamento de toda cuenca hidrográfica bien ordenada. (AYERBE, 1967*b*: 433)

José María Ayerbe falleció el 13 de junio de 1972.

TRABAJOS MÁS DESTACADOS DE LOS AYERBE EN LA CUENCA DEL GÁLLEGO

Desde su adscripción al Servicio Hidrológico-Forestal, Pedro Ayerbe trabajó en la cuenca del río Gállego. Apenas un año y medio después de su llegada, el 25 de noviembre de 1902, presentó la *Memoria de reconocimiento general de la cuenca del Gállego*. En ella recogía la necesidad de la corrección hidrológico-forestal de diferentes torrentes, entre los que destacaban por su peligro los denominados Gabardo y del Escalar, Merdeacero, Arás, Escuer y Arratiecho (FERRER y REIG, 1905). Finalmente, los trabajos de los ingenieros de Montes en la cuenca del río Gállego se centraron, sobre todo, en la corrección de los torrentes de Arratiecho, Arás, Sía, Escuer y Arguisal, y en la defensa contra aludes del balneario de Panticosa.

Torrente de Arratiecho

Pocos meses después de presentar la *Memoria*, en enero de 1903, Pedro elaboró el estudio de la primera sección de dicha cuenca, que comprendía

el torrente de Arratiecho; y el 10 de marzo de ese mismo año, con una celeridad asombrosa, presentó el proyecto para la corrección de dicho torrente. La necesidad de esta corrección era evidente: la amenaza que constituían las avenidas y el arrastre de sólidos para la población de Biescas, la carretera a Yésero y los cultivos de la vega.

Según describió Pedro Ayerbe, la cuenca del Arratiecho era de solo 160 hectáreas, con un cauce principal de 2500 metros; su carácter torrencial se manifestaba a partir de la llanura de Lastes, con una excavación profunda debido al derrumbamiento de las laderas margosas. El cauce terminaba en una cascada de 18 a 20 metros de altura. Las obras recogidas en su proyecto eran las siguientes: *i*) formación de un vivero permanente en la parte baja y otro volante en la parte media de la cuenca; *ii*) construcción de un dique de consolidación; *iii*) encauzamiento y canalización del lecho de desagüe, con los necesarios diques rústicos; *iv*) varios diques secos; *v*) numerosas palizadas para detener las erosiones en la cuenca de recepción; *vi*) casa forestal para albergue del peón-guarda; *vii*) senda de 1,5 metros de anchura con cuneta desde la carretera de Biescas a Gavín hasta la partida de Lastes; *viii*) cerramiento del vivero permanente (fig. 11); *ix*) siembra de los

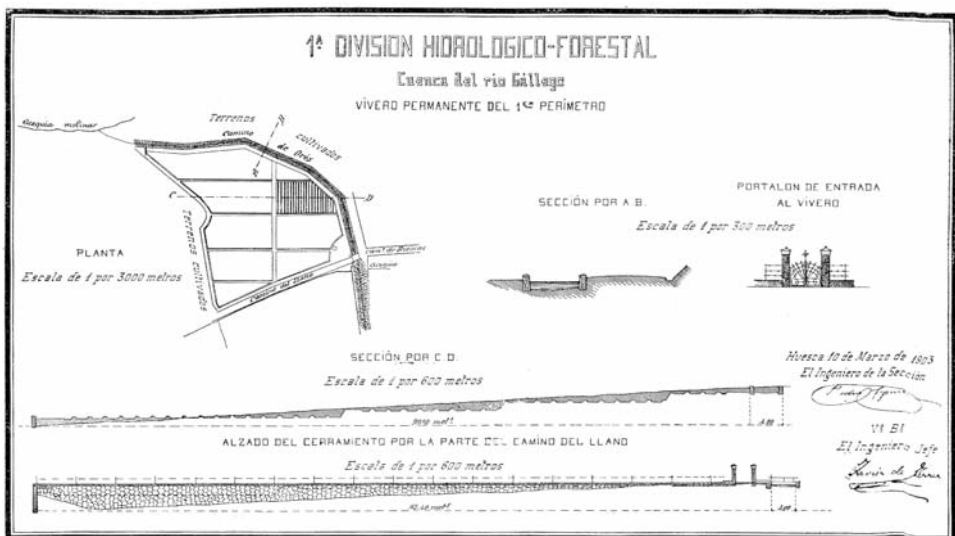


Fig. 11. Plano del vivero forestal de Arratiecho, diseñado por Pedro Ayerbe. (FERRER y REIG, 1905)

taludes de la senda, y x) adquisición de herramientas y varios terrenos de propiedad particular. El presupuesto total ascendía a 39 472,59 pesetas (FERRER y REIG, 1905).

En 1903 el presupuesto habilitado fue solo de 1000 pesetas, para la compra de herramientas y útiles. Las obras comenzaron en 1904, con un presupuesto de 29 516 pesetas, mediante la construcción de dos diques de mampostería hidráulica de una altura de entre 4,5 y 6 metros, varios tramos de canalización y numerosos pequeños diques. La eficacia de estos trabajos iniciales se comprobó enseguida, con la tormenta que tuvo lugar el 12 de septiembre de ese mismo año. Según dio noticia la *Revista de Montes*, la crecida que tuvo lugar fue muy superior a las que se recordaban en la localidad, de modo que los operarios que trabajaban en la obra huyeron en busca de refugio, creyendo que la impetuosidad de la avenida arrasaría las obras que habían levantado. Pasada la tormenta, fueron a reconocer los daños, y para su sorpresa no había ninguno:

El gran dique superior quedó casi aterrado sin sufrir el más pequeño desperfecto; en el inferior se modificó la línea de aterramiento, dibujándose la pendiente de compensación que con estos trabajos se busca, y los intermedios resistieron perfectamente la avenida. El triunfo fue, pues, completo, a pesar de que no se habían dado por terminadas las obras y de que no se había comenzado aún la repoblación forestal de aquellos terrenos. El encargado de estos trabajos es nuestro estimado compañero D. Pedro Ayerbe, a quien felicitamos por el éxito de los mismos [...] El hecho referido en esta crónica merece fijar la atención de los forestales, por no haberse corregido aún en España torrentes de esta importancia, y creemos que estos trabajos, a medida que se vayan extendiendo, serán los mejores propagandistas de la causa forestal y sus más elocuentes defensores. (ANÓNIMO, 1904)

En 1907 las obras estaban prácticamente terminadas (fig. 12). Para la restauración de la cubierta vegetal en la cuenca se había instalado ya un vivero permanente de una hectárea, además de dos viveros volantes. Se sembraron 300 hectáreas con pino silvestre y roble, y otras 3 hectáreas con pino piñonero y castaño, para la restauración en el cono de deyección. En los taludes de los caminos forestales y aterramientos de los diques se sembraron pinos, robles, olmos y especies pratenses. En los terrenos restaurados de los torrenteras y en las orillas del nuevo cauce se plantaron 9000 abedules, 3000 olmos y 2900 plantones, púas y estacas de chopos, sauces y otras especies de frondosas.



Fig. 12. Torrente de Arratiecho. Corrección del cauce principal terminada y concha de erosión de la margen izquierda. En primer término, familiares de los trabajadores subiéndoles la comida. (Foto: Pedro Ayerbe)

Se construyeron cuatro grandes diques con la función de contención y consolidación de laderas, así como diques rústicos intermedios, formando un nuevo cauce escalonado. La parte encauzada abarca una longitud de 1305 metros, con setenta y cinco diques que varían entre 1 y 5 metros de altura. Asimismo, se corrigieron las erosiones de los pequeños torrentes que confluyen en el cauce principal, mediante diques, muretes, paredillas y empalizadas. El número de estas obras supera el centenar. La longitud de muretes y paredillas supera, en algunos casos, los 30 metros.

Torrente de Arás

Según indican FERRER y REIG (1905) en la *Memoria de reconocimiento general de la cuenca del Gállego*, Pedro Ayerbe señala, en la cuenca del torrente de Arás, la ausencia total de una vegetación arbórea con espesura normal y la presencia de margas azules fácilmente deleznable, aspectos ambos que facilitaban que los torrentes excavaran profundos surcos con paramentos casi verticales. Testigos de esa peculiar geología eran las pintorescas formaciones conocidas como *señoritas de Arás*, grandes bloques espaciados que se ubican a modo de capiteles en la parte más elevada de

unas columnas de tierra. Otros muchos bloques se encontraban en disposición de ser arrastrados por las fuertes crecidas, toda vez que su base ya había sido erosionada.

Las amenazas que planteaba la cuenca en ese estado afectaban a los cultivos y al mismo municipio de Yosa, y sobre todo a la carretera de Francia y Panticosa, que se veía frecuentemente inundada y convertida en una rambla (fig. 13). Según los mismos autores, incluso Pedro Ayerbe había sufrido las consecuencias de las crecidas del torrente en repetidas veces, habiendo tenido que abandonar el carruaje y subir al caballo en una de ellas y sufriendo la pérdida del equipaje en otra. En este último caso fue tan rápida la crecida que al entrar en la corriente el agua tan solo cubría los cascotes de los caballos y al salir de ella era tanta su violencia que arrancó los equipajes, que iban fuertemente atados en la parte posterior del carruaje.

No tenemos conocimiento preciso de cuándo se inician las obras, pero se deduce que fue en 1907, con la cimentación del primer gran dique. Los trabajos de corrección se fueron realizando con un ritmo lento a lo largo de estos años. En la propuesta de trabajos para 1930, Antonio Pascual, ingeniero de Montes destinado en la sección primera de la 6.^a División, dejaba



Fig. 13. La crecida de las aguas en el cono de deyección del torrente de Arás dificulta su cruce por el autobús de la Hispano-Tensina y obliga a los pasajeros a descender para poder vadearlo. (Foto: Pedro Ayerbe)

constancia de la necesidad de redactar un proyecto completo de corrección del torrente, a la vista de los daños ocasionados por las fuertes precipitaciones ocurridas en junio de 1929. En 1930, una vez jubilado Pedro Ayerbe, Mariano Borderas Monforte, que había sido destinado a esta división en 1927 procedente del Distrito Forestal de Huesca, redacta un proyecto de corrección del torrente que es el más antiguo hallado hasta hoy referido a este cauce, y que extracta NICOLÁS (2001). El Ministerio aprobó el proyecto por orden del 11 de mayo de 1931. En él Borderas repasa el estado de las obras anteriores: aunque se había trabajado mucho en la garganta con la construcción de unos 1000 metros de canalización, quince diques transversales y la repoblación forestal de las laderas, todavía era mucho el trabajo por hacer:

A partir de la confluencia de los torrentes de Betés y Yosa, comienza el tramo amenazador del torrente Arás, cuyas laderas constituyen una continua erosión de paredes verticales del más desconsolador aspecto [...] Así como la cuenca del torrente que nos ocupa presenta un relativo buen estado de conservación, favorable a nuestros trabajos, sin embargo, la garganta, particularmente en sus tramos medio y bajo, tiene el más desconsolador aspecto, por presentar las laderas y el lecho socavables.

Frente a esta situación, Borderas planteó las siguientes soluciones:

estacadas, enfajinados y muretes en las laderas erosionadas [...] La socavación longitudinal la evitaremos con la instalación de algunos diques de consolidación en la garganta que al mismo tiempo darán estabilidad al terreno [...] Una vez rellenados los asurcamientos de las laderas a favor de las estacadas y enfajinados procederemos a su repoblación por medio de plantas herbáceas, primero, y arbustivas y arbóreas, después. Al propio tiempo efectuaremos la repoblación con resinosas por encima de las erosiones, logrando así una influencia directa sobre las mismas disminuyendo el gasto, perdiendo el agua su masa y velocidad y por tanto su potencia de socavación.

Los trabajos de repoblación los estimaba en 500 hectáreas, a las que había que añadir otras 350 de creación de pastizales para atender a las necesidades de la ganadería existente (fig. 14). Entre las especies que podían usarse, proponía *Pinus sylvestris* y *Pinus uncinata*. Para completar la labor de fijación de las laderas realizada con los enfajinados, Borderas utilizó especies rústicas de rápido crecimiento y extenso sistema radical. Según la mayor o menor humedad del suelo, planteaba la utilización de sauces o mezclas de ailantos y acacias. Para la plantación en el cono de deyección utilizó chopos.



Fig. 14. Repoblación y obras de corrección del torrente de Arás. (Fotos: José María Ayerbe)

Los muros, enfajinados y palizadas proyectados superaban los 30 kilómetros de barreras vegetales y más de 25 000 m³ de mampostería para la construcción de los muretes. Asimismo, para la corrección de la garganta planteaba la construcción de once diques de consolidación y diez de segundo orden. En el entorno del pueblo de Yosa diseñó un drenaje. El presupuesto del proyecto ascendió a algo más de 2 millones de pesetas. Las obras se supone que se fueron desarrollando a lo largo de la década de 1930, con las limitaciones impuestas por la escasez de presupuesto y por la Guerra Civil, durante la cual Mariano Borderas murió en Valencia, el 12 de diciembre de 1938.

Es posible que a Borderas le sucediese Jenaro Brun Arqué, quien firma los planos de la canalización en 1939 (NICOLÁS, 2001). Finalmente, en 1943 asume la dirección de las obras José María Ayerbe Vallés. Son de imaginar la ilusión y la responsabilidad que sentiría al asumir la conclusión de los trabajos iniciados por su padre, como también sucedería con los de Arañones, en este caso de su tío Benito. De hecho, la corrección casi se puede decir que fue un asunto de familia, dado que Mariano Borderas también era pariente, en este caso, de la mujer de José María.

No hay muchos datos sobre los trabajos realizados en las décadas de 1940 y 1950, si bien consta que en 1954 la inversión en la corrección del torrente había sido de 836 126 pesetas, lo que representaba el 22% del total

Tabla 1. Relación de trabajos realizados en el torrente de Arás en las décadas de 1950 y 1960.

<i>Año</i>	<i>Trabajos</i>	<i>Inversión (ptas.)</i>
1953	Construcción de diques (2100 m ³ de mampostería hidráulica y 200 m ³ de gaviones metálicos).	
1954	Trabajos de corrección en el torrente de Arás.	836 126
1957	Corrección de los torrentes de Hornillos, Arás, Foratula, La Canal...	
1963	Trabajos en la canalización.	
1964	Dique en Aso de Sobremonte.	

de la inversión de la División ese año (NICOLÁS, 2001). En la tabla 1 se relacionan los trabajos en el torrente de Arás según las memorias del Patrimonio Forestal del Estado y de la Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial.

Finalmente, en 1964, ya como jefe de la División del Ebro del Patrimonio Forestal del Estado, José María daba por corregido el torrente de Arás, cincuenta y siete años después del inicio de los trabajos por su padre, Pedro. Cuánta razón llevaban José Reig y Francisco Bernad cuando al comienzo de los trabajos de corrección del torrente le dijeron a Pedro Ayerbe una frase que se ha convertido poco menos que en un refrán: “¡En el Arás... sudarás!”.

El hecho de que la avenida del torrente de Arás acaecida la tarde del 7 de agosto de 1996 causara la trágica muerte de ochenta y siete personas y la ruina de gran parte (que no todas) de las obras de corrección no debe ser interpretado, como lo ha sido en ocasiones (por ejemplo, en AYALA, 2002), como un fracaso *estrepitoso* de la corrección. La intervención hidrológico-forestal siempre reduce la magnitud de la riada, pero es de todos sabido que no puede considerarse una solución absoluta y eterna a los riesgos naturales de inundación: es una defensa que en circunstancias extremas, que antes o después se producirán, puede ser sobrepasada, lo cual ha de ser tenido en cuenta para la seguridad de bienes y personas, y más en un cono de deyección. La corrección del Arás cumplió a la perfección su cometido durante décadas, como hemos visto, pero eso no debe conducir jamás a una falsa sensación de seguridad absoluta. Como señaló la sentencia de 21 de diciembre de 2005, dictada por la Sala de lo Contencioso-Administrativo

de la Audiencia Nacional (confirmada por la sentencia de 11 de octubre de 2010, de la Sala de lo Contencioso del Tribunal Supremo), las Administraciones competentes debieran haber previsto que ese desbordamiento de la corrección podía, razonablemente, producirse, como de hecho se les avisó:

a la hora de buscar ubicación del referido camping [...] no se valoraron por las Administraciones Públicas legalmente obligadas a ello, y con los medios científicos y técnicos de que disponían [...] más cuando también se expondrá, distintos técnicos previeron, ya en la fecha de la ubicación y con anterioridad al suceso, el peligro de esa ubicación [...] En resumen, de haber tenido en cuenta todo lo anteriormente expuesto, las Administraciones demandadas competentes [...] hubieran llegado a la conclusión de que el lugar en donde finalmente se colocó el camping no era el idóneo para la seguridad de las personas y de sus bienes.

La ruina de gran parte de las obras de corrección exigió la elaboración de un nuevo proyecto, que comenzó ese mismo año de 1996 con diferentes actuaciones de emergencia. A mediados de 1997 se terminó de redactar la primera fase del proyecto, que comprendía las actuaciones más urgentes, las cuales se ejecutaron ese mismo año con un coste de 1200 millones de pesetas. Acabada la primera fase, se comenzó con la segunda, que tenía por objeto completar la estabilización del perfil longitudinal del torrente, consolidando lechos y márgenes y regulando los caudales sólidos, con una inversión de 1094 millones de pesetas (NICOLÁS, 2001).

Torrente de Arguisal

Hemos hallado poca información sobre la corrección de este torrente, que en 1922 se encontraba muy adelantada (AYERBE, 1922). Según TARAZONA (2013a), en 1913 ya habían comenzado los trabajos de corrección en este cauce, mediante la canalización de un corto tramo, y continuaron en 1914 con la canalización de otro tramo más, que incluyó la construcción de al menos dos pequeños diques. En 1916 los trabajos consistieron en la construcción de otros dos diques de unos 3 metros de altura cada uno. Los trabajos prosiguieron los años posteriores, pues este autor refiere que entre 1926 y 1927 se construyeron dos diques más. Finalmente, entre 1930-1935 se realizó una nueva canalización justo por encima de la carretera que comunica Sabiñánigo con Biescas (fig. 15); con su ejecución se evitaban

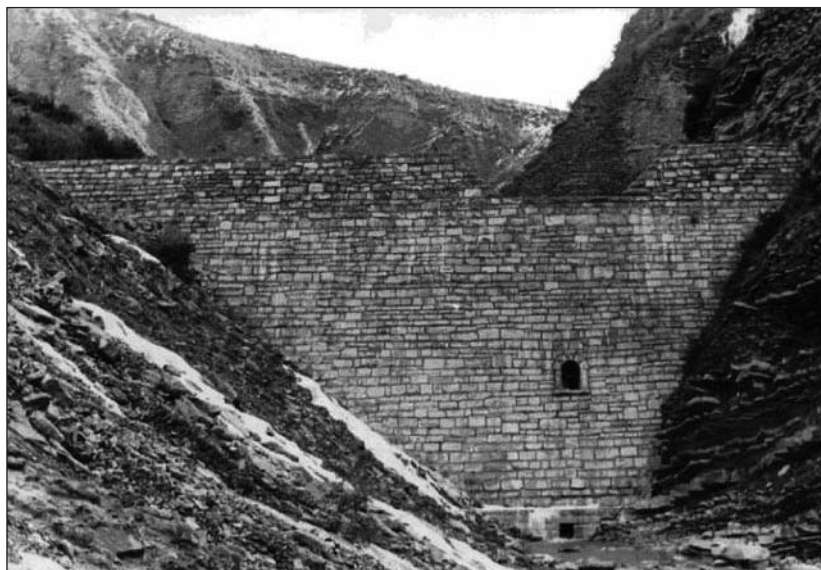


Fig. 15. Dique de primer orden en el torrente de Arguisal. (Foto: Pedro Ayerbe)

los habituales cortes de esta vía debido a los desbordamientos del Arguisal y a los numerosos arrastres de áridos que traían consigo.

Torrente de Escuer

Corregido el torrente de Arratiecho y adelantada la corrección del de Arás, se comienzan los estudios para la corrección del torrente de Escuer a comienzos de la década de 1920 (AYERBE, 1922). FERRER y REIG (1905), reproduciendo la descripción que Pedro Ayerbe hiciera de ese torrente en su *Memoria de reconocimiento general de la cuenca del Gállego*, indicaban que el estado de la cuenca del torrente era una muestra patente de los desastrosos efectos que producía la denudación de los terrenos margosos:

Únicamente la lucha por la existencia, la satisfacción de la primera necesidad y la ignorancia, por no llamarla egoísmo, del presente, pudo inducir a los vecinos del citado pueblo a roturar casi totalmente la cuenca de recepción del torrente, dejando tan solo poblada de pino y abeto una reducida extensión, pues las aguas, como hubiera debido preverse, empezaron a abrir surcos cada vez mayores y a formar lavas que arrastraban cuanto se ponía a su paso. Iniciada la excavación en el canal de desagüe,

fue profundizándose el lecho y produciéndose el consiguiente desprendimiento de las laderas y el intenso acarreo de los materiales que dio lugar al dilatado cono de deyección que hoy aparece.

El propio Pedro indicaba que la corrección del torrente de Escuer representaba un caso típico, incluso superior al de los torrentes anteriores, de los beneficios que la restauración hidrológico-forestal podía proporcionar a la riqueza nacional:

[...] desaparición de la casi totalidad del arbolado de monte y de los cultivos, que han tenido que ser abandonados; aterramiento de la mayor parte de la vega, y amenazado tan seriamente el poblado, que, en evitación de una catástrofe, se dispone el vecindario en masa a abandonarlo y a emplazarlo de nuevo en una parte del lecho de deyección, garantizado de todo peligro por los trabajos de corrección a realizar [...] la situación, trazada a grandes rasgos, sin entrar en interesantes detalles, no puede ser, como se ve, más crítica. De no existir el Servicio Hidrológico-Forestal, que bien merece el calificativo de providencial, el pueblo de Escuer desaparecería y sus moradores tendrían que buscar en la emigración su necesario sustento. (AYERBE, 1922)

No hemos hallado más referencias sobre la evolución de los trabajos durante estos años. El primer proyecto del que hemos tenido noticia es el de Jenaro Brun Arqué, redactado en 1935 y definitivamente aprobado en 1940, que preveía la repoblación con especies resinosas en 195 hectáreas y con “especies rústicas de gran raigambre” (sauces, abedules, etcétera) en 13,43 hectáreas de laderas especialmente erosionadas y en 53,48 hectáreas del cono de deyección del torrente, tal como cita TARAZONA (2013*b*). Según este mismo autor, los trabajos de corrección consistían en la construcción de muretes de mampostería y gaviones, siguiendo las curvas de nivel e intercalando entre ellos 35 kilómetros de enfajinados. En la garganta se construyeron varios diques de consolidación. Entre los nueve diques de primer orden y un número indeterminado de diques secundarios, sumaban un total de 28 000 m³ de mampostería hidráulica, cifra a la que había que añadir otros 18 000 m³ más entre gaviones y muros. Dentro de los trabajos auxiliares se contempló la construcción de hasta 6 kilómetros de sendas, de 1 metro de anchura, así como un albergue donde guardar herramientas y material o donde poder guarecer a los propios obreros. Dejó para el último momento, una vez acabados los diques y comprobada su efectividad, la necesidad de llegar a construir la canalización del cauce en su cono de deyección. El presupuesto de corrección ascendía a 1 460 882 pesetas.

En 1954 continuaban los trabajos en este torrente, como recoge la memoria del Patrimonio Forestal del Estado correspondiente a dicho año, donde se menciona la ejecución de trabajos de corrección por un importe de 505 172 pesetas.

Torrente de Sía

Afluente del río Gállego por su margen izquierda, al igual que el torrente de Arratiecho, confluye en aquel aguas abajo de la localidad de Biescas. Según José María Ayerbe, los arrastres que producía el barranco del Sía provocaban con frecuencia cortes en la carretera que comunicaba Biescas con Broto, que en palabras del mismo autor es una “importante vía de comunicación del Alto Aragón, que une las cuencas de los ríos Gállego y Cinca, por la que existe un intenso tráfico, principalmente transporte de maderas y que a menudo se ve interrumpido por los daños que originan estos torrentes”. El proyecto de corrección fue redactado por José María el 20 de mayo de 1953. Un año antes, en 1952, había redactado el proyecto de corrección del barranco de Larbesa, afluente del Sía (TARAZONA, 2013c).

Según los datos recogidos por TARAZONA (2013c), la cuenca del Sía abarca una superficie de 458 hectáreas y presenta una pendiente media de



Fig. 16. Gran dique de mampostería hidráulica construido en el torrente de Sía en 1962, según la memoria de los trabajos realizados en ese año por la Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial. (Foto: José María Ayerbe)

sus laderas que oscila entre el 12 y el 55%. El proyecto de corrección contemplaba la construcción de más de cien diques en la cuenca, ubicados del siguiente modo: veinticuatro en el barranco del Sía (fig. 16), veinte en el barranco del Humo, treinta y cinco en el barranco Labayo I, veintiuno en el barranco Labayo II y veinte en el barranco Furcos. Los trabajos de repoblación utilizaron como especie principal el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y, como procedimiento de preparación del suelo, el ahoyado manual. Las plantas procedieron del vivero de San Salvador, ubicado en la huerta de Senegüé, el cual distaba unos 12 kilómetros del monte donde se plantarían. La superficie que había que repoblar se estimó en 174 hectáreas, que correspondían a las zonas más erosionadas de la cuenca. El coste proyectado para los trabajos de repoblación fue de 430 023 pesetas.

Defensa del balneario de Panticosa

El balneario de Panticosa, cuyo origen se sitúa a finales del siglo XVII, se convirtió, a lo largo del XIX, en uno de los más prestigiosos y grandes de España. Las instalaciones balnearias se hallan a 1600 metros de altitud, al pie de un impresionante circo en el que sobresale el macizo de las Argualas, que supera los 3000 metros de altitud. En este circo tienen su origen, además del río Caldarés, diferentes torrentes como el Argualas y el Arnales, por la margen derecha del río, y el torrente de Brazato, por la izquierda. Los desniveles de estos torrentes hasta el balneario superan los 1300 metros.

