



LUCAS MALLADA

18

REVISTA DE CIENCIAS

**LUCAS
MALLADA**

LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

18

HUESCA, 2016



**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, Penélope GONZÁLEZ SAMPÉRIZ, Luis Ángel INDA ARAMENDÍA, Jesús INSAUSTI LÓPEZ, Juan Manuel LANTERO NAVARRO, Emilio LEO FERRANDO, Rocío LÓPEZ FLORES, José M.^a MAÑAS PASCUAL, Clara MARTÍ DALMAU, Pablo MARTÍN-RAMOS, Jesús MONREAL PUEYO, Luis Enrique MONTANO GELLA, Antonio NAVAL MAS, José María NICOLÁU IBARRA, César PEDROCCHI RENAULT, M.^a Luisa PELEATO SÁNCHEZ, Ernesto PÉREZ-COLLAZOS, 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 (revista impresa)

e-ISSN: 2445-060X (revista digital en acceso abierto:

<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>)

Depósito legal: HU-76/2014

Imprime: Harmony Veyron, S. L.

ÍNDICE

PREFACIO

¿Para qué estudiar el suelo?: una visión centrada en el Alto Aragón, por David BADÍA	9
---	---

ARTÍCULOS

La fuente del Milagro, en la cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes (Sariñena, Huesca), por José Antonio RAUSA, José Luis VILLARROEL y José Antonio CUCHÍ	31
Incidencia de atropellos de mamíferos silvestres no cinegéticos en la red viaria de la Comunidad Autónoma de Aragón (2012-2014), por David VIDAL-VALLÉS y Ernesto PÉREZ-COLLAZOS	47
Aplicación de un sistema de información geográfica en el análisis de los patrones de vegetación en función de condiciones ecológicas de distribución en laderas experimentales, por Antonio GALLEGOS y Jesús DELGADO	67
Canteras antiguas de arenisca del entorno de la ciudad de Huesca, por José Antonio CUCHÍ y Pilar LAPUENTE	85
Nota sobre la acequia de los Moros de Nueno, por José Antonio CUCHÍ y José Luis VILLARROEL	129
Interacción agua de lluvia – roca en calizas del valle del alto Isuela (Huesca), por Rodrigo ELPUENTE, José Antonio CUCHÍ, José Luis VILLARROEL y José Antonio MANSO	147
Manejo de residuos en Sabiñánigo (Huesca) y sus efectos en el río Gállego en el período final de 2014, por Beatriz LACRUZ, José Antonio CUCHÍ y Jesús FERNÁNDEZ-CASCÁN	179
Un barranco humanizado: los huertos de Mascún, por Enrique SALAMERO	193

El lindano en el río Gállego: simulación hidrodinámica de su evolución a lo largo del cauce, por César GONZÁLEZ y José Antonio CUCHÍ	227
Estudio petrológico de la imagen de la Virgen de las Nieves de San Pedro el Viejo (Huesca), por María Antonia BUISÁN, Pilar LAPUENTE y José Antonio CUCHÍ	247
Caracterización de la abeja melífera en la provincia de Huesca, por Jesús YÁÑIZ, Ernesto ÁNGEL, Pablo MARTÍN-RAMOS, Ester SALES y Pilar SANTOLARIA	257
Vías pecuarias y recursos pascícolas en rutas trashumantes de ovino de la provincia de Huesca, por Roberto BETRÁN, Olívia BARRANTES y Ramón REINÉ	273
Evaluación de los efectos de la restauración hidrológico-forestal en la atenuación de los riesgos naturales en las cuencas de montaña: aplicación en el Pirineo aragonés, por Juan Ángel MINTEGUI, Santiago FÁBREGAS, José Carlos ROBREDO y Pablo HUELIN	311
Etnoveterinaria en el valle de Tena y en Tierra de Biescas, por Lucía LÓPEZ y Concepción OBÓN	379
Nota sobre algunas características químicas del agua de lluvia y de la nieve en Huesca, por José Antonio MANSO, Joaquín LANUZA, Gonzalo GONZALO, José María GARCÉS, Ángel JIMÉNEZ, Tomás SALINAS, Esther LÓPEZ, Jaime ARRANZ, José Luis VILLARROEL y José Antonio CUCHÍ	407

RECENSIÓN

Recensión del libro <i>Estudio del manto de nieve y defensa en la montaña ante el peligro de aludes</i> , de Juan Ángel Mintegui Aguirre, José Carlos Robredo Sánchez y Pablo Huelin Rueda, por Ángel GARI	427
--	-----

PREFACIO

¿PARA QUÉ ESTUDIAR EL SUELO?: UNA VISIÓN CENTRADA EN EL ALTO ARAGÓN

Suelo, tierra o terreno son nombres con los que describimos la delgada, extraordinaria y delicada capa que se encuentra entre las rocas y la atmósfera. Delgada, porque supone unos pocos centímetros bajo nuestros pies, muy poco en comparación con el grueso de la corteza terrestre; extraordinaria, porque es fundamental para la vida en el planeta, y sin embargo delicada, porque un mal uso puede provocar su pérdida irreversible (BADÍA y cols., 2009). Estos aspectos fueron recogidos por las Naciones Unidas, en diciembre de 2013, en el marco de su LXVIII Asamblea General, que declara que “los suelos constituyen la base para el desarrollo de la agricultura, de funciones esenciales de los ecosistemas y para la seguridad alimentaria y, por tanto, son claves para la vida en la Tierra”.

Al descubrir las funciones o servicios ecosistémicos que nos proporcionan los suelos, nos daremos cuenta de la trascendencia que tiene estudiarlos (tabla 1).

FUNCIONES DEL SUELO

El suelo nos proporciona alimentos, biomasa y materias primas al sustentar la producción primaria en los ecosistemas terrestres

A través de la actividad agraria y silvícola, obtenemos del suelo alimentos para el hombre y el ganado (tubérculos, bulbos, hojas, frutos, semillas...), fibras con las que elaborar tejidos (directamente, como el algodón

Tabla 1. Funciones del suelo (<http://ec.europa.eu/environment/soil>)

	<i>Funciones del suelo</i>
Producción de biomasa	Producción de alimentos, fibra, biodiésel, madera.
Interacción ambiental	Almacena, filtra y transforma nutrientes, sustancias y agua. Por ejemplo, almacena el carbono, el agua y los nutrientes disponibles para las plantas, biodegrada o retiene contaminantes, etcétera.
Hábitat biológico y reserva genética	Contiene una amplia diversidad de organismos que participan en los ciclos de nutrientes, y que contribuyen a la estabilidad estructural, y a contrarrestar los efectos de patógenos y contaminantes químicos, etcétera.
Soporte físico	Sirve de base para el desarrollo urbano y otras actividades humanas incluidas las lúdicas.
Fuente de materiales y sustancias	Contiene la arena, la grava, el caliche o el mallacán, y otros materiales usados por el hombre.
Archivo patrimonial y cultural	Conserva los restos arqueológicos que sirven para evaluar los modelos de asentamiento humano. Engloba rasgos que evidencian cambios en el paisaje, en el uso del territorio o el clima.

y el lino, o indirectamente, como la lana y las pieles), la madera que usamos en la construcción o en la fabricación de papel e incluso los biocombustibles. Un buen uso del suelo permite mantener una vegetación natural o producir cultivos año tras año sin afectar a la calidad del propio suelo y del agua que, tras drenar, va a parar a los ríos o a los embalses. En este sentido, la correcta aplicación de los fertilizantes, acorde con la demanda del cultivo, así como la utilización de fitosanitarios modernos, capaces de degradarse rápidamente, es fundamental. Actualmente, los agricultores y los ganaderos tienen que producir mucho más que alimentos sanos: deben mantener un uso adecuado del territorio agrario para que el aire, las aguas y los suelos se mantengan limpios y el entorno rural adquiera un valor añadido. Esto tiene especial trascendencia en el Alto Aragón que trata de vender la “magia” de un paisaje rural bien conservado, con suelos sanos que produzcan alimentos de calidad (fig. 1).



Fig. 1. Viñedo en la Denominación de Origen Somontano, que ofrece vinos con multitud de matices y una intensa personalidad, herencia del suelo sobre el que crecen.

El suelo y el cambio climático

Se estima que en el planeta, el suelo almacena $25 \cdot 10^9$ toneladas de carbono (C), elemento que forma parte del CO_2 , uno de los gases responsables del cambio climático. Se trata del triple del que puede haber en la atmósfera y el cuádruple del de toda la vegetación del planeta. El C llega al suelo fundamentalmente por la descomposición de plantas y animales. Si bien, a través del citado proceso de mineralización, una parte se libera a la atmósfera en forma de CO_2 (respiración del suelo), otra queda secuestrada en forma de materia orgánica, mitigando así el efecto invernadero. El carbono orgánico y la respiración del suelo, parámetros considerados como buenos indicadores de la salud del suelo y de su productividad, suelen mostrar una buena relación (fig. 2).

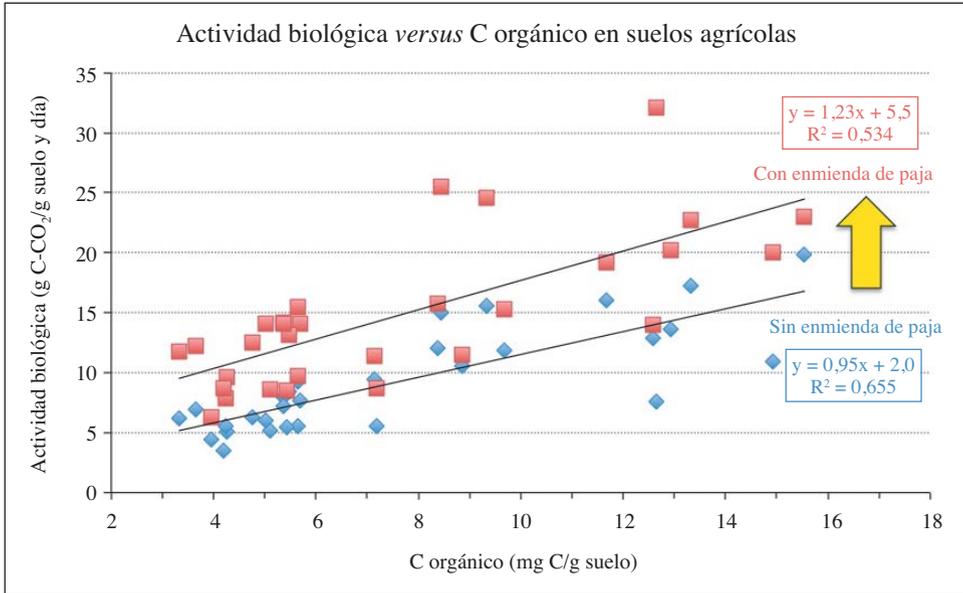


Fig. 2. Relación de la respiración del suelo con el C orgánico en suelos agrícolas calizos (no salinos) del Bajo Cinca (BADÍA, 1995).

Acciones como el laboreo excesivo de los suelos agrícolas, no enterrar los residuos de cosecha o aportar estiércol de calidad, etcétera, pueden acentuar el efecto invernadero. La roturación de suelos forestales o los incendios también pueden acelerar la pérdida del C edáfico a la atmósfera. A la vez esas acciones conducen al deterioro de un conjunto de propiedades relacionadas con la materia orgánica del suelo, como son la estabilidad estructural, la retención de agua, la capacidad de intercambio de nutrientes o la actividad biológica del suelo.

El suelo almacena y filtra el agua mejorando la resiliencia del ecosistema frente a lluvias intensas y sequías

El suelo sano contribuye al buen funcionamiento de la cadena alimentaria y también del ciclo del agua. Las propiedades del suelo físicas (porosidad, permeabilidad), químicas (adsorción, reacción) y biológicas (metabolismo) le permiten jugar un papel clave en el filtrado del agua, en la recarga de acuíferos y en la regulación del régimen hídrico de ríos y barrancos. Los

suelos almacenan agua (1 metro cúbico de suelo puede almacenar hasta 200 litros), actuando como una esponja capaz de absorber el agua tras la lluvia o el riego y cederla a la planta a lo largo de los siguientes días y semanas. La falta de suelo y de cubierta vegetal en un área determinada (fig. 3) incrementan el agua de escorrentía, su pico de flujo y su capacidad erosiva. Los suelos actúan también como una modesta depuradora biológica de forma que cuando un vertido se aporta al suelo pueden degradarlo o inmovilizarlo. Cuando un compost, lodos de depuradora, purines u otros residuos orgánicos (de origen urbano, industrial o ganadero) son aplicados al suelo para tratar de aprovechar su contenido orgánico y mineral, deben tenerse en cuenta las características del suelo y su localización en el territorio (proximidad a zonas vulnerables como ríos, ciudades...). Puesto que esta capacidad depuradora es limitada y variable con el tipo de suelo, un intenso aporte de vertidos puede suponer la contaminación del agua y la producción de



Fig. 3. En el Alto Aragón, las margas gris azuladas del Eoceno son altamente erosionables, lo que dificulta la formación del suelo (Pueyo de Araguás).

alimentos de baja calidad. Por ejemplo, no resulta lógico aplicar purines a un suelo muy permeable o con un nivel freático superficial, ya que contaminarán el agua. Además, un aporte sucesivo de purín provoca el acúmulo de metales pesados como cobre y zinc (PRATS, 1995).

El suelo es vida

El suelo desempeña un papel central como hábitat y reservorio del patrimonio genético al albergar la cuarta parte de la biodiversidad del planeta Tierra. ¡Se considera que hay más microorganismos en una cucharadita de suelo sano que habitantes hay en el planeta! Si la hojarasca que cae sobre el suelo forestal o los residuos orgánicos que son aportados al suelo agrícola como enmiendas no se descompusieran (mineralización) y transformaran (humificación), no se reciclarían sus nutrientes ni se formaría humus. Los organismos del suelo son, por tanto, imprescindibles en la descomposición de la materia orgánica y el reciclado de nutrientes (ciclos biogeoquímicos), así como en el control del crecimiento vegetal, el mantenimiento de la estructura del suelo, la regulación de los procesos hidrológicos, o la desintoxicación del suelo, por poner algunos ejemplos. Estas funciones son responsabilidad de una diversidad biológica, microscópica y macroscópica, aún poco conocida. Así, por ejemplo, solo somos capaces de ponerles nombre a un 5% de las bacterias y los hongos edáficos, los microorganismos más numerosos del suelo. Entre ellos *Streptomyces coelicolor*, la bacteria que sintetiza *geosmima* (palabra de origen griego que significa ‘aroma de la tierra’), responsable del olor que percibimos tras unas primeras gotas de lluvia. Entre la fauna más conocida destacan las lombrices, a las que Charles Darwin dedicó muchos años de experimentación y sobre las que escribió, unos pocos meses antes de su muerte en 1881, *La formación del manto vegetal por la acción de las lombrices, con la observación de sus hábitos*. Esta obra contribuyó a que las lombrices dejaran de considerarse una plaga y se empezara a valorar su papel en la fertilidad del suelo.

El suelo da soporte a las infraestructuras

Tanto a las infraestructuras urbanas, industriales y vías de comunicación, e incluso extraemos de él materiales para la construcción o para nuestras

actividades artesanales (adobe, mallacán, alabastro, sílex...). El suelo también es un componente utilizado en la clausura y sellado de vertederos, en las graveras, en la restauración de taludes y plataformas de la minería a cielo abierto, de las carreteras, del AVE, etcétera. Cualquier restauración requiere disponer de cierta cantidad de suelo. El nuevo suelo, cuyas propiedades derivan de su origen técnico, es lo que se denomina *tecnosol*, comúnmente suelos urbanos o de minas (que pueden incluir o superponerse a escombros de la construcción, estériles de minería, geotextiles...). La opción más recomendable pasa por retirar o decapar los horizontes más superficiales del suelo (tierra vegetal) antes de iniciar la explotación. Esta tierra vegetal puede aportarse en los taludes ya perfilados, sobre los estériles o materiales no edafizados, lo que facilitará la revegetación del terreno.

Si un suelo carece de cubierta vegetal, la lluvia impactará directamente sobre él facilitando la fragmentación de los agregados, la dispersión y el arrastre de sus partículas individualizadas, que serán arrastradas por el agua de escorrentía. Una medida alternativa para la protección del suelo puede pasar por acolchar el suelo, por ejemplo, con mantas o mallas orgánicas (fig. 4).



Fig. 4. La reforestación y la hidrosiembra sobre la tierra vegetal confieren estabilidad a este talud del AVE en el término municipal de Ballobar.

Además, en el suelo se encuentra el patrimonio arqueológico que sirve para la reconstrucción de la historia de la humanidad. También la interpretación de los procesos edáficos nos permite deducir climas pasados (paleosuelos), por lo que se constituye en un “libro” de historia cultural y del paisaje que debemos saber leer (SEBASTIÁN y cols., 2015).

¿POR QUÉ NO CONOCEMOS EL SUELO QUE PISAMOS?

A pesar de que el suelo es un recurso natural fundamental para el mantenimiento de la vida en la Tierra y la seguridad alimentaria de la población, el conocimiento de que disponemos sobre el suelo es muy limitado. Se atribuye a Leonardo da Vinci la frase “Sabemos más sobre el movimiento de los cuerpos celestes que del suelo que pisamos”.

Este desconocimiento nos lleva a que, según la FAO, un tercio del suelo mundial esté de moderada a altamente degradado. Las causas de la degradación son variadas: la erosión, la salinización, la compactación, la acidificación, la contaminación química y el agotamiento de los nutrientes, procesos en los que generalmente interviene la actividad antrópica. Por otro lado, en la Tierra existen zonas ecológicamente diferentes, de ahí que se formen suelos con propiedades, componentes y capacidades de uso distintas. En el Alto Aragón tenemos la suerte de contar con un gradiente ecológico capaz de generar una gran variedad de suelos (que podemos ver en el anexo final).

Conocer los suelos, sus propiedades y su distribución detallada en el espacio (cartografía de suelos) permitiría asesorar al agricultor respecto a la fertilización, el riego, la predicción de las cosechas, la optimización de los modelos hidrológicos, los modelos de erosión, de contaminación, etcétera. También, en los planes de ordenación territorial, el gestor podría usar esa información para que los suelos más productivos fuesen no urbanizables, evitando el sellado de los suelos de mejor calidad, que es otra forma de “perder” el recurso suelo. Así se contempla en Navarra, donde los mejores suelos agrícolas (suelos de las Clases Agrológicas I y II de los *Mapas de clases agrológicas* del Gobierno de Navarra) son protegidos frente a usos urbanos para preservar su productividad. Y es que solo se puede proteger el suelo si este recurso natural no renovable a escala humana es conocido y valorado por sus usuarios. Para ello se requiere de una investigación selectiva de

los suelos y disponer de sistemas de información sobre los suelos que faciliten su gestión sostenible. Existe en España una cierta cantidad de información histórica sobre cartografía de suelos que apenas es usada, por ser de difícil acceso o de difícil interpretación por los usuarios. Suele tratarse de mapas básicos, basados en una taxonomía de suelos, de los que no se derivaron mapas temáticos que facilitaran la interpretación a los usuarios. En algunos casos, los trabajos resultantes, aun siendo financiados por organismos públicos, han quedado para uso interno, a la espera de su publicación. La recopilación de esa información (memorias, mapas, perfiles con datos analíticos) en un repositorio y su georreferenciación (lo que plantea el Programa INFORCAS de la SECS y FAO-España) sería fundamental para preservar la información existente, darle valor y accesibilidad.

La cartografía disponible actualmente en España, al no existir un organismo que proyectara y ejecutara la cartografía detallada de todo el territorio, es parcial y de heterogénea escala. Así, disponen de cartografía edáfica a escala 1 : 100 000 en gran parte de Andalucía, Murcia y Valencia (Proyecto Lucdeme); a 1 : 50 000 en Navarra y Madrid y a 1 : 25 000 en parte del País Vasco (alrededor de un 60% de su territorio está cartografiado), de Asturias (45%), Navarra (35%) y Cataluña (25%). Mientras, en Aragón la cartografía de suelos publicada es una mera anécdota; los estudios existentes obedecen al interés particular de investigadores y docentes de centros de investigación y universidades y no a un trabajo sistemático, planificado por la Administración central o autonómica. A modo de ejemplo, el Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón publicó el *Mapa de suelos (1 : 25 000) de Barbués* (NOGUÉS, 2002) y el IEA, *Los suelos en Fraga: cartografía y evaluación, 1 : 100 000* (BADÍA, 1989).

El desconocimiento sobre los suelos puede atribuirse al alto coste económico si hablamos de obtener cartografías muy detalladas, pero la falta de un conocimiento básico es de orden cultural. Para tener una cierta idea del suelo que pisamos basta con hacer un buen agujero (calicata) y describir qué vemos: colores, manchas, porosidad, etcétera, tal y como hacemos para describir las hojas, las flores o los frutos de una planta. Al menos una aproximación visual, morfológica o naturalista del suelo debería practicarse y enseñarse (fig. 5). Pero en muchos casos la única relación del hombre con el suelo se establece mediante su superficie o, como mucho, mediante el



Fig. 5. El estudio de un perfil de suelo requiere de la apertura de una calicata para su observación, descripción y muestreo. Edafólogos en Adahuesca (XXVII Reunión Nacional de Suelos de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 2009).

análisis químico de muestras tomadas con barrenas. ¡Es como estudiar el cuerpo humano observando solamente su superficie o apenas pinchando con una jeringuilla! Como decía Santiago Ramón y Cajal (Premio Nobel en 1906): “Mucho aprenderemos en los libros, pero más aprenderemos en la contemplación de la Naturaleza, causa y ocasión de todos los libros”.

El concepto *suelo* es el gran ignorado en los contenidos curriculares, por lo que no es de extrañar que la mayor parte de la sociedad desconozca el papel que juega el suelo en su bienestar. Así lo demuestra el informe elaborado por la SECS con motivo del Año Internacional de los Suelos 2015 (<http://www.secs.com.es/actividades/>) titulado *Tratamiento de la entrada “suelo” en los libros de texto de Enseñanza Secundaria Obligatoria y de Bachillerato en España*. Se muestra como el término *suelo*, tan solo

aparece en un 0,57% de las páginas de los libros de texto de los cuatro cursos de la enseñanza secundaria obligatoria (ESO), por lo que puede afirmarse que prácticamente no es objeto de estudio en esta etapa de la educación en España.

En bachillerato, el suelo tiene cierta presencia en la asignatura de Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente, en segundo curso de bachillerato, si bien suele relacionarse con la alteración de las rocas y se obvia la estrecha relación del suelo con los organismos vivos y el papel que estos desempeñan en los ciclos biogeoquímicos, la producción vegetal y la ecología terrestre. Unos años atrás (BADÍA y MARTÍ, 1999), ya exponíamos la necesidad de incluir el concepto *suelo* en asignaturas relacionadas con las Ciencias Experimentales y Tecnología, tanto de la ESO como de bachillerato. De forma práctica y sencilla hemos propuesto “Experimentos didácticos con el suelo para la educación preuniversitaria” (<http://www.secs.com.es/actividades>). Y es que el suelo, por su composición y propiedades, ofrece la posibilidad de estudiarlo de forma pluridisciplinar, ya que en él se dan procesos físicos, químicos y biológicos (PORTA y cols., 2003).

Por otro lado, en la Universidad, incluso en aquellos grados con una fuerte orientación hacia la docencia, como la Biología y la Geología, o en aquellos que tienen que ver con la producción agraria, como la Ingeniería Agroalimentaria, la Edafología es una asignatura marginal. Por ello, los futuros profesores salen con un déficit de formación en esta materia, difícil de abordar de forma autodidacta. Tratando de concienciar a los ciudadanos del valor que tiene el suelo para producir alimentos sanos, agua de calidad y en la mitigación del cambio climático, y ser conscientes de que se trata de un recurso natural limitado y no renovable a escala humana, desde la Escuela Politécnica Superior de Huesca (EPSH) hemos venido elaborando material didáctico a diferentes niveles (fig. 6). Así, EDAFOS es un programa interactivo, multiplataforma, con ejemplos locales, útil para usarse de forma dirigida o como método de autoaprendizaje de los conceptos más básicos sobre la ciencia del suelo (<http://www.cienciadelsuelo.es/index1.html>); mientras el programa iARASOL recoge información de múltiples perfiles de suelos de Aragón, con su descripción morfológica y analítica (<http://www.suelosdearagon.com/>). Estos suelos se disponen en la Edafoteca de la EPS de Huesca para estudios futuros, contándose ya en estos momentos con unas mil muestras.



Fig. 6. Recursos didácticos *on-line* sobre la Ciencia del Suelo elaborados desde la Escuela Politécnica Superior de Huesca. Arriba: portal de la www.cienciadelsuelo.es, donde se dan a conocer los componentes, la formación y las funciones de los suelos.

Abajo: portal de la www.suelosdearagon.com, donde se muestra la distribución de los suelos por unidades de paisaje, desde el Pirineo central al valle medio del Ebro.

*Veinticinco años de investigación en ciencia del suelo
en la Politécnica de Huesca*

La Escuela Politécnica Superior tiene su germen en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial del Centro de Enseñanzas Integradas (actual IES Pirámide). En 1989, se transforma en Escuela Universitaria Politécnica de Huesca, al aprobarse el Plan de Estudios de Ingeniería Técnica en Explotaciones Agropecuarias (ITA) y, posteriormente, en 2001, en Escuela Politécnica Superior al organizarse las enseñanzas conducentes a la obtención del título de ingeniero agrónomo. Este centro, en su adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior, transformó esas enseñanzas al actual grado de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural e incorporó el grado de Ciencias Ambientales (2008). Dentro de este contexto, la docencia en ciencia del suelo ha tenido una amplia representación en asignaturas como Fitotecnia y Edafología, impartidas desde el curso 1991-1992. Alrededor de ellas, los profesores implicados en su docencia hemos investigado en suelos desde la doble perspectiva agronómica y ambiental. Entre las líneas de investigación podemos destacar la “Clasificación, cartografía y evaluación de suelos” que ha permitido caracterizar los suelos de diversas zonas del Alto Aragón (BADÍA, 1989; BADÍA y MARTÍ, 1999; BADÍA y cols., 2008) y sus ecosistemas (BADÍA y cols., 2002; 2004; 2009). Mención especial merece la caracterización de *Los suelos de los viñedos de la Denominación de Origen Somontano*, una primera aproximación a las tipologías de suelos de la zona (BADÍA y cols., 2006). En este libro se incluye un amplio catálogo de los perfiles edáficos más representativos de los viñedos, con una detallada descripción morfológica y analítica. Además, se evalúa el potencial de vigor y precocidad que el terreno impone a la viña y que, junto con el clima, la variedad y su manejo, confieren personalidad al vino de la Denominación de Origen Somontano. A este primer inventario de suelos deberá seguirle, en algún momento, la cartografía detallada de los mismos para conocer su distribución espacial y definir *terroirs* o zonas vitícolas homogéneas.

Toda la información adquirida sobre los suelos del Alto Aragón sirvió de base para organizar en Huesca la XXVII Reunión Nacional de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo (BADÍA y cols., 2009) y para elaborar las mencionadas webs (www.cienciadelsuelo.es y www.suelosdearagon.com). También se han caracterizado suelos agrícolas desarrollados sobre las margas

eocenas que abundan en el norte del Alto Aragón; se ha puesto de manifiesto su textura limosa, su bajo límite líquido, la baja estabilidad estructural de sus agregados, y ciertas propiedades expansivas, lo que confiere una alta erosionabilidad a los suelos (BADÍA y cols., 2015).

Paralelamente al estudio de los suelos agrícolas, se ha abordado el estudio de suelos bajo matorrales y bosques, desde los semiáridos ecosistemas en el valle medio del Ebro al Pirineo central. En este marco se ha estudiado el efecto de los incendios forestales sobre el suelo y la vegetación desde el año 1992. Así se ha analizado la evolución de la cubierta vegetal después del incendio, el estatus micorrícico de especies herbáceas y leñosas o la caracterización morfofuncional de las plantas. A nivel edáfico, los trabajos se han centrado en evaluar la efectividad de diversos tratamientos para el control de la erosión del suelo posterior al fuego, con la aplicación de acolchados, construcción de fajinas, etcétera (fig. 7). Más recientemente, como grupo FUEGOSOL (<http://fuegosol.weebly.com/>), se están evaluando los



Fig. 7. Evaluando la efectividad de las fajinas (en Luna, Cinco Villas) como fijadoras del suelo en zonas forestales afectadas por incendios con el doctor Peter Robichaud del US Forest Service. (Foto: Antonio Girona)



Fig. 8. El fuego prescrito en pastos matorralizados trata de recuperar el uso ganadero del territorio, minimizando los efectos dañinos sobre el suelo (Buisán, Sobrarbe).
(Foto: Antonio Girona)

efectos que las quemas prescritas de matorral espinoso tienen sobre el suelo y la vegetación. Estas quemas pretenden frenar la matorralización, y recuperar pastos en el Pirineo aragonés, pero se conoce escasamente la evolución de la cubierta vegetal y qué cambios cualitativos y cuantitativos se generan en el suelo tras el fuego prescrito (fig. 8), por lo que queda trecho por recorrer.

Así pues, el suelo, al igual que otros recursos naturales como el agua y el aire, es fundamental para la vida. Nuestro bienestar depende, en gran parte, de nuestra capacidad para manejar adecuadamente los suelos al ser un factor clave en la producción agrícola y forestal, por influir sobre el cambio climático y en los recursos hídricos. Para un correcto manejo, el conocimiento de las propiedades y la distribución espacial de los suelos es fundamental. Así dicha información es requerida en multitud de proyectos del ámbito de la restauración paisajística, la reforestación, la ordenación territorial, el saneamiento, la modernización de regadíos o la fertilidad agrícola,

por poner algunos ejemplos. Dada su lenta formación, el suelo es considerado como un recurso natural no renovable, que es necesario usar sin destruirlo, manteniendo un equilibrio entre las potencialidades del suelo y la presión de las actividades humanas, equilibrio que solo puede tener lugar si el hombre aprende a conocerlo y valorarlo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BADÍA, D. (1989). *Los suelos en Fraga: cartografía y evaluación*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 30). Huesca. 207 pp. + 6 mapas.
- BADÍA, D. (1995). *La materia orgánica en suelos agrícolas semiáridos*. Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- BADÍA, D. (2009). *Guía comarcal de la Red Natural de Aragón: Bajo Cinca*. Prames. Zaragoza. 191 pp.
- BADÍA, D., y cols. (2009). *Itinerarios edáficos por el Alto Aragón*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 28). Huesca. 189 pp.
- BADÍA, D., y C. MARTÍ (1999a). Els sòls en l'agricultura i el medi ambient: una visió centrada en el Baix Cinca. *Anuari del Institut d'Estudis del Baix Cinca-IEA*. Cinga, 3: 35-47.
- BADÍA, D., y C. MARTÍ (eds.) (1999b). *Suelos del Pirineo central: Fragen*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (MAPA) / Universidad de Zaragoza / Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón / IEA. Huesca. 190 pp.
- BADÍA, D., y C. MARTÍ (2009). Zonas afectadas por incendios forestales. Estudio de casos en el valle medio del Ebro. En A. Cerdà y J. Mataix (eds.), *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España*: 158-183. Universitat de València. Valencia.
- BADÍA, D., y F. DEL MORAL (2016). Soils of Arid lands. En J. F. Gallardo Lancho (coord.), *The Soils of Spain*: 147-164. Springer International Publishing. Cham (Suiza).
- BADÍA, D., G. CHACÓN, J. L. ESCUER, C. ENRÍQUEZ y E. ROYES (2002). *Itinerarios naturalistas por el Bajo Cinca*. Prames. Zaragoza.
- BADÍA, D., E. CEBRIÁN, E. GONZÁLEZ, V. LABARA, M. SASOT, C. BARBACIL y T. TOMÁS (2004). *Fraga y el Bajo Cinca*. CAI (Colección Rutas por Aragón, 18). Zaragoza.
- BADÍA, D., J. A. CUCHÍ, C. MARTÍ y J. CASANOVA (2006). *Los suelos de los viñedos de la Denominación de Origen Somontano*. PUZ (Colección Ciencia, 8). Zaragoza. 205 pp.
- BADÍA, D., P. IBARRA, C. MARTÍ, C., LONGARES y Á. BELMONTE (2008). *El Aiguabarreig: suelos y paisajes*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón (Serie Investigación, 53). Zaragoza. 193 pp.
- BADÍA, D., D. ORÚS, J. R. DOZ, J. CASANOVA, R. M. POCH y M. T. GARCÍA GONZÁLEZ (2015). Mechanical indices and their relationships to standard properties in soils developed on Eocene marls (Inner Depression of the Central Spanish Pyrenees). *Catena*, 129: 86-94.

- NOGUÉS, J. (2002). *Mapa de suelos (E. 1 : 25 000) de Barbués y Torres de Barbués (Huesca). Aplicaciones para modernización de regadíos*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón (Serie Investigación, 36). Zaragoza. 175 pp. + 5 mapas.
- PORTA, J., M. LÓPEZ-ACEVEDO y C. ROQUERO (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3.ª ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- PRATS, I. (1995). *Manual de gestió dels purins i de la seva reutilització agrícola*. Departament de Medi Ambient i Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- SEBASTIÁN, M., D. BADÍA y C. MARTÍ (2014). *Las formaciones edáficas en el abrigo de Forcas II: caracterización analítica*. En P. Utrilla y C. Mazo (eds.), *La Peña de las Forcas (Graus, Huesca)*: 95-104. Departamento de Ciencias de la Antigüedad. Universidad de Zaragoza (Monografías Arqueológicas 46). Zaragoza.
<http://www.fao.org/resources/>
<http://www.suelosdearagon.com/>
<http://www.cienciadelsuelo.es/index1.html>
<http://www.edafologia.net/>
<http://edafologia.ugr.es/index.htm>
<http://www.secs.com.es/>

David BADÍA^{1,2,3}

¹ Profesor titular de universidad. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. badia@unizar.es

² Asesor del Área de Ciencias Aplicadas y Tecnología del IEA.

³ Miembro de la Junta Directiva de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo – SECS.

ANEXO

Perfiles de suelo en el Alto Aragón. Se denomina *perfil* al corte vertical del terreno que permite estudiar el suelo, y cuyas variaciones en profundidad reflejan los cambios en el paisaje

Umbrisol

Umbrisol léptico (húmico, hiperdístico), sobre areniscas, en Aísa, a 1830 msnm.

Phaeozem

Phaeozem háptico (calcárico, esquelético), sobre tills, en Viu, a 1230 msnm.

Leptosol

Leptosol réndzico sobre calizas eocenas prepirenaicas, en Alquézar, a 670 msnm.

Kastanozem

Kastanozem cálcico sobre plataforma estructural caliza, en el Montnegre de Mequinzenza, 165 msnm.

Gipsisol



Gipsisol hipergípsico (límico) en yesos eocenos, en las Almuniets de Barbastro, 395 msnm.

Luvisol



Luvisol cutánico, pétrico (crómico) en glaciais plioceno, Saso de Adahuesca, 615 msnm.

Fluvisol



Fluvisol háplico (calcárico, límico) sobre terraza holocena, río Alcanadre, Sariñena, a 220 msnm.

Regosol



Regosol háplico (calcárico, vértico) sobre margas eocenas, en ladera, Val Ancha de Jaca, a 900 msnm.

ARTÍCULOS

Lucas Mallada, **18**: 31 a 45
ISSN: 0214-8315, e-ISSN: 2445-060X
<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>
Huesca, 2016

LA FUENTE DEL MILAGRO, EN LA CARTUJA DE NUESTRA SEÑORA DE LAS FUENTES (SARIÑENA, HUESCA)

José Antonio RAUSA¹
José Luis VILLARROEL²
José Antonio CUCHÍ²

RESUMEN.— El presente artículo presenta algunas características del sistema de captación subterránea conocido como la fuente del Milagro, situada en las proximidades de la antigua cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes.

ABSTRACT.— This paper presents some characteristics of the underground water collection system known as the Milagro Spring, located near the old Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes.

KEY WORDS.— Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes, water mine, spring, Monegros, Huesca (Spain).

Recepción del original: 31-8-2016

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. jarausa@ono.com

² Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. jlvilla@unizar.es, cuchi@unizar.es

INTRODUCCIÓN

El Alto Aragón tiene un interesante patrimonio en antiguas galerías excavadas en la roca para la captación y conducción de agua superficial, habitualmente denominadas *minas*. Algunas todavía se utilizan, como es el caso de la mina de Oto, que lleva agua desde el Sorrosal a los prados de esta localidad. Según VIU (2015 [1832]), “esta obra que es moderna, la debe Oto a la casa de Lanuza”, por lo que es posible que fuera realizada a finales del siglo XVIII. En Fonz, la mina del “moro Flores” llevaba agua a la fuente de esta localidad. En el Cinca, hay varias de estas conducciones en su orilla derecha, cerca de Monzón. En el Alcanadre, hay también varias minas. Bajo los puentes de Lascellas está el doble sistema de galerías paralelas del desaparecido molino señalado por NAVAL (1996). Otra se abrió bajo un meandro encajado y aportaba agua al molino de Huerto, hoy central eléctrica. Algo más abajo, la Comunidad de Riegos de Balderas, en Sariñena, dirige el agua de este río a través de varios túneles para cruzar, primero, el Guatizalema y pasar, luego, por el pie de las ripas del primer río, ganando poco a poco altura sobre el cauce. En el Guatizalema, la acequia de Huerto cuenta con una “mineta” (CUCHÍ, 2009). También se conoce el fracaso de la mina de Bonés, por donde a principios del siglo XVI se intentó llevar agua del Flumen al Isuela (GARCÉS, 2006; CUCHÍ y cols., 2006).

También tienen interés las dedicadas a la captación de agua subterránea. Muchas fuentes tradicionales cuentan con cortas galerías artificiales de captación, como la fuente de la Morera de Estadilla, la que aún subsiste en el desaparecido balneario de esta localidad. Pero son particularmente interesantes las galerías drenantes de cierta longitud con pozos de ventilación y mantenimiento, conocidas en el oeste de Asia como *qanat* (plural *qanawat*) y *kariz*, asimismo denominadas *rhattara*, *khattaras* y *foggara* en el norte de África.

Esta técnica y otras de captación de agua en zonas áridas y semiáridas, han sido estudiadas bajo diferentes puntos de vista por varios autores, véase, por ejemplo, OWEIS y cols. (2004). Es innegable el uso de técnicas equivalentes en el valle del Ebro y esto abre interesantes perspectivas de estudio que desde luego desbordan este artículo. En el Alto Aragón, se acepta la existencia de *qanat* en Tamarite de Litera y Albelda. En los Monegros, la mina de Lanaja, restaurada hace unos pocos años, conducía agua subterránea hacia

esta localidad, desde un saso cercano y presentaba alguna galería de ventilación vertical. Captaciones de más envergadura son la fuente Madre, en Castejón de Monegros, y la fuente del Milagro de la cartuja de Monegros o de Nuestra Señora de las Fuentes.

El objetivo básico de este artículo es el levantamiento de una topografía básica de la fuente del Milagro de la cartuja de Monegros, en el término municipal de Sariñena, de modo que pudiera ser útil para los trabajos de restauración del edificio de la cartuja que está emprendiendo la Diputación Provincial de Huesca.

LA CARTUJA DE MONEGROS

La cartuja de Monegros, también llamada de Moncalvo (un despoblado con restos de iglesia medieval que da nombre a la sierra local) o de Bastarás (por sus propietarios durante el siglo XX) fue fundada, bajo patrocinio de la casa condal de Sástago, por la Orden de los Cartujos en 1507 junto a la, ya entonces existente, ermita de la Virgen de las Fuentes. Vendida en 1565 a la Orden de los Carmelitas, es recuperada por los cartujos en 1589. Un primer edificio, en la val donde aparece la fuente, resultó insalubre. Por ello, en el siglo XVII se construyó el actual edificio, con bastante parsimonia, en el saso vecino. El monasterio, saqueado durante la guerra de la Independencia, y desamortizado en 1835, pasó por diversos propietarios (BARLÉS, 2014: 473 y ss.). Hacia 1877, el estadillano Bernabé Francisco Romeo y Belloc abrió un balneario que subsistió hasta 1891, cuando es subastada por el Banco Hipotecario de España. En 1896, es adquirida por la familia Bastarás para finca ganadera. Durante la Guerra Civil fue acuartelamiento militar y un avión se estrelló en su torre. Recientemente ha sido adquirida por la Diputación Provincial de Huesca, que ha iniciado labores de restauración.

MARCO GEOLÓGICO

La cartuja de las Fuentes se encuentra dentro del Terciario continental del valle del Ebro, en el flanco norte de la alineación de las sierras testigo de Alcubierre, Lanaja, Moncalvo y Pallaruelo. Estas son restos del relleno

continental del Mioceno de la depresión del Ebro, previo a la apertura de este río al mar. Detalles de su estratigrafía subhorizontal aparecen en QUIRANTES (1969), ARENAS (1993) y otras publicaciones. Se trata de areniscas finas, limolitas, margas y arcillas, con intercalaciones de yesos y presencia difusa de otras evaporitas. El techo de la sierra está formado por un modesto espesor de calizas lacustres.

En los materiales más finos, la erosión iniciada a gran escala tras la apertura del Ebro al mar, ha formado diversas zonas de cárcavas o *badlands*, como los del cercano barranco de las Negras. El proceso de vaciado también ha conformado una serie de glacis, localmente conocidos como *sasos*, una serie de suaves rampas que, en esta zona, se dirigen hacia el norte. Son depósitos de poco espesor, heterométricos, habitualmente formados sobre todo por clastos de tamaño centimétrico de caliza local, acompañados por algún canto de arenisca resistente y de sílex. También hay niveles de arenas e incluso materiales más finos. Los glacis han sido formados por barrancadas torrenciales que dan depósitos fluviales relativamente extensos, desbordando cauces. Una geoforma asociada son las vales, barrancos de fondo plano, típicas en el paisaje de la zona central del valle del Ebro. Tienen perfiles en uve excavados en los materiales terciarios blandos y que se encuentran cubiertos por rellenos de sedimentos de las laderas vecinas. El relleno está habitualmente abancalado transversalmente para el cultivo. Se inician en áreas de materiales del Terciario, pero pueden prolongarse por los sasos.

Los materiales arcillosos y los depósitos de glacis y vales tienen una respuesta hidrogeológica diversa a las modestas precipitaciones monegrinas. Estas son limitadas, del orden de los 350 milímetros anuales, en parte en lluvias de alta intensidad durante tormentas estivales. Los materiales arcillosos y limosos son bastante impermeables y las escorrentías producen los *badlands* ya mencionados. Sin embargo, sasos y vales son relativamente más permeables y las arroyadas superficiales son menos frecuentes, especialmente si han sido abancalados y laboreados. Una parte importante del agua infiltrada retorna a la atmósfera, a través de la captación radicular y la evapotranspiración estomática, pero una parte desciende más allá del alcance de las raíces y recarga pequeños acuíferos sobre los materiales arcillosos subyacentes. Esta recarga natural se puede estimar en un 10% de la

precipitación anual. El agua subterránea, en la base de la grava del glacis y sobre el salagón, se dirige pendiente abajo hacia el norte, donde el río Alcanadre parece ser el límite del flujo subterráneo. Las aguas subterráneas afloran, en general, de forma difusa en pequeños humedales, en ocasiones salinos, dada la ya señalada existencia de evaporitas. La presencia de paleocanales en sasos y vales favorece la concentración de agua freática, que se ha aprovechado en las captaciones tradicionales de agua en esta zona semiárida. Este es el caso de la cartuja donde en algún momento, hoy no conocido, se excavó una galería principal que luego fue modificada.

DESCRIPCIÓN Y CARTOGRAFÍA

En la actualidad, el sistema de galerías es accesible a partir del pequeño edificio de la entrada. La galería principal es fácilmente accesible y diversas personas han confirmado que la han visitado. De hecho, se observa un poco de basura en algunos lugares. Incluso se ha sabido que se realizó una topografía, hace más de veinte años, que no ha sido publicada (Rafael Larma, comunicación personal).

La ausencia conocida de una topografía útil decidió al Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles (GTE) de la Universidad de Zaragoza a realizarla en mayo y junio de 2016, mediante cinta métrica y brújula SUUNTO. La topografía, el principal resultado de este trabajo, se presenta como figura final.

La captación consta de un pequeño edificio exterior, que cuenta con una pileta con una chapa de fundición, de tres caños. Se lee «AGUA SULFATO NITRÁTICA», probablemente de la época como balneario (figs. 1 y 2). Un desagüe cubierto conduce el agua al exterior.

Una puerta da paso a una cámara rectangular parcialmente inundada en la que desembocan la galería principal y la secundaria norte. Está construida en bóveda, en obra de mampuestos de caliza local y argamasa de cal.

A su derecha aparece el ramal norte, excavado en grava. Inicialmente el conducto, de tosca confección y paralelo a la pared exterior, permite ir de pie hasta una segunda boca, parcialmente obstruida por grava y con raíces de árboles (fig. 3). Una corta galería, de menor altura y mayor profundidad



Fig. 1. Entrada al edificio exterior de la fuente del Milagro.



Fig. 2. Cámara exterior y pileta.



Fig. 3. Segunda entrada, en la galería norte.



Fig. 4. Galería norte, cerca del final.

de agua, se dirige al interior del glacis y acaba abruptamente (fig. 4). Desde esa segunda boca, es posible que hacia el norte continuara la galería hacia el actual edificio de la cartuja.

La galería principal, tras la primera cámara, tiene en su inicio un primer tramo de obra también de mampostería tomada con mortero de cal, con una sección uniforme y bien configurada, incluso con revestimiento de la superficie del techo abovedado. Asimismo, tiene una amplia sección de paso, 2 metros de anchura y aproximadamente 2,5 metros de altura y una longitud de unos 10 metros. Pasado este tramo, la galería excavada en grava algo cementada aumenta ligeramente de sección hasta alcanzar el dintel en ladrillo de una puerta (figs. 5 y 6).

A pocos metros, pasado el dintel de esta puerta, aparece una bifurcación a la derecha, hacia el oeste. La galería principal continúa de frente. Se mantiene una altura próxima a los dos metros, pero reduce la anchura. Cambia la litología, apareciendo niveles arcillosos que conservan huellas de instrumentos metálicos y pequeñas hornacinas (fig. 7). El suelo, en su inicio com-



Fig. 5. Galería principal. Tramo en obra.



Fig. 6. Galería principal. Tramo en obra.



Fig. 7. Galería principal tras el dintel y salida del ramal oeste, a la derecha.



Fig. 8. Galería principal. Zona interior con cambio en la litología y restos de banqueta lateral.



Fig. 9. Tramo inicial en la galería oeste.



Fig. 10. Bóveda artificial en la galería oeste.

pletamente inundado, da paso a un tramo con una banqueta a modo de andador lateral (fig. 8). Posteriormente desaparece el agua y hay un tramo seco final de unos 20 metros, en ligera pendiente ascendente. Este tramo albergaba una colonia de pequeñas dimensiones de unas decenas de murciélagos que se intentó no molestar.

A unos metros del dintel se observa, a la derecha, hacia el oeste, otra galería lateral de menores dimensiones e incómodo avance dado que hay que hacerlo en cuclillas (fig. 9). Excavada inicialmente en grava tras algunos giros, los constructores toparon con una masa de margas, conocidas localmente como *salagón*, que ha producido un desprendimiento y obligado a construir una bóveda rústica (fig. 10). La galería hace un giro para salvar este material y vuelve a la grava. Tras acceder a otro pequeño tramo con bóveda artificial, la galería hace otro quiebro para volverse aún más baja y sifonarse. Señalemos las penalidades que debieron pasar los excavadores para excavar las bóvedas, que pudo ser desde el interior o desde el exterior.

En total se han cartografiado 220 metros de galerías, cuya planta se presentan en la figura 11. No se ha realizado el perfil, dado que este es

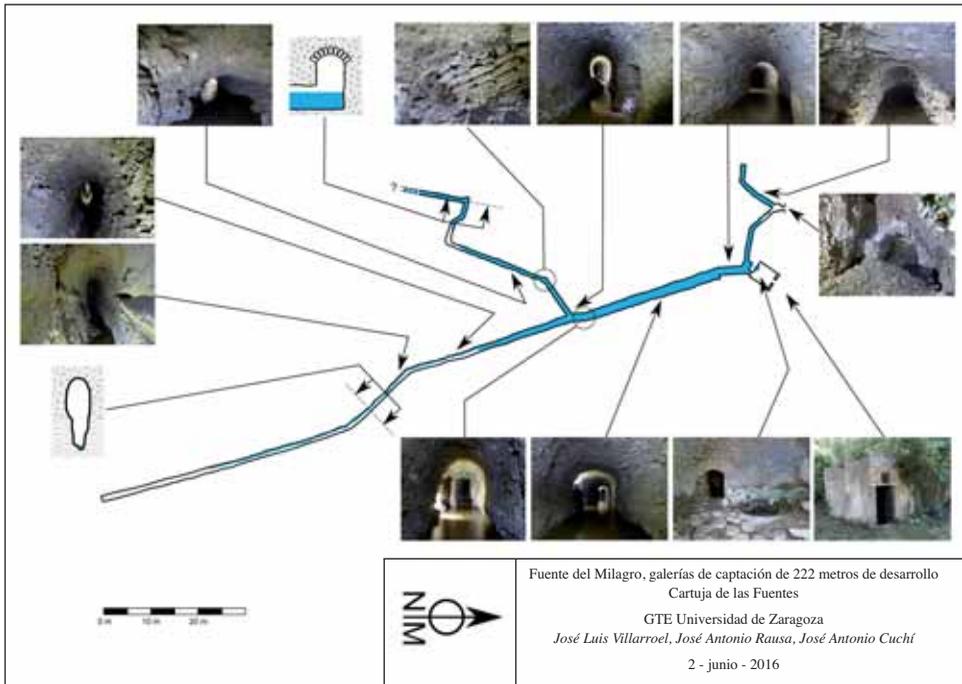


Fig. 11. Topografía de la fuente del Milagro, en la cartuja de las Fuentes (Sariñena, Huesca).

prácticamente horizontal. La profundidad del agua no superaba, en el momento del trabajo, los 0,5 metros de altura. Únicamente la zona terminal de la galería principal está por encima del agua, además de los pequeños conos de algunos hundimientos en las galerías laterales.

Por último, indiquemos que la excavación, dada su diferente morfología y calidad de obra, parece haberse realizado en diferentes fases. Al carecer de pozos verticales las lumbreras, la fuente del Milagro no puede calificarse como *qanat* en sentido estricto.

HIDROQUÍMICA

Aunque no era el objetivo principal del trabajo, se realizaron determinaciones de la conductividad eléctrica y de la temperatura del agua subterránea en varios puntos significativos. El 2 de junio se obtuvo, en laboratorio, para una muestra de agua de la pileta, una conductividad de $627 \mu\text{S}/\text{cm}$,

a 25 °C. El dato difiere del ofrecido por SAZ (1992), quien presenta una conductividad de 327 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a la misma temperatura. Por ello, el 16 de junio de 2016, se realizó una determinación *in situ* con un conductivímetro WTW 315. La conductividad en la pileta resultó de 866 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25 °C y una temperatura de 15,3 °C. En la mina norte se presentó una conductividad de 403 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25 °C y 14,8 °C. Sin embargo, en la galería principal, aguas arriba de la confluencia con la galería oeste, estos valores eran de 963 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25 °C y 16,1 °C. En el exterior, el agua de la acequia de riego que pasaba junto al monasterio era, hacia las 18:00 h, de 310 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25 °C y 17,7 °C. Este último dato es coherente con los valores del agua procedente de una mezcla del sistema Gállego-Cinca.

A la vista de esta variabilidad del parámetro básico, parece sugerirse que estaríamos en la actualidad ante dos tipos de aguas. Uno más salino y cálido (galería principal y ramal oeste) procedente del acuífero del saso, en secano, y otro (galería norte) procedente de infiltraciones del cercano regadío. Hay que señalar que la cartuja se encuentra en el límite de la zona regada por el canal de Monegros, pero que la zona de recarga del acuífero se encuentra fuera de este. Se puede establecer una relación de aportaciones a partir de las composiciones de aguas. Una primera estimación, si hay mezcla perfecta, daría un valor relativo de 4,8 partes de agua de interior frente a 1 parte de agua de la galería norte para la fecha de la determinación. Evidentemente, el efecto del riego es variable a lo largo de la temporada; véase, por ejemplo, el trabajo de ANDRÉS y CUCHÍ (2014a) para un cercano polígono de riego, donde se observa un aumento de caudal una vez que se inicia la campaña de riegos, alcanzando un máximo hacia el final de la misma. Se observa allí, además, un cierto efecto de retraso entre la aplicación del riego y el aumento del agua drenada. De este modo, hacia el final de la temporada de riego pudiera ser que el caudal aportado por el efecto del riego en la cercanías de la cartuja dominase sobre el procedente de la zona de secano, disminuyendo temporalmente el nivel de salinidad de la fuente final.

Este efecto puede modificar también el quimismo del agua. En general, las aguas subterráneas de la zona central de los Monegros suelen tener una composición tipo sulfatado sódico. Véanse, por ejemplo, los datos presentados en CUCHÍ (1989). Y, por otro lado, hay abundante información que confirma que las aguas del mencionado sistema de riego, procedentes del

Gállego y del Cinca, tienen una composición bicarbonatado cálcica. Es posible, por tanto, sugerir una explicación a la diferencia entre la inscripción de la placa y la calificación química obtenida por SAZ (1992), en tanto que en su muestreo dominara el agua de infiltración del regadío. Un tema que tiene cierto interés en la calificación de *nitratada* decimonónica que aparece en la placa. En la actualidad, se asiste a una general presencia de nitratos, en niveles elevados, en aguas subterráneas, tanto en secano como en regadío del Alto Aragón. Véanse, por ejemplo, ANDRÉS y CUCHÍ (2014b) y ZUFIAURRE y cols. (2015). Pero esos altos niveles están relacionados con el uso intensivo y excesivo de abonos minerales que se inició, en secano y en regadío, a partir de 1960. Por ello, habría que buscar otro origen para este nitrato. Una posible causa serían los excrementos de las colonias de murciélagos, que además añadirán materia orgánica que podría suponer la presencia de nitritos y bacterias. Sin poder evaluar el efecto sobre la salud de los monjes y el fracaso del balneario a finales del siglo XIX, incluso en la actualidad, el agua de esta galería podría presentar problemas para su ingesta sin tratar.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las informaciones de Daniel Zabala sobre la cartuja de Monegros y su entorno. También nuestro reconocimiento a Rafael Larma, por hacernos saber que había realizado una primera e inédita topografía, después de haber acabado la nuestra. Y como siempre, al personal de la biblioteca del IEA, por su ya proverbial paciencia con las demandas de bibliografía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉS, R., y J. A. CUCHÍ (2014a). Analysis of sprinkler irrigation management in the LASESA district, Monegros (Spain). *Agricultural Water Management*, 131: 95-107.
- ANDRÉS, R., y J. A. CUCHÍ (2014b). Salt and nitrate exports from the sprinkler irrigated Malfarás Creek Watershed (Ebro River Valley, Spain) during 2010. *Environmental Earth Sciences*, 72: 2667-2682.
- ARENAS, C. (1993). *Sedimentología y paleogeografía del Terciario del margen pirenaico y sector central de la cuenca del Ebro (zona aragonesa occidental)*. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Zaragoza. 858 pp.
- BARLÉS, E. (2014). *Arquitectura cartujana en Aragón (siglos XVII y XVIII) en el contexto de la provincia de Cataluña*. IFC. Zaragoza.