La necesidad de la defensa del balneario no consta que fuera descrita en la *Memoria de reconocimiento general de la cuenca del Gállego* realizada en 1902 por Pedro Ayerbe, aunque sí hace referencia a los torrentes del Escalar y de Gabarda, afluentes del Caldarés por su margen derecha, aguas abajo de la explanada del balneario. Quizá ese silencio se debiera a que el balneario tenía un uso exclusivamente estival, por lo que no se había detectado la necesidad de protección contra aludes. Pero esa necesidad fue puesta de manifiesto por los ingenieros de Montes Joaquín Ximénez de Embún Oseñalde y Luis Velaz de Medrano Sanz en 1915, como consecuencia del alud que descendió por el torrente de Argualas y que ocasionó importantes daños a varias de las instalaciones (fig. 17). El alud fue descrito vívidamente por estos autores:

Eran las tres de la mañana del 24 de febrero cuando se notó que el viento repentinamente aumentaba de fuerza transformándose en un violento huracán, y simultáneamente con él descendió de las Alarualas [Argualas] con estrépito imponente un alud, coincidiendo la llegada de este a la llanura con el brusco decrecimiento de la fuerza del viento, que continuó reinando como en días anteriores. Después se vio que el alud había causado grandes destrozos que de momento no pudieron precisarse, porque las ruinas se hallaban cubiertas por la nieve que de las Alarualas descendió y que ocupaban una extensión de más de 200 m de longitud y más de 80 m de anchura en algunos sitios, con seis metros de profundidad media [...] redujo a escombros el matadero, la casa de los obreros, el Hotel de la Pradera (edificio este último de tres pisos y ochenta metros de fachada), buena parte del Casino y la casa de la Laguna. (XIMÉNEZ DE EMBÚN y VELAZ DE MEDRANO, 1915)

La primera noticia de un proyecto de defensa de las instalaciones hay que situarla en 1935. Fue redactado conjuntamente por Mariano Borderas y Jenaro Brun, aunque de su ejecución solo constan pequeñas obras de defensa como las construidas entre los años 1940 y 1942. En 1955, finalmente, se aprobaría el *Proyecto de defensa contra aludes de la zona pirenaica del balneario de Panticosa*, redactado por José María Ayerbe, con un

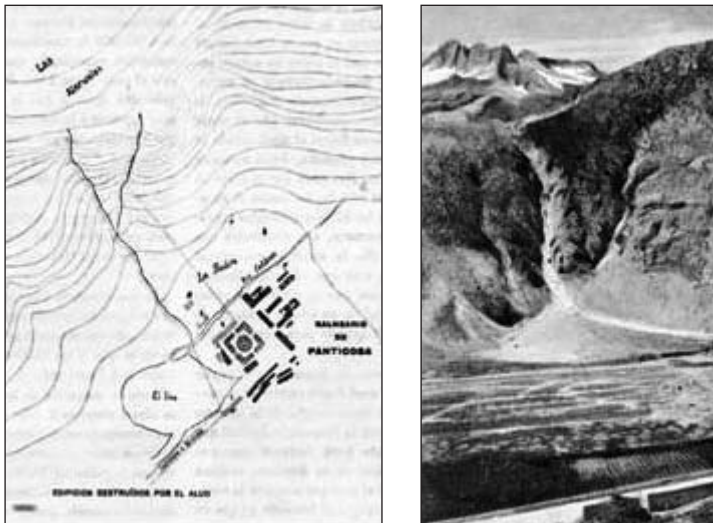


Fig. 17. Recorrido del alud que afectó al balneario de Panticosa el 24 de febrero de 1915 (izquierda), y vista del torrente de Argualas, por donde descendió. (XIMÉNEZ DE EMBÚN y VELAZ DE MEDRANO, 1915)



Fig. 18. Dique vacío construido en el torrente de Argualas para la defensa del balneario de Panticosa (¿1956?). (Foto: José María Ayerbe)

presupuesto de 7 961 378 pesetas. El conjunto de la corrección suponía la construcción de 201 puentes de nieve, siete diques vacíos y veintidós diques rastrillos en las ocho zonas en las que quedó dividida la cuenca corregida. En las memorias posteriores de la Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, se hacen otras referencias a la ejecución de proyectos en la zona: en 1956 se realizan trabajos en los torrentes de Brazato y de Argualas (fig. 18) y, en 1964, en el torrente de Arnales.

TRABAJOS MÁS DESTACADOS DE LOS AYERBE EN LA CUENCA DEL ARAGÓN

La corrección del torrente de Los Meses (Canfranc)

La corrección de este torrente, sito en la cuenca alta del río Aragón, está bien descrita por AZPEITIA (1922*b*, 1924), a quien seguimos en estos párrafos. Antes de las obras de corrección, Los Meses era un imponente torrente pirenaico en plena actividad, con frecuentes y grandes avenidas de lavas

que tenían su origen en su cuenca superior y, más concretamente, en dos grandes erosiones abiertas en un horizonte de margas azules. Estas erosiones iban en aumento, con sus continuos desplomes y corrimientos de fondo y superficiales, y habían producido que la divisoria de aguas que separaba las cuencas con estas conchas de erosión hubiese desaparecido.

La villa de Canfranc, que estaba construida sobre el cono de deyección del torrente (fig. 19), se encontraba frecuentemente amenazada. Para hacer frente a tan angustiosa situación, los vecinos, por prestación personal obligatoria, debían participar en la construcción de un muro longitudinal que desviaba las aguas hacia el sur del municipio. Precisamente ese trabajo obligatorio, que debía desempeñarse un número de días al mes durante todos los meses del año, dio origen al nombre de este torrente. Realmente el muro tenía un efecto transitorio, al ser enterrado una y otra vez por el material sólido que traía el torrente en sus crecidas, por lo que tenía que ser constantemente recrecido, haciendo que la prestación fuera más onerosa y molesta. Por eso, y a la vista del ejemplo de la corrección realizada por



Fig. 19. Construcción del dique n.º 1 en el torrente de Los Meses. Al final del barranco se ven los tejados de la villa de Canfranc, sita en el cono de deyección. (Foto conservada en el Archivo Histórico Provincial de Huesca, sign. AHPHU-A-00943-0007)

Pedro Ayerbe en el torrente de Arratiecho en Biescas, los vecinos de Canfranc solicitaron la corrección del torrente y dieron todas las facilidades para su realización. La corrección, asumida por la 6.^a División Hidrológico-Forestal, fue proyectada y dirigida inicialmente por Benito Ayerbe, quien desde el principio fue muy consciente de las enormes dificultades que esta presentaba, aunque no dudó nunca del éxito final a pesar de los malos presagios que escuchaba.

El que los trabajos de corrección se iniciaran en la cabecera del torrente causó un gran malestar entre los vecinos, quienes esperaban que se recreciera lo más rápido posible el muro, que para ellos era el garante de su seguridad. Esta incomprensión y este recelo se transformaron en grata sorpresa de alivio con la primera tormenta, cuando comprobaron que la carga de sólidos del torrente había disminuido notablemente. A los pocos años, seguros ya de la eficacia de las obras, los canfraneros pasaron del pesimismo acérrimo inicial al optimismo sin límites, lo que les llevó a solicitar nuevamente la entrada del ganado en los montes, con lo que mostraron que no habían entendido el papel que la recuperación de la vegetación tenía en la protección del suelo.

Según el proyecto de corrección, el torrente se dividió en tres tramos: *i*) el inferior, que comprendía el lecho de deyección y la garganta hasta su bifurcación; *ii*) el medio, formado por el resto de la garganta con sus grandes erosiones, y *iii*) el superior, integrado por la cuenca de recepción. En el tramo inferior se construyeron tres diques de mampostería hidráulica, dos de retenida y uno de consolidación, y uno de mampostería en seco. Asimismo, se construyó una canalización de 95 metros de longitud y 6,3 metros de anchura, que arrancaba del primer dique hidráulico y terminaba en el inicio del muro que construían los vecinos. Además, se repobló con frondosas y coníferas (*Salix capreae*, *Pinus nigra* y *Pinus banksiana*) todo el lecho de deyección.

En el tramo medio, que era el de mayor dificultad, por primera vez se ensayaron los encespedamientos artificiales, conocidos por los lugareños como *entascamientos*, del término *tasca*, con el que se designa en Aragón a determinados tipos de pastos de alta montaña. La práctica del encespedamiento consistía en arrancar tepes de césped, de 40 por 60 centímetros y 20 centímetros de gruesos, y colocarlos en las zonas más erosionadas, bien por



Fig. 20. Torrente de Los Meses. Dique final en construcción, con canalización y enfajinados para frenar la erosión (izquierda) y encespedamiento artificial por fajas (derecha). (Fotos: Benito Ayerbe)

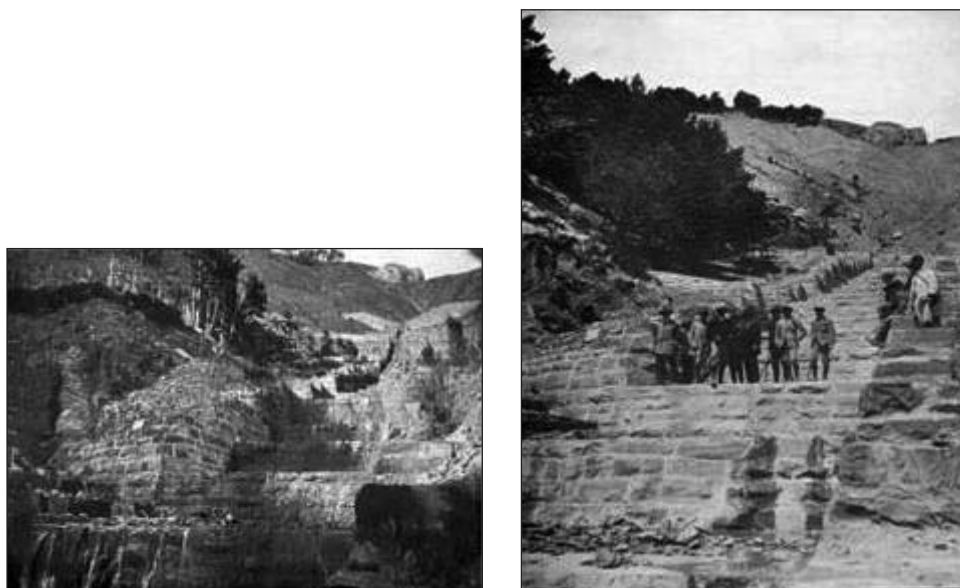


Fig. 21. Torrente de Los Meses. Corrección de la rama izquierda del tramo medio, ya finalizada (izquierda) y al empezar su construcción (derecha). (Fotos: Florentino Azpeitia y Benito Ayerbe, respectivamente)

fajas o en toda la superficie, fijados en el suelo mediante estaquillas (fig. 20). Con esta técnica se corrigió lo que podría denominarse como *las paredes de la concha de erosión*. En el cauce, por otro lado, se construyó un dique de mampostería hidráulica como base para los trabajos de canalización aguas arriba. En el ramal de la derecha se construyeron tres diques más y una canalización de 11 metros de longitud y 3 de anchura; en el de la izquierda (fig. 21), seis diques transversales y una canalización de 179 metros de longitud y 1,5 metros de anchura, con cincuenta y cuatro aletas o muros de mampostería en seco. En el tramo superior se realizaron los trabajos de repoblación, en una superficie de 30 hectáreas.

En 1924 los trabajos de corrección estaban prácticamente terminados, a excepción de corregir la concha derecha de erosión y los trabajos de repoblación, que se habían visto retrasados por la resistencia, en ocasiones violenta, del pueblo de Villanúa al acotamiento al pastoreo del monte Gabardito y Patro.

Trabajos de defensa contra torrentes y aludes de la Estación Internacional de Canfranc

Hemos dejado para el final de este artículo el somero análisis de una de las más impresionantes obras hidrológico-forestales de España, y aun de Europa entera, cual fue la ingente obra realizada por la 6.^a División Hidrológico-Forestal para la defensa contra aludes y torrentes de la Estación Internacional de Canfranc.

Antecedentes, dificultades de las obras y primeros trabajos (1908-1919)

Se debe al ingeniero de Caminos español Joaquín Bellido Díaz la elección del paraje canfranero de Los Arañones como enclave para ubicar la Estación Internacional que debía dar servicio a la línea ferroviaria transpirenaica de Zuera a Olorón. Esta elección cambiaba la ubicación inicial recogida en el convenio hispanofrancés suscrito en 1880 (tabla II), que la situaba en Villanúa. Las razones del cambio se justificaban por las constantes discusiones entre los ingenieros civiles franceses, que defendían que la boca sur del túnel tuviera una cota no superior a los 1100 metros de altitud,

y los ingenieros militares españoles, que reclamaban una cota de 1330 metros para poder ser batida, en caso de invasión, por la artillería del collado de Los Ladrones. Así, Los Arañones, con sus 1195,5 metros de altitud media, era una solución intermedia, complementada por un compromiso de

Tabla II. Cronología de las obras civiles de la Estación de Los Arañones. (ANÓNIMO, 1928)

<i>Fecha</i>	<i>Acontecimiento</i>
16 de julio de 1880	Firma del primer convenio. En él se fija la ubicación del túnel de Somport y de una estación internacional en Villanúa.
1885	Nuevo convenio con Francia que añade una nueva línea ferroviaria transpirenaica, la del Noguera-Pallaresa.
18 de agosto de 1904	Nuevo convenio. Se concretan tres líneas transpirenaicas por Canfranc, Sort y Puigcerdá. La línea de Somport tendría una estación internacional en el lado francés, en Forges d'Abel.
15 de abril de 1908	Modificación del convenio. Se indica que se construirá en la línea del Somport una sola estación internacional ubicada en Arañones (Canfranc).
1 de enero de 1909	Inicio de la perforación del túnel de Somport, diseñado por el ingeniero español Manuel Aguilar y el ingeniero francés Martinet.
21 de febrero de 1915	Se termina la construcción del túnel, con una longitud de 7874 metros. El coste de las obras fue de 7 617 576 pesetas.
Septiembre de 1915	Comienzan los trabajos de la explanada de la Estación, consistentes en el desvío y encauzamiento del río Aragón y el movimiento de tierras y alcantarillas para desagüe de los torrentes de Cargates, Epifanio y Borreguil de Samán. La explanada tiene una longitud de 1200 metros y un ancho de 170 metros. Tardó en construirse seis años y su coste fue de 4 467 426 pesetas.
Enero de 1925	Termina la construcción del edificio de la Estación. Su coste fue de 3 273 463 pesetas.
Mayo de 1925	Comienza la construcción del poblado de Arañones. Veinte casas de tres pisos con diez viviendas en cada uno. En total, podrían instalarse doscientas familias y de ochenta a cien empleados sin familia.
18 de julio de 1928	Se inaugura la línea ferroviaria en Canfranc por el rey Alfonso XIII y el presidente de la República Francesa, Gaston Doumergue. El coste total de las obras fue de 31 millones

construir una nueva fortificación que permitiera batir el túnel. Hecha la nueva propuesta en 1890, fue aprobada por los Ministerios españoles de Guerra y de Fomento en 1891 y 1893, respectivamente, si bien no fue hasta 1908 cuando la nueva ubicación fue reconocida en un convenio internacional (VIDAL, 1999: 101-102; ANÓNIMO, 1928).

La elección tenía el inconveniente de que los torrentes y los aludes que afectaban a ese paraje constituían una amenaza real y grave para la Estación y la propia vía del ferrocarril. En junio de 1911, el jefe de la Comisión Internacional de los Ferrocarriles Transpirenaicos dirige una carta a Pedro Ayerbe, jefe de la 6.^a División Hidrológico-Forestal, instándole a que dé conocimiento al Gobierno de la necesidad de emprender los trabajos de defensa de la Estación contra aludes y avenidas (MARTÍNEZ-FALERO, 1946). Pocos días después de que la Comisión remitiera esa carta, Benito Ayerbe, como ingeniero encargado en la 6.^a División de la sección primera del río Aragón, elaboraba la *Propuesta especial de trabajos para la defensa de la Estación Internacional de Los Arañones*, que comprendía tres tipos de trabajos (AYERBE AÍSA, 1913): *i*) repoblación, *ii*) corrección de torrentes, y *iii*) fijación de la nieve o corrección de aludes.

Las dificultades a las que se enfrentaba el proyecto de defensa de la Estación eran muchas y notables, como relatan AZPEITIA y GANUZA (1926) y MARTÍNEZ-FALERO (1946). La explanada de la Estación, situada en la margen izquierda del río Aragón, comprendía la desembocadura de cuatro torrentes por la izquierda (de norte a sur, Picaubé, Cargates, Epifanio y Borreguil de Samán) y uno por la derecha (Estiviellas), todos ellos con una gran actividad torrencial. Según MARTÍNEZ-FALERO (1946), todos los torrentes eran simples canchales que se correspondían con los del segundo grupo de la clasificación de DEMONTZEY (1882). Las gargantas presentaban una gran pendiente media, con frecuentes acantilados: el torrente de Estiviellas, por ejemplo, tenía una pendiente media del 52%, con un desnivel de 1300 metros, mientras que en el torrente de Epifanio la pendiente era del 55% y el desnivel de 1450 metros (fig. 22). Esta accidentada topografía hacía poco menos que inaccesibles la mayoría de las cuencas de recepción de los torrentes, según describía el propio AZPEITIA (1922a). De las cuencas altas de todos ellos se desprendían importantes aludes que tomaban por recorrido las gargantas y el lecho de deyección y llegaban hasta el fondo del valle.



Fig. 22. Vistas de los torrentes de Epifanio y Borreguil de Samán (izquierda) y de Estiviellas (derecha) antes de su corrección, donde se aprecia su extrema torrencialidad y su muy accidentada orografía. La foto de la derecha está fechada en 1912. (Fotos: Benito Ayerbe)

El clima de la región se describía como extremadamente duro, con frecuentes e intensas tormentas de verano y muy abundantes nevadas en invierno, acompañadas de hielos y vientos fuertes. Como ejemplo de fuertes tormentas se puede citar la del verano de 1916, en la que se recogieron, en el pluviómetro de la casa forestal, 79 milímetros en media hora. Según relata MARTÍNEZ-FALERO (1946), la altura de la nieve en el fondo del valle alcanzaba los 2,5 metros, y podían registrarse valores de 10 a 15 metros. El número medio de días al año que nevaba en el valle era de 50, pero llegaba a 150 para cotas superiores a 1700 metros, donde solo los meses de julio y agosto estaban libres de nevadas. La temperatura media no superaba los 5 °C de diciembre a abril y se situaba por encima de los 10 °C solo de junio a septiembre. La vegetación, según Benito Ayerbe, era muy escasa; no solo había carencia de arbolado, sino de maleza, por lo que los aludes podían deslizarse sin ningún obstáculo (AYERBE AÍSA, 1913).

Otro condicionante para la realización de los trabajos de defensa era la propiedad de los montes. La restauración de la vegetación implicaba necesariamente la limitación de los aprovechamientos forestales, en particular de los de carácter pastoral, lo cual conllevó la necesidad de expropiar siete parcelas, que constituían la zona que se conocía como Los Arañones y que

fueron adquiridas entre 1912 y 1913. Por otra parte, los numerosos conflictos de propiedad que surgieron obligaron a la realización del deslinde total administrativo del monte adquirido de este modo, que se efectuó en 1918 y se aprobó en 1920; se compraron luego, mediante otra expropiación complementaria, los enclavados reconocidos a particulares en el deslinde (MARTÍNEZ-FALERO, 1946). De este modo, la superficie objeto de los trabajos quedó englobada en el monte número 2 bis (actual número 406) del *Catálogo de montes de utilidad pública de la provincia de Huesca*, denominado Los Arañones (fig. 23), entonces propiedad del Estado (hoy de la Comunidad Autónoma de Aragón), y que figura en el vigente *Catálogo* con 769,14 hectáreas totales y 696,01 hectáreas públicas.

A estos condicionantes naturales o de propiedad había que sumarles los propios de la singular naturaleza de las instalaciones que se trataba de defender. En buena lógica, las obras de defensa hubieran debido preceder a

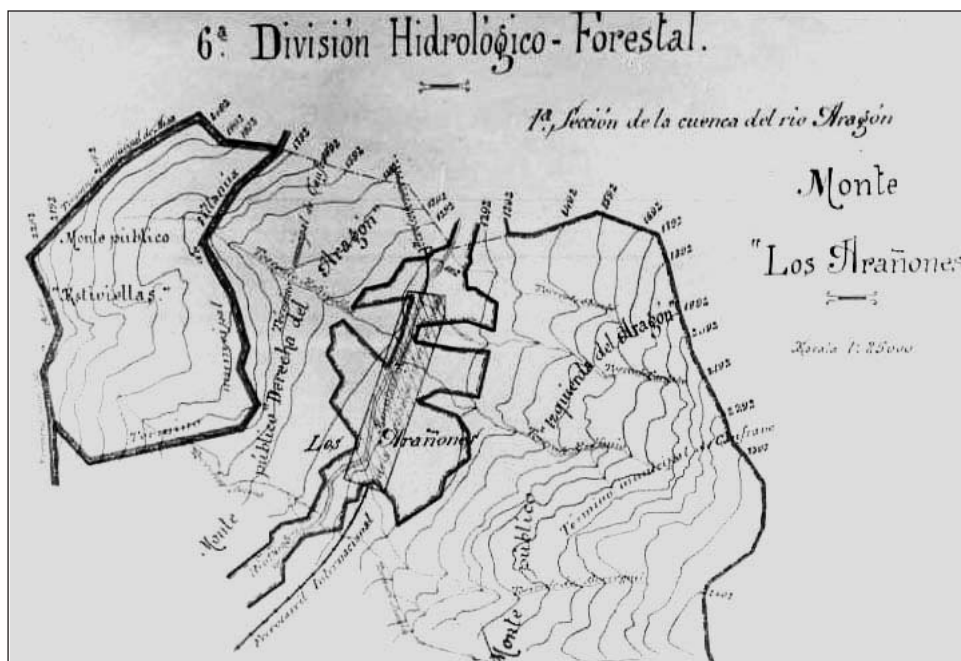


Fig. 23. Plano del monte estatal de Los Arañones, formado por la 6.^a División Hidrológico-Forestal en 1912-1913 mediante expropiación con el fin de disponer de terrenos para las obras de defensa de la Estación Internacional de Canfranc.

(Imagen facilitada por Tomás Ayerbe)

las de las instalaciones, pero por motivos administrativos y presupuestarios (que no se guían con frecuencia por el sentido común ni por los dictados de la técnica) la construcción de la Estación Internacional y de sus anexos se hacía simultáneamente a las obras de protección, con los consiguientes problemas de coordinación. Las obras de la Estación y de la línea ferroviaria, además, estaban a cargo de otras unidades de la Administración, y todo, en última instancia, bajo la mirada atenta (a veces incluso inquisitorial) de la Comisión Internacional de Ferrocarriles Transpirenaicos, que, desconocedora de la singularidad y de los tiempos de las obras de defensa, solía introducir una presión añadida y, por tanto, un problema más.

Por último, la ejecución del proyecto estuvo constantemente limitada, en los primeros años, por las restricciones presupuestarias. Durante mucho tiempo los ingenieros de Montes fueron los *hermanos pobres* de las obras de Canfranc. La propuesta de 1911 de Benito Ayerbe alcanzaba un importe de algo más de 1 millón de pesetas, pero, aunque fue aprobada por Real Decreto el 21 de octubre de 1911, recibió solo una primera partida presupuestaria de 15 000 pesetas. El 17 de diciembre de 1912 se concedió, por ley, un crédito extraordinario de 200 000 pesetas, que se consolidó en los años siguientes. En 1915, con motivo de la subasta de las obras para la explanación del solar donde iba a estar ubicada la Estación, la *Revista de Montes* señalaba que debía incrementarse el crédito. Así, en 1918 se intentó aumentar el presupuesto hasta las 500 000 pesetas, pero tan solo se logró un crédito extraordinario de 102 379 pesetas. No será hasta 1920, como veremos más adelante, cuando se habiliten fondos suficientes para alcanzar un buen ritmo de trabajo.

De este modo, aunque las obras empezaron a ejecutarse en 1907-1908, hasta 1912 se redujeron a poco más que las repoblaciones (AZPEITIA y GANUZA, 1926). Se instaló el primer vivero en 1907 y Benito Ayerbe planteó la necesidad de realizar la repoblación por plantación, a causa de las pérdidas que los ratones causaban en las siembras. La especie principal elegida fue el pino silvestre, acompañada de pino negro (*Pinus uncinata*), abeto (*Abies alba*) y haya (*Fagus sylvatica*). En las partes bajas se planteaba la plantación de sauces, chopos, olmos, acacias o fresnos, y en los taludes, la gayuba (AYERBE AÍSA, 1913). Entre 1912 y 1920 fueron ejecutándose los trabajos en pequeña escala, a medida que se aprobaban las partidas

presupuestarias. La eficacia de estas primeras obras fue comprobada después del duro invierno de 1915-1916, en que se sucedieron numerosos aludes que destrozaron algunos de los edificios construidos en la explanada de la Estación, aunque ninguno de ellos procedió del torrente de Epifanio, donde se habían iniciado los trabajos de defensa. Estos hechos sirvieron para que la Comisión Internacional presionara al Estado para emprender con más energía estas obras. A mediados de 1916, el Consejo Forestal designó al joven ingeniero de Montes Florentino Azpeitia Florén, adscrito al Distrito Forestal de Málaga, para prestar servicios en la 6.^a División Hidrológico-Forestal, sin perder la adscripción a dicho distrito. Esta nueva incorporación permitió avanzar en la elaboración del proyecto definitivo, pero la repentina muerte de Benito Ayerbe en 1917 retrasó su formación; a partir de ese momento, la dirección de los trabajos pasó a Azpeitia, auxiliado por el ayudante de Montes Manuel Barrenechea (destinado en la División desde 1915).

Los proyectos de corrección de 1919

Finalmente, en 1919 se presentaron dos proyectos que reunían la corrección definitiva. El presupuesto ascendía a 6 162 980 pesetas, que debían afrontar a medias ambas naciones y que era el más importante jamás planteado para una obra forestal en España. El plazo de ejecución se fijó en seis años. Por Real Orden de 19 de septiembre de 1919 se aprobó el proyecto, y en el ejercicio presupuestario de 1920 se consignó la cantidad de 1 millón de pesetas para su ejecución. Asimismo, con carácter excepcional, el Real Decreto de 18 de junio de 1920 permitió que las obras se ejecutaran por la propia Administración forestal (exceptuándolas, por tanto, de los procedimientos generales de subasta y de concurso que contemplaba la Ley de Administración y Contabilidad de la Hacienda Pública) para acelerar el proceso y ajustarlas al periodo estival, único hábil por los condicionantes del medio.

El proyecto de 1919 abarcaba el estudio de seis cuencas torrenciales y diecinueve cuencas con problemas de aludes. Las obras propuestas pretendían defender la Estación frente a tres grupos de riesgos: *i*) fenómenos torrenciales, *ii*) aludes, y *iii*) desprendimiento de bloques. Los trabajos para

la corrección del fenómeno torrencial en los cinco torrentes principales se estructuraron del modo siguiente: *i*) trabajos en las cuencas de recepción, *ii*) trabajos en las gargantas, *iii*) trabajos en los conos de deyección, y *iv*) trabajos de defensa contra aludes y contra la caída de bloques. A continuación, se analizan someramente cada uno de estos tipos de trabajos a partir de las publicaciones de la época (AZPEITIA, 1922*a*, 1922*c*; AZPEITIA y GANUZA, 1926).

Los trabajos en las cuencas de recepción, a su vez, se dividían en corrección de torrenteras y repoblaciones forestales. El tipo de obra elegida para la corrección de torrentes era la de pequeños diques transversales de mampostería en seco, que al aterrarse impedían la erosión de fondo y el consiguiente desprendimiento de las laderas. También servían para la fijación del manto de nieve, por el escalonado de la garganta. En cuanto a las repoblaciones forestales, la zona objeto de restauración superaba las 600 hectáreas. En las zonas baja y media de las cuencas, con una superficie cercana a las 290 hectáreas, la restauración se consiguió con ayudas a la regeneración natural y un acotamiento riguroso del pastoreo. Las partes altas de las cuencas, que representaban una superficie próxima a las 350 hectáreas, fueron repobladas. Las plantaciones, en el caso de las coníferas, se hicieron por grupos de tres a cinco plantas por especie; se llegaron a plantar cerca de 7 millones de plantas. Las especies principalmente utilizadas fueron *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* (tabla III). Las especies alóctonas fueron introducidas con un carácter experimental, y mostraron un excepcional comportamiento los dos alerces, en especial el del Japón (*Larix kaempferi*). Entre las frondosas se utilizaron hayas, avellanos (*Corylus avellana*) y álamos temblones (*Populus tremula*).

El proyecto planteaba como método de repoblación la plantación; se dispusieron viveros a diferentes alturas con objeto de adecuar la fenología de la planta a cada uno de los niveles altitudinales. En total se establecieron 10 viveros *volantes* (no permanentes), que recibían los nombres de Pinabete, Casita Blanca, Cargates, Secras, Borreguil, Casas Forestales, Ortigas, Picaubé, Almacenes y Besqué (fig. 24). La peculiaridad de las obras de repoblación hizo que se adoptaran soluciones creativas. En primer lugar, una densidad de plantación altísima (7000 hoyos / hectárea), probablemente para asegurar lo más rápido posible la cobertura vegetal y en previsión

Tabla III. Especies utilizadas en la restauración de las cuencas. (MARTÍNEZ-FALERO, 1946)

<i>Especie</i>	<i>Número de grupos</i>	<i>Número de pies</i>
<i>Pinus uncinata</i>	1 140 396	
<i>Pinus sylvestris</i>	643 106	
<i>Larix decidua</i> * (1)	198 695	
<i>Pinus banksiana</i> *	135 227	
<i>Picea abies</i> *	84 879	
<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>salzmanii</i>	54 805	
<i>Pinus pungens</i> *	10 586	
<i>Abies alba</i>	3 016	
<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>nigra</i> *	2 432	
<i>Pinus cembra</i> *	2 423	
<i>Cedrus libani</i> *	1 072	
<i>Pseudotsuga menziesii</i> *	1 064	
<i>Cedrus atlantica</i> *	877	
<i>Abies pinsapo</i>	796	
<i>Cedrus deodara</i> *	38	
<i>Salix eleagnos</i>		23 808
<i>Fraxinus excelsior</i>		12 700
<i>Populus</i> sp.		3 247
<i>Alnus glutinosa</i>		1 840
<i>Sorbus</i> sp.		1 677
<i>Acer</i> sp.		1 053
<i>Cytisus</i> sp.		937
<i>Corylus avellana</i>		741
<i>Ulmus</i> sp.		578
Espino		551
Varias		17 029
<i>Total</i>	<i>2 279 412</i>	<i>64 161</i>

* Especies alóctonas o exóticas.

(1) Probablemente también esté incluida aquí la especie *Larix kaempferi*, al existir referencias sobre su uso y el magnífico resultado obtenido.

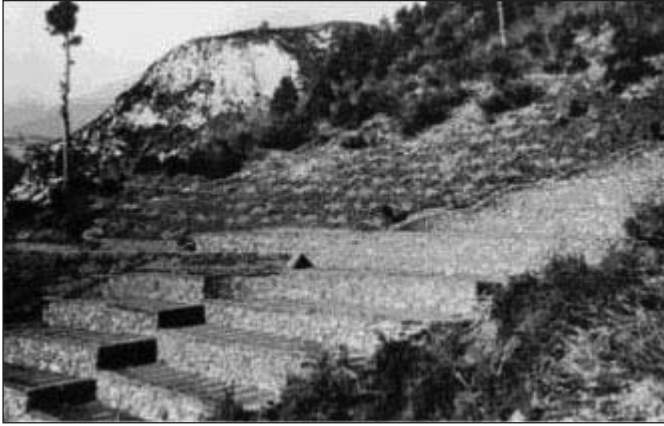


Fig. 24. Vivero volante en Cargates, instalado para la producción de plántula de pino con destino a las repoblaciones de Canfranc. (AZPEITIA, 1922c)

también, quizá, de un porcentaje de marras elevado. Y, en segundo lugar, se indicaba la necesidad de proteger las paredes del hoyo con piedras para evitar el desprendimiento de la tierra y de ese modo el enterramiento de la planta. En los aterramientos de los diques y a lo largo de las canalizaciones y caminos se plantaron pies de tres savias de fresnos, olmos, serbales y chopos, mientras que para la restauración de las conchas de erosión se plantaron estacas de *Salix eleagnos*.

En lo que se refiere a los trabajos en las gargantas, para conseguir que a los conos de deyección llegara la menor cantidad posible de sólidos, se planteó la construcción de una serie de diques de retenida a lo largo de los cauces de los torrentes y otros de consolidación en los tramos donde se podía producir una erosión de fondo. Se proyectaron setenta y un diques, de retenida y consolidación, con alturas comprendidas entre 3 y 15 metros: veintidós en las ramas del torrente de Picaubé, doce en Cargates, catorce en Epifanio, trece en Borreguil de Samán y diez en Estiviellas (fig. 25). Adicionalmente, se realizaban trabajos de corrección directa de la erosión mediante la formación de fajinas siguiendo las curvas de nivel. Se clavaban estacas en el suelo, a las que se fijaban fajinas elaboradas con varetas de *Salix eleagnos* (fig. 26).

En cuanto a los trabajos en los conos de deyección, se plantearon canalizaciones escalonadas mediante diques longitudinales rectos o curvos y



Fig. 25. Dique número 5 del torrente de Epifanio. (AZPEITIA, 1922c)



Fig. 26. Enfajinados en una ladera de Estiviellas. (AZPEITIA, 1922c)

pequeños diques transversales separados una distancia variable. Se proyectaron en total cuatro canalizaciones, en los torrentes de Estiviellas, Epifanio, Cargates y Borreguil de Samán, de 4 a 4,5 metros de anchura, con diques transversales para salvar el desnivel de su lecho (tabla iv, fig. 27). Además, se proyectaron dos canales de 1 metro de anchura en la torrentera de Abós y en la fuente del Besque.

Tabla iv. Características de las canalizaciones de las obras de defensa de la Estación de Canfranc. (MARTÍNEZ-FALERO, 1946)

	<i>Estiviellas</i>	<i>Cargates</i>	<i>Epifanio</i>	<i>Borreguil de Samán</i>
Número de tramos	55	33	36	29
Número de diques transversales	54	32	35	28
Longitud de diques longitudinales (m)	361	310	325	285
Desnivel (m)	85	91	86	63



Fig. 27. Canalización del torrente de Estiviellas.
(Foto facilitada por Tomás Ayerbe)

Por último, en lo que se refiere a los trabajos de defensa contra aludes y contra la caída de bloques, se actuó contra los primeros de dos maneras: con obras en la cuenca de formación y con obras de detención.

Entre los trabajos de corrección de aludes en su cuenca de formación se contaban las banquetas, las terrazas o los puentes de nieve, cuyo objetivo común era dar mayor estabilidad al manto de nieve. Las banquetas contaron en ocasiones con diseños originales, como las llamadas *banquetas continuas* o *banquetas-caminos*, que podían desempeñar una doble función de protección y de comunicación, o las banquetas formadas por césped (fig. 28). También se diseñaron muros de sujeción, diques rústicos y redes. Para hacer frente a los aludes que llamaban *volantes*, la repoblación forestal era la única solución.

En cuanto a los trabajos de detención de aludes, se utilizaron dos tipos de obra: los ya mencionados diques vacíos y los diques de tierra o de césped. De estos últimos, solo se proyectaron dos, a la entrada de los conos de deyección de los torrentes de Estiviellas y Epifanio, ya que se entendía que el resto de las obras de defensa no hacía necesarios más. De los diques vacíos, se proyectaron doce: tres en Cargates, cinco en Epifanio y cuatro en Estiviellas, con alturas de entre 13 y 25 metros y espesores de coronación de entre 3 y 4 metros. Contra los desprendimientos de bloques, en cambio, no se proyectaban más obras que la consecución de una masa forestal protectora mediante repoblación.



Fig. 28. Banquetas de césped en Estiviellas. (AZPEITIA, 1922a)

Ejecución del proyecto definitivo de defensa (1920-1930)

A partir de 1920 se intensificó la ejecución del proyecto de defensa, que estaba muy avanzada a mediados de junio de 1925, fecha en la que se habían invertido algo más de 6 millones de pesetas (AZPEITIA y GANUZA, 1926). Además de las obras de corrección, se realizaron numerosos trabajos auxiliares, en particular para permitir el acceso y la estancia de los trabajadores en tan difíciles terrenos: cinco grandes albergues para alojar a los trabajadores en el monte en cotas superiores a los 2000 metros, veintiún almacenes pequeños para material a pie de obra, cinco almacenes grandes para centralizar el material, dos garajes para camiones, dos cuadras, 3 kilómetros de carretera de 5 metros de anchura en la margen izquierda del río Aragón y más de 85 kilómetros de caminos (24 en la margen derecha y más de 61 en la izquierda) de una anchura de entre 1,8 y 2,1 metros (MARTÍNEZ-FALERO, 1946). La liquidación de la obra ejecutada entre 1908 y 1930 ascendió a 8 225 200 pesetas, como se detalla en la tabla v.

La Estación Internacional se inauguró en julio de 1928 con la presencia del rey Alfonso XIII y el presidente de la República Francesa, con motivo de lo cual Pedro Ayerbe tuvo la ocasión de presentar las obras de corrección al monarca español. En ese mismo año, la Comisión Internacional valoraba las obras realizadas bajo la dirección de los ingenieros de Montes de la siguiente manera:

Desde que se han realizado [las obras], los aludes no han llegado nunca a la explanada de la estación; han quedado detenidos todos los años en los diques construidos para tal fin. Además se ha observado que la nieve ha ido quedando detenida a mayor altura, a medida que los trabajos han ido adelantando, lo que demuestra que el resultado obtenido ha sido satisfactorio. (ANÓNIMO, 1928)

El periódico *La Voz* publicó el 18 de julio de 1928 un extenso reportaje acerca de los actos de inauguración. En él se publicaba un artículo del prestigioso ingeniero de Montes Ezequiel González Vázquez, en el que mostraba su admiración por los trabajos realizados:

Ni el trazado del ferrocarril aguas arriba del curso del río Aragón, con ser uno de los más pintorescos que nos ofrecen nuestras líneas férreas, ni el gran túnel que salva el puerto de Somport, cuyas obras se aproximan a las colosales que hoy permiten el recorrido de los *directísimos*, atraen la atención del turista y técnico como las obras de defensa de la estación internacional de

Tabla v. Inversión realizada en la defensa de Los Arañones desde 1908 a 1930.
(MARTÍNEZ-FALERO, 1946)

<i>Año</i>	<i>Trabajos forestales (ptas.)</i>	<i>Trabajos de corrección (ptas.)</i>	<i>Trabajos auxiliares (ptas.)</i>	<i>Gastos generales (ptas.)</i>	<i>Total (ptas.)</i>
1908		3 000			3 000
1909	106	5 200	1 256	1 400	7 962
1910		8 720	1 535		10 255
1911	1 780	900	7 406	4 914	15 000
1912	2 250	8 290	32 100	175 660	218 300
1913	13 500	57 000	30 840	98 660	200 000
1914	12 500	120 940	16 580	49 980	200 000
1915	8 715	129 466	12 200	49 619	200 000
1916	8 743	125 158	13 200	52 899	200 000
1917	8 000	109 637	12 847	69 516	200 000
1918	10 540	165 187	16 708	109 945	302 380
1919	19 698	63 448	48 737	238 112	369 995
1920	51 246	258 574	203 424	486 758	1 000 002
1921	86 117	367 811	221 625	324 448	1 000 001
1922	55 051	186 298	211 368	547 284	1 000 000
1923	73 963	424 463	208 856	292 719	1 000 001
1924	40 304	85 080	54 088	70 542	250 014
1925	50 178	151 429	52 694	134 513	388 814
1926	66 185	313 968	73 484	215 819	669 455
1927	40 164	252 822	17 807	89 203	399 996
1928	20 581	6 425	11 977	35 853	74 835
1929	35 681	213 713	4 973	32 413	286 780
1930	42 748	144 841	1 493	39 328	228 409
<i>Total</i>	<i>648 048</i>	<i>3 202 369</i>	<i>1 255 197</i>	<i>3 119 586</i>	<i>8 225 200</i>

Los Arañones [...] Un Ingeniero de Montes ya fallecido, D. Benito Ayerbe, proyectó las obras que han permitido establecer la estación sobre los lechos de deyección de los torrentes, hoy casi corregidos y canalizados, obras que a la vez que corregían los torrentes contenían en las alturas los aludes [...] Semejantes obras de defensa, únicas en nuestro país, son las que han de permitir que corran los trenes por la línea de Canfranc sin estar amenazados por los torrentes y aludes, y no llegue a interrumpirse el tráfico de la nueva línea

internacional, en la que la ingeniería española ha mostrado su alta competencia con trabajos perfectamente concebidos y armónicamente realizados. (GONZÁLEZ, 1928)

Trabajos de ampliación y de conservación de las defensas, posteriores a 1930

Para MARTÍNEZ-FALERO (1946), con la inauguración acabaría el segundo periodo de las obras, el de mayor actividad, y comenzaría un tercer periodo dedicado fundamentalmente a las tareas de conservación. Los ingenieros de Montes que trabajaron en esta época, además de Florentino Azpeitia, fueron Miguel Ganuza del Riego y Julio Rodríguez Torres. El registro de movimientos superficiales de nieve en el invierno de 1930, que ocasionaron pequeños daños a determinadas obras, llevó a la superioridad a dictar una Orden Ministerial el 4 de junio de 1932 por la que se instaba a la redacción de un proyecto de ampliación con la propuesta de obras que se estimaran necesarias para la completa defensa de la Estación Internacional de los aludes y de la actividad de los torrentes. El proyecto, elaborado probablemente por el ingeniero de Montes Herminio Estéfano Barrón, fue aprobado el 18 de marzo de 1936, con un presupuesto de 1 305 649 pesetas. El 28 de agosto de 1934 se presentó otro proyecto para la conservación de las obras, con la finalidad de asegurar su correcto funcionamiento hasta que las nuevas masas forestales pudieran cumplir sus objetivos. Se aprobó el 12 de junio de 1936. Ambos proyectos quedaron en suspenso como consecuencia de la Guerra Civil.

En 1947 José María Ayerbe redactó un nuevo proyecto (MARRACO, 1999), que incluía un gran dique de consolidación en el torrente de Epifanio, pero, sobre todo, las actuaciones contra aludes en la cuenca de Estiviellas y Borreguil de Samán, mediante puentes de nieve de madera y hormigón, rastrillos de placas de hormigón, diques rastrillos, etcétera (fig. 29). Los trabajos en Los Arañones continuaron en años sucesivos con los ingenieros de Montes José María Ruiz-Tapiador Martínez y Carlos Revuelta Salinas (tabla VI).

Tabla vi. Trabajos realizados en Los Arañones a partir de 1930.

(Fuentes: Memorias del Patrimonio Forestal del Estado y de la Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, y MARTÍNEZ-FALERO, 1946)

<i>Año</i>	<i>Trabajos forestales (ptas.)</i>	<i>Trabajos de corrección (ptas.)</i>	<i>Trabajos auxiliares (ptas.)</i>	<i>Gastos generales (ptas.)</i>	<i>Total (ptas.)</i>
1931	35 950	21 922	35 343	42 245	135 460
1932	21 214	20 859	2 080	53 421	97 574
1933	14 043	87 986		31 766	133 795
1934	24 585	36 199		22 284	83 068
1935	2 324	21 813		5 455	29 592
1936	1 806	9 965		7 786	19 557
1937	5 425	10 653		6 235	22 313
1938	6 346	10 782	2 322	8 210	27 660
1939	3 527	10 545	2 575	28 115	44 762
1940	6 400	206 714	51 474	66 920	331 508
1941		829 601	19 017	24 100	872 718
1942		275 198	10 001	79 135	364 334
1943		175 148	10 000	64 852	250 000
1944	12 125	186 760	10 000	41 115	250 000
1945	3 420	176 125	10 000	60 455	250 000
1953	Excavación de 935 m ³ y construcción de 850 m ³ de mampostería hidráulica y 1446 m ² de rejuntado de paramentos. Construcción del dique 9 en Borreguil de Samán (1567 m ³). Construcción del dique vacío 10 en Estiviellas (4164 m ³). Puentes de nieve en Borreguil de Samán (100 metros tipo I, 85 metros tipo II). Puentes de nieve en Epifanio (145 metros tipo I). Limpieza de arrastres en canalizaciones (445 m ³).				
1954	Defensa contra aludes en Borreguil de Samán.				886 395
	Defensa contra aludes en Canfranc.				240 192
	Defensa contra aludes en Arañones, Rioseta y carretera general.				4 378
1972	En estudio el proyecto de construcción de diques de contención de aludes en Rioseta. En estudio el proyecto de construcción de dos diques vacíos en Borreguil de Samán.				



Fig. 29. Obras de José María Ayerbe para la defensa contra aludes en Estiviellas: rastrillo de placas de hormigón (izquierda) y puentes de nieve de madera (derecha). (Fotos: José María Ayerbe)

Se da la curiosa circunstancia de que don Juan Carlos de Borbón, entonces príncipe de España, visitó las correcciones en Estiviellas en torno al final de la década de 1960, guiado por José María Ayerbe (fig. 30). Por tanto, cuarenta años después otro Ayerbe daba cuentas a un rey (un futuro rey, en este caso) de las obras en Los Arañones.

Gracias a Tomás Ayerbe Mora tenemos de esa época relatos pintorescos de la actividad de la Administración forestal en las obras de defensa de Canfranc. *Forestales*, como así se conocían las edificaciones que daban servicio a la actividad forestal, era un pueblo en miniatura. Disponía de herrería, carpintería, matadero, horno de pan, economato, cuadras, garajes y almacenes; todo lo necesario para atender las demandas del Servicio y de los obreros, que vivían durante toda la temporada que duraban los trabajos en los barracones del monte, sin bajar al valle. Para su alimentación, la División Hidrológico-Forestal compraba un rebaño de ovejas en la primavera y lo llevaba a pastar a los puertos de montaña, de modo que los animales iban siendo sacrificados en el matadero a medida que lo precisaba la atención a las necesidades de los obreros.

Otra curiosa anécdota que recuerda Tomás Ayerbe hace referencia a una actuación para la defensa de las instalaciones militares de Rioseta que debió



Fig. 30. José María Ayerbe, en el vivero forestal de la Casita Blanca, dando explicaciones a don Juan Carlos de Borbón, entonces príncipe de España, sobre las correcciones en Estiviellas.

de tener lugar a mediados de la década de 1950. Para descargar una gran cantidad de nieve que se había acumulado en una cornisa, la 6.^a División había solicitado a las autoridades militares el auxilio de la artillería. El gran alcance que se precisaba hizo necesario que se subiera hasta Rioseta un cañón ubicado en los acuartelamientos de Jaca. Una vez situado el cañón, fijado el objetivo y regulado el tiro por parte de los artilleros, resultó que el proyectil superó la cornisa de nieve y explotó en territorio francés. Obviamente, no se hizo ningún disparo más, la nieve siguió en la cornisa y este error se trató con la más absoluta discreción, sin que haya conocimiento de más colaboraciones entre el Ejército y el Servicio Forestal para la protección contra aludes.

En conclusión, cabe cerrar esta rápida revisión de los trabajos de defensa de la Estación de Canfranc recordando las palabras de MARTÍNEZ-FALERO (1946): “Cuando pudieron ser estudiados de cerca estos puntos, origen de tan serias amenazas, el problema se agrandó súbitamente hasta adquirir proporciones gigantescas, y quizá pueda afirmarse que hoy día, entre sus similares, no lo hay de tal magnitud en Europa”. El éxito de los ingentes



Fig. 31. Vista de las cuencas altas de los torrentes de Epifanio (izquierda) y Estiviellas (derecha), en el año 2013. Se observa el completo éxito de las repoblaciones forestales, así como la integración de las obras de corrección en el paisaje. (Fotos: J. Pemán)

trabajos forestales que trataron de dar solución a tan grave problema está hoy a la vista de cualquiera que acuda a disfrutar del hermoso paisaje que rodea a la Estación Internacional (fig. 31).

CONCLUSIONES

Como colofón de cuanto llevamos expuesto, cabe proponer estas sucintas conclusiones.

Pedro Ayerbe Allué, Benito Ayerbe Aísa y José María Ayerbe Vallés constituyen una curiosa saga familiar dentro de la ingeniería de Montes española, que ocupó además un puesto central en la elaboración de una doctrina española sobre hidrología forestal, corrección de torrentes y defensa contra aludes.

La aportación doctrinal de los Ayerbe a la hidrología forestal española consistió fundamentalmente, en el caso de Pedro y, sobre todo, de Benito, en el diseño y ejecución de los proyectos de corrección de torrentes y de aludes en el Pirineo de Huesca. José María Ayerbe, además de sus propios proyectos, añadió también su valioso capítulo sobre nivología y aludes en el libro de referencia clásico sobre la materia, el de GARCÍA NÁJERA (1962). A ello cabe sumar un reseñable papel de Pedro y de José María como divulgadores y propagandistas de los trabajos hidrológico-forestales, y del enfoque integrador y complementario entre las obras hidráulicas en los cauces y las obras hidrológico-forestales en las cuencas, dentro de una ordenación conjunta del territorio.

Las obras de corrección hidrológico-forestal más destacadas, de entre aquellas en las que intervinieron los Ayerbe en el Pirineo altoaragonés, son las realizadas en la cuenca alta del Gállego (torrentes de Arratiecho, Arás, Arguisal, Escuer, Sía, así como la defensa del balneario de Panticosa) y en las cercanías de Canfranc: tanto en el torrente de Los Meses, para la defensa del pueblo, como las magnas obras de defensa de la Estación Internacional de Canfranc. Todas estas obras constituyen ejemplos extraordinarios del éxito de la corrección hidrológico-forestal, después de décadas de funcionamiento. La ruina de gran parte de las obras de corrección del torrente de Arás (Biescas) por la avenida extraordinaria habida en 1996 es un recordatorio de que la corrección no es una solución absoluta y eterna, sino una defensa que en circunstancias extremas, que antes o después se producirán, puede ser sobrepasada. Este aspecto ha de ser tenido muy en cuenta para aplicar las medidas con que preservar la seguridad de bienes y personas y para evaluar y mantener de manera continua las obras de corrección.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a don Tomás Ayerbe Mora la aportación de valiosas fotografías, de sus recuerdos personales y de datos sobre la familia. Igualmente, damos las gracias a don Juan José Generelo Lanaspa, director del Archivo Histórico Provincial de Huesca, por las facilidades dadas para la reproducción de material gráfico conservado en dicha institución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANÓNIMO (1888). Crónica de la exposición. *La Dinastía*, 2683 (25 de marzo de 1888): 2.
- ANÓNIMO (1904). Crónica forestal. Efectos de la corrección de un torrente. *Revista de Montes*, 665: 530.
- ANÓNIMO (1917). Crónica forestal. La labor de Benito Ayerbe (q. e. p. d.). *Revista de Montes*, 973: 574-580.
- ANÓNIMO (1928). El ferrocarril de Canfranc. *Revista de Obras Públicas*, 2505: 249-265.
- ANÓNIMO (1930). De jubilaciones. Esclarecimientos cumplidos. *Madrid Científico*, 1261: 201-205.
- ANÓNIMO (2002). Jornada hidrológico-forestal en homenaje al doctor ingeniero de Montes don Antonio Pérez-Soba Baró (Pont de Suert, 19-10-2002). *Montes. Revista de Ambiente Forestal*, 70: 87-91.

- AYALA, F. J. (2002). El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos: un análisis del caso español y sus alternativas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 33: 79-92.
- AYERBE, J. M.^a (1949). Los trabajos de defensa contra aludes y el estudio de la nieve. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 27: 211-315.
- AYERBE, J. M.^a (1952). El invierno de 1950-1951 en Los Arañones. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 43: 23-25.
- AYERBE, J. M.^a (1953). La defensa contra aludes: puentes de nieve. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 49: 51-58.
- AYERBE, J. M.^a (1954). La defensa contra aludes y sus problemas. Una solución más. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 57: 183-187.
- AYERBE, J. M.^a (1955). La erosión y sus diversos aspectos en Aragón. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 65: 355-359.
- AYERBE, J. M.^a (1962). Corrección de aludes. Nociones sobre la nieve, formación de aludes y sistemas de defensa. En J. M.^a García Nájera, *Principios de hidráulica torrencial. Su aplicación a la corrección de torrentes*: 301-350. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid.
- AYERBE, J. M.^a (1965). Hidrología forestal. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 126: 479-481.
- AYERBE, J. M.^a (1967a). Evolución de las obras de contención de aludes en España y cálculo de las mismas. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 135: 163-168.
- AYERBE, J. M.^a (1967b). Repoblaciones hidrológico-forestales y defensa de embalses. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 138: 431-433.
- AYERBE, P. (1908). Mis optimismos. *Revista de Montes*, 751: 329-333.
- AYERBE, P. (1912). Importancia y necesidad del Servicio Hidrológico-Forestal. *Revista de Montes*, 839: 9-14.
- AYERBE, P. (1913a). El desastre hidráulico. *Revista de Montes*, 865: 71-72.
- AYERBE, P. (1913b). Aguas y montes. *Revista de Montes*, 874: 413-422.
- AYERBE, P. (1918). Nueva orientación del Servicio Hidrológico-Forestal. Estado actual del Servicio y ligeras consideraciones acerca del mismo. *Revista de Montes*, 999: 577-584.
- AYERBE, P. (1922). Un problema entre los mil a resolver en España por el Servicio Hidrológico-Forestal. *Revista de Montes*, 1077: 465-468.
- AYERBE, P. (1923). Carta abierta. *España Forestal*, 13: 87-88.
- AYERBE AÍSA, B. (1913). El problema del Cuerpo de Ingenieros de Montes en la defensa de la estación y vía internacional del ferrocarril a Francia por Canfranc. *Revista de Montes*, 871: 305-314, 872: 350-354, 873: 378-386 y 874: 423-430.

- AZPEITIA, F. (1922a). *Trabajos hidrológico-forestales para la defensa de la Estación Internacional de "Los Arañones" (Canfranc)*. Fototipia de Hauser y Menet. Madrid. 30 pp.
- AZPEITIA, F. (1922b). Trabajos hidrológico-forestales para la defensa de Canfranc contra las avenidas del torrente "Los Meses". *Revista de Montes*, 1073: 285-289.
- AZPEITIA, F. (1922c). La Estación Internacional de Los Arañones (Canfranc) y su defensa hidrológico-forestal. *Revista de Montes*, 1074: 321-382.
- AZPEITIA, F. (1924). El torrente de Los Meses y su corrección hidrológico-forestal. *España Forestal*, 95: 46-47 y 69-72.
- AZPEITIA, F., y M. GANUZA (1926). Trabajos de defensa contra aludes y torrentes de la Estación Hispano-Francesa de Canfranc (España), del ferrocarril transpirenaico de Zuera (España) a Olorón (Francia). En Institut International d'Agriculture (ed.), *Actes du 1^{er} Congrès international de sylviculture: Rome, 29 avril – 5 mai 1926*. Roma.
- BARÓ, F. (1913). Las prácticas de fin de curso de los alumnos de sexto año en la Escuela. *Revista de Montes*, 879: 605-611, 881: 682-689, 882: 725-730, 883: 756-766 y 884: 797-801.
- BARÓ, F. (1917). *La corrección de los torrentes y aludes en España*. Imprenta Alemana. Madrid. 45 pp.
- BERNAD, F. (1913). Los torrentes de Canfranc. *Revista de Montes*, 880: 629-637.
- BERNAD, F. (1919). Carta abierta. *España Forestal*, 51: 99-101.
- CONAMA (2004). *Grupo de trabajo 8. La restauración hidrológico-forestal: pasado, presente, futuro*. Disponible en <http://www.conama.org/documentos/GT8.pdf> [consulta: 7/5/2014].
- DEMONTZEY, P. (1882). *Traité pratique du reboisement et du gazonnement des montagnes*. J. Rosthchild éditeur. París. 528 pp.
- FERRER, J., y J. REIG (1905). *Reseña de los trabajos realizados por la División Hidrológico-Forestal de la cuenca inferior del Ebro y Pirineos orientales en 1902, 1903 y 1904*. Sol y Benet. Lérida. 166 pp.
- GARCÍA NÁJERA, J. M.^a (1962). *Principios de hidráulica torrencial. Su aplicación a la corrección de torrentes*. 1.^a ed., 1943. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid.
- GÓMEZ MENDOZA, J. (1989). La discusión técnica en torno a la política hidráulica y a la política forestal del Plan Nacional de Obras Hidráulicas. En *Los paisajes del agua: libro jubilar dedicado al profesor Antonio López Gómez*: 85-96. Universidad de Valencia, Valencia / Universidad de Alicante, Alicante.
- GONZÁLEZ, E. (1928). Las obras de defensa de la Estación Internacional de Los Arañones. *La Voz*, 2356 (18 de julio de 1928): 3.
- MADRIGAL, A. (ed.) (1999). *Ciencias y técnicas forestales: 150 años de aportaciones de los ingenieros de Montes*. Fundación Conde del Valle de Salazar / Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.