- CUCHÍ, J. A. (1989). *Aportaciones al conocimiento de los suelos salinos de Aragón*. INIA (Serie monográfica de tesis doctorales del INIA, 79). Madrid.
- CUCHÍ, J. A. (2009). Uso del agua en los regadíos tradicionales de la cuenca del Guatizalema. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 26: 197-228.
- CUCHÍ, J. A., J. L. VILLARROEL, C. GARCÉS, S. FÁBREGAS, R. HURTADO y J. BERNUÉS (2006). La localización de la mina de Bonés. Una obra hidráulica inacabada de la Huesca del siglo XVII. *Argensola*, 116: 171-185.
- GARCÉS, C. (2007). La mina de Bonés: agua y fracaso en la Huesca del siglo XVII. *Argensola*, 116: 111-170.
- NAVAL, A. (1996). *Construcciones para la historia del Somontano en el Alto Aragón*. Cremallo. Huesca.
- OWEIS, T., A. HACHUM y A. BRUGGEMAN (eds.) (2004). *Indigenous water-harvesting systems in West Asia and North Africa*. ICARDA. Alepo (Siria).
- QUIRANTES, J. (1978). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*. IFC. Zaragoza.
- SAZ, P. (1992). *Fuentes minero-medicinales de la provincia de Huesca*. IEA. Huesca.
- VÍU, J. de (2015 [1832]). *El Pirineo*. Edición a cargo de J. del Castillo y J. M. Sánchez Molled. IFC / Prames (Temas Aragoneses, 27). Zaragoza.
- ZUFIAURRE, R., L. TRABA y J. A. CUCHÍ (2015). Caracterización hidroquímica de aguas en la hoya de Huesca. *Lucas Mallada*, 17: 17-44.

INCIDENCIA DE ATROPELLOS DE MAMÍFEROS SILVESTRES NO CINEGÉTICOS EN LA RED VIARIA DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN (2012-2014)

David VIDAL-VALLÉS¹
Ernesto PÉREZ-COLLAZOS²

RESUMEN.— La red viaria se ha identificado como un importante agente antrópico de transformación ambiental que supone una amenaza para la conservación de la fauna silvestre y genera una grave problemática: los atropellos. En la Comunidad Autónoma de Aragón, entre los años 2012 y 2014, se detectaron 338 atropellos de mamíferos silvestres no cinegéticos, que afectaron a once especies diferentes, de las que el tejón y la garduña fueron las de mayor incidencia (132 y 80 casos, respectivamente). La distribución espacial de los atropellos de mamíferos detectados en Aragón fue relativamente heterogénea en el espacio y se advirtió un mayor número de atropellos en marzo. Fueron identificados nueve puntos negros para mamíferos, seis en la provincia de Zaragoza y tres en la provincia de Huesca. Se proponen una serie de recomendaciones de gestión con el fin de reducir este factor de amenaza sobre los mamíferos.

ABSTRACT.— Roads have been identified as an important agent of environmental transformation, which affects animal wildlife conservation and

Recepción del original: 21-10-2016

¹ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. davidvidalvalles@gmail.com

² Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. ernextop@unizar.es

constitutes a major threat to several species. 338 road kills affecting 11 different species have been acknowledged in the Spanish region of Aragón (2012-2014). Among these species, European badger and stone marten were identified as most threatened (132 and 80 road kills, respectively). Road kill spatial distribution of mammals was heterogeneous but a higher incidence of casualties in march was pinpointed. Zaragoza province showed the highest number of black spots (6), followed by Huesca province (3). Some mitigation measurements have been suggested in order to lower mortality on roadways and reduce this threat to mammals.

KEY WORDS.— Black spots, road kill mitigation, *Martes foina*, *Meles meles*, Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

Aunque consideramos la mortalidad de fauna silvestre por atropello como un problema de conservación global, la construcción de carreteras y los volúmenes de tráfico siguen aumentando a nivel mundial, principalmente en Europa del Este, China, India y Sudamérica (VAN DER REE y cols., 2011; GARRIGA y cols., 2017). En España, el último siglo ha estado asociado a un gran desarrollo de la red viaria (200 000 kilómetros; MAGRAMA, 2013). La existencia de estas vías y su incremento constituye uno de los agentes antrópicos de transformación ambiental más importantes, ya que actúan como barreras para el movimiento de la fauna silvestre y reducen la conectividad de las poblaciones. Además, los atropellos constituyen un factor directo de presión sobre diversas especies de fauna (D'AMICO y cols., 2015), que derivan en un aumento de las tasas de extinción locales y en la disminución de las tasas de recolonización (SHEPARD y cols., 2008; MARTÍNEZ-FREIRÍA y BRITO, 2012).

En Europa, unas 300 personas mueren y 30 000 resultan heridas a causa de las más de 500 000 colisiones anuales que se producen con ungulados silvestres, lo que se convierte en un problema de seguridad vial (GROOT BRUINDERINK y HAZEBROEK, 1996; GAGNON y cols., 2007). En España, el coste económico de las colisiones con fauna se valora en 105 millones de euros al año (SÁENZ DE SANTA MARÍA y TELLERÍA, 2015). Las estimaciones del número de atropellos en distintos países europeos permiten dimensionar la gravedad del problema. En Alemania, se calcula que 250 000 mamíferos silvestres mueren anualmente en las carreteras (RACC, 2011) y en Eslovenia, entre el año 2004 y 2008, se detectaron 42 140 atropellos de mamíferos

silvestres (POKORNY, 2006). En España, en el periodo 1990-1992, 14 644 mamíferos fueron atropellados en las carreteras (PMVC, 2003) y se identificaron 74 600 casos de atropellos de animales durante el periodo 2006-2012 (SÁENZ DE SANTA MARÍA y TELLERÍA, 2015).

Aún no hay estimaciones precisas del número de atropellos a nivel global, pero la cifra de vertebrados atropellados anualmente podría superar los 1000 millones de ejemplares (PMVC, 2003). Es por esto por lo que algunos autores han definido las redes viarias como sumideros o puntos calientes de extinción de individuos y, en algunos casos, de poblaciones (FAHRIG y RYTWINSKI, 2009). Cabe destacar que los atropellos afectan potencialmente a toda la fauna; sin embargo, los animales carroñeros u oportunistas pueden verse afectados de una manera mucho más intensa si para su alimentación aprovechan como recurso los animales previamente atropellados, lo que puede repercutir negativamente en sus densidades poblacionales (GRILO y cols., 2009).

Este artículo busca determinar las especies de mamíferos silvestres no cinegéticos con mayor incidencia de atropello en Aragón, así como identificar su ubicación espacial y temporal, con el fin de proponer medidas específicas de conservación. Para ello se ha empleado la base de datos del Centro de Recuperación de Fauna Silvestre (CRFS) de La Alfranca, que solo incluye especies silvestres no cinegéticas, dejando de lado datos relevantes de ungulados, lagomorfos y suidos. A pesar de ello, este artículo es una aproximación relevante a la identificación de los puntos negros que afectan a mamíferos silvestres no cinegéticos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Elaboración de los mapas de atropello de mamíferos

El área de estudio corresponde a la red viaria de la Comunidad Autónoma de Aragón (11 509 kilómetros; MINISTERIO DE FOMENTO, 2014). La información de partida para la elaboración de los mapas de atropello se obtuvo de la base de datos del CRFS de La Alfranca del Gobierno de Aragón. Esta base de datos recopila información sobre vertebrados terrestres recogidos en el campo, heridos o muertos, en cualquier punto de Aragón, y que terminan ingresados en el CRFS por diferentes causas. La base de datos fue depurada y se seleccionaron únicamente los registros que hacían referencia a mamíferos.

Mediante geoprocetos y herramientas de ArcMap 10.1, se creó una capa de puntos en formato *shapefile* que representa los atropellos detectados en la red viaria de la Comunidad Autónoma de Aragón en el periodo 2012-2014. Para cada registro se añadió manualmente, en forma de atributo, la siguiente información: especie del animal atropellado, el mes y el año en que se detectó el atropello y la pertenencia o no a alguna de las siguientes categorías de amenaza: “En peligro de extinción”, “Vulnerable”, “Sensible a la alteración de su hábitat” (Decreto 181/2005). A la capa de puntos con los atropellos (2012-2014) se le superpuso la red viaria de Aragón, descargada de la *Infraestructura de datos espaciales de Aragón*, y se procedió al diseño final del mapa.

Con la finalidad de conocer las especies con mayor incidencia de atropello, se adaptaron las siguientes categorías propuestas por TENÉS y cols. (2007): “Bajo” (de 0 a 3,99 atropellos al año), “Moderado” (de 4 a 6,99 atropellos al año), “Alto” (de 7 a 23,99 atropellos al año) y “Muy alto” (más de 24 atropellos al año, es decir, dos o más atropellos al mes).

Determinación de la incidencia temporal de los atropellos

Con la ayuda de los atributos añadidos de forma manual al sistema de información geográfica (SIG), se determinó la temporalidad de los atropellos de mamíferos silvestres no cinegéticos en Aragón.

Identificación de puntos negros para mamíferos en Aragón

Para identificar los puntos negros en Aragón, se añadió al mapa de atropellos de mamíferos silvestres (2012-2014) una malla formada por cuadrículas de 10 × 10 kilómetros. Los puntos negros se identificaron mediante el conteo del número de atropellos que se detectaron en cada una de las cuadrículas. Con el objeto de determinar la relevancia de los puntos negros, se han definido tres rangos de incidencia (baja, moderada y alta) en función del número de atropellos detectados en cada cuadrícula de 10 × 10 kilómetros: “Incidencia baja” (de 6 a 6,99), “Incidencia moderada” (de 7 a 9,99) e “Incidencia alta” (10 o más). Esta información se volcó al SIG, generando un mapa de puntos negros por atropello de mamíferos silvestres en Aragón en el periodo 2012-2014. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa PAST (HAMMER y cols., 2001).

RESULTADOS

Especies afectadas por los atropellos

Se detectaron 338 atropellos, que afectaron a once especies diferentes (tabla 1). Se ha determinado que el erizo de los Balcanes (*Erinaceus roumanicus*; Barrett-Hamilton, 1900), la marmota alpina (*Marmota marmota*; Linnaeus, 1758), la comadreja (*Mustela nivalis*; Linnaeus, 1766) y la marta (*Martes martes*; Linnaeus, 1758) presentan una incidencia de atropello baja (1, 1, 3 y 5 atropellos, respectivamente); mientras que el gato montés (*Felis silvestris*; Schreber, 1777) y el erizo europeo (*Erinaceus europaeus*; Linnaeus, 1758), una incidencia moderada (14 y 17 atropellos, respectivamente). La ardilla roja (*Sciurus vulgaris*; Linnaeus, 1758), la gineta (*Genetta genetta*; Linnaeus, 1758) y la nutria (*Lutra lutra*; Linnaeus, 1758) presentan una incidencia alta (27, 28 y 30 atropellos, respectivamente); y la garduña (*Martes foina*; Erxleben, 1777) y el tejón (*Meles meles*; Linnaeus, 1758) son las especies más afectadas mostrando una incidencia muy alta (80 y 132 atropellos, respectivamente) (tabla 1).

Tabla 1. Listado de las especies de mamíferos silvestres atropellados en la Comunidad Autónoma de Aragón durante el periodo 2012-2014.

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>	<i>Número de atropellos</i>	<i>Incidencia</i>
Erinaceidae	Erizo europeo	<i>Erinaceus europaeus</i>	17	Moderada
	Erizo de los Balcanes	<i>Erinaceus roumanicus</i>	1	Baja
Felidae	Gato montés	<i>Felis silvestris</i>	14	Moderada
Mustelidae	Tejón	<i>Meles meles</i>	132	Muy alta
	Garduña	<i>Martes foina</i>	80	Muy alta
	Nutria	<i>Lutra lutra</i>	30	Alta
	Marta	<i>Martes martes</i>	5	Baja
	Comadreja	<i>Mustela nivalis</i>	3	Baja
Sciuridae	Ardilla roja	<i>Sciurus vulgaris</i>	27	Alta
	Marmota alpina	<i>Marmota marmota</i>	1	Baja
Viverridae	Gineta	<i>Genetta genetta</i>	28	Alta
Número total de atropellos			338	
Número de especies			11	

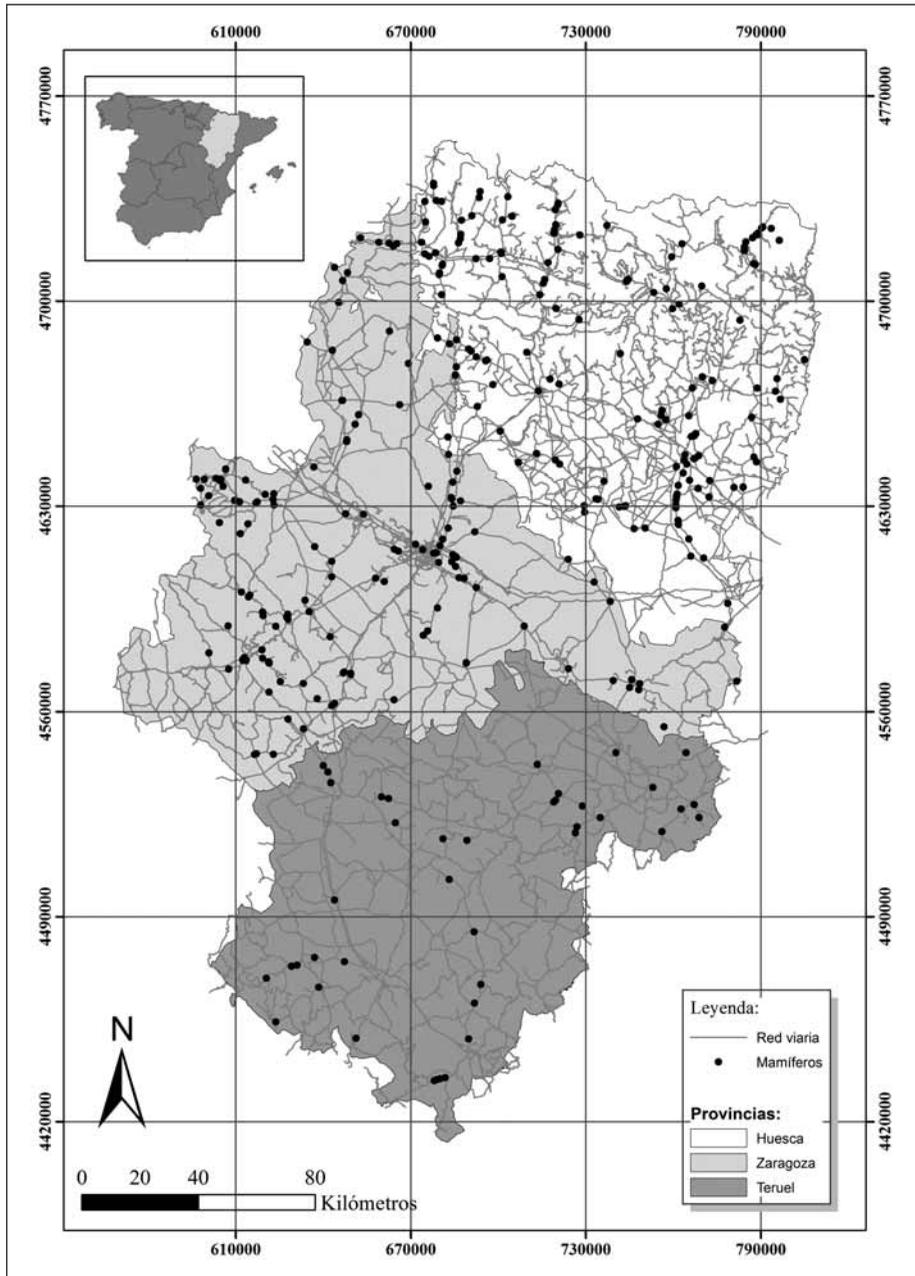


Fig. 1. Distribución espacial de los atropellos de mamíferos silvestres no cinegéticos ($n = 338$) detectados en la red viaria de la Comunidad Autónoma de Aragón durante el periodo 2012-2014.

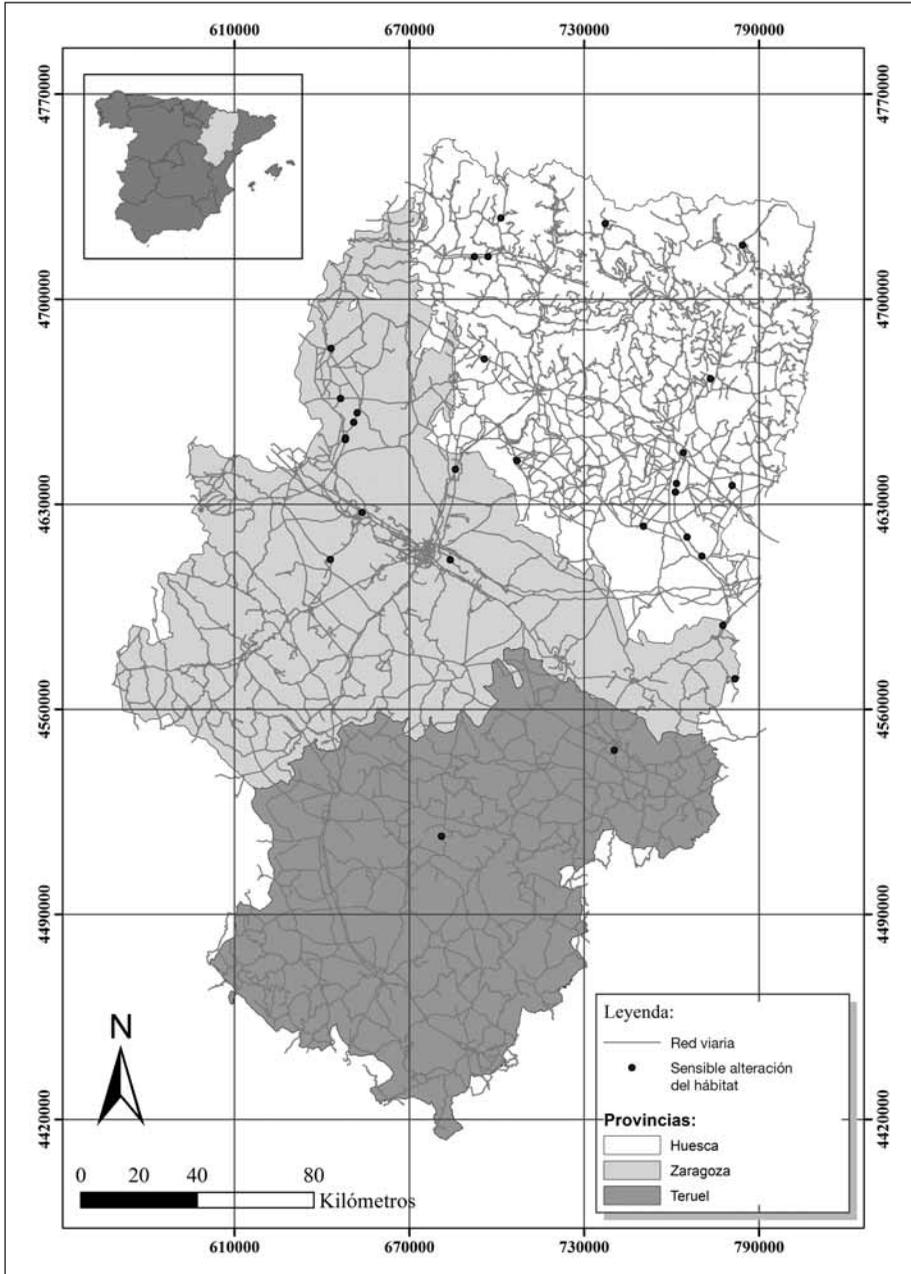


Fig. 2. Distribución espacial de los atropellos de mamíferos incluidos en el *Catálogo de especies amenazadas de Aragón* (n = 30) durante los años 2012-2014. Todos los puntos corresponde a *Lutra lutra* (Linnaeus, 1758).

Distribución espacial de los atropellos

Se detectó una distribución relativamente heterogénea, ubicándose en las provincias de Huesca y Zaragoza el 87,6% de los atropellos (161 y 135 atropellos, respectivamente) (fig. 1). La única especie atropellada e incluida en las máximas figuras de protección según el decreto 181/2005 es la nutria, catalogada como “Sensible a la alteración del hábitat” (SAH) (fig. 2).

Temporalidad de los atropellos

Marzo se identificó como el mes con mayor incidencia de atropellos (51 casos), mientras que los meses de junio, julio y diciembre registraron los valores mínimos con 17, 14 y 15 casos, respectivamente (fig. 3).

En cuanto a las especies con mayor incidencia de atropello, el tejón registra un patrón similar al general, con una alta incidencia en los meses de marzo y septiembre (26 y 13 atropellos, respectivamente) y una baja incidencia en diciembre (3). En el caso de la garduña, agosto y marzo son los meses con mayor incidencia de atropello (13 y 10), siendo los valores mínimos los de noviembre (2) y diciembre (2).

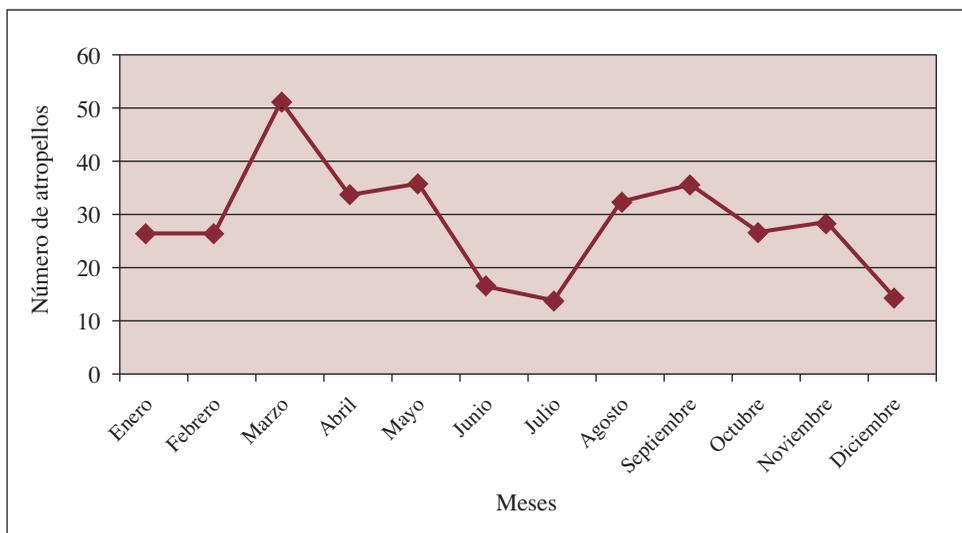


Fig. 3. Temporalidad de los atropellos de mamíferos silvestres no cinegéticos en la Comunidad Autónoma de Aragón durante los años 2012-2014.

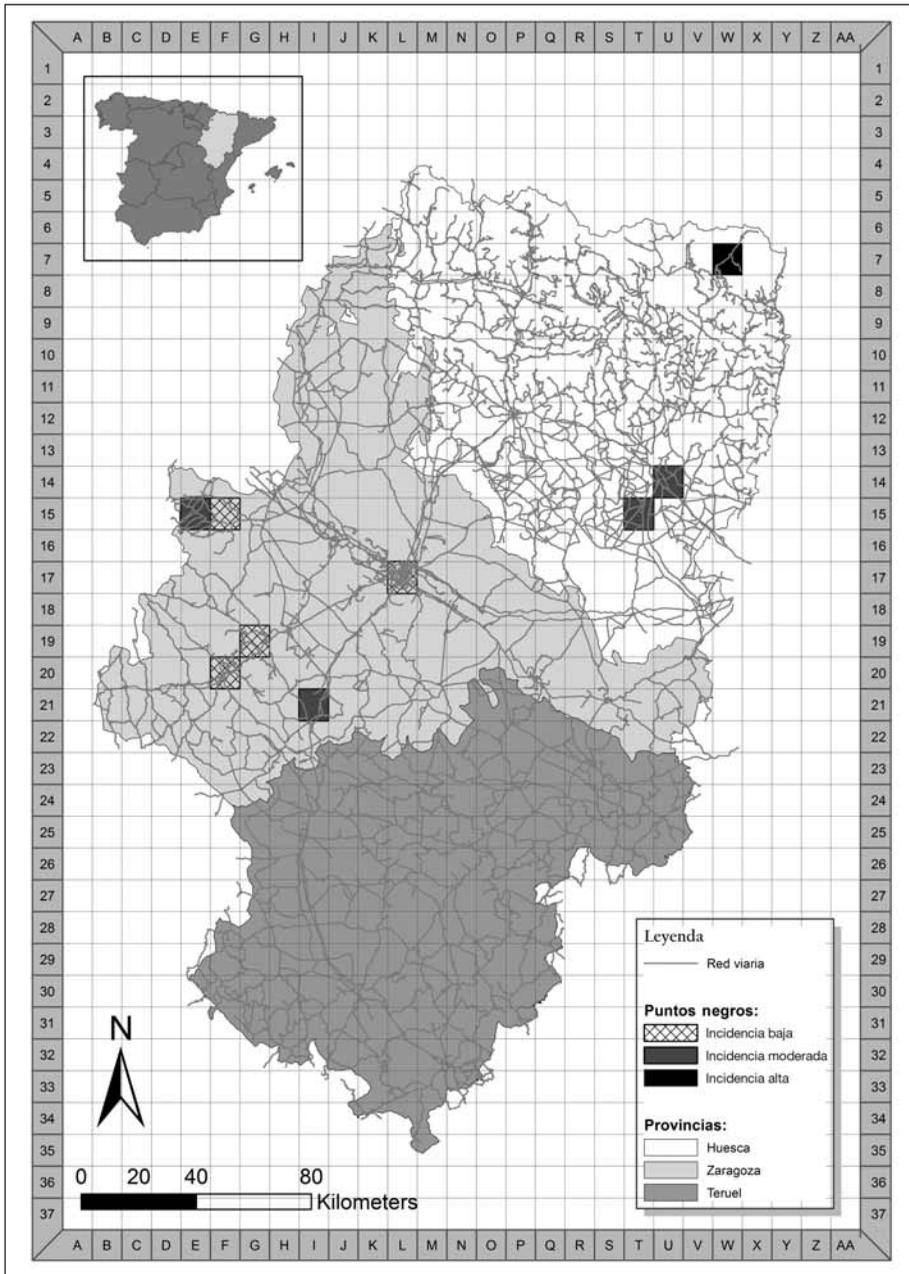


Fig. 4. Localización de los puntos negros con incidencia de atropellos de mamíferos silvestres no cinegéticos en la Comunidad Autónoma de Aragón durante los años 2012-2014.

Identificación de los puntos negros en Aragón

Se han identificado nueve puntos negros para mamíferos en los que se han detectado 62 atropellos. Cuatro de ellos presentan una incidencia de atropello baja, cuatro moderada y uno alta (fig. 4). En la provincia de Zaragoza, se encuentra el mayor número de puntos negros (6), seguido de la provincia de Huesca (3). En la provincia de Teruel no se han detectado puntos negros para mamíferos (fig. 4). De los 62 atropellos detectados, 29 (47%) afectaron a tejones y 16 (26%) a garduñas. Es decir, un 73% de los atropellos en los puntos negros afectaron a ambas especies.

Los puntos negros de la provincia de Zaragoza se ubican en la ciudad de Zaragoza (L17), en el entorno de Grisel y Vera de Moncayo (E15 y F15), en la A-2 a la altura de Morata de Jalón (G19) y Calatayud (F20), y en la A-23 a la altura de Paniza (I21). Mientras que los puntos negros de la provincia de Huesca se ubican en Benasque (W7), en Monzón (U14) y en la A-1234 entre Albalate de Cinca y Pueyo de Santa Cruz (T15) (fig. 4).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Aspectos metodológicos

Determinar el número de atropellos en áreas pequeñas resulta un objetivo metodológico relativamente sencillo de llevar a cabo. Sin embargo, a medida que se aumenta la escala, los muestreos se hacen cada vez más complejos debido a las siguientes causas: i) la imposibilidad de que una sola persona muestree áreas demasiado extensas, lo que conlleva que todos los integrantes de la investigación presenten el mismo nivel de preparación, lo cual habitualmente resulta complicado; ii) los muestreos se deberían realizar simultáneamente, ya que se ha constatado la desaparición de la mayoría de los animales atropellados en un plazo inferior a las 24 horas (PMVC, 2003); iii) los muestreos deberían emplear el mismo tipo de desplazamiento, ya que se ha demostrado que dependiendo de este (caminando, bicicleta, coche), la detección de animales pequeños, especialmente de micromamíferos, se ve afectada (RUIZ-CAPILLAS y cols., 2015), y iv) en áreas grandes resulta difícil mantener el esfuerzo de muestreo (día y noche), lo que tiene como consecuencia una subrepresentación de especies diurnas o nocturnas, en función de las horas en las que se realizan el o los muestreos (GRILO y

cols., 2009). Por ello resulta difícil pensar en un muestreo adecuado para superficies tan extensas como Aragón. De ahí que hayamos decidido emplear la base de datos del CRFS de La Alfranca. A pesar de las limitaciones que esta información pueda tener —(i) ausencia de datos de especies cinegéticas, ii) ausencia de datos de especies de pequeño tamaño, iii) sesgos relacionados con las zonas con menor / mayor presencia de Agentes para la Protección de la Naturaleza, iv) datos eliminados que no disponían de fecha o topónimos—, constituye una fuente de información valiosa que ha permitido una aproximación al problema de los atropellos en nuestro territorio. Varias investigaciones sobre los atropellos y su mitigación se han basado en otras bases de datos, mostrando su valía y relevancia (TENÉS y cols., 2007; GUNSON y cols., 2010; SÁENZ DE SANTA MARÍA y TELLERÍA, 2015).

Especies afectadas por los atropellos

El tejón resultó ser la especie con mayor número de atropellos detectados en Aragón (132 casos; tabla I). En Reino Unido, la mortalidad por atropello de esta especie supera la mortalidad por causas naturales como la depredación y las enfermedades, con una estimación de 50 000 muertes cada año (40% de la población adulta; CLARKE y cols., 1998). En Aragón, el tejón es atropellado principalmente en carreteras nacionales (106 de los 132 atropellos de la especie; $p < 0,001$), lo que coincide con el patrón detectado por otros autores, en el que las carreteras con calzada ancha, altas cargas de tráfico y alta velocidad de circulación permitida (autopistas y autovías) actúan a modo de barrera para los mamíferos (RILEY y cols., 2006; GRILO y cols., 2009), disuadiendo a los tejones de cruzar grandes carreteras (CLARKE y cols., 1998; BEKKER y DEKKER, 2009).

En relación con la garduña, a pesar de que se considera como una especie generalista que utiliza una amplia gama de hábitats y alimentos, un modelo desarrollado por SANTOS-REIS y cols. (2004) refleja que las preferencias de hábitat de la especie son i) masas forestales dominadas por alcornoques, ii) matorrales y iii) sotos fluviales. Sin embargo, estas preferencias de hábitat no son suficientes para establecer una relación entre la distribución de la especie y los atropellos detectados. La distribución espacial de los atropellos de garduña en Aragón muestra una clara

relación con las carreteras nacionales y autonómicas (al igual que en el caso del tejón), detectándose en ellas 65 de los 80 atropellos de la especie (81,2%; $p < 0,001$).

Teniendo en cuenta el número de individuos detectados atropellados por año (tejón: 37 en 2012, 46 en 2013 y 49 en 2014; y garduña: 36 en 2012, 25 en 2013 y 19 en 2014) es muy posible que la dinámica poblacional de dichas especies pueda verse afectada. Lo que estaría de acuerdo con otras investigaciones en donde se afirma que los atropellos suponen una reducción significativa de las poblaciones afectadas llegando a provocar incluso la extinción local de algunas especies (SEILER y FOLKESON, 2006; FAHRIG y RYTWINSKI, 2009). No obstante, otros autores consideran que ninguna de las especies de mamíferos atropellados con mayor frecuencia presenta tasas lo suficientemente elevadas como para afectar al tamaño poblacional, suponiendo únicamente una seria amenaza para aquellas especies recogidas en catálogos y listas rojas nacionales (COLINO, 2011). En definitiva, la mortalidad por atropello es una mortalidad añadida a la producida por otras causas y, por tanto, disminuir esta presión mejorará la conservación de las poblaciones de dichas especies.

Otras especies como la nutria, la gineta y la ardilla roja también presentan una alta incidencia de atropello (tabla 1). La nutria presenta una amplia movilidad, generalmente de decenas de kilómetros (CLAVERO y cols., 2003), lo que junto con el incremento de sus poblaciones (RUIZ-OLMO, 2007) ha derivado en un alto número de atropellos. DELIBES (1990) detectó seis nutrias atropelladas en Aragón (1975-1990), número reducido en comparación con el detectado en este artículo. Quince de los 30 atropellos de nutria se detectaron en la provincia de Huesca (fig. 2), coincidiendo con el área de recuperación poblacional de la especie.

Estudios sobre la gineta en España (PÉREZ-GARCÍA, 2007; PALAZÓN y RAFART, 2010) indican que esta especie no utiliza la red viaria como área de alimentación ni carroñeo (PMVC, 2003), por lo que los casos de atropello detectados pueden deberse a la movilidad de la especie y, por tanto, podrían haber sido evitados con la implantación de pasos de fauna. Igual sucede con la ardilla roja, especie que presenta frecuentes cruces de pistas en zonas forestales con ambientes boscosos, hecho constatado en la A-1514 en el municipio turolense de Manzanera (5 atropellos), y en áreas periurbanas

donde existen poblaciones asentadas (TENÉS y cols., 2007), como es el caso de Jaca (3 atropellos).

Temporalidad de los atropellos

El mes con mayor incidencia de atropellos fue marzo (fig. 3), pero diversos autores señalan los meses de mayo, junio y julio como los de mayor incidencia para los mamíferos, asociando la alta mortalidad en las carreteras con los periodos de cría y dispersión juvenil de las especies (GRILO y cols., 2009; GARRIGA y cols., 2017), aunque cabe resaltar que dichos estudios incluyen un alto número de especies cinegéticas que presentan altas tasas de atropello. En Aragón, se identificó un ligero incremento de la incidencia de atropellos de mamíferos (muy inferior al detectado en marzo) en el mes de mayo y en los de agosto y septiembre asociado, posiblemente, al periodo de cría y celo de los mamíferos.

En todos los meses del año se detectaron atropellos de tejón, mamífero con mayor incidencia de atropello, siendo marzo el mes más crítico (26 casos). Diversos estudios señalan el mes de marzo como un periodo vulnerable para los machos debido al aumento de las actividades de vagabundeo de los individuos, comportamiento que se puede relacionar con la alta incidencia de atropello detectada en Aragón (PMVC, 2003). Por el contrario, la mortalidad por atropello de las hembras es mayor tras la gestación y amantamiento de las crías, cuando estas incrementan su actividad y exposición al tráfico hasta conseguir la independencia de la camada (GROOT BRUINDERINK y HAZEBROEK, 1996; SEILER, 2003). La muerte de las hembras lactantes probablemente implica la muerte de sus cachorros, resultando ser un periodo crítico para la supervivencia de la camada (SEILER, 2003). GRILO y cols. (2009) afirman que los atropellos de tejón son más habituales en los primeros meses del año, detectándose en marzo el 24% de los atropellos, cifra similar al 20% obtenido en Aragón. Entre marzo y agosto, periodo de celo del tejón, se localizaron en Aragón el 57% de los atropellos de la especie, valor claramente inferior al identificado por otros autores (82%; PMVC, 2003). A pesar de la reducción de la actividad de los tejones durante el invierno, se constató entre los meses de noviembre y febrero el 25% de los atropellos, cifra muy superior al 6% identificado por PMVC (2003) en concordancia con diversos estudios sobre el tejón realizados en Reino Unido

(SKINNER y cols., 1991). El patrón temporal de atropellos de tejón se corresponde con el detectado por CLARKE y cols. (1998) con un notable incremento de la mortalidad en invierno / primavera (enero-marzo), un menor incremento en verano / otoño (julio-septiembre) y un descenso de la mortalidad en otoño / invierno (octubre-diciembre).

En el caso concreto de la garduña, el periodo más vulnerable para los individuos adultos coincide con la fase de alimentación de las crías, cuando los padres (que solo se unen en el periodo de celo, el resto del tiempo son animales solitarios) visitan la camada de forma reiterada hasta diez veces por noche (GRILO y cols., 2009). La mortalidad de hembras es particularmente crítica durante este periodo, ya que los cachorros dependen totalmente de su madre (BLANCO, 1998). En el periodo de celo se detectó el 27% de los atropellos, siendo agosto el mes más vulnerable de todo el año (13 casos). La primavera y el verano son estaciones con una alta mortalidad para la garduña (61%) y a partir de septiembre se produce un descenso gradual del número de atropellos, siendo noviembre y diciembre los meses con menor incidencia para la especie, detectándose en las estaciones de otoño e invierno el 39% de los atropellos.

En el caso de la nutria, cruzan las carreteras con frecuencia al no poder seguir el cauce del río, lo cual obliga a los ejemplares a subir hasta el nivel de la calzada y atravesarla. Es habitual que los machos frecuenten la carretera (sobre todo en invierno y primavera) cuando se encuentran en búsqueda de pareja y, por este motivo, se trasladan de un río a otro o recorren continuamente su área de campeo (PMVC, 2003). En Aragón, el 66% de los atropellos de nutria se detectó en invierno y primavera, siendo febrero el mes que presentó mayor incidencia para la especie (5 atropellos). En verano / otoño se detectaron 10 atropellos (33%) y los únicos meses en los que no se detectó ningún atropello a lo largo del año fueron julio y septiembre. Por el contrario, la gineta no parece ser más vulnerable a los atropellos en ningún periodo fenológico concreto de su ciclo de vida, probablemente debido a que no tiene un periodo de reproducción restringido como otras especies (GRILO y cols., 2009). En el caso de la ardilla roja, el 55% de los atropellos (15 casos) se ha detectado durante el periodo reproductor de la especie, comprendido entre los meses de enero y julio (PURROY, 2007).

Distribución espacial de los atropellos y puntos negros en Aragón

Los puntos negros de mamíferos se distribuyen de forma heterogénea en el espacio, probablemente debido a la amplia movilidad terrestre de este grupo taxonómico, concentrándose dos tercios de ellos en la provincia de Zaragoza y el tercio restante en la de Huesca. Estos resultados son similares a los detectados por SÁENZ DE SANTA MARÍA y TELLERÍA (2015), quienes reportan un bajo número de atropellos anuales para Teruel. Sin embargo, sus resultados indican que la provincia de Huesca tiene mayor tasa de atropellos que la de Zaragoza, aunque bien es cierto que dicho estudio incluye animales cinegéticos y que su tasa de atropellos en la provincia de Huesca es alta debido a la diversidad de ecosistemas que ofrecen los Pirineos, las sierras prepirenaicas y la extensa red fluvial. Nuestros resultados indican una mayor presencia de puntos negros en la provincia de Zaragoza, aunque cabe resaltar que dichos puntos se corresponden geográficamente con zonas con una alta presencia de Agentes para la Protección de la Naturaleza, y, por tanto, podría tratarse de áreas con un muestreo mucho más detallado que el del resto del territorio aragonés.

A pesar de que el tejón y la garduña son las especies de mamíferos más vulnerables a los atropellos (73%), el erizo europeo se ha mostrado como la especie con mayor incidencia en el punto negro para mamíferos de la ciudad de Zaragoza (cuadrícula L17; fig. 4). En España, no se considera que el erizo europeo tenga problemas de conservación, excepto en áreas periurbanas como consecuencia de los atropellos y otras causas que pueden amenazar a poblaciones debilitadas (HUIJSER, 1999; CAHILL y cols., 2011), como podría ser el caso de Zaragoza. Por otra parte, resulta llamativo que la mitad de los puntos negros de la provincia de Zaragoza se asocien a tramos de autovía (fig. 4) cuando CLARKE y cols. (1998) y GRILO y cols. (2009) afirman que altos volúmenes de tráfico actúan como una barrera para los mamíferos. En los puntos negros ubicados en las autovías (G19, F20 y I21; fig. 4), las especies más afectadas fueron el tejón (13 atropellos) y la garduña (5 atropellos), siendo un resultado contradictorio al patrón general identificado, donde los atropellos de estas especies ocurren principalmente en carreteras nacionales y autonómicas; lo que llevaría a sospechar de la presencia de deficiencias en el vallado perimetral de estas vías o de altas densidades de estos mamíferos en las proximidades de esos puntos negros.

Determinar los puntos de la red viaria donde la incidencia de atropello es mayor resulta imprescindible para implementar medidas de gestión que permitan reducir este factor de amenaza. Por tanto, las siguientes medidas de gestión se proponen para los nueve puntos negros detectados y, especialmente, para las especies con mayor incidencia de atropello.

Recomendaciones de gestión

1. Teniendo en cuenta que nuestros resultados parten de una base de datos y no de un muestreo *in situ*, se recomienda realizar un seguimiento de los atropellos en los puntos negros detectados antes de realizar cualquier tipo de gestión, con el fin de corroborar la intensidad de los atropellos en estos.

2. Se recomienda retirar del firme de la calzada, de los arcenes y de las cunetas, con la mayor celeridad posible, los cadáveres de animales atropellados, evitando así el posible efecto llamada de especies carroñeras / oportunistas.

3. Con el fin de reducir la incidencia de atropello del tejón, se recomienda instalar un vallado perimetral que impida el paso de mamíferos a la red viaria en cada uno de los nueve puntos negros para mamíferos identificados y en la A-1512 desde Caudé hasta Albarracín (provincia de Teruel), así como situar pasos subterráneos (perpendiculares a la infraestructura) cada 200-400 metros en dichos puntos y vías. En cuanto al diseño del vallado y de los pasos subterráneos, se deberían seguir las recomendaciones técnicas de IUELL y cols. (2003) y del MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2006). Se aconseja construir refugios (setos y arbustos) en los accesos a los pasos para orientar a los animales hacia la entrada y se propone realizar un seguimiento de la efectividad de los pasos de fauna a través de un control de huellas y rastros y el empleo de cámaras de fototrampeo. Esta infraestructura aumentará la conectividad entre poblaciones y evitará que otros vertebrados sean atropellados.

4. Para reducir la incidencia de atropello de la garduña, se recomienda llevar a cabo las medidas indicadas para el tejón en los puntos negros (fig. 4) y en las vías A-1234 desde Fraga hasta Monzón, A-1202 desde Santa Eulalia de Gállego hasta Fuencalderas y A-1503 desde Morés hasta Jarque, donde se ha detectado la mayor incidencia de atropellos de esta especie.

Estas medidas favorecerán la conservación de especies como el erizo europeo, la marta, la comadreja, la nutria, la gineta y el gato montés.

5. En el caso de la nutria, especie catalogada como SAH (Decreto 181/2005), se recomienda realizar censos demográficos y un muestreo *in situ* de los atropellos, con el objetivo de determinar si este factor puede estar amenazando la supervivencia de las poblaciones. En ese caso, se aconseja construir una red de pasos de fauna subterráneos, combinados con un cerramiento perimetral que guíe a los animales a la entrada, de características similares a los pasos de fauna expuestos anteriormente. La ubicación de esta red de pasos de nutria tendrá lugar en la comarca zaragozana de Cinco Villas donde se concentra el 23% de los atropellos de nutria, concretamente en el Pantanico del Vedado, el Lagunazo de Moncayuelo, y las estancas de Bolaso, Gancho, Sabinar, Castiliscar y Escorón.

6. Para asegurar la eficacia a largo plazo de los pasos inferiores de fauna, se recomienda realizar una inspección del drenaje, por lo menos seis veces al año, puesto que la inundación y acumulación de residuos en las entradas puede suponer un problema. Asimismo, la vegetación de las entradas de la estructura también requiere de un mantenimiento adecuado para evitar que cubra y obstaculice los accesos a los pasos. Para garantizar la eficacia de los cerramientos perimetrales, se recomienda comprobar el estado de los vallados con una periodicidad trimestral durante el primer año de su funcionamiento y, posteriormente, al menos una vez al año (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, 2006). Teniendo en cuenta que marzo fue un mes crítico para los mamíferos silvestres no cinegéticos, se aconseja realizar las operaciones de mantenimiento del vallado antes de este periodo.

7. Se recomienda diseñar una campaña de concienciación por una conducción precavida y respetuosa con la fauna. Además, se propone la instalación de señales de reducción de velocidad en cada uno de los nueve puntos negros detectados y en los espacios naturales protegidos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dirección General de Conservación del Medio Natural del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón la autorización al acceso y al uso de la información relativa a

ejemplares ingresados por causa de atropello en el Centro de Recuperación de Fauna Silvestre de La Alfranca. Especialmente a Manuel Alcántara, María Cortés, Chabier González, José Manuel Sánchez y Juan Fernández.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEKKER, H., y J. DEKKER (2009). Effectiveness of mitigation measures to reduce road mortality in The Netherlands: Badger, *Meles meles*. En P. J. Wagner, D. Nelson y E. Murray (eds.), *Proceedings of the 2009 International Conference on Ecology and Transportation*: 613-624. The Center. North Carolina State University (USA). Raleigh.
- BLANCO, J. C. (1998). *Mamíferos de España. Guía de campo*. Planeta. Barcelona. 464 pp.
- CAHILL, S., F. LLIMONA, A. TENÉS, S. CARLES y L. CABAÑEROS (2011). Radioseguimiento post recuperación de erizos europeos (*Erinaceus europaeus* Linnaeus, 1758) en el Parque Natural de la Sierra de Collserola (Barcelona). *Galemys*, 23: 63-72.
- CLARKE, G. P., P. C. L. WHITE y S. HARRIS (1998). Effects of roads on badger *Meles meles* populations in south-west England. *Biological Conservation*, 86: 117-124.
- CLAVERO, M., J. PRENDA y M. DELIBES (2003). Trophic diversity of the otter (*Lutra lutra* L.) in temperate and Mediterranean freshwater habitats. *Journal of Biogeography*, 30: 761-769.
- COLINO, V. J. (2011). *Contribuciones al análisis de mortalidad de vertebrados en carreteras*. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca. 503 pp.
- D'AMICO, M., J. ROMÁN, L. DE LOS REYES y E. REVILLA (2015). Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: Who, when and where. *Biological Conservation*, 191: 234-242.
- Decreto 181/2005, por el que se regula el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón. *BOA*, n.º 114, de 23 de septiembre de 2005: 11527-11532.
- DELIBES, M. (1990). *La nutria (Lutra lutra) en España*. ICONA (Serie Técnica). Madrid. 198 pp.
- FAHRIG, L., y T. RYTWINSKI (2009). Effects of roads on animal abundance: An empirical review and synthesis. *Ecology and Society*, 14: art. 21.
- GAGNON, J., R. SCHWEINSBURG y N. DODD (2007). Effects of roadway traffic on wild ungulates: a review of the literature and case study of Elk in Arizona. En L. Irwin, D. Nelson y K. P. McDermott (eds.), *Proceedings of the 2009 International Conference on Ecology and Transportation*: 449-458. The Center. North Carolina State University (USA). Raleigh.
- GARRIGA, N., M. FRANCH, X. SANTOS, A. MONTORI y G. A. LLORENTE (2017). Seasonal variation in vertebrate traffic casualties and its implications for mitigation measures. *Landscape and Urban Planning*, 157: 36-44.
- GRILO, C., J. A. BISSONETTE y M. SANTOS-REIS (2009). Spatial-temporal patterns in Mediterranean carnivore road casualties: Consequences for mitigation. *Biological Conservation*, 142: 301-313.

- GROOT BRUINDERINK, G. W. T. A., y E. HAZEBROEK (1996). Ungulate Traffic Collisions in Europe. *Conservation Biology*, 10: 1059-1067.
- GUNSON, K. E., G. MOUNTRAKIS y L. J. QUACKENBUSH. (2010). Spatial wildlife-vehicle collision models: A review of current work and its application to transportation mitigation projects. *Journal of Environmental Management*, 92: 1074-1082.
- HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER y P. D. RYAN (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1): 1-9.
- HUIJSER, M.P. (1999). Human impact on populations of hedgehogs *Erinaceus europaeus* through traffic and changes in the landscape: A review. *Lutra*, 42: 39-56.
- IUELL, B., G. J. BEKKER, R. CUPERUS, J. DUFEK, G. FRY, C. HICKS, V. HLAVÁČ, V. KELLER, C. ROSELL, T. SANGWINE, N. TØRSLØV y B. LE MAIRE WANDALL (2003). *Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. COST 341, Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure*. European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research. Bruselas. 172 pp.
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) (2013). *Identificación de áreas a desfragmentar para reducir los impactos de las infraestructuras lineales de transporte en la biodiversidad*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaría General Técnica (Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, 6). Madrid. 260 pp.
- MARTÍNEZ-FREIRÍA, F., y J. BRITO (2012). Quantification of road mortality for amphibians and reptiles in Hoces del Alto Ebro y Rudrón Natural Park in 2005. *Basic and Applied Herpetology*, 26: 7-16.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2014). *Anuario estadístico 2014. Capítulo 7: Carreteras*. Ministerio de Fomento. Madrid. 64 pp.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2006). *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente (Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, 1). Madrid. 108 pp.
- PALAZÓN, S., y E. RAFART (2010). Dieta de la gineta común *Genetta genetta* (Linnaeus, 1758) en los hábitats riparios de Navarra. *Galemys*, 22: 3-18.
- PÉREZ-GARCÍA, J. M. (2007). Apuntes sobre la dieta de la gineta *Genetta genetta* en el valle del Henares (Madrid). *Galemys*, 19: 13-21.
- PMVC (2003). *Proyecto de mortalidad de vertebrados en carreteras*. Sociedad para la Conservación de los Vertebrados (SCV) (Documento técnico de conservación, 4). Madrid. 350 pp.
- POKORNY, B. (2006). Roe deer-vehicle collisions in Slovenia: situation, mitigation strategy and countermeasures. *Veterinarski Archiv*, 76: 177-187.
- PURROY, F. J. (2007). *Sciurus vulgaris* (Linnaeus, 1758). *Ficha libro rojo*. En L. J. Palomo, J. Gisbert y J. C. Blanco (eds.), *Atlas y libro rojo de los mamíferos terrestres de España*: 378-380. Dirección General para la Biodiversidad-SECEM-SECEMU. Madrid.

- RACC (Real Automóvil Club de Cataluña) (2011). *Accidentes de tráfico con animales. Análisis de la situación a nivel europeo y español*. 76 pp.
- RILEY, S. P. D., J. P. POLLINGER, R. M. SAUVAJOT, E. C. YORK, C. BROMLEY, T. K. FULLER y R. K. WAYNE (2006). A southern California freeway is a physical and social barrier to gene flow in carnivores. *Molecular Ecology*, 15: 1733-1741.
- RUIZ-CAPILLAS, P., C. MATA y J. E. MALO (2015). How many rodents die on the road? Biological and methodological implications from a small mammals' roadkill assessment on a Spanish motorway. *Ecological Research*, 30: 417-427.
- RUIZ-OLMO, J. (2007). *Lutra lutra* (Linnaeus, 1758). *Ficha libro rojo*. En L. J. Palomo, J. Gisbert y J. C. Blanco (eds.), *Atlas y libro rojo de los mamíferos terrestres de España*: 312-314. Dirección General para la Biodiversidad-SECEM-SECEMU. Madrid.
- SÁENZ DE SANTA MARÍA, A., y J. L. TELLERÍA (2015). Wildlife-vehicle collisions in Spain. *European Journal of Wildlife Research*, 61: 399-406.
- SANTOS-REIS, M., M. J. SANTOS, S. LOURENÇO, T. MARQUES, I. PEREIRA y B. PINTO (2004). Relationships between stone martens, genets and cork oak woodlands in Portugal. En D. J. Harrison, A. K. Fuller y G. Proulx (eds.), *Martens and Fishers in Human-Altered Environments*: 312-314. Springer. Nueva York.
- SEILER, A. (2003). *The toll of the automobile: Wildlife and roads in Sweden*. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. 48 pp.
- SEILER, A., y FOLKESON, L. (2006). *Habitat fragmentation due to transportation infrastructure. COST 341 national state-of-the-art report Sweden*. Grimsö and Linköping. 146 pp.
- SHEPARD, D. B., A. R. KUNHS, M. J. DRESLIK y C. A. PHILLIPS (2008). Roads as barriers to animal movement in fragmented landscapes. *Animal Conservation*, 11: 288-296.
- SKINNER, C., P. SKINNER y S. HARRIS (1991). The past history and recent decline of badgers *Meles meles* in Essex: An analysis of some of the contributory factors. *Mammal Review*, 21: 67-80.
- TENÉS, A., S. CAHILL, F. LLIMONA y F. MOLINA (2007). Atropellos de mamíferos y tráfico en la red viaria de un espacio natural en el área metropolitana de Barcelona: quince años de seguimiento en el parque de Collserola. *Galemys*, 19: 169-188.
- VAN DER REE, R., J. JAEGER, E. A. VAN DER GRIFT y A. P. CLEVINGER (2011). Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving toward larger scales. *Ecology and Society*, 16: art. 48.

**APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
EN EL ANÁLISIS DE LOS PATRONES DE VEGETACIÓN
EN FUNCIÓN DE CONDICIONES ECOLÓGICAS DE DISTRIBUCIÓN
EN LADERAS EXPERIMENTALES**

Antonio GALLEGOS¹
Jesús DELGADO¹

RESUMEN.— Los sistemas de información geográfica (SIG) y las bases de datos son instrumentos con gran potencialidad de uso para el estudio de la vegetación y su distribución en el territorio. Hemos llevado a cabo una metodología para analizar los patrones de vegetación (distribución de especies vegetales) en función de las condiciones ecológicas de su localización (pendiente, pH, conductividad hidráulica no saturada, agua útil y textura según el porcentaje en arcillas y arenas), con el fin de constatar las correlaciones existentes entre especies y condiciones ecológicas. Este tipo de análisis presenta una variada posibilidad de aplicación según la escala de trabajo y las variables ecológicas seleccionadas, y puede servir de instrumento para la toma de decisiones en el campo de la planificación territorial o de la conservación del medio ambiente.

ABSTRACT.— Geographic information systems (GIS) and data bases open up a range of potential use opportunities in the study of vegetation and its distribution over the territory. We have carried out a methodological research to analyse the vegetation patterns (vegetal species distribution)

Recepción del original: 28-10-2016

¹ Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Málaga. Campus Universitario de Teatinos, s/n. E-29071 MÁLAGA. a.gallegos@uma.es, jdeldgado@uma.es

based on the ecological conditions in their respective location (slope, pH, unsaturated hydraulic conductivity, useful water, and texture according to percentage in clays and sands), in order to identify the correlations between species and ecological conditions. This type of analysis suggests a wide range of application opportunities depending upon the scale of work and ecological variables. They can also be decision-making tools in the field of land-use planning or environment conservation.

KEY WORDS.— Geographic information system (GIS), vegetation quantitative analysis, vegetation pattern, ecological condition distribution.

INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de este artículo es aplicar un sistema de información geográfica en el análisis de los patrones de vegetación en función de las condiciones ecológicas de distribución en laderas experimentales. Es decir, conseguir un método a través del cual podamos analizar de qué forma una serie de condiciones ecológicas seleccionadas determinan la distribución de las especies vegetales.

Las condiciones ecológicas seleccionadas son determinadas propiedades hidrodinámicas junto con la pendiente de la ladera. Estas propiedades han sido relacionadas con la distribución de las especies de vegetación. El objetivo es buscar la correlación entre dichas propiedades y las condiciones de ubicación, si bien este artículo se centra en su aspecto más metodológico, dado que la parcela de experimentación elegida, con apenas 360 m² de superficie, puede resultar insuficiente para conseguir las correlaciones esperadas. En este sentido, en función de la disponibilidad de datos y de la línea de investigación seguida, se podría aplicar la metodología en una superficie experimental mayor.

CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

La parcela experimental tiene una longitud de 102 metros, desde el interfluvio, en la parte alta, hasta el *talweg*, en el fondo del valle, y una anchura de 5 metros. No obstante, solo trabajaremos con los 72 metros de la parte superior, dado que en las proximidades del *talweg*, el roquedo aflora y el suelo es prácticamente inexistente.

Se localiza en las estribaciones nororientales de la unidad natural de los Montes de Málaga, en la provincia de Málaga (España), y a unos 16 kilómetros al nornoroeste de la capital. Esta unidad forma parte de las alineaciones montañosas de las Cordilleras Béticas en el sur de Andalucía. Más concretamente, esta parcela se sitúa en la cabecera de la cañada de Trevenes, uno de los tributarios del arroyo Solano, que a su vez desemboca en el río Benamargosa, a unos 6,5 kilómetro al sur de la localidad de Colmenar.

La morfología que presenta es la existente en el conjunto de la unidad de los Montes de Málaga, caracterizada por una topografía muy compartimentada, configurada por una densa red dendrítica de arroyos y cañadas, que modelan vertientes de mayor pendiente en los tramos bajos y coronadas por lomas convexas de formas redondeadas. Los materiales predominantes son filitas del Precámbrico – Silúrico, pertenecientes al Maláguide, el manto de corrimiento más superficial de los que conforman las Unidades Internas de las Béticas.

Esta zona presenta un clima típicamente mediterráneo, con una marcada sequía estival y una mayor época de lluvias en invierno con respecto a las precipitaciones, y unas temperaturas medias que marcan unos inviernos suaves y unos veranos no excesivamente calurosos. Según los datos de la estación meteorológica más cercana, situada en Colmenar, a 680 metros de altitud, la precipitación media anual asciende a 831,5 milímetros y la temperatura media anual es de 13,25 °C. El periodo donde se concentran las lluvias es el comprendido entre los meses de noviembre y febrero, con los máximos pluviométricos localizados en noviembre (124,9 milímetros) y diciembre (114,6 milímetros).

La vegetación actual corresponde a un matorral mediterráneo con diferentes grados de cobertura y densidad a lo largo de toda la parcela, y que en ningún caso sobrepasa el metro o metro y medio de altura. Atendiendo a la sectorización biogeográfica, es una zona localizada en el Distrito Axarquien- se del Sector Malacitano – Axarquien- se de la Provincia Bética (Región Mediterránea). La vegetación climácica correspondería a un bosque de encinar climatófilo mesomediterráneo perteneciente a la asociación *Paeo- nio coriaceae – Querceto rotundifoliae* (Serie mesomediterránea, Bética, Mariánico – Monchiquense, (seca) subhúmeda (húmeda), basófila de la encina (*Quercus rotundifolia*). Según NIETO CALDERA y cols. (1998), estos

encinares mediterráneos se caracterizan por la presencia de *Paeonia broteroii* y *Paeonia coriacea*, acompañados frecuentemente por *Rosa canina*, *Lonicera etrusca*, *Lonicera implexa*, *Clematis flammula*, *Daphne gnidium*, *Aristolochia longa* y *Quercus faginea*. Cuando el suelo es menos profundo, como es el caso de nuestra parcela experimental, las especies características del primer estadio de sustitución, y que conforman una vegetación tipo matorral, son *Quercus coccifera*, *Crataegus monogyna*, *Calicotome villosa*, *Asparagus albus*, *Rhamnus oleoides*, *Retama sphaerocarpa*, etcétera. En el matorral bajo (romerales y tomillares), el más característico de nuestra zona de estudio, aparecen *Rosmarinus officinalis*, *Phlomis purpurea*, *Genista umbellata*, *Ulex parviflorus*, *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Thymra capitata*, *Teucrium lusitanicum*, *Sideritis hirsuta*, *Satureja graeca*, *Asperula hirsuta*, etcétera.

La orientación de la parcela de experimentación es sur, localizándose a una altitud de 760 msnm. La pendiente media se sitúa en torno al 51%. No obstante, no es homogénea, presentando el modelado típico de las laderas de los Montes de Málaga, de cumbres convexas, suaves en el primer tramo y más acusada a medida que vamos descendiendo en altura.

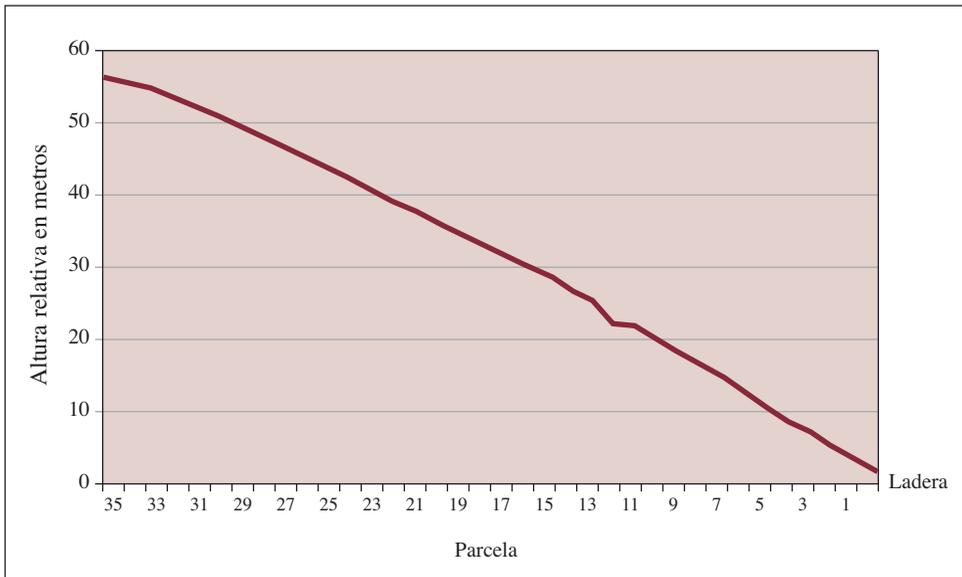


Fig. 1. Perfil de la ladera.

Estas diferencias en la pendiente también tienen su reflejo en la distribución general de la vegetación, que en una primera aproximación quedaría como sigue:

- En la zona superior (75 – 102 metros), coincidiendo con una menor pendiente (37%) y unas propiedades edáficas favorables (mayor profundidad, mayor contenido en materia orgánica, mayor presencia de agua útil, pH neutro, etcétera), encontramos una mayor presencia de la vegetación, tanto en altura como en extensión. La cobertura total ronda el 69% de la superficie, superando gran número de individuos el metro y medio de altura. Las especies predominantes son *Ulex baeticus* y *Cistus albidus*, siendo también frecuentes *Cistus monspeliensis* e *Inula viscosa*. También aparecen *Lavandula stoechas* y *Daphne gnidium*.
- En la zona media (30 – 75 metros), de mayor pendiente (52%) y suelos de menor profundidad, la presencia de la vegetación desciende, tanto en cobertura como en porte, desapareciendo especies como *Ulex baeticus* o *Cistus monspeliensis*. Predominan dos nuevas especies, la *Genista umbellata* y el *Phlomis purpurea*, y también son muy abundantes los individuos de *Daphne gnidium* e *Inula viscosa*, siendo esta última una especie claramente ruderal. Aparecen con escaso porte individuos de *Lavandula stoechas*, *Thymra capitata* y *Cistus albidus*. Hay que señalar la presencia, en la parte baja, de un individuo de *Retama sphaerocarpa*, con un porte superior a los 3 metros. Corresponde, fisiográficamente, con la zona de transferencia hidrológica, empezando a aflorar el material parental, por lo que la relación con el sustrato empieza a ser importante.
- En la zona inferior (hasta 30 metros), la vegetación es mucho más exigua, debido a una mayor pendiente (en torno al 62%), pedregosidad y rocosidad de la vertiente. La especie más abundante es la *Genista umbellata*, seguida por la *Inula viscosa*, y algunos individuos de *Lavandula stoechas*. El factor determinante aquí es el sustrato, con el afloramiento continuo de la roca madre y la práctica inexistencia de suelos.

MATERIAL Y MÉTODO

La metodología aquí desarrollada se ha aplicado en este caso concreto a una escala grande, lo que exige un registro de la vegetación muy detallado, prácticamente individuo a individuo. Así, partiendo de la escala 1 : 1 en el campo, luego se ha digitalizado a escala 1 : 25, y se han representado los resultados a escala 1 : 500. También sería posible llevar a cabo una aplicación a escalas más pequeñas, lo que significaría un mayor esfuerzo y una mayor densidad de muestreo de los condicionamientos ecológicos requeridos. En contrapartida, sería necesaria una mayor generalidad en el registro de la vegetación, bien sea por teselas o bien por formaciones vegetales. La escala de trabajo dependerá de las finalidades del estudio que realizar.

En nuestro caso, hemos tomado 27 puntos de muestreo en la parcela experimental, separados regularmente en tres columnas de nueve filas, de los que hemos obtenido muestras de suelo a las que se han realizado diversos análisis, tales como textura, agua útil, conductividad hidráulica o pH. Asimismo, hemos fotografiado y digitalizado la vegetación de dicha ladera, de modo que disponemos de una valiosa información, puesto que sabemos de la existencia de correlación espacial entre la vegetación y las propiedades hidrodinámicas y geomorfológicas de la parcela. Tal correlación es la que buscamos expresar cuantitativamente.

En un primer momento se marcaron la parcela y los puntos de muestreo, separados regularmente, mediante grandes clavos y pintura. De tales puntos de muestreo se obtuvieron muestras de suelo, con y sin estructura, que luego fueron analizadas en laboratorio hasta obtener cada una de las propiedades hidrodinámicas. La única propiedad no hidrodinámica, la pendiente, la hallamos a partir de un levantamiento topográfico de la ladera.

Asimismo, dicha parcela fue fotografiada, usando para ello una cámara digital situada sobre una estructura metálica a 4,50 metros de altura, obteniendo, de este modo, fotografías de alta resolución idóneas para llevar a cabo su fotointerpretación y digitalización.

La fotointerpretación de las imágenes fue realizada atendiendo a la especie de cada individuo de vegetación, y se rectificaron y digitalizaron mediante *software* CAD. Esta digitalización se importó en ArcGis, donde fue completada la información de la tabla de datos con la inclusión de la superficie ocupada por cada registro o individuo de vegetación.

Una vez obtenido el mapa de vegetación, realizamos los mapas de cada una de las propiedades hidrodinámicas y geomorfológicas consideradas:

- pH (indicador de la acidez o basicidad del suelo).
- Conductividad hidráulica no saturada (capacidad del suelo para transferir agua por la zona no saturada).
- Conductividad hidráulica saturada (capacidad del suelo para transferir agua cuando está en estado saturado, con todo el sistema poroso lleno de agua).
- Agua útil (agua disponible para uso de las plantas).
- Textura: porcentaje de arcillas.
- Textura: porcentaje de arenas.
- Humedad del suelo.
- Estabilidad estructural: la resistencia a la rotura de los agregados del suelo que conforman la estructura edáfica.

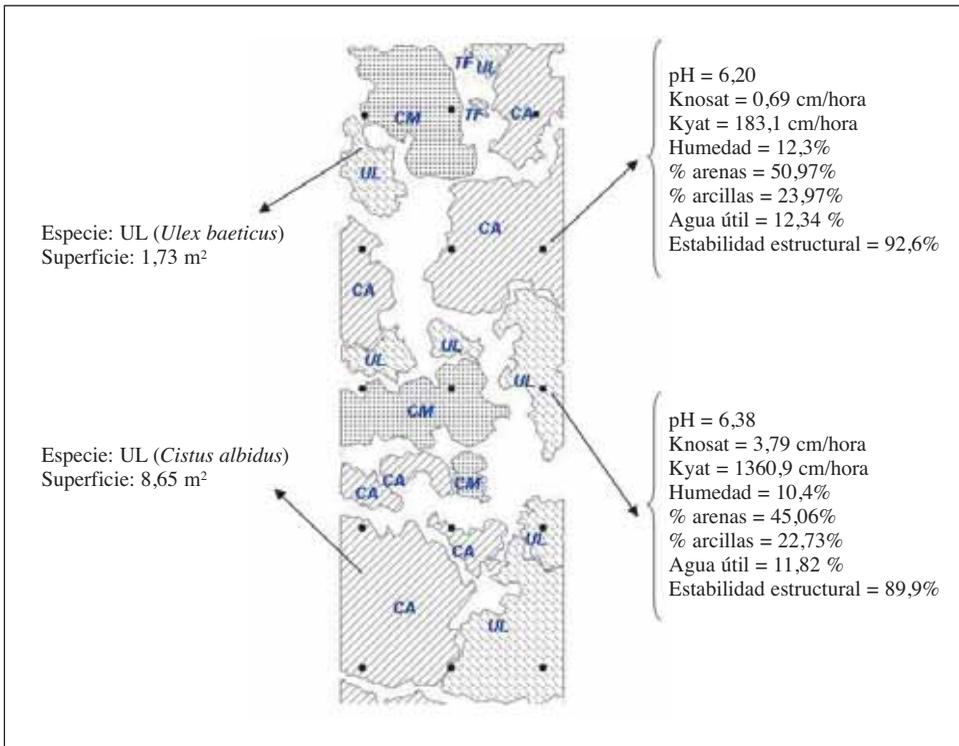


Fig. 2. Extracto del mapa de vegetación, con información de especie y superficie (capa 1) y la malla con los puntos de toma de datos, que contiene información de las propiedades (capa 2).

- Pendiente del terreno, obtenida a partir de un levantamiento topográfico de la parcela.

Tales mapas de propiedades los realizamos mediante la extensión “Spatial Analyst” de ArcGis. En primer lugar, elaboramos una malla de puntos, coincidente espacialmente con los puntos de toma de muestras. En Excel realizamos la tabla de datos con los valores de cada propiedad en cada punto, y luego unimos (“join”) la tabla de datos de la malla y esta tabla exportada de Excel.

Para cada una de las propiedades, interpolamos el valor de los distintos puntos para la totalidad de la superficie, reclasificando posteriormente en nueve intervalos, obteniendo de tal modo una graduación de la mayor o menor representación de cada propiedad en la parcela (véase fig. 10).

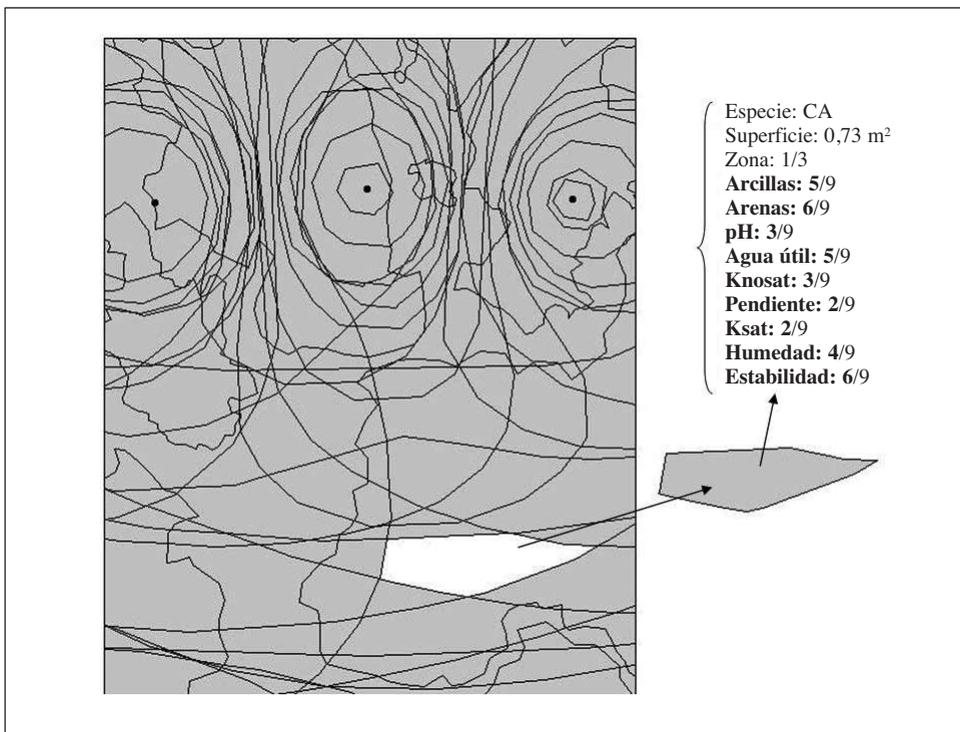


Fig. 3. Extracto del mapa resultante de los cruces, con valores homogéneos. Las variables en negrita son las propiedades, y cada valor es la clasificación de 1 a 9 en función de la mayor o menor representatividad de esa variable en ese registro.

El siguiente paso fue unir en un solo archivo de formas todas las propiedades, y unir asimismo este archivo con el mapa de vegetación. Dicha unión se realizó con la orden “union” de Geoprocessing Wizard (“Tools”) de manera individual capa a capa hasta tenerlas todas en el mismo fichero de formas. Como resultado, obtenemos un cruce de polígonos donde cada registro es absolutamente homogéneo, esto es, tiene las mismas características de tipo de vegetación, y de todas y cada una de las propiedades.

Hasta aquí llega el tratamiento mediante SIG, pasando a continuación al tratamiento estadístico, para lo cual usamos Access, que nos permitió extraer consultas con el porcentaje de superficie para cada intervalo de una determinada propiedad y especie (tabla 1).

Tabla 1. Ejemplo consulta-resumen para la variable “agua útil” y las especies *Cistus albidus* (CA) y *Cistus monspeliensis* (CM).

Especie	Intervalo (representatividad de esa propiedad)	Superficie (m ²)	Porcentaje	Histograma de frecuencias
CA	Total	34,92	100,00	<p>Pendiente de la línea de regresión: 2,75</p>
	1	–	–	
	2	–	–	
	3	3,08	8,82	
	4	4,01	11,48	
	5	3,78	10,82	
	6	1,21	3,47	
	7	2,75	7,88	
	8	19,20	54,98	
	9	0,89	2,55	
CM	Total	14,79	100,00	<p>Pendiente de la línea de regresión: 1,94</p>
	1	–	–	
	2	–	–	
	3	4,97	33,60	
	4	–	–	
	5	–	–	
	6	–	–	
	7	2,29	15,48	
	8	7,53	50,91	
	9	–	–	

Con este porcentaje de representatividad de cada intervalo podemos realizar el *histograma de frecuencias* para cada especie y propiedad determinada (fig. 4).

Así, a raíz del histograma de frecuencias, obtenemos una representación gráfica de la correlación que existe entre esa propiedad y esa especie determinada. Esto es, para propiedades y especies altamente relacionadas, los valores altos (próximos a 9) del histograma tendrán mayor representación. Asimismo, para propiedades y especies relacionadas de manera inversa (es decir, especies que aparecen donde hay valores bajos de esa propiedad), los valores más representativos del histograma serán los bajos, o próximos a 1.

Esto se puede cuantificar realizando la *línea de tendencia o de regresión* de ese histograma, y hallando seguidamente la *pendiente* de esta línea de tendencia (fig. 5). De tal modo, el signo y el valor de la pendiente indica la mayor o menor relación existente entre una determinada propiedad y una determinada especie.

Así, una *pendiente positiva* indica una correlación positiva entre la propiedad y la especie. Es decir, esa especie aparece preferentemente donde encontramos mayor representación de esa propiedad. Cuanto más alto sea el valor de la pendiente, más acusada es la correlación (fig. 6), y de modo

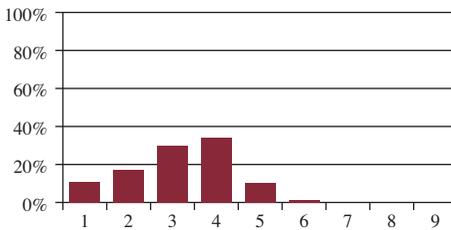


Fig. 4.

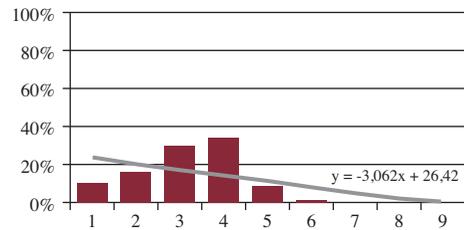


Fig. 5.

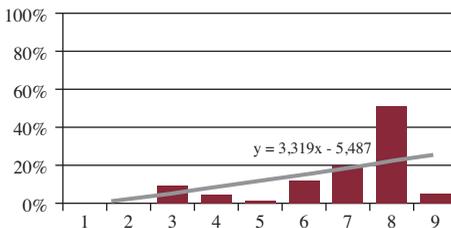


Fig. 6.

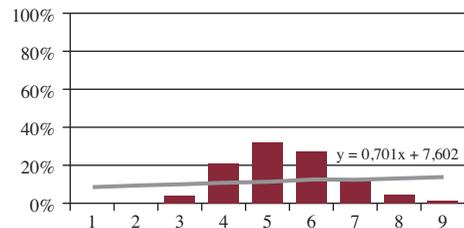


Fig. 7.

análogo, un valor próximo a cero indica una correlación muy baja o inexistente (fig. 7).

Por otro lado, una *pendiente negativa* nos muestra una correlación negativa entre la propiedad del suelo y la especie, esto es, que esa especie aparece preferentemente donde los valores de esa propiedad son bajos. De igual modo, una pendiente negativa alta indica una correlación negativa alta (fig. 8), y una pendiente negativa próxima a cero indica una correlación muy débil o inexistente (fig. 9).

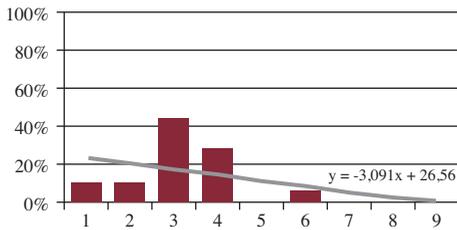


Fig. 8.

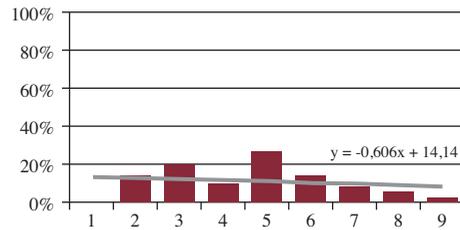


Fig. 9.

La relación existente entre la pendiente de los histogramas de frecuencia y la aparición de las diferentes especies quedaría resumida en la tabla II.

Tabla II. Resumen de valores posibles para la pendiente.

<i>Pendiente positiva alta</i>	<i>Pendiente positiva baja</i>	<i>Pendiente próxima a cero</i>	<i>Pendiente negativa baja</i>	<i>Pendiente negativa alta</i>
A mayor representación de esa propiedad existe mayor tendencia a la aparición de esa especie		La correlación entre esa propiedad y esa especie es baja o irrelevante		A menor representación de esa propiedad existe mayor tendencia a la aparición de esa especie

RESULTADOS

El análisis fue establecido en dos etapas. Una primera, en la que comparamos todos los mapas elaborados (pendiente, pH, conductividad hidráulica no saturada, conductividad hidráulica saturada, estabilidad estructural, humedad, agua útil, contenido en arcillas y contenido en arenas) con el de la vegetación real, con el fin de establecer una primera aproximación sobre la relación existente entre estas características del suelo en nuestra parcela de

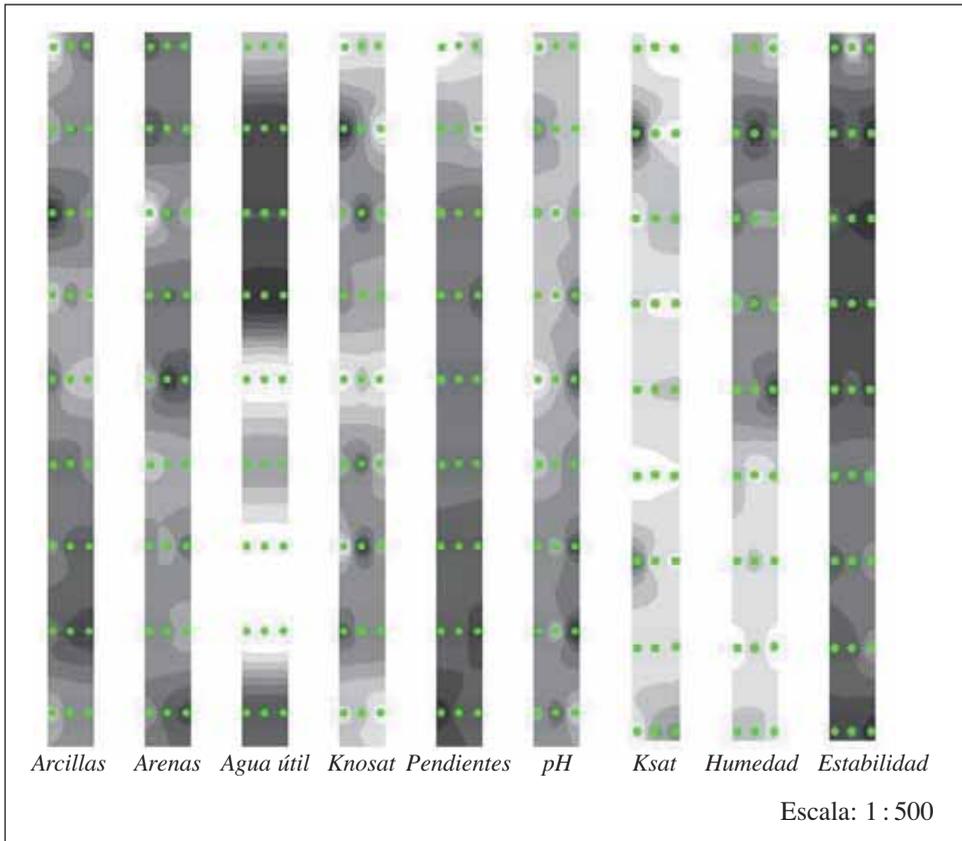


Fig. 10. Representación gradual de cada propiedad (los diferentes tonos de grises se corresponden con los nueve intervalos citados). Los puntos amarillos son los puntos de toma de datos.

estudio y las diferentes especies que están presentes en ella. Seguidamente, hemos desarrollado el análisis estadístico, utilizando herramientas informáticas, tal como hemos explicado en el apartado anterior, para obtener unos resultados más pormenorizados y cuantificados de aquellos.

Así, al hacer el análisis espacial comparativo de los diferentes mapas, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Existe una relación directa entre la pendiente y la vegetación, de tal modo que el tramo superior de la ladera, donde la pendiente es menor, encontramos un predominio de *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*

y *Ulex baeticus*. En el tramo medio, con una pendiente media, el terreno es colonizado por la *Genista umbellata* y la vegetación terófito, predominando la primera, y es ya en el tramo inferior, que coincide con una mayor pendiente, donde predominan las terófitas frente a la *Genista umbellata*, con menor presencia. También aparece en este tramo la *Retama sphaeocarpa*.

- Con respecto al pH, podemos encontrar una correlación similar al caso anterior, aunque no de forma tan clara. Así, en el tramo superior, con un pH inferior, predominan el *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Phlomis purpura* y *Ulex baeticus*. En el tramo medio, aparece en mayor grado la *Genista umbellata*, y en el tramo inferior, de mayor pH, las terófitas.
- Analizando la conductividad hidráulica no saturada, podemos encontrar una relación inversa a las anteriores, de tal modo que en aquellos lugares de menor valor predomina la vegetación terófito y la retama, encontrando el resto de especies en los tramos de valores medios y altos de conductividad hidráulica no saturada.
- Un resultado similar obtenemos del análisis de la conductividad hidráulica saturada, apareciendo los mayores valores en el tercio superior de la parcela, donde existe una mayor densidad vegetal, especialmente de individuos de *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis* y *Ulex baeticus*.
- Con respecto a la estabilidad estructural, existe una relación directa entre esta y la vegetación, coincidiendo con la mitad superior de la parcela las zonas de mayor estabilidad, y dentro de esta, la parte central. Así, en este tramo superior, predominan el *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Genista umbellata*, *Phlomis purpura* y *Ulex baeticus*.
- La zona de mayor humedad también coincide con la mitad superior de la parcela experimental, si bien en este caso las zonas de mayor humedad se encuentran en el tercio superior e inferior de la misma.
- En relación con el agua útil, también podemos ver una relación muy clara, de tal forma que las zonas de menor agua útil corresponden con la vegetación terófito; la *Genista umbellata* aparece tanto en zonas de agua útil alta como media, presentándose el *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Phlomis purpura* y *Ulex baeticus* en las zonas de mayor valor.

- Existe una relación negativa entre los contenidos de arcilla y arena en las distintas zonas de la parcela de estudio, es decir, que las zonas de menor contenido en arcillas son las zonas de mayor contenido en arenas, y viceversa. Es difícil marcar a simple vista una relación entre esta cualidad y la presencia de las especies vegetales analizadas.

Tras esta primera aproximación podemos afirmar que, si bien no podemos establecer *a priori* y en detalle el grado de relación entre las diferentes características estudiadas y las diferentes especies vegetales existentes en la parcela experimental, sí que podemos hacer notar una marcada diferenciación entre las especies terófitas y las que no lo son, de tal modo que las primeras aprovechan los suelos de mayor pendiente y pH, y de menor conductividad hidráulica saturada y no saturada, humedad, estabilidad estructural de los suelos y agua útil, frente a las especies no terófitas, que parecen colonizar los suelos que ofrecen mejores condiciones. Es necesario, sin embargo, la utilización de las herramientas informáticas para conseguir un análisis más detallado de la cuestión. Aplicada la metodología expuesta en el apartado anterior, hemos obtenido una serie de gráficos donde aparece el porcentaje de superficie ocupada por cada una de las especies estudiadas (*Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Genista umbellata*, *Inula hirsuta*, *Lavandula stoechas*, *Phlomis purpurea*, *Retama sphaerocarpa*, *Ulex baeticus* y vegetación terófito) para cada uno de los intervalos en los que hemos dividido las propiedades ecológicas estudiadas (pendiente, pH, conductividad hidráulica saturada y no saturada, estabilidad estructural, humedad, agua útil y porcentaje en el suelo de arcillas y arenas). Como ya indicamos, para cada gráfico se ha hallado la pendiente de correlación entre cada propiedad y cada especie, elaborando una tabla (tabla III) como resumen de dichas correlaciones.

Haciendo un análisis de dicha tabla, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Con respecto a las pendientes, las especies que muestran una mayor correlación positiva con respecto a esta propiedad son *Retama sphaerocarpa* e *Inula hirsuta*, seguidas de la vegetación terófito y *Genista umbellata*, mientras *Ulex baeticus* y *Cistus monspeliensis* muestran una correlación negativa.

Tabla III. Correlaciones entre propiedades y especies vegetales.

	Agua útil	Knosat	pH	Arenas	Arcillas	Pendientes	Humedad	Ksat	Estabilidad
CA	2,75	-0,60	-2,72	0,70	0,82	-1,71	0,41	-3,68	3,57
CM	1,94	-1,77	-2,99	1,19	-0,48	-2,56	0,09	-4,06	2,65
GN	-0,78	-1,33	-1,38	0,00	0,43	2,15	-2,16	-4,83	3,32
IN	-5,67	-0,03	1,31	-0,58	3,08	3,37	-4,57	-4,86	2,09
LU	4,51	-0,24	-2,72	0,04	0,64	0,98	0,45	-3,42	5,25
PH	6,06	-0,58	-3,24	1,04	-1,05	1,67	-0,07	-5,03	5,01
RE	-1,68	-2,16	0,46	1,02	1,76	3,86	-5,03	-3,50	3,64
TF	-3,15	-1,80	-0,77	0,71	0,80	2,73	-2,79	-4,76	3,36
UL	3,33	-3,07	-3,20	1,50	-0,55	-3,09	0,97	-4,70	4,41

CA = *Cistus albidus*, CM = *Cistus monspeliensis*, GN = *Genista umbellata*, IN = *Inula hirsuta*, LU = *Lavandula stoechas*, PH = *Phlomis purpurea*, RE = *Retama sphaerocarpa*, TF = Vegetación terófito, UL = *Ulex baeticus*.

- Atendiendo al pH, es marcada la correlación negativa con esta propiedad para *Phlomis purpurea*, *Ulex baeticus*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus albidus* y *Lavandula stoechas*. Todas ellas son especies que parecen preferir suelos de pH medio o medio-bajo.
- Existe una correlación negativa muy marcada entre la humedad del suelo y cuatro tipos de vegetación: *Retama sphaerocarpa*, en primer lugar, seguida por *Inula hirsuta*, las plantas terófitas y *Genista umbellata*.
- Con respecto al agua útil existe una correlación positiva muy marcada entre esta propiedad y las especies de *Phlomis purpurea* y *Lavandula stoechas*, en primer lugar, y *Ulex baeticus* y *Cistus albidus* después. *Inula hirsuta* y la vegetación terófito presentan una correlación negativa.
- Atendiendo a la estabilidad estructural, existe una fuerte correlación positiva entre todas las especies presentes y dicha cualidad, destacando *Lavandula stoechas*, *Phlomis purpurea* y *Ulex baeticus*.
- En función de la conductividad hidráulica no saturada, todas las especies muestran una correlación negativa, teniendo un valor más marcado en dos de ellas: *Retama sphaerocarpa* y *Ulex baeticus*.

- La situación con respecto a la conductividad saturada es similar, si bien el valor negativo más extremo lo presenta *Phlomis purpurea*, seguido por *Inula hirsuta*, *Genista umbellata*, las especies terófitas o *Ulex baeticus*.
- Con respecto al contenido en arcillas y arenas, en ningún caso se aprecia un grado de correlación llamativo.

CONCLUSIONES

Hemos podido comprobar la utilidad de las herramientas informáticas relacionadas con el análisis espacial de las condiciones ecológicas del territorio con respecto a la vegetación. Los sistemas de información geográfica, junto con la posibilidad de manejar toda la información pareja en bases de datos, así como su tratamiento estadístico, ofrecen un amplio abanico de posibilidades a la hora de analizar los patrones de vegetación y su respuesta a las características del medio.

Permiten, por tanto, analizar con mayor profundidad y de manera automatizada, relaciones de difícil análisis visual, si bien, en contrapartida, exigen una importante exhaustividad a la hora de registrar los datos a analizar, tanto sobre las especies vegetales como sobre las condiciones ecológicas. Esa exhaustividad en los datos debe mantenerse a dos niveles, tanto a nivel cualitativo, es decir, que los datos sean correctamente registrados y medidos, como cuantitativo, o lo que es lo mismo, que sean tomados en la adecuada cantidad espacio-temporal como para que los resultados finales sean significativos. Todo ello supone, sin duda alguna, un destacado esfuerzo, de tal manera que una carencia en algunos de estos aspectos limitaría los resultados del análisis global.

Otro aspecto fundamental, y que no hemos tratado en este artículo, sería la finalidad del desarrollo de este tipo de análisis en la práctica geográfica. En función de las necesidades concretas del estudio, así como de la escala de trabajo, se escogerían unos datos ambientales u otros, así como una u otra forma de registrar la vegetación (por individuos, por tesselas, por asociaciones, por comunidades fitosociológicas, etcétera), lo que nos llevaría a un análisis determinado de relación de la vegetación con las condiciones ecológicas del medio, y que puede ser aplicado a diferentes

campos de estudio: determinación de las exigencias ecológicas de las especies vegetales para su posible utilización en programas de revegetación o reforestación, análisis de las condiciones de ubicación para especies endémicas, relación de especies vegetales con ciertas características de degradación del suelo en procesos de contaminación o erosión, etcétera, o bien, si utilizamos datos recogidos en una progresión temporal, analizar la dinámica de la vegetación con respecto a la evolución espacio-temporal de las condiciones ecológicas, como, por ejemplo, analizar la dinámica de retroceso de las especies en procesos de desertificación. Esta metodología tiene, por tanto, un valor especial para diferentes aspectos de la planificación territorial medioambiental, pudiendo servir como instrumento de apoyo para la toma de decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBANCHO, A. G. (1997). *Estadística elemental moderna*. Ariel. Barcelona.
- Guía para la elaboración de estudios del medio físico* (1995). Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- NIETO CALDERA, J. M., B. CABEZUDO, A. V. PÉREZ LATORRE, D. NAVAS, P. MAVAS y Y. GIL (1998). Apuntes para el estudio del paisaje vegetal de la provincia de Málaga. En *Itinerarios por espacios naturales de la provincia de Málaga*. SPICUM. Málaga.
- PEDRAZA GILSANZ, J., y cols. (1996). *Geomorfología, principios, métodos y aplicaciones*. Rueda. Madrid.
- PORTA, J., M. LÓPEZ-ACEVEDO y C. ROQUERO (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- RUIZ SINOGA, J. D., A. GALLEGOS REINA, J. J. DELGADO PEÑA, M. J. NOGUERA ROBLES, A. ROMERO LOPERA, J. MÁRQUEZ CARRERO, B. LUCAS SANTAMARÍA y J. F. MARTÍNEZ MURILLO (2003). Variabilidad de los procesos de generación de escorrentía en laderas bajo condiciones mediterráneas. *Baética*, 25: 279-311.
- RUIZ SINOGA, J. D., y cols. (2002). Métodos para la estimación de la escorrentía en vertientes de litología no acuífera en ámbitos mediterráneos. *Baética*, 24: 149-192.

Lucas Mallada, **18**: 85 a 128
ISSN: 0214-8315, e-ISSN: 2445-060X
<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>
Huesca, 2016

CANTERAS ANTIGUAS DE ARENISCA DEL ENTORNO DE LA CIUDAD DE HUESCA

José Antonio CUCHÍ¹
Pilar LAPUENTE²

RESUMEN.—El presente artículo presenta un inventario de canteras de piedra arenisca en el entorno de la ciudad de Huesca.

ABSTRACT.— The present paper shows an inventory of sandstone quarries around the city of Huesca.

KEY WORDS.—Quarries, sandstone, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

A lo largo de su historia, la ciudad de Huesca ha necesitado importantes cantidades de piedra para la construcción de sus edificios más emblemáticos: catedral, Zuda, murallas, teatro romano, iglesias urbanas y rurales, conventos, ayuntamiento, universidad, palacios y viviendas, pavimentos y muros de contención. A esto se añade el consumo de piedra para el castillo-abadía de Montearagón, cercano aunque fuera del término de Huesca, muy vinculado con esta ciudad.

Recepción del original: 17-11-2016

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. cuchi@unizar.es

² Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. E-50009 ZARAGOZA. plapuent@unizar.es

Desde el inicio de la ciudad, en época ibérica y romana, hasta finales de la Edad Media, la arenisca del Mioceno ha sido la piedra usada con más profusión (CUCHÍ y cols., 2005). En esta piedra se construyeron los restos romanos del Círculo Católico, zona de la Diputación Provincial, teatro romano, así como las distintas murallas de Huesca (romana y medievales islámica y cristiana). Pero el edificio más relevante y complejo en arenisca en Huesca es la catedral, construida entre finales del siglo XIII e inicios del XVI (DURÁN GUDIOL, 1991).

En esta piedra se edificaron también las iglesias de San Pedro el Viejo, Santa María in Foris, San Miguel, San Juan del Hospital de Jerusalén y Santa María de Salas. Además, hay que reseñar las piezas excepcionales de escultura como son las estatuas de la fachada principal de la catedral y los tímpanos y capiteles de varios edificios religiosos. Asimismo, hay que añadir edificios civiles como la Zuda. En el entorno de Huesca, además de varias parroquiales, destaca el castillo-abadía de Montearagón.

A mediados del siglo XVI, la arenisca cedió importancia constructiva al ladrillo en Huesca, como en la casa consistorial (GARCÉS, 2012), aunque se siguió utilizando para elementos nobles como las columnas del Ayuntamiento y de la Universidad Sertoriana (HUESCA, 1797: 231). En el siglo XVII, en la reedificación de la iglesia de San Lorenzo solo se usa en elementos nobles, aunque en los edificios más modestos se utilizaban con alguna frecuencia sillarejos de arenisca, de menor calidad constructiva pero de menor coste, así como ladrillo y tapial. A finales del siglo XIX, se vuelve a utilizar la piedra en la construcción de varios edificios (convento de las Siervas de María, asilo de las Hermanitas de los Pobres, Torre de Mallada, Torre del Platanero, etcétera), con las características calizas lacustres grises de la cuesta de Almudévar (sierra la Galocha, alto de San Juan), que también sirvieron para pavimento en la Huesca romana. A inicios del siglo XX, se retorna excepcionalmente a la arenisca para el edificio de la Delegación de Hacienda, finalizado hacia 1927, donde se utilizó sobre todo piedra de las canteras de Ayera. Calcarenita del molino de Arguis se utilizó en la valla del Parque Miguel Servet. Pero el mayor uso reciente de arenisca en Huesca ha correspondido a las restauraciones de la catedral (realizadas por el arquitecto Pons Sorolla entre 1958 y 1970, y la Escuela Taller hacia 2000) y de la muralla (por el arquitecto Franco Gay, entre 2010 y 2015), utilizando

piedra de diversas procedencias, especialmente de Apiés, Ayerbe, Murillo de Gállego y Uncastillo.

A pesar de la importancia del uso de la arenisca en Huesca, es insuficiente el conocimiento sobre el origen de la piedra utilizada y sus características. El presente artículo se centra en la búsqueda de las canteras de arenisca en el entorno de Huesca, *sensu lato*, como un paso previo al estudio de las características técnicas de esta piedra y sus patologías.

UN POCO DE GEOLOGÍA

El entorno de Huesca se asienta sobre materiales continentales del Terciario final, del Mioceno continental del valle del Ebro y del Cuaternario. El Mioceno está constituido por lutitas ocre-rojizas, con alto contenido en illita y areniscas pardo amarillentas de origen fluvial y procedencia pirenaica. Forman parte de la denominada *formación Sariñena* definida por QUIRANTES (1978). Los materiales se presentan intercalados en capas subhorizontales, donde es frecuente que las areniscas rellenen paleocanales de extensión lateral métrica-decamétrica con espesor variable de hasta 5-7 metros (fig. 1). También presentan niveles tabulares más finos y de mayor continuidad lateral. Litológicamente, son litoarenitas y arenitas calcáreas en general de grano fino, formadas por cuarzos angulosos, fragmentos de rocas carbonatadas y mica. La estratigrafía de las areniscas del mencionado cortado de Montearagón, dada la limpieza de los afloramientos, ha despertado el interés de varios autores, algunos asociados con la exploración petrolífera (HIRST, 1983, 1991; ARENAS, 1993; HIRST y NICHOLS, 1986; NICHOLS y HIRST, 1998; FISHER y cols., 2001; DONSELAAR y OVEREEM, 2008).

En el escarpe Fornillos-Montearagón, la arenisca presenta un diaclasado vertical de dirección noroeste-sureste, de densidad variable en la horizontal y la vertical de la serie. En capas gruesas, la distancia entre diaclasas es métrica, como al norte de Quicena (fig. 2). En niveles más delgados, como en la zona media de las canteras de Fornillos, puede incluso ser decimétrica. En combinación con otras diaclasas de dirección norte-sur conforman bloques rectangulares naturales que se desgajan por descalzamiento erosivo y son fácilmente desprendidos a mano.



Fig. 1. Paleocanal. Antigua N-240 en las cercanías del límite entre los términos municipales de Huesca y Quicena.



Fig. 2. Diaclasado de escala métrica en Quicena (0718283/4670319).

Los materiales del Mioceno fueron fuertemente erosionados desde la apertura del Ebro al Mediterráneo. Como consecuencia, a gran escala hay que destacar los cerros testigos de la hoya incluido el del casco antiguo de Huesca. Su origen está en el retroceso discontinuo del escarpe de Fornillos-Quicena-Montearagón-Tierz, que se prolonga hacia Piracés y Grañén. En cerros y escarpes, a escala media, las areniscas más resistentes quedan en positivo sobre las lutitas más erosionables que presentan abundantes procesos de sofusión y *piping*. Los abrigos de las areniscas son muy inestables y rompen a favor de las familias de diaclasas paralelas a los frentes tanto en Quicena-Montearagón como en Estrecho Quinto-Tierz. El resultado es una habitual presencia de bloques rectangulares en las laderas, muchos deslizados y otros rodados. Los frentes de arenisca y los bloques caídos presentan frecuentes fenómenos de *tafonización*, desde escala métrica hasta escala centimétrica, en *nido de abeja*.

Los niveles cuaternarios son muy extensos en el entorno de Huesca y están formados por gravas, arenas y lutitas formando terrazas fluviales, glaciares, coluviones de ladera y fondos de valle. Las terrazas fluviales no tienen relevancia para este artículo. Los depósitos de grava de los glaciares, cartografiados por RODRÍGUEZ VIDAL (1985), alcanzan hasta unos 10 metros de espesor y presentan localmente niveles edáficos petrocálcicos (*mallacán*) e incluso pequeños acuíferos. Cubren los techos de las mesetas de Montearagón, los cerros testigos de Huesca y Loma Larga, y los sasos de Arascués y Apiés. En muchos casos, la grava se apoya directamente sobre niveles de arenisca. El desmantelamiento del glaciar aporta cantos rodados a los coluviones de ladera, junto con finos de lutitas y bloques de arenisca. Los rellenos de vales como Valdecambras y las llanas cuencas medias de los barrancos de Monzú, El Diablo y Alfándiga presentan textura limoarcillosa con pasadas de grava y arena. Son recientes y engloban restos arqueológicos e incluso basura moderna. Son muy erosionables y presentan abundante *piping*. Puntualmente, como en la figura 3, llegan a alcanzar los 4 metros de potencia.

CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CANTERAS ANTIGUAS

La búsqueda de antiguas canteras se ha realizado básicamente mediante recorrido a pie, comenzando por aquellos topónimos más sugerentes



Fig. 3. Relleno de val. Cabecera del barranco de la Alfándiga, al pie de las canteras de Fornillos (0716108/4673042).

como las canteras de Quicena y Fornillos, apoyados por búsquedas de diversa documentación escrita y oral.

Toponimia y fuentes escritas antiguas

La toponimia del entorno de Huesca es bastante expresiva en materia de canteras. En el casco antiguo se denomina *pedrera* a una zona cercana a la calle Desengaño. NAVAL (2016) localiza este topónimo cerca del antiguo convento de Santa Rosa, hoy Archivo Histórico Provincial. Adolfo Castán sugiere que se debe al reciclado de sillares de la muralla. Desde luego, esta ha sido una actividad habitual en Huesca, pero también pudiera ser una cantera amortizada de modestas dimensiones. En la periferia de Huesca, las diversas cartografías ofrecen topónimos adecuados en las canteras de Apiés, Fornillos, Quicena, Estrecho Quinto y Tierz. Pebredo, nombre explícito, es una

partida situada al sur de Huesca que durante muchos siglos ha sido propiedad municipal. Es necesario, sin embargo, manejar los mapas con prudencia, dado que el topónimo puede no aparecer en el lugar correcto. Véase, por ejemplo, la figura 1.

La documentación antigua también ofrece alguna luz. Las fuentes musulmanas son escasas. Al-Udrí, muerto en 1086, refiriéndose a Huesca, habla de acequias que entran en los muros, así como de la calidad de sus huertas, pero no dice nada sobre la piedra. Unos años más tarde, el musulmán Anónimo de Almería, muerto hacia 1161, escribe sobre Wasqa: “no se encuentran piedras y si las hay son pequeñas. Tiene poca agua y pocos vergeles y se fabrican cotas de malla, espadas y utensilios de cobre y de hierro”. Posiblemente hablaba por referencia, dadas las fechas, ya que como señala BALAGUER (1953) la imagen sugiere una ciudad estrechamente situada. Situación que finalizó abruptamente, en 1096, con la conquista aragonesa tras la batalla de Alcoraz y el consiguiente desplazamiento de la línea de conflicto hacia el Ebro.

Como es de esperar, son más explícitos los documentos posteriores. En abril de 1190, en un documento de donación al obispo de Huesca se delimita un campo: “Secundus campus est in termino de petrera de Petro Mozot, et afrontat in parte orientalis in illa alfadiga” (DURÁN, 1965-1969: 438). En la documentación de la catedral de Huesca, en una donación a treudo en mayo de 1232 aparece: “Alium campum maiorem in termino de Forchas ad petreran Sancte Petri affrontant ex parte orientales in illa algangueda, ex parte occidentalis in campo Garsie cognati de Guillemo Raimundi. Alium autem campum super Puiale de ipsa petrera” (MONTANER y LAPLANA, 2016: 409). Se presenta una cantera cerca del cerro donde se ahorcaba, hoy denominado *de las Mártires*, aparentemente propiedad de la parroquia de San Pedro y que limitaba por el este con el barranco de la Alfándiga. Cierta complejidad se encuentra en diversos documentos de Jaime I sobre la propiedad de la piedra de la Almecora de los moros. El rey concede primero esta piedra a los frailes dominicos entonces recién llegados a Huesca. Luego devuelve el cementerio a los moros y les concede el derecho a vender, o donar, más piedra al obispo Sarroca: “... totam petram que continetur in cimienterio sarracenorum antiquo Oscae vocato lalmecora, ad opus operis ecclesie Oscensis”. Y además en uno de estos documentos se indica: “Ito ut

de dicto fossario de quo frates predicatorum extraxerunt lapides positos facere campum” (BALAGUER, 1955; NAVAL, 2016: 227). Una mención interesante dado que señala que las canteras amortizadas podían transformarse en campos de cultivo.

Años más tarde, el 25 de septiembre de 1328, el canónigo Pedro Martínez de Sarvisé, “obrero mayor de la obra de la Seo d’uesca”, contrató la explotación de una cantera en Quicena, “por concesión de alcavala e arrendamiento”, con Martín de Bolea y Domingo Aspriella, vecinos de esta villa:

Una pedrera que nos hemos en in campo situado en termino de Quicena, que afruenta con campo en Pedrera de Domingo de Quicena e con lanna de Pero Acumuer e con campo donna Domenja Quicena, de la fiesta de San Miguel de setiembre en diez annos siguiente continuos. En tal manera e condicion que vos o quelquiere obrero tallaredes piedra en la dita pedrera, siaes tenido de dar a nos seis soldos jaqueses en fin de cada uno de los ditos X annos, et el anno que non tallaredes piedra, que non sian tenidos de dar a nos alguna cosa, e vos pagando los ditos seys soldos talladles et podades fer tallar tanta quanta piedra querredes para la dita obra. (DURÁN GUDIOL, 1991: 81-82)

Pero no siempre hubo facilidades para cortar piedra en esta localidad, propiedad del vecino monasterio. Así, en 1445, la abadía de Montearagón da permiso para extraer piedra con destino a una urgente reparación de la muralla de Huesca “... sin que el hecho sirva para sentar precedente” (IRANZO, 1986: 32-33). En 1470, Juan II concede a los dominicos la piedra de otro fosar de moros. De cualquier manera, es evidente que en la Edad Media se necesitaban ingentes cantidades de piedra. Una punta de demanda llega en 1497 cuando se inicia la última fase de la construcción original de la catedral para cubrirla con bóvedas de piedra. Los libros de obra señalan que se recibieron más de 1500 carretas de piedra por las que se pagaron 10 875 sueldos pero, lamentablemente, no se indica de dónde se extrajo. Como ya se ha señalado, la piedra pierde protagonismo hacia el siglo XVI, pero se sigue usando para las primeras hiladas, ventanas y elementos ornamentales. Así, en 1704, la Comunidad de Madres Carmelitas Descalzas, las *Terasas*, para hacer su nuevo convento, contratan con Juan del Puente, alias *Flores*: “todo el basamento y zócalo se ha de hacer de la mejor calidad de piedra que por esta tierra se hallare, como es la del Estrecho de Quinto, o la del Monte de Apiés, eligiéndose de las dos la mejor” (Protocolo Notarial de José Ignacio Novales, Archivo Histórico Provincial, 6388: 288-291).

Las actuaciones en piedra del siglo XX son algo más fáciles de documentar, tanto a nivel oral como documental. Así, en el Archivo Histórico Provincial de Huesca están depositados proyectos y documentos técnicos relacionados con la restauración de la catedral (V-1979-6). En el proyecto reformado de precios de la catedral, firmado por José Urzola, con visto bueno de Miguel Aranda (p. 7), se cita que “se ha buscado también para la ejecución de proyecto, la piedra más parecida”. En el “Proyecto término cubiertas, restauración de la torre” (contratista, Manuel Tricas, AHPHu, 1976-6: 11), aparece que “se ha utilizado arenisca no heladiza de la cantera de Lérida”. Pero es necesario contrastar la información, porque un testigo afirma que se usó piedra de Ayera, mientras que otro cree que se trajo de Apiés. Más tarde, arenisca de Ayerbe y de Murillo de Gállego se utilizó por la Escuela Taller del entorno de la catedral. La reciente restauración de la muralla de Huesca se ha realizado con arenisca de Uncastillo.

Criterios de campo en la detección de canteras

Para el presente artículo se define cantera como un lugar donde haya indicios claros de la extracción de arenisca sin consideraciones adicionales sobre volumen, momento histórico o posible uso. Tampoco se entra en cuestiones de calidad, advirtiendo que la arenisca local es muy heterogénea, incluso a cortas distancias en horizontal y vertical. Hay que señalar que algunas canteras han podido ser reutilizadas a lo largo del tiempo y que una vez agotadas pueden utilizarse para campos de cultivo. Asimismo, las técnicas de extracción han cambiado a lo largo de la historia. Sin querer entrar en dataciones, es posible detectar canteras que sugieren un antiguo tallado de sillares mediante zanja cortada a pico *in situ*, frente a otras, aparentemente más recientes, donde se ha arrancado la piedra en bruto para ser transportada y tallada a pie de obra. Además, una parte de las canteras se encuentra dentro de los frentes de la Guerra Civil, donde se han utilizado como parte del sistema de trincheras o se ha empleado piedra suelta para construir parapetos.

En la búsqueda de canteras de campo, se han desarrollado diversos criterios. Unos son de tipo positivo, por la presencia de marcas distintivas, frentes de extracción, zanjas de excavación, huellas de pico, entalles para

cuñas, huellas de barrenos, manuales o mecánicos, grietas de voladura y escombreras de talla o pretalla junto al frente de la cantera (fig. 4). Evidentemente, la presencia de piezas en diverso grado de talla es también un criterio de tipo positivo. Un claro ejemplo de este tipo son las excavaciones curvas para tambores de columnas, ruedas de molino, pilas de aceite y molones de campo. Solo en un caso (canteras de Fornillos) se ha detectado un acopio de cierta importancia.

Es necesario tener cierto cuidado para diferenciar entre frentes de cantera artificiales y los debidos a diaclasas que hayan funcionado naturalmente como consecuencia de la erosión diferencial. Pero en bastantes casos estas han sido utilizadas para facilitar el arranque de bloques rectangulares mediante barrón. No se han localizado frentes de corte con hilo de diamante y solo unos pocos sillares cortados probablemente con radial aparecen en Estrecho Quinto, cerca de un nido de ametralladoras de la Guerra Civil.

Como criterios de tipo negativo se cuentan la ausencia de bloques caídos en algunas zonas de ladera y los “vacíos” por aterrazamiento en hombrera en el frente del escarpe, donde aparecen bancos de cierto espesor y buena calidad. Un caso extremo son las superficies planas en arenisca de ciertas dimensiones. La más extensa se encuentra entre Quicena y la carretera asfaltada de Montearagón. Otra de menores dimensiones se encuentra en Estrecho Quinto. En ambos casos aparecen frentes de excavación, marcas de herramientas y otros indicios.

No parece que sean esperables hallazgos arqueológicos de importancia. La extracción de roca es una actividad pobre en medios. Así el inventario en el siglo XII del monasterio de San Andrés de Fanlo es muy expresivo: “De ferramentis de illa petrera: I maza grande bona, I axato, I perpalo grande, II capo martillos, I serra, VI picos de alkata, II scopello” (BARRIOS, 2004: 303). Además de mazas, barrones, picos y cortafríos, una cantera en explotación puede contar con algunos cántaros para agua y vino, un cubierto somero y una hoguera para calentarse en invierno. Quizás haya algún cobertizo para refugio en caso de severas inclemencias del tiempo, guardar ropas y herramientas y, tal vez, una fragua rústica para apuntar barrenos y punteros. Se han localizado varios corrales en las canteras de Fornillos, varios abrigos trogloditas (fig. 5) y frentes de roca con mechinales. Evidentemente, pueden ser también testimonios de actividades agropecuarias e incluso haber

sido utilizados durante la Guerra Civil como el *Rincón del Combatiente* en Quicena, con su cuidado letrero, obra de un buen tallista.