- MARRACO, S. (1999). La restauración hidrológico-forestal en el Pirineo aragonés: tres ejemplos y una conclusión. En A. Madrigal (ed.), *Ciencias y técnicas forestales: 150 años de aportaciones de los ingenieros de Montes*: 261-270. Fundación Conde del Valle de Salazar / Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.
- MARTÍNEZ-FALERO, V. (1946). Trabajos realizados por la 6.^a División Hidrológico-Forestal de la cuenca media del Ebro. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 7: 9-25.
- NAVARRO, J., J. MONGIL y J. C. ARAUJO (2013). Desertificación secular de las cuevas de Saldaña (Palencia) frente a 80 años de restauración. En *Actas del IV Encuentro de Historia Forestal. Gestión forestal y sostenibilidad: experiencias históricas. Vitoria-Gasteiz, 18 y 19 de octubre de 2012*: 115-122. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Madrid.
- NICOLÁS, J. (2001). *Restauración hidrológico-forestal de la cuenca del torrente Arás*. Tragsa-Tragsatec. Madrid. 221 pp.
- PALACIO, E. del (coord.) (2013). *Cien años de restauración hidrológico-forestal*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 197 pp.
- PÉREZ-SOBA, I. (2002). Conclusiones hidrológicas de la evaluación de diques de corrección hidrológico-forestal. *Ingeniería Civil*, 126: 93-98.
- TARAZONA, C. (2013a). *Los barrancos de Arguisal*. Disponible en <http://esmemoriaus.blogspot.com.es/2013/09/los-barrancos-de-arguisal.html> [consulta: 7/5/2014].
- TARAZONA, C. (2013b). *El Barranco Escuer*. Disponible en <http://esmemoriaus.blogspot.com/2013/09/el-barranco-escuer.html> [consulta: 7/5/2014].
- TARAZONA, C. (2013c). *El Barranco Sía*. Disponible en <http://esmemoriaus.blogspot.com.es/2013/10/el-barranco-sia.html> [consulta: 7/5/2014].
- TORNIL, I. (1992). Defensa de la Estación Internacional de Canfranc. En G. de Aranda (ed.), *Hidrología forestal y protección de suelos*: 667-678. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- VIDAL, E. (1999). *Fronteras y ferrocarriles: génesis, toma de decisión y construcción de los carriles transpirenaicos (1844-1929)*. Universitat de Lleida. Lleida. 221 pp.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J., y L. VELAZ DE MEDRANO (1915). Los aludes de Panticosa. *España Forestal*, 4: 86-89.

EFECTOS DEL BARRANQUISMO SOBRE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN EL RÍO FORMIGA (SIERRA DE GUARA, HUESCA)

Jorge SIERRA¹
Rocío LÓPEZ-FLORES²

RESUMEN.— Dada su compleja orografía, el Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara se ha convertido hoy en uno de los destinos más solicitados para la práctica del descenso de barrancos en Europa. Sin embargo, una excesiva afluencia de visitantes lleva asociada una potencial pérdida de la calidad biológica de los ríos afectados. Este artículo intenta cuantificar el efecto del pisoteo ejercido por los barranquistas sobre la comunidad de macroinvertebrados y su capacidad de recuperación en un tramo del río Formiga. Se realizó un seguimiento de la comunidad antes y durante la temporada de barranquismo y un experimento *in situ* basado en el pisoteo controlado de una serie de parcelas en un tramo de río no perturbado. El pisoteo de los barranquistas durante la temporada provoca una reducción tanto del índice IBMWP (Iberian Biomonitoring Working Party) como de la abundancia total de individuos. La comunidad, no obstante, recuperó los valores iniciales de abundancia en un periodo de 15 días, y la calidad biológica del río (IBMWP) se recobró totalmente a los 32 días. No se obtuvieron evidencias claras del efecto perjudicial del pisoteo sobre el recubrimiento de *perifiton*.

ABSTRACT.— Given its complex orography, the Sierra y Cañones de Guara Natural Park has currently become one of the most demanded places to

¹ Plaza de Andalucía, 7. E-22004 HUESCA. jorgesiertragros@gmail.com

² Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Instituto de Ciencias Ambientales (IUCA). Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. rocio.lopez@unizar.es

practice canyoning in Europe. However, an excessive influx of visitors cause a potential loss of ecological quality in affected rivers. This study is determined to quantify the effect of trampling on aquatic macroinvertebrate communities from canyoning activity in the Formiga River. A monitoring before and during recreational season and an experiment in situ based on controlled trampling on a non-affected river section were made. Trampling during canyoning season cause a reduction in both the IBMWP index (Iberian Biomonitoring Working Party) and animal abundance. Nevertheless, animal abundance shows recovery after 15 days, and biological river quality (IBMWP) completely recovers after 32 days. There was no clear evidence of detrimental effect on *perifiton*.

KEY WORDS.— Aquatic macroinvertebrates, canyoning, IBMWP, Formiga, Guara (Huesca, Spain).

INTRODUCCIÓN

Tras el primer quinquenio (1991-1995) de la declaración del Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara (en adelante, PNG), se llevó a cabo un análisis de impactos asociados al barranquismo con el fin de determinar los efectos ecológicos de esta práctica deportiva y de elaborar una propuesta de regulación. El resultado final fue la base de una normativa que perdura hasta la fecha y un análisis de impactos incompleto debido al déficit de información básica del PNG. La información disponible sobre el régimen hídrico, las unidades ambientales y el desarrollo socioeconómico del PNG, entre otros aspectos, resultó ser algo escasa, por lo que se tuvo que dedicar parte del tiempo y de los recursos en generar una información de partida. La ausencia de condiciones de referencia para grupos faunísticos como las comunidades de macroinvertebrados y piscícolas de los ríos del Parque, y otras especies indicadoras como el tritón pirenaico o las rapaces rupícolas, también impidió que el efecto de los impactos fuera determinado con detalle. Tras varios borradores, es en 2013 cuando se aprueba, finalmente, el Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG), como principal instrumento para la gestión del PNG. En los borradores previos a este, se planteó la posibilidad de vedar temporalmente y someter a estudio algunos de los tramos en los que se practica el barranquismo de forma masiva, debido a los problemas observados en sus comunidades piscícolas. Sin embargo, esta actuación fue criticada por algunos colectivos durante el periodo de alegaciones y fue finalmente desestimada en el PRUG definitivo.

Las actividades recreativas asociadas al medio acuático, como la navegación, la pesca o el baño, afectan mayoritariamente a las zonas próximas a las orillas, que es donde se produce la mayor concentración de actividades. Sin embargo, en la práctica del barranquismo los deportistas utilizan el mismo cauce fluvial como camino principal para el desarrollo de su actividad (BENAYAS y cols., 1996). Se desplazan andando o nadando a lo largo de varios kilómetros, equipados con sus trajes de neopreno, sin necesidad de salir del agua, por lo que se genera un impacto continuo a lo largo de gran parte del cauce. La mayoría de los estudios realizados hasta el momento sobre el impacto ocasionado por las actividades recreativas en el medio natural se han concentrado en analizar los efectos inducidos sobre el medio terrestre, mientras que los posibles cambios que ocasionan en el medio acuático han sido tratados de forma muy puntual (BENAYAS y cols., 1996), y si nos referimos al impacto de actividades recreativas concretas como el barranquismo la información es casi inexistente (HARDIMAN y BURGIN, 2011).

Los estudios llevados a cabo hasta el momento sobre el impacto del pisoteo en las comunidades de macroinvertebrados afirman que existen diferencias importantes en la densidad y diversidad de órdenes y, sobre todo, de familias, entre sustratos pisoteados y no pisoteados. REICE (1985) demostró experimentalmente que las perturbaciones derivadas del pisoteo y volteo de rocas tienen un efecto significativo a corto plazo, que se traduce en reducciones de abundancia de individuos que van desde el 24% al 95%. No obstante, también observó que el aumento de la frecuencia de dichas perturbaciones no ocasionaba unas reducciones tan elevadas como cabría esperar. En ríos australianos se observaron reducciones significativas en el orden *Ephemeroptera* y la ausencia total del orden *Trichoptera* (HARDIMAN y BURGIN, 2011). En cuanto a la respuesta de los individuos a distintas intensidades de pisoteo o diferente nivel de afluencia, no se encontraron diferencias notables (HARDIMAN y BURGIN, 2011).

La recuperación del sistema es, en la mayoría de los casos, muy rápida. LANCASTER y HILDREW (1993) y DOLE-OLIVIER y cols. (1997) atribuyen esta rápida recuperación a la presencia de zonas no alteradas cercanas que funcionen como fuente de individuos, siempre que esas zonas contengan colonizadores potenciales (GORE, 1982). Se han dado recuperaciones totales en periodos de 4 a 33 días (BROOKS y BOULTON, 1991; HARDIMAN y BURGIN,

2011; REICE, 1985), pero la recuperación no solo depende de la existencia de fuentes de colonizadores cercanas, sino que entran en juego multitud de factores, como la velocidad de la corriente, el tipo de sustrato, el tamaño de los individuos o la frecuencia de eventos naturales, entre otros.

Hasta hace unos años, las metodologías de análisis de la calidad de las aguas se basaban casi exclusivamente en análisis físico-químicos. A día de hoy, esa situación ha dado un vuelco debido fundamentalmente a la entrada en vigor de la Directiva 2000/60/CE, con la cual se implementó un sistema de análisis basado en el estudio tanto de elementos de calidad físico-químicos como biológicos. Son muchos los métodos de análisis de la calidad de las aguas que se basan en organismos vivos (fitoplancton, fitobentos, macrófitos, invertebrados o ictiofauna) y algunos han demostrado ser muy eficaces en la detección de alteraciones y en el cartografiado de la calidad de las aguas debido a su fiabilidad, rapidez y bajo coste de aplicación, como es el caso de los macroinvertebrados bentónicos (ALBA-TERCEDOR, 1996). En este estudio se aplica una metodología de análisis de la calidad del agua afectada por la actividad del barranquismo en un tramo del río Formiga, basada en el uso de los macroinvertebrados acuáticos y el *perifiton* como bioindicadores. Con él se pretende contribuir, en cierta medida, al seguimiento ecológico del PNG y mostrar una metodología que pueda aplicarse a otros cauces en futuras investigaciones.

Este artículo tiene como objetivo mostrar el efecto del barranquismo sobre la comunidad de macroinvertebrados de un tramo del río Formiga y su capacidad de recuperación una vez cesada la actividad. Para lograrlo se persiguieron dos objetivos concretos:

- Realizar un seguimiento de la calidad ecológica del río Formiga antes y durante la temporada de barrancos mediante el índice IBMWP (ALBA-TERCEDOR y cols., 2002) y observar posibles cambios en la cobertura de *perifiton* y en los diferentes índices de diversidad de macroinvertebrados acuáticos del área estudiada, como consecuencia del trasiego real de personas durante la temporada de barranquismo.
- Determinar experimentalmente los posibles cambios en el índice de calidad ecológica (IBMWP) y en los índices de diversidad de macroinvertebrados acuáticos, así como la capacidad de recuperación de la comunidad de macroinvertebrados tras una perturbación controlada.

MARCO NATURAL

El río Formiga

El Formiga es uno de los ríos más cortos del PNG, con una longitud total de 15,8 km (dato obtenido a partir del mapa digitalizado de la Confederación Hidrográfica del Ebro). Nace bajo el tozal de Guara, a unos 2000 metros de altura, y desemboca en el río Alcanadre, a una altitud de 560 msnm. La cuenca también es una de las más reducidas de la sierra de Guara, con una superficie de drenaje de 102,2 km² (HIDALGO, 1989). Está articulada por 464 cursos distintos, la gran mayoría de primer y segundo orden (77% y 17%, respectivamente), según la nomenclatura de STRAHLER (1957). Su geología, al igual que ocurre con otros cauces del PNG, puede definirse como una secuencia de tres partes: un tramo de cabecera en el que predominan margas del Keuper y areniscas, un tramo medio dominado por materiales calcáreos del Eoceno y un tramo bajo compuesto principalmente de conglomerados y areniscas aquitanienses (BUERA y cols., 1997).

En cuanto a hidrología, caben destacar los trabajos realizados por BENAYAS y cols. (1996), BUERA y cols. (1997) y SETRINI y CUCHÍ (1999). De ellos se extrae que los caudales del río Formiga son generalmente bajos, en torno a 0,2 m³/s, y consecuencia de ello son las amplias oscilaciones de la temperatura, con mínimas de 7,9 °C en febrero y máximas de 32 °C en agosto. Los valores de pH muestran en esas mismas fechas sus mínimos y máximos, con 7,4 y 8,5. Los contenidos de nitratos son bajos (0,2-0,5 mg/l) y las saturaciones máximas de oxígeno alcanzan valores del 130%. Las aguas presentan una composición iónica bicarbonatada-clorurada cálcico-sódica, aunque sus concentraciones varían según la época del año y el caudal que lleve el río. Observaron también importantes reducciones en la concentración de bicarbonato cálcico disuelto. Esta pérdida de material disuelto se pone de manifiesto en las abundantes formaciones de precipitados y deposiciones de carbonato en los tramos más abiertos del cauce. Una cualidad directamente relacionada, según BENAYAS y cols. (1996), con la falta de concentraciones detectables de fosfato reactivo soluble (PRS), puesto que al precipitar el carbonato cálcico se atrapan las moléculas de PRS y se reduce así la disponibilidad de este nutriente para la actividad biológica.

En cuanto a la fauna acuática o semiacuática inventariada en el río Formiga, se ha de destacar la presencia de anfibios como la rana verde

(*Pelophylax perezi*), el sapo común (*Bufo bufo*) y el tritón pirenaico (*Calotriton asper*), este último endémico pirenaico con poblaciones muy amenazadas. Las poblaciones de peces se componen de las especies típicas de los ríos del PNG, que son trucha común (*Salmo trutta fario*), barbo común (*Barbus graellsii*) y madrilla (*Chondrostoma miegii*). Sus poblaciones son escasas y sufren problemas de estabilidad, sobre todo las clases jóvenes, debido a alteraciones naturales o artificiales no determinadas hasta el momento (BENAYAS y cols., 1996).

La información sobre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos es prácticamente nula, puesto que BENAYAS y cols. (1996) no escogieron ninguna estación de estudio en este cauce. La única información disponible sobre este grupo faunístico es la generada por el Gobierno de Aragón con relación al cangrejo de río autóctono, *Austropotamobius pallipes*, especie en peligro de extinción en Aragón según el Decreto 181/2005, de 6 de septiembre.

Área de estudio: el tramo medio del río

Se trata de un curso de orden III (STRAHLER, 1957), al que se accede fácilmente desde el aparcamiento situado en las proximidades del puente del río Formiga por el que cruza la carretera de Aguas a Bierge (A-1227). Se seleccionaron tres estaciones experimentales distintas (fig. 1), que se describen a continuación:

- *Estación A.* Aquí se llevó a cabo el muestreo antes y durante la temporada de descenso de barrancos, y corresponde a los últimos 50 metros del tramo aprovechado por los barranquistas para su actividad (fig. 2). Se escogió esta zona por tres motivos: *i*) su accesibilidad (15 minutos a pie), que facilita el transporte del material necesario para la toma de muestras; *ii*) es un paso obligado para todos los barranquistas, de modo que se asegura que existe una perturbación continua debida al pisoteo durante toda la temporada; *iii*) es un tramo cuya geología, tipo de sustrato, vegetación y propiedades físico-químicas del agua son muy similares a las de la estación C, escogida para la toma de muestras control.

Atendiendo a la clasificación de ROSGEN (1996), basada en la forma del cauce, el nivel de encajonamiento y la pendiente, el tramo puede

clasificarse como de tipo F. Su anchura media es de 4 metros y su profundidad de 40 centímetros. El perfil del fondo es muy suavizado en la mitad inferior del tramo y el sustrato se compone de la propia roca madre, aunque se observan bancos laterales de arenas o gravas y pequeñas acumulaciones dentro del cauce. El flujo es laminar, con velocidades bajas, de en torno a 6 cm/s. En la mitad superior predomina un sustrato de guijarros, cantos y bloques. El perfil del fondo es más irregular, lo que provoca que el flujo sea algo turbulento. El flujo es ligeramente más rápido que en la mitad inferior (11 cm/s) y hay alternancia de pequeños rápidos y remansos.

- *Estación B.* Se encuentra a unos 500 metros aguas abajo de la estación A. Es un tramo igualmente accesible, pero imperturbado, condición imprescindible para el experimento de pisoteo controlado que se desea realizar. Es un tramo de tipo C (ROSGEN, 1996). Aquí el río se estrecha hasta los 2,5 metros. La profundidad, medida en el centro de la corriente, es de 25 centímetros. El sustrato es heterogéneo, aunque con predominio de guijarros, cantos y algún bloque. La escasa profundidad del tramo y la rugosidad del fondo provocan que el flujo sea ligeramente turbulento. La velocidad media es de 4 cm/s.
- *Estación C.* Está situada inmediatamente debajo de la estación B y se ha utilizado para la toma de muestras control, con las que se establecerá la comparación antes y durante la temporada de uso deportivo

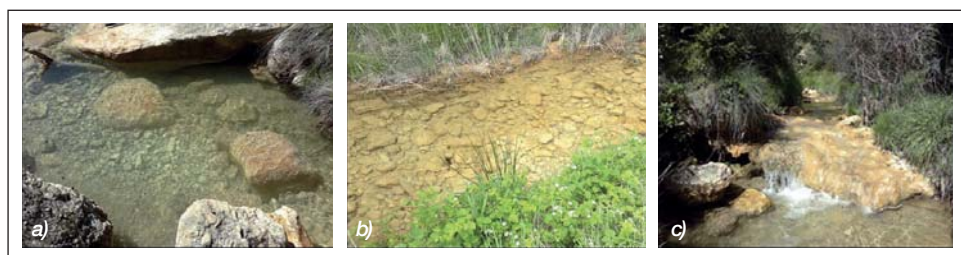


Fig. 1. *a)* Senda acuática marcada por el paso de los barranquistas en la estación A. Se distingue claramente la zona más transitada por la diferencia de coloración. *b)* Tramo de río correspondiente a la estación B. Sustrato mixto de gravas y cantos y algún bloque. Las zonas aclaradas corresponden a las parcelas pisoteadas durante el experimento. En este tramo cabe destacar la abundancia de costras de carbonatocálcico, CaCO_3 . *c)* Tramo correspondiente a la estación C.

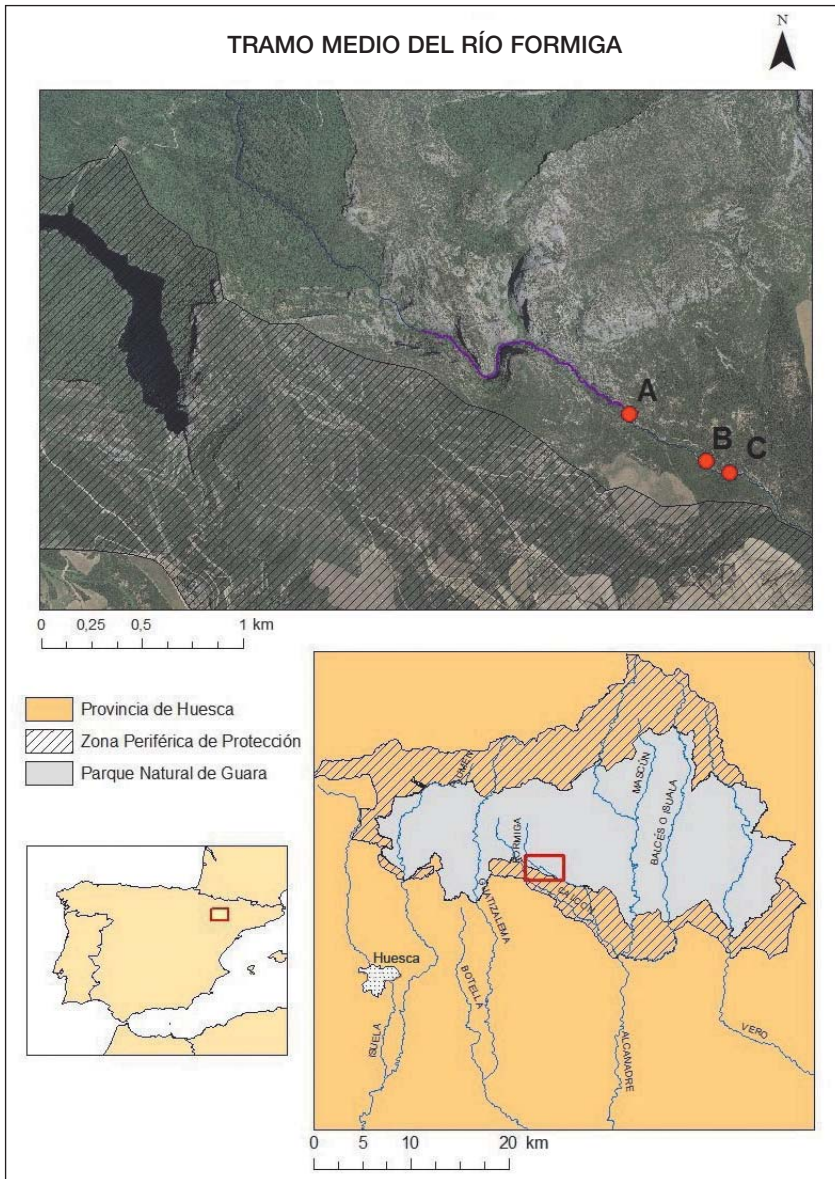


Fig. 2. Localización del área de estudio dentro del Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara. La línea azul corresponde al tramo medio del río Formiga. En violeta, el tramo de uso deportivo. En rojo, las estaciones de muestreo utilizadas: A, estación utilizada para la toma de muestras antes y durante la temporada de descenso de barrancos; B, estación utilizada para el experimento del pisoteo controlado de parcelas; C, estación utilizada para la toma de muestras control antes y durante la temporada de barranquismo.

(fig. 2). Es un tramo de tipo C (ROSGEN, 1996), con profundidades y anchuras muy similares a las de la estación B. El sustrato es muy similar al de las estaciones A y B. La velocidad media del agua es de 6 cm/s.

MATERIAL Y MÉTODOS

Seguimiento antes y durante la temporada de barranquismo

El seguimiento de la comunidad de macroinvertebrados y *perifiton* antes y durante la temporada de barranquismo se realizó en las estaciones A y C durante los días 4 de mayo de 2013 y 15 de agosto de 2013. En un año de condiciones climáticas normales el descenso deportivo del cañón del Formiga hubiera comenzado en marzo o abril, pero, dada la gran abundancia de precipitaciones durante la primavera de 2013, el barranco permaneció impracticable hasta el mes de mayo. Coincidiendo con la toma de muestras de macroinvertebrados y *perifiton*, se determinaron *in situ* los principales parámetros físico-químicos: conductividad, pH, O₂ disuelto y temperatura, mediante una sonda multiparamétrica HQ30D (Hach-Lange, US).

Seguimiento de macroinvertebrados

El seguimiento de macroinvertebrados consistió en un muestreo de tres puntos o réplicas representativas de la estación A (afectada por la actividad) y la estación C (control) en las dos fechas mencionadas. La heterogeneidad de sustratos del cauce hizo que fueran necesarias cinco tomas distintas (*kicks*) por cada réplica. Se utilizó una red Surber (30 x 30 centímetros), la cual se depositó perpendicularmente sobre el fondo del río mientras removía el sustrato contenido en una superficie de 30 x 50 cm². Este proceso se realizó durante 2 minutos con cada *kick*. La muestra obtenida se fijó con etanol al 70% (concentración final) para evitar su degradación por interacción entre los organismos, como, por ejemplo, depredación. Las muestras se limpiaron manualmente en el laboratorio, eliminando piedras y restos orgánicos de gran tamaño para así facilitar la posterior localización de los invertebrados. Cada invertebrado fue identificado con una resolución taxonómica de familia y se almacenó con el resto de individuos de idéntico nivel taxonómico (en etanol al 96%) para su posterior conteo.

Seguimiento de *perifiton*

El seguimiento de *perifiton* consistió en un muestreo de tres réplicas en cada una de las dos estaciones y fechas de muestreo. Las muestras de clorofila del *perifiton* se recogieron mediante el rascado de una superficie conocida (25 cm²) del sustrato rocoso. Se homogeneizaron previamente al análisis y se conservaron en nevera (4 °C) y a oscuras hasta su procesamiento en el laboratorio (antes de 12 horas). Ahí se filtró mediante un filtro Whatman GF/F y, posteriormente, se realizó la extracción de la clorofila del filtro en un bote de vidrio con un volumen conocido de acetona al 90% (10 mililitros), siguiendo los protocolos estándar (ELOSEGI y SABATER, 2009). Este proceso duró 24 horas, durante las cuales la muestra se conservó a una temperatura inferior a los 4 °C. Transcurrido ese tiempo, se determinó la absorbancia de la muestra y se transformó a concentración por unidad de área mediante las fórmulas desarrolladas por JEFFREY y HUMPHREY (1975).

Tratamiento estadístico

Se llevó a cabo un estudio estadístico basado en cuatro índices biológicos distintos. El índice IBMWP (Iberian Biomonitoring Working Party) (ALBA-TERCEDOR y cols., 2002) corresponde a la versión actualizada del índice BMWP' (ALBA-TERCEDOR y SÁNCHEZ-ORTEGA, 1988), que ha sido uno de los índices bióticos más empleados hasta el momento a la hora de determinar posibles alteraciones biológicas en cauces, principalmente debidas al vertido de contaminantes. Permite obtener un valor de la calidad biológica del agua a partir de puntuaciones previamente establecidas para cada familia de invertebrados en función de su afinidad hacia aguas de mayor o menor calidad. El estudio también se ha apoyado en índices de diversidad y riqueza. Se utilizaron los índices de diversidad de Shannon-Weaver (1949) y dominancia de Simpson (1960), los cuales basan su cálculo en la riqueza específica y la equitatividad de una comunidad de individuos. El primero de ellos obtiene valores elevados cuanto mayor sea la equitatividad entre grupos taxonómicos, mientras que el segundo ofrece valores superiores a mayor dominancia de alguno de ellos. El índice de riqueza de Margalef (1958) es algo más limitado que los dos anteriores, ya que solo basa su cálculo en la riqueza específica (en nuestro caso, riqueza de familias) y no tiene en cuenta la contribución individual (equitatividad) de cada una de ellas.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor mediante el paquete estadístico R 3.0.1 (R Foundation for Statistical Computing). Las diferencias se consideraron significativas para intervalos de confianza superiores al 95%. El ANOVA de un factor se aplicó a las variables *a*) índice IBMWP, *b*) riqueza de Margalef, *c*) diversidad (H') de Shannon-Weaver y *d*) diversidad o dominancia de Simpson, todas ellas estudiadas solo a nivel taxonómico de familia. Se utilizó el factor “Muestra”, resultado de la combinación de los factores “Tratamiento” (parcelas control y parcelas perturbadas) y “Temporada” (antes y durante la temporada de uso deportivo), con $n = 3$ réplicas, conformando un total de doce muestras repartidas en cuatro categorías, a saber, “Antes control” y “Durante control” (muestras control tomadas en la estación C antes y durante la temporada, respectivamente) y “Antes afectada” y “Durante afectada” (muestras tomadas en la estación A, correspondiente al tramo de uso deportivo, antes y durante la temporada, respectivamente). Se comprobó que los datos eran normales (test de Saphiro-Wilk) y que existía homogeneidad de varianzas (test de Levene), así que no fue necesario transformar los datos. El test *post hoc* de Tukey se utilizó para identificar la agrupación de las diferentes categorías del factor “Muestra”.