En cualquier cantera, también hacen falta cargaderos para cargar carros y galeras. En el caso más sencillo por rodadura de los bloques con ayuda de barras. Para bloques grandes, tal vez con algún sistema de poleas que



Fig. 4a. Talla de medio banco. Montearagón (0719558/4670090).



Fig. 4b. Huellas de cuña. Canteras de Fornillos (0715931/4673149).



Fig. 4c. ¿Medida? Quicena (0718658/4669858).



Fig. 4d. Talla. Montearagón (0719338/4670068).



Fig. 5. Abrigo troglodita. Quicena (H30: 0718096/4670992).



Fig. 6. Red de caminos del sector noreste entre Huesca y el escarpe Fornillos-Montearagón. (Iberpix. IGN)

también sirviera para arrancar bloques mediante el procedimiento de zanjas. El manejo de carros necesita corrales para los animales. Entre cantera y obra es necesaria la existencia de caminos que permitan el movimiento de las carretas de transporte. Rodaduras de carros se observan en Quicena y Estrecho Quinto. Evidentemente, estos caminos también se emplean para uso agropecuario. Así el noroeste de Huesca muestra una red radial de caminos, que finalizan en el pie del farallón Fornillos-Montearagón (fig. 6). Un criterio complementario es la observación de los terreros a lo largo de los caminos donde es frecuente encontrar sillares abandonados, reutilizados en las paredes.

DESCRIPTIVA POR ÁREAS

A partir de los recorridos de campo, con los criterios anteriores se han encontrado una serie de canteras de arenisca. La definición de las áreas se ha realizado a efectos puramente descriptivos, en un giro de sur a norte por el este. La mayor parte de los puntos de interés, localizados a pie, se han posicionado mediante el uso del visualizador Iberpix del Instituto Geográfico Nacional (IGN) o con un GPS manual Garmin *etrex*. Todas las ubicaciones están en el huso 30T y se presentan en ETRS89, salvo que se diga lo contrario. Evidentemente, puede haber un desfase entre la ubicación señalada y la real. Se ha utilizado un jalón métrico, con divisiones decimétricas como referencia.

Huesca antigua. En su día, el propio cerro de Huesca pudo haber sido canteado. De hecho, partes de la muralla islámica están edificadas sobre bancos de arenisca como se observa en la Ronda de Montearagón (fig. 7) e incluso en el interior del bar Bendita Ruina, en Coso Bajo, 79. La denominación de *pedrera* en las calles Desengaño y Canellas pudiera referirse bien a una auténtica cantera o al reciclado de las murallas.

San Jorge. Este pequeño cerro testigo coronado por su ermita y la vecina “montañeta” presentan algunas señales de extracción, de poca entidad (fig. 8). La zona estuvo atrincherada durante la Guerra Civil y ha sido muy modificada por urbanización, vertido de escombros y repoblación forestal. Los grandes sillares que aparecen al sur de la segunda elevación parecen parte de una escombrera municipal.



Fig. 7. Banco de arenisca y posible cantera en la base de la antigua muralla en la Ronda de Montearagón.



Fig. 8. Frente de talla en San Jorge (0712965/4667906).

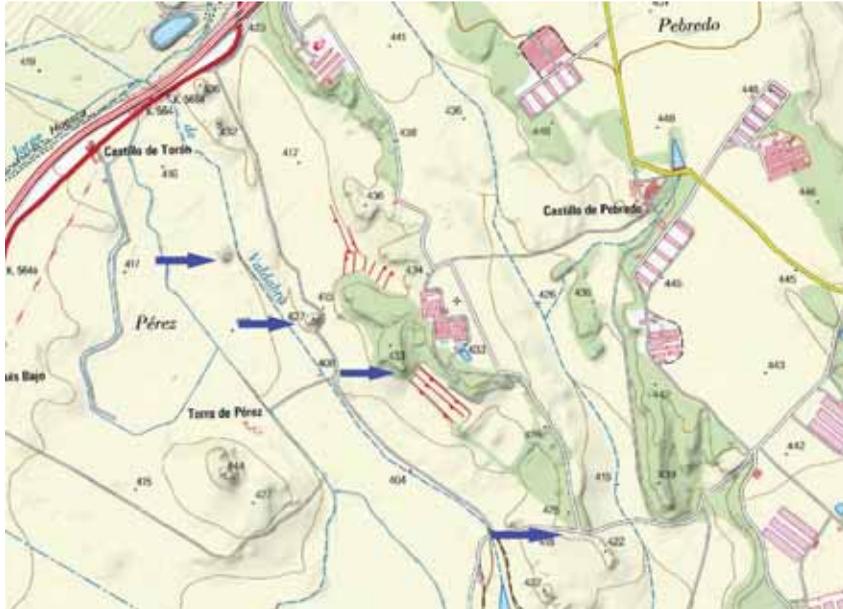


Fig. 9. Canteras localizadas en Pebrero. (Iberpix. IGN)



Fig. 10a. Canteras en Pebrero (0709576/4663120).



Fig. 10b. Cantera en Pebrero (0709905/4662860).



Fig. 12. La piedra de Torre de la Piedra.

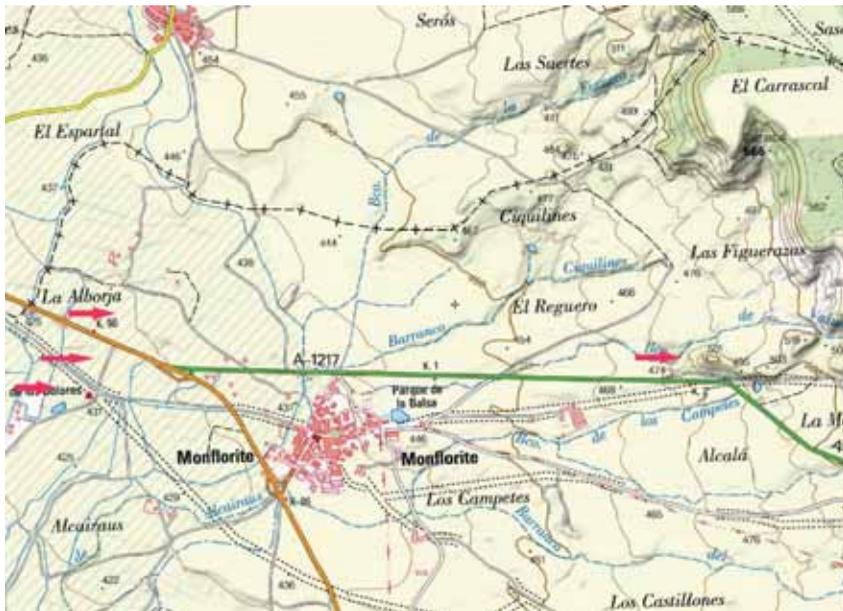


Fig. 13. Ubicación de las canteras en las proximidades de la ermita de los Dolores y de Monflorite.



Fig. 14a y b. Detalles de la cantera en la cercanía de la ermita de los Dolores (Monflorite).

Monflorite. Al este del Flumen, se han localizado varias canteras en el entorno de Monflorite, a unos 6 kilómetros de Huesca (fig. 13). Las más evidentes están en las cercanías de la ermita de los Dolores, restos de un convento mercedario del siglo XII (figs. 14a y b).

Canteras de Tierz. Se sitúan al este del núcleo urbano (fig. 15). La zona más importante se encuentra en las inmediaciones de la pista de *motocross* (figs. 16 y 17). Se ha cortado piedra en diversos bancos de la base del cortado. Al noreste, siguiendo el antiguo camino de Loporzano, se encuentra otra cantera con dos cilindros excavados sin arrancar y otros restos de extracción. Detalles de esta cantera y su posible utilización en el convento de las Carmelitas Descalzas de Huesca aparecen en *NAVAL* (2016). En las cercanías se encontraron restos de cerámica engobada romana (C. Lacasa, comunicación personal). Algunas referencias hablan de la fabricación de ruellos y molones de piedra en esta zona. También hay restos menores de canteras en la *Caseta de Piedra*.

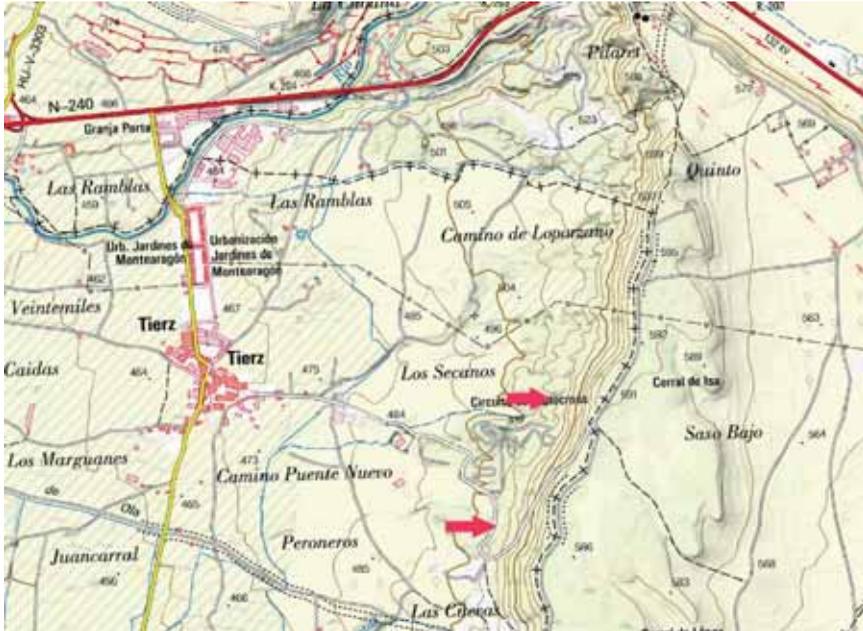


Fig. 15. Ubicación de algunas canteras en el sector de Tierz.



Fig. 16. Frente de cantera en Tierz (0719771/4667425).



Fig. 17. Talla cilíndrica abandonada en Tierz (0720010-4667829).

Canteras de Estrecho Quinto. Dentro del término municipal de Loporzano se sitúan estas en el pie del escarpe coronado por la cruz. Una parte se localizan a ambos lados de la N-234 y se han utilizado para extracciones recientes. Al este de la carretera se observan las excavaciones recientes para extracción de arcillas para una ladrillera. En alguna zona, un banco de arenisca potente conserva restos de antiguas extracciones (fig. 18). Pero también aparecen señales de movimiento reciente y de corte de sillares con herramientas modernas (fig. 19).

Canteras de Quicena. Sin duda, una de las más importantes, junto con las de Fornillos, en el entorno de Huesca. La cantera aparece como una amplia superficie de piedra al norte y este de esta localidad, desde el pie del escarpe hasta llegar prácticamente al Flumen. Por el sur está limitada por la acequia de Quicena (fig. 20). Diversos criterios sugieren que se ha arrancado una gran cantidad de piedra situada sobre la superficie



Fig. 18. Cantera en Estrecho Quinto (0720010/4667829).



Fig. 19. Sillares de corte reciente en Estrecho Quinto (0720083/4669141).

actual, conformando una superficie de arranque que cubre una amplia extensión (fig. 21). Sobre esta se intuyen importantes arranques, dejando algún testigo al noroeste de Quicena que son más claros en la zona más oriental, junto a la carretera asfaltada hacia Montearagón, donde hay más huellas de arranque (fig. 22) e incluso emplazamientos para encastrar algún tipo de estructura. Hay muy pocos restos de talla en esta cantera quizás, por haber sido utilizados como sillarejos. Entre la carretera y el cortado del Flumen hay más canteras, incluida una talla muy clara en un banco que sirve de soporte a una pequeña caseta junto a una modesta escombrera. A la vista del Flumen, hay una talla semicircular de tamaño modesto (719230/4669596). Como está cerca de un antiguo molino de papel movido por la acequia del Flumen, pudo ser para una rueda. En el borde meridional del banco, sobre la acequia de Tierz y varias balsas, también aparecen claras huellas de arranque de sillares, sobre todo en el



Fig. 20. Delimitación aproximada de la zona de canteras de Quicena. (Iberpix. IGN)



Fig. 21. Vista de la superficie de arranque en las canteras de Quicena desde 0718387/4669706.



Fig. 22. Zona de arranque en las canteras de Quicena (0719060/4669551).



Fig. 23. Zona de arranque en las canteras de Quicena (0718724/4669811).

entorno del barranco de Espantalobos (fig. 23), alguna posible medida, huellas de cuñas y barrenos. Hay también sillares sin acabar. Es muy probable que también se haya canteado la base del escarpe. Hay algún indicio cerca de las instalaciones del Tiro con Arco. En las cercanías de este y al norte de Quicena se han localizado dos conjuntos de mechinales en bancos de piedra, sin muros, que sugieren techumbres efímeras. Hay restos de cerámica, puntualmente abundante por todo el escarpe y en su pie.

Ermita de San Pedro. Junto al antiguo camino, hoy asfaltado, de Quicena a Huesca hay un mínimo resto de un banco de arenisca canteado, con restos de una edificación en piedra. Fue también utilizado como posición defensiva en la Guerra Civil e incluso se dice que como vivienda en la inmediata posguerra (fig. 24). A lo largo del camino se encuentran diversos sillares, utilizados para márgenes del camino.



Fig. 24. Canteras, restos de edificio y defensa en la ermita de San Pedro (Quicena) (0717695/4669481).

Tozal de Lucas. Situado al noreste del polígono Monzú, este pequeño altozano dominado por la cota 513 fue una posición clave en la defensa de Huesca entre septiembre de 1936 y marzo de 1938. Presenta una serie de modestas canteras en la zona superior, modificadas por la excavación de trincheras. En la base hay una cantera muy clara (fig. 25). Sin embargo, en el extremo norte, un nivel de arenisca gruesa y poco cementada no muestra señal de trabajo, quizás por su pobre calidad. Hacia la variante norte de Huesca, hubo también extracción de piedra en unos pequeños ribazos.

Canteras de Montearagón. El castillo-abadía de Montearagón fue un gran consumidor de arenisca en la iglesia, torre campanario, edificios, claustros, torres defensivas y muralla. Además, utilizó importantes cantidades de piedra en muros de contención en su cerro para evitar problemas de erosión y hundimiento. El muro más evidente es el que forma el



Fig. 25. Cantera en el sureste del Tozal de Lucas (716509/4669947).



Fig. 26. Canteras en el entorno de Montearagón. (Iberpix. IGN)

perímetro del paseo de ronda que rodea el castillo. Su elemento más conspicuo es el enorme contrafuerte del suroeste. Pero se adivinan más muros en la ladera, envueltos en masas de escombros de las sucesivas reparaciones. Piedra adicional se utilizó en el camino rodado de acceso, la balsa al pie del castillo que está localizada cerca del horno ladrillero, y otras dos balsas, denominadas *de la Reina*, ubicadas en el cerro situado al este, edificios auxiliares, cruceros, etcétera. Por otro lado, es evidente que el conjunto tuvo problemas geotécnicos como muestran diversos mechinales para apeos. El tema necesita estudio, por la proximidad a la actual presa de Montearagón, dado que se ha indicado que la causa fue un terremoto a inicios del siglo XIX.

La abadía también utilizó ladrillos del precioso horno que se encuentra en la ladera norte para algunos edificios como el palacio abacial, en estilo aragonés con arquillos superiores que muestra el conocido dibujo de Valentín Carderera. También se utilizó en diversas reparaciones.

En torno a Montearagón se han encontrado varias canteras para arenisca, algunas de las cuales se presentan en la figura 26. Por la cercanía se puede suponer que se han utilizado principalmente para la abadía. Sin embargo, en algún caso no es fácil saber el destino de la piedra como en la pequeña cantera de “medio banco” que se ha presentado en la figura 4a y que está situada por debajo de un gran banco muy característico donde aparecen dos grandes “cillas” de almacenamiento. Indiquemos que no se han detectado cortes de piedra en el gran banco de estas y tampoco en bancos vecinos. Algunos sillares y cerámicas aparecen en la vaguada próxima. Dada la dificultad para subir directamente la piedra cortada hacia la abadía, es posible que esta cantera no hubiera sido utilizada en el gran edificio. En el mismo pie del cerro, en los varios aparcamientos informales, hay señales de canteras con extracción en zanja. Lo mismo sucede en el rellano que se encuentra al sur del cerro con centro en 0719361/4670095. Este fue intensamente fortificado en la Guerra Civil, incluido un conocido nido de ametralladoras. La cantera más singular, que sugiere un posible arranque de “tizones”, se presenta en la figura 27.

Desde la abadía, una pequeña sierra se dirige al noroeste hasta el alto del repetidor de Fornillos. Es zona de fácil acceso a la abadía, incluso antes de la construcción de la “carretera de los rojos”. La sierra está cortada por



Fig. 27. Canteras de Montearagón, aparentemente para tizones (0718724/4669811).

diversas vaguadas que aíslan varias “mesas” de las que algunas techan en bancos de arenisca y otras, las más alejadas del castillo, están cultivadas, cubiertas por grava de glaciares parcialmente encostrada (mallacán). Todas presentan atrincheramientos de la Guerra Civil en la parte meridional, así como refugios en la zona protegida. A lo largo de las más cercanas a Montearagón, cotas 582, 602, 605 y 627, sobre todo a techo y en la cara sur, hay varias canteras de las que son ejemplos las figuras 28 y 29, del tipo de extracción en zanja. Hacia el oeste, alejándose del castillo, parece observarse una tendencia al arranque a favor de diaclasas. Por el contrario, no se han encontrado canteras en los bancos de la ladera norte del cerro del castillo, hacia barranco Fondo. En este, se localizan labores de nivelación antiguas en materiales limosos y un pequeño edificio de buena calidad, construido en arenisca y ladrillos, posiblemente relacionado con la abadía. Otro edificio construido en buenos sillares de arenisca se encuentra al oeste, cerca de los actuales depósitos municipales en 0717689/4671246.



Fig. 28. Cantera en las proximidades del castillo de Montearagón.



Fig. 29. Cantera en las proximidades del castillo de Montearagón (0718270/4670660).



Fig. 30. Gran bloque en la zona alta del escarpe al este del campo de tiro (0718061/46707867).



Fig. 31. Posible cantera al este del campo de tiro (0717942/4670665).

Camino de Santa Cruz. El tramo del escarpe entre las canteras de Qui-cena y las de Fornillos aparece denominado en los mapas antiguos como *camino de Santa Cruz*, donde hoy está el campo de tiro militar. En el colla-do está uno de los depósitos municipales de agua. En la zona alta aparecen algunos grandes bloques rectangulares, con alguna señal de barrones (fig. 30). La morfología de la base media y baja del escarpe sugiere, con todas las debidas precauciones, un posible canteado (fig. 31). Al sur se encuentran los restos de un alfar (0717276/4670576).

Canteras de Cuatro Güegas. Se ha denominado así a la zona entre el campo de tiro y las canteras de Fornillos. Hay alguna cantera por talla *in situ*, visible desde el extremo occidental de la loma del vértice de Montea-ragón. Un detalle de esta se presenta en la figura 32. En su entorno se apre-cian más arranques. Como en otros lugares, hay una serie de atrinchera-mientos excavados en la Guerra Civil, con la particularidad de la existencia de tres grandes trincheras en muro de piedra que se construyeron con bloques rectangulares de modesto tamaño, arrancados *in situ*. La posición



Fig. 32. Detalle de la cantera en la zona de Cuatro Güegas (0717040/4671585).



Fig. 33. Detalle de la trinchera en la zona de Cuatro Güegas.

central se presenta en la figura 33. Además, se localizan bien dos güegas marcadas con cruces sobre pilares rectangulares.

Canteras de Fornillos. Situadas en una amplia zona en torno al camino de esta localidad en la subida del escarpe (fig. 34). También son accesibles por una pista reciente y los caminos a diversas torretas eléctricas. Limita al este por el actual vertedero de GRHUSA, donde pudo haber también extracciones, hoy no visibles. El área fue afectada por un fuego el 10 de agosto de 2016, lo que facilita la inspección.

La zona de extracción de las canteras de Fornillos está claramente situada en pleno escarpe al contrario que las de Quicena, Estrecho Quinto y Tierz. Hay, al menos, tres bancos canteados a diferentes alturas, donde se localizan claros indicios de extracción con excavaciones en zanja, barreno, cuñas y deslizado por barreta, así como la presencia de piezas. Los dos bancos más bajos son relativamente gruesos. El inferior se encuentra hacia la cota 560 y puede alcanzar los 2 metros de espesor. El intermedio (fig. 35), con un espesor de hasta 1 metro, se localiza hacia la cota 585, sirve como base de una torreta eléctrica. Por encima, hacia la cota 620 hay otro nivel de menor

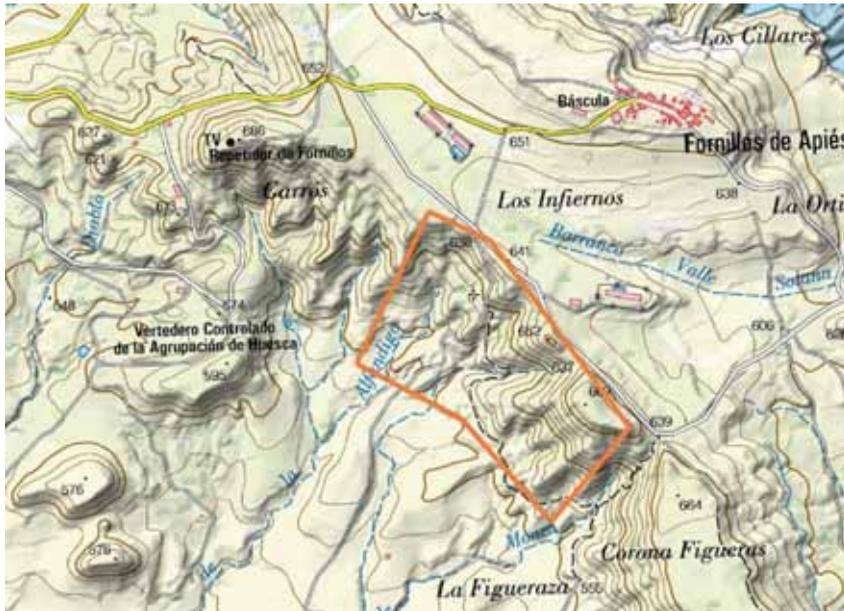


Fig. 34. Área aproximada de las canteras de Fornillos. (Iberpix, IGN).



Fig. 35. Banco en el nivel intermedio en las canteras de Fornillos (H30: 0715984/4673316).



Fig. 36. Cantera antigua y construcción aneja en las canteras de Fornillos (0716060/4673350).



Fig. 37. Detalle de pieza semitallada en Fornillos (0717040/4672079. ED50).

potencia, máximo 0,5 metros, muy diaclasado y fácil de arrancar mediante barra. En sus inmediaciones hay restos de un rústico muro (fig. 36). Hay restos de dos edificios con corrales edificadas en piedra. Uno en la zona superior del cortado (0715801/4673681) y muy próximo a la pista que sube al repetidor. Otro en la base (0716064/4672959), junto a la pista.

En la mayor parte de la ladera, desde el banco intermedio se observan abundantes restos de talla tapizando la ladera que pueden alcanzar puntualmente más de 1 metro de espesor en los cortes de las pistas de las torretas eléctricas. En la ladera, en la zona oriental, hay alguna pieza a medio tallar, como en la figura 37. Pero la acumulación de piezas más grande, prácticamente la única localizada, es un acopio en la base del cortado, cerca de la actual pista (fig. 38).



Fig. 38. Acopio en base de bloques y sillares en las canteras de Fornillos (0716040/4673007).



Fig. 39. Marcas de excavación en la ladera norte del cerro de las Mártires (714638/4669181).

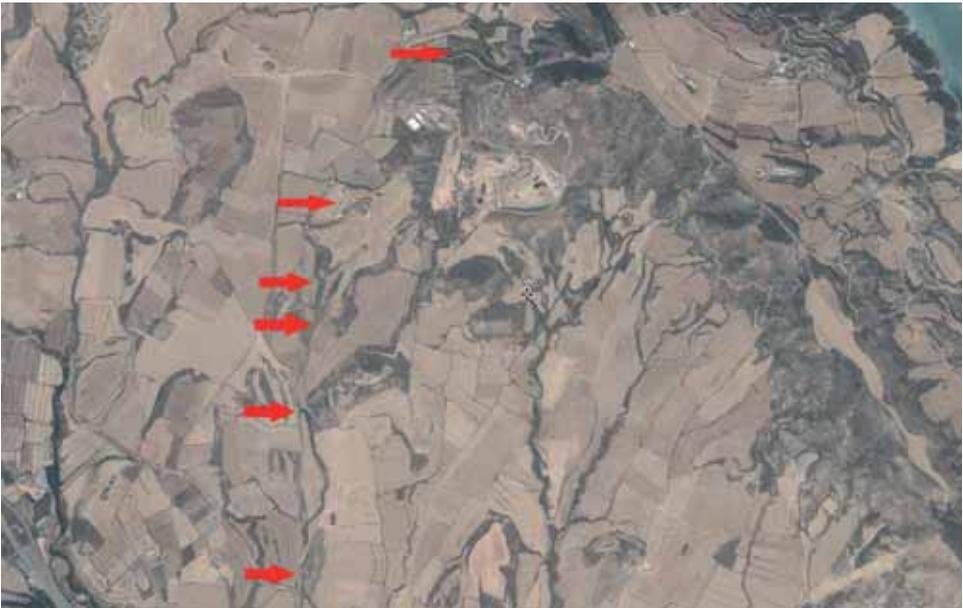


Fig. 40. Canteras en el camino de Apiés (0714638/4669181).

Las Mártires. El entorno de este cerro se ha citado en documentos antiguos como área de canteras. Hoy ha sido muy modificado por la urbanización del polígono Monzú y por los talleres de grandes vigas pretensadas de la desaparecida empresa Alvisa. Al oeste del cementerio hay un banco tallado a mano, que pudiera ser parte de una cantera o haber tenido otro uso, quizás defensivo (fig. 39).

Camino de Apiés. Este antiguo camino, seguido en parte por la HU-324, parece haber sido una de las zonas prioritarias, para conseguir piedra para Huesca o, por decirlo al revés, no parece que haya quedado ningún afloramiento pequeño de piedra sin cantar, dado que se han localizado bastantes canteras de tamaño muy modesto (fig. 40). Una de las más interesantes se encuentra en el kilómetro 2, donde en el cercano barranco del Diablo aparece la cantera de la figura 41. Está enterrada por sedimentos recientes y en sus alrededores aparecen restos de cerámica. En la zona, además del vertedero urbano ya mencionado, hay acumulaciones de escombros que pueden ocultar otras canteras.



Fig. 41. Cantera en el kilómetro 2 de la carretera de Apiés (0714167/4671097).



Fig. 42. Techo canteado de cerro testigo en la cuesta de Apiés (H30:0714598/4675167).



Fig. 43. Acopio de roca al pie de cerro testigo en la cuesta de Apiés (H30: 0714590/4675218).

Canteras de Apiés. Situadas en el extremo norte de Valdecambras, al pie de la cuesta de Apiés y junto al antiguo camino. Están formadas por una serie de cerros testigos, cuyas monteras tienen todas las señales de haber sido totalmente canteadas. El más claro es el situado junto a una granja de porcino con una acumulación a techo, posiblemente arrancados mediante máquina, así como un acopio de bloques en la base norte (figs. 42 y 43). Otros cerros de la zona también parecen canteados. También se ha detectado alguna cantera en Loma Larga, al oeste de Valdecambras (fig. 44).



Fig. 44. Cantera en el extremo norte de Loma Larga (0713683/4673632).



Fig. 45. Detalle de la cantera en Puyéqueda (H30: 0713622/4674723).



Fig. 46. Ubicación de canteras en Ayera. (Iberpix. IGN)



Fig. 47. Detalles de la cantera de Ayera (0723625/467248).

Puyéqueda. Al este de la zona de las canteras de Apiés, hay una serie de afloramientos planos de arenisca donde, curiosamente, no se han encontrado señales de canteras. La excepción es una pequeña cantera de medio banco al este del cerro de Puyéqueda (fig. 45).

Ayera. Aunque alejada, se incluye una cantera de esta localidad a unos 12 kilómetros de Huesca, dado que piedra de esta localidad se ha utilizado en edificios de Huesca en el siglo xx. Su ubicación se muestra en la figura 46 y un detalle en la figura 47. Al contrario que en la mayoría de las canteras próximas a Huesca, se observa un importante volumen de escombros de talla. Señalemos que al norte de la localidad se encuentra la denominada *Roca de los Moros*, que también parece ser una cantera antigua, que necesita un estudio apropiado.

A MODO DE DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el entorno de Huesca hay un buen número de afloramientos de arenisca del Mioceno entre niveles limoarcillosos horizontales. La arenisca,

engrosada en paleocanales, puede alcanzar espesores de hasta 5 metros. Al noreste de Huesca estos bancos son muy evidentes en el cortado que va de la cuesta de Apiés por Fornillos, Montearagón, Estrecho Quinto, Tierz y Monflorite. En el entorno más cercano a la ciudad, los bancos de arenisca forman el techo de numerosos cerros testigos. Los más grandes están recubiertos por glaciares de grava.

Desde la antigüedad, los bancos de piedra han sido utilizados como canteras para los edificios de esta ciudad, el castillo-abadía de Montearagón y otros edificios en localidades del entorno. La piedra extraíble presenta calidades muy heterogéneas, incluso a cortas distancias en la horizontal y en la vertical. Esto explicaría la pervivencia de algunos afloramientos muy evidentes y cercanos, por ejemplo, en el Tozal de Lucas o en Pebredo, que presentan areniscas de grano grueso o débil cementación / alta arenización.

No se ha encontrado una cantera de grandes dimensiones al estilo de El Medol en Tarragona. Por el contrario, en Huesca la piedra ha sido extraída en multitud de pequeñas explotaciones diseminadas por todo el paisaje circundante. Dada la gran cantidad de afloramientos encontrados, es muy posible que se puedan localizar más pequeñas canteras, especialmente en el cuadrante nordeste.

Es probable que algunos afloramientos hayan sido explotados en diferentes ocasiones a lo largo de la historia, y que se siguieran criterios de economía y oportunidad en la extracción y transporte. Primero se trabajaría el material más cercano y fácil de trabajar, modulado por consideraciones de calidad de la piedra, la propiedad del terreno y la urgencia en la obtención del material. De hecho, bastantes extracciones se podrían calificar como canteras de contorno con criterios de mínima excavación de la montera inútil. Por otro lado, el agotamiento de las canteras permite su reciclaje como campos de cultivo, dificultando su reconocimiento.

En las canteras reconocidas, se observan varios sistemas de extracción. En algunas se han extraído sillares *in situ* mediante la excavación de zanjas verticales, de unos centímetros de anchura, abiertas a pico. En otras, parece haberse aprovechado las diaclasas preexistentes en los bancos de arenisca para arrancar bloques. Las marcas de cuñas y barras son relativamente escasas, quizás por la facilidad de separar bloques por los “pelos”

naturales. No hay muchas escombreras de talla. Solo se ha encontrado un acopio de material y algunos bloques sueltos.

El trabajo de las canteras provoca un impacto ambiental denudando el terreno de la vegetación y la capa de suelo, exponiendo a la intemperie los materiales limosos, hasta entonces protegida por la arenisca. Es posible que las masas de sedimentos que cubren el pie del escarpe, los sedimentos que recubren el acueducto romano de Quicena o la cantera de la figura 39 en el barranco del Diablo, tengan su origen en la actividad de las canteras junto con la demanda de la leña y el pastoreo.

Por último, es evidente que hay muy poca información sobre las características petrológicas y geotécnicas de la arenisca, así como sobre la arqueología de estas canteras. En este sentido, es de esperar que el presente artículo sirva como base para futuros estudios.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos los comentarios del cantero C. Goñi y de los aparejadores / arquitectos técnicos J. Pérez Lorient y J. M. Sanz. Han sido más que bienvenidas la compañía y las informaciones de E. Monesma, J. A. Rausa, C. Arán, E. Celis, P. Ayuso, M.^a D. Giménez, J. J. Genérela, M.^a J. Calvo, J. Justes, M. Ortega, A. Bail, A. Naval y C. Lacasa en la búsqueda de canteras. Agradecemos también a Ana Oliva, Ester Puyol y Susana Navarro, de la biblioteca del IEA, y al personal del Archivo Histórico Provincial de Huesca, su proverbial paciencia al atender las demandas de bibliografía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARENAS, C. (1993). *Sedimentología y paleogeografía del Terciario del margen pirenaico y sector central de la cuenca del Ebro (zona aragonesa occidental)*. Tesis doctoral presentada en el Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. Zaragoza. 859 pp.
- BALAGUER, F. (1953). La muerte del rey Sancho Ramírez y la poesía épica. *Argensola*, 15: 197-216.
- BALAGUER, F. (1955). Las termas de Huesca. *Argensola*, 23: 263-270.
- BARRIOS, M.^a D. (2004). *Documentos de Montearagón (1058-1205)*. Asociación de Amigos del Castillo de Montearagón. Huesca. 351 pp.

- CUCHÍ, J. A., L. MONTES, J. JUSTES e I. LAFRAGÜETA (2005). Roca y agua: el acondicionamiento del entorno y el desarrollo histórico de la ciudad de Huesca. *Saldvie*, 5: 159-175.
- DONSELAAR, M. E., e I. OVEREEM (2008). Connectivity of fluvial point-bar deposits: An example from the Miocene Huesca fluvial fan, Ebro Basin, Spain. *American Association Petroleum Geologist Bulletin*, 92 (9): 1109-1129.
- DURÁN GUDIOL, A. (1965-1969). *Colección diplomática de la catedral de Huesca*. CSIC. Escuela de Estudios Medievales (Publicaciones de la Sección de Zaragoza, 10-11; Textos, 34). Zaragoza. 886 pp.
- DURÁN GUDIOL, A. (1991). *Historia de la catedral de Huesca*. IEA. Huesca. 248 pp.
- FISHER, J. A., G. J. NICHOLS y D. A. WALTHAM (2001). Unconfined flow deposits in distal sectors of fluvial distributary systems: Examples from the Miocene Luna and Huesca Systems, northern Spain. *Sedimentary Geology*, 195: 55-73.
- GARCÉS, C. (2012). *El Ayuntamiento de Huesca: historia, arte y poder*. IEA. Huesca. 315 pp.
- HIRST, J. P. P. (1983). Oligo-Miocene alluvial systems in the northern Ebro Basin, Huesca province, Spain. PhD thesis. Cambridge University. Cambridge.
- HIRST, J. P. P. (1991). Variations in alluvial architecture across the Oligo-Miocene Huesca fluvial system, Ebro Basin, Spain. En A. D. Miall y N. Tyler (eds.), *The Three Dimensional Facies Architecture of Terrigenous Clastic Sediments and Its Implications for Hydrocarbon Discovery and Recovery: SEPM. Concepts in Sedimentology and Paleontology* (3): 111-121.
- HIRST, J. P. P., y G. J. NICHOLS (1986). Thrust tectonic controls on Miocene alluvial distribution patterns, southern Pyrenees. En P. Allen y P. Homewood (eds.), *Foreland Basins. Special Publication International Association of Sedimentologists*, 8: 247-258.
- HUESCA, R. de (1797). *Teatro histórico de las Iglesias del Reyno de Aragón*, tomo VII. Imprenta Miguel Cosculluela. Pamplona. 520 pp.
- IRANZO, M.^a T. (1986). *La muralla de Huesca en la Edad Media*. Ayuntamiento de Huesca. Huesca. 147 pp.
- MONTANER ZUERAS, M.^a J., y J.-R. LAPLANA (eds.) (2016). *Documentos del Archivo de la Catedral de Huesca, 1214-1252*. IEA (Rememoranzas, 12). Huesca. 1136 pp.
- NAVAL, A. (2016). *Huesca, Urbs*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos. Huesca. 447 pp.
- 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 A*, 68 (5): 879-889.
- QUIRANTES, J. (1978). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*. IFC (Tesis Doctorales, 27). Zaragoza. 207 pp.
- RODRÍGUEZ VIDAL, J. (1985). *Geomorfología de las sierras exteriores oscenses y su piedemonte*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 4). Huesca. 172 pp.

NOTA SOBRE LA ACEQUIA DE LOS MOROS DE NUENO

José Antonio CUCHÍ¹
José Luis VILLARROEL¹

RESUMEN.— El presente artículo ofrece información sobre la desaparecida acequia de los Moros, en la gorga del Isuela.

ABSTRACT.— The present paper provides information on the vanished irrigation ditch of Los Moros, located in the gorge of the Isuela River.

KEY WORDS.— Acequia, Isuela, Nueno, Sabayés (Spain).

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se ha dedicado algún trabajo a la historia de los riegos de la cuenca de la hoya de Huesca, y en especial a los del río Isuela (CUCHÍ, 2004, 2006, 2007 y 2009; CUCHÍ y cols., 2005 y 2007; GARCÉS, 2006; GARCÉS y CUCHÍ, 2008; GARCÉS y cols., 2011). El trabajo ha resultado ser francamente interesante en la detección de pequeños detalles singulares como, por ejemplo, el atípico partididor del siglo XVII en Arascués, hoy desaparecido y descrito por CUCHÍ y ANDRÉS (2012).

Recepción del original: 7-12-2016

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

Otro tema singular, ya mencionado en CUCHÍ y GARCÉS (2008), es el referido a una desaparecida acequia de los Moros de Nueno que surge de interpretar una noticia de Ricardo del Arco. Este prolífico autor de la historia y el arte en el Alto Aragón tuvo relación con el mundo del regadío dado que, entre otras cosas, fue cuñado de Luis Mur Ventura, secretario durante muchos años de las Comunidades de Regantes del Pantano de Arguis y de la Acequia de la Ribera del Flumen. Además, Del Arco tuvo una gran relación con Nueno, donde se conserva la casa familiar.

La cita de Ricardo del Arco, en su clásico trabajo sobre los riegos del pantano de Arguis, es explícita:

La captación de las aguas del Isuela es antiquísima. En el pueblo de Nueno, por cuyo término municipal discurre aquel río, en la partida llamada *debajo del Castillo* (frente al túnel tercero de la carretera), se ve una toma de agua por medio de un agujero como de una vara en cuadro, practicada a pico en la roca, junto a la orilla izquierda. Siguen vestigios claros de la acequia, los cuales se pierden a la salida de Nueno en dirección a Igríes. En este pueblo, en el barranco del Forato, subsiste un machón de recio mortero para sostener un canal de aquella acequia. Y por la calle de Cañas es tradicional que antes pasaba la acequia de Huesca. También en Nueno es fama que la dicha acequia era obra de moros (abuelos, realmente, de todo nuestro sistema de irrigación), para llevar las aguas del Isuela a la ciudad. Excavando, aún se hallaría la acequia intacta. No puede confundirse con la acequia que usó luego y en la actualidad, pues la moruna va siguiendo la orilla izquierda del río y esta segunda la opuesta. Es, por tanto, el primer aprovechamiento de tales aguas, acaso desde el siglo XI. (DEL ARCO, 1924: 12-13)

El texto parece describir un antiguo sistema de riego, hoy fuera de uso. El presente artículo tiene como objetivo buscar los indicios de la mencionada acequia dentro de la persistente pérdida de información popular sobre este tipo de obras antiguas.

EL MARCO DE LA ACEQUIA

De acuerdo con la descripción de Ricardo del Arco, la acequia se iniciaría en la zona media del congosto del Isuela, discurriría por la orilla izquierda del río a través de una complicada y abrupta ladera para llegar al somontano y seguir por terrazas fluviales hasta la localidad de Igríes por debajo del cerro Santocoba (fig. 1).



Fig. 1. Mapa topográfico. Congosto del Isuela. (Iberpix. IGN)

El congosto del Isuela cruza transversalmente una zona geológicamente compleja del frente de cabalgamiento prepirenaico estudiado por MILLÁN (2006). El desfiladero se inicia una vez que el río supera las margas grises de Arguis y talla un primer desfiladero en calizas del Eoceno y del Cretácico superior hasta el puente de El Escalar. Luego, el valle se abre ligeramente en el antiguo molino de Arguis a favor de las areniscas rojizas de la facies Garum donde se observa alguna capa carbonosa en el corte de la N-330. Después, el valle entra en la ventana tectónica del Isuela y el cauce se estrecha ligeramente pasada la zona de los manantiales de débil termalismo de los Baños de Nueno. Por la orilla izquierda dominan los acantilados de calizas del Muschelkalk de la cárcel o castillo de Ordás, utilizados por una cantera

en la década de 1960. Esta caliza se presenta en estratos de poco espesor. En la vertiente izquierda buza hacia el oeste con grandes grietas verticales de deslizamiento, las grimas de Santolarieta y la sima de Ordás. Bajo el casti- llo, unos antiguos huertos se abren en los blandos materiales del Keuper que se prolongan por la orilla derecha, por el barranco de A Batalla. Pasa- do este, las grises y muy tableadas calizas del Muschelkalk descienden a ambos lados hacia el cauce, especialmente por la derecha. La fuente de la Rayeta aflora en la base de un estrato junto a la antigua carretera en la mar- gen derecha. A la izquierda aparecen las crestas de Peña del Águila / crestas de Nueno, escamas calizas desarraigadas del Cretácico superior y Eoceno en el frente del cabalgamiento. En su pie se acumulan canchales perigla- ciales. A la altura del puente de la autovía, la caliza da paso a materiales margoarcillosos con yesos del Keuper que favorecen un gran deslizamien- to de ladera que ha creado problemas en la N-330 y desvía el río hacia el oeste. Conectan de forma gradual con arcillas del Mioceno a la altura de los huertos de Nueno. Frente a esta localidad, en la orilla izquierda, las laderas están recubiertas por una potente masa de clastos procedentes de los corta- dos del Muschelkalk que dominan el paisaje.

A partir de Nueno, el congosto desaparece. La geomorfología de esa zona, cartografiada por RODRÍGUEZ VIDAL (1985), además de sugerir una captura del Flumen por el Isuela a la altura de Sabayés, presenta una serie de terrazas, sobre todo en la orilla derecha, separadas por laderas de arcil- las regularizadas y que enlazan con glacis que descienden desde las plata- formas estructurales situadas en el entorno de Santolarieta. Entre Nueno e Igriés se extiende una terraza media, constreñida por la ladera occidental de Santocoba y que se vuelve a abrir en Igriés. El río discurre encajado en el saso de Arascués hasta el vado de Banastás.

INFORMACIÓN ORAL

Para confirmar la información de Ricardo del Arco, hemos entrevistado a algunos vecinos de la zona que confirman haber oído hablar de la exis- tencia de la mencionada acequia, aunque ninguno la ha visto en uso. En 1960, la persona de más edad vio desaparecer un tramo de acequia tallado en roca bajo la cárcel de Ordás por voladuras de la cantera de Boráu. Otro

comunicante recordaba informaciones sobre un inicio de acequia en la cantera y que, ya en el llano, pasaba por la fajeta de los Muertos y regaba en Campocil, donde aparecen piedras talladas y ladrillos. La acequia continuaría hasta las cercanías de los manantiales de Paulesas, frente al actual Hostal Monrepós donde estuvo el Hospitalé de Arascués (fig. 2). La zona regable supondría como máximo unas 150 hectáreas limitada por los escarpes de la Corona de Sabayés al este y el cerro de Santocoba por el sur. Un tercer testigo señaló que había memoria en su familia de que una acequia regaba por la ladera occidental de la Corona / la Meseta, y que fue afectada por combates durante la Guerra Civil. No tenía claro si el agua venía del Isuela o si

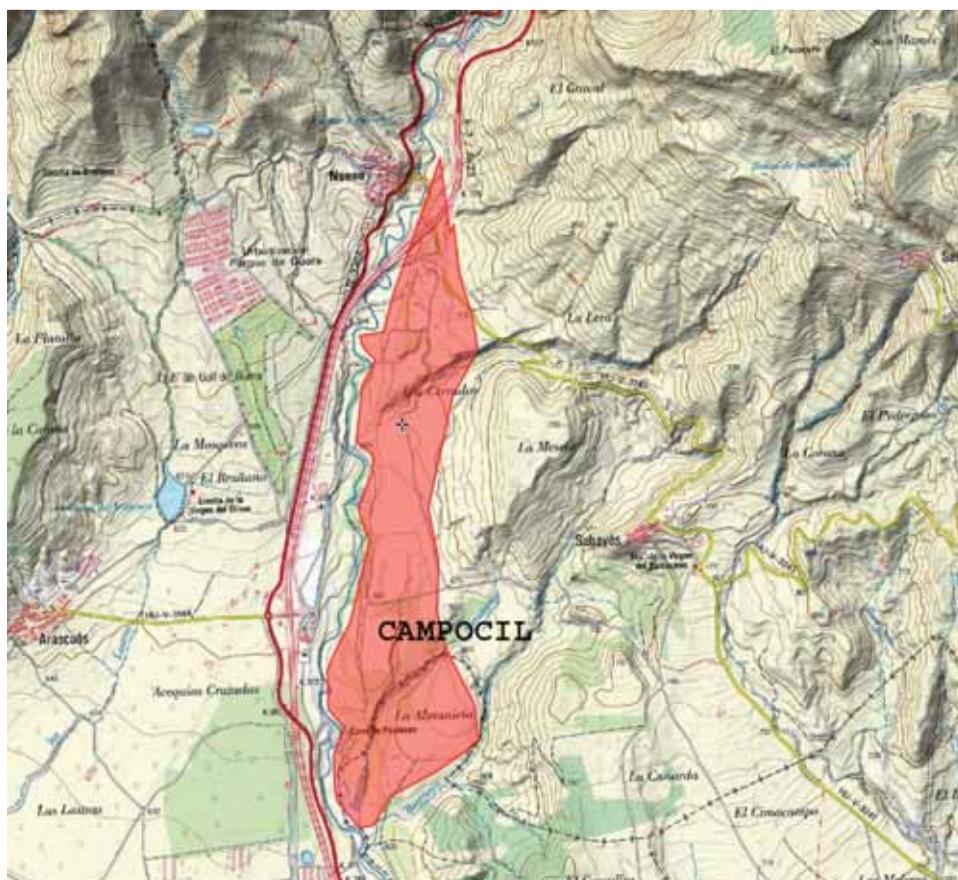


Fig. 2. Posible zona regable por la acequia de los Moros (Nueno, Sabayés, Igríes). (Iberpix. IGN)

procedía del barranco de la Mosquera / Matalobos, procedente de las laderas del Piacuto, pero se inclinaba por el segundo caso.

BÚSQUEDA SOBRE EL TERRENO

A partir del texto de Ricardo del Arco y del análisis de las informaciones orales, se han realizado una serie de exploraciones en el congreso muy afectado por las obras de la N-330 y de la A-23. También se ha visitado la zona llana entre Nueno, Igríés y Sabayés.

En el congreso se han realizado recorridos por el cauce y las laderas, desde el pie de la presa de Arguis hasta la huerta de Nueno. En la zona alta están las surgencias de la cueva de Sanclemente, dos puentes antiguos, los restos del antiguo molino de Arguis, un pequeño azud moderno junto a un chalet y las ruinas de los Baños de Nueno, relacionados con surgencias de débil termalismo. Aguas arriba de la cantera hay un pequeño estrecho con los restos de un pequeño azud. Bajo la cantera, situada en el pasado en la orilla izquierda, hay una modesta zona llana con restos de edificaciones. Pasado esta, el cauce se estrecha otra vez, dominado por escarpes, y con abundantes bloques deslizados en el río. Pasada la fuente de la Ralleta se abre, por último, el cauce a la altura del azud de Nueno, recientemente arreglado, y se llega a los huertos de esta localidad.

El azud bajo el castillo de Ordás

Como se ha indicado, se han localizado señales de un pequeño azud en un modesto salto natural de agua de unos 4 metros de altura (fig. 3). Se accede descendiendo con cierto cuidado por una escombrera de obra de la carretera antigua, a la altura del cuarto túnel contando desde Nueno, una vez pasado el primer túnel desde el barranco A Batalla (coordenadas H30T. X: 0712589; Y: 4684950; Z 840 msnm en ETRS89). En la orilla izquierda del salto (fig. 4), se localiza un hueco rectangular hoy obturado por un bloque de piedra (fig. 5), como señalaba Ricardo del Arco. En la orilla derecha hay media docena de entalles circulares en la roca (fig. 6), de unos 10 centímetros de diámetro, para empotrar y apuntalar trancas de madera para un pequeño azud tipo enramada. No se han encontrado entalles en la orilla derecha,



Fig. 3. Ubicación del azud localizado en el río Isuela.

donde se sugiere la rotura de la pared de roca. El tamaño de los apoyos indica una obra menor de bajo coste, para estacas delgadas, bien porque era muy modesto o quizás debido a la elevada deforestación de la zona, muy pastoreada y utilizada para producir carbón vegetal para Huesca. Señalemos, además, que el modesto tamaño de los entallos es similar a los de la boca de la cueva de Sanclemente donde parece haberse construido algún tipo de presa en madera.



Fig. 4. Pequeño salto en el río Isuela donde se situaba el azud.



Fig. 5. Toma de agua en la orilla izquierda.



Fig. 6. Entalles circulares de modestas dimensiones en la orilla derecha del salto.

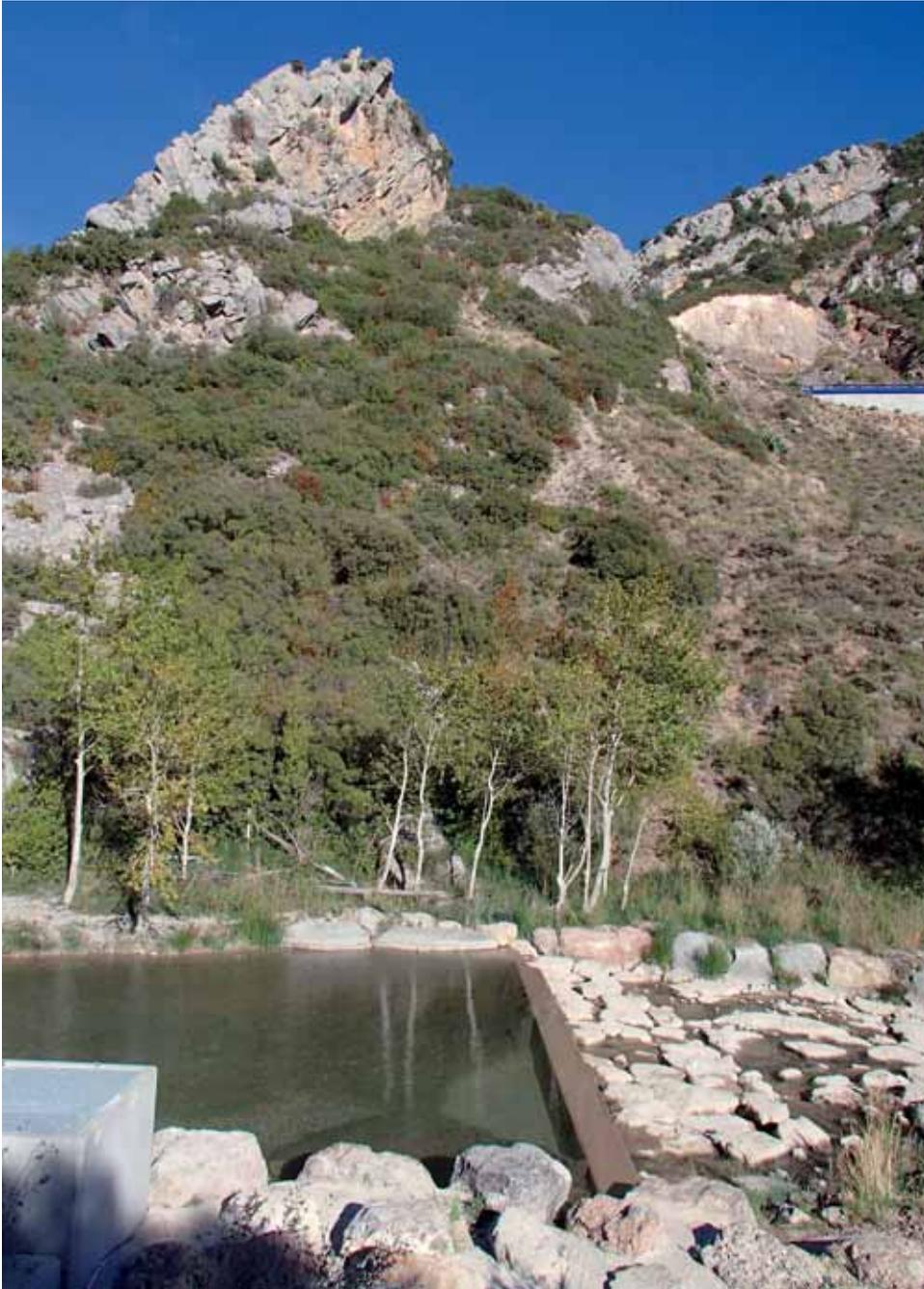


Fig. 7. Ladera izquierda del valle del Isuela, sobre el azud de riego de Nueno.

Búsqueda de la acequia en el congosto y zona baja

Como se ha señalado, hay recuerdo de una pequeña acequia tallada en piedra en la zona de la cantera, desaparecida por voladura hacia 1960. No se ha encontrado ningún resto en esta zona.

Aguas abajo de la cantera se han realizado búsquedas en cuatro verticales de la ladera izquierda no afectados por las obras en la posible continuación de la acequia, incluyendo el pequeño abrigo ganadero de cueva Rasal (X: 712484; Y: 4684329). A modo de ejemplo, la figura 7 muestra la zona explorada en uno de estos recorridos, sobre el azud renovado de Nueno. Lamentablemente, no se han encontrado trazas compatibles con una antigua conducción de agua. Además, las características de inestabilidad y pedregosidad de la ladera indican que debió de ser muy difícil la construcción y el mantenimiento de una conducción tradicional de agua, si se realizó.

Ya en el piedemonte, tampoco se ha encontrado ningún resto de conducción al norte del barranco de la Mosquera. Sobre el terreno, se ha buscado en el entorno del antiguo camino de Nueno a Santolarieta que sube por fajas agrícolas hoy abandonadas. Ninguna de estas presenta una solución de continuidad hacia ambos lados compatible con una acequia. Hay que reseñar, sin embargo, que el arranque de la presunta zona regable se encuentra hoy ocupada en parte por una gran rotonda de la A-23 y un gran vertedero. Pero bajo los escombros de este había un “cerrado” donde se regaba alfalfa.

Al sur del barranco de la Mosquera / Espantalobos, en la ladera oeste del cerro de la Corona / Meseta, en la Trascorona, un vecino de Sabayés recuerda que su padre le habló de una acequia desaparecida durante la Guerra Civil. La conducción iba a media ladera, a una cota aproximada de 720 msnm. En opinión del informante, aparentemente recogía el agua del mencionado barranco, en el pasado menos vestido y que aportaba más agua. A partir de esta información y de la ortofoto 248-2-2 del vuelo de 2012 descargada de Idearagón, se ha localizado una estructura lineal cuya imagen se ha grafiado (fig. 8). La estructura se ha localizado sobre el terreno (fig. 9) a la que se puede acceder por una pista que parte de una fuerte curva de la HU-V-3243 a 200 metros al sur del puente. Es una vaguada cortada en la ladera con una anchura de entre 1 y 2 metros y provista de una berma hacia la ladera, de casi 1 metro de altura. Hoy está cerrada por



Fig. 8. Posible conducción de agua en Trascorona de la Corona / Meseta (Sabayés).
(Imagen de Idearagón)

aliagas y otros arbustos espinosos. No es fácil seguirla tanto por la cubierta espinosa como por nuevos aterrazamientos para plantaciones de almendros. En la actualidad, parece funcionar como una agüera.