Para el estudio del *perifiton* se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor mediante el paquete estadístico R 3.0.1 (R Foundation for Statistical Computing). Las diferencias se consideraron significativas si el nivel de confianza era superior al 95%. La variable utilizada fue la concentración de clorofila *a* ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$). El factor utilizado fue el mismo que el descrito para el caso de los macroinvertebrados. Se comprobó que los datos eran normales (test de Saphiro-Wilk) y que existía homogeneidad de varianzas (test de Levene), así que no fue necesario transformar los datos. Complementariamente, se llevaron a cabo dos test ANOVA por separado, uno para las muestras “Antes afectada” y “Antes control” y otro para las muestras “Durante afectada” y “Durante control”, con el objetivo de analizar únicamente el efecto de la actividad deportiva transcurridos los 3 meses.

Experimento del pisoteo controlado de parcelas

Este experimento *in situ* tuvo como objetivo determinar el tiempo que necesitan los distintos grupos de invertebrados acuáticos en recolonizar un

sustrato previamente perturbado. Para ello se utilizó la metodología puesta en práctica por HARDIMAN y BURGIN (2011), en la que dispusieron una red de cuadrados sobre los cuales se ejercían distintas intensidades de pisoteo y se muestreaba, tras la perturbación, en intervalos de tiempo determinados. Estos autores basaron su estudio en tres intensidades de pisoteo (0, 50 y 100 pisoteos). No obstante, sus resultados mostraron que no había diferencia en el impacto que producían 50 o 100 pisoteos. Además, teniendo en cuenta que el río Formiga tiene unos niveles de afluencia de deportistas muy elevados, en el presente estudio se decidió utilizar tan solo las intensidades 0 (como parcelas control) y 100 (como parcelas tratadas). La unidad de muestreo en este caso fue un cuadrado de 1 m². Se realizaron $n = 3$ réplicas para cada una de las seis combinaciones posibles de “Periodo de recuperación” × “Intensidad de pisoteo”, conformando una estructura de dieciocho parcelas en total. Estas se delimitaron mediante cuerdas dispuestas sobre la superficie del agua y unidas a piquetas clavadas en ambos márgenes del río. Debido a la escasa anchura del tramo escogido, solo fue posible disponer dos cuadrados alineados perpendicularmente a la dirección de la corriente.

Así pues, con las ligeras modificaciones comentadas, el experimento se basó en dos factores:

- “Intensidad de pisoteo”: dos niveles (0 y 100 pisoteos diarios, durante 7 días consecutivos).
- “Periodo de recuperación”: tres niveles (muestreo al cabo de 1, 15 y 32 días de recuperación).

El experimento cuenta con ciertas contingencias que podrían incurrir en la no independencia de los resultados, como pueden ser la deriva de sedimentos o el impacto resultante del cruce o del baño de animales en la zona. Además de estas limitaciones, se ha de añadir el elemento fundamental, que es el flujo descendente de la corriente (HARDIMAN y BURGIN, 2011). Para evitar o reducir al máximo estas limitaciones se llevaron a cabo las siguientes actuaciones (fig. 3):

- Separación de cada bloque por un tramo de río de 1,5 metros y con una profundidad del agua baja (< 25 cm) que facilite la sedimentación del material transportado.

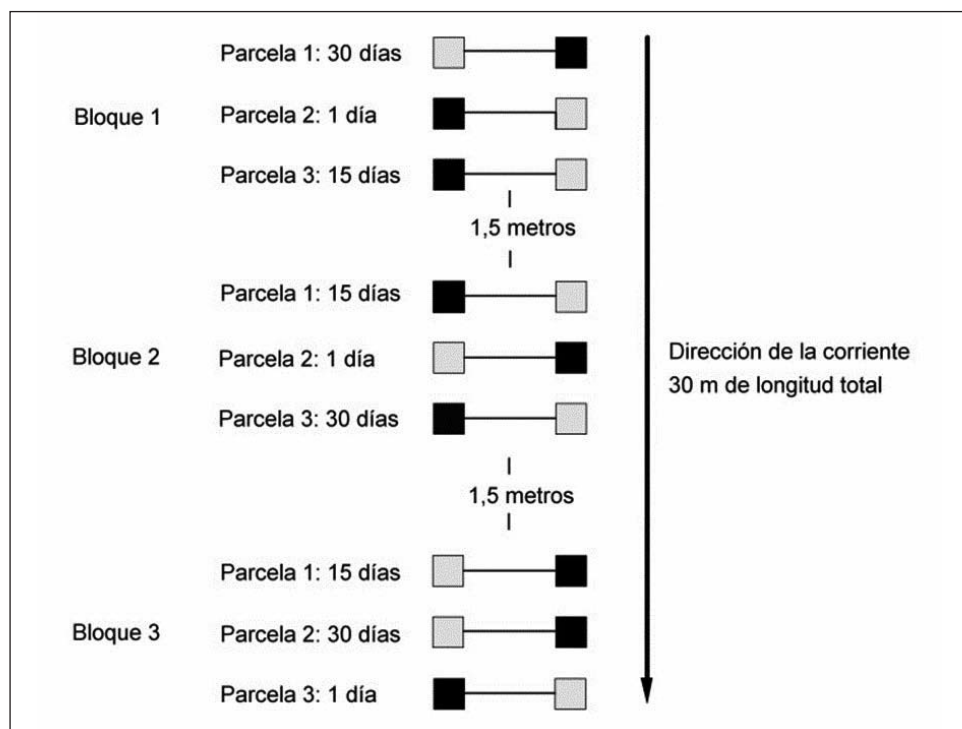


Fig. 3. Esquema aleatorio del experimento del pisoteo de parcelas. En negro, parcelas pisoteadas; en gris, parcelas control (no pisoteadas).

- Asignación al azar de la posición de los cuadrados del factor “Intensidad de pisoteo” dentro de cada parcela.
- Asignación al azar de la posición de los cuadrados del factor “Periodo de recuperación” dentro de cada bloque.
- Recolección de muestras en el sentido opuesto al de la corriente (abajo-arriba).

El pisoteo consistió en la acción de dar un paso sobre el fondo rocoso con unas botas de río corrientes. Los pisoteos se sucedieron uno junto a otro en la dirección de la corriente hasta llegar a un extremo del cuadrado, donde se pivotaba sobre un pie y se continuaba en el sentido opuesto hasta completarlo finalmente. A continuación se volvía sobre los mismos pasos hasta alcanzar el número de pisoteos necesarios.



Fig. 4. Sistema de cuerdas utilizado para definir las parcelas en la estación B. La zona aclarada engloba una de las parcelas sometidas a 100 pisoteos diarios durante 7 días consecutivos, mientras que el extremo opuesto del cauce se corresponde con una de las parcelas control (sin pisoteos).

La toma de muestras de este experimento se realizó de forma idéntica a la descrita en el caso del seguimiento de macroinvertebrados, solo que en este caso el muestreo se aplicó a toda la superficie de las parcelas (1 m²) (fig. 4). El montaje de la estación experimental se llevó a cabo el día 7 de junio de 2013. Los 7 días consecutivos de pisoteo se realizaron desde el 7 de junio de 2013 hasta el 13 de junio de 2013. Los muestreos sucesivos, tras 1, 15 y 32 días de recuperación, se realizaron los días 14 de junio, 28 de junio y 15 de julio de 2013, respectivamente.

Tratamiento estadístico

Para detectar si existían diferencias significativas debidas a variaciones en la presencia de taxones dentro de órdenes y familias taxonómicas entre las muestras, se realizó un análisis de similitud de una vía (ANOSIM). Este análisis se realizó con el paquete estadístico PRIMER 6 (PRIMER-E Ltd., UK).

Previamente se calcularon las dos matrices (nivel orden y nivel familia) de todos los pares de muestras, mediante el coeficiente de similitud de Bray Curtis (CLARKE, 1993) y a partir de datos previamente transformados mediante el $\text{Log}(x + 1)$. Con ello se pretendía conocer las diferencias producidas por los distintos niveles de los factores “Intensidad de pisoteo” (0 y 100 pisoteos, durante 7 días consecutivos) y “Periodo de recuperación” (1, 15 y 32 días), contando con $n = 3$ réplicas para cada combinación de los factores “Intensidad de pisoteo” \times “Periodo de recuperación” y conformando así un total de dieciocho muestras repartidas en seis categorías. En este caso se consideraron diferencias estadísticamente significativas cuando el intervalo de confianza fuera superior al 90%, ya que el número de muestras era demasiado pequeño para obtener valores de confianza superiores al 95% (HARDIMAN y BURGIN, 2011). A continuación se llevó a cabo un análisis de escalamiento multidimensional (NMDS), con el objetivo de visualizar las diferencias obtenidas con ANOSIM. A través del valor de *stress* se puede medir la adecuación de la representación NMDS. Valores superiores a 0,20 indican que las muestras están aleatorizadas; valores de 0,15, que las muestras son buenas, y valores inferiores a 0,10, que son ideales (CLARKE, 1993). El análisis de datos se complementó con un análisis jerárquico (Cluster), a partir de los datos previamente transformados del modo anterior. Todos los análisis descritos anteriormente se aplicaron a los niveles taxonómicos de orden y familia.

Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) de un factor con el paquete estadístico R 3.0.1 (R Foundation for Statistical Computing), con el fin de detectar las posibles diferencias de diversidad, riqueza, dominancia y calidad ecológica (IBMWP) de las parcelas sometidas a distintos tratamientos. Los índices utilizados son los mismos que en el caso del seguimiento antes y durante la temporada de barranquismo. Las diferencias se consideraron significativas para intervalos de confianza superiores al 95%. Los tests de normalidad (Saphiro-Wilk) y de homogeneidad de variancias (Levene) indicaron que no era necesaria la transformación previa de los datos. El test *post hoc* de Tukey se utilizó para detectar el origen de las diferencias significativas.

RESULTADOS

El total de individuos recolectados en las dos aproximaciones de este estudio fue de 11 277. Estos se agruparon en 14 órdenes y 38 familias distintas.

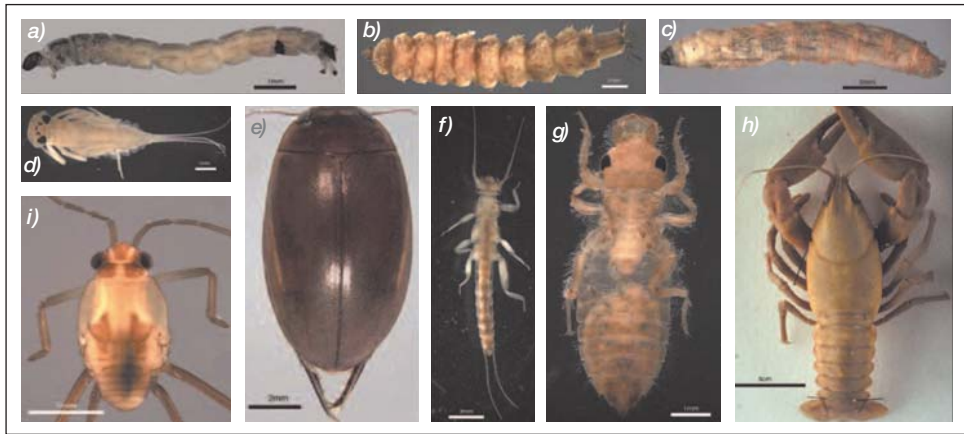


Fig. 5. Algunos de los ejemplares identificados durante el estudio (imágenes de OSOZ, 2011): a) familia *Chironomidae* (orden *Diptera*); b) familia *Stratiomyidae* (orden *Diptera*); c) familia *Tipulidae* (orden *Diptera*); d) familia *Heptageniidae* (orden *Ephemeroptera*); e) adulto de la familia *Dytiscidae* (orden *Coleoptera*); f) familia *Leuctridae* (orden *Plecoptera*); g) familia *Gomphidae* (orden *Odonata*); h) *Austropotamobius pallipes* (cangrejo autóctono), familia *Astacidae* (orden *Decapoda*); i) inmaduro de la familia *Gerridae* (orden *Heteroptera*).

Los órdenes de mayor riqueza son, en orden decreciente: *Diptera* (once familias), *Coleoptera* (siete familias) y *Trichoptera* (cuatro familias). *Ephemeroptera* aparece dividido en tres familias. Hay cuatro órdenes representados por dos familias y seis representados por una sola.

Plecoptera es el orden de mayor abundancia: comprende el 45,1% de todos los individuos. Le siguen los órdenes *Diptera* (36,3%) y *Ephemeroptera* (9,5%). La gran mayoría de los individuos recolectados (78,3%) pertenecen a tres familias: plecópteros de la familia *Leuctridae* (45,0% de todos los individuos), dípteros de la familia *Chironomidae* (24,8%) y efemerópteros de la familia *Baetidae* (8,5%). El resto de familias tiene una contribución menor del 6% del total de individuos.

La comunidad de macroinvertebrados

El test ANOVA para el índice IBMWP mostró diferencias significativas ($F = 24,55$; g. l.: 3; $P = 0,000218$) para el factor “Muestra”. El test *post hoc* de Tukey mostró que el origen de esas diferencias se debe a una

diferenciación total de las parcelas afectadas por la actividad respecto a las demás (fig. 6, a). Los valores de este índice para los dos controles y las muestras “Antes” rondaron los 100 puntos, mientras que las muestras “Durante” no superaron los 60. El índice de riqueza de Margalef también mostró diferencias significativas ($F = 11,61$; g. l.: 3; $P = 0,00276$). El test *post hoc* permitió discriminar las muestras afectadas por la actividad (fig. 6, b). Los índices de diversidad de Shannon-Weaver y Simpson no mostraron diferencias significativas entre categorías del factor (fig. 6, c y d).

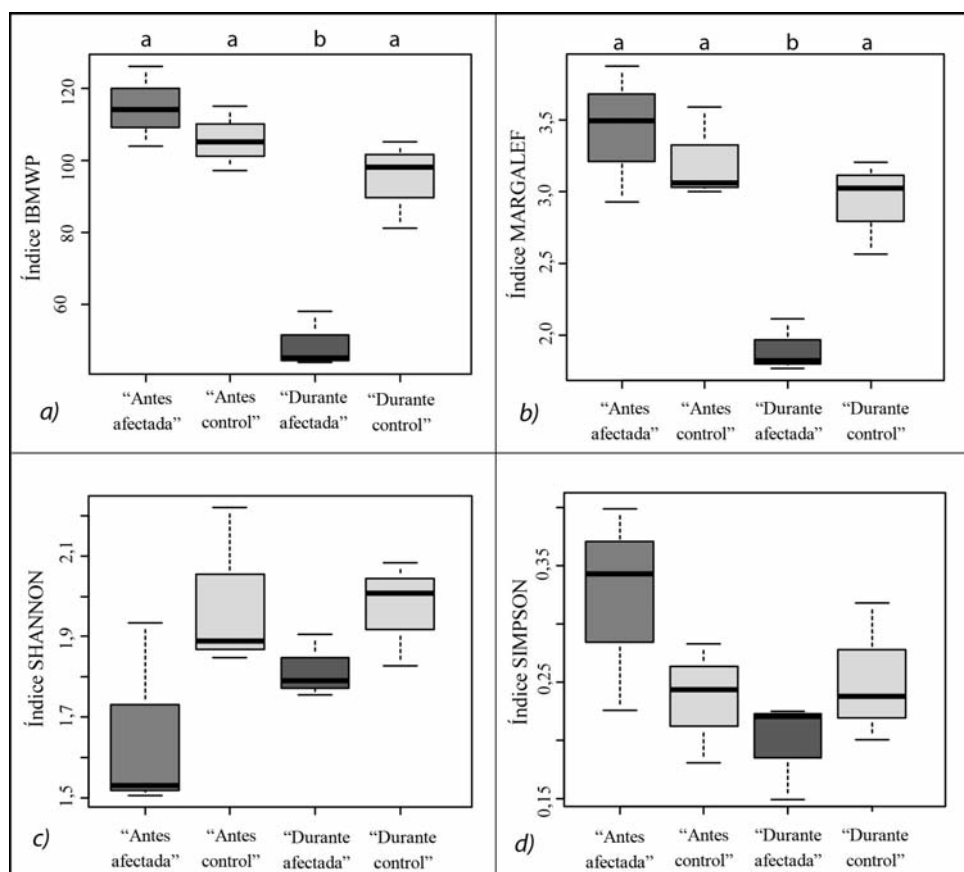


Fig. 6. Diagrama de caja y test *post hoc* de Tukey para los índices a) IBMWP, b) Margalef, c) Shannon-Weaver y d) Simpson. Las letras a y b encima de las cajas indican las categorías discriminadas por el test *post hoc* ($p < 0,05$). “Antes”: antes de la temporada de barranquismo; “Durante”: durante la temporada; “Afectada”: parcelas afectadas por el barranquismo; “Control”: parcelas no afectadas.

Recubrimiento de perifiton

No se observaron diferencias significativas ($F = 2,567$; g. l.: 3; $P = 0,127$) en cuanto al recubrimiento de *perifiton* de las rocas en el análisis conjunto de todas las categorías del factor “Muestra”, a pesar de que el diagrama de caja muestra una clara diferencia entre la concentración de clorofila *a* de las muestras afectadas por la actividad y el resto (fig. 7). El test ANOVA realizado por separado para las categorías del factor “Antes” y “Antes control” muestra una gran similitud entre muestras ($F = 0,007$; g. l.: 1; $P = 0,936$), mientras que el ANOVA realizado para las categorías “Durante” y “Durante control” arroja un valor de significancia marginal inferior al 10% ($F = 7,591$; g. l.: 1; $P = 0,051$).

Recuperación de la comunidad de macroinvertebrados tras el pisoteo

El análisis de similitud (ANOSIM) que se muestra en la tabla 1, realizado sobre las muestras de las parcelas control y las procedentes de las parcelas pisoteadas, indicó que existían diferencias significativas entre las dos categorías del factor “Intensidad de pisoteo”, control / pisoteo, tanto en orden (R Global = 0,17; $p = 0,012$) como en familia (R Global = 0,167; $p = 0,002$).

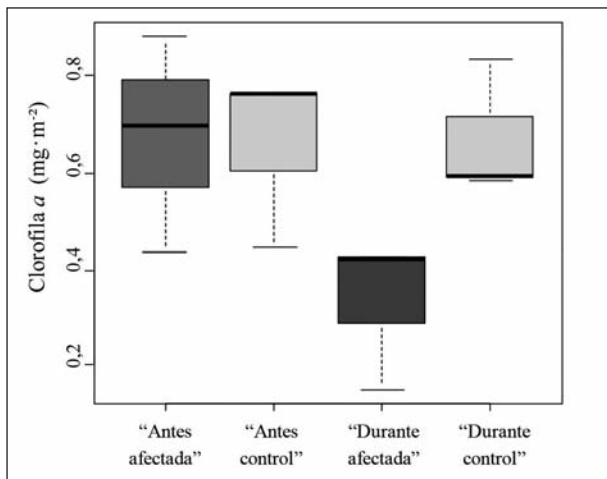


Fig. 7. Diagrama de caja para la concentración de clorofila *a* ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$). Datos no transformados.

Tabla 1. Análisis de similitudes (ANOSIM) entre intensidades para la matriz completa y para cada uno de los periodos de recuperación. Los valores de R varían entre -1 y 1:

R = 1 si las tres réplicas de un mismo tratamiento son más parecidas entre sí que con cualquier otra réplica de un tratamiento distinto, R ≈ 0 si las similitudes entre o dentro de tratamientos son iguales. Transformación previa de datos mediante Log (x + 1).

	ORDEN		FAMILIA	
	<i>Test</i>	<i>Significancia</i>	<i>Test</i>	<i>Significancia</i>
Test Global	R Global	<i>p</i>	R Global	<i>P</i>
	0,17	0,012 *	0,167	0,002 *
1 día de recuperación	R pares	<i>p</i>	R pares	<i>P</i>
0 y 100 pisoteos	0,926	0,10	0,778	0,10
15 días de recuperación	R pares	<i>p</i>	R pares	<i>P</i>
0 y 100 pisoteos	0	0,70	0,259	0,20
32 días de recuperación	R pares	<i>p</i>	R pares	<i>P</i>
0 y 100 pisoteos	0,741	0,10	0,037	0,50

Tras el primer día de recuperación, las pruebas por pares de muestras del análisis de similitud de una vía (ANOSIM) mostraron diferencias ($p = 0,10$) entre intensidades para ambos niveles taxonómicos. Se pudo comprobar que el conjunto de datos no era lo suficientemente grande como para alcanzar significancias por pares inferiores a 0,10. Para los periodos de recuperación de 15 y 32 días, las pruebas por pares del ANOSIM arrojaron valores de R muy cercanos a 0 y niveles de significancia elevados (tabla 1), lo que indica que no existe diferenciación entre tratamientos, excepto en el nivel orden, entre las parcelas sometidas a 32 días de recuperación ($R = 0,741$; $p = 0,10$).

Se llevó a cabo un NMDS (Escalamiento Multidimensional No Métrico) con el fin de visualizar las diferencias mostradas por el ANOSIM. Se observaron claramente las diferencias en la composición de la comunidad entre muestras afectadas por el pisoteo tras 1 día de recuperación y el resto de tratamientos (controles) y periodos de recuperación (15 y 32 días) (fig. 8, *c* y *d*). Como complemento se realizó un análisis Cluster, que también estableció una diferenciación de las parcelas tratadas con solo 1 día de recuperación respecto a todas las demás, tanto para orden como para familia (fig. 8, *a* y *b*). En cuanto a los periodos de recuperación de 15 y 32 días, el NMDS no mostró diferencias entre intensidades para ninguno de los dos niveles taxonómicos y el análisis Cluster confirmó lo observado en el NMDS, es decir,

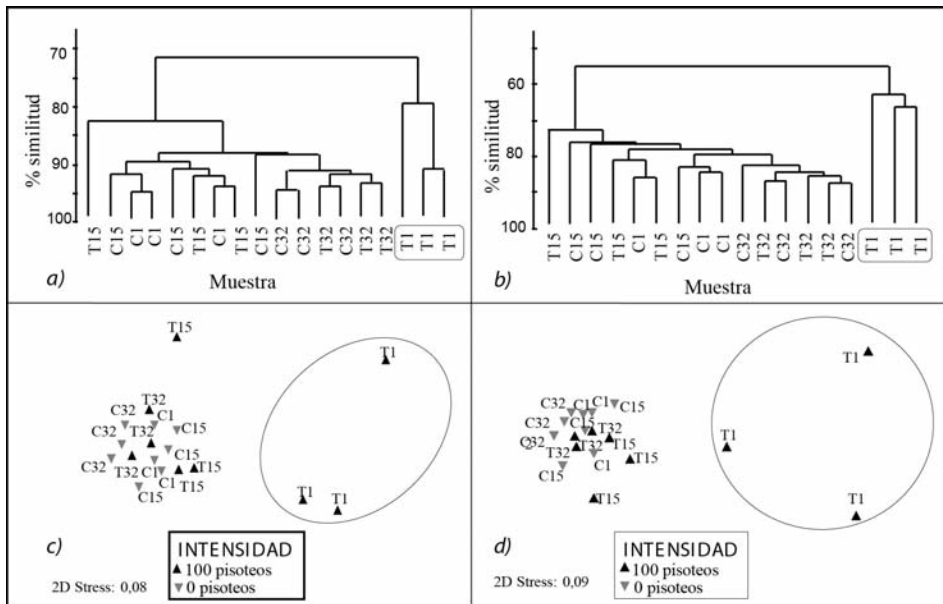


Fig. 8. *a)* y *b)*, análisis jerárquico (Cluster) aplicado a la matriz de similitud de Bray-Curtis para los niveles taxonómicos de orden y familia, respectivamente; *c)* y *d)*, representación gráfica del NMDS (Escalamiento Multidimensional No Métrico) para los niveles taxonómicos de orden y familia, respectivamente. Los círculos en negro corresponden a los grupos diferenciados en el análisis Cluster. La letra *C* hace referencia a las muestras control y la letra *T* a las parcelas tratadas (pisoteadas). Ambas van seguidas de un número que indica el periodo de recuperación. Transformación previa de datos mediante $\text{Log}(x + 1)$.

que se observan grandes similitudes entre parcelas pisoteadas y no pisoteadas para ambos periodos (15 y 32 días de recuperación).

Según las tablas de datos en crudo, el número medio de familias se vio reducido en un 18% tras el primer día de recuperación (datos no mostrados). Al cabo de 15 días, la abundancia media de familias presentó una reducción del 15% respecto al valor original. Transcurridos 32 días, la abundancia de familias fue tan solo un 2,5% menor. El número medio de órdenes taxonómicos presentes en muestras sometidas a distintos tratamientos (intensidades y periodos de recuperación) experimenta fluctuaciones que no superan el 1% durante todo el experimento (datos no mostrados).

En cuanto a la estructura de la comunidad, el test ANOVA realizado mostró diferencias significativas ($F = 5,088$; g. l.: 5; $P = 0,00983$) para el

índice IBMWP entre muestras. El test *post hoc* de Tukey permitió identificar la diferenciación de las muestras procedentes de T1 (1 día de recuperación tras el tratamiento) con respecto al resto de parcelas (fig. 9, a). En la figura 9, a, se puede observar cómo a medida que aumenta el periodo de recuperación se reducen las diferencias con las muestras procedentes de parcelas control (C1, C15 y C32). El índice de Shannon-Weaver mostró diferencias significativas ($F = 3,204$; g. l.: 5; $P = 0,0457$), aunque el test *post hoc* no permitió discriminar las muestras afectadas por la actividad.

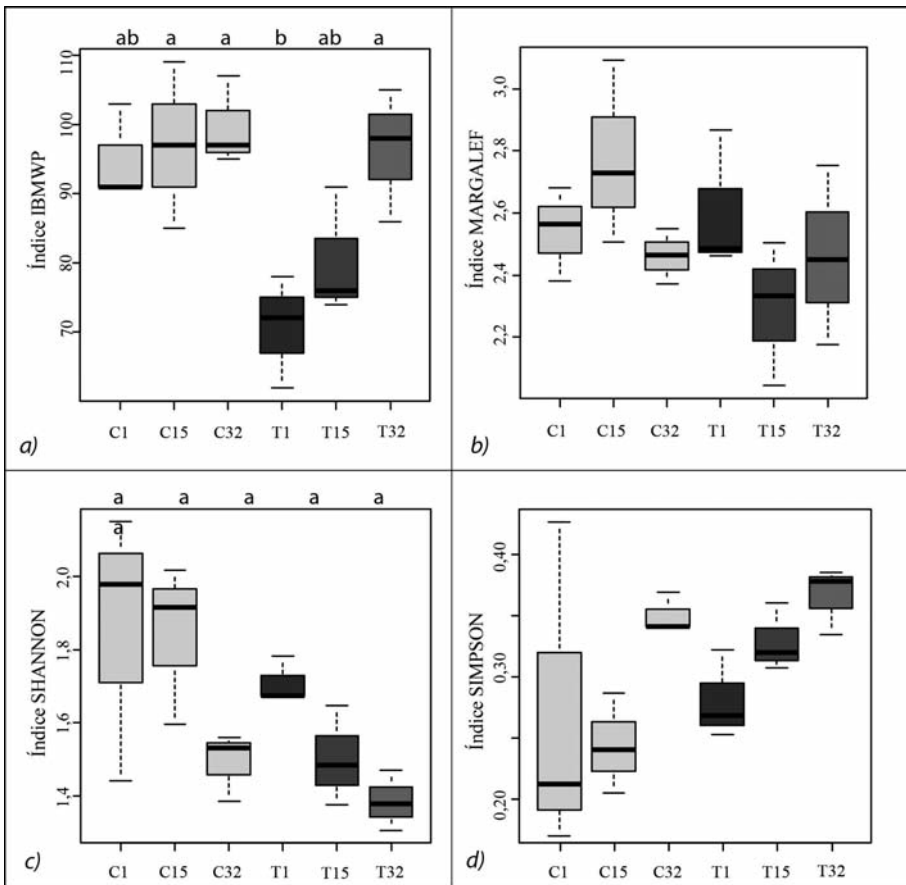


Fig. 9. Diagrama de caja y test *post hoc* de Tukey del factor “Muestra” para los índices a) IBMWP, b) Margalef, c) Shannon-Weaver y d) Simpson. C equivale a las parcelas control y T equivale a las parcelas tratadas. Los números que acompañan a cada letra hacen referencia al periodo de recuperación (días). Las letras a y b encima de las cajas indican las categorías discriminadas por el test *post hoc* ($p < 0,05$).