Por lo señalado, todo hace pensar que es una antigua conducción de agua. Quizás una acequia, pero también pudiera ser solo una agüera que controlara el agua de escorrentía de la ladera, ya que hay que señalar que varias de estas se han construido recientemente. Desde luego, no parece una trinchera, dado que no presenta las típicas sinuosidades para evitar tiros en enfilada, ni tampoco se ven puestos singulares. Recordemos que la HU-V-3243 fue construida durante la guerra por el bando republicano.

No se ha podido evidenciar la conexión de la conducción con el barranco de la Mosquera donde una prolongación topográfica lleva a situar el hipotético azud bastante por encima del puente. En la orilla derecha y norte del barranco, tampoco se ha detectado una posible conducción. Hay que



Fig. 9. Imagen de la posible acequia en ladera de Sabayés (H30T: 0717703/4681493, ETRS89).

indicar que esta zona, hacia la Lera, es bastante escarpada incluso para el pastoreo de ovejas, obligando a atravesar los terreros en los que se encontraba el paso Betrán.

Al pie del mencionado cerro, en Campocil no se han encontrado claros restos de alguna acequia paralela al antiguo camino de Nueno a Igríes. El término se encuentra en torno a la confluencia entre este camino y el camino tradicional de Sabayés al Hospitalé de Arascués, al norte del término de la Almunieta.

En esta zona, lo más destacado es la inusual dirección norte-sur del barranco de la Codera, una vaguada con inicio en zona de campos. Se interrumpe por algún campo de almendros cerca de la cabecera, pero luego gana profundidad hasta desembocar en el barranco de la Almunieta. En algunos puntos parece obra artificial. Tras la confluencia, el barranco conjunto

esquiva por una estrecha loma la excavación artificial del entorno de los manantiales de Paulesas, pasa bajo una pequeña canaleta y alcanza el Isuela en las proximidades del acueducto en tubería que parte de Paulesas hacia Huesca. En el Isuela, aguas arriba de este paraje, está el azud del que sale la acequia, que servía al molino de la Malene, y sigue hacia las huertas de Igríes.

Las razones de la memoria del paso de una antigua acequia de Huesca por Igríes se han señalado en GARCÉS y CUCHÍ (2008) y CUCHÍ y GARCÉS (2008). En resumen, es un recuerdo popular de una primitiva acequia que fue parcialmente amortizada como consecuencia del cambio de trazado de aquella de la orilla izquierda a la derecha del Isuela en el siglo xv.

Los riegos de Sabayés

La información de campo ha permitido recoger también información sobre los modestos riegos de Sabayés, cuyo término es bastante accidentado. Se ha considerado de utilidad el documentarlos porque fueron fundamentales en la alimentación local, aunque hoy están desapareciendo por la despoblación, la mecanización y la dificultad de su mantenimiento.

El riego mayor son los huertos de la Fuente. Esta, situada cerca de la ermita de la Virgen del Patrocinio, abastecía a la localidad y regaba unos veinte huertos. A principios de temporada regaban a voluntad, hasta que por escasez se ponía orden y se regaba por casas y por tiempo en función de la superficie. El agua subterránea procede del acuífero del saso que se encuentra entre la ermita y Apiés, donde este pequeño acuífero aflora en otras fuentes. Hubo otros pequeños riegos en otros barrancos que descienden del Piacuto, además del señalado barranco de la Mosquera. La compra de un manantial de Casa Nasarre, que salía en el huerto de Hilario, en el barranco Vallón, permitió llevar agua al pueblo, construyendo la balsa nueva, de la que salía agua hacia una fuente pública situada en el centro de la localidad. Cuando menguaba el agua de riego en la fuente del lugar, se llevaba el agua desde esta nueva balsa hasta un pozo de la ermita cercana a la fuente. En 2-3 días aumentaba el agua en esta. Del barranco Vallón, que luego pasa a llamarse de la Tejería, se regaban unas 6 hectáreas en el reguero de la Almunieta, a caballo de la güega con el monte de Igríes. También hay algún huerto en el barranco de la Virgen, en el inicio de la carretera al pantano de Belsué.

ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN

Es siempre delicado interpretar una frase sintética de una publicación con más de noventa años y cuyo objetivo fundamental era sugerir la antigüedad de los riegos del Isuela en Huesca y en las localidades ribereñas del Isuela.

De los trabajos de campo, es evidente que no se ha localizado un sistema de riego que cumpliera con toda la información aportada por Del Arco y que parecía corroborarse en la memoria local. Ante tal situación caben dos posibilidades antagónicas:

- *Sistema perdido*. La primera posibilidad sería la existencia de un sistema de regadío que hubiera desaparecido sin dejar trazas, combinando la antigüedad de su abandono, la evolución de las laderas, la amortización de las estructuras y los trazados y, por último, el efecto de las obras de la N-330 y de la A-23. Esta acequia madre, del azud a la zona regable, tendría una distancia aproximada de 2,5 kilómetros y una diferencia de cotas de entre 840 y 700 metros, con una pendiente media del 5,6%. Es un valor muy alto para una acequia de sección cuadrada de 0,3 metros. Para una rugosidad alta, con un número de Manning de 0,03, se obtiene una velocidad del orden de 1,7 m/s que también es muy elevada.

El abandono de un sistema puede deberse a varias razones. La más evidente es la desaparición física de la corriente superficial o manantial del que se captaba. Evidentemente, no es este caso. Otra razón sería de tipo legal, cuando el agua fuera vendida por un señor temporal, secuestrada judicialmente por otros usuarios o, incluso, hubiera sido objeto de renuncia como, por razones aún no claras, hizo Igriés en su día (GARCÉS y CUCHÍ, 2008). Una última causa sería la desaparición al menos parcial de los usuarios y manos para el mantenimiento. En el Alto Aragón, varias localidades se despoblaron por la peste durante la Edad Media y el siglo XVIII. Pero se observa una resistencia histórica de los sistemas de riego a desaparecer. Un ejemplo son los huertos de la desaparecida localidad de Isarre, en Vadiello, que siguieron cultivados por vecinos de Santolaria la Mayor. La desaparición ha sido más efectiva recientemente con el gran éxodo rural de mediados del siglo XX combinado con la mecanización, las facilidades para la compra, el transporte y la conservación de



Fig. 10. Caída de rocas, hacia 2014, desde la cárcel de Ordás al bosque de repoblación sobre la A-23.

alimentos, la disminución de los caudales en manantiales y barrancos por la reforestación y la creciente predación de jabalíes, cabras cimarronas y otros ungulados.

En este caso, donde el sistema desapareció hace muchos años, la razón más aparente para el abandono sería la dificultad de mantenimiento de la acequia larga por la inestabilidad natural de las laderas. Un reciente ejemplo de problema geotécnico se presenta en la figura 10. Este problema es general en el frente del Prepirineo, y merece un estudio específico, pero es bastante agudo en el congado del Isuela, dejando aparte los problemas relacionados con la construcción de la N-330 y la A-23. Además, hay que añadir el gran deslizamiento de ladera del punto kilométrico 375,500 / 586,500.

- *Varios sistemas desconectados.* La segunda posibilidad sería la composición de la información sobre varios sistemas diferentes. El primer



Fig. 11. Posibles antiguos huertos de Ordás.

sistema sería lógicamente el localizado en la zona media del congado a partir de los indicios del modesto azud que cumple con lo descrito por Del Arco, y que sirviera a una serie de huertos bajo el cortado que alberga el despoblado de Ordás (fig. 11).

Como se ha indicado, desde el punto anterior no se ha detectado ningún resto de conducción bajo Peña del Águila ni en el barranco de la Mosquera.

Un segundo sistema sería el tramo de conducción en la ladera oeste de la Corona / Meseta. Puede ser una acequia desde el barranco de la Mosquera que desciende desde el Piacuto. También puede ser una agüera con desarrollo solo en esta ladera, una variante del tipo de riego estudiado en CASTELLARNAU y CUCHÍ (2014) para la localidad de Santolaria de Galligo (Santa Eulalia de Gállego). Un caso similar mediante recogida de agua de laderas se ha localizado recientemente

en los viejos olivares de Piracés. El destino del agua recogida, quizás para riego de olivo, pudiera estar en la misma ladera de la Trascorona o en la zona de Campocil, en su base, donde, además de las referencias a restos de construcciones, hay que reseñar la regular distribución del parcelario que difiere de la forma de los campos circundantes. Además, también podría recoger agua de los barrancos del Tejar y de la Almunieta. Es más difícil pensar que esta zona recibiera agua del Isuela desde el azud del primer sistema. La cota final, 660 metros, permite recibir agua captada en el Isuela mucho más cerca de Nueno, con una acequia de menor recorrido y evitando los problemas mencionados, si bien hay que salvar el barranco de la Mosquera.

El último sistema que participaría en el posible conjunto es el ya mencionado, parte del antiguo sistema de los riegos de Huesca. La presencia de la actual acequia de Igriés y la desaparecida acequia de Huesca, con el cambio de orilla efectuado en 1428 y 1429, son congruentes con la información aportada por Del Arco.

Esta segunda opción, a partir de una amalgama de la información oral de los tres sistemas, ha podido llevar a la hipótesis de un único sistema de riego.

A modo de conclusión, contrastando las diversas informaciones, no es fácil sustentar la hipótesis de una sola conducción desde la cantera de Ordás hasta Igriés, si esto es lo que se puede desprender de la lectura del texto inicial. Por el contrario, sí hay indicios para pensar en tres sistemas de riego: uno modesto, basado en el azud localizado que regaba los huertos de Ordás con agua del Isuela en el congosto; un segundo, menos claro, en la ladera de la Corona de Sabayés, quizás con riego en la zona de Campocil, con una alternativa mediante una acequia desde el Isuela; y el tercer sistema, formado por la cabecera de los riegos de Huesca, por la orilla izquierda, abandonado, como es conocido en el siglo xv. El primero y el último son coherentes con lo publicado por Del Arco.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la memoria de Andrés Ascaso Navasa, de 91 años, entrevistado en Nueno el 21 de marzo de 2013, así como las informaciones de Domingo Monaj, de Nueno, y José Andrés Santolaria, de Sabayés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCO, R. del (1924). *El antiguo pantano de Arguis o de Huesca. Contribución a la historia de la política hidráulica en Aragón*. Heraldo de Aragón. Zaragoza. 55 pp.
- CASTELLARNAU, A., y J. A. CUCHÍ (2014). Los riegos de oportunidad de Santolaria de Galligo / Santa Eulalia de Gállego. (Estudio de caso de una gestión eficiente de un bien escaso y común). En C. Sanchis-Ibor, G. Palau-Salvador, I. Mangué y L. P. Martínez-Sanmartín (eds.), *Irrigation, Society, Landscape. Tribute to Thomas F. Glick*: 805-819. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- CUCHÍ, J. A. (2004). La Comisión de Riegos del Sindicato de Riegos del Pantano de Arguis: 1933-1938. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 21: 31-45.
- CUCHÍ, J. A. (2006). Anotaciones sobre la distribución de agua en los sistemas de riego tradicionales de la zona occidental de la hoya de Huesca. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 22-23: 5-46.
- CUCHÍ, J. A. (2007). El sistema de riegos Mondod-Rosel (Huesca, España). *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 24: 47-75.
- CUCHÍ, J. A. (2008). Los sistemas de riego del río Riel (provincia de Huesca). *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 25: 23-42.
- CUCHÍ, J. A. (2009). Uso del agua en los regadíos tradicionales de la cuenca del Guatizalema. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 26: 197-220.
- CUCHÍ, J. A., y C. GARCÉS (2008). Aportaciones a la evolución del sistema de riegos del Isuela en la ciudad de Huesca. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 25: 43-58.
- CUCHÍ, J. A., y R. ANDRÉS (2012). El partididor de Arascués: una obra hidráulica singular de la Huesca del siglo XVII. *Lucas Mallada*, 14: 31-40.
- CUCHÍ, J. A., L. MONTES, J. JUSTES e I. LAFRAGÜETA (2005). Roca y agua. El condicionamiento del entorno y el desarrollo histórico de la ciudad de Huesca. *Saldvie*, 5: 159-175.
- CUCHÍ, J. A., J. L. VILLARROEL, C. GARCÉS, S. FÁBREGAS, R. HURTADO y J. BERNUÉS (2007). La localización de la mina de Bonés: una obra hidráulica inacabada de la Huesca del siglo XVII. *Argensola*, 116: 171-185.
- GARCÉS, C. (2006). La mina de Bonés. Agua y fracaso en la Huesca del siglo XVII. *Argensola*, 116: 111-170.
- GARCÉS, C., y J. A. CUCHÍ (2008). Historia de la acequia Mayor de Huesca (siglos XII a XVII). De una orilla a otra del Isuela. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 25: 59-100.
- GARCÉS, C., J. BERNUÉS y J. A. CUCHÍ (2011). El azud de Nueno y las tiras francas (1432): más sobre la historia de los regadíos del Isuela. *Argensola*, 121: 29-50.
- MILLÁN, H. A. (2006). *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 53). Huesca. 398 pp.
- RODRÍGUEZ VIDAL, J. (1985). *Geomorfología de las Sierras Exteriores oscenses y su piedemonte*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 4). Huesca. 172 pp.
- VILLARROEL, J. L., y J. A. CUCHÍ (2008). Cavidades tectónicas en la cuenca del Isuela (Huesca): grimas de Santolaria y cuevas de Ordás y de la Cabra. *Lucas Mallada*, 13: 235-249.

Lucas Mallada, **18**: 147 a 177
ISSN: 0214-8315, e-ISSN: 2445-060X
<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>
Huesca, 2016

INTERACCIÓN AGUA DE LLUVIA – ROCA EN CALIZAS DEL VALLE DEL ALTO ISUELA (HUESCA)

Rodrigo ELPUENTE¹
José Antonio CUCHÍ²
José Luis VILLARROEL²
José Antonio MANSO³

RESUMEN.— Se analizan algunas características químicas de rocas de la cuenca del Isuela y de su lixiviado con agua de lluvia.

ABSTRACT.— Some chemical characteristics of Isuela basin rocks and their leachates with rainwater are presented.

KEY WORDS.— Prepirineo, limestone, marl, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

La interacción entre agua de lluvia y rocas calcáreas es un tema de interés por sus implicaciones en la formación de suelos, calidad de las aguas superficiales y subterráneas (NADLER y cols., 1980; LIU y cols., 2004), y

Recepción del original: 12-12-2016

¹ C/ Doña Sancha, 2, 2.º F. E-22005 HUESCA. rojoelo@hotmail.com

² 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

³ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. manso@unizar.es

alteración de rocas y monumentos (FIGUEIREDO y cols., 2000; CARDELL-FERNÁNDEZ y cols., 2002).

Una parte importante del Prepirineo del Alto Aragón está formado por rocas carbonatadas, en las que abundan los rasgos kársticos formados por infiltración del agua de lluvia a través de las rocas, que genera aguas subterráneas. Sin embargo, hay poca información sobre las características químicas de las calizas y otras rocas carbonatadas del Prepirineo, así como sobre la interacción entre estas y el agua, con la excepción de los trabajos previos de BUERA y cols. (1997), MONAJ (2003) y MONAJ y cols. (2014). Los resultados de estos últimos trabajos sorprendieron por la presencia de altos valores de pH y conductividad eléctrica (CE) en lixiviados de las rocas.

Con el fin de completar la información obtenida, se ha estudiado la interacción por percolación de agua de lluvia con muestras de rocas de la cuenca del Isuela molidas a diversas texturas y con periodos de contacto diferentes. El objetivo es intentar reproducir en laboratorio el proceso natural de flujo de agua a través del suelo y las rocas calcáreas.

MARCO GEOLÓGICO

La geología de la parte alta de la cuenca es variada y se puede ver en detalle en MILLÁN (2006) y MONTES (2009). El río fluye de norte a sur. La cabecera de la cuenca se encuentra en la sierra de Bonés en areniscas de la formación Campodarbe. La cubeta de Arguis está abierta en materiales margosos de las formaciones Belsué-Atarés y Arguis, del Eoceno medio y superior. La barrera caliza donde apoya la presa pertenece a la formación Guara, de la misma edad. Descendiendo por el cañón, pasado el viejo puente de El Escalar se accede a areniscas rojizas de la facies Garum y después a calizas del Cretácico superior. Desde la vertical de Ordás se pasa a calizas tableadas del Muschelkalk hasta el azud de Nueno. A partir de aquí se llega a los materiales arenoarcillosos del Mioceno de la hoya de Huesca, localmente recubiertos por gravas que presentan horizontes tipo petrocálcico (mallacán) (tabla I).

Tabla 1. Muestras, edad geológica y ubicación de las muestras estudiadas.

	Roca	Denominación	Edad geológica	Localidad	Coordenadas UTM H30		
					X	Y	Z
1	Arenisca	Bonés	Eoceno medio	Nueno	4689475	714850	1318
2	Caliza	Pico del Águila	Eoceno medio	Arguis	4689150	712950	1300
3	Marga	Mesón Nuevo	Eoceno medio	Arguis	4689450	713375	1260
4	Marga	Rasal	Eoceno medio	Arguis	4688375	710750	1080
5	Marga	La Foz	Eoceno medio	Arguis	4687500	712025	980
6	Caliza	Presa de Arguis	Eoceno medio	Arguis	4686975	712050	970
7	Caliza	Medio	Eoceno medio	Arguis	4686400	712000	960
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	Eoceno medio	Arguis	4686525	712075	950
9	Caliza	Puente Viejo	Eoceno medio	Arguis	4686475	712125	940
10	Arenisca	Molino de Arguis	Garumniense	Arguis	4686000	712275	920
11	Caliza	Molino de Arguis II	Cretácico superior	Arguis	4685875	712350	910
12	Caliza	Cantera de Boráu	Muschelkalk	Nueno	4684800	712450	845
13	Caliza	Kilómetro 587	Muschelkalk	Nueno	4683525	712025	780
14	Mallacán	Golf	Cuaternario, glaci	Nueno	4681450	710775	675
15	Arenisca	Sabayés	Mioceno	Nueno	4681700	712400	765
16	Arenisca	Montearagón	Mioceno	Quicena	4670508	719531	610
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	Eoceno medio	Nueno	4686700	717750	1040
18	Caliza	Cueva Drólca	Eoceno medio	Sarsa de Surta	4687458	746614	1050
19	Caliza	Calatorao	Jurásico	—			
20	Caliza	Forro EPSH	¿Jurásico?	—			
21	Estalactita	Cueva de los Murciélagos	Eoceno medio	Loporzano	4679725	724850	770

MUESTREO Y MÉTODOS ANALÍTICOS

Para el presente artículo se recogieron 60 litros de agua de lluvia con ayuda de un gran embudo sujeto a un depósito cuidadosamente lavado con agua desionizada, entre los meses de septiembre y octubre de 2003 en Loporzano (Huesca). El pH del agua de lluvia se determinó, con la mayor celeridad posible tras la recogida de la precipitación, mediante un pHmetro Orión 290 A

portátil con un electrodo de vidrio Ingold de pH con compensación de temperatura, así como con el oportuno calibrado con los correspondientes tampones.

Paralelamente, a lo largo de la cuenca del Isuela se muestrearon 16 rocas carbonatadas, a las que se unieron dos muestras de calizas de la sierra de Guara, más otras dos rocas similares utilizadas en construcción y un espeleotema de la cueva de los Murciélagos en Vadiello, en la cuenca del Guatizalema. Ocho de las muestras son calizas representativas del Prepirineo, especialmente de la formación Guara del Eoceno medio, formación Bona Adraen, del Cretácico superior y del Muschelkalk. A estas hay que añadir dos calizas de construcción, las muestras 19 y 20 que se colectaron entre los materiales de obra del edificio de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (EPSH). La roca número 19 es una caliza microcristalina, de color gris oscuro, con algunas vetas de calcita. Procede de canteras de la localidad de Calatorao donde se explota un nivel de la formación Chelva del Jurásico medio, correspondiente a los pisos Bajociense y Batoniense. En Huesca se ha utilizado para bordillos de acera y ensolado de la plaza de la Universidad y en las columnas salomónicas de la capilla de la familia Lastanosa en la seo oscense. La roca número 20 es una caliza micrítica utilizada como forro ornamental en el edificio principal de la EPSH. Probablemente es de la zona de Alicante. Se han muestreado también tres margas de la cubeta de Arguis. Las cuatro areniscas tienen origen variado dado que son de edades y lugares diversos.

Las muestras de roca se rompieron manualmente para obtener fragmentos del orden de los 10-15 cm³ que se molieron posteriormente en un molino de barras. Después se procedió al tamizado en tres fracciones con diámetro de partícula de menos de 1 milímetro, entre 1 y 2 milímetros y mayor de 2 milímetros. En las muestras tamizadas se determinó el pH en relación 1 : 2,5 (roca, agua desionizada) y agitación mediante el mismo material y procedimiento utilizado con el agua de lluvia. Para la textura fina (menos de 1 milímetro de luz) se determinó este parámetro al transcurrir 1, 2 y 5 horas, 1 y 4 días. Para el caso de la textura gruesa (entre 1 y 2 milímetros de luz) a las 2, 3 y 4,5 horas y a 1 y 2 días. Los carbonatos se determinaron con un calcímetro de Bernard.

A partir de las 21 muestras y sus correspondientes tres fracciones se prepararon rellenos de través de tubos de PVC, de 24 milímetros de diámetro y 30 centímetros de longitud (fig. 1). A través de estos se hizo percolar agua

de la lluvia recogida, mediante un sistema de goteo, ajustable a las características de conductividad hidráulica de cada columna. El volumen del lixiviado varía para cada muestra en función de la conductividad hidráulica de la muestra, a su vez función de la porosidad que depende del tamaño de la molienda. La textura más fina percolaba más despacio y, consecuentemente, el volumen recogido para la textura fina es menor a igualdad de tiempo que para las texturas media y gruesa. Cada experimento duró hasta 12 horas, finalizando bien cuando se recogían 120 cm³ o se alcanzaba el tiempo indicado. Posteriormente, se prepararon tres muestras en tubos de igual diámetro y 50 centímetros de longitud para repetir el experimento. Bajo cada tubo se colocaron preformas de PET de 12 cm³ para recoger el lixiviado.

En los lixiviados, por fracciones de 12 cm³, se determinó la conductividad eléctrica, pH, y concentraciones de iones de calcio y magnesio. La conductividad eléctrica (CE) se determinó mediante un conductímetro Orión 122 con sonda compensatoria de temperatura y electrodo calibrado para



Fig. 1. Diseño del equipo experimental.

presentar los datos en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a $20\text{ }^\circ\text{C}$. El pH se determinó mediante el equipo y método ya descritos. Los iones de calcio y magnesio se determinaron mediante complexometrías con EDTA con indicadores tales como ácido calconcarboxílico y negro de Eriocromo T.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agua de lluvia. Como se ha señalado, como base para el experimento se ha utilizado un agua de lluvia compuesta, captada en Loporzano durante los temporales de otoño, entre septiembre y diciembre de 2003, con CE de $28,6\ \mu\text{S}/\text{cm}$ a $20\text{ }^\circ\text{C}$ y pH de 6,49. Ambos se consideraron valores normales y coherentes con los que presenta la bibliografía para aguas naturales como, por ejemplo, BERNER y BERNER (1987) y CUCHÍ y MANSO (1997).

Contenido en carbonato cálcico de la roca. Uno de los objetivos básicos era caracterizar parcialmente las rocas de la cuenca del Isuela dada la influencia de este parámetro en su disolución.

La tabla II presenta el contenido en carbonatos expresado como carbonato cálcico de las rocas muestreadas. Este valor oscila entre el 4 y el 100%. El valor máximo corresponde a calizas de la formación Guara y a la estalactita de la muestra 21, al igual que sucedía en el trabajo de MONAJ y cols. (2014). Sorprende un poco que la caliza cercana al puente antiguo de El Escalar de Arguis, tomada en la antigua carretera y en las cercanías de una surgencia temporal, presente un bajo contenido en carbonatos. Pudiera ser un nivel dolomitizado o silicificado que necesitaría un estudio más detallado. La caliza del Cretácico y las del Muschelkalk también presentan contenidos dominantes en carbonato. Las calizas 19 y 20, sin relación con la zona, presentan características diversas. La primera, del Jurásico de Calatorao, tiene un contenido que la define como una caliza acompañada por componentes menores. La segunda presenta un bajo contenido que pudiera estar asociado con un contenido relativamente alto de dolomita ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$), que reacciona ante el ácido mucho más despacio que la caliza, aunque también pudiera deberse al alto grado de cristalinidad que confiere carácter ornamental a esta roca. El valor de la muestra de petrocálcico (mallacán) del saso de Arascués es coherente con su formación por cementación de gravas prepirenaicas con carbonato cálcico derivado de su disolución.

Las muestras de margas grises de la cubeta de Arguis presentan valores inferiores al 50%, que se encuentran dentro del rango geológico de estos materiales. El bajo valor en carbonatos apoya su fuerte erodabilidad con el efecto directo en el aterramiento del cercano embalse.

Todas las areniscas presentan valores bajos, dada la presencia de materiales terrígenos y silíceos no carbonáticos. Las areniscas del Mioceno presentan valores diferentes que pueden asociarse con la heterogeneidad de este material, muy utilizado para construcción en la hoya de Huesca, y que necesita un estudio específico. El valor mínimo corresponde a la arenisca roja del Garumniense del molino de Nueno, piedra utilizada en el pasado

Tabla II. Carbonatos, como porcentaje (%) de CO_3Ca en rocas de la cuenca del Isuela mediante calcímetro de Bernard.

<i>Muestra</i>	<i>Roca</i>	<i>Denominación</i>	<i>Edad geológica</i>	<i>% de carbonatos</i>
1	Arenisca	Bonés	Eoceno medio	44
2	Caliza	Pico del Águila	Eoceno medio	100
3	Marga	Mesón Nuevo	Eoceno medio	39
4	Marga	Rasal	Eoceno medio	38
5	Marga	La Foz	Eoceno medio	48
6	Caliza	Presa de Arguis	Eoceno medio	100
7	Caliza	Medio	Eoceno medio	100
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	Eoceno medio	100
9	Caliza	Puente Viejo	Eoceno medio	24
10	Arenisca	Molino de Arguis	Garumniense	4
11	Caliza	Molino de Arguis II	Cretácico superior	100
12	Caliza	Cantera de Boráu	Muschelkalk	100
13	Caliza	Kilómetro 587	Muschelkalk	94
14	Mallacán	Golf	Cuaternario, glacia	80
15	Arenisca	Sabayés	Mioceno	16
16	Arenisca	Montearagón	Mioceno	33
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	Eoceno medio	100
18	Caliza	Cueva Dróllica	Eoceno medio	100
19	Caliza	Calatorao	Jurásico	90
20	Caliza	Forro EPSH	¿Jurásico?	53
21	Estalactita	Cueva de los Murciélagos	Eoceno medio	100

en cantería tanto para el puente cercano, en el recrecimiento de la presa de Arguis e incluso en la valla del Parque Miguel Servet de Huesca.

Evolución del pH de la suspensión roca / agua. Como ya se ha indicado, uno de los objetivos de este artículo es comprobar los valores de pH de una suspensión agua / roca molida obtenidos en una investigación anterior. La evolución del pH de suspensión de roca molida en agua desionizada (1 : 2,5) en función del tiempo se presenta en las tablas III y IV, para dos texturas de molienda diferente (menores de 1 milímetro de luz y entre 1 y 2 milímetros de luz de tamiz).

Tabla III. pH de las muestras de rocas del valle del alto Isuela de textura fina (menos de 1 milímetro de luz) y relación roca / agua = 1 / 2,5.

Muestra	Roca	Tiempo de contacto agua / roca molida				
		1 hora	2 horas	5 horas	1 día	4 días
1	Arenisca	8,31	8,07	8,16	7,91	7,90
2	Caliza	8,21	7,96	7,93	7,76	7,77
3	Marga	8,26	8,11	8,13	7,92	7,86
4	Marga	7,88	7,74	7,78	7,62	7,57
5	Marga	8,68	8,49	8,49	8,21	8,07
6	Caliza	8,63	8,41	8,37	8,12	8,16
7	Caliza	8,70	8,53	8,47	8,2	8,15
8	Caliza	8,77	8,59	8,47	8,18	8,16
9	Caliza	7,98	7,83	7,90	7,70	7,70
10	Arenisca	8,99	8,85	8,84	8,48	8,26
11	Caliza	8,97	8,78	8,70	8,32	8,30
12	Caliza	8,87	8,62	8,48	8,16	8,17
13	Caliza	8,83	8,66	8,65	8,28	8,19
14	Mallacán	8,70	8,60	8,55	8,27	8,19
15	Arenisca	7,90	7,83	7,76	7,67	7,74
16	Arenisca	8,80	8,62	8,59	8,31	8,23
17	Caliza	8,87	8,65	8,54	8,21	8,18
18	Caliza	8,84	8,65	8,57	8,27	8,22
19	Caliza	8,75	8,58	8,51	8,23	8,26
20	Caliza	9,19	9,05	8,97	8,61	8,53
21	Estalactita	8,80	8,70	8,55	8,19	8,14

La mayor parte de las muestras presentan un pH superior a 8,5 al cabo de una hora de contacto. El pH más bajo corresponde a la muestra 15 (arenisca de Sabayés), con valores de 7,73 y 7,9. El más alto lo ofrece la caliza del forro arquitectónico de la EPSH, con un valor de 9,19. A efectos comparativos se ha analizado el pH de carbonato cálcico químicamente puro, obteniéndose valores de 9,05, 8,85 y 8,87, para tiempos superiores a media hora. Estos resultados sugieren que son correctos los elevados valores presentados por MONAJ y cols. (2014). Los experimentos sugieren, por otra parte, que el pH de equilibrio se alcanza con lentitud. Además, parece existir una influencia de la textura en los valores obtenidos para el mismo

Tabla iv. pH de muestras de rocas del valle del alto Isuela y textura gruesa (entre 1 y 2 milímetros de luz) y relación roca / agua = 1 / 2,5.

Muestra	Roca	Tiempo en el agua					
		2 horas	3 horas	4,5 horas	18 horas	1 día	2 días
1	Arenisca	8,80	8,75	8,59	8,11	8,20	8,07
2	Caliza	8,56	8,52	8,32	7,78	8,05	7,90
3	Marga	8,66	8,70	8,41	7,97	8,27	8,13
4	Marga	8,00	8,00	7,83	7,53	7,82	7,70
5	Marga	8,90	8,87	8,56	8,06	8,24	8,14
6	Caliza	8,79	8,77	8,49	7,96	8,19	8,08
7	Caliza	8,65	8,64	8,42	7,98	8,17	8,05
8	Caliza	8,77	8,75	8,47	8,04	8,20	8,05
9	Caliza	7,94	7,93	7,88	7,59	7,79	7,68
10	Arenisca	8,71	8,71	8,54	8,25	8,30	8,15
11	Caliza	8,85	8,83	8,67	8,16	8,27	8,13
12	Caliza	8,79	8,74	8,60	8,10	8,23	8,01
13	Caliza	8,81	8,77	8,54	8,08	8,20	8,08
14	Mallacán	8,79	8,72	8,58	8,10	8,12	8,11
15	Arenisca	7,73	7,67	7,57	7,51	7,62	7,55
16	Arenisca	8,51	8,50	8,48	8,05	8,23	8,14
17	Caliza	8,81	8,74	8,62	8,14	8,21	8,07
18	Caliza	8,81	8,72	8,67	8,14	8,23	8,13
19	Caliza	8,86	8,77	8,70	8,14	8,24	8,12
20	Caliza	8,87	8,73	8,71	8,19	8,29	8,15
21	Estalactita	8,69	8,55	8,52	8,05	8,19	8,09

tiempo. Comparando las tablas III y IV se observa que, para 2 horas de contacto, las calizas dan pH más bajos para la textura más fina. La mayor parte de las areniscas presentan un comportamiento inverso.

Lixiviados en columna. El objetivo de los experimentos de lixiviación es intentar reproducir en laboratorio los procesos de disolución de minerales de la roca por efecto del agua de lluvia midiendo la CE y el pH en función del agua percolada durante un máximo de 12 horas y recogida en fracciones de 12 cm³ hasta alcanzar un volumen de 120 cm³.

Las tablas V a VII presentan los datos de CE de los lixiviados por cada tipo de textura. Como ya se ha indicado, la percolación de cada muestra es diferente y aumenta con el tamaño de molienda. En general, las texturas más finas, a igualdad de volumen de lixiviado, dan conductividades eléctricas más altas posiblemente por ser mayor la superficie de contacto entre el agua y el sólido, favoreciendo las reacciones. Parece un tema de cinética, dado que en las texturas más gruesas el agua fluye con mayor rapidez y es menor el tiempo de contacto. Se aprecia que el salto más grande de CE se obtiene en el paso de textura media a fina.

En la granulometría más fina, la CE disminuye con el flujo de agua sugiriendo un fenómeno rápido de arrastre a modo de cromatografía, reproduciendo lo presentado por MONAJ (2003) y MONAJ y cols. (2014). En esta línea, en la granulometría intermedia aparecen máximos intermedios que parecen desplazarse hacia las fracciones posteriores en el tiempo y paso de agua en las texturas más gruesas. No hay una explicación clara para este comportamiento que, además de fenómenos cinéticos, pudiera ser un tema de flujos preferenciales. En las texturas más gruesas, más heterogéneas, el agua pudiera circular preferentemente por los conductos más grandes a más velocidad. Simultáneamente, habría otro flujo por los poros más pequeños, más lento y con más concentración, de modo que a la llegada de este segundo flujo, sube la conductividad eléctrica en ese momento.

Por las rocas se observa un comportamiento complejo. A partir de la tabla V, para el primer volumen de percolación y como era esperable, una muestra de arenisca del Mioceno (15) muestra el valor de CE más alto. Simplemente cabe indicar los problemas de haloclastia que presentan estas rocas en suelos y edificaciones en la hoya de Huesca donde es frecuente observar la presencia de eflorescencias salinas probablemente derivadas de

la hidrólisis de alguno de los minerales que las forman. Por otro lado, la conocida heterogeneidad de este tipo de roca se observa también cuando se compara con la muestra 16. Las margas de Arguis (3, 4 y 5) dan un elevado nivel de sales con un alto nivel en la muestra 4 coherente con la presencia puntual de eflorescencias en estos materiales, derivado de flujos de agua observados y poco estudiados. Las calizas también presentan una CE relativamente alta en las primeras fracciones. Esto recuerda los resultados obtenidos en el estudio de la relación agua / roca por agitación que se presentan en MONAJ y cols. (2014), donde los valores iniciales son muy superiores a los valores de CE de manantiales de la zona que se relacionan con estas rocas (BUERA y cols., 1997; PUYAL y cols., 1998; CUCHÍ y cols., 1999, 2002 y 2014; VILLARROEL y CUCHÍ, 2002 y 2004; OLIVÁN, 2013; ZUFIAURRE y cols., 2015). Sin embargo, los valores disminuyen rápidamente por debajo de los valores naturales de modo que se puede considerar que el agua natural es la mezcla de diferentes fracciones de lixiviación.

En tres muestras de roca (12, 15 y 17), se ha intentado analizar la relación entre la longitud del tubo del experimento y la CE del lixiviado, intentando simular el efecto de un aumento de la profundidad del suelo de 0,3 a 0,5 metros. Los resultados se presentan en la tabla VIII. Se observa que en las dos muestras de caliza (12 y 17), a mayor profundidad de suelo atravesado aumenta la conductividad. Sin embargo, en la arenisca de la muestra 15 se observa, entre el lecho largo frente al corto, un descenso intermedio de CE a igualdad de lixiviado que se recupera tras pasar un mayor volumen.

El estudio de la evolución del pH, que se presenta en las tablas IX a XI, es más complejo. Hay que señalar que en la medición de este parámetro no se ha tenido en cuenta el tiempo de flujo, al contrario de lo hecho en el apartado, ya descrito en la suspensión agua/roca. Es evidente que el tiempo de contacto es función del tipo de roca y del grado de molienda. A textura más fina, mayor tiempo es necesario para percolar los 12 mililitros. En general, a textura más gruesa e igual volumen percolado, se obtiene un pH más alto. En la primera fracción (12 mililitros), el pH más alto corresponde a la muestra de caliza de la boca de la cueva Drólica (9,81). El más bajo, 7,90, corresponde a la arenisca de Sabayés. En esta textura gruesa y para el primer volumen, 12 muestras presentan un pH superior a 9,00. Estos valores son similares a los obtenidos por MONAJ (2003) y presentados en MONAJ y

cols. (2014). Son del mismo orden que el presentado en el experimento de LETTERMAN (1995), realizado por agitación de una masa de caliza sólida en agua desionizada bajo condiciones cerradas. Por tanto, parece que el flujo en las condiciones del experimento puede considerarse como cerrado. Apparentemente debería observarse el mismo fenómeno en las texturas media y fina. Pero el pH de la primera fracción es más alto, en general, en la fracción gruesa que en la fina. Hay, por tanto, un efecto de la textura sobre el pH del lixiviado que podría estar en relación con el tiempo de contacto. A más tiempo de contacto, menor pH, contradiciendo lo señalado por LETTERMAN (1995). Y también parece estar en contradicción con lo afirmado por MONAJ (2003) y MONAJ y cols. (2014) sobre que sea un efecto derivado de la molienda. Esta hipótesis supone un calentamiento que puede llevar a la calcinación parcial con producción de óxidos cuya hidrólisis subiría el pH. Pero las texturas más finas que han sufrido una mayor molienda deberían dar un pH más alto, justamente lo contrario a lo que se obtiene. Por el momento no se ha encontrado explicación adecuada, dado que no parece fácil suponer que la fracción recalentada se concentra en el material más grueso. El aumento de la longitud supone un aumento del tiempo de percolación. De hecho, comparando los datos de las tablas XI y XII se observa para las calizas 16 y 17 un sensible descenso de pH a igualdad de volumen percolado. Por el contrario, en la arenisca de Sabayés no hay prácticamente variaciones.

Los resultados analíticos de ion calcio en los lixiviados por las columnas de 0,3 metros se encuentran en las tablas XIII a XV en la función de la textura. En general, se sigue la tendencia observada en la conductividad donde la concentración de Ca^{2+} del lixiviado es función del tipo de roca. Sorprende la caliza del puente Viejo en El Escalar de Arguis, que da un bajo porcentaje de CO_3Ca y, sin embargo, ofrece un lixiviado más rico en Ca^{2+} . Evidentemente, se necesita un estudio más detallado. El contenido en ion de calcio disminuye en general al aumentar la textura y el volumen percolado. Sin embargo, en algunas muestras de texturas fina y mediana se observan picos de concentración en la segunda fracción sobre la segunda, especialmente en las margas. Una vez más, la arenisca de Sabayés presenta la singularidad de ofrecer la mayor concentración de Ca^{2+} en el lixiviado de la fracción más gruesa. A la vista de los resultados de la tabla XVI, aparentemente hay poco efecto en el incremento del espesor del lecho de percolación.

La interpretación de los resultados de la concentración de ion Mg^{2+} es más compleja (tablas XVII, XVIII y XIX). En general, hay mucho menos magnesio que calcio y el resultado depende del tipo de roca y de forma inversa a la textura y al volumen lixiviado. Pero las anomalías son abundantes, así como los errores analíticos. Abundan los valores nulos o muy bajos para varias calizas, pero otras ofrecen valores altos. El valor más alto es para la ya repetida arenisca de Sabayés. No queda clara la influencia del espesor del lecho (tabla XX).

CONCLUSIONES

Las rocas estudiadas muestran contenidos de carbonato cálcico relacionables con su naturaleza. Los pH en suspensión 1 : 2,5 ofrecen valores próximos a 9, ligeramente inferiores a los presentados en MONAJ y cols. (2014). En general, en los lixiviados, las conductividades eléctricas son función del grado de molienda, siendo mayor cuanto más fina es la textura. El pH de los lixiviados presenta un comportamiento complejo. En general, a texturas más gruesas, el pH es más elevado y este parámetro disminuye con el paso de agua. El ion de calcio en los lixiviados tiene una tendencia similar a la conductividad. Por el contrario, el magnesio tiene un comportamiento irregular. La longitud del lecho parece tener importancia en las calizas, de modo que a mayor longitud hay más contacto y más disolución. En areniscas y margas, el comportamiento es diferente.

Los resultados ofrecen información básica sobre diversas rocas de la zona. La mayor parte de los resultados son congruentes con la naturaleza de las rocas muestreadas. Pero se observan, por un lado, claras situaciones de heterogeneidad y, por otro, algunos resultados singulares como en la arenisca de Sabayés y las calizas de la zona del puente de El Escalar.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las observaciones del Dr. David Badía sobre el pH de los suelos calcáreos y el denominado *pH de abrasión*. Asimismo, la inestimable ayuda de Joaquín Lanuza, Ángel Jiménez y Gonzalo Gonzalo en la realización de los experimentos.

Tabla VI. Conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20 °C del lixiviado de rocas del Isuela en tubo de 30 centímetros de textura media (1 mm < \varnothing < 2 mm).

Muestra	Roca	Denominación	Peso en g	Mililitros percolados											
				12	24	36	48	60	72	84	96	108	120		
1	Arenisca	Bonés	204,9	123,9	105,4	103,0	102,1	205,0	246,0	163,4	114,2	94,5	82,0		
2	Caliza	Pico del Águila	214,9	496,0	674,0	1001,0	769,0	529,0	364,0	289,0	251,0	229,0	203,0		
3	Marga	Mesón Nuevo	209,1	570,0	707,0	800,0	675,0	552,0	427,0	352,0	300,0	242,0	286,0		
4	Marga	Rasal	195,2	1703,0	2270,0	2580,0	2120,0	1746,0	1616,0	1327,0	1296,0	1219,0	1203,0		
5	Marga	La Foz	201,5	599,0	955,0	690,0	549,0	393,0	313,0	270,0	261,0	249,0	260,0		
6	Caliza	Presa de Arguis	213,0	347,0	274,0	227,0	177,4	143,6	123,6	119,8	116,8	109,9	113,5		
7	Caliza	Medio	199,3	302,0	434,0	517,0	432,0	348,0	255,0	231,0	205,0	168,8	141,5		
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	203,7	320,0	323,0	295,0	240,0	194,7	160,5	140,3	119,1	116,0	101,9		
9	Caliza	Puente Viejo	206,7	1868,0	4745,0	1747,0	1641,0	1369,0	1427,0	1334,0	1231,0	1146,0	934,0		
10	Arenisca	Molino de Arguis	193,2	143,1	191,2	241,0	208,0	149,4	112,3	92,8	77,2	68,8	66,6		
11	Caliza	Molino de Arguis II	207,4	128,1	124,3	113,9	105,8	93,3	90,0	79,6	78,8	75,4	66,2		
12	Caliza	Cantera de Boráu	222,0	150,3	117,0	95,2	84,9	74,6	70,5	68,3	69,2	79,8	62,6		
13	Caliza	Kilómetro 587	219,1	131,9	117,7	119,9	117,3	111,2	93,0	80,3	75,9	70,5	59,5		
14	Mallacán	Golf	210,4	107,1	108,8	105,4	88,1	78,8	74,5	71,1	68,1	65,4	58,0		
15	Arenisca	Sabayés	173,7	2840,0	2630,0	2450,0	2360,0	2300,0	2260,0	2220,0	2160,0	2160,0	2040,0		
16	Arenisca	Montearagón	192,1	997,0	762,0	591,0	408,0	348,0	266,0	205,0	177,6	149,5	96,0		
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	208,7	178,3	123,2	104,1	93,3	90,0	87,1	83,1	81,6	78,1	66,2		
18	Caliza	Cueva Drólca	206,3	104,8	86,6	94,7	102,6	98,1	93,4	80,9	73,2	71,4	63,2		
19	Caliza	Calatorao	202,9	178,4	188,8	177,0	141,0	119,4	103,8	95,8	93,7	87,0	72,7		
20	Caliza	Forro EPSH	205,8	312,0	324,0	314,0	253,0	218,0	183,9	153,7	150,7	142,5	96,7		
21	Estalactita	Cueva de los Murciélagos	202,7	254,0	241,0	205,0	169,5	134,4	117,7	97,2	85,1	77,2	72,1		

Tabla VII. Conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20 °C del lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 30 centímetros de textura gruesa ($\varnothing > 2 \text{ mm}$).

Muestra	Roca	Denominación	Peso en g	Mililitros percolados											
				12	24	36	48	60	72	84	96	108	120		
1	Arenisca	Bonés	229,1	108,5	85,3	88,8	92,5	97,1	98,8	93,8	91,7	87,3	82,3		
2	Caliza	Pico del Águila	231,4	181,3	148,2	148,7	154,5	194,9	205	164,3	146	144,5	132,3		
3	Marga	Mesón Nuevo	210,9	176,9	231	288	323	341	345	337	326	311	178,8		
4	Marga	Rasal	213,1	957	1255	1525	1723	1854	1886	1856	1793	1747	1697		
5	Marga	La Foz	222,9	191,3	162,7	177,1	245	206	274	249	177,5	137,1	235		
6	Caliza	Presa de Arguis	218,6	125,3	117,6	118	119,4	114,5	106,4	101,5	98,1	96,5	98,5		
7	Caliza	Medio	201,7	180,3	167,4	189	213	242	265	276	274	267	230		
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	207,3	160,9	139,4	139,1	139,9	133,8	124,2	112,2	102,3	95,7	95		
9	Caliza	Puente Viejo	205,6	935	965	1073	1151	1227	1258	1246	1209	1164	1096		
10	Arenisca	Molino de Arguis	190,3	145,3	118,3	133,4	147,2	160,6	149,5	108,5	94,3	90,5	75		
11	Caliza	Molino de Arguis II	211,3	93,2	76,1	76	78,6	81,3	76,6	73,7	70,8	68,9	52,4		
12	Caliza	Cantera de Boráu	223,4	112	83	72,2	66,9	65,7	67,4	68,2	66,3	65	66,1		
13	Caliza	Kilómetro 587	220,6	121,8	111,5	90,3	85,1	82,4	77,9	76,7	72,4	69,7	85,9		
14	Mallacán	Golf	212,9	136,6	89,7	80,3	80,2	78,9	73,2	66,6	64,8	66,5	82		
15	Arenisca	Sabayés	175,8	2350	2470	2470	2460	2480	2480	2450	2410	2380	2430		
16	Arenisca	Montearagón	200,1	448	434	474	467	437	403	345	287	255	265		
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	209,3	166,4	102,3	97,2	97,3	92	86,8	78,6	77,3	77,7	109,2		
18	Caliza	Cueva Drólica	222,1	93,2	84	79,8	81,2	78,8	73,5	70,4	67,3	66,1	72,2		
19	Caliza	Calatorao	206,2	157,7	118,3	118,1	113,7	98	84,9	79	76	75,6	93,6		
20	Caliza	Forro EPSH	217,1	163,3	150	143,8	127,7	124,3	123,7	122,2	123,9	128,5	148,4		
21	Estalactita	Cueva de los Murciélagos	215,9	215	163	157,5	152,4	138,4	121,2	111,2	106,5	102,1	100,3		

Tabla VIII. Conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20 °C del lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 50 centímetros de textura gruesa ($\varnothing > 2 \text{ mm}$).

Muestra	Roca	Denominación	Peso en g	Mililitros percolados									
				12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
12	Caliza	Cantera de Boráu	302,1	195	110	93	87,2	79,3	73,2	73	72,2	71,8	69,9
15	Arenisca	Sabayés	305,4	2360	1797	1859	2260	2560	2550	2490	2340	2410	2390
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	308,5	273	150	122	121,3	124,9	116,5	108	110,2	101,5	112,7

Tabla x. pH del lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 30 centímetros de textura media (1 mm \varnothing <math>< 2</math> mm).

Muestra	Roca	Denominación	Mililitros percolados											
			12	24	36	48	60	72	84	96	108	120		
1	Arenisca	Bonés	8,93	8,90	8,81	8,82	8,43	8,26	8,34	8,59	8,71	8,74		
2	Caliza	Pico del Águila	8,27	8,18	8,01	8,12	8,23	8,46	8,46	8,47	8,55	8,50		
3	Marga	Mesón Nuevo	8,44	8,39	8,29	8,33	8,39	8,50	8,59	8,65	8,71	8,86		
4	Marga	Rasal	8,14	7,95	7,85	7,92	7,97	8,01	8,11	8,10	8,10	7,95		
5	Marga	La Foz	8,75	8,43	8,65	8,74	8,87	8,83	8,92	8,99	9,01	8,70		
6	Caliza	Presa de Arguis	8,73	8,72	8,70	8,84	8,91	8,90	8,97	8,88	8,95	8,68		
7	Caliza	Medio	8,59	8,36	8,23	8,13	8,34	8,57	8,62	8,66	8,69	8,52		
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	8,67	8,55	8,55	8,61	8,73	8,78	8,93	8,85	8,82	8,73		
9	Caliza	Puente Viejo	7,88	7,89	7,83	7,80	7,91	7,87	7,93	7,92	8,00	7,90		
10	Arenisca	Molino de Arguis	8,91	8,62	8,37	8,37	8,47	8,37	8,53	8,74	8,76	8,39		
11	Caliza	Molino de Arguis II	8,83	8,70	8,61	8,86	8,88	8,78	8,82	8,68	8,71	8,88		
12	Caliza	Cantera de Borráu	8,49	8,69	8,81	8,72	8,71	8,82	8,82	8,96	8,69	8,81		
13	Caliza	Kilómetro 587	8,82	8,77	8,72	8,81	8,84	8,91	9,05	9,06	9,10	8,82		
14	Mallacán	Golf	8,69	8,50	8,41	8,44	8,34	8,31	8,38	8,43	8,43	7,98		
15	Arenisca	Sabayés	7,45	7,47	7,48	7,66	7,67	7,68	7,72	7,61	7,74	7,53		
16	Arenisca	Montearagón	7,94	8,05	8,08	8,28	8,30	8,48	8,84	8,89	8,95	8,79		
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	8,60	8,62	8,64	8,59	8,64	8,75	8,81	8,81	8,83	8,73		
18	Caliza	Cueva Drólca	9,08	9,00	8,76	8,60	8,48	8,80	8,88	8,68	8,75	8,50		
19	Caliza	Calatorao	8,82	8,72	8,71	8,78	8,78	8,86	8,79	8,92	9,02	8,68		
20	Caliza	Forro EPSH	8,73	8,74	8,68	8,94	8,85	8,99	8,94	8,86	8,84	8,69		
21	Estalactita	Cueva de los Murciélagos	8,53	8,49	8,66	8,75	8,80	8,74	8,84	9,03	8,93	8,38		

Tabla xi. pH del lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 30 centímetros de textura gruesa ($\emptyset > 2$ mm).

Muestra	Roca	Denominación	Mililitros percolados												
			12	24	36	48	60	72	84	96	108	120			
1	Arenisca	Bonés	9,00	8,81	8,73	8,72	8,66	8,73	8,73	8,73	8,73	8,73	8,74	8,71	8,59
2	Caliza	Pico del Águila	9,07	9,17	9,09	9,07	8,87	8,70	8,67	8,70	8,67	8,67	8,68	8,72	8,56
3	Marga	Mesón Nuevo	8,83	8,73	8,69	8,60	8,57	8,54	8,54	8,54	8,53	8,53	8,55	8,57	8,26
4	Marga	Rasal	8,54	8,39	8,30	8,24	8,22	8,23	8,23	8,21	8,21	8,20	8,19	8,19	8,01
5	Marga	La Foz	9,61	9,68	9,67	9,58	9,63	9,48	9,46	9,46	9,46	9,55	9,60	9,60	9,25
6	Caliza	Presa de Arguis	9,45	9,44	9,48	9,43	9,46	9,47	9,49	9,49	9,49	9,47	9,45	9,45	9,08
7	Caliza	Medio	8,80	8,90	9,00	8,87	8,77	8,71	8,70	8,70	8,70	8,72	8,72	8,72	8,52
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	9,24	9,25	8,25	9,27	9,25	9,30	9,32	9,32	9,32	9,35	9,34	9,34	9,34
9	Caliza	Puente Viejo	8,24	8,18	8,18	8,02	8,02	8,05	8,02	8,05	8,02	8,10	8,08	8,08	7,99
10	Arenisca	Molino de Arguis	8,96	8,84	8,66	8,74	8,79	8,79	8,69	8,69	8,69	8,82	8,83	8,83	8,59
11	Caliza	Molino de Arguis II	9,69	9,75	9,71	9,69	9,62	9,64	9,60	9,60	9,60	9,66	9,68	9,68	9,32
12	Caliza	Cantera de Boráu	9,65	9,69	9,70	9,70	9,61	9,59	9,55	9,55	9,55	9,53	9,52	9,52	9,45
13	Caliza	Kilómetro 587	9,63	9,64	9,65	9,69	9,65	9,62	9,62	9,62	9,62	9,59	9,56	9,56	9,24
14	Mallacán	Golf	9,43	9,45	9,53	9,50	9,52	9,59	9,61	9,59	9,61	9,63	9,60	9,60	9,30
15	Arenisca	Sabayés	7,90	7,79	7,88	7,93	7,96	7,96	7,97	7,96	7,97	7,99	8,02	8,02	7,97
16	Arenisca	Montearagón	8,05	8,12	8,18	8,19	8,21	8,31	8,35	8,35	8,35	8,31	8,36	8,36	8,36
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	9,37	9,60	9,63	9,57	9,61	9,60	9,69	9,69	9,69	9,65	9,70	9,70	9,13
18	Caliza	Cueva Drólica	9,81	9,77	9,71	9,67	9,67	9,70	9,74	9,74	9,74	9,69	9,75	9,75	9,18
19	Caliza	Calatorao	9,45	9,52	9,47	9,47	9,59	9,65	9,64	9,64	9,64	9,72	9,69	9,69	9,13
20	Caliza	Forro EFSH	8,83	9,03	9,02	9,15	9,21	9,30	9,22	9,22	9,22	9,21	9,16	9,16	8,60
21	Estalactita	Cueva de los Murciélagos	8,74	8,89	8,94	8,94	8,99	8,99	8,98	8,99	8,98	9,08	9,04	9,04	8,45

Tabla XII. pH del lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 50 centímetros de textura gruesa ($\varnothing > 2$ mm).

Muestra	Roca	Denominación	Mililitros percolados													
			12	24	36	48	60	72	84	96	108	120				
12	Caliza	Cantera de Boráu	9,16	9,29	9,22	9,20	9,18	9,33	9,20	9,20	9,18	9,33	9,20	9,19	9,18	8,91
15	Arenisca	Sabayés	7,91	7,93	8,00	7,96	7,96	7,94	7,94	7,96	7,94	7,94	7,91	7,99	7,99	7,92
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	8,57	8,69	8,59	8,53	8,39	8,44	8,44	8,39	8,44	8,53	8,53	8,47	8,56	8,55

Tabla xiv. Concentración de ion de calcio (mg/l) en el lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 30 centímetros de textura mediana (1 mm \varnothing <math>< 2\text{ mm}</math>).

Muestra	Roca	Denominación	Mililitros percolados											
			12	24	36	48	60	72	84	96	108	120		
1	Arenisca	Bonés	47,3	17,6	19,2	16,8	28,1	36,9	26,5	19,2	22,4	13,6		
2	Caliza	Pico del Águila	155,5	124,2	125,9	151,5	114,6	56,9	51,3	47,3	40,9	37,7		
3	Marga	Mesón Nuevo	104,2	93,0	85,0	76,2	65,7	56,1	52,1	48,1	46,5	45,7		
4	Marga	Rasal	153,9	232,5	240,5	240,5	216,4	200,4	208,4	216,4	224,4	240,5		
5	Marga	La Foz	42,5	72,1	57,7	43,3	35,3	28,1	24,8	21,6	22,4	22,4		
6	Caliza	Presa de Arguis	27,3	30,5	26,5	22,4	19,2	16,8	17,6	17,6	15,2	12,8		
7	Caliza	Medio	34,5	45,7	46,5	46,5	36,1	26,5	24,0	22,4	23,2	24,0		
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	44,1	43,3	38,5	33,7	32,1	31,3	29,7	28,1	26,5	24,0		
9	Caliza	Puente Viejo	400,8	384,8	384,8	384,8	360,7	336,7	304,6	280,6	248,5	216,4		
10	Arenisca	Molino de Arguis	32,1	30,5	32,9	36,1	28,9	21,6	20,0	19,2	17,6	16,8		
11	Caliza	Molino de Arguis II	29,7	28,1	28,1	27,3	25,7	24,0	23,2	21,6	20,0	17,6		
12	Caliza	Cantera de Borráu	30,5	31,3	26,5	22,4	19,2	15,2	17,6	19,2	17,6	16,0		
13	Caliza	Kilómetro 587	24,0	25,7	22,4	19,2	21,6	24,0	22,4	20,0	16,8	13,6		
14	Mallacán	Golf	30,5	24,0	21,6	18,4	20,0	20,8	19,2	17,6	12,8	10,4		
15	Arenisca	Sabayés	481,0	529,1	505,0	481,0	489,0	497,0	497,0	505,0	505,0	505,0		
16	Arenisca	Montearagón	173,1	120,2	91,4	62,5	52,9	42,5	31,3	20,0	18,4	16,8		
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	50,5	40,1	28,9	18,4	20,0	20,8	20,0	19,2	15,2	11,2		
18	Caliza	Cueva Dróllica	32,1	26,5	24,0	21,6	23,2	24,8	20,8	17,6	15,2	12,0		
19	Caliza	Calatorao	35,3	34,5	32,1	30,5	28,1	24,8	22,4	19,2	18,4	15,2		
20	Caliza	Forro EPSH	40,1	36,1	34,5	32,1	29,7	27,3	25,7	24,0	21,6	19,2		
21	Estalactita	Cueva de los Murciélagos	52,1	48,1	43,3	38,5	35,3	32,1	0,0	0,0	0,0	14,4		

Tabla xv. pH Concentración de ion de calcio (mg/l) en el lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 30 centímetros de textura gruesa ($\varnothing > 2$ mm).

Muestra	Roca	Denominación	Mililitros percolados											
			12	24	36	48	60	72	84	96	108	120		
1	Arenisca	Bonés	18,4	19,2	16,8	13,6	14,4	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,2	12,8
2	Caliza	Pico del Águila	28,1	27,3	30,5	32,9	33,7	35,3	31,3	31,3	31,3	24,0	21,6	20,0
3	Marga	Mesón Nuevo	19,2	28,1	30,5	32,1	36,1	40,1	38,5	38,5	38,5	35,3	36,1	40,1
4	Marga	Rasal	192,4	168,3	208,4	240,5	264,5	280,6	272,5	272,5	272,5	256,5	256,5	248,5
5	Marga	La Foz	26,5	15,2	16,8	21,6	20,8	19,2	17,6	17,6	17,6	15,2	16,0	17,6
6	Caliza	Presa de Arguis	14,4	13,6	13,6	12,8	12,8	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6
7	Caliza	Medio	16,8	16,0	18,4	19,2	20,8	22,4	24,0	24,0	24,0	25,7	25,7	26,5
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	24,0	19,2	19,2	18,4	18,4	18,4	16,8	16,8	16,8	15,2	12,8	10,4
9	Caliza	Puente Viejo	176,4	168,3	184,4	200,4	216,4	240,5	240,5	240,5	240,5	232,5	216,4	200,4
10	Arenisca	Molino de Arguis	17,6	17,6	19,2	20,8	21,6	22,4	20,8	22,4	20,8	16,0	14,4	12,0
11	Caliza	Molino de Arguis II	14,4	14,4	14,4	15,2	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	15,2	16,0
12	Caliza	Cantera de Boráu	16,8	11,2	11,2	11,2	13,6	15,2	13,6	15,2	13,6	12,0	12,0	12,0
13	Caliza	Kilómetro 587	22,4	20,0	18,4	16,0	22,4	13,6	14,4	14,4	14,4	15,2	16,0	20,0
14	Mallacán	Golf	20,0	16,0	15,2	15,2	14,4	14,4	12,8	14,4	12,8	11,2	11,2	18,4
15	Arenisca	Sabayés	489,0	497,0	505,0	521,0	537,1	545,1	537,1	537,1	537,1	521,0	521,0	521,0
16	Arenisca	Montearagón	88,2	64,1	64,1	64,1	64,1	64,1	48,1	64,1	48,1	40,1	32,1	24,0
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	41,7	26,5	27,3	28,9	27,3	25,7	22,4	25,7	22,4	19,2	16,8	24,8
18	Caliza	Cueva Drólica	16,0	16,0	17,6	20,0	18,4	15,2	13,6	15,2	13,6	12,8	12,8	18,4
19	Caliza	Calatorao	25,7	19,2	18,4	18,4	16,0	13,6	12,0	13,6	12,0	11,2	10,4	13,6
20	Caliza	Forro EPSH	21,6	21,6	20,0	19,2	17,6	16,8	16,0	16,8	16,0	16,0	16,0	11,2
21	Estalactitas	Cueva de los Murciélagos	32,1	28,1	26,5	25,7	22,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	17,6	13,6

Tabla XVI. Concentración de ion de calcio (mg/l) en el lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 50 centímetros de textura mediana ($\varnothing > 2$ mm).

Muestra	Roca	Denominación	Mililitros percolados									
			12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
12	Caliza	Cantera de Boráu	23,2	16,8	16,0	15,2	14,4	13,6	12,8	12,0	11,2	10,4
15	Arenisca	Sabayés	553,1	408,8	472,9	521,0	529,1	537,1	529,1	529,1	529,1	537,1
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	51,3	36,1	34,5	32,9	32,1	32,1	32,1	32,1	30,5	29,7

Tabla XVII. Concentración en mg/l del ion de magnesio en el lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 30 centímetros de textura fina ($\emptyset < 1$ mm).

Muestra	Roca	Denominación	Mililitros percolados												
			12	24	36	48	60	72	84	96	108	120			
1	Arenisca	Bonés	-55,0	-18,0	-3,4	-3,4									
2	Caliza	Pico del Águila	292,8	126,5	35,5	9,7	0,0	0,5	73,0	-4,9	-7,3	0,0			
3	Marga	Mesón Nuevo	340,5	382,3	206,2	25,3									
4	Marga	Rasal	0,0	-124,0	-79,3										
5	Marga	La Foz	107,0	-223,7	24,3	4,9									
6	Caliza	Presa de Arguis	2,9	6,3	5,8	5,8	1,5	4,9	1,9	3,4	2,9	-111,9			
7	Caliza	Medio	193,6	3,9	0,0	5,4	4,4	4,9	4,4	4,4	1,0	2,4			
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	20,4	5,4	2,9	5,4	3,9	3,9	5,4	2,9	1,5	1,5			
9	Caliza	Puente Viejo	-348,7	-218,9	-153,2	-116,7	-121,6								
10	Arenisca	Molino de Arguis	29,2	9,2	2,9	2,9	4,4	4,4	3,9	3,9	3,9	2,9			
11	Caliza	Molino de Arguis II	1,0	4,4	4,4	4,9	2,4	3,4	4,4	2,4	2,9	1,9			
12	Caliza	Cantera de Boráu	14,6	29,2	19,5										
13	Caliza	Kilómetro 587	8,3	5,8	5,4	3,4	2,4	1,5	1,9	1,9	2,4	2,9			
14	Mallacán	Golf	3,9	1,5	2,4	1,0	1,0	0,5	1,5	1,5	2,4	1,9			
15	Arenisca	Sabayés	909,6	403,7	0,0	0,0	0,0	466,9	437,8	389,1					
16	Arenisca	Montearagón	53,5	14,6	4,9	0,0	0,0	2,4							
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	8,8	2,4	5,4	0,5	2,9	6,3	4,9	2,9	3,9	3,9			
18	Caliza	Cueva Drólica	8,8	3,4	3,9	3,9	2,4	4,9	4,9	2,4	1,5	1,9			
19	Caliza	Calatorao	5,8	3,4	2,4	3,9	1,9	1,9	1,5	2,9	1,9	0,5			
20	Caliza	Forro EPSH	63,7	13,6	16,1	4,4	1,5	1,9	1,9	6,3					
21	Estalactita	Cueva de los Murciélagos	37,9	6,8	2,9	5,4									

Los resultados en negativo se consideraran como errores.

Tabla XVIII. Concentración en mg/l del ion de magnesio en el lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 30 centímetros de textura mediana (1 mm \varnothing <math>< 2\text{ mm}</math>).

Muestra	Roca	Denominación	Mililitros percolados											
			12	24	36	48	60	72	84	96	108	120		
1	Arenisca	Bonés	1,9	2596,4	2600,3	5,4	9,7	1,9	1,0	2,9	1,0	1,5	1,5	
2	Caliza	Pico del Águila	2,9	0,0	68,1	7,8	1,0	7,3	3,4	1,5	1,5	1,5		
3	Marga	Mesón Nuevo	11,7	18,0	27,7	37,9	32,1	25,8	25,3	24,8	15,6	8,8		
4	Marga	Rasal	163,4	277,2	277,2	291,8	257,8	218,9	204,3	184,8	175,1	155,6		
5	Marga	La Foz	13,6	36,5	25,8	15,1	8,3	1,5	2,9	4,4	5,4	5,4		
6	Caliza	Presa de Arguis	10,7	1,0	1,0	0,5	0,5	0,0	-0,5	-0,5	0,5	0,5		
7	Caliza	Medio	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5		
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	14,6	9,7	9,2	8,8	5,8	2,9	3,4	3,9	1,9	1,0		
9	Caliza	Puente Viejo	121,6	121,6	102,1	82,7	63,2	48,6	58,4	63,2	73,0	77,8		
10	Arenisca	Molino de Arguis	1,5	5,4	3,9	2,4	1,9	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5		
11	Caliza	Molino de Arguis II	1,5	1,9	1,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	0,5		
12	Caliza	Cantera de Borráu	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	1,5	1,0	1,5	-0,5	0,0		
13	Caliza	Kilómetro 587	4,9	1,5	2,4	2,9	1,9	1,0	1,5	2,4	1,9	1,5		
14	Mallacán	Golf	1,0	0,0	0,5	1,0	0,5	0,5	-0,5	-1,0	0,5	0,5		
15	Arenisca	Sabayés	199,4	141,1	141,1	141,1	165,4	189,7	141,1	87,6	68,1	43,8		
16	Arenisca	Montearagón	13,1	10,2	5,8	1,0	1,0	1,0	3,9	7,3	3,9	1,9		
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	1,5	1,9		
18	Caliza	Cueva Dróllica	14,6	3,4	2,9	2,4	1,5	0,5	1,9	2,9	2,4	2,4		
19	Caliza	Calatorao	6,3	3,4	3,9	3,4	2,4	1,9	2,4	3,4	2,4	2,9		
20	Caliza	Forro EPSH	31,6	24,3	15,6	13,6	11,2	8,8	7,3	5,8	5,4	4,9		
21	Estalactita	Cueva de los Murciélagos	7,3	8,3	7,3	5,8	4,4	2,9	0,0	0,0	0,0	3,4		

Tabla XIX. Concentración de ion de magnesio (mg/l) en el lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 30 centímetros de textura gruesa ($\varnothing > 2$ mm).

Muestra	Roca	Denominación	Mililitros percolados											
			12	24	36	48	60	72	84	96	108	120		
1	Arenisca	Bonés	5,8	0,0	1,0	1,5	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,9
2	Caliza	Pico del Águila	0,0	0,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	2,4	1,9	1,0
3	Marga	Mesón Nuevo	7,3	8,8	16,5	19,9	20,4	20,9	16,1	14,1	14,1	14,6	13,6	13,6
4	Marga	Rasal	24,3	9,7	58,4	116,7	116,7	126,5	116,7	111,9	107,0	107,0	92,4	92,4
5	Marga	La Foz	1,0	2,9	7,8	6,3	6,3	6,3	5,8	5,4	5,4	5,4	4,9	4,9
6	Caliza	Presa de Arguis	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5
7	Caliza	Medio	1,5	1,9	1,0	0,5	1,9	2,4	1,9	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5
8	Caliza	Cueva de Sanclemente	2,9	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	1,9	1,9	1,9
9	Caliza	Puente Viejo	14,6	24,3	24,3	29,2	29,2	24,3	19,5	19,5	19,5	24,3	24,3	24,3
10	Arenisca	Molino de Arguis	1,9	1,5	1,9	1,9	2,9	3,9	2,4	2,4	1,9	2,4	2,4	2,4
11	Caliza	Molino de Arguis II	2,4	1,5	1,0	0,5	1,0	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
12	Caliza	Cantera de Boráu	1,9	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0
13	Caliza	Kilómetro 587	1,0	1,5	1,0	0,5	3,9	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
14	Mallacán	Golf	2,4	2,4	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,9	1,0	1,0
15	Arenisca	Sabayés	38,9	38,9	38,9	34,0	48,6	68,1	43,8	24,3	48,6	73,0	73,0	73,0
16	Arenisca	Montearagón	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	4,9	9,7	4,9	4,9	4,9	7,3	7,3
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
18	Caliza	Cueva Drólica	1,5	1,5	1,5	1,9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
19	Caliza	Calatorao	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,9	1,9
20	Caliza	Forro EPSH	3,4	3,4	2,9	1,9	1,9	1,9	2,4	2,4	2,4	2,4	5,4	5,4
21	Estalactita	Cueva de los Murciélagos	2,4	1,5	1,5	1,5	2,4	3,4	3,4	3,4	3,4	2,9	1,9	1,9

Tabla xx. Concentración de ion de magnesio (mg/l) en el lixiviado de rocas del valle del alto Isuela en tubo de 50 centímetros de textura mediana ($\varnothing > 2$ mm).

Muestra	Roca	Denominación	Mililitros percolados												
			12	24	36	48	60	72	84	96	108	120			
12	Caliza	Cantera de Boráu	1,5	1,9	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	Arenisca	Sabayés	43,8	9,7	9,7	24,3	34,0	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	53,5	53,5	53,5
17	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	4,4	5,4	3,4	1,5	1,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNER, E. K., y R. A. BERNER (1987). *The global water cycle, geochemistry and environment*. Prentice Hall, Englewood Cliffs (NJ). 397 pp.
- 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: 35-63.
- CARDELL-FERNÁNDEZ, C., G. VLEUGELS, K. TORFS y R. VAN GRIEKEN (2002). The processes dominating Ca dissolution of limestone when exposed to ambient atmospheric conditions as determined by comparing dissolution models. *Environmental Geology*, 43: 160-171.
- CUCHÍ, J. A., y J. A. MANSO (1997). Calidad química de la nieve del Pirineo altoaragonés en 1997. En *I Congreso Ibérico de Geoquímica – VII Congreso de Geoquímica de España*: 427-433. Cedex. Madrid.
- CUCHÍ, J. A., J. A. MANSO, M. SUBÍAS y J. BUERA (1999). Hidroquímica de la sierra de Guara. En B. Andreo, F. Carrasco y J. J. Durán (eds.), *Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico*: 497-506. Patronato de la Cueva de Nerja. Nerja (Málaga).
- 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.
- CUCHÍ, J. A., D. CHINARRO y J. L. VILLARROEL (2014). Linear system techniques applied to the Fuenmayor karst spring, Huesca (Spain). *Environmental Earth Sciences*, 79: 1041-1060. DOI 10.1007/s12665-013-2509-6.
- FIGUEIREDO, C. A., J. M. MARQUES, A. M. MAURICIO y L. AIRES-BARROS (2000). Water-rock interactions and monuments stone decay: the case of basilica da Estrela, Portugal. En *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, vol. 1: 79-87. Elsevier. Ámsterdam / Nueva York.
- LETTERMAN, R. (1995). *Calcium carbonate dissolution rate in limestone contactors*. EPA/600/SR95/068. Environmental Protection Agency. Cincinnati (OH). 7 pp.
- LIU, Z., C. GROVES, D. YUAN, J. MEIMAN, G. JIANG, S. HE y Q. LI (2004). Hydrochemical variations during flood pulses in the south-west China peak cluster karst: impacts of CaCO_3 - H_2O - CO_2 interactions. *Hydrological Processes*, 18. DOI: 10.1002/hyp.1472.
- MILLÁN, H. (2006). *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 53). Huesca. 398 pp.
- MINGZHAO, H. (2005). *Slurry rheology of limestone and its effects on wet ultra-fine grinding*. Lulea University of Technology. 185 pp.
- MIJAILOV, L. (1985). *Hidrogeología*. Mir. Moscú. 285 pp.
- MONAJ, D. (2003). *Interacción agua-roca en casos concretos del Prepireneo altoaragonés*. Proyecto fin de carrera. Ingeniería Química. Centro Politécnico Superior. Universidad de Zaragoza.

- MONAJ, D., J. L. VILLARROEL, J. A. MANSO y J. A. CUCHÍ (2014). Reacciones agua-roca en la cuenca alta de los ríos Isuela y Flumen (Huesca). *Lucas Mallada*, 16: 169-197.
- MONTES, M. J. (2009). *Estratigrafía de Eoceno-Oligoceno de la cuenca de Jaca: sinclinal norio del Guarga*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 59). Huesca. 355 pp.
- NADLER, A., M. MAGARITZ, F. MAZOR y U. KAFRI (1980). Kinetics of chemical processes in a carbonate aquifer: A case study of water-rock interaction in the aquifer of western and central Galilee (Israel). *Journal of Hydrology*, 45 (1): 39-56.
- 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.
- PUYAL, M. Á., J. A. CUCHÍ y J. A. MANSO (1998). Hidroquímica de aguas naturales del Pirineo aragonés. *Lucas Mallada*, 10: 173-188.
- VILLARROEL, J. L., y J. A. CUCHÍ (2002). Análisis de respuesta de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). Primeros resultados. *Geogaceta*, 31: 121-124.
- 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.
- ZUFIAURRE, R., L. TRABA y J. A. CUCHÍ (2015). Caracterización hidroquímica de aguas en la hoya de Huesca. *Lucas Mallada*, 17: 17-44.

MANEJO DE RESIDUOS EN SABIÑÁNIGO (HUESCA) Y SUS EFECTOS EN EL RÍO GÁLLEGO EN EL PERÍODO FINAL DE 2014

Beatriz LACRUZ¹
José Antonio CUCHÍ²
Jesús FERNÁNDEZ-CASCÁN³

RESUMEN.— El río Gállego es un afluente principal del Ebro por su orilla izquierda, en el nordeste de España. Fluye a través de 192 kilómetros, desde la frontera francesa hasta la ciudad de Zaragoza. En Sabiñánigo, desde 1975 a 1989, la empresa Inquinosa (Industrias Químicas del Noroeste) produjo el insecticida lindano (γ -hexaclorociclohexano [HCH]), generando aproximadamente 115 000 toneladas de residuos tóxicos que se acumularon básicamente en dos vertederos, Bailín y Sardas, ambos situados cerca de la fábrica y del río, además de en un número desconocido de vertederos menores. Durante el verano de 2014, los residuos de γ -HCH del vertedero de Bailín fueron transferidos a un cercano y nuevo vertedero de más seguridad. Desafortunadamente, una masa desconocida de γ -HCH se vertió al barranco de Bailín, produciendo la consecuente contaminación del río Gállego por efecto de fuertes lluvias. Se prohibió el uso del suministro público de agua

Recepción del original: 15-12-2016

¹ Departamento de Métodos Estadísticos. Campus San Francisco. Edificio de Matemáticas. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. E-50009 ZARAGOZA. lacruz@unizar.es

² Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchi@unizar.es

³ Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad. Edificio Pignatelli. Gobierno de Aragón. P.º María Agustín, 36. E-50071 ZARAGOZA. jfernandezc@aragon.es

en varias poblaciones y también se vieron afectadas las actividades agrícolas y de turismo de aventura. La calidad del agua fue monitorizada por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Gobierno de Aragón. Este artículo analiza la evolución del vertido de γ -HCH en tres puntos de muestreo localizados en el río Gállego. El primero, llamado *Caseta del Gállego*, está situado unos centenares de metros por debajo de su confluencia con el barranco de Bailín. El segundo y el tercero están localizados a 37 y 61 kilómetros aguas abajo, en la salida del embalse de La Peña y en la presa de Ardisa (inicio del canal del Gállego). Se han estudiado las relaciones entre las concentraciones de γ -HCH en los dos últimos lugares frente a las medidas en el primer punto. El estudio servirá para entender el movimiento del contaminante y mitigar futuros episodios contaminantes en el río Gállego. Este artículo debe ser considerado como un estudio preliminar dado que, en el momento de su redacción, se carece de muchos datos, como la lluvia y el caudal del río en los puntos estudiados, que debieran ser incluidos para mejorar los modelos. Los resultados muestran que existe relación entre los isómeros de γ -HCH, que indican un origen común para la contaminación. Sin embargo, el pico del 11 de octubre muestra una inusual concentración de α -HCH, lo que sugiere un origen diferente para esta contaminación. En algunos episodios, la velocidad de transporte de γ -HCH a través del río parece ser mayor de lo esperado. Realmente, es muy corto un preaviso de un día tras un episodio de fuertes lluvias para evitar que los contaminantes de γ -HCH alcancen los sistemas públicos de agua potable.

ABSTRACT.— The Gállego River is one of a main tributary of the Ebro River by its left bank, in the northeast of Spain. It flows through 192 kilometres from the French border to the city of Zaragoza. From 1975 to 1989, a company called Inquinosa (Industrias Químicas del Noroeste) was producing lindane insecticide (γ -hexachlorocyclohexane) in the town of Sabiñánigo, generating approximately 115,000 tons of toxic waste. This was stocked in two main dump sites —Bailín and Sardas, both located near the factory and close to the Gállego River—, as well as in several other minor sites. During the summer of 2014, the γ -HCH waste from Bailín dumpsite was transferred to a nearby more secure location. Unfortunately, an unknown mass of γ -HCH waste was spilled into Bailín creek, contaminating the Gállego River through heavy rains. The use of public water supply was banned in several towns and agriculture and adventure tourism activities were also affected. Water quality was monitored by the Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) and the Government of Aragón. This paper analyses the evolution of the γ -HCH spill at three sampling points of the Gállego River. The first one, named Caseta del Gállego, is a few hundred meters below its confluence with Bailín creek. The second and third sampling points are located respectively 37 and 61 kilometres downstream, at La Peña dam outlet and Ardisa dam (at the beginning of the Gállego canal).

The γ -HCH concentration in these last two sites has been analysed and compared with the first site's result. This study will help to understand the pollutant course and will allow to better deal with any new contamination event in the Gállego River. The work should be considered as a preliminary study, given the lack of key data, such as the level of rainfall and the intensity of river flow at each of these sample points. This information was not available when the article was written but should be included to improve the models. The results show an existing relationship between γ -HCH isotopes which indicates a common origin of contamination. However, on October 11th, an unusual concentration peak of α -HCH was found, suggesting that this contamination had a different root. At times, the speed of γ -HCH spreading through the river seems to be higher than expected. Indeed, a day's notice previous to heavy rainfalls is too short to avoid that γ -HCH pollutants reach public water supply facilities.

KEY WORDS.— Lindane, 2014 crisis, the Gállego River, Bailín creek, Sabiñánigo (Spain).

INTRODUCCIÓN

Con una cuenca de 4000 km², el río Gállego es uno de los afluentes importantes del río Ebro por la margen izquierda (fig. 1). El río fluye a través de 192 kilómetros desde los Pirineos hasta la ciudad de Zaragoza, y ha tenido históricamente varios usos. Al menos desde la Edad Media, se ha usado para riego, sobre todo en la cuenca inferior a partir de la localidad de Gurrea de Gállego, mediante los azudes de Camarera-Candevania, Rabal y Urdán. Hubo molinos harineros en Anzánigo, Murillo de Gállego, Molinaz, Ballestar y Puendeluna. Hasta finales del siglo XIX, el río se utilizó para transporte de madera hasta que llegó el ferrocarril y se construyó el embalse de La Peña (14 hm³). Durante el siglo XX se construyeron bastantes embalses y centrales hidroeléctricas en la cabecera y tramo medio para suministrar energía eléctrica a las ciudades de la cuenca (Zaragoza, Huesca), así como a las industrias químicas de Sabiñánigo. En el tramo medio, estas centrales se componían de un azud modesto, un largo canal a media ladera hasta la cámara de carga y el consecuente salto entubado hacia las turbinas. Hacia 1920 se construyó el canal del Gállego (90 m³/s) conectando la presa de Ardisa con el embalse en derivación de La Sotonera donde el canal de Monegros suministra agua para el sistema de Riegos del Alto Aragón (RAA) con unas 130 000 hectáreas, siendo el mayor sistema de riegos

de España. Entre 1970 y 1980, en la cuenca superior se construyeron los embalses de Búbal (64 hm³) y Lanuza (17 hm³) para hidroelectricidad y agua para riego. En las últimas décadas se han puesto en marcha actividades de turismo de aventura de aguas bravas como una nueva forma de economía sostenible en localidades del curso medio del Gállego entre las presa de La Peña y Ardisa.

En Sabiñánigo, entre 1975 y 1989, la empresa Inquinosa (Industrias Químicas del Noroeste) produjo lindano (γ -hexaclorociclohexano) por reacción directa de cloro y benceno. Su producción generó aproximadamente 115 000 toneladas de residuos que se acumularon principalmente en dos zonas de vertido: Sardas y Bailín, ambas localizadas cerca del cauce del Gállego. El vertido inadecuado de los residuos químicos produjo la contaminación de aguas superficiales y subterráneas que llegaron al río Gállego (VAN DE HAAR y VAN ROEKEL, 1993; FERNÁNDEZ-CASCÁN y cols., 2013; NAVARRO y cols., 2000). Se han realizado una serie de acciones para cuantificar y mitigar el problema pero, desafortunadamente, queda lejos de estar resuelto.

Durante el verano de 2014, los residuos de γ -HCH de un inadecuado vertedero de Bailín fueron transferidos a una cubeta de seguridad cercana (fig. 2).



Fig. 1. El río Gállego y la ubicación de los puntos de muestreo estudiados. (Wikipedia e Iberpix)



Fig. 2. Geografía y vertederos en Bailín. (Iberpix)

Desafortunadamente, una masa desconocida de γ -HCH se escapó por efecto del agua o del viento hacia el barranco de Bailín, produciendo la subsiguiente contaminación del río Gállego tras un período de fuertes lluvias. Se prohibió el uso de agua de la red pública en varias localidades y también quedaron afectadas las actividades de turismo de aventura.

El principal objetivo del presente artículo es ofrecer una primera aproximación del movimiento de contaminantes por el río.

MATERIAL Y MÉTODOS

Durante el tiempo en el que se produjo el traslado de los residuos, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Gobierno de Aragón realizaron una serie de análisis sistemáticos en diversos puntos del barranco de Bailín, del río Gállego y en las redes de abastecimiento municipal.

Para este estudio se han seleccionado tres de estos puntos de muestreo localizados en el río Gállego. El primero de ellos, denominado *Caseta del Gállego*, se sitúa unos cientos de metros por debajo de la confluencia entre este río y el barranco de Bailín. Los puntos segundo y tercero están localizados aguas abajo a 37 y 61 kilómetros del primero, respectivamente. El segundo está en la salida del embalse de La Peña y el tercero en el inicio del canal de Monegros, en la presa de Ardisa. El caudal por el cauce entre Sabiñánigo y Ardisa está afectado por la producción de energía hidroeléctrica, que tiene un funcionamiento irregular y que durante los estiajes concentra la mayor parte del caudal por los canales. Además, hay que tener en cuenta las sueltas para riego de los embalses de Búbal y Lanuza, algunas destinadas específicamente a diluir la contaminación de HCH. No hay afluentes de importancia entre los puntos estudiados, aunque los ríos Guarga, Garoneta y Subién pueden jugar cierto papel en la dilución en episodios de fuertes lluvias. El pantano de La Peña es la única masa de agua regulada que puede desempeñar una función importante en la dilución de episodios simples, pero es obstaculizado por el canal de Carcavilla. La figura 3 presenta un esquema de la zona estudiada que muestra la complejidad de la hidrología en este tramo del Gállego.

En este artículo, se estudia el período temporal que abarca del 1 de septiembre al 30 de noviembre de 2014, durante el cual hubo cuatro episodios de contaminación que afectaron al estado medioambiental del río Gállego. Se tomaron y analizaron muestras diarias (excepto durante los fines de semana) de los diferentes isómeros de γ -HCH en Caseta del Gállego, y entre cada 2 y 5 días en La Peña y en Ardisa. Las bases de datos incluyen la concentración, en los puntos mencionados, de los isómeros α , β , γ y δ -HCH, así como su suma en $\mu\text{g/l}$. Como en la base de datos no hay valores precisos

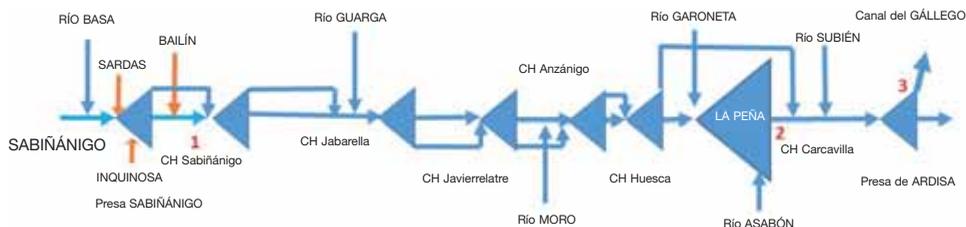


Fig. 3. Esquema del tramo estudiado del río Gállego (sin escala).

cuando la medición estaba por debajo de $0,02 \mu\text{g/l}$ en Caseta del Gállego o por debajo de $0,015 \mu\text{g/l}$ en La Peña y en Ardisa, estos valores se han considerado iguales a los límites superiores mencionados, a menos que se señale explícitamente.

Se ha calculado el coeficiente de correlación de Spearman para la concentración de cada par de isómeros, ya que no puede suponerse ni normalidad ni relación lineal entre las variables, debido a la presencia de valores extremos que no pueden ser eliminados por ser datos correctamente registrados y de interés para el estudio. Además, se ha analizado la relación entre las concentraciones de γ -HCH medidas en los diferentes puntos de muestreo considerados mediante modelos de regresión lineal. El análisis estadístico ha sido realizado con R (R Core Team, 2013) y las gráficas se han obtenido con Microsoft Excel (2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 4 y 5 muestran las concentraciones de γ -HCH en los tres puntos de muestreo, donde se distingue la concentración de los diversos isómeros por el color. Los gráficos de Caseta del Gállego están separados por meses con diferente escala en el eje vertical para facilitar la visualización. Por el contrario, la escala se mantiene en los gráficos de La Peña (base de la presa) y Ardisa para facilitar la comparación. En Caseta del Gállego (fig. 4), los valores máximos de γ -HCH detectado superan los $35 \mu\text{g/l}$ y $25 \mu\text{g/l}$ en septiembre; están por encima de $12 \mu\text{g/l}$ en octubre y de $5 \mu\text{g/l}$ en noviembre. Los valores máximos en La Peña y en Ardisa están siempre por debajo de $1,4 \mu\text{g/l}$, pero por encima del valor sanitario de $0,5 \mu\text{g/l}$ para el contenido total de plaguicidas establecido por el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano vigente en esta fecha. De hecho, este límite se supera el 21,4% de los días en Caseta del Gállego, el 38,1% en La Peña y el 24,5% en Ardisa, y se mantiene durante 10 y 5 días, respectivamente, en estos dos últimos puntos.

Tanto en la figura 4 como en la 5, se observa que la concentración del isómero α es habitualmente mayor que la del resto de isómeros en los tres puntos de muestreo. En algunos momentos, los isómeros δ y γ también

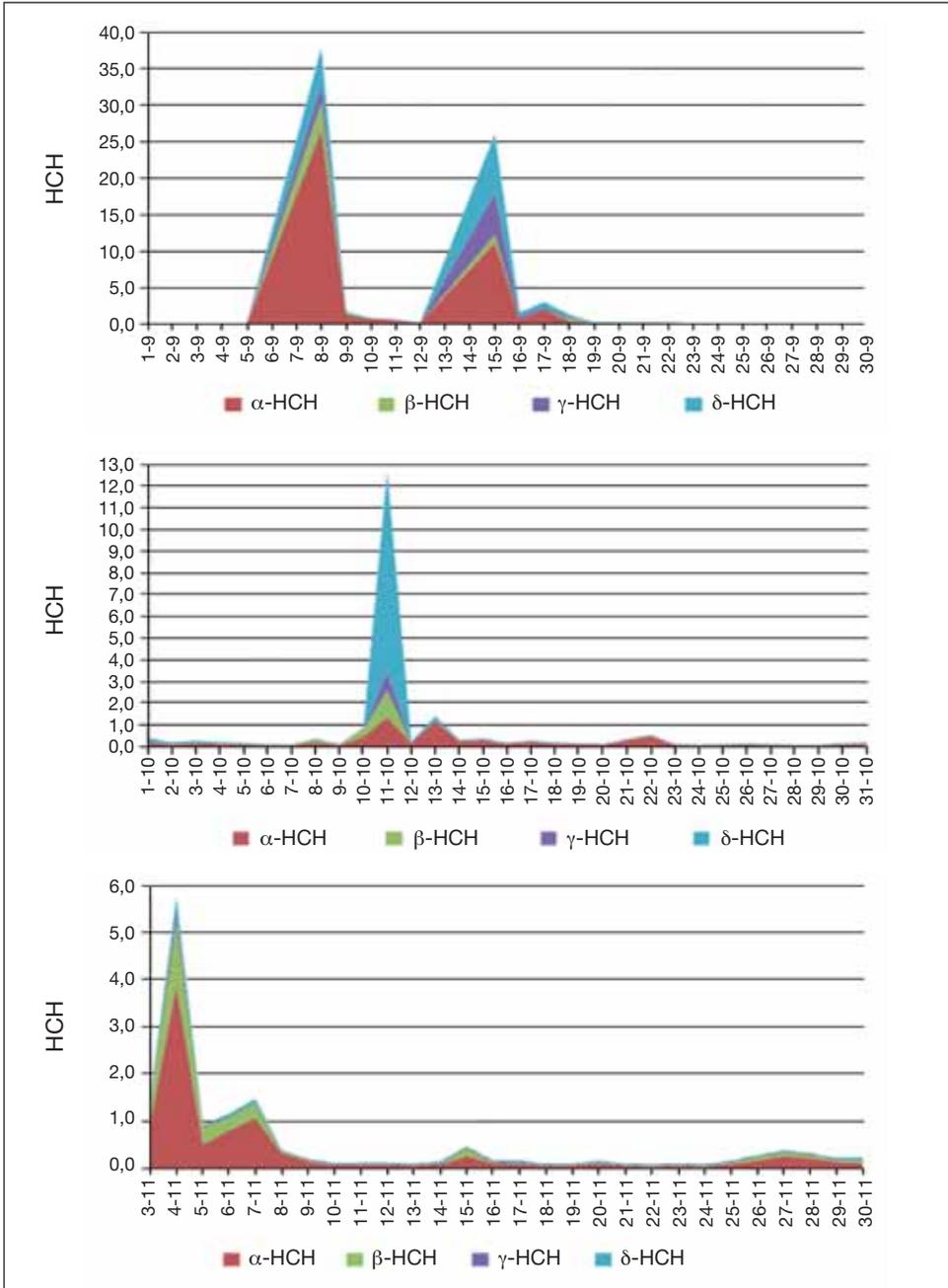


Fig. 4. Concentración de γ -HCH en Caseta del Gállego desde el 1 de septiembre al 30 de noviembre de 2014: septiembre (arriba), octubre (centro) y noviembre (abajo).

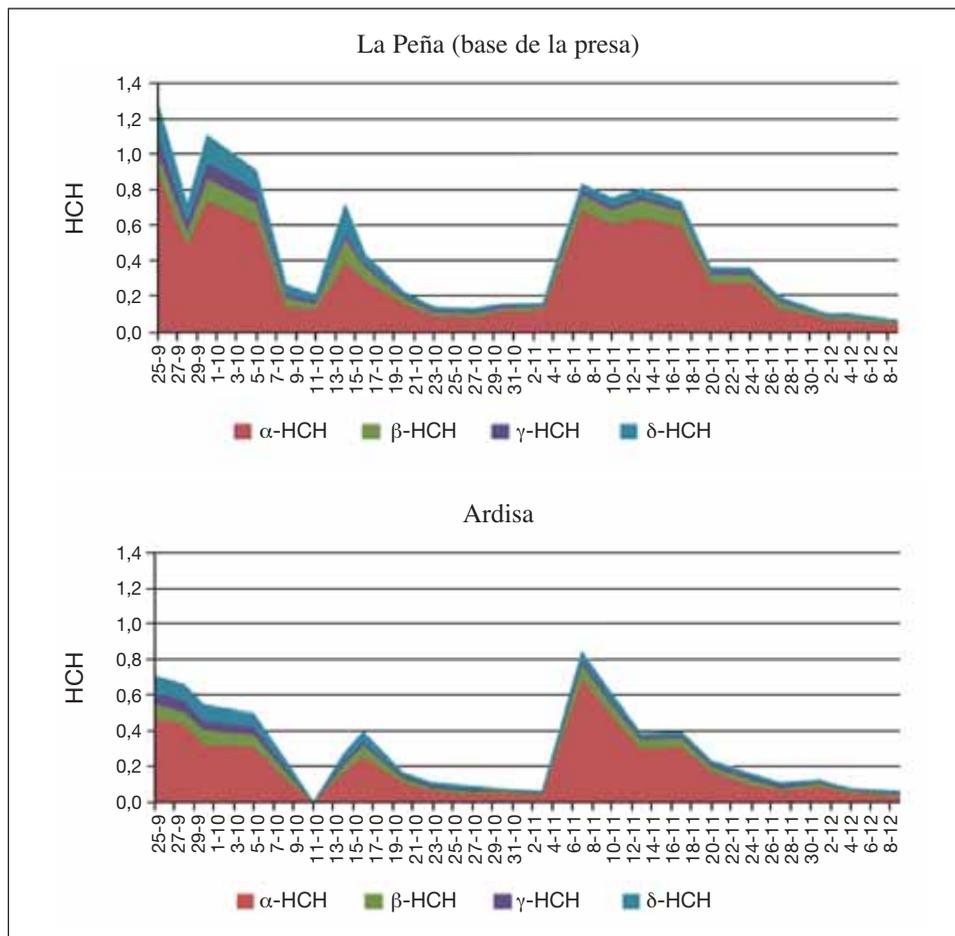


Fig. 5. Concentración de γ -HCH en la salida de La Peña (arriba) y en Ardisa (abajo) entre el 25 de septiembre y el 9 de diciembre de 2014.

presentan valores altos destacando el valor detectado para el isómero δ en Caseta del Gállego entre los días 10 y 12 de octubre.

Todos los coeficientes de correlación de Spearman indican una correlación de moderada a fuerte entre las concentraciones de los distintos isómeros de γ -HCH en Caseta del Gállego y una muy fuerte correlación entre las obtenidas en La Peña y Ardisa. Todos los valores son estadísticamente significativos en el contraste dos a dos (p -valor < 0,001) (tabla 1).

Tabla 1. Matrices de correlación de Spearman para la concentración de isómeros de γ -HCH en Caseta del Gállego, La Peña (base de la presa) y Ardisa.

	<i>Caseta del Gállego</i>		
<i>Spearman ρ</i>	α	β	δ
β	0,6557		
δ	0,6337	0,3974	
γ	0,5154	0,4549	0,6110

	<i>La Peña (base de la presa)</i>		
<i>Spearman ρ</i>	α	β	δ
β	0,9293		
δ	0,8578	0,9259	
γ	0,8919	0,8912	0,9373

	<i>Ardisa</i>		
<i>Spearman ρ</i>	α	β	δ
β	0,9426		
δ	0,8520	0,9316	
γ	0,7985	0,8705	0,9666

La figura 6 muestra la cantidad total de γ -HCH (suma de la concentración de los cuatro isómeros considerados) en La Peña y en Ardisa, así como los instantes en los que se han observado picos elevados en Caseta del Gállego. En este último punto de muestreo, las mayores concentraciones se registraron el 8 ($38,8 \mu\text{g/l}$) y el 15 ($27,16 \mu\text{g/l}$) de septiembre, pero, lamentablemente, no se puede analizar su efecto en La Peña y en Ardisa, puesto que para estos puntos los primeros datos obtenidos en ese mes son del día 25. El 11 de octubre ocurrió otro vertido crítico detectado en Caseta del Gállego ($13,12 \mu\text{g/l}$) que fue registrado los días 14 y 16 en La Peña y en Ardisa, respectivamente. Un pico similar se detecta el 4 de noviembre en Caseta del Gállego y el 7 de noviembre tanto en La Peña como en Ardisa. Aunque la concentración en Ardisa disminuye rápidamente, en La Peña el problema se mantiene al menos hasta el 17 de noviembre, señalándose que se han utilizado datos diarios en Caseta del Gállego, pero no en La Peña y en Ardisa.

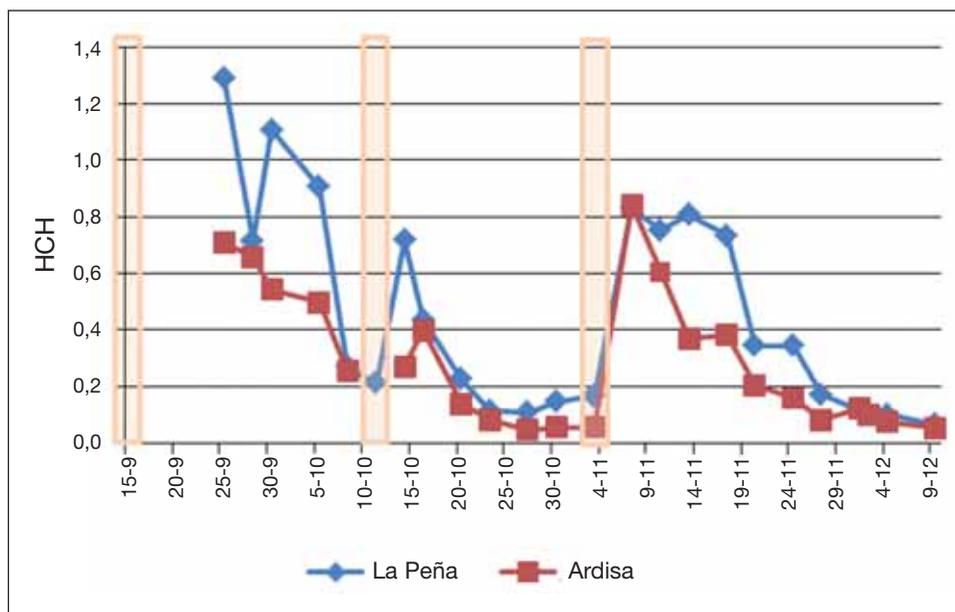


Fig. 6. Concentración total de γ -HCH en La Peña (base de la presa) y Ardisa. Los picos altos en Caseta del Gállego se marcan en naranja.

Tomando estos datos como base, puede estimarse que un pico de concentración tarda entre 1 y 3 días en alcanzar los puntos de muestreo situados aguas abajo. Con una distancia de 37 kilómetros y sin embalses importantes entre los puntos 1 y 2, esta situación ofrece un rango de velocidades desde 12 a más de 37 km/día. Este último valor parece mayor de lo esperable *a priori* en un río con las características del tramo medio del Gállego. La velocidad media entre los puntos 2 y 3 es del orden de 15 km/día.

Dentro de un modelo teórico de evolución de contaminantes por un río, los picos agudos de contaminación que se detecten en un punto próximo al origen, como el punto 1, deben suavizarse aguas abajo en concentración punta y ampliar la base temporal por dilución, advección y difusión, más el efecto de retraso de los pequeños remansos naturales y los azudes artificiales, como así parece ser. Además, la figura 6 muestra que la concentración total de γ -HCH en Ardisa es siempre menor que en la salida de La Peña. Sin embargo, durante el episodio de noviembre de 2016, las concentraciones son muy similares en ambos puntos. Esto podría deberse a una mínima

contribución de los pequeños barrancos entre ambos puntos, quizás por un diferencial de pluviometría y su consiguiente escorrentía, entre las zonas altas y bajas estudiadas. Además, se necesita más información sobre el funcionamiento temporal de las centrales hidroeléctricas y la relación de caudales entre el río y los canales hidroeléctricos.

Finalmente, se ha analizado la relación entre las concentraciones de γ -HCH en dos puntos del muestreo mediante modelos de regresión lineal. La figura 7 (izquierda) muestra el modelo obtenido para explicar la concentración de γ -HCH en Ardisa frente a la medida en La Peña para un instante previo. Se ha eliminado la concentración de γ -HCH total detectada el 7 de noviembre en Ardisa frente a la del día 3 en La Peña (instante anterior registrado), por considerarse un dato atípico, que corresponde al pico que se muestra en estos puntos en la figura 6 tras la alta concentración detectada en Caseta del Gállego. Este valor pudiera ser explicado por un flujo rápido en el río.

El modelo de regresión lineal obtenido tiene una pendiente significativa de 0,472 (p -valor = $1,96 \cdot 10^{-6}$), que representa el aumento de la concentración media esperada de γ -HCH en Ardisa por cada $\mu\text{g/l}$ de aumento en La Peña. El valor de intersección es 0,012 y puede ser considerado igual a 0 (p -valor =

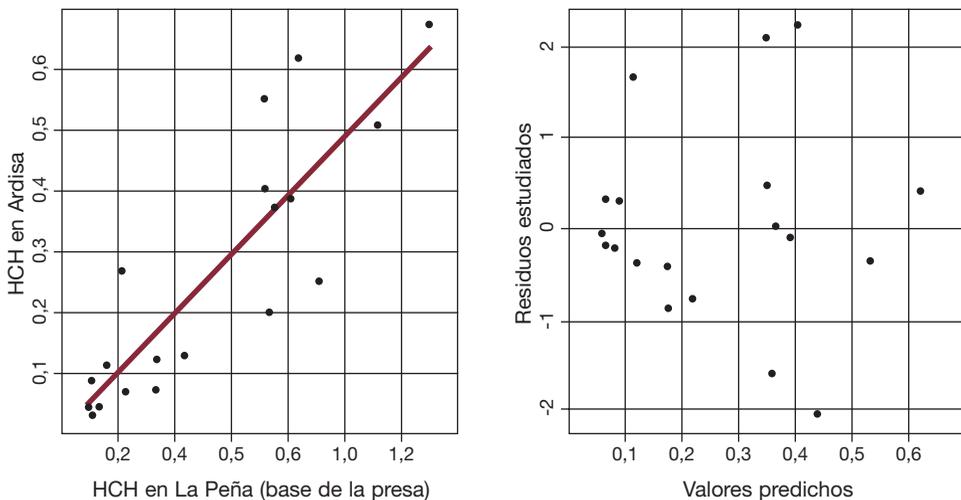


Fig. 7. Modelo de regresión lineal de la concentración total de γ -HCH en Ardisa frente a la de La Peña (izquierda) y residuos del modelo frente a valores predichos (derecha).

0,777). El modelo explica un 74,5% de la variabilidad de la concentración de γ -HCH en Ardisa. Sin embargo, aunque ambos diagramas de dispersión muestran cierto comportamiento heterocedástico, el test de Breuch-Pagan indica que no es significativo ($W = 0,93259$, p - value = 0,1932).

Además, se han ajustado varios modelos de regresión lineal para la relación entre la concentración de γ -HCH en Caseta del Gállego y las obtenidas en los puntos de muestreo aguas abajo. El principal problema de esta modelización estriba en que las medidas del primer punto son diarias, mientras que no lo son en los otros dos puntos de muestreo y, por ello, deben usarse técnicas de suavizado. Los resultados son similares a los del modelo ya presentado, aunque con menor capacidad predictiva y más problemas de heterocedasticidad. Estos resultados llevan a la conclusión de que otras variables, como el caudal del río y la lluvia, pudieran mejorar sustancialmente los modelos.

CONCLUSIONES

Este artículo tiene que ser considerado como un trabajo preliminar. Los resultados muestran una fuerte relación entre los diferentes isómeros de γ -HCH, lo que indica un origen común de la contaminación. Sin embargo, el pico del 11 de octubre muestra una inusual relación isomérica en el γ -HCH sugiriendo un origen diferente para la contaminación de γ -HCH. La velocidad de transporte de γ -HCH a través del río parece ser mayor de la esperada para algunos episodios. Realmente, un solo día de preaviso, después de fuertes lluvias, es muy poco tiempo para evitar que la contaminación de γ -HCH alcance diversos abastecimientos públicos de agua de red. Además, los modelos de regresión permitirían predecir la concentración esperada aguas abajo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el Grupo de Investigación Modelos Estocásticos (Universidad de Zaragoza). Los autores agradecen al Gobierno de Aragón y a la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) los datos proporcionados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERNÁNDEZ, J., M. Á. ARJOL y C. CACHO (2013). POP-contaminated sites from HCH production in Sabiñánigo Spain. *Environmental Science and Pollution Research*, 20: 1937-1950.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. <http://www.chebro.es/> [consulta: 31/7/2017].
- NAVARRO, J. Á. S., C. LÓPEZ y A. P. GARCÍA (2000). Characterization of groundwater flow in the Bailín hazardous waste-disposal site (Huesca, Spain). *Environmental Geology*, 40 (1-2): 216-222.
- R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Viena. Disponible en <http://www.R-project.org/> [consulta: 31/1/2017].
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *BOE*, n.º 145, de 21 de febrero de 2003, pp. 7228-7244.
- VAN DE HAAR, A. J., y G. VAN ROEKEL (1993). HCH Contamination in the Pyrenees: A Case Study. En *Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for Proper Protection*: 641-644. Springer Netherlands. Dordrecht.

UN BARRANCO HUMANIZADO: LOS HUERTOS DE MASCÚN

Enrique SALAMERO¹

RESUMEN.— El barranco Mascún, perfecto ejemplo de garganta calcárea prepirenaica, conservaba hasta los años sesenta o setenta del siglo XX un bonito conjunto de huertos que se extendían por el fondo del cañón gracias a la existencia de la fuente Mascún, surgencia kárstica permanente e importante, frecuentemente citada en los textos desde mediados del siglo XIX. Tres sistemas de pequeñas represas y canalizaciones derivaban el agua de la fuente y la conducían a las distintas parcelas, cuyo acceso se realizaba por diferentes caminos, según su ubicación, desde la contigua población de Rodellar. Los antiguos muros de piedra seca, las viejas pasaderas de piedra que cruzaban el río y las distintas acequias que ingeniosamente servían a los huertos han sufrido considerablemente el paso del tiempo e ilustran muy bien la situación actual en que se encuentra el patrimonio rural de difícil acceso.

ABSTRACT.— Mascún Creek is a perfect example of a pre-Pyrenean calcareous gorge. Until the sixties and seventies of the 20th century, it preserved a beautiful set of orchards that extended through the bottom of the canyon thanks to Mascún Fountain, a constant and considerable karst spring, frequently mentioned in writings since the mid-nineteenth century. Three systems of small dams and irrigation ditches derived water to gardens connected to the contiguous town of Rodellar through various paths according to each respective garden's location. The old dry-stone walls, the old stone-walkways across the river and the various ditches that

Recepción del original: 19-12-2016

¹ Contacto a través de <http://rodellar.blogspot.com.es>

ingeniously served the orchards, have suffered considerable damages over time, and picture the poor condition of today's rural heritage with difficult access.

KEY WORDS.— Irrigation, Mascún Creek, Mascún Fountain (Spain).

INTRODUCCIÓN

Prácticamente olvidados, los antaño llamados *huertos de Mascún* (nombrados así para diferenciarlos de la llamada *huerta de Rodellar*, extenso conjunto de campos situados en la zona más fértil de la vega del río Alcanadre, aguas abajo del puente Pedruel) constituían tradicionalmente un recurso práctico y evidente situado a escasa distancia de la población de Rodellar. La existencia de la surgencia permanente de la fuente Mascún aseguraba una regularidad de riego nada despreciable en el macizo seco y calcáreo que caracteriza esta zona.

Sin embargo, todos los autores clásicos que han escrito sobre este célebre barranco lo han hecho casi siempre muy sucintamente respecto a estos cultivos. La fama y el misterioso origen de la fuente han ocultado el uso real para el que venía sirviendo de generación en generación. BRIET (1905) es el primero en citarlos:

Des atterrissements d'humus déposés à droite et à gauche de son courant, sous Rodellar même, ont été convertis en petits jardinets, produisant d'excellents légumes et protégés par de murets de pierres sèches contre les crues.

Tiempo después, LABORDE-BALEN (1965) muestra muy bien el vergel que estos huertos suponían:

Le sentier atteint d'abord un col d'où nous dominons une tache verte étonnante dans ce désert rocailleux. Tout au fond du *cañón*, où les gens de Rodellar ont trouvé un peu d'eau pour les irriguer, quelques potagers s'alignent aussi méticuleusement soignés que des jardins publics. Chaque sillon, butté avec soin se termine par une petite écluse... Puis nous ne verrons plus que l'enfer dantesque hérissé pendant des kilomètres d'aiguilles et de monolithes ocres et rouges.

Otras referencias, también breves, pueden encontrarse en MINVIELLE (1951), ABADIE (1971), BIARGE (1973a y b) y MINVIELLE (1974).

A día de hoy, los huertos de Mascún y todos los demás vestigios del pasado humano en todo este amplio territorio permanecen casi exclusivamente

en lo ya escrito hace décadas. En realidad, la mayoría de ellos solo han venido manteniéndose en la memoria de aquella generación cuyo tiempo de vida está prácticamente terminado. En la actualidad, todo aquello que no ha sido rescatado de ese fondo de recuerdos ha dejado ya de existir. Mal que nos pese, lo único que nos resta hacer es conservar y transmitir lo que nos quede. Es abrumador el contraste que experimentan estos lugares entre lo hiperfrecuentado de algunos de sus rincones y el desconocimiento de lo que en ellos tuvo lugar antaño.

VISIÓN DE CONJUNTO

La zona que nos ocupa se encuentra en el núcleo central del actual Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara, al este de la propiamente hablando sierra de Guara y formando parte de este abrupto sector de las sierras prepirenaicas oscenses que se sitúan al oeste del río Cinca.

El valle de Rodellar se extiende linealmente de norte a sur con la única salvedad de la entrada lateral del profundo corte del río Alcanadre. El barranco Mascún sigue la dirección principal y se hunde a lo largo de toda la cabecera del valle (figs. 1 y 2).

Los huertos que aquí nos interesan se hallaban en el fondo del barranco Mascún a su paso por las inmediaciones de la población de Rodellar, la cual domina su última parte. Se extendían por ambas orillas del cauce y tenían por límites la fuente Mascún (aguas arriba) y el inicio del tramo conocido como *Palomera* (aguas abajo).

Diversos elementos de interés jalonan el itinerario, ya sean naturales o debidos a la acción secular del hombre. Entre estos, los más antiguos los encontramos en las pinturas rupestres de tipo esquemático de la Cueva Pacencia (PAINAUD y cols., 1994).

A su vez, y derivado de la admiración que esta geografía despertó desde un primer momento en los viajeros franceses de los siglos XIX y XX, la zona cobró gran notoriedad en lo referente a la práctica deportiva del descenso de barrancos desde finales de la década de 1980. Posteriormente, la escalada deportiva ha continuado haciendo de este lugar una referencia internacional. Igualmente, aunque de forma más discreta, el senderismo va cogiendo más presencia y se recuperan algunos de los viejos caminos.