En la figura 9, *c*, se observa una disminución progresiva de la diversidad conforme aumenta el periodo de recuperación en las muestras pisoteadas (T1, T15 y T32). Los test ANOVA realizados para los índices de diversidad de Margalef y Simpson no mostraron diferencias significativas entre muestras. No obstante, cabe destacar la distribución del diagrama de caja del índice de Simpson, en el que se observa un aumento directamente proporcional al tiempo de recuperación de las parcelas pisoteadas (fig. 9, *d*), distribución íntimamente ligada a la observada con el índice de Shannon-Weaver.

DISCUSIÓN

Seguimiento de la comunidad de macroinvertebrados y del recubrimiento de perifiton

Los resultados de este estudio muestran que el pisoteo producido durante la temporada de barrancos tuvo un efecto perjudicial sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el tramo final de uso deportivo del río Formiga, reduciendo el número de órdenes y familias presentes, la abundancia de las poblaciones y el índice de calidad ecológica.

En cuanto al recubrimiento de *perifiton* de las rocas, solo se obtuvieron diferencias significativas marginales entre estaciones (control/afectadas), a pesar de que la alteración del sustrato se apreciaba a simple vista *in situ* y también cuando se representa gráficamente la concentración de clorofila *a*. VILLANUEVA y cols. (2011) afirman que, tras una perturbación, el biofilm presenta una tasa de recolonización más elevada a mayor temperatura del agua. Puesto que en el mes de agosto la temperatura alcanza los valores máximos en el río Formiga, también lo hace la tasa de crecimiento algal, de modo que no es de extrañar que las reducciones de la concentración de clorofila de la capa epilítica durante la temporada de barranquismo sean poco apreciables.

El río presenta valores del índice IBMWP que se encuentran por encima de los 100 puntos. Esto ocurre tanto en las muestras de la zona afectada por la actividad recogidas antes de la temporada, como en las muestras control recogidas antes y durante la temporada. Según las categorías de clasificación del índice IBMWP (ALBA-TERCEDOR y cols., 2002), el río presenta en estos casos una “calidad muy buena”, que indica que el ecosistema no sufre

ningún impacto que quede reflejado en este índice biológico. No obstante, las muestras recogidas en las parcelas afectadas por el descenso de barranquistas tras 3 meses de actividad presentan valores del índice inferiores a 60 puntos, que califican a las aguas como “aceptables”. Según la clasificación establecida por ALBA-TERCEDOR y cols. (2002), estos valores obtenidos corresponden a un agua de clase III o “agua contaminada”. Aunque en el presente estudio no resulta muy preciso denominar *contaminación* a una alteración de tipo mecánico, sí que se han observado numerosos ejemplos de contaminación de aguas en la cuenca del Ebro que presentan valores del índice IBMWP similares a los nuestros. OSCOZ y cols. (2007) observaron valores de calidad de clase III en tramos afectados por efluentes de núcleos urbanos (río Alhama, aguas abajo de Alfaro; río Vero, aguas abajo de Barbastro; río Ebro, en San Adrián, Tudela o Flix), en tramos afectados por residuos agrícolas y ganaderos (ríos Jalón y Jiloca) o en tramos sujetos a grandes variaciones de caudal (río Cinca, en El Grado; río Ebro, en Flix). MAS y cols. (2004) observaron valores de la misma clase en la presa de Arenós y en la cola del embalse de Vallat (cuenca del río Júcar), y VALLADOLID y cols. (2006), en un tramo afectado por efluentes urbanos e industriales del río Oja (La Rioja).

El índice de riqueza de Margalef permite interpretar los resultados de un modo similar al índice IBMWP. Al igual que el IBMWP, el índice de riqueza de Margalef cae muy por debajo de la media de valores de las muestras no afectadas. No obstante, este índice es más limitado que el de Shannon-Weaver y no deben sobrevalorarse los resultados obtenidos con él, puesto que solo basa su cálculo en el número de taxones (familias, en nuestro caso) y en el número total de individuos observados, mientras que no tiene en cuenta la equitatividad de cada familia en el conjunto de la comunidad. En cuanto al índice de diversidad de Shannon-Weaver, no se observan diferencias significativas tras los 3 meses de actividad. Esto puede deberse a la gran variabilidad de las réplicas al inicio de la temporada. Si comparamos los valores de diversidad obtenidos con los observados por VALLADOLID y cols. (2006), se aprecia que las diversidades máximas obtenidas en las parcelas libres de pisoteos presentan valores muy cercanos a los de la cabecera del río Oja (2,2 frente a 2,37), un tramo totalmente libre de contaminación, mientras que los obtenidos en parcelas afectadas por el pisoteo durante la

temporada caen hasta valores de diversidad equivalentes al tramo inmediatamente inferior del río Oja, donde existe una contaminación procedente de efluentes de depuradora que reduce sus valores de diversidad hasta 1,7.

Recuperación de la comunidad de macroinvertebrados

Los resultados de este estudio muestran que existe un efecto perjudicial a corto plazo (1 día después de la perturbación) en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados del río Formiga como resultado de un pisoteo intenso y continuo durante 1 semana. No obstante, la comunidad recupera la composición taxonómica inicial en un corto periodo de tiempo (15 días) y la estructura (taxonomía y abundancia) a partir de 1 mes de recuperación.

En este experimento se observan de nuevo valores elevados del índice IBMWP, que otorgan calidades “buenas” y “muy buenas” del agua en las parcelas no afectadas por el pisoteo, mientras que en aquellas sometidas a perturbación y con un corto periodo de tiempo de recuperación (1 día) se han observado reducciones importantes del valor del índice, si bien estos no descienden de 60, lo que indica que la calidad del agua continúa considerándose como “buena” o de clase II y nunca baja de esta catalogación. Esto demuestra que la intensidad de pisoteo empleada en el experimento es de menor magnitud y, sobre todo, de menor duración que la perturbación real de los barranquistas durante la temporada, por otra parte lógico si se tiene en cuenta que la perturbación controlada se aplicó durante 1 semana, mientras que la perturbación real opera durante varios meses. La clase II es definida por sus autores como aguas “buenas” con algunos efectos evidentes de contaminación, aunque, como comentábamos anteriormente, quizás en nuestro caso cabría hablar de una alteración mecánica. En cualquier caso, los resultados obtenidos son comparables a los observados por OSOZ y cols. (2007) en el río Ebro (en Tortosa) o en el Cinca (en Fraga), ambos debidos a efluentes provenientes de industrias y núcleos urbanos. Al cabo de 15 días, la calidad aumenta, aunque sigue siendo calificada como “buena”. Es al cabo de 32 días cuando se recuperan los valores de calidad “muy buena” propios de las parcelas no alteradas. Los resultados del índice IBMWP obtenidos en este estudio indican que este es capaz de representar claramente los efectos perjudiciales del pisoteo, además de que puede

detectar una mejoría de la composición y la calidad de la comunidad, por lo que es posible considerarlo como un índice adecuado para visualizar este tipo de efectos perjudiciales.

El índice de diversidad de Shannon-Weaver (H'), de nuevo, igual que en el seguimiento, no resulta significativamente inferior en las parcelas alteradas. Sin embargo, se aprecia un gradiente de reducción de H' conforme aumenta el periodo de recuperación, al contrario que en el seguimiento, donde se observaba un incremento de diversidad a lo largo de la temporada. Es una situación distinta a la descrita por otros autores, que registran aumentos instantáneos de la diversidad tras volteos de rocas provocados (ENGLUND, 1991; ROBINSON y MINSHALL, 1986). No obstante, también existen casos en los que no se han observado diferencias entre las parcelas tratadas y los controles (REICE, 1985; CLIFFORD, 1982). Probablemente, en este caso, la causa de la disminución de la diversidad sea la evolución de las variables ambientales conforme avanza el verano, cuando las condiciones en los ríos mediterráneos son más duras para los organismos debido al incremento de la temperatura, la escasez de oxígeno e incluso la desecación. Por otra parte, y dado que en el tramo de estudio se ha observado una gran dominancia de determinados taxones sobre el resto (*Chironomidae*, *Leuctridae* y *Baetidae*), es muy probable que la disminución gradual de la diversidad coincida con el aumento de las densidades de estos taxones más generalistas, al cabo de 15 y 32 días.

Un pisoteo consecutivo de 7 días en el río Formiga provoca un efecto perjudicial inmediato en la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Se observó una reducción media del número de familias en dicho periodo del 18% y el número total de individuos cayó en un 70%. Estos hechos coinciden con los resultados de otros estudios previos realizados en ecosistemas lóticos. HARDIMAN y BURGIN (2011) observaron reducciones del 71% del número de individuos en barrancos australianos y otros autores obtuvieron resultados similares a corto plazo para frecuencias de perturbación cercanas a la nuestra (ej.: BROOKS y BOULTON, 1991). REICE (1985) observó reducciones de entre el 25% y el 95% de los individuos. Los efectos a corto plazo de las avenidas de agua también resultaron ser muy similares a los obtenidos en nuestro experimento en algún caso (ej.: MOLLES, 1985; MUNDAHL y HUNT, 2011).

Tras 15 días de recuperación, la composición de la comunidad de macroinvertebrados (presencia de taxones) de las muestras pisoteadas se había recuperado. Este hecho ya fue observado por otros autores en un periodo de tiempo menor (ej.: 8 días de recuperación, MELO y FROEHLICH, 2004), igual (ej.: HARDIMAN y BURGIN, 2011) o superior al nuestro (ej.: 4 semanas, REICE, 1985). MELO y FROEHLICH (2004) afirmaban que la velocidad de recuperación de las comunidades está íntimamente relacionada con la presencia de áreas cercanas no afectadas que puedan actuar como fuente de colonizadores. Por otra parte, BROOKS y BOULTON (1991) dan mayor importancia a la migración vertical (abajo-arriba) de los individuos y a la baja especificidad de sustrato, mientras que REICE (1985) atribuye la recuperación a una mayor resiliencia de los taxones en función de su fecundidad.

Después de 32 días la comunidad de macroinvertebrados mostró una composición y estructura (presencia y abundancia de taxones), en el nivel familia, similar a la original. Sin embargo, en el nivel orden no se recuperó la estructura inicial. HIEBER y cols. (2002) observaron diferencias tras un periodo de recuperación de 30 días y las atribuían al movimiento diario continuo de los individuos en busca de las condiciones óptimas en cada momento y no a una recuperación lenta de las comunidades. De hecho, algunos autores relacionan la alta resiliencia de las comunidades de invertebrados en corrientes de alta montaña con la frecuencia elevada de perturbaciones naturales. Por ejemplo, en barrancos australianos (HARDIMAN y BURGIN, 2011) o ríos alpinos (HIEBER y cols., 2002) es mucho mayor que en zonas de menor altitud o con una menor variabilidad climática a corto plazo (ej.: manglares, ROSS, 2006).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que el pisoteo provocado por los barranquistas durante la temporada tiene un efecto perjudicial sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del último tramo del barranco del Formiga. Se observa una reducción importante de la riqueza taxonómica en las muestras afectadas con respecto a los controles y también una disminución de la calidad ecológica del agua. Según las categorías de calidad establecidas para el índice IBMWP, antes de la temporada de barranquismo

el agua podía calificarse como de “muy buena calidad”, aunque, transcurridos 3 meses, se redujo a una “calidad aceptable”. Con el seguimiento no se ha evidenciado un efecto perjudicial del pisoteo sobre el recubrimiento de *perifiton* en las rocas, si bien se pudo observar claramente *in situ* la presencia de sendas acuáticas muy marcadas sobre el sustrato.

Una perturbación experimental continua de 1 semana ocasionó un efecto perjudicial inmediato en la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, hasta el punto de causar una reducción media del número de familias del 18% y del número total de individuos en un 70%. La calidad ecológica se redujo desde calidades “muy buenas” a “buenas”, y no llegaron a alcanzarse “calidades aceptables” en este caso.

La comunidad es capaz de recuperar su composición inicial en un periodo de 15 días y la estructura de la comunidad se recupera a partir de los 32 días. La calidad ecológica del río según el índice IBMWP mostró una total recuperación al cabo de 32 días. Este índice, comúnmente utilizado para la detección de contaminación de origen químico u orgánico, ha resultado ser de gran utilidad para visualizar el efecto en la calidad ecológica de un río afectado por una alteración mecánica, como es el pisoteo provocado por el barranquismo.

La propia adaptación de los individuos a un sistema en continuo cambio, debido a los eventos naturales, permite una rápida recuperación de la comunidad de macroinvertebrados ante una perturbación antrópica de tipo mecánico como es la del barranquismo. No obstante, la comunidad de macroinvertebrados sufre una perturbación que puede durar hasta 6 meses en años con condiciones meteorológicas favorables para el barranquismo e incluso puede enlazarse con el periodo de caudales máximos, a finales de invierno e inicios de primavera (febrero-abril), generando una dificultad añadida para el buen desarrollo del ciclo vital de las comunidades. Así, para estudios posteriores se propone la elección de puntos de muestreo en cauces con distintos niveles de afluencia de barranquistas y que dispongan de datos de caudal en continuo. De este modo sería posible evaluar por separado el efecto específico de las avenidas de agua y la perturbación propia del barranquismo.

Las comunidades de macroinvertebrados y el recubrimiento de *perifiton* son solo dos de los numerosos componentes de un ecosistema acuático y es

posible que otros organismos también se vean afectados y no sean tan resilientes. En este sentido, sería más que recomendable estudiar el posible impacto sobre las poblaciones ícticas y determinar si el barranquismo es o no uno de los causantes de la inestabilidad observada en las poblaciones de algunos cauces del PNG. Un estudio exhaustivo de la composición del *perifiton* también permitiría detectar cambios a corto plazo en la calidad del agua.

AGRADECIMIENTOS

A José Antonio Cuchí, por sus orientaciones a la hora de escoger el área de estudio y otras informaciones. A Ester Ginés y Sara Lapesa, de la empresa SARGA, por sus orientaciones previas al inicio del estudio, y a Ernesto Pérez y José Manuel Nicolau, por sus recomendaciones al final de este. Por último, a todos los amigos y familiares que han colaborado desinteresadamente tanto en el trabajo de campo como en el laboratorio, en especial a José Sierra, Guillermo Sierra, Laura Gros, Beatriz Orós, Marta Michavila y Omar Martínez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBA-TERCEDOR, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. En *IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA)*. Almería, vol. 2: 203-213.
- ALBA-TERCEDOR, J., y A. SÁNCHEZ-ORTEGA (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4: 51-56. Disponible en <http://limnetica.info/Limnetica/Limne4/Limnetica-vol4-pag51-56.pdf> [consulta: 11/7/2014].
- ALBA-TERCEDOR, J., P. JÁIMEZ-CUÉLLAR, M. ÁLVAREZ, J. AVILÉS, N. BONADA I CAPARRÓS, J. CASAS, A. MELLADO, M. ORTEGA, I. PARDO, N. PRAT I FORNELLS, M. RIERADEVALL I SANT, S. ROBLES, C. SAINZ-CANTERO, A. SÁNCHEZ-ORTEGA, M.^a L. SUÁREZ, M. R. VIDAL-ABARCA GUTIÉRREZ, S. VIVAS y C. ZAMORA-MUÑOZ (2002). Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). *Limnetica*, 21 (3-4): 175-185.
- BENAYAS, J., R. BLANCO y C. PRIEBE (1996). *Análisis de los impactos ocasionados por el barranquismo en el Parque de la Sierra y Cañones de Guara. Propuesta de regulación*. Informe inédito realizado por el Fondo Ibérico para la Conservación de la Naturaleza (Departamento de Ecología de la UAM) por encargo del Servicio de Espacios Naturales Protegidos, Caza y Pesca del Departamento de Agricultura y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. Madrid. 3 vols., 424 pp.

- BROOKS, S. S., y A. J. BOULTON (1991). Recolonization dynamics of benthic macroinvertebrates after artificial and natural disturbances in an Australian temporary stream. *Marine and Freshwater Research*, 42 (3): 295-308.
- BUERA, J., J. A. CUCHÍ y J. A. MANSO (1997). Hidroquímica de las aguas naturales de los sectores occidental y central de la sierra de Guara (Huesca). *Lucas Mallada*, 9: 35-64.
- CLARKE, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18 (1): 117-143.
- CLIFFORD, H. F. (1982). Effects of periodically disturbing a small area of substratum in a brown-water stream of Alberta, Canada. *Freshwater Invertebrate Biology*, 1 (2): 39-47.
- DOLE-OLIVIER, M. J., P. MARMONIER y J. L. BEFFY (1997). Response of invertebrates to lotic disturbance: is the hyporheic zone a patchy refugium? *Freshwater Biology*, 37 (2): 257-276.
- ELOSEGI, A., y S. SABATER (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA. Bilbao. Disponible en http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OfOUggC20_UC&oi=fnd&pg=PA11&dq=elosegui+sabater+2009+bbva&ots=9gN6NZIb-BA&sig=P4W7KGMlLl_YqBpNyK0jVYiCzStc [consulta: 8/7/2014].
- ENGLUND, G. (1991). Effects of disturbance on stream moss and invertebrate community structure. *Journal of the North American Benthological Society*, 10 (2): 143-153.
- GONZÁLEZ HIDALGO, J. C. (1989). Introducción al estudio del drenaje en superficie de las Sierras Exteriores oscenses: sector Isuela-Vero (I). *Lucas Mallada*, 1: 67-80.
- GORE, J. A. (1982). Benthic invertebrate colonization: source distance effects on community composition. *Hydrobiologia*, 94 (2): 183-193.
- HARDIMAN, N., y S. BURGIN (2011). Effects of trampling on in-stream macroinvertebrate communities from canyoning activity in the Greater Blue Mountains World Heritage Area. *Wetlands Ecology and Management*, 19 (1): 61-71.
- HIEBER, M., C. T. ROBINSON, U. UEHLINGER y J. V. WARD (2002). Are alpine lake outlets less harsh than other alpine streams? *Archiv für Hydrobiologie*, 154 (2): 199-223.
- JEFFREY, S. W., y G. F. HUMPHREY (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanz.*, 167: 191-194.
- LANCASTER, J., y A. G. HILDREW (1993). Flow refugia and the microdistribution of lotic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 12 (4): 385-393.
- MARTÍNEZ MAS, J. F., E. CORRECHER, A. PIÑÓN, M. Á. MARTÍNEZ MURO y A. M.^a PUJANTE (2004). Estudio del estado ecológico de los ríos de la cuenca hidrográfica del Júcar (España) mediante el índice BMWP'. *Limnetica*, 23 (3-4): 331-346.
- MELO, A. S., y C. G. FROELICH (2004). Colonization by macroinvertebrates of experimentally disturbed stones in three tropical streams differing in size. *International Review of Hydrobiology*, 89 (3): 317-325.

- MOLLES, Jr., M. C. (1985). Recovery of a Stream Invertebrate Community from a Flash Flood in Tesuque Creek, New Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 30: 279-287.
- MUNDAHL, N. D., y A. M. HUNT (2011). Recovery of stream invertebrates after catastrophic flooding in southeastern Minnesota, USA. *Journal of Freshwater Ecology*, 26 (4): 445-457.
- OSCOZ, J. (2011). Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. Disponible en <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=502025> [consulta: 8/7/2014].
- OSCOZ, J., J. GOMÀ, L. ECTOR, J. CAMBRA SÁNCHEZ, M. PARDOS y C. DURÁN (2007). Estudio comparativo del estado ecológico de los ríos de la cuenca del Ebro mediante macroinvertebrados y diatomeas. *Limnetica*, 26 (1): 143-158.
- REICE, S. R. (1985). Experimental disturbance and the maintenance of species diversity in a stream community. *Oecologia*, 67 (1): 90-97.
- ROBINSON, C. T., y G. W. MINSHALL (1986). Effects of disturbance frequency on stream benthic community structure in relation to canopy cover and season. *Journal of the North American Benthological Society*, 5 (3): 237-248.
- ROSGEN, D. L. (1996). *Applied river morphology* (vol. 1481). Wildland Hydrology Pagosa Springs, Colorado. Disponible en http://www.chelanpud.org/relicense/comm/meet2000/4854_1.pdf [consulta: 8/7/2014].
- ROSS, P. M. (2006). Macrofaunal loss and microhabitat destruction: the impact of trampling in a temperate mangrove forest, NSW Australia. *Wetlands Ecology and Management*, 14 (2): 167-184.
- SETRINI, J., y J. A. CUCHÍ (1999). Primera aproximación al cálculo de avenidas en los cañones fluviokársticos de la sierra de Guara (Huesca, España). *Lucas Mallada*, 11: 93-104.
- STRAHLER, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, 38 (6): 913-920.
- VALLADOLID, M., J. J. MARTÍNEZ-BASTIDA, M. ARAUZO y C. GUTIÉRREZ (2006). Abundancia y biodiversidad de los macroinvertebrados del río Oja (La Rioja, España). *Limnetica*, 25 (3): 745-752.
- VILLANUEVA, V. D., J. FONT, T. SCHWARTZ y A. M. ROMANÍ (2011). Biofilm formation at warming temperature: acceleration of microbial colonization and microbial interactive effects. *Biofouling*, 27 (1): 59-71.

LA CAVIDAD CONOCIDA COMO *SOTARRAÑA*, EN BETORZ (HUESCA)

José Luis VILLARROEL
José Antonio CUCHÍ¹

RESUMEN.— Este artículo describe algunas características de la mina-cueva Sotarraña, situada en las proximidades de la localidad altoaragonesa de Betorz. Se trata de una cavidad natural que ha sido utilizada como mina para la extracción de oxihidróxidos de hierro en un yacimiento estratiforme. El volumen extraído es bastante modesto.

ABSTRACT.— The present paper describes some characteristics of the cave-mine Sotarraña, located near the Betorz, Upper Aragon, Spain. It is a natural cave used as mine to extract iron ores from a stratiform deposit. The extracted volume is reduced.

KEY WORDS.— Ancient mining, karst, Betorz, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

Como bien señalaba MALLADA (1878), el Alto Aragón presenta pocos criaderos metálicos y solamente algunos, en su mayor parte situados en las cabeceras de valles del Pirineo, han sido explotados. Ejemplos son las minas de cobalto en Gistaín, de hierro en Parzán, de pirita en Cerler y de galena en Bono, Chisagüés y Panticosa. La excepción son las diversas minas de cobre del Somontano explotadas en Biel, La Carbonera, Casas de Espés,

¹ Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles (GTE). Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio I+D+i. Universidad de Zaragoza. C/ Mariano Esquillor, s/n. E-50018 ZARAGOZA. jlvilla@unizar.es, cuchi@unizar.es

Sierra Estronad, Monzorrobal, Lienas y Labata. Otra singularidad son las minas de manganeso de la Ribagorza oriental, en Purroy de la Solana y Estopiñán. Ninguna está hoy en activo. En cualquier caso, la mayoría de las explotaciones mineras altoaragonesas eran muy modestas, muchas de ellas superficiales, apenas ligeros socavones, aunque algunas contaban con cortas galerías, como la presentada por Inmaculada CUCHÍ (1995) en las cercanías del despoblado de Sagarillo, en el Flumen, cerca de Huesca.

Sobre esta temática no hay demasiada información escrita. Las explotaciones más importantes se encuentran citadas en CALVO y cols. (1988) y ENADIMSA (1994). Existen varios documentos históricos con referencias mineras. Por ejemplo, un documento medieval habla de una mina en Candanchú. Es de destacar que muchas de estas referencias son muy poco precisas. Los primeros trabajos técnicos con calidad y detalle datan del siglo XVIII, cuando BOWLES (1775) publica su famoso informe sobre la picaresca de los arrendatarios alemanes en la mina de cobalto de Plan. Otros textos interesantes de esta época son el trabajo de ASSO (1798) y el documento militar que presenta BUIL (1997). De muchas pequeñas minas artesanales solo quedan recuerdos locales, algunos reflejados en topónimos como *la mina de Oza*, *el Garmo de la Mina*, entre Sallent y Panticosa, o *Monzorrobal / Monferrobal*, junto a Ayerbe. Lamentablemente, esta información se ha perdido durante el éxodo rural del siglo XX. Hoy solo quedan vestigios mínimos que suelen pasar desapercibidos bajo la reforestación de los montes.

Es evidente, en cualquier caso, el interés en estudiar la relevancia histórica de la minería altoaragonesa. El hierro, metal estratégico, es una materia prima de primera necesidad, que por diversas razones siempre se ha intentado obtener localmente. En el Alto Aragón, las minas más importantes estaban en Bielsa. Pero hay referencia de algunas de menor importancia en el Prepirineo, donde es común la presencia de oxihidróxidos de hierro en las calizas y areniscas de esta zona. Suelen aparecer como masas más o menos aisladas, que en Rodellar se conocen como *cagafierro*. Por otro lado, en el Archivo Histórico Provincial hay expedientes de minas de hierro, no necesariamente de actividad minera, en Salinas de Jaca, Riglos, Aniés, Nueno, Rasal, Bentué, Santa Eulalia, Barluenga, Labata, Rodellar, Sarsa de Surta, Barbastro, Estadilla, Gabasa, Nachá y Castillonroy.

Este artículo se centra en la denominada *mina Sotarraña*, situada en las cercanías de Betorz, aparentemente no topografiada hasta la actualidad. Entre otras cosas, está relacionada con la posible existencia de un tesoro buscado por su vinculación con la brujería a finales del siglo XIX, que describe PEÑART (1996). El objetivo del trabajo es presentar una primera descripción de la citada cueva, cuyo nombre transcribe el autor local citado. El topónimo, que la cartografía indica como *Sotorraña* y que también podría entenderse como *Soterraña*, parece explícito. Es de señalar que varias cuevas en Cantabria llevan también este nombre. En el Alto Aragón existe la advocación de la Virgen de Soterrano, en Ayerbe, en una iglesia encajada en la ladera de su castillo.

LA ZONA DE ESTUDIO

La zona se enmarca en las Sierras Exteriores altoaragonesas, en la cuenca alta del río Vero. La geología básica se encuentra en MILLÁN (2006) y MONTES (2009), quienes indican la existencia de una serie de pliegues de eje norte-sur desde el anticlinal de Boltaña hasta el denominado *Asba-Sebil*. Estos pliegues afectan básicamente a calizas de la formación Guara y a margas marinas, materiales que pertenecen a las fases iniciales del levantamiento pirenaico, durante el Eoceno medio y final. La erosión posterior denudó los materiales, de modo que las calizas forman una serie de sierras longitudinales excavadas por profundos cañones. La caliza está muy karstificada, con *leneras* tipo *Hohlkarren* recubiertas por canchales de gelifracción que fueron estudiados inicialmente por RODRÍGUEZ VIDAL (1986).

La cavidad analizada se encuentra entre los barrancos del Puntarrón y Basender. Este último tiene un típico comportamiento kárstico, descrito en CUCHÍ y cols. (2010). Habitualmente está seco, salvo episodios de muy fuertes lluvias como los de agosto de 1963. La descarga de la zona se produce en la surgencia de Verrala, también llamada *del molino de Lecina*.

DESCRIPCIÓN DE LA CAVIDAD

La cavidad se encuentra en el flanco este del anticlinal Asba-Sebil, en las cercanías de la localidad de Betorz, del municipio de Bárcabo. Se accede

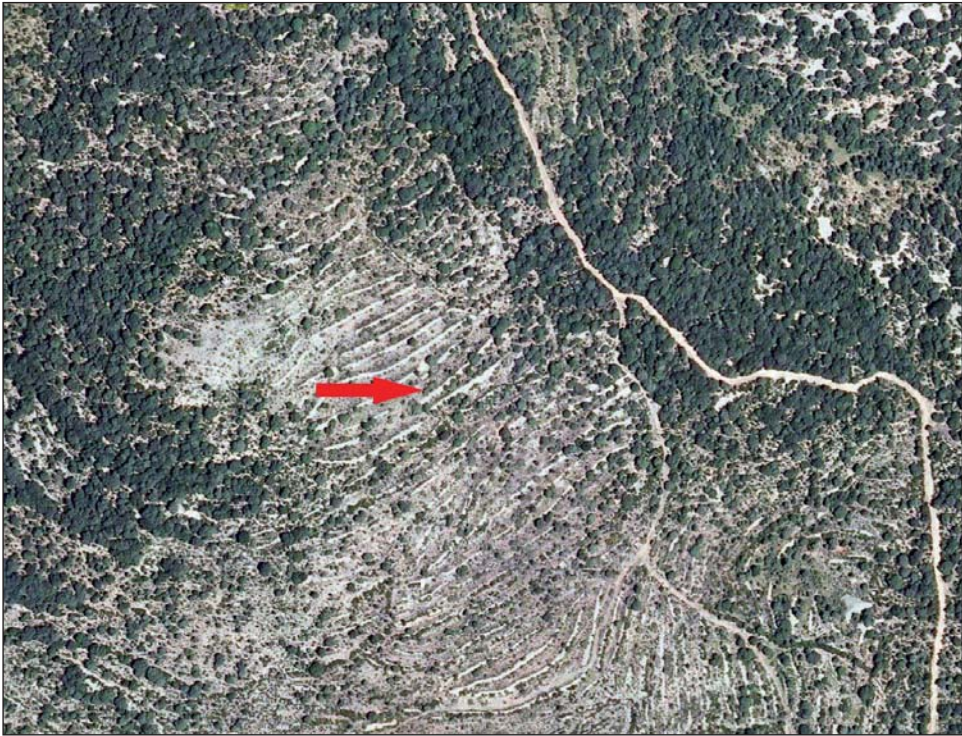


Fig. 1. Ubicación de la cueva Sotarraña, en una zona muy abancalada al suroeste de la pista Betorz-Asba.

por la pista de acceso al monte Asba, que se inicia en el núcleo urbano citado. A unos pocos cientos de metros del comienzo, se abandona la pista en la confluencia de una pista lateral, tomando una senda poco marcada, utilizada por cazadores, entre bancales calizos (fig. 1). El proceso de abancalamiento parece no concluido, pero este tema necesitaría un estudio específico. El abancalado esconde la estratificación local, pero el techo de la cavidad sugiere un suave buzamiento hacia el oeste.

La boca tiene las coordenadas X: 253775, Y: 4684253, Huso 31T (European Datum 1979). Altura aproximada: 1200 msnm. Se encuentra bajo una encina (*carrasca*, *lezina*) de dimensiones medias que la esconde (fig. 2). Aparece rodeada por una rampa semicircular ascendente que parece una escombrera de material interior. Hay un bloque desprendido en medio de la boca, lo que denota un claro riesgo de hundimiento (fig. 3).



Fig. 2. Aspecto exterior de la boca de Sotarraña.



Fig. 3. Entrada actual de la cueva Sotarraña, con un bloque desprendido.

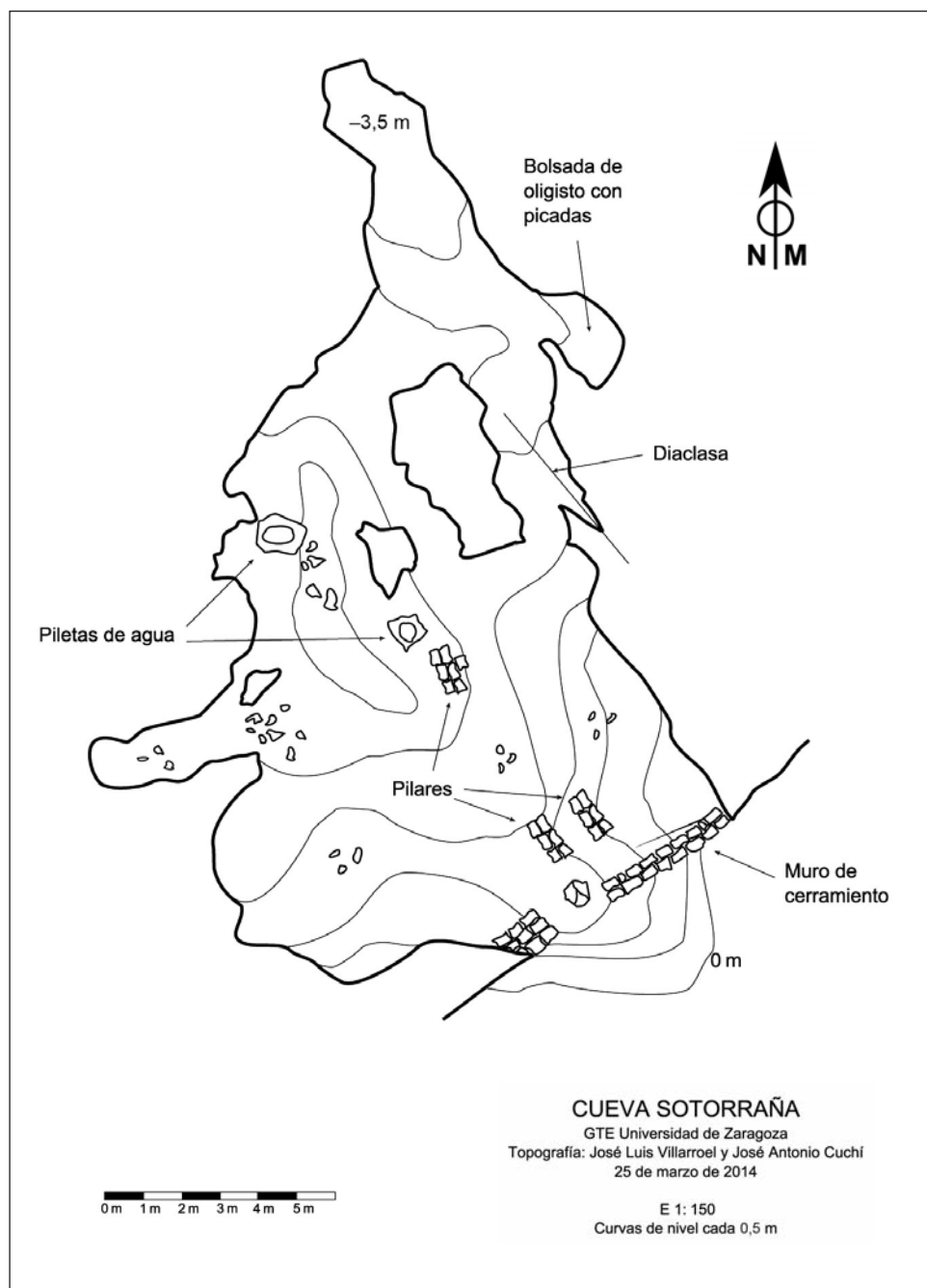


Fig. 4. Topografía de la cavidad.



Fig. 5. Pileta de piedra tallada en Sotarraña.

La topografía de la cavidad se presenta en la figura 4. Además de un pilar en la actual boca, parte del acceso al exterior se encuentra tapiado con una pared de piedra seca. Dos pilares más se hallan cerca de la boca, que da acceso a una sala rectangular, de unos 50 m², con otro pilar en el centro. La sala contiene dos pequeñas pilas de piedra (fig. 5) que recogen agua de goteos de agua del techo y que le dan el calificativo de *fuenta* con el que aparece en los mapas. El suelo de la sala ha sido excavado y abundan los trozos de costra estalagmítica rotos. Como muestra la figura 6, el techo presenta algunos espeleotemas modestos.

La sala continúa por el fondo mediante tres galerías. Las dos de la izquierda se comunican lateralmente. Su techo es claramente kárstico, con un techo tipo *pendant*. La galería situada al norte presenta una clara diaclasa ampliada rellena de concreción. En esta galería el suelo ha sido excavado manualmente (fig. 7); así, se ha roto una débil costra superficial bajo la que aparecen arcillas de descalcificación de color pardo. Aquí se ha localizado una huella de puntero.



Fig. 6. Aspecto de la sala en la cueva Sotarraña. Pilar central y galería norte, al fondo.

En las pequeñas galerías se han localizado abundantes señales de picado en bolsadas de mineral. En la figura 4 se ha mostrado una de las zonas con abundantes señales de extracción. Esta se presenta en bolsadas, aparentemente se trata de un yacimiento estratiforme entre junta de estratificación. El mineral, oligisto y limonita de aspecto terroso, se ha excavado en pequeño volumen en época desconocida. Hay que indicar que el ocre rojizo se ha utilizado para el curtido de pieles desde el Neolítico. Pero hay huellas de una herramienta de picado con aspecto bastante fresco. Esto hace sospechar que se ha podido utilizar, para obtener pigmentos (rojo y amarillo), quizás para las pinturas de la cercana iglesia de Santa María de la Nuez y de la aún más cercana de las Santas Nunilo y Alodia en Betorz. A esta excavación hay que añadir la actividad de los buscadores de tesoros. Probablemente, fueron estos los que rompieron la costra base, donde no parece haber óxidos de hierro. Por último, es posible que la cavidad sirviera



Fig. 7. Excavación en galerías interiores. Costra sobre arcillas de descalcificación.
Testigo: 0,4 m.

también como paridera e incluso como refugio para los habitantes de Betorz, como hicieron los vecinos de Sarsa de Surta en la cueva Lodrica durante la última guerra civil.

Las diversas actividades, básicamente vaciados, han dejado muy pocos restos en la cavidad. Una visita arqueológica reciente, dentro de la revisión de yacimientos arqueológicos con vistas a su inclusión o no en el PGOU de Bárcabo financiado por el Gobierno de Aragón, localizó cerámica popular reciente y un trozo de sílex (Julia Justes y M.^a José Calvo, comunicación personal). Durante la presente cartografía se localizó un resto óseo en una galería y un resto de colador artesanal a partir de un fondo de lata. En cualquier caso, se trata de una pequeña cavidad con bastante historia.

CONCLUSIONES

La modesta cueva Sotarraña tiene un origen kárstico que ha sido modificado por la acción de la minería. Presenta un yacimiento de oligisto y

limonita en bolsadas concentradas entre dos estratos. El volumen extraído es reducido, por lo que podría ser básicamente una explotación para la extracción de pigmentos. No se han encontrado apenas otros restos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda de Rosa Torreano, jefa de Minas de la DGA en Huesca, en la búsqueda de información sobre las minas provinciales, así como la información de la doctora Lourdes Montes sobre el uso histórico del ocre. Se agradece el permiso de acceso rodado concedido por la Dirección del Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSO, I. (1798). *Historia de la economía política de Aragón*. Imprenta de Francisco Magallón. Zaragoza. 487 pp.
- BENEDICTO, E., y J. A. MATEOS (2013). *La minería aragonesa en la Cordillera Ibérica durante los siglos XVI y XVII: evolución económica, control político y conflicto social*. Prensas de la Universidad de Zaragoza (Colección Ciencias Sociales, 96). Zaragoza. 299 pp.
- BOWLES, W. (1775). *Introducción a la historia natural y a la geografía física de España*. Imprenta de Francisco Manuel de Mena. Madrid. 535 pp.
- BUIL, L. J. (1997). *Viaje por el Alto Aragón. Noviembre 1794*. La Val de Onsera. Huesca. 251 pp.
- CALVO, M., J. BESTEIRO, E. SEVILLANO y A. POCOVÍ (1988). *Minerales de Aragón*. Mira Editores (Colección Temas. Geología). Zaragoza. 142 pp.
- CUCHÍ, I. (1995). Introducción a la minería medieval en el Alto Aragón: las minas de cobre de Santa Eulalia (Huesca). En *Actas de las Jornadas sobre minería y tecnología en la Edad Media Peninsular (León, 1995)*: 217-224. Fundación Hullera Vasco-Leonesa. Madrid.
- CUCHÍ, J. A., J. L. VILLARROEL y E. SALAMERO (2010). Los ríos en roca en el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara. En A. Ortega y J. Durán (eds.), *Patrimonio geológico: los ríos en roca de la península ibérica: 249-268*. Instituto Geológico y Minero de España (Serie Geología y Geofísica, 4). Madrid.
- ENADIMSA (1994). *La minería de Aragón*. DGA. Zaragoza. 551 pp.
- MALLADA, L. (1878). *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca. Memorias de la Comisión del mapa geológico de España*. Imprenta y Fundición de Manuel Tello. Madrid. Ed. facsímil: IEA. Huesca. 1990. 439 pp. + 1 mapa.

- MILLÁN, H. (2006). *Estructura cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 53). Huesca. 398 pp., 5 mapas.
- MONTES, M. (2009). *Estratigrafía del Eoceno-Oligoceno de la cuenca de Jaca (Sinclinorio del Guarga)*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 59). Huesca. 355 pp., 1 mapa.
- PEÑART, D. (1996). *Lecina, un pueblo con historia y encanto*. Huesca. 143 pp.
- RODRÍGUEZ VIDAL, J. (1986). *Geomorfología de las Sierras Exteriores oscenses y su piedemonte*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 4). Huesca. 172 pp., 8 mapas.

NOTAS

NOTA SOBRE LA CAVIDAD DE LOS MURCIÉLAGOS (VADIELLO, HUESCA)

José Antonio CUCHÍ¹
José Antonio RAUSA¹
José Luis VILLARROEL¹

INTRODUCCIÓN

La zona central de la provincia de Huesca ofrece un amplio número de afloramientos de conglomerados, con edades que van desde el Eoceno final al Mioceno medio. Ejemplos típicos son las sierras de San Juan de la Peña, Oroel, puerto de Santa Orosia, Canciás, Olsón, Grustán, Graus, Sis y Laguarres, entre otras. Los situados en la periferia del cabalgamiento frontal pirenaico conforman los mallos y paredones de Biel, Agüero, Murillo de Gállego, Riglos, San Cristóbal, Salto de Roldán, San Martín de la Valdonsera, Vadiello, Morrano, Alquézar, Baells y otros.

Los conglomerados se han generado por litificación de gravas en los conos apicales de diversos ríos al llegar al frente pirenaico. Estos afloramientos han sido estudiados por diversos autores, entre ellos NICHOLS y HIRST (1998), NICHOLS (2004) y MONTES (2009), que muestran un origen complejo e indican una graduación espacio-temporal donde los más antiguos se

¹ Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles (GTE). Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio I+D+i. Universidad de Zaragoza. C/ Mariano Esquillor, s/n. E-50018 ZARAGOZA. cuchi@unizar.es, jarausa@ono.com, jlvilla@unizar.es

sitúan al norte de los más recientes. Además, los antiguos han sido más afectados tectónicamente por el levantamiento pirenaico.

Con una naturaleza básicamente calcárea en su cemento y en la mayoría de los cantos, la mayor parte de los conglomerados son de caliza, pero se encuentran también areniscas, cuarcitas, liditas e incluso cantos graníticos, dependiendo del área fuente de su río alimentador. Los cantos suelen estar bien rodados, pero en los contactos laterales con materiales más antiguos es frecuente encontrar bloques angulosos, especialmente calizas, como se observa en la unión entre los conglomerados de los mallos de Ligüerre y el pico calizo del Borón. Además, intercaladas en los niveles de gravas aparecen capas de areniscas y lutitas que tienen importancia en la evolución morfológica de estos afloramientos, al ser más erosionables que el conglomerado propiamente dicho.

Las cuevas en conglomerados son poco frecuentes comparadas con las existentes en calizas. Sin embargo, en la provincia de Huesca aparecen varias cavidades de interés en esta roca que, en función de la forma y el origen, pueden clasificarse en cinco tipos:

- *Grietas verticales*. Los conglomerados del borde pirenaico suelen presentar importantes fracturas subverticales. Por meteorización se ensanchan, produciendo monolitos aislados como Peña Sola, en Agüero. Pero en una fase intermedia pueden dar profundas y oscuras simas verticales, con salida al exterior y profusión de bloques empotrados, como es el caso de las grietas Culivilla en Riglos y Cendrilla en Panzano.
- *Abrigos horizontales*. Cavidades de poca profundidad y mayor anchura. Algunos han sido utilizados como recintos religiosos. Ejemplos serían San Juan de la Peña; la Virgen de la Peña, sobre Alastuey; San Cornelio y otras ermitas del zoque de la subida a Santa Orosia desde Yebra; San Cosme y San Damián, en Guara; San Martín de la Valdonsera, o San Román de Lierta.
- *Cuevas horizontales de mayor entidad*. En principio, se han desarrollado de las primeras por erosión preferencial de niveles de areniscas o lutitas estratificadas entre capas de conglomerado. Un ejemplo sería la cueva del puerto de Santa Orosia que se presenta en CUCHÍ y VILLARROEL (2006-2008). El techo puede ser inestable y

hundirse catastróficamente, como ha sucedido recientemente con la cueva de la Virgen de la Cueva en Peña Oroel.

- *Cuevas kársticas*. El conglomerado, aunque de naturaleza calcárea, no karstifica bien, dado que se comporta como prácticamente impermeable. Por ello tiene una pobre recarga y una baja función de almacenamiento (capacitiva). Su papel es básicamente transmisivo, como es el caso de las fracturas que alimentan la fuente del monasterio viejo de San Juan de la Peña o la del puerto de Santa Orosia. Sin embargo, en el borde de las sierras prepirenaicas hay una serie de sistemas kársticos bien desarrollados en calizas que desaguan mediante conductos a través del conglomerado, como es el caso de los Solencios de Bastarás, Santa Cilia y Morrano.
- *Cuevas de hundimiento en conglomerados*. Los techos de cuevas abiertas en materiales estratificados poco homogéneos evolucionan por hundimiento. Un caso típico en conglomerados era la boca de la cueva de Chaves, en cuya planta, que se presenta en CUCHÍ y cols. (2012), aparecen bloques de grandes dimensiones hoy eliminados por una brutal transformación. Si este proceso se intensifica, la cavidad asciende y se produce la colmatación por derrubios de la zona inferior. Este es el caso de la cueva de los Murciélagos de Vadiello.

Esta nota es un primer trabajo sobre la cueva denominada de los Murciélagos, situada en las cercanías de Vadiello. La cavidad debe su nombre a la presencia habitual de un elevado número de murciélagos, entre los que se han detectado individuos de seis especies diferentes. Sin embargo, su número actual parece haber disminuido. Esta cueva fue utilizada en el pasado como lugar de enterramiento. Restos humanos fueron señalados por miembros de Peña Guara en los años sesenta y setenta (Carlos Puyal, comunicación personal). CASTÁN (2000) indica la presencia de cerámica antigua. Restos humanos datados por C-14 han dado una fecha propia del Bronce medio (MONTES y cols., 2004).

LA ZONA DE ESTUDIO

La zona se enmarca en las Sierras Exteriores altoaragonesas, en la cuenca del río Guatizalema y las proximidades del embalse de Vadiello (figs. 1 y 2).



Fig. 1. Entorno y ubicación aproximada de la cueva de los Murciélagos (triángulo amarillo).



Fig. 2. Vista de la zona de la cueva desde el refugio de Peña Guara.

La cavidad se abre en un varellón muy vestido de vegetación en la orilla izquierda del río. Está situada, aproximadamente, frente al refugio de la sociedad Peña Guara. Se accede desde la HU-330 siguiendo una antigua pista petrolera que luego se transforma en senda.

El valle se abre entre conglomerados del Mioceno, con buzamiento norte al norte y calizas del Eoceno de vergencia sur hacia el sur. En el centro afloran calizas tableadas del Triásico medio verticalizadas. Por el este se cubren por más conglomerados. Estructuralmente, la zona es complicada, dado que en el valle se cartografían dos cabalgamientos que afectan al Triásico y a materiales posteriores (MILLÁN, 2006; MONTES, 2009). Las coordenadas en la boca son X: 724924, Y: 4679580, Huso 30T (ETRS89). Altura aproximada: 800 msnm.

DESCRIPCIÓN DE LA CAVIDAD

La boca se abre en una raya o estrato de conglomerado que buza al norte. Por ella se entra a un amplio vestíbulo de altura reducida, inferior en muchas zonas a 1,5 metros, que desciende en rampa, también hacia el norte. El techo presenta algunas alineaciones de modestas estalactitas controladas por fracturas (fig. 3). La pendiente, un cono de derrubios, conduce hacia un ápice formado por bloques de dimensiones métricas que bloquean el paso en profundidad, excepto una estrecha gatera. Superada esta, se continúa por una sala de mayores dimensiones también entre bloques de hundimiento.

Una alineación de mojones conduce hacia otra serie de gateras entre más bloques para llegar a la zona inferior mediante un rápel de unos 5 metros, por donde se accede a una última sala. Esta, también con abundantes bloques, conforma una rampa descendente que finaliza en un fondo de relleno. Esta zona muestra bloques caídos de arenisca y algunas acumulaciones secundarias de arcilla que parecen similares a las que presentan cavidades de la cuenca del Flumen (El Toro, Esteban Felipe).

La zona interior de la cavidad es caótica, de difícil cartografía, con abundancia de bloques inestables y un cierto riesgo. De hecho, ha desaparecido un bloque empotrado que se encontraba en la cabecera del rápel.



Fig. 3. Techo de la sala inicial, con alineaciones de estalactitas.

La sala inferior presenta unos pocos espeleotemas que crecen sobre bloques inestables y que le confieren cierta belleza (fig. 4). Tienen longitud métrica, reducido diámetro y elevada blancura, y entre ellos destacan un par de columnas. Todos parecen fósiles. Alguna bandera muestra una alineación compatible con las fracturas en la roca (fig. 5a). Lamentablemente, dos de los espeleotemas se han roto recientemente, ya que no lo estaban en diciembre de 2012 (fig. 5b). No es fácil saber la causa. Puede ser por la caída de bloques, natural o provocada, aunque la aparente presencia de pisadas sobre el bloque en el que se apoyan pudiera sugerir una acción vandálica.

La génesis de la cueva implica un claro proceso de hundimiento de los conglomerados y la arenisca sobre el techo de una cavidad preexistente. Esta pudiera haberse formado en las calizas próximas. Sin embargo, la presencia de materiales triásicos en facies Keuper, donde se han documentado niveles de halita pura en el Prepirineo (sondeos de Nueno), también podría sugerir un hundimiento por disolución de evaporitas. Sería interesante un



Fig. 4. Aspecto de la sala final de la cueva.



Fig. 5a. Banderas con control de fracturas.



Fig. 5b. Fracturas recientes de espeleotemas.

estudio prolongado en el tiempo para conocer si el proceso sigue activo. Por el momento, este parece el único ejemplo de cavidades de hundimiento en conglomerados en el Alto Aragón, aunque es posible que la Algareta, en Estadilla, tenga un origen similar.

CONCLUSIONES

La modesta cueva de los Murciélagos es el único ejemplo de cavidad de hundimiento en conglomerados en la provincia de Huesca. La cueva comienza a acusar el efecto de las visitas en su zona interior, por lo que merecería una adecuada protección.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda de Carlos Puyal, de Peña Guara, sobre los hallazgos de este club en la década de 1960, así como de Lourdes Montes y Rafael Domingo, del Departamento de Ciencias de la Antigüedad de la Universidad de Zaragoza. También agradecemos el permiso de acceso rodado concedido por el Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASTÁN, A. (2000). *Lugares mágicos del Alto Aragón*. Publicaciones y Ediciones del Alto Aragón. Huesca.
- CUCHÍ, J. A., y J. L. VILLARROEL (2008). Hidrogeología del puerto de Santa Orosia (Yebra de Basa, Huesca). *Lucas Mallada*, 13: 119-132.
- CUCHÍ, J. A., C. GARCÉS, J. L. VILLARROEL, R. LARMA y J. ANGULO (2012). Vincencio Juan de Lastanosa y Lorenzo Agüesca: protoespeleólogos del siglo XVII en el Alto Aragón. En J. J. Durán y P. A. Robledo (eds.), *Las cuevas turísticas como activos económicos: conservación e innovación*: 287-298. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas. Madrid.
- MILLÁN, H. (2006). *Estructura cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 53). Huesca. 398 pp., 5 mapas.
- MONTES, M. J. (2009). *Estratigrafía del Eoceno-Oligoceno de la cuenca de Jaca: sinclinorio del Guarga*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 59). Huesca. 355 pp., 1 mapa.

- MONTES, M. L., J. A. CUCHÍ, R. DOMINGO y M. MARTÍNEZ-BEA (2004). Prospecciones y sondeos en las Sierras Exteriores de Aragón. VI campaña, 2003. *Saldvie*, 4: 383-393.
- NICHOLS, G. J. (2004). Sedimentation and base level in an endorheic basin: the early Miocene of the Ebro Basin, Spain. *Boletín Geológico y Minero*, 115 (3): 427-438.
- NICHOLS, G. J., y J. P. P. HIRST (1998). Alluvial fans and fluvial distributary systems, Oligo-Miocene, northern Spain: contrasting processes and products. *Journal of Sedimentary Research*, 68: 879-889.

NOTA SOBRE VARIAS AVALANCHAS EN EL PICO LABATA (ANSÓ, HUESCA)

Fernando RIVERO¹

José María MARTÍNEZ MONTIEL²

Samuel BUISÁN³

José Antonio VADA³

José Luis VILLARROEL²

José Antonio CUCHÍ²

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se han realizado diversos trabajos sobre aludes en el Alto Aragón. En una primera época se llevaron a cabo informes con listados de avalanchas que afectaban a accesos a refugios de montaña o recorridos de esquí de travesía. Después hubo un primer intento de cartografía sistemática, en la línea de lo avanzado en Cataluña. Realizado por SÁEZ-ALAGÓN (1994), se inició en la zona más occidental de la provincia y ha sido parcialmente publicado en RÍOS (2001). Un trabajo más reciente, que abarca todo Aragón, permanece inédito. En otra línea, se han realizado dos síntesis a nivel provincial sobre los efectos de las avalanchas (LEO y

¹ Escuela de Montaña de la Guardia Civil. Avda. de Francia, 57. E-22700 JACA.

² Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio I+D+i. Universidad de Zaragoza. C/ Mariano Esquillor, s/n. E-50018 ZARAGOZA. josemari@unizar.es, jlvilla@unizar.es, cuchí@unizar.es

³ Agencia Estatal de Meteorología. Delegación Territorial en Aragón. Paseo del Canal, 17. E-50071 ZARAGOZA. sbuisan@aemet.es, jvadam@aemet.es

CUCHÍ, 2004; HURTADO y cols., 2011). Otros trabajos han versado sobre la ocurrencia de aludes en zonas singulares, como en la cara norte de la sierra de Guara (CUCHÍ y cols., 2008). Una última línea ha sido el estudio de aludes de grandes dimensiones. CUCHÍ y cols. (2008) documentan un alud en La Sarra (Sallent de Gállego) y HURTADO y cols. (2012) en Ixeia (Benasque). Es evidente, sin embargo, que queda mucho trabajo por hacer. Cada invierno se obtiene nueva información que es necesario procesar adecuadamente.

El invierno 2012-2103 resultó muy abundante en nieves, a diferencia de la temporada anterior, debido a una serie de borrascas acompañadas de vientos fuertes. El inicio del invierno fue relativamente seco, pero nevó mucho y con viento en enero y febrero. Esto llevó aparejada una serie de avalanchas con cortes en los accesos al balneario de Panticosa. Además, se detectaron aludes de aerosol en la cara norte del valle de Pineta. Continuó nevando en marzo y abril, y mayo fue un mes frío. Lamentablemente, se produjeron dos víctimas. Una niña de 7 años murió en las pistas de Formigal (25 de marzo de 2013). El 2 de junio falleció una mujer de 36 años practicando raquetas en el Posets, en la zona de Biadós. Quedó sepultada a más de 2 metros de profundidad y fue localizada mediante ARVA (Aparato



Fig. 1. Avalanchas en el pico Labata (Ansó). 23 de abril de 2013.

de Rescate de Víctimas de Avalanchas). Otras cuatro personas del mismo grupo fueron afectadas, de las cuales dos quedaron semienterradas.