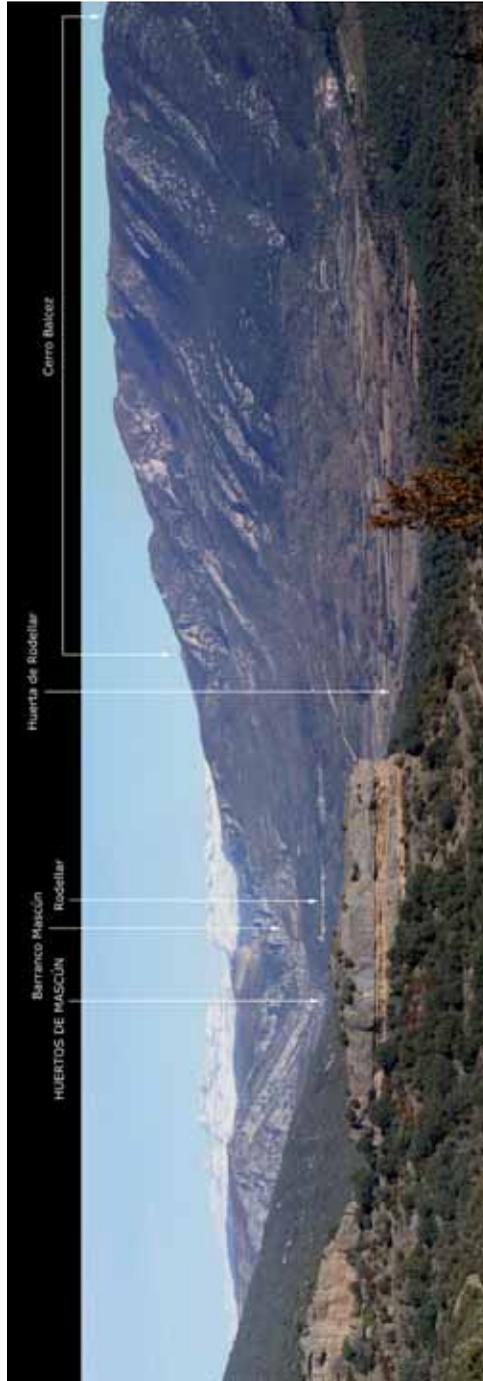


Fig. 1. El valle de Rodellar visto hacia el norte. Al fondo se levanta el Pirineo (a la izquierda se distinguen Las Tres Sorores con el Monte Perdido en el centro).

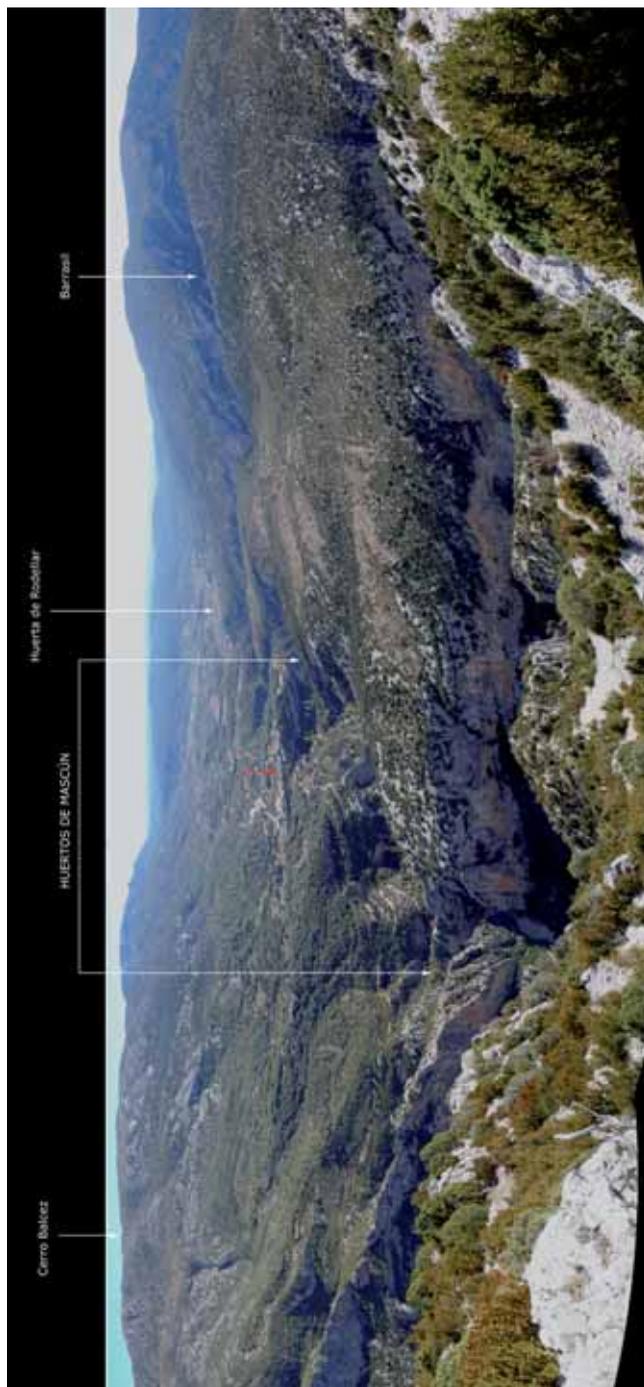


Fig. 2. El valle de Rodellar visto hacia el sur. La flecha roja sitúa la población de Rodellar. El barranco Mascún se prolonga hacia la izquierda de la imagen. A la derecha se aprecia claramente el corte de Barrasil, cañón por donde discurre el río Alcanadre.

EL ORIGEN DE TODO: LA FUENTE MASCÚN

Desde MADOZ (1845-1850), primero en citarla, son casi inexistentes los autores que, tratando el lugar, no hablen de ella. Tal es su relevancia.

La explicación más popular sobre el origen de su nombre se debe a BRIET (1905):

Maskhun, mot arabe pur, veut dire ‘lieu habité par les esprits, les démons, les êtres surnaturels’, et on ne doute plus de l’exactitude de cette étymologie devant l’aspect bizarre du barranco de Mascún où, aujourd’hui encore, on se figure être dans un palais de fée ou dans le château d’un génie.

Sin embargo, hay que tener muy en cuenta la propuesta por VÁZQUEZ (1985):

Mascún, fuente y barranco. Su etimología no se ha podido establecer. Algún erudito ha propuesto una explicación por el árabe *maskhum*, ‘lugar donde habitan los espíritus’, pero me inclino más por el étimo prerromano: en vasco existen *maskulo*, ‘burbujas a flor de agua’ y *muskulu*, ‘burbujas que se levantan en el agua’; no se ha de olvidar que *maskun* pudo ser el nombre originario de la fuente y posteriormente del barranco que tiene su origen en dicha fuente.

Y esta explicación se corresponde perfectamente con la existencia de surgencias burbujeantes en la badina d’Arriba d’a Fuente, situada a poca distancia aguas arriba (SALAMERO, 2011a y b).



Fig. 3. La cueva de donde surge la fuente Mascún (izquierda). E1: situación de la antigua A Estacada Mascún. P1: situación de las antiguas Pasaderas d’A Fuente. En rojo, tramo inicial de la acequia. (Fecha: 30/12/2012)

Respecto a su otro origen, el de su caudal, el misterio sigue en la actualidad. MADOZ (1845-1850) recoge la teoría que implica al río Ara. BRIET (1905 y 1910) la refuta atribuyéndola primero a la propia cuenca del Mascún y luego al cerro Balcez. Por su parte, BUERA, CUCHÍ y MANSO (1997) muestran la diferencia de aguas entre las pérdidas superiores del barranco Mascún y las que resurgen por la fuente Mascún. La propia cavidad de la surgencia nada preciso ha podido aportar al tratarse de un sifón que en seguida se vuelve casi impenetrable (CENTRO DE ESPELEOLOGÍA DE ARAGÓN, 2011) (fig. 3).

LOS HUERTOS

Todos sin excepción llevan el nombre de la casa tradicionalmente propietaria, todas ellas pertenecientes a la ya mencionada población de Rodeñar. No obstante, algunos de ellos fueron cuidados por otros hacia al final de su vida (fig. 4).

Se encuentran en las sucesivas terrazas fluviales que el río Mascún presenta entre los límites más arriba indicados.

1. *Huerto Tendero*. En otros tiempos de tormentas más frecuentes, se dice que el muro de piedra que lo separa de la desembocadura del barranco de la Virgen llegó en alguna ocasión a ser dañado por las avenidas de agua de este (difícil de ver desde hace tiempo). La bonita pared de piedra seca que lo separa del camino también ha sufrido considerablemente el paso del tiempo y de las personas (fig. 5).

2. *Huerto Zrujano*. Este es el único que cuenta con el privilegio de haber sido citado expresamente en toda la bibliografía existente (BRIET, 1905):

Cette 'ventana', béante au faite de la muraille qu'on a devant soi, n'est perceptible que du fond du *barranco*, c'est-à-dire au moment où elle parvient à se profiler sur le ciel. On tourne ensuite à droite; on traverse le *río*; on file derrière un îlot de jardinage, propriété de D. Mora, justement. Des tiges de maïs y donnaient la réplique à des haricots ramés [...] On découvre en même temps à cet endroit l'orée de la fissure étroite qui remonte dans la sierra de Barcez et que le comte de Saint-Saud a dûment inscrite sur sa carte.

Efectivamente, el señor D. Mora era precisamente el amo de Casa Zrujano, lugar donde se hospedaba Lucien Briet y motivo por el que se nom-

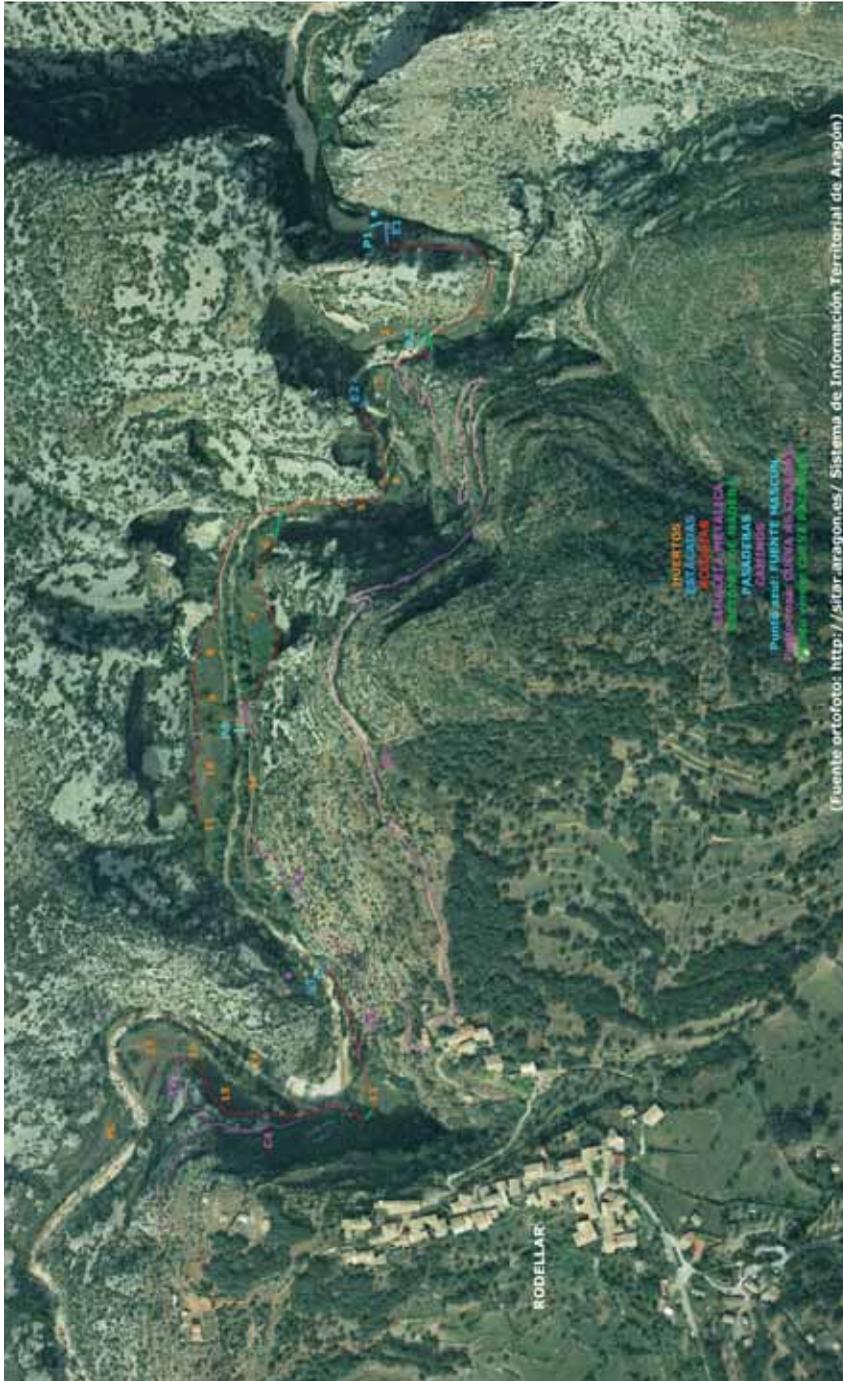


Fig. 4. Los huertos de Mascún (visión de conjunto).

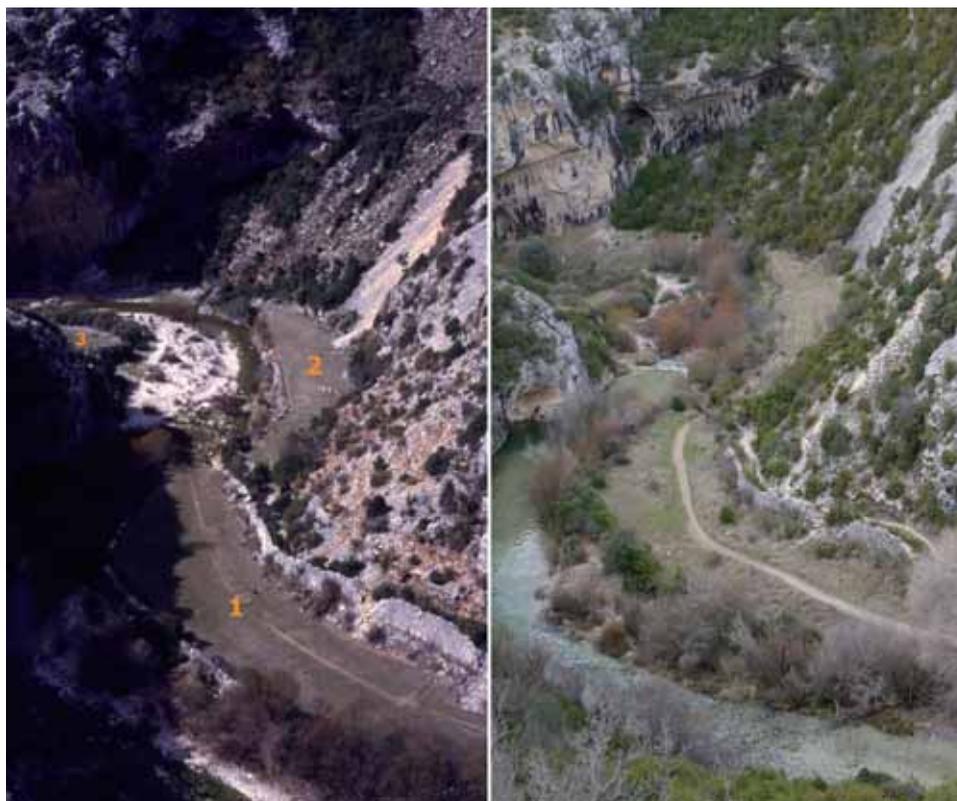


Fig. 5. El paso del tiempo en el Huerto Tendero (1), Huerto Zrujano (2) y Huerto Tornilo (3) (1992-2013).

bra. Por otra parte, la cita relacionada con Saint-Saud se refiere al cercano barranco de la Virgen (véase huerto anterior). Posteriormente, ya en sus últimos años, fue Serafín, de Casa Manuel, quien se encargó de él.

3. *Huerto Tornilo*. Junto a él desemboca el camino d'As Graderas (fig. 6).

4. *Huerto d'Arriba de Lapena*. Anteriormente formaba parte del huerto Lafarga. Durante muchos años una bonita y característica hilera de chopos (hoy muy menguada) corría junto a la acequia. Estos fueron plantados por Felipe Tejero, el último barbero de Rodellar.

5. *Huerto Lafarga*. Situado junto a una pared rocosa muy solicitada desde hace tiempo por escaladores, la acequia a cuyos pies pasaba se encuentra por ello casi irreconocible (fig. 7).



Fig. 6. Los tres primeros: el Huerto Tendero (1), el Huerto Zrujano (2) y el Huerto Tornilo (3).

Línea roja: acequia que viene de A Estacada Mascún. Línea verde: lugar que ocupaban los baciones de madera. Línea azul: vado de las antiguas Pasaderas d'o Huerto Tendero.

Se observan muy bien los zigzags del camino d'As Graderas.

(Fecha: 15/11/2009)



Fig. 7. El paso del tiempo en el Huerto Lafarga (5) y Huerto d'Angela (6) (1972-2011).

6. *Huerto d'Angela*. Pequeño y disimulado junto a un abrigo rocoso. Sus escasas dimensiones se deben a una riada que, literalmente, se lo llevó por delante en un año indeterminado de las décadas de 1940-1950.

7. *Huerto d'Abajo de Lapena*. De buenas dimensiones, pero escondido por la vegetación (fig. 8).

8. *Huerto Manuel*. Este y los tres siguientes se extendían conjuntamente a lo largo de este tramo recto del río.

9. *Huerto Trallero*. Sin solución de continuidad, hace de unión entre los de Manuel y Carrera.



Fig. 8. El tramo más rectilíneo de los huertos de Mascún: Huerto d'Abajo de Lapena (7), Huerto Manuel (8), Huerto Trallero (9), Huerto Carrera (10), Huerto Cosme (11) y Huerto l'Herrero (12).

Las líneas rojas sitúan las viejas acequias; la línea rosa sigue el camino d'As Graderas; el trazo corto rosa señala la canaleta metálica y el azul las Pasaderas d'o Huerto l'Herrero. (Fecha: 15/11/2009)

10. *Huerto Carrera*. Este huerto y el siguiente no estaban separados por ninguna pared de piedra seca. Hacia su final fue cultivado por Casa Antón de Cheto.

11. *Huerto Cosme*. Su extremo aguas abajo pasaba por delante mismo de la cueva Cosme (las crecidas del río incluso anegaban alguna vez todo el interior). Durante sus últimos años fue Casa Angela quien se encargó del mismo y Pepe de Ortas el último que llegó a cultivarlo ya en la década de 1980, el postrero de todos los huertos de Mascún (fig. 9).



Fig. 9. El paso del tiempo en el Huerto Cosme (11) (1972-2007).

12. *Huerto L'Herrero*. De buena longitud, en él desemboca el camino que baja desde el Barrio a Honguera. A su acequia le ocurre lo mismo que al huerto Lafarga, pero antaño era el río quien, a veces, provocaba desperfectos inundándolo.

13. *Huerto d'Ortas*. También caracterizado por una hilera de chopos y junto a la desembocadura del barranco o barrio. Hasta aquí conducía un ramal del camino del huerto anterior. Tiene dos *fajetas* (terrazas), pero solo la inferior, la irrigada, se cultivaba dejando la superior para las ovejas.

14. *Huerto Tornilo*. Es el único de todo el conjunto que no era irrigado por ninguna acequia o canaleta; el agua se llevaba hasta el mismo a *pozales* (fig. 10).



Fig. 10. El Huerto Tornilo (14), menos favorecido que los de Ortas (13) y Francho (15).
(Fecha: 15/4/2012)

15. *Huerto Francho*. Bien delimitado por un farallón rocoso en su lado sur (a cuyos pies corría la acequia), impresiona su límite norte constituido por un muro de piedra seca excepcionalmente ancho, probablemente como protección frente al río. En sus años postreros fue Casa L'Herrero quien se ocupó de él (figs. 11 y 12).

16. *Huerto Ballarín*. Sin solución de continuidad, hace de unión entre los de Francho y Cañuto.

17. *Huerto Cañuto*. Ancho, despejado y soleado, ocupa el lado interno de un meandro del barranco en cuyo lado opuesto se encuentra la ya mencionada Cueva Pacencia (fig. 13).



Fig. 11. El grueso muro de piedra seca del Huerto Francho (15). (Fecha: 22/6/2008)



Fig. 12. El paso del tiempo en el Huerto Francho (15) (1972-2014).
C4: camino por el Paco As Tuartas.



Fig. 13. El Huerto Ballarín (16) y el Huerto Cañuto (17).
En la otra orilla se distingue la Cueva Pacencia. (Fecha: 15/4/2012)

Acabados los huertos de Mascún, hay que anotar la existencia de otro situado justo aguas abajo del último de ellos y en la margen derecha. Se trata del llamado *Palomera Cañuto* (PC en la ortofoto), nombre que relaciona la casa propietaria con la zona del barranco Mascún en cuyo inicio se encuentra: Palomera. A diferencia de los huertos, este lleva muchos más años abandonado.

En todos ellos se cultivaba gran variedad de hortalizas (coles, patatas, tomates...), disfrutando de buena fama las judías (algún informante recuerda los buenos platos de judías secas). También se sembró alfalfa (entre otros en los huertos de Lapena, Lafarga y Trallero). Todo lo obtenido se subía hasta Rodellar con la ayuda de burros o mediante canastas.

La totalidad de los huertos de Mascún eran todavía cultivados en la década de 1960, momento a partir del cual empezó su paulatino abandono. Tal y como hemos visto, fue el huerto Cosme el último en mantenerse, y solo parcialmente, en activo

LAS ESTACADAS

Evidentemente, nada queda de estas artesanales represas que conseguían desviar parte del caudal con el fin de irrigar los huertos que se encontraban aguas abajo. Periódicamente estropeadas y vueltas a arreglar por el ímpetu de las avenidas del río, desaparecieron definitivamente y sin dejar rastro tras el abandono de los cultivos.

Se construían de manera muy funcional y consistían en un entramado de ramas de boj, grava y tierra.

El. *A Estacada Mascún*. La primera, obviamente, aprovechaba el río recién salido de la fuente Mascún, cuyo nombre toma (fig. 14). Se encontraba justo en frente de ella, de tal manera que acrecentaba la entidad de la contigua Badina d'A Fuente. Derivaba la mayor parte del caudal. BRIET (1905) no solo cita la canalización que le sigue, sino que detalla la composición de la estacada:

[...] la source se trouvant justement à deux pas. On suit, en guise de sentier, le rebord d'une *acequia*; et, pour éviter de sautiller de pierre en pierre, on utilise la petite digue qui vient ensuite; cette digue, mince cordon de gravats, que des mottes de gazon cimentent, détermine une mare alimentée par les eaux de la fontaine de Mascún.

La descripción es precisa al indicar “mince cordon”, ya que la importancia de la corriente recién salida no necesitaba de una obra de envergadura y su dirección favorecía la entrada a la acequia. Briet aprovecha para señalar también su uso tradicional como lavandería:

[...] une femme lavait dans l'*acequia*, et son mari venait de lui apporter du linge avec un de ces doubles paniers d'osier que les Aragonais mettent à cheval sur leurs bêtes de somme, scène de ménage qui animait un peu le sinistre couloir, où s'entendait discrètement le murmure du *río*, tout réjoui de bruir hors des entrailles du calcaire.

E2. Se levantaba a corta distancia aguas arriba de unos grandes bloques de piedra situados en el mismo cauce (conocidos como *bozos de Lapena*, por ser este el primero de los huertos que riega). La existencia de la badina que la precede la protegía, con más fortuna que las otras, de las avenidas del río (fig. 15).



Fig. 14. Situación de A Estacada Mascún (E1). En rojo se sitúa la acequia que se derivaba y en verde los baciones que cruzaban el río. El punto azul localiza la fuente Mascún.

P1: Pasaderas d’A Fuente. P2: Pasaderas d’O Huerto Tendero. Huerto Tendero (1), Huerto Zrujano (2) y Huerto Tornilo (3). (Fecha: 10/3/2013)



Fig. 15. Situación de la Estacada E2 (justo debajo se distinguen las rocas de los bozos de Lapena). En rojo se señala el comienzo de la acequia. Huerto Zrujano (2) y Huerto Tornilo (3). (Fecha: 20/1/2008)

E3. *A estacada.* La tercera y última, la de mayor envergadura, se encontraba en medio del tramo de río comprendido entre el Huerto L'Herrero y el de Ortas, aprovechando la existencia en el cauce de unos bloques de piedra. BRIET (1905), de nuevo, la menciona al paso que cita el camino que baja al Huerto L'Herrero:

Le rocher, du côté de Rodellar, est moins rébarbatif, car le ravin du Barrio de la Honguera le disloque en s'y jetant; un chemin profite de cette fracture pour descendre en zigzag, vers un modeste barrage, à l'aide de corniches et le long de parois très oxydées.

A estacada tenía una segunda utilidad gracias a su ubicación no lejos del pueblo: la larga badina que se generaba (llegaba hasta el Huerto L'Herrero) era a menudo utilizada por las mujeres de Rodellar para realizar la colada de la ropa (lo que se recoge en un topónimo contiguo: la Cueva As Coladas). Incluso



Fig. 16. Situación de A Estacada (E3) desde la parte superior del camino C2. En rojo se señala la acequia y en verde el cruce mediante baciones del Barranco O Barrio. Huerto Cosme (11), Huerto d'Ortas (13), Huerto Franco (15), Huerto Ballarín (16) y Huerto Cañuto (17). Punto verde: Cueva Pacencia. Punto rosa: Cueva As Coladas. (Fecha: 15/11/2009)

servía como lugar de diversión y baño. También se cuenta que, arreglando esta estacada, una gran piedra cayó en el pie del señor Cristino Sarvisé, de Casa Francho, causándole gran daño, aunque recuperado posteriormente (fig. 16).

ACEQUIAS Y CANALETAS

De cada una de las tres estacadas, el agua desviada seguía su correspondiente sistema de canalización. Se distinguían cuatro tipos: de tierra, de obra, metálicos y de madera (*baciones*). Cada uno de ellos ha corrido una suerte diferente.

a. En la Estacada Mascún se iniciaba una acequia que discurría junto al borde de la pared derecha del barranco y de la que aún se distingue algún tramo. Alcanzaba el Huerto Tendero, pasando curiosamente por debajo del camino (aún se aprecia). Continuaba por la orilla del huerto, junto a la pared de piedra seca, y a su final cruzaba la senda para entrar en el Huerto Zrujano. Desde este, y para alcanzar el Huerto Tornilo, existía una derivación que cruzaba el río por unos baciones colgantes de madera que enlazaban con una canaleta de obra en la pared rocosa del otro lado (esta aún puede verse) (figs. 17 a 20).



Fig. 17. Junto a la pared rocosa apenas se observan los restos de la acequia derivada de la Estacada Mascún (señalada por la flecha azul). Las otras piedras que se ven a la derecha son las correspondientes a la delimitación del antiguo camino. (Fecha: 30/12/2012)



Fig. 18. Extremo superior del Huerto Tendero. Línea roja continua: llegada de la acequia proveniente de la Estacada Mascún. Línea de puntos: continuación bajo tierra hacia el huerto. (Fecha: 16/12/2007)



Fig. 19. Inicio de la canaleta de obra que llevaba hacia el Huerto Tornilo. La flecha roja señala la trayectoria de los baciones que la comunicaban desde el Huerto Zrujano. La imagen está tomada desde el vado donde se encontraban las Pasaderas d'O Huerto Tendero. (Fecha: 16/12/2007)



Fig. 20. Tramo final de la misma canaleta. (Fecha: 17/5/2009)

b. Desde la segunda estacada arrancaba otra acequia que pasaba por detrás de los bozos de Lapena y bordeaba el interior del Huerto d'Arriba de Lapena junto a los chopos (todavía se observa), para acto seguido alcanzar el de Lafarga. Al final de este una canaleta de obra, sustentada en sus extremos por muros de piedra, continuaba colgada sobre el río hacia los cuatro huertos consecutivos de Manuel, Trallero, Carrera y Cosme. En ese mismo lugar una derivación (todavía se conserva el arranque) cruzaba el río por baciones colgantes de madera (que dan nombre a la badina contigua: Badina As Canales) hasta el Huerto d'Angela y continuaba mediante acequia por el lado interior del Huerto d'Abajo de Lapena. Finalmente, alcanzaba el Huerto L'Herrero gracias a una canaleta metálica (la única de estas características y todavía visible), adosada a la pared rocosa del río. El tramo de acequia que recorre los cuatro huertos de la margen derecha sufría a menudo los desprendimientos ocasionados por el paso de las cabras por las gleras (pedreras) de la pendiente y el subsiguiente enrone de piedras y tierra (figs. 21 a 24).



Fig. 21. La acequia entre los huertos de Lafarga y Manuel. Se aprecia el estado de la canaleta de obra y lo colmatado de todo el trayecto, hoy convertido en camino. (Fecha: 16/12/2007)



Fig. 22. La misma acequia anterior vista aguas abajo. Se distingue la canaleta de obra con sus muros laterales de sustentación. La flecha roja señala la antigua trayectoria de los baciones que comunicaban con el Huerto d'Ángela. La Badina As Canales aparece helada y en estiaje. (Fecha: 16/12/2007)

c. De A Estacada salía una nueva acequia que, por la orilla izquierda, llevaba directamente al Huerto d'Ortas, al cual entraba por el centro aprovechando la división de sus dos fajetas. A continuación atravesaba el barranco o barrio una vez más mediante baciones y se acercaba hasta la orilla del río. El borde rocoso que sigue se salvaba mediante una canaleta de obra (todavía visible) llegando poco después al Huerto Francho. Recorría este el pie del acantilado que lo delimita hasta alcanzar, finalmente, el Huerto Cañuto, último de los huertos de Mascún (fig. 25).

No existían derechos de riego preferenciales. El agua llegaba siempre canalizada y en cantidad suficiente. Las zonas aguas abajo, sujetas a filtraciones, mantenían caudal gracias al sobrante de las estacadas y las pérdidas de las acequias. Tampoco se recuerdan conflictos entre los propietarios y existía un simple acuerdo sobre el uso.



Fig. 23. Restos del arranque que soportaba los baciones indicados en la figura 22.
En primer plano, la acequia pasa completamente desapercibida por el relleno de piedras y tierra. En frente, el Huerto d'Angela se disimula oculto tras la vegetación.
(Fecha: 16/12/2007)



Fig. 24. La canaleta metálica y su continuación de obra justo antes de entrar en el Huerto L'Herrero (12). (Fecha: 16/12/2007)



Fig. 25. La canaleta de obra que conduce al Huerto Francho. (Fecha: 23/5/2010)

LOS CAMINOS Y LAS PASADERAS

Cinco itinerarios comunicaban Rodellar con los huertos de Mascún. Se conservan todos ellos (figs. 26, 27 y 28).

C1. *Camino d'As Graderas*. Baja al cauce por la zona conocida como *As Graderas* y era la vía principal que iniciaba la comunicación con la montaña vía Otín o vía Nasarre. Perfectamente trazado, desemboca junto al Huerto Tornilo. Su continuación bordea el Huerto Tendero y cruzaba por A Estacada Mascún y As Pasaderas d'A Fuente.

C2. *Camino al Huerto L'Herrero*. Baja al mencionado huerto directamente desde el Barrio A Honguera (junto a la actual Casa Julieta), el cual alcanza tras descender el resalte del Gradón de L'Herrero, muy estropeado en la actualidad. Este escalón rocoso se franqueaba normalmente solo a pie, pero se cuenta que los de Casa Angela llegaron a bajarlo con un burro aprovechando la poca envergadura que este tenía.

C3. Al poco de empezar el camino anterior aparece un desvío a mano izquierda que conduce al Huerto d'Ortas.

C4. Desde las antiguas eras (tras la iglesia y hoy transformadas en bordas de alojamiento) desciende una senda que cruza por el Paco As Tuartas y alcanza el río al inicio del Huerto Francho. Aunque algo desdibujado se sigue todavía sin mayor problema.

C5. *Trestallo d'o Huerto Cañuto*. Se trata de un desvío de la senda anterior y consiste en un atajo (*trestallo*) que salva un escalón rocoso (llamados aquí *gradones*) y alcanza directamente los huertos de Cañuto y Ballarín. Era muy utilizado.

Para transitar por entre todos estos huertos, el itinerario se veía obligado a cruzar el río Mascún en diversas ocasiones. Del Huerto Tornilo al d'Arriba de Lapena, se pasaba indistintamente por el río o aprovechando los mencionados bozos de Lapena. Del de Ortas al de Francho, se utilizaba igualmente el cauce del río o a través de la canaleta de obra (poniendo cuidado en la estrechez de un tramo). Pero en tres de ellas se realizaba por medio de *pasaderas* de piedra.

P1. *Pasaderas d'A Fuente*. El lugar de paso era normalmente la propia estacada Mascún, tal y como ya indicaba Briet (véase más arriba), y así las



Fig. 26. La línea rosa sigue el trazado del camino d' As Graderas. En rojo se sitúan las acequias y en verde donde cruzaban los baciones de madera. La flecha azul localiza la fuente Mascún. P2: Pasaderas d' o Huerto Tendero. E2: estacada junto a los bozos de Lapena. Huerto Tendero (1), Huerto Zrujano (2), Huerto Tornilo (3) y Huerto d' Arriba de Lapena (4). (Fecha: 15/11/2009)



Fig. 27. Algunos de los caminos de bajada. C1: camino d'As Graderas. C2: camino que baja al Huerto L'Herrero (los zigzags finales salvan el resalte llamado *Gradón de L'Herrero*). C3: desvío hacia el huerto d'Ortas. Líneas rojas: tramos finales de las acequias con origen junto a los bozos de Lapena. Trazo rosa: situación de la canaleta metálica. Trazo azul: localización de las Pasaderas d'o Huerto L'Herrero. Huerto d' Abajo de Lapena (7), Huerto Trallero (9), Huerto Carrera (10) y Huerto L'Herrero (12). (Fecha: 15/11/2009)



Fig. 28. El final de los huertos de Mascún. Se observa con claridad el trestallo d' o Huerto Cañuto (C5). La línea roja señala el recorrido de la acequia con el tramo de baciones resaltado en verde. Huerto d'Ortas (13), Huerto Tornilo (14), Huerto Francho (15), Huerto Ballarín (16) y Huerto Cañuto (17). Aguas abajo aparece el "otro huerto", la Palomera Cañuto (PC). (Fecha: 15/11/2009)

pocas piedras que se colocaban servían simplemente como remate final para cruzar el torrente que sale de la cavidad.

P2. *Pasaderas d'O Huerto Tendero*. Se encuentran a escasos metros del inicio del camino d'As Graderas y se cruzaban tanto para seguir el camino de Otín y Nasarre como para alcanzar los huertos de Zrujano y Tendero. Por ello, eran las más importantes de las tres (su reposición y mantenimiento eran asunto de todo el pueblo y se realizaba "a concejada", trabajo comunal periódico), y sus piedras sólidas y de buen tamaño (unos dos palmos de altura). Las que aparecen hoy en día no son las originales y algunas de ellas han sido arrancadas de los muros de piedra seca contiguos.

P3. *Pasaderas d'O Huerto L'Herrero*. Comunicaban el Huerto de L'Herrero con los de Cosme y Carrera. Aunque algo desplazadas, aún se conservan parte de las piedras originales. Sin la importancia de las anteriores, eran los dueños de estos huertos quienes se encargaban de ellas.

EL PASO DEL TIEMPO

Al principio de este artículo nos hemos referido a los huertos de Mascún como prácticamente olvidados. Ahora bien, también cabría mencionarlos como casi desaparecidos. Tan escaso es a veces lo que de ellos puede verse por su paulatino desmoronamiento y presencia invasiva de la vegetación. Por decirlo de una manera clara, los daños que antes se producían hace décadas que ya nadie los repara. Algunas de las fotografías que ilustran este texto muestran algo de todo ello.

Sin embargo, al deterioro natural de lo abandonado se suma lamentablemente la degradación (destrucción progresiva) producida por la desidia, la ignorancia y, lo que es peor, la falta de respeto. Nadie parece cuestionarse lo impropio de mover las piedras de las paredes de piedra seca (para sentarse, formar figuras sobre el suelo o alcanzar mejor los primeros agarres de una vía de escalada), atajar los viejos caminos para ahorrarse escasos segundos, pisotear las antiguas acequias hasta su desmoronamiento.

Transformadas las casas y sus descendientes emigrados mayoritariamente, tampoco parece importar todo esto lo suficiente a las iniciativas

públicas o privadas. Nada se hace por salvaguardar el pequeño patrimonio rural. En todo el valle de Rodellar raramente veremos o sabremos de acciones que vayan en otra dirección que no sea tan solo la meramente turística o deportiva. Triste situación para lo que empezó siendo motivo de interés y observación constante en todos aquellos franceses desde el lejano siglo XIX, y que muy pocos han perseguido desde este lado.

Los huertos de Mascún son tan solo un ejemplo, entre otros, de todo ello.

CONCLUSIONES

¿Son los huertos de Mascún algo convertido en inútil? ¿Nos hemos de resignar a su pérdida material? Probablemente la respuesta a la primera pregunta sea no y a la segunda corresponda un sí.

El destino de la inmensa mayoría de este tipo de restos del pasado acaba siendo del tipo blanco o negro. Desaparecer sin dejar rastro (lo más frecuente) o permanecer únicamente en la memoria (si alguien se ha preocupado de recogerla).

No tiene mucho sentido, ni ninguna trascendencia, quejarse o lamentarse por ello. Quizá nunca lo tuvo. Todo aparece para desaparecer pasado algún tiempo. Sencillamente, algunas personas dejan hablar al sentimiento y a las ganas de conocer para así cuidar lo poco que quede de ese pasado.

Quizá, de alguna manera, no sea demasiado tarde y podamos hablar algún día de todo esto como una cultura del paisaje.

AGRADECIMIENTOS

Desde 1988 he tenido la suerte de ir cultivando, con el mismo celo que en aquellos huertos, la amistad de los vecinos más mayores de Rodellar. Ellos y sus antepasados subieron y bajaron por esas sendas camino del hortal. Primero se abandonaron aquellos, luego han sido ellos quienes poco a poco y en su turno abandonan esta tierra. Pepe de Ortas, Florentino de Tendero, Antonio de Lapena... Debo, sin embargo, un agradecimiento especial al señor Joaquín Javierre, de Casa Albás, por haberme pormenorizado todo el cúmulo de detalles de los que se sirve este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABADIE, Ch. (1971). Cent ans après Lequeutre. *Bulletin de la Société Ramond*, 17-30.
- BIARGE, A. (1973a). Rodellar: el dolmen de la Losa Mora. *Nueva España*, 11 de noviembre de 1973. Huesca. Disponible en http://store.diariodelaltoaragon.es/cgi-bin/Pandora?xslt=ejemplar;filename=NE19731111;place=none;publication=Nueva%20Espa%C3%B1a;day=11;month=11;year=1973;page=0005;id=0000416953;collection=prensa;url_high=http://store.diariodelaltoaragon.es/prensa/Nueva%20Espa%C3%B1a/1973/197311/19731111/NE19731111-0005.pdf [consulta: 28/11/2016].
- BIARGE, A. (1973b). De Rodellar a Letosa: el cañón de Mascún. *Nueva España*, 16 de diciembre de 1973. Huesca. Disponible en http://store.diariodelaltoaragon.es/cgi-bin/Pandora?xslt=ejemplar;filename=NE19731216;place=none;publication=Nueva%20Espa%C3%B1a;day=16;month=12;year=1973;page=0003;id=0000417151;collection=prensa;url_high=http://store.diariodelaltoaragon.es/prensa/Nueva%20Espa%C3%B1a/1973/197312/19731216/NE19731216-0003.pdf [consulta: 28/11/2016].
- BRIET, L. (1905). *Voyage au barranco de Mascun*. Imprimerie-Stéréotypie Garet. Pau. 51 pp. Disponible en http://numerique.bibliotheque.toulouse.fr/collect/general/index/assoc//ark:/74899/B315556101_BB_000012.dir/doc.pdf [consulta: 28/11/2016].
- BRIET, L. (1910). De Nocito à Otin. *Bulletin* [Burdeos] (Club Alpin Français), section du sud-ouest, deuxième série, 2: 173-193. Disponible en <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9686305f/f1.planchecontact> [consulta: 11/12/2016].
- 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: 35-63.
- CENTRO DE ESPELEOLOGÍA DE ARAGÓN (2011). *Exploración surgencia del Mascún* Disponible en <http://centroespeleoaragon.org/Salidas/2011/Surgencia%20Mascun/Surgencia%20Mascun.html> [consulta: 28/11/2016].
- LABORDE-BALEN, L. (1965). Otim, le village qui va mourir. *Pyrénées*, 64: 297-303.
- MADOZ, P. (1845-1850). *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de ultramar*. Est. tip. de P. Madoz y L. Sagasti. Madrid.
- MINVIELLE, P. (1951). Le barranco de Mascun. *La Montagne (Revue du Club Alpin Français)*, 351: 10-12.
- MINVIELLE, P. (1974). *À la découverte de la sierra de Guara*. Éditions Marrimpouey Jeune. Pau. 136 pp.
- PAINAUD, A., P. AYUSO, M.^a J. CALVO y V. BALDELLOU (1994). Pinturas rupestres en el barranco de Mascún (Rodellar-Huesca). *Bolskan*, 11: 69-87.
- SALAMERO, E. (2011a). *Un barranco humanizado: os huertos de Mascún*. Disponible en <http://rodellar.blogspot.com.es/2011/02/un-barranco-humanizado-os-huertos-de.html> [consulta: 28/11/2016].
- SALAMERO, E. (2011b). *Mascún. Un significado sin resolver*. Disponible en <http://rodellar.blogspot.com.es/2011/10/mascun-un-significado-sin-resolver.html> [consulta: 28/11/2016].
- SALAMERO, E. (2014). *¿Qué se esconde tras la Fuente Mascún?* Disponible en <http://rodellar.blogspot.com.es/2014/04/que-se-esconde-tras-la-fuente-mascun.html> [consulta: 28/11/2016].
- VÁZQUEZ, J. (1985). Toponimia de Rodellar. *Archivo de Filología Aragonesa*, 36-37: 623-665.

EL LINDANO EN EL RÍO GÁLLEGO: SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE SU EVOLUCIÓN A LO LARGO DEL CAUCE

César GONZÁLEZ¹
José Antonio CUCHÍ²

RESUMEN.— El artículo presenta la elaboración de un modelo bidimensional de simulación hidrodinámica del río Gállego con el programa informático Iber. El tramo de estudio abarca desde la localidad de Sabiñánigo (provincia de Huesca) hasta la de Puendeluna (provincia de Zaragoza). El objetivo es la simulación detallada de la evolución temporal y espacial de la concentración de hexaclorociclohexano (HCH) en sus diversas formas isoméricas (lindano y otras), procedente del foco contaminante del vertedero de Bailín y de otras localizaciones cercanas. Los resultados obtenidos permiten conocer, bajo algunas aproximaciones y simplificaciones, la evolución de la concentración del contaminante a lo largo del río y del tiempo, dando lugar a un conjunto de gráficas, imágenes y vídeos que permiten entender y analizar mejor los episodios de contaminación por lindano en el río.

ABSTRACT.— This paper presents the development of a two-dimensional model of hydrodynamic simulation of the Gállego River using the Iber software. It covers the area between Sabiñánigo (province of Huesca) and Puendeluna (province of Zaragoza). The objective is to obtain a detailed simulation of the temporal and spatial evolution of the concentration of

Recepción del original: 19-12-2016

¹ Área de Mecánica de Fluidos. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cesargon@unizar.es

² Área de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchi@unizar.es

hexachlorocyclohexane (HCH) and its isomers (lindane and others), produced by the contaminating source of the Bailín landfill and other nearby locations. The results, based on estimations and simplifications, show the evolution of the concentration of the contaminant through the river and over time, illustrated by a set of graphs, images and videos which allow to better understand and analyse the process of lindane contamination in the river.

KEY WORDS.— Lindane, Gállego River, hydrodynamics, water contamination, Sabiñánigo (Spain).

INTRODUCCIÓN

El río Gállego pertenece a la cuenca del río Ebro, siendo uno de sus principales afluentes por la margen izquierda. Tiene su nacimiento en el Col d'Àneu, a 2200 metros de altitud, junto al Portalet (Huesca), y su desembocadura en Zaragoza, a 180 metros de altitud. Su longitud es de 193,2 kilómetros, por lo que su pendiente media es aproximadamente del 1%. La cuenca del río Gállego tiene unos 4000 km², con forma alargada y orientación norte-sur, estando situada íntegramente dentro de la Comunidad Autónoma de Aragón. Los afluentes del río Gállego son barrancos o ríos cortos. En el tramo Sabiñánigo-Puendeluna, que es el que se estudia en este artículo, destacan como afluentes los ríos Basa, Guarga, Moro, Garona, Asabón y Subién.

El río Gállego se encuentra fuertemente regulado, bien para aprovechamientos hidroeléctricos, bien para regadío. La aportación media al río Ebro es de 12,5 m³/s, lo cual representa un pequeño porcentaje del caudal natural (CHE y GA, 2007). Los principales embalses en el cauce son los de Respomuso (en el río Aguas Limpias, 17 hm³), Lanuza (17 hm³), Búbal (64 hm³), Sabiñánigo (1 hm³), La Peña (15 hm³) y Ardisa (1,4 hm³). El régimen de caudales regulado del río Gállego está supeditado a los usos agrícolas e hidroeléctricos que existen en él, donde algunas comunidades de regantes implicadas se benefician de ambos usos. En invierno, las sueltas de agua de los embalses permiten almacenar el agua proveniente de la fusión de la nieve pirenaica. Diversas centrales hidroeléctricas automatizadas configuran un turbinado en escalera de los caudales regulados, dejando muy mermado el cauce natural en determinados tramos (CHE y GA, 2007).

El embalse de La Peña pertenece a las comunidades de regantes del Bajo Gállego y desembalsa agua en continuo para regadío y para producción

hidroeléctrica tanto en la central de San Mateo como en la de Valdespartera, perteneciente a la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón. Desde el embalse de Ardisa se deriva agua procedente de Búbal y Lanuza hasta el cercano embalse de La Sotonera (189 hm³), uno de los principales embalses de regulación de la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón. En fase de proyecto se encuentra el embalse de Biscarrués (35 hm³) y en fase de aprobación el de Almodévar (170 hm³), ambos concebidos para ampliación de regadíos y aumento de garantía de suministro. En caso de realizarse, estas dos obras de regulación detraerían aún más caudales respecto de los que se extraen en la actualidad, con el probable deterioro general del estado de la masa de agua, que se uniría a otros impactos ambientales, económicos y sociales, completándose la intensa explotación y segmentación a que se ve sometido el río Gállego.

Entre los años 1975 y 1989, en el polígono industrial de la localidad de Sabiñánigo, la empresa Inquinosa se dedicaba a la producción de lindano (γ -hexaclorociclohexano), un producto utilizado como insecticida, muy contaminante y con una alta persistencia, y cuya producción se encuentra actualmente prohibida en la mayor parte del mundo. Los residuos de la actividad industrial de Inquinosa, altamente contaminantes, fueron gestionados indebidamente, de manera que entre 115 000 y 177 000 toneladas de residuos (CPNA, 2015) fueron depositados en diferentes ubicaciones sin las debidas garantías para la protección del medio ambiente y de la salud pública.

Principalmente los vertederos de Bailín (ALCALDE y cols., 2015) y de Sardas (PÉREZ y cols., 2015), pero también el recinto de la propia fábrica de Inquinosa, el embalse de Sabiñánigo y otras localizaciones difíciles de precisar (FERNÁNDEZ y cols., 2013), dejaron suelos, subsuelos y acuíferos altamente contaminados por lindano (FERNÁNDEZ y cols., 2015), así como por otros contaminantes orgánicos asociados (benceno, clorobenceno, clorofenoles...). El río Gállego, como desagüe natural de la zona contaminada, ha dispersado los contaminantes a lo largo de su recorrido (LACRUZ y cols., 2015; MICHAVILA y cols., 2014), y previsiblemente lo seguirá haciendo durante un largo periodo de tiempo. El lindano se ha propagado también por vía aérea, llegando a contaminar algunos ibones pirenaicos (SANTOLARIA y cols., 2015; PELEGRÍN y cols., 2015).

La elevada persistencia de este tipo de contaminantes ha convertido el entorno de Sabiñánigo en uno de los principales focos de contaminación por lindano en el mundo. Las consecuencias finales sobre el medio ambiente, la economía y la salud pública son difíciles de precisar, aunque parece claro que este problema puede limitar y condicionar en el futuro los diversos usos del agua del río Gállego (regadíos, abastecimiento urbano, usos ambientales, usos recreativos), como de hecho ya está sucediendo en la actualidad. En cuanto a los efectos sobre la salud pública, hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio epidemiológico en la población ribereña del Gállego, expuesta desde hace mucho tiempo al contaminante a través de los usos urbanos del agua.

El problema de la contaminación por lindano en el entorno de Sabiñánigo no tiene actualmente una solución técnica contrastada y viable, y una parte de los esfuerzos de las administraciones competentes se debe centrar en amortiguar los efectos aguas abajo (CHE, 2008; CORCHO y cols., 2015; CORUJO y cols., 2015; CORUJO, 2015; FERNÁNDEZ y cols., 2015; GÓMEZ y cols., 2015; MIR, 2015). En este sentido, el presente artículo pretende aportar un mayor conocimiento de la hidrodinámica del río Gállego y de la dispersión de lindano a lo largo de su cauce, de forma que podría permitir evaluar posibles actuaciones de manera cuantitativa, al poder predecirse aproximadamente la evolución espacial y temporal de la concentración de lindano en las aguas del río en cada episodio de contaminación.

El objetivo principal de este artículo consiste en la elaboración de un modelo informático de simulación hidrodinámica bidimensional del río Gállego, desde la localidad de Sabiñánigo hasta la de Puendeluna, que incorpore el cálculo de la evolución del lindano y demás isómeros del hexaclorociclohexano (HCH). En adelante, se utilizará el término lindano para referirnos no solo al lindano, sino a todos los isómeros del HCH. El modelo se ha realizado mediante la herramienta informática Iber.

A modo de aplicación práctica del modelo elaborado, y como segundo objetivo, se estudia el efecto de la central hidroeléctrica de Carcavilla sobre la distribución del lindano, ya que el agua que se turbinada en ella evita el efecto retardante y diluyente de la contaminación en el río que se produce en el embalse de La Peña.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la simulación hidrodinámica del río Gállego, se ha utilizado la herramienta informática Iber 2.3.2 (BLADÉ y cols., 2014). Se trata de un programa de simulación bidimensional de flujo en lámina libre, proporcionado por la Universidad Politécnica de Cataluña.

Datos de entrada

El programa Iber y otros similares resuelven las ecuaciones del movimiento bidimensional del agua en lámina libre (ecuaciones de Saint Venant) a partir de un conjunto variado de datos de entrada, mediante el Método de Diferencias Finitas. Para ello, en primer lugar, es necesario definir un ámbito

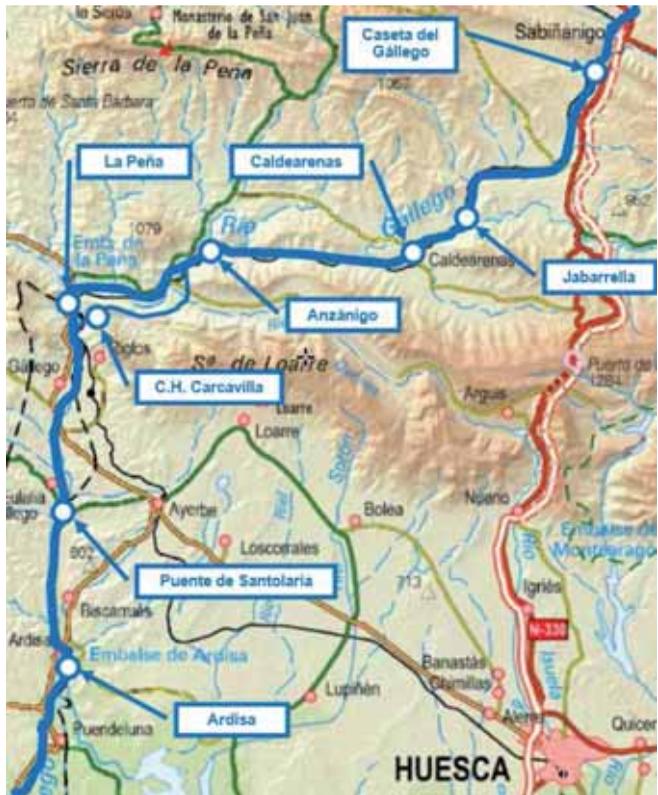


Fig. 1. Ámbito de estudio, con indicación de ubicaciones relevantes. (Mapa de fondo: Instituto Geográfico Nacional)

de estudio que abarque la porción del territorio necesaria para la correcta simulación hidráulica en las zonas de interés. El ámbito de estudio para este caso corresponde al tramo del río comprendido entre la desembocadura del barranco de Bailín (término municipal de Sabiñánigo) y la localidad de Puendeluna, en el límite provincial entre Huesca y Zaragoza, lo que corresponde a unos 67 kilómetros lineales de río. La figura 1 muestra el tramo estudiado, con indicación de la ubicación de los lugares que se nombrarán en este artículo.

Definido el espacio de simulación, es necesario concretar igualmente el tiempo de simulación, es decir, un intervalo temporal en el que se ha de calcular el movimiento del agua sobre el ámbito fijado. Se ha decidido elaborar el modelo a partir de los datos disponibles de la crecida del río Gállego ocurrida en octubre de 2014, donde se produjo un importante pico de contaminación por lindano. Concretamente, la simulación comienza a las 0:00 horas del 10 de octubre de 2014 y finaliza a las 12:00 horas del 20 de octubre de 2016.

Además del ámbito espacial y temporal, es necesario introducir otros datos de diversa naturaleza, que se detallan en los apartados siguientes.

Topografía del terreno

Se requiere conocer la topografía del terreno sobre el que se va a ejecutar la simulación hidrodinámica y, en su caso, la geometría de las obras hidráulicas u otros elementos en contacto con el medio hídrico. Para este trabajo se han utilizado los Modelos Digitales del Terreno facilitados por el Instituto Geográfico Nacional. Se han empleado las hojas numeradas como 177, 209, 210, 247 y 285, que abarcan todo el ámbito de estudio definido. Estos Modelos Digitales del Terreno se han tomado con resolución de 5 metros y formato de archivo ASCII matriz ESRI (asc), con sistema geodésico de referencia ETRS89.

Para la correcta modelización del embalse de La Peña se ha empleado una batimetría realizada el 18 de septiembre de 2014 por la empresa Ecohydros, S. L. La batimetría fue realizada con una ecosonda científica digital Biosonics-DTX con transductor de 200 kHz, montada en la borda de una embarcación neumática, en línea con el receptor de un equipo DGPS

Trimble Agp-132. La resolución de la batimetría es de 5 metros, previa interpolación a partir de los transectos realizados.

Malla de cálculo

La resolución de las ecuaciones de Saint-Venant requiere un mallado del terreno, para que quede configurado como un conjunto de celdas sobre las que poder aplicar el Método de Diferencias Finitas.

Se ha escogido una malla triangular no estructurada por su capacidad de adaptación al terreno irregular que se estudia. Dada la elevada longitud del tramo de río a analizar, la resolución de la malla se ha tomado de 50 metros para evitar tiempos de cálculo inasumibles. De este modo, la malla de cálculo queda compuesta por 14010 triángulos.

Coefficientes de rugosidad de Manning

Todo el ámbito de estudio debe tener asociado un coeficiente de rugosidad de Manning para tener en cuenta las fuerzas de fricción que se oponen al desplazamiento del agua. Este coeficiente depende principalmente de la naturaleza del terreno, por lo que puede ser espacialmente variable.

En este artículo, en vista del tamaño de malla escogido, se ha optado por considerar un valor homogéneo del coeficiente de Manning en todo el ámbito de estudio. Se ha tomado un valor convencional para lechos de ríos de $0,025 \text{ s/m}^{1/3}$, pese a que en determinados tramos del río podría adoptar valores algo mayores debidos a la mayor vegetación existente o a la elevada presencia de rocas de tamaño considerable. No obstante, en el proceso de calibración del modelo se ha considerado apropiado el valor adoptado.