Esta nota tiene como objetivo evaluar las características de varias avalanchas, con caída en fecha no determinada, que se detectaron el 23 de abril de 2013 en el pico Labata desde tierra, al ser visible desde la Route Nationale 134 en dirección a la frontera española (fig. 1). Al día siguiente, durante la realización de un vuelo con helicóptero, el primer autor del trabajo tomó la serie de imágenes que han servido de base para este estudio.

ZONA DE ESTUDIO

El pico Labata se encuentra entre el valle de los Sarrios y la cabecera del Gave de Aspe dentro del extenso término municipal de Ansó (fig. 2). Las coordenadas de su cima son Huso 30, X: 697591, Y: 4739485, Z: 2409 msnm (ETRS89). El pico presenta una característica cara norte triangular, con una pendiente aproximada de $0,83$ (40°) entre la cima y la cota 2250. La pendiente se suaviza en la base, y solo es de $0,37$ (20°) entre las cotas 2150 y 2100.

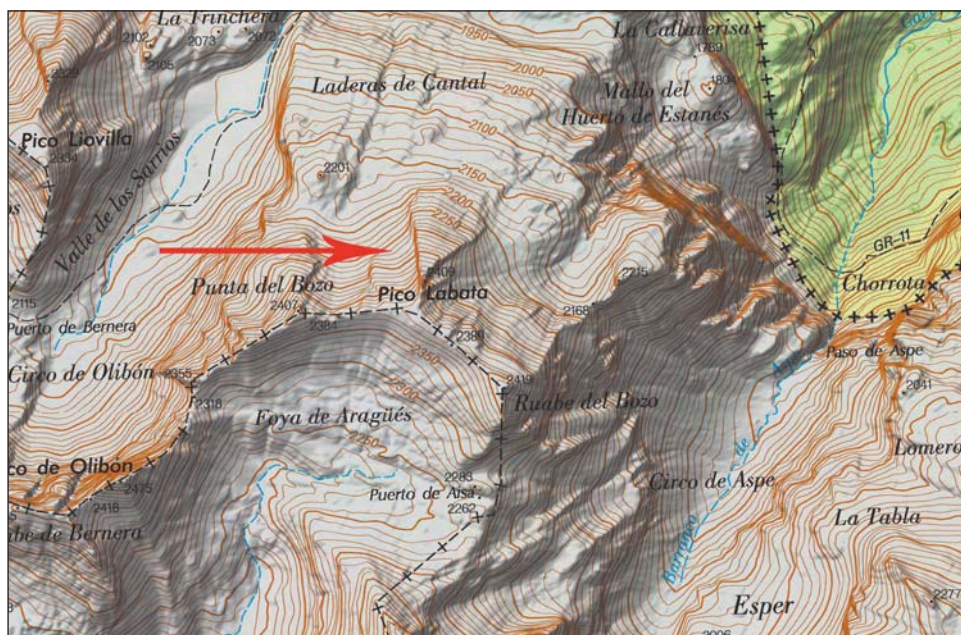


Fig. 2. Ubicación del pico Labata (Ansó). (IBERPIX, Instituto Geográfico Nacional).

Geológicamente, el pico está formado por calizas y margas del Cretácico superior, bastante karstificadas, con una morfología en cuesta similar a la que presentan otros picos de la zona, como la Zapatilla de Candanchú.

CLIMATOLOGÍA DEL INVIERNO 2012-2013

La temporada invernal 2012-2013 puede considerarse anómala desde un punto de vista climático. La temperatura media registrada fue inferior a la normal climática, mientras que las precipitaciones incluso superaron el doble del promedio climático durante los meses invernales en el Pirineo navarro y aragonés. Este comportamiento termopluviométrico se ha puesto en relación con la circulación atmosférica, caracterizada por una fase negativa de la North Atlantic Oscillation (NAO) por VADA y cols. (2013).

Como consecuencia, se registraron importantes precipitaciones sólidas que acumularon elevados espesores de nieve y que alcanzaron su máximo a mediados de febrero en todo el sector occidental del Pirineo, incluyendo el macizo nivológico de la Jacetania, al que pertenecen los aludes objeto de este estudio (fig. 3). Destacan también los espesores registrados en cotas

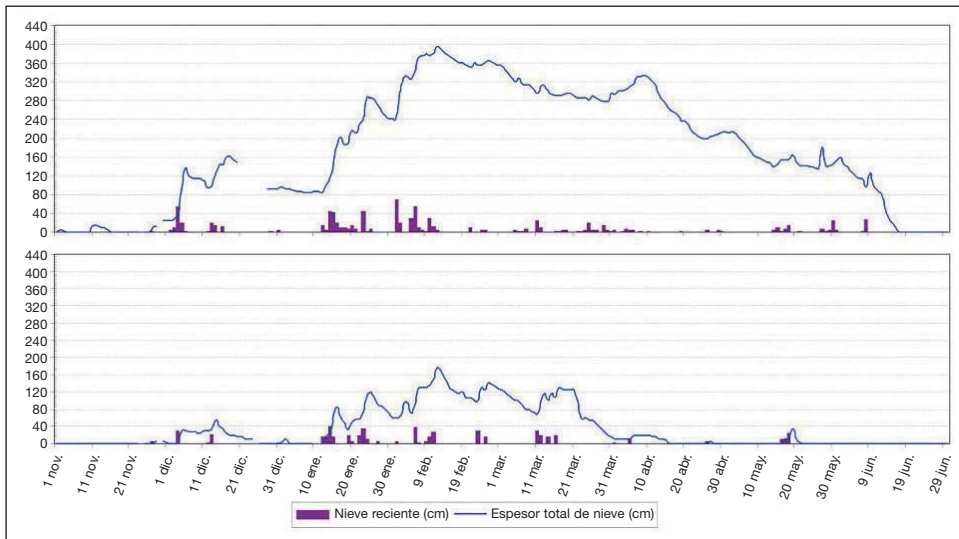


Fig. 3. Evolución del espesor total de nieve acumulado y nieve reciente en 24 horas durante la temporada invernal 2012-2013 en las estaciones de Respomuso (2200 m) (gráfico superior) y Lizara (1540 m) (gráfico inferior).

bajas (< 1500 m), donde habitualmente no está garantizada la permanencia continuada de nieve a lo largo de la temporada.

Entre los días 12 y 19 de abril, desde los refugios de montaña, se registró un episodio de aludes espontáneos, tanto en orientación norte como sur y con características similares a las del pico Labata: los días 12 y 17 en Respomuso (2200 m), el 16 en Ángel Orús (2150 m) y 12 y 16 en Góriz (2215 m).

Este dato, junto con la evidencia observada en las imágenes de otros aludes en la zona de la cabecera del Gave de Aspe, sugiere que el alud del pico Labata se encuadra en un episodio de aludes generalizado a escala regional. La causa final de los desencadenamientos fue la situación atmosférica de los días señalados. Esta vino marcada por la influencia de una cuña anticiclónica que dio lugar a un tiempo con predominio de cielos despejados o poco nubosos, los cuales provocaron una fuerte insolación, incluso en orientaciones norte, debido a la época del año, así como vientos de componente sur. En cuanto a las temperaturas, la tendencia general fue su marcado ascenso (fig. 4), tanto de las máximas como de las mínimas. Un

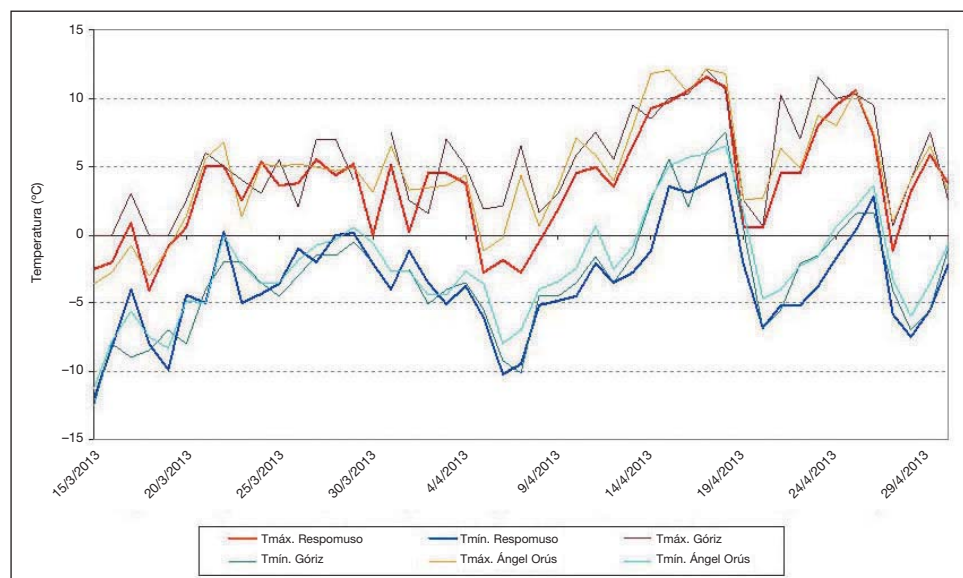


Fig. 4. Evolución temporal de las temperaturas registradas del 15 de marzo al 29 de abril de 2013 en estaciones nivometeorológicas en torno a los 2200 m de altitud. Con un trazo en color rojo se representa la estación de Respomuso (2200 m), la más próxima al área donde se produjo la avalancha estudiada.

dato que cabe destacar en este sentido son las temperaturas mínimas en Respomuso, positivas entre los días 15 y 18, que llegaron hasta +4,5 °C.

MUESTREO Y FOTOGAMETRÍA

Las fotografías aéreas se tomaron mediante una cámara Canon EOS 1 Ds Mark II, con un objetivo Canon 24-105, desde un helicóptero EURO-COPTER EC135 de la UHEL-41 de la Guardia Civil. Las imágenes, de las que la figura 1 es un buen ejemplo, muestran una serie de avalanchas organizadas en dos niveles: en la zona alta el despegue es reducido, en la inferior alcanza mayores dimensiones.

La medición de diversos parámetros de las avalanchas se ha realizado mediante fotogrametría digital, a partir de dos o más fotos digitales en las que se vea la misma avalancha. Es importante que las fotos se tomen con una base —distancia entre las cámaras— significativa. Como regla práctica, la distancia de la cámara a la avalancha tiene que ser, como máximo, 50 veces la de la base. Adicionalmente, se necesita que en las imágenes se incluya alguna distancia conocida, por ejemplo, la que hay entre vértices geodésicos. En el presente estudio esta se ha obtenido a partir de la información que ofrece el visor IBERPIX del Instituto Geográfico Nacional. La metodología se basa en las correspondencias obtenidas con la identificación en todas las imágenes de los puntos sobre los que se desea hacer mediciones. En este trabajo se ha empleado el *software* comercial Photomodeler.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 y el resto de imágenes muestran, como se ha señalado, la presencia de dos niveles de avalanchas: uno superior con un solo alud que queda amortiguado, con muy poco despegue, y en la zona inferior al menos otras tres avalanchas de fondo, que quizás se produjeron en un único episodio. En todos los casos son aludes de placa, frecuentes en el Pirineo durante la parte central del invierno e inicio de la primavera. De acuerdo con el European Avalanche Warning Services (http://www.avalanches.org/eaws/en/incluides/glossary/glossary_en_all.html), son avalanchas espontáneas de tamaño

tipo 4, de alta cota (> 2000 m) y que han arrastrado todo el manto nival en zonas de mucha pendiente.

Estos aludes no figuran en la cartografía realizada por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) y que ofrece SÁEZ-ALAGÓN (1994), que presenta dos zonas de peligro en los circos adyacentes orientados al norte (aludes 1A y 41 de la figura 5). Dada la dificultad en encontrar criterios morfológicos en la pared rocosa sin vegetación, no se pudo deducir la existencia de las avalanchas detectadas en 2013. Algunos testimonios indican que estos aludes se han visto a distancia en otros inviernos. Sin embargo, dada la lejanía a zonas de frecuentación humana, y al no suponer riesgo, hasta ahora no han sido tenidos en consideración.

Con las imágenes obtenidas, a partir de la fotointerpretación se midieron varias longitudes características (fig. 6). Los resultados se muestran en la

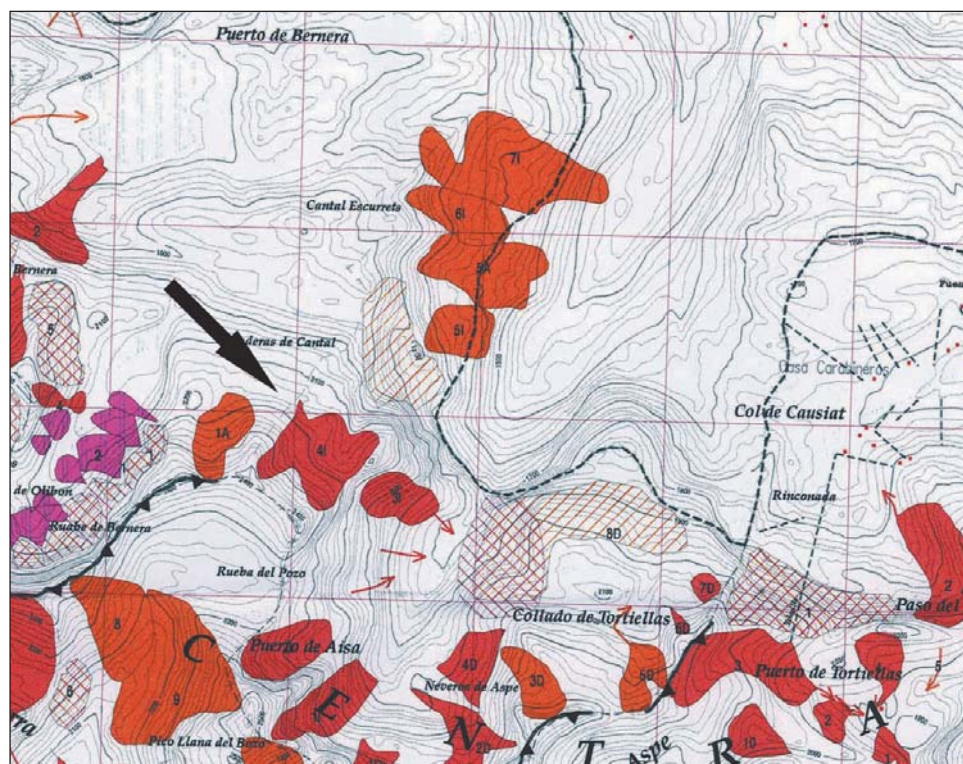


Fig. 5. Aludes vistos y fotointerpretados por SÁEZ-ALAGÓN (1994).

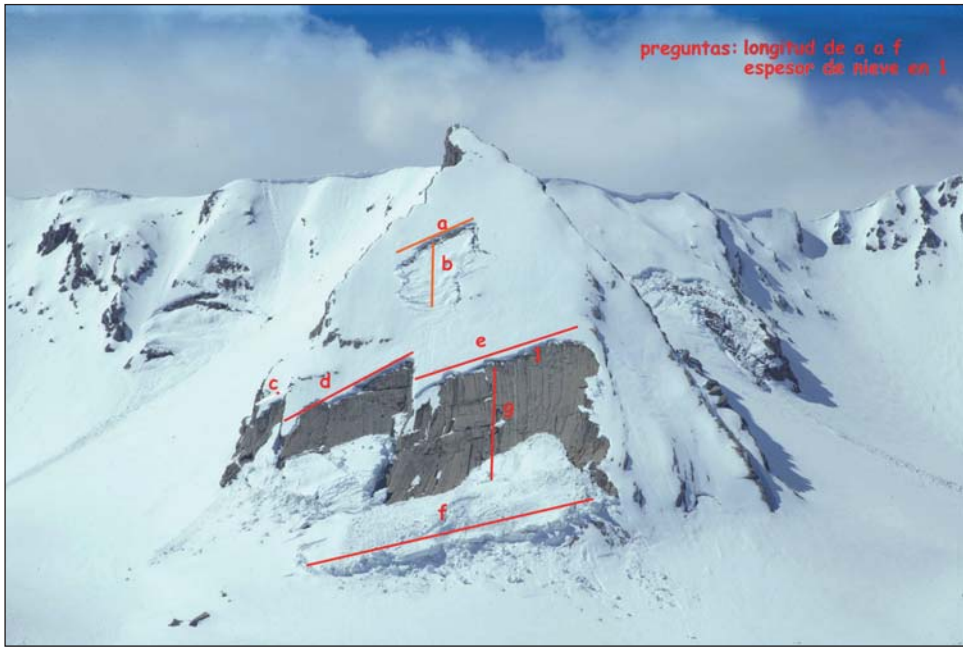


Fig. 6. Aludes en el pico Labata y dimensiones medidas.

tabla 1. No se puede dar información sobre la precisión de las medidas, que tienen que ser tomadas como valores aproximados. Una comparativa con datos del pico medidos en IBERPIX ofrece rangos similares. Los mayores errores pueden estar en el espesor de la nieve. A partir de los datos obtenidos, con las debidas salvedades, se han estimado los volúmenes de nieve implicados.

Los datos muestran la movilización de un volumen importante de nieve. Por ejemplo, para el alud definido por el segmento *eg* se estima un volumen de 25 000 m³. Extrapolando la estimación al conjunto de aludes de base, se alcanzarían los 50 000 m³ de nieve movilizada. Cabe destacar, sin embargo, que no se alcanzan los valores medidos en los aludes de La Sarra (70 000 m³) e Ixeia (96 000 m³), que hasta ahora son los de mayores dimensiones medidos en el Pirineo oscense.

Tabla 1. Dimensiones (en metros) de los aludes en el pico Labata.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>l</i>
74,3	81,0	22,9	98,3	117,6	193,6	126,9	1,7

No se puede evaluar la masa implicada dado que no se ha medido la densidad *in situ*. Datos de otros puntos durante este invierno han ofrecido densidades muy altas del manto nival, tipo nieve húmeda, del orden de 0,6 t/m³. Esto supondría para el mencionado alud *eg* una masa aproximada de 15 000 toneladas.

CONCLUSIONES

En esta nota se ha descrito la presencia de aludes en la cara norte del pico Labata, en el término municipal de Ansó, probablemente dentro de un episodio general de aludes del Pirineo durante la segunda mitad del mes de abril de 2013. Estos aludes no habían sido registrados hasta ese invierno: pasaron desapercibidos en un estudio fotogramétrico. Sus dimensiones en 2013 son relativamente moderadas y han sido obtenidas por fotointerpretación de un conjunto de fotografías aéreas tomadas *ad hoc*. El trabajo es un buen ejemplo de las posibilidades de estas técnicas fotogramétricas, que debieran ser parte de un protocolo que habría de activarse durante crisis de avalanchas, tanto para evaluar los daños producidos como para validar las cartografías realizadas con base teórica. Además, es un interesante ejemplo de cooperación interdisciplinar a interinstitucional.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la inestimable colaboración de la UHEL-41 de la Guardia Civil, sin cuyo auxilio no podrían haberse tomado las fotos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LEO, E., y J. A. CUCHÍ (2004). Los aludes en el Alto Aragón. *Lucas Mallada*, 11: 131-158.
- CUCHÍ, J. A., R. HURTADO, S. FÁBREGAS y C. POLO (2008). Avalanchas de la cara norte de la sierra de Guara: primera aproximación. *Lucas Mallada*, 13: 105-118.
- CUCHÍ, J. A., E. LEO, Ó. AGUARTA, S. FÁBREGAS, R. HURTADO, C. BETRÁN, F. ESPEJO y L. CANCER (2008). El alud del 23 de abril de 2008 en el barranco de Las Fajas, Sallent de Gállego (Huesca). *Lucas Mallada*, 13: 91-104.
- HURTADO, R., S. FÁBREGAS, F. ESPEJO, J. REVUELTO, E. LEO y J. A. CUCHÍ (2011). La temporada de aludes 2009-2010 en el Alto Aragón. *Montes*, 117: 21-24.

- HURTADO, R., S. FÁBREGAS, C. FERRER y J. A. CUCHÍ (2012). El alud de las Tucas de Ixeia (Benasque). 25 de febrero de 2010. *Montes*, 110: 14-19.
- RÍOS, S. (2001). *El medio físico y su peligrosidad en un sector del Pirineo central*. Instituto Geológico y Minero de España (Serie Medio Ambiente, 1/2001). Madrid.
- SÁEZ-ALAGÓN, M.^a T. (1994). *Estudio del medio físico y de sus riesgos naturales en un sector del Pirineo central*, tomo 7: *Peligrosidad de aludes*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 93 pp., 6 mapas.
- VADA, J. A., J. RODRÍGUEZ-MARCOS, S. BUISÁN e I. SAN AMBROSIO (2013). Climatological comparison of 2011-2012 and 2012-2013 snow seasons in Central and Western Spanish Pyrenees and its relationship with the North Atlantic Oscillation (NAO). En *Proceedings of the International Snow Science Workshop*: 1437-1444. Grenoble / Chamonix Mont-Blanc.

NORMAS DE PUBLICACIÓN

Lucas Mallada publica artículos y notas de investigación inéditos encuadrados en las distintas ramas de la ciencia, de acuerdo con las siguientes normas:

1. Los trabajos se enviarán en soporte digital a la redacción de la revista (IEA. Parque, 10. E-22002 Huesca. Teléfono: 974 294 120. Fax: 974 294 122. Correo electrónico: lucasmallada@iea.es), incluyendo una versión en Word (existe una plantilla a disposición de los autores) y una versión completa (con ilustraciones y tablas, si las hubiera) en PDF. Por el momento no se aceptan originales en LaTeX.
2. No podrán sobrepasar las 20 páginas. Excepcionalmente, a juicio del consejo de redacción, se podrán aceptar textos de mayor longitud.
3. Los artículos constarán, en principio, de los apartados que a continuación se describen. En todo caso, siempre que el trabajo lo requiera, esta estructura podrá modificarse del modo que resulte más conveniente.

Título. El título será conciso pero suficientemente indicador de su cometido.

Nombre del autor o autores, con su dirección postal y correo electrónico.

Resumen en castellano, y su correspondiente *abstract* en inglés, que no supere las doce líneas y que recoja lo esencial del trabajo.

Palabras clave en inglés, que orienten sobre el contenido del trabajo en orden de importancia, dejando en último lugar el área geográfica.

Introducción. Se ofrecerá en la introducción una idea de los antecedentes históricos del tema, así como del interés y la finalidad del trabajo.

Material y métodos. Incluirá la información pertinente de las especies estudiadas, aparatos utilizados, métodos de estudio y de análisis de los datos, y zona de estudio.

Resultados. En esta sección se presentarán únicamente los datos obtenidos (inéditos).

Discusión. Se discutirán los resultados y su comparación con trabajos relacionados: las sugerencias de investigaciones futuras podrán aportarse al final de este apartado.

Conclusiones (optativo). Cuando las haya, deberán presentarse en forma de afirmaciones concretas y ordenadas.

Referencias bibliográficas. Cada trabajo deberá ir acompañado de las referencias bibliográficas correspondientes a las publicaciones citadas en el texto. Las referencias seguirán los modelos siguientes, según se trate de libros, de artículos de revista o de trabajos incluidos en una publicación colectiva:

KLIMCHOUK, A. B., D. C. FORD, A. N. PALMER y W. DREYBODT (eds.) (2000). *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society. Huntsville (Alabama). 527 pp.

WHITE, W. B. (2007). Cave sediments and paleoclimate. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69(1): 76-93.

PEÑA, J. L. (1995). Los Pirineos. En M. Gutiérrez (coord.), *Geomorfología de España*: 159-225. Rueda. Madrid.

4. El texto podrá redactarse en cualquiera de las lenguas en uso en la comunidad autónoma de Aragón, en francés o en inglés.

Los caracteres en cursiva se utilizarán para los nombres científicos de géneros y de especies (entre paréntesis si siguen al nombre común) y para los neologismos intraducibles; las citas textuales, independientemente de la lengua, figurarán en letra redonda y entre comillas, y los nombres de autor que sigan a un taxón irán en redonda.

Los topónimos se escribirán en su forma original o bien en la lengua en que esté escrito el trabajo, siguiendo siempre el mismo criterio.

No se admitirán notas a pie de página.

5. Si hubiera tablas o ilustraciones (gráficos, mapas, esquemas, figuras o fotografías), el autor las ubicará en el sitio aproximado donde desee que figuren. Además del archivo completo del trabajo, las ilustraciones se enviarán en archivo específico aparte (formato tiff, jpg...) para garantizar la máxima calidad en su reproducción.

Las ilustraciones se designarán con el nombre de *figura* y se numerarán 1, 2, 3...

Las *tablas* se numerarán I, II, III... Todas ellas deberán estar reseñadas en el texto.

Los pies de tablas y figuras serán claros y concisos. En el caso de que la figura presente una leyenda, esta se incluirá preferentemente en el pie.

6. La selección y aprobación de los trabajos es competencia del consejo de redacción de la revista. Todos los trabajos serán revisados previamente por un mínimo de dos expertos. Dichos *referees* serán seleccionados entre científicos del ámbito del CSIC, de la Universidad o de otras instituciones, o entre personas de reconocida valía en el tema de que se trate. Cuando el resultado de dicha revisión lo exija, el original con las pertinentes anotaciones será devuelto al autor, que deberá tenerlas en consideración.

7. El texto publicado será el resultante de la corrección de pruebas por el autor —sin añadidos que modifiquen la maquetación—, o ese mismo borrador si no se contesta en el plazo fijado.

CONTENIDOS DEL NÚMERO 15 (2013)

PRESENTACIÓN

Sobre el interés de publicar en *Lucas Mallada*, por José Antonio CUCHÍ

IN MEMORIAM

Notas biográficas sobre Carlos Albasini Martínez, por Gonzalo ALBASINI

José María Palacín Latorre, químico, farmacéutico y etnobotánico oscense, *in memoriam*, por Luis VILLAR

ARTÍCULOS

Variedades de olivo cultivadas en la provincia de Huesca, por José CASANOVA, José Manuel GONZÁLEZ y Javier VIÑUALES

El oso pardo en el Pirineo: situación y perspectivas de conservación, por Gerardo CAUSSIMONT GARCÍA DE LA PEÑA

Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (GIS) a la estimación de la erosión en la cuenca del embalse de Arguis (Huesca), por Pedro Ignacio CRUCHAGA

El edificio tobáceo de Isarre (Santolaria la Mayor, Huesca), por José Antonio CUCHÍ, José Luis VILLARROEL, Rafael DOMINGO, Lourdes MONTES y Carlota OLIVÁN

Los Ayerbe: tres ingenieros de Montes altoaragoneses y su aportación a la hidrología forestal española, por Jesús PEMÁN e Ignacio PÉREZ-SOBA

Efectos del barranquismo sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Formiga (sierra de Guara, Huesca), por Jorge SIERRA y Rocío LÓPEZ-FLORES

La cavidad conocida como *Sotarraña*, en Betorz (Huesca), por José Luis VILLARROEL y José Antonio CUCHÍ

NOTAS

Nota sobre la cavidad de los Murciélagos (Vadiello, Huesca), por José Antonio CUCHÍ, José Antonio RAUSA y José Luis VILLARROEL

Nota sobre varias avalanchas en el pico Labata (Ansó, Huesca), por Fernando RIVERO, José María MARTÍNEZ MONTIEL, Samuel BUISÁN, José Antonio VADA, José Luis VILLARROEL y José Antonio CUCHÍ