Condiciones iniciales

Es necesario definir el estado inicial del sistema a estudiar, en el comienzo de la simulación temporal. Se ha tomado un calado de 0,5 metros como condición inicial en todo el río, para lograr rápidamente una situación estacionaria previa a la llegada del pico de contaminación que se va a estudiar. Para el embalse de La Peña, se ha considerado una condición inicial de cota

de agua de valor 539 msnm, correspondiente al máximo nivel normal del embalse. Se ha estudiado esta circunstancia por ser la más desfavorable ante la llegada de una crecida, anulando la capacidad de laminación del embalse. Al estudiar la calidad del agua, también hay que establecer un valor inicial para la concentración de lindano. Se ha tomado un valor de concentración nula de lindano en el río.

Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno deben detallar la evolución de caudales y concentraciones de lindano en las fronteras (contornos) del ámbito de estudio a lo largo de toda la simulación. Como condición de contorno de entrada de caudales, se han tomado los datos de aforo disponibles más cercanos al límite aguas arriba del ámbito de estudio, correspondientes a la estación de Anzánigo, perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Ebro (estación A123). Como condición de contorno de concentración de lindano, se han tomado los datos recabados por LACRUZ y cols. (2015), con mediciones realizadas por el Gobierno de Aragón en la ubicación denominada

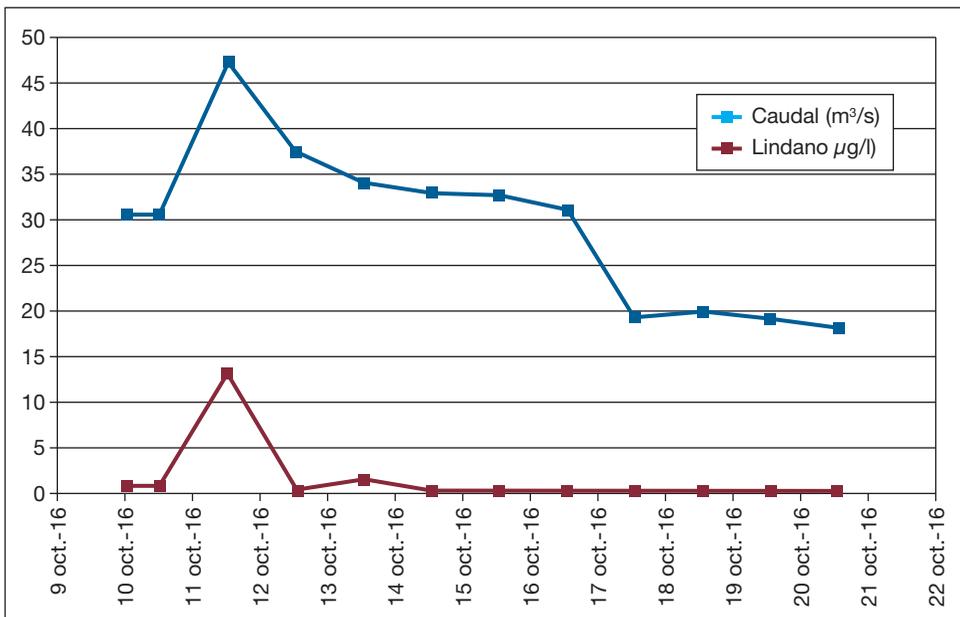


Fig. 2. Condiciones de contorno aguas arriba: caudal y concentración de lindano.

Caseta del Gállego, en las inmediaciones aguas abajo de la desembocadura del barranco de Bailín en el río Gállego.

La figura 2 representa gráficamente ambas condiciones de contorno aguas arriba: la de caudales y la de concentración de lindano. En la figura se observa un pico simultáneo de caudal y de concentración de lindano, fruto de las lluvias acaecidas en las fechas correspondientes. El pico de caudal fue de $47,3 \text{ m}^3/\text{s}$, y el pico de concentración de lindano fue de $13,2 \text{ microgramos por litro } (\mu\text{g}/\text{l})$, muy por encima del límite legal de $0,5 \mu\text{g}/\text{l}$ establecido para el agua de consumo humano según el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (BOE, n.º 45, de 21 de febrero de 2003, pp. 7228-7244).

Como condición de contorno de salida de caudal aguas abajo, se ha establecido una condición de tipo caudal crítico, usual en este tipo de modelizaciones.

Modelo general del río Gállego

Toda la información detallada en los apartados anteriores se incorporó como datos de entrada en el programa Iber. En la figura 3 se muestra una imagen que recoge todo el ámbito de estudio, con indicación mediante

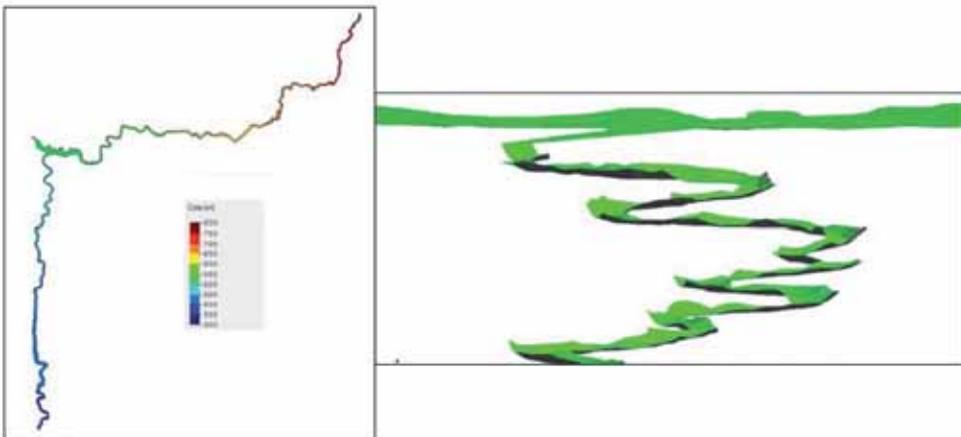


Fig. 3. Topografía del modelo del río Gállego (izquierda) y vista en perspectiva del tramo aguas abajo del embalse de La Peña (derecha).

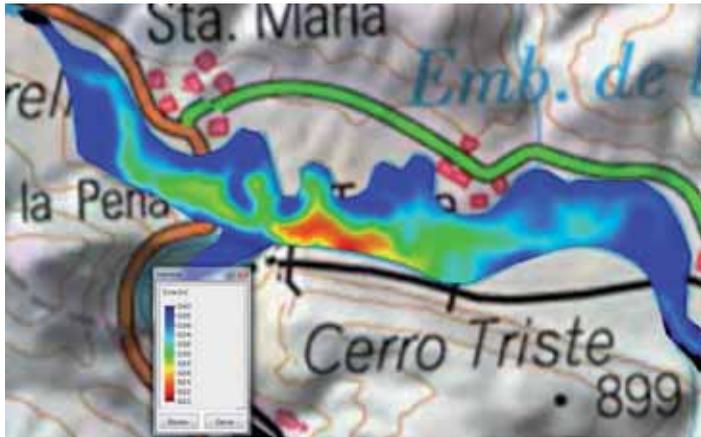


Fig. 4. Batimetría del embalse de La Peña.

escala de colores de la altitud de cada punto con respecto al nivel del mar. A la derecha de la figura, se observa también un detalle de la vista en perspectiva del modelo, correspondiente al tramo inmediatamente aguas abajo del embalse de La Peña. En la figura 4 se tiene una representación gráfica mediante escala de colores de la batimetría utilizada del embalse de La Peña, indicándose las cotas sobre el nivel del mar del fondo del embalse.

Simultáneamente a la resolución de las ecuaciones bidimensionales de movimiento del agua (ecuaciones de Saint-Venant), se resolvió la ecuación del transporte por convección-difusión para el caso del lindano, mediante la activación del módulo de calidad de aguas del programa Iber. Se decidió considerar el lindano como una sustancia conservativa para la simulación, sin términos de reacción, es decir, sin procesos de aparición o desaparición de lindano más allá de las cantidades establecidas como condiciones de contorno. Se estableció un periodo de simulación de 10 días, desde el día 10 hasta el día 20 de octubre de 2014. Se han extraído escenarios de resultados cada 2 horas, de manera que en cada simulación se han obtenido unos 120 escenarios sucesivos que reflejan la evolución temporal de las variables calculadas. Tales variables han sido el calado del agua, el caudal, la velocidad y la concentración de lindano. El tiempo de cálculo de cada simulación ha sido de unas 4,5 horas, en una computadora convencional con procesador Intel Core i3-5010U, con CPU a 2,10 GHz y con 4 GB de memoria RAM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bajo las hipótesis y aproximaciones expuestas, se han obtenido un conjunto de resultados del cálculo satisfactorios, en cuanto que se ha conseguido una simulación hidrodinámica correcta, incluyendo los parámetros de calidad del agua (concentración de lindano).

En la figura 5 se intenta mostrar de manera gráfica una visión general de los resultados obtenidos tras el proceso de simulación. En ella, se observa cómo, a partir del 11 de octubre de 2014, el pico de contaminación de lindano medido en la ubicación “Caseta del Gállego” se desplaza a lo largo del río.

La observación de los resultados obtenidos permite constatar dos hechos relevantes:

1. El embalse de La Peña tiene un “efecto retardante”, puesto que logra retener temporalmente la masa de agua contaminada. En efecto, el tiempo de permanencia del agua en el embalse sería de unos 3 o 4 días.
2. El embalse de La Peña tiene un “efecto diluyente”. La mezcla del agua contaminada con el agua relativamente limpia del embalse provoca un claro efecto de dilución en el embalse. La figura 6 muestra cómo el agua entra en el embalse con concentraciones de en torno a $12 \mu\text{g/l}$, y sale con concentraciones de en torno a $9 \mu\text{g/l}$.

El pulso principal de contaminación alcanza el final del ámbito de estudio aproximadamente 9 días después de su aparición en Sabiñánigo, tal como se observa en la figura 5. No obstante, la operación de la central hidroeléctrica de Carcavilla juega un papel de *by-pass*, eliminando el efecto retardante del embalse y provocando una llegada temprana de la contaminación (unos 4 días) a los tramos situados aguas abajo del embalse de La Peña.

La figura 6 muestra el detalle de la evolución de la concentración de lindano en el embalse de La Peña. Además de los efectos retardante y diluyente descritos, en la imagen del 13 de octubre de 2014 se puede apreciar un cambio en la tonalidad del azul en la descarga de la central de Carcavilla, debido a la llegada directa de agua contaminada desde la toma del canal

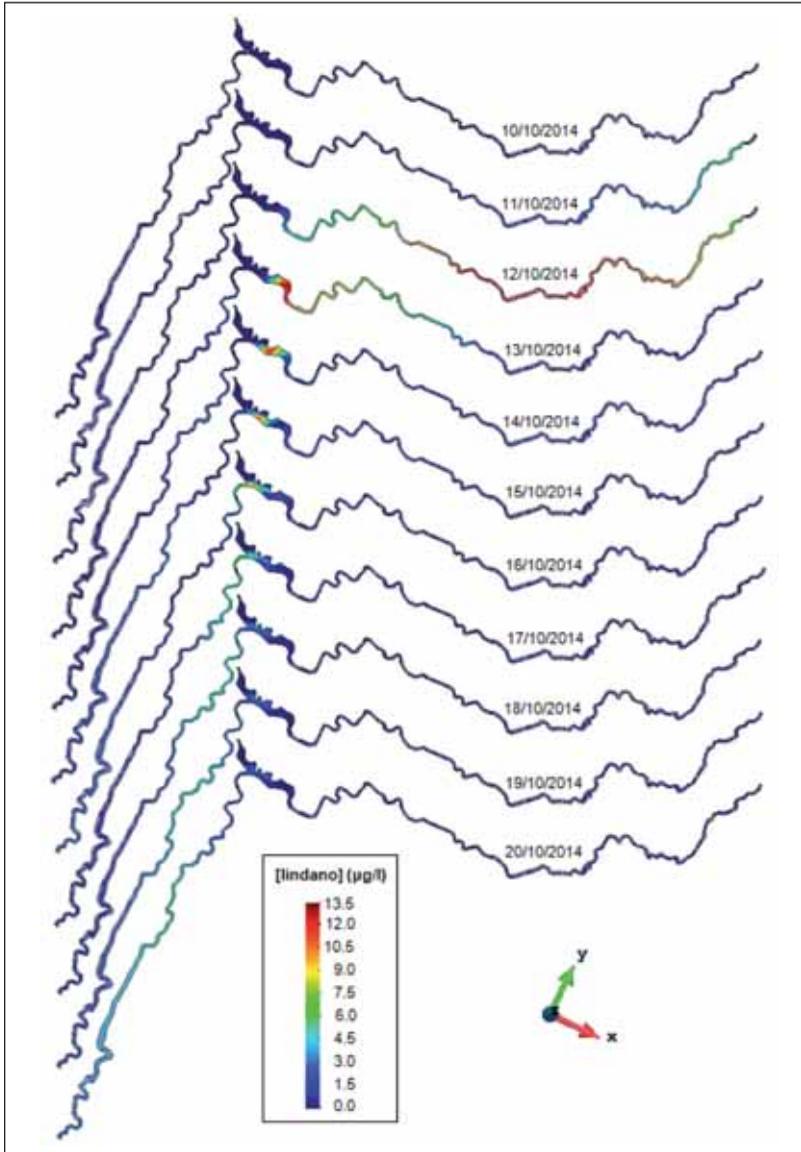


Fig. 5. Evolución temporal de la concentración de lindano a lo largo del río Gállego.

de Carcavilla, aguas arriba del embalse. La mayor o menor gravedad del efecto de este *by-pass* depende de la proporción existente en la mezcla de las aguas contaminadas turbinadas con las aguas todavía limpias que llegan desde el embalse.

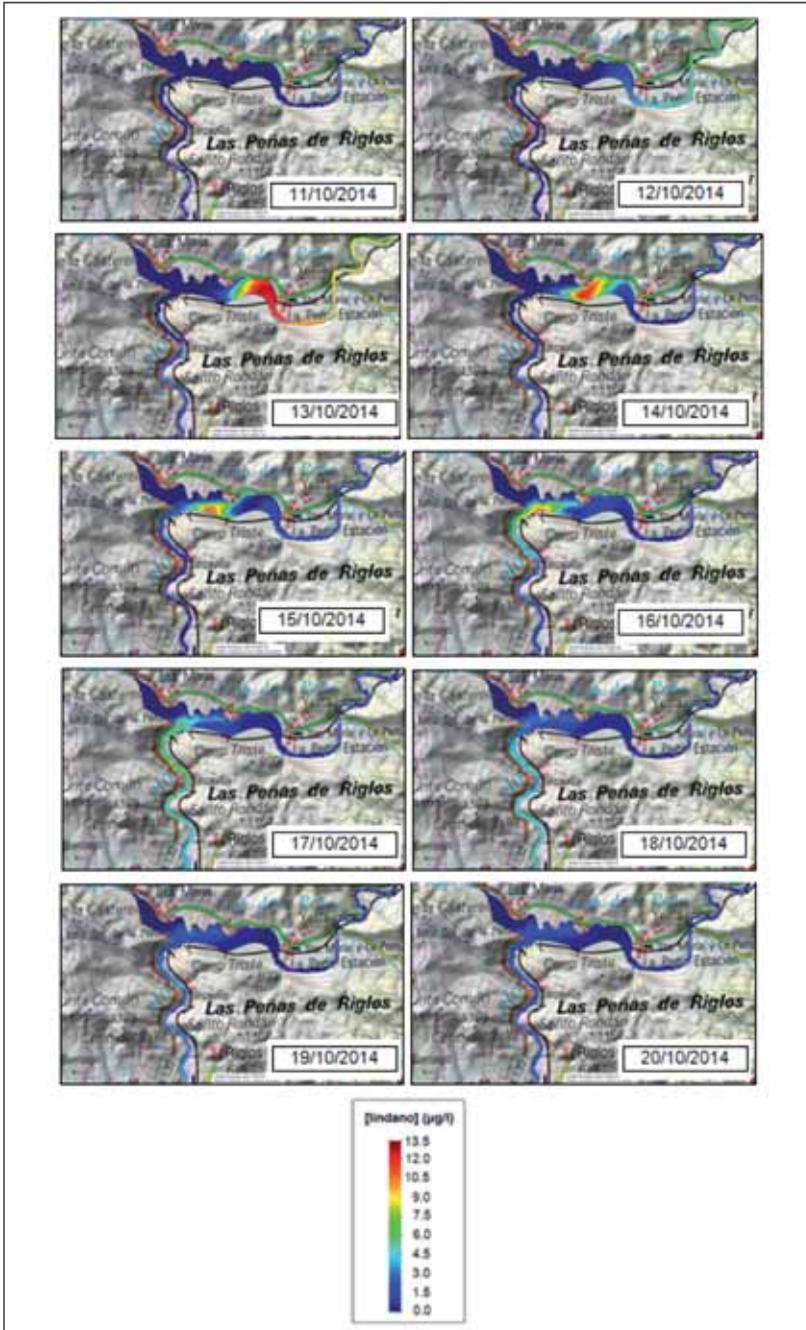


Fig. 6. Evolución temporal de la concentración de lindano en el embalse de La Peña.

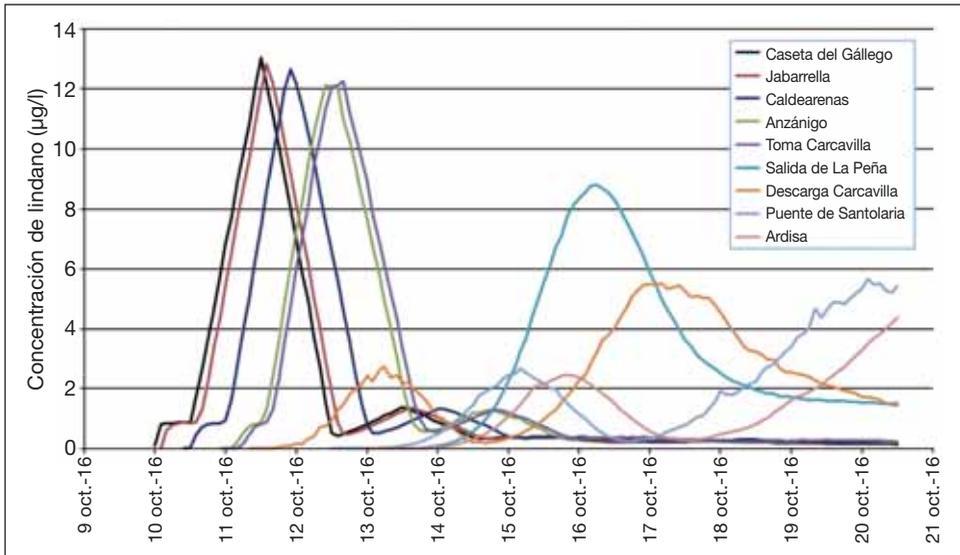


Fig. 7. Concentración de lindano en ubicaciones relevantes.

Además de salidas gráficas a través de imágenes y de vídeos, se ha extraído de la simulación toda la información numérica relevante, resumida en la figura 7.

La figura representa, para un conjunto de ubicaciones relevantes definidas en la figura 1, la evolución temporal de la concentración de lindano durante los días correspondientes a la simulación realizada.

El análisis gráfico y numérico de los resultados obtenidos confirma algunos efectos ya mencionados:

1. El efecto retardante del embalse de La Peña. Tal y como se observa en la figura, el “rodaje” del pico de caudal experimenta un claro frenado en este embalse, de manera que los picos de las gráficas de las ubicaciones aguas arriba del embalse quedan separados de las gráficas de las ubicaciones aguas abajo.
2. El efecto diluyente del embalse de La Peña. El embalse no solamente retarda el “rodaje” del pico de concentración, sino que lo atenúa. La mezcla del agua contaminada del río con el agua no contaminada del embalse consigue disminuir el valor máximo de concentración, como se observa claramente en la figura 7.

Se observa también en la figura 7 el efecto que produce el *by-pass* de Carcavilla. En la línea de la gráfica titulada “Descarga Carcavilla” se constata la aparición de un primer pico de contaminación correspondiente al agua turbinada que no ha pasado por el embalse, y un segundo pico de contaminación originado por el agua que sí ha pasado por el embalse. Este efecto tiene su origen en el hecho de que la captación de agua para la central está situada aguas arriba del embalse de La Peña, mientras que el turbinado y la descarga se realizan aguas abajo. Así, este *by-pass* provoca que una parte de las aguas contaminadas no pase por el embalse y la otra sí.

Esta partición del agua contaminada supone que donde antes había un único pulso de contaminación, ahora haya dos, que se desplazarán separadamente aguas abajo del río. La figura 8 muestra gráficamente la situación que se describe.

La figura muestra cómo la operación de la Central de Carcavilla hace que el episodio de contaminación aguas abajo del embalse de La Peña comience el 12 de octubre de 2014, con un primer pico de contaminación que alcanza unos 2,5 $\mu\text{g/l}$ y que remite el día 14 (línea naranja en la figura 8).

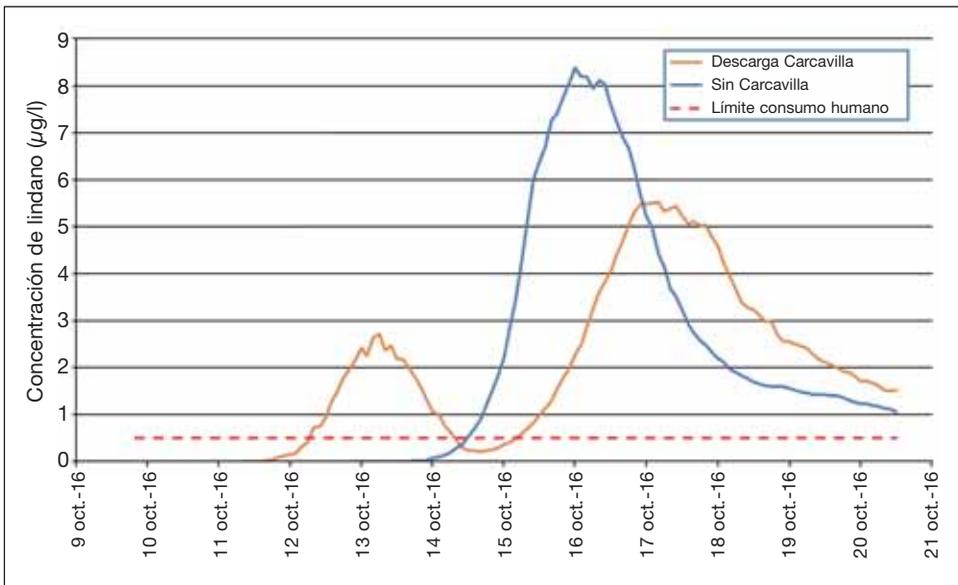


Fig. 8. Concentración de lindano después del embalse de La Peña, con o sin la operación de la central hidroeléctrica de Carcavilla.

Al día siguiente, llega el segundo pulso de contaminación, que se corresponde con el agua contaminada que ha atravesado el embalse de La Peña, alcanzándose un pico de unos $5,5 \mu\text{g/l}$ el día 17 de octubre. Así, todo el tramo aguas abajo del río Gállego ha estado contaminado desde el día 12 de octubre, con valores de concentración de lindano superiores al límite permitido para el consumo humano.

Para estudiar qué hubiera sucedido si la toma de la central hubiera estado cerrada durante el episodio de contaminación aguas arriba del embalse de La Peña, se ha realizado una segunda simulación hidrodinámica, anulando las condiciones de toma y descarga de Carcavilla.

Entre los resultados obtenidos, se ha extraído la concentración de lindano aguas abajo del embalse de La Peña, y se ha incluido en la figura 8 (línea azul de la gráfica). Se observa que, con la central de Carcavilla no operativa, el episodio de contaminación comienza en ese punto al mediodía del 14 de octubre de 2014, alcanzándose un pico de concentración algo superior a $8 \mu\text{g/l}$ el día 16 de octubre. Es decir, con la toma de la central de Carcavilla cerrada, la contaminación llegaría a ese punto, y, por tanto, a todo el tramo del río Gállego que comienza en él, unos 2 días después de lo que llega si la central está en funcionamiento.

Se deduce entonces que si se cerrara la toma de la central hidroeléctrica de Carcavilla cuando hubiera fuertes lluvias en Sabiñánigo, los tramos del río Gállego situados aguas abajo del embalse de La Peña podrían disponer de un mayor tiempo de reacción y un menor tiempo de suspensión de los diversos usos del agua que se dan en el río hasta su desembocadura (abastecimientos urbanos, regadíos).

CONCLUSIONES

Del proceso de elaboración del modelo de simulación hidrodinámica, de los resultados obtenidos y de su discusión, se extraen diversas conclusiones y recomendaciones, que se citan a continuación.

La simulación hidrodinámica mediante programas informáticos avanzados es una herramienta valiosa en el análisis de sistemas hídricos extensos y complejos como el que se ha estudiado. Se ha conseguido elaborar un

modelo suficientemente realista del tramo del río Gállego estudiado que, pese a las diversas aproximaciones realizadas, permite observar hechos interesantes al menos cualitativamente, dependiendo la calidad numérica de los resultados de la calidad de los datos utilizados en la implementación y en la calibración del modelo.

Se ha constatado una ausencia de mediciones reales de lindano en cantidad suficiente. Por ello, sería recomendable aumentar la frecuencia de los muestreos, especialmente durante los episodios de contaminación severa por lluvias (arrastre de contaminantes).

Gracias a los resultados del modelo, se ha constatado numéricamente los efectos retardante y diluyente del embalse de La Peña. El tránsito del agua contaminada por lindano por el embalse consigue retardar el comienzo de la contaminación en el tramo del río aguas abajo del embalse (efecto retardante). Del mismo modo, consigue disminuir el valor máximo de concentración (efecto diluyente).

Del análisis del efecto de la operación de la central hidroeléctrica de Carcavilla, se constata su papel de *by-pass* en cuanto a la propagación de la contaminación, puesto que el agua que turбина la central no pasa por el embalse, por lo que no experimenta su efecto retardante y diluyente. Se recomienda estudiar la posibilidad de cerrar la toma de la central hidroeléctrica de Carcavilla durante los episodios de contaminación por fuertes lluvias en Sabiñánigo, para aumentar el tiempo de reacción aguas abajo del embalse de La Peña y acortar el tiempo de afección de la contaminación a los usos posteriores del río (abastecimientos urbanos, regadíos).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con una Ayuda de Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en su convocatoria de 2015.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCALDE, D., T. ALONSO, R. ESPINOSA, J. FERNÁNDEZ y R. RODRÍGUEZ (2015). DNAPL distribution and transport in a fractured media. Hydrogeological constraints for the remediation of Bailín. *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).

- BLADÉ, E., L. CEA, G. CORESTEIN, E. ESCOLANO, J. PUERTAS, E. VÁZQUEZ-CENDÓN, J. DOLZ y A. COLL (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30 (1): 1-10.
- CHE (2008). *Informe sobre la incidencia de un eventual vertido del vertedero de Bailín en la calidad del agua del río Gállego*. CHE. Zaragoza.
- CHE y GA (2007). *Plan hidrológico del río Gállego*. Versión 2 de diciembre de 2007. CHE / Gobierno de Aragón. Zaragoza.
- CORCHO, D., J. FERNÁNDEZ, L. LAPEROU y J. GUADAÑO (2015). Laboratory evaluation of mixed surfactants solutions to mobilise hexachlorocyclohexane (DNAPL) from Sardas landfill (Aragón, Spain). *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).
- CORUJO, J. M. (2015) Security and health protocols for the dismantling works in the HCH Bailín landfill, Sabiñánigo, Spain. *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).
- CORUJO, J. M., R. SAINZ, D. REVUELTO y J. FERNÁNDEZ (2015). Characterization and management of lindane-containing waste at an abandoned lindane production facility in Sabiñánigo, Huesca provincia (Spain). Primary emergency actions for organophosphate waste conditioning and ex situ management. *12th HCH and Pesticides Forum*. Kiev (Ukraine).
- CPNA (2015). *El lindano en la cuenca del río Gállego: propuestas de futuro*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza.
- FERNÁNDEZ, J. (2015). General strategy for the HCH land fill pollution. The singular problem regarding de DNAPL presence. *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).
- FERNÁNDEZ, J., M. Á. ARJOL y C. CACHO (2013). POP-contaminated sites from HCH production in Sabiñánigo, Spain. *Environmental Science and Pollution Research*, 20: 1937-1950.
- FERNÁNDEZ, J., J. M. CORUJO, J. M. CALEYA, D. REVUELTO, A. MIR, G. SAINZ y M. J. KAIFER (2015). Dismantling of the old lindane waste landfill of Bailín (Sabiñánigo, Huesca). *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).
- GÓMEZ, J., J. FERNÁNDEZ, J. GUADAÑO y J. PÉREZ (2015). DNAPL detection, identification and characterization techniques and distribution in the Sardas landfill (Sabiñánigo, Spain). *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).
- LACRUZ, B., J. A. CUCHÍ y J. FERNÁNDEZ (2015). Waste shipment in Sabiñánigo (Huesca, Spain) and its effect on the Gállego River contamination during late 2014. *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).
- MICHAVIDA, M., R. LÓPEZ-FLORES y J. A. CUCHÍ (2014). Estado trófico y calidad ecológica del río Gállego a su paso por la provincia de Huesca. *Lucas Mallada*, 16: 135-167.
- MIR, A. (2015). Environmental monitoring of the dismantling Works in the HCH Bailín landfill, Sabiñánigo, Spain. *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).

- PELEGRÍN, C., J. ASÍN, B. LACRUZ y J. FERNÁNDEZ (2015). A statistic windspeed prediction model for the dismantlement of the HCH landfill in Bailín (Sabiñánigo, Huesca, Spain). *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).
- PÉREZ, J., J. GÓMEZ, J. GUADAÑO, J. FERNÁNDEZ y J. SUSO (2015). Flow simulation modeling of the groundwater interchange between quaternary aquifer and Sabiñánigo reservoir. *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).
- SANTOLARIA, Z., T. ARRUEBO, A. PARDO, A. BARTOLOMÉ, J. M. MATESANZ, C. RODRÍGUEZ, J. CAIXACH, F. J. LANAJA y J. S. URIETA (2015). Lindane and other organic pollutants record in the Pyrenean Sabocos tarn water mass. *13th HCH and Pesticides Forum*. Zaragoza (Spain).

ESTUDIO PETROLÓGICO DE LA IMAGEN DE LA VIRGEN DE LAS NIEVES DE SAN PEDRO EL VIEJO (HUESCA)

María Antonia BUISÁN¹

Pilar LAPUENTE²

José Antonio CUCHÍ³

RESUMEN.— Se ha realizado un estudio petrológico para caracterizar el material de la estatua de la Virgen de las Nieves, imagen gótica que se encuentra en el ábside derecho de la iglesia de San Pedro el Viejo de Huesca. A partir de análisis petrológicos se deduce que la estatua fue realizada en arenisca, probablemente local.

ABSTRACT.— A petrographic study has been carried out to identify the rock material of the gothic statue located in the right apse of the church of San Pedro el Viejo in Huesca representing Our Lady of the Snows. The result of the petrographic analysis shows that the statue was made of sandstone, most probably of local origin.

KEY WORDS.— Archaeometry, Our Lady of the Snows, San Pedro el Viejo, Huesca (Spain).

Recepción del original: 5-1-2017

¹ Historiadora del arte. abuisan@fm3

² Área de Petrología y Geoquímica. Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. Domingo Miral, s/n. E-50071 ZARAGOZA. plapuent@unizar.es

³ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchi@unizar.es

INTRODUCCIÓN

La Virgen de las Nieves es una advocación cristiana que, según una piadosa historia, tiene su origen en Roma en el siglo IV cuando un 5 de agosto amaneció nevado el monte Esquilino indicando a un matrimonio devoto dónde construir un templo. En el Alto Aragón, esta advocación tiene presencia en Alquézar, Aragüés del Puerto, Berbegal, Coscollano, Lafortunada, Sallent de Gállego, Yésero y en San Pedro el Viejo de Huesca. Asimismo, está presente en Burgos, Consuegra, Jaén, León, Lérica, Málaga, Soria, Toledo, Tudela, Palencia, Sevilla, Zaragoza y Vitoria. En varios lugares se denomina *La Blanca*, pero es necesario ser prudentes con la apelación dado que bajo este nombre se designan también diversas advocaciones con imágenes en mármol blanco, alabastro o, incluso, madera pintada.



Fig. 1. Retablo de la Virgen de las Nieves desmontado en 1983. (Foto: Antonio Naval)



Fig. 2. Virgen de las Nieves de San Pedro el Viejo (Huesca).

En San Pedro el Viejo de Huesca, la Virgen de las Nieves está representada en una bella talla gótica que se mantiene en la actualidad en el mencionado ábside sobre una columna. La imagen ha suscitado algún debate sobre el lugar de su confección. En este sentido, la identificación de la piedra sobre la que está tallada puede ofrecer información complementaria.

En los últimos tiempos se ha dedicado algún esfuerzo a caracterizar los materiales geológicos para construcción y ornato en el entorno inmediato de Huesca. En este sentido van los trabajos genéricos sobre utilización histórica de la piedra, canteras incluidas, en CUCHÍ y cols. (2005); CUCHÍ y cols. (2006-2008) y CUCHÍ y LAPUENTE (2016). LAPUENTE y cols. (2009) presentan información sobre la arenisca empleada en el edificio de Nuestra Señora de los Dolores de Monflorite. Características técnicas de la arenisca de la seo oscense y su posible piedra de reposición se presentan en LAPUENTE y cols. (2016). Por último, el origen de objetos de mármol romano de Huesca ha sido estudiado en LAPUENTE y cols. (2013) y ROYO y cols. (2015*a* y *b*).

Basándonos en la información recogida, el objetivo de este artículo es el estudio del material de la imagen de la Virgen de las Nieves de San Pedro el Viejo de Huesca.

LA VIRGEN DE LAS NIEVES DE SAN PEDRO DE HUESCA

La capilla de la Virgen de las Nieves en San Pedro de Huesca está situada en el ábside derecho de la nave románica. Aunque hay referencias a una advocación mariana desde la Edad Media, la primera mención explícita a la Virgen de las Nieves es de 1591. En el segundo tercio del siglo XVIII, se construyó un retablo (fig. 1) que se desmontó en 1983. En la actualidad, la talla se presenta exenta a baja altura (fig. 2).

LA VIRGEN DE LAS NIEVES DE SAN PEDRO EL VIEJO

La imagen (fig. 2) es una magnífica y bella virgen gótica de autor anónimo, fechada entre 1330 y 1350. Hecha en piedra policromada, de 135 × 48 y 48 centímetros, responde a las características de las vírgenes góticas francesas de finales del siglo XIII hasta mediados del siglo XIV.

La Virgen tiene al Niño en brazos, y entre ambos se establece comunicación. Atrás ha quedado el hieratismo del románico. Muestra una relación materno-filial. En el gótico la imagen cambia, se vuelve más humana, más natural. Ambos sonríen. La Virgen sonríe también con la mirada, aspecto que la hace muy singular; sus cabellos son rubios, con manto sobre la cabeza coronada, y los pliegues de la túnica y el manto resultan elegantes y de tendencia vertical formando un pliegue en el costado. Desde la cintura parte un haz de pliegues verticales que hacen que caigan los paños en haz muy rectos. El cuerpo dibuja una sinuosa y elegante curvatura acentuada por el manto que está recogido desde el codo a la cintura, creando un característico hueco de donde sale el brazo doblado hacia el pecho bien para abrazar al Niño o bien para mostrar un fruto o un pájaro que entrega al Niño para que juegue como entrañablemente muestra en este caso. El Niño, con apariencia de tres o cuatro años, va vestido con túnica roja de manga corta y establece una relación directa con su madre con la que comparte juego. Los rostros presentan la frente ligeramente curvada, cejas sin relieve y nariz corta. El mentón de la Madre es alargado sin sobresalir, y sus labios apuntan una tímida sonrisa ayudados por el gesto de la cara sobre todo por los ojos.

Estilísticamente, la imagen se relaciona con la escuela francesa de la que ESPAÑOL (2002) indica que tuvo una gran difusión en la península ibérica. LACARRA (1990) y ESPAÑOL (1999) relacionan esta imagen de la Virgen de las Nieves con diversas estatuas del mismo periodo, especialmente con la imagen central del tímpano de la puerta principal de la catedral de Huesca. Ambas autoras sugieren que la imagen de San Pedro el Viejo sea obra de autor local. Pero también sería posible que fuera una importación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Como han señalado las autoras que la han estudiado, la pieza está realizada en piedra policromada. En el otoño de 2008, en una primera inspección, en la parte posterior de la base se apreció una fractura antigua que, de modo visual, permitió avanzar que se trataba de una arenisca con abundantes granos opacos. Posteriormente, se procedió a tomar, con el debido permiso, una muestra de roca de 1 centímetro de longitud mediante martillo y cincel en la citada zona.

Con la muestra se realizó una lámina delgada en el Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza. Esta se estudió y describió mediante microscopio petrográfico en el laboratorio del Área de Petrología y Geoquímica del Departamento de Ciencias de la Tierra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del estudio de la lámina delgada, de la que se presentan dos sectores en las figuras 3 y 4 combinando imágenes de nícoles paralelos y cruzados, se desprende que se trata de una arenisca de granos homométricos formada por fragmentos angulosos de cuarzo, que no llegan al 50% del total, así como por fragmentos de rocas carbonatadas y rocas metamórficas. Hay también biotitas alargadas en distribución irregular, que localmente pueden llegar al 10%. Se presentan alteradas y sus oxidaciones se difunden en la matriz. También aparecen moscovitas y opacos, probablemente óxidos de hierro, feldespatos, silixitas y turmalinas. La matriz y el cemento son carbonatados. Por la presencia de cantos de cuarzo inferior al 50%, la roca se clasifica como una litoarenita calcárea.

La muestra presenta fuertes similitudes con muestras del entorno de Huesca como la arenisca típica de CUCHÍ y cols. (2006-2008) y la muestra MO-1 en LAPUENTE y cols. (2009). Ambas proceden de paleocanales de areniscas de la formación Uncastillo, también conocida como *formación Sariñena*, del Mioceno continental de la cuenca del Ebro. También es muy similar a las diversas muestras de piedra de la seo oscense y canteras cercanas a esta ciudad estudiadas por LAPUENTE y cols. (2016).

La roca del entorno de Huesca es una roca blanda, relativamente cómoda para tallar y esculpir. Es muy heterogénea incluso a cortas distancias en la horizontal y vertical en los afloramientos. Predomina en el entorno de Huesca, donde numerosas canteras se han trabajado desde hace varios siglos, y se ha utilizado en construcción y ornato. Es probable que esta estatua de la Virgen de las Nieves hubiera sido tallada en roca local. Con la información actual no es posible relacionarla con ninguna cantera específica del entorno oscense. En principio, si se trata de un escultor local que trabaja sobre piedra del entorno oscense, el autor de esta imagen y la del tímpano de la puerta de la catedral, podríamos estar ante un maestro por ahora

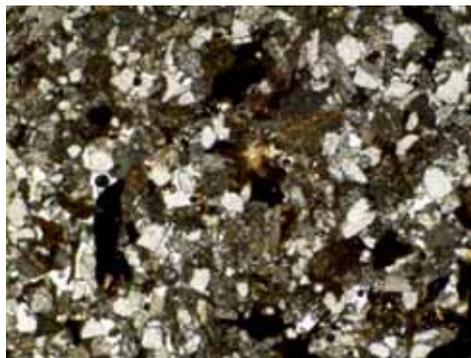


Fig. 3a. Virgen de las Nieves. Zona 1.
Nícoles paralelos.

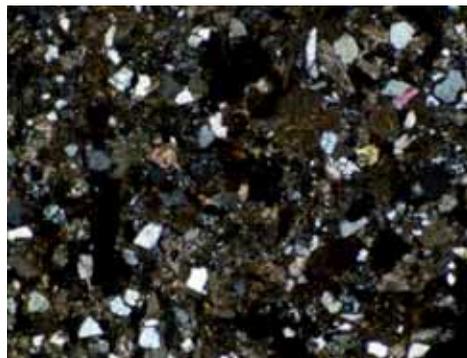


Fig. 3b. Virgen de las Nieves. Zona 1.
Nícoles cruzados.



Fig. 4a. Virgen de las Nieves. Zona 2.
Nícoles paralelos.



Fig. 4b. Virgen de las Nieves. Zona 2.
Nícoles cruzados.

desconocido. Cabe la posibilidad de que también fuera un maestro foráneo que trabajase, en Huesca, con la piedra que tenía a mano. Sin embargo, ambas hipótesis deben tomarse con la debida precaución. La arenisca es una roca muy común en diversas cuencas sedimentarias tanto en la península ibérica como en el resto de Europa, y, sin un estudio mucho más detallado, no se puede concluir definitivamente que la pieza no haya sido importada.

El estudio de esta pieza y su magnífica conservación puede ofrecer alguna ayuda en la conservación del patrimonio. Son conocidos los problemas en algunas de las estatuas del patrimonio oscense, especialmente en las fachadas de la catedral y en el claustro de San Pedro el Viejo, donde sería

bueno avanzar en las medidas oportunas de protección, tema que desborda la extensión de este artículo. Una de ellas, evidentemente básica, es profundizar en el conocimiento de su material base, del que hay muy poca información. En este sentido, el artículo ofrece alguna idea de las características de la roca de estas piezas.

CONCLUSIONES

La piedra de la preciosa estatua de la Virgen de las Nieves es una arenisca con fuertes similitudes con muestras de areniscas naturales procedentes del entorno de Huesca. Como tantas veces, sería necesario realizar un estudio más detallado, incluyendo rocas del sur de Francia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las facilidades dadas por la parroquia de San Pedro del Viejo de Huesca y por la Delegación Diocesana de Patrimonio del Obispado de Huesca, especialmente al doctor José María Nasarre para el estudio de la pieza. También al doctor Antonio Naval la cesión de la fotografía de la figura 1. Y, como siempre, agradecemos la paciencia del personal de la biblioteca del IEA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUCHÍ, J. A., L. MONTES, J. JUSTES e I. LAFRAGÜETA (2005). Roca y agua. El condicionamiento del entorno y el desarrollo histórico de la ciudad de Huesca. *Salduie*, 5: 159-175.
- CUCHÍ, J. A., N. JUSTES, M.^a P. LAPUENTE y H. ROYO (2006-2008). Nota sobre una arenisca atípica aparecida en excavaciones en el casco antiguo de Huesca. *Bolskan*, 23: 135-138.
- CUCHÍ, J. A., y P. LAPUENTE (2016). Canteras antiguas de arenisca del entorno de la ciudad de Huesca. *Lucas Mallada*, 18: 85-128.
- ESPAÑOL, F. (1993). Virgen Blanca. En T. Luesma (coord.), *Signos: arte y cultura en el Alto Aragón medieval*: 394-395. Diputación de Huesca. Gobierno de Aragón. Zaragoza.
- ESPAÑOL, F. (2002). Les imatges marianes: prototips, rèpliques i devoció. *Lambard*, XV: 87-109.
- LACARRA, M.^a C. (1990). Relaciones artísticas entre Navarra y Aragón en el siglo XIV: Nuestra Señora de la Consolación de Chiprana (Zaragoza). *Príncipe de Viana*, LI: 23-41.

- LAPUENTE, P., H. ROYO y J. A. CUCHÍ (2009). *La ermita de Nuestra Señora de los Dolores. Monflorite (Huesca). Estudio petrológico de la piedra original y de la de reposición.* 41 pp. Inédito.
- LAPUENTE, P., J. A. CUCHÍ, H. ROYO y C. GARCÉS (2013). Estudio arqueométrico del sarcófago romano hoy tumba del rey aragonés Ramiro II el Monje. *Bolskan*, 24: 75-86.
- LAPUENTE, P., J. A. CUCHÍ y L. F. AUQUE (2016). *Redacción de estudio petrológico de la fachada sur del transepto de la catedral de Huesca.* 219 pp. Inédito.
- ROYO, H., F. J. RUIZ, J. L. CEBOLLA, J. A. CUCHÍ y P. LAPUENTE (2015a). Estudio arqueométrico de mármoles procedentes del teatro romano de Huesca. *Lucas Mallada*, 17: 45-57.
- ROYO, H., J. A. CUCHÍ, A. ALAGÓN, P. LAPUENTE y M. BRILLI (2015b). Estudio arqueométrico de un conjunto romano de placas de mármol halladas en un solar de Huesca. *Actas I Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés*. Zaragoza. Diciembre 2015.

CARACTERIZACIÓN DE LA ABEJA MELÍFERA EN LA PROVINCIA DE HUESCA

Jesús YÁNIZ¹
Ernesto ÁNGEL²
Pablo MARTÍN-RAMOS³
Ester SALES³
Pilar SANTOLARIA¹

RESUMEN.— El objetivo principal de este artículo fue realizar una caracterización de las abejas melíferas en Huesca como paso necesario para fomentar la conservación de las variedades autóctonas. Para ello se recogieron muestras de abejas obreras de 35 apiarios de diferentes comarcas oscenses y se analizó la morfometría geométrica de las venas alares. Los resultados mostraron que existe una diferenciación morfométrica muy clara entre la abeja negra ibérica y el resto de razas que se están introduciendo en nuestra región. Entre las explotaciones con abejas ibéricas analizadas, se encontraron diferencias morfométricas en algunos colmenares, en unos casos por una probable hibridación con abejas alóctonas y en otros probablemente

Recepción del original: 10-1-2017

¹ Grupo de Investigación Tecnogam. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Instituto de Ciencias Ambientales (IUCA). Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. jyaniz@unizar.es, psantola@unizar.es

² eangelb@gmail.com

³ Grupo de Investigación Tecnogam. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Instituto de Ciencias Ambientales (IUCA). Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. pmr@unizar.es, esales@unizar.es

asociadas a la presencia de diferentes líneas genéticas dentro de la abeja negra autóctona. Estos resultados se ampliarán en futuros estudios, aumentando el número de colmenares e introduciendo métodos de genética molecular.

ABSTRACT.— The main objective of this work was to perform a characterization of honey bees in Huesca as a necessary step to promote the conservation of native varieties. To this end, samples of worker bees were collected from 35 apiaries from different regions of Huesca and the geometric morphometry of the wing veins was analysed. The results showed that there is a very clear morphometric differentiation between the Iberian black bee and the other breeds that are being introduced into our region. Among the Iberian bees analysed, morphometric differences were found in some apiaries, in some cases by a probable hybridization with non-native bees and in others probably associated with the presence of different genetic lines within the native black bee. These results will be expanded in future studies by increasing the number of apiaries and introducing methods of molecular genetics.

KEY WORDS.— *Apis mellifera iberiensis*, genetic diversity, wing geometric morphometry, subspecies discrimination.

INTRODUCCIÓN

España es el principal país productor de miel en la Unión Europea (UE) y se encuentra entre los doce primeros del mundo. También destaca por superar al resto de países europeos en el número de colmenas (unos 2,3 millones) y de apicultores profesionales (MONTESINOS, 2014). Pero la importancia de la apicultura va mucho más allá de la producción de miel, ya que son los insectos polinizadores más eficaces debido a su número, a los largos vuelos que realizan y a la diversidad de flores que visitan. Las abejas domésticas, que son las únicas que pasan el invierno en comunidad, liban multitud de plantas. Durante la recolección de néctar y polen, polinizan las flores. Esta colaboración entre el reino animal y el vegetal es muy valiosa, puesto que permite la abundancia en frutas y hortalizas y asegura también la biodiversidad floral que nos rodea. Alrededor del 87,5% de las plantas con flores se polinizan gracias a animales (OLLERTON y cols., 2011). Esto incluye tanto especies cultivadas como silvestres y subraya la importancia crucial de las abejas (como uno de los principales polinizadores globales) en el mantenimiento de la producción alimentaria y los ecosistemas de flora silvestre. La polinización animal supone el incremento en frutas o semillas en un 75% de los principales cultivos alimentarios en el mundo (KLEIN y cols., 2007).

La mayor parte de la polinización animal, quizás el 80%, es la realizada por las abejas melíferas (MONTESINOS, 2014). El cálculo más reciente del beneficio económico global de la polinización asciende a un total de 265 billones de euros en productividad debida a la polinización. Como en cualquier valoración de un servicio ecológico, el valor de la polinización es incalculable al resultar irremplazable.

A pesar de su importancia, el número de abejas y otros polinizadores, tanto silvestres como domésticos, parece estar disminuyendo en todo el mundo, en especial, en Norteamérica y Europa. Un fenómeno de reciente aparición es la desaparición inexplicable de grandes poblaciones de abejas en las colmenas, conocida como *Colony Collapse Disorder* (CCD) o *síndrome de despoblamiento de colmenas* (SDC). La mayor parte de esta despoblación abrupta sucede durante el invierno (DAINAT y cols., 2012). En los últimos inviernos, la mortalidad media de las colonias en Europa se sitúa en torno al 20% anual, llegando a superar el 50% en algunos países en años concretos.

Aunque existe cierta unanimidad en que el SDC tiene un origen multifactorial, hay indicios de que la falta de diversidad genética de los linajes más frecuentemente utilizados en apicultura puede jugar un papel relevante (ELLIS y cols., 2010). La falta de diversidad genética hace a las abejas más susceptibles a los pesticidas y enfermedades (agentes nosógenos), que siempre aparecen como elementos determinantes en el SDC. Sin embargo, en la mayor parte de los países desarrollados la industrialización de la apicultura ha provocado una considerable disminución de la variabilidad genética de la especie, ya que los apicultores de todo el mundo prefieren el mismo tipo de abeja: mansa, trabajadora y buena para vivir en colmenas hechas por el hombre. Dos especies europeas, *Apis mellifera ligustica*, de Italia, y *Apis mellifera carnica*, de los Balcanes, son las predominantes en la apicultura en todo el mundo. La consiguiente disminución de la diversidad genética reduce el potencial de la abeja para evolucionar en respuesta al cambio del ambiente (COROIAN y cols., 2014) y, como se ha comentado, las hace más sensibles a los agentes nosógenos.

La evolución de la abeja negra en Europa (*Apis mellifera mellifera*) es muy ilustrativa de la tendencia de la apicultura profesional hacia una menor variabilidad genética. Esta subespecie ocupaba una vasta extensión desde

los Pirineos hasta los Urales, la más amplia de las subespecies europeas (SOLAND-RECKEWEG y cols., 2009). Esta amplia distribución sugiere un gran potencial de adaptación a ambientes variados y cambiantes y la aparición de diferentes ecotipos. Por lo tanto, su protección tiene un gran interés conservacionista (SOLAND-RECKEWEG y cols., 2009). Sin embargo, en los últimos ciento cincuenta años se ha producido la introducción de otras subespecies de abeja en la zona original de *Apis mellifera mellifera*, principalmente por subespecies del sureste europeo (*Apis mellifera carnica* y *Apis mellifera ligustica*). En Alemania, la *Apis mellifera mellifera* fue casi completamente reemplazada por *Apis mellifera carnica*, y en Dinamarca por *Apis mellifera ligustica* (SOLAND-RECKEWEG y cols., 2009). En Francia y otros países se han introducido ambas subespecies, produciéndose hibridaciones con la abeja negra local. En consecuencia, la diversidad natural de las abejas de la miel se está deteriorando rápidamente en Europa (MEIXNER y cols., 2013), lo que conlleva tanto una pérdida de diversidad genética como de adaptaciones específicas a las condiciones locales. Hay bastante consenso sobre la necesidad de identificar estas valiosas variedades regionales para preservar a las abejas adaptadas a nivel local (MEIXNER y cols., 2013).

La península ibérica puede considerarse como una excepción a la tendencia global antes descrita, ya que en ella se ha conservado, con relativamente escasa contaminación genética externa, una subespecie o raza propia, la abeja negra ibérica (*Apis mellifera iberiensis*). Sin embargo, y a pesar de las considerables ventajas de mantener nuestra raza autóctona, en los últimos años se observa una tendencia creciente a la introducción de abejas mejoradas de las subespecies *Apis mellifera ligustica*, *Apis mellifera carnica* o derivadas de ellas, lo que supone un riesgo para la conservación de la *Apis mellifera iberiensis*. La hibridación con subespecies foráneas puede amenazar las subespecies nativas cuando los apicultores locales importan y propagan abejas importadas (HOPKINS y cols., 2012). Como ejemplo de esta contaminación externa tenemos el caso de las islas Canarias, en las que se ha descrito una importante hibridación entre las poblaciones de abeja endémica y abejas importadas. En este sentido, la trashumancia en apicultura y la utilización de solo unas pocas subespecies de abeja para su manejo comercial ha sido muy negativo para la conservación de las especies nativas en muchas partes del mundo debido a la fragmentación, hibridación y cría selectiva (SOLAND-RECKEWEG y cols., 2009).

La provincia de Huesca presenta un elevado riesgo de introducción de abejas foráneas. Es una región típicamente receptora de apicultores trashumantes de otras regiones, incluidos apicultores franceses en los últimos tiempos. Esta recepción de abejas de diversas zonas sin ningún control genético implica un riesgo para la abeja local. Recientemente, se ha observado también que algunos apicultores profesionales han optado por la utilización de abejas mejoradas de otras subespecies, con el riesgo consiguiente de hibridación en esas regiones.

El objetivo principal de esta línea de investigación es contribuir al mantenimiento de la abeja autóctona en la provincia de Huesca para afrontar en mejores condiciones los importantes riesgos a los que se enfrenta la apicultura en la actualidad. Para ello es necesario, en primer lugar, realizar una adecuada caracterización de las abejas existentes, lo que constituye el objetivo central de este artículo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestreo

Para la caracterización se realizó un muestreo de abejas obreras en colmenares de diversas zonas de la provincia. Se realizó una caracterización morfológica y morfométrica y se aisló ADN nuclear y mitocondrial para futuros estudios moleculares.

Se recogieron muestras de abejas obreras de 35 apiarios, la mayoría registrados en el ADS n.º 1 de la provincia de Huesca, principalmente de las comarcas de la Hoya de Huesca, el Somontano de Barbastro y Los Monegros. En cada explotación se muestrearon un mínimo de cinco colonias, 30-40 obreras / colonia recogidas preferiblemente en el interior de la colmena sobre cuadros de puesta. Las obreras se conservaron en 100% etanol en recipientes debidamente identificados hasta su análisis (caracterización morfométrica y aislamiento de ADN). En el momento del muestreo se registró la ubicación exacta del apiario mediante coordenadas GPS y se realizó una encuesta detallada al apicultor para tratar de explicar los resultados obtenidos. También se registraron los detalles morfológicos que se consideraron de interés, tales como el color de las abejas.

Para tener una referencia de las razas importadas más frecuentemente y poder discriminar el grado de hibridación de la abeja local, se muestrearon colmenas de apicultores que crían las razas Buckfast, Italiana y Cárnica, aunque no estuvieran localizados en la zona de estudio del proyecto. La raza Buckfast es una raza sintética, y nuestras observaciones indican que es una de las más frecuentemente introducidas en nuestro país. De esta raza en pureza y de híbridos F1 con la abeja local se tomaron muestras en cuatro colmenares de cuatro apicultores diferentes. De la raza Italiana se tomaron muestras de dos colmenares y de la raza Cárnica de un colmenar.

Caracterización mediante morfometría geométrica

De cada colonia se aislaron ocho obreras, de las que se diseccionó el ala derecha delantera, que se rehidrató en concentraciones decrecientes de etanol (95%, 70%, 50%, 20%) y, finalmente, en agua destilada. El exceso de agua se absorbió cuidadosamente y las alas se colocaron entre un portaobjetos y un cubreobjetos (fig. 1). Las imágenes de las alas se obtuvieron utilizando una cámara fotográfica digital montada sobre un microscopio Leica con un objetivo 1,25X. Las coordenadas de 19 puntos de referencia



Fig. 1. Alas de abeja obrera preparadas para su fotografiado y caracterización morfométrica.

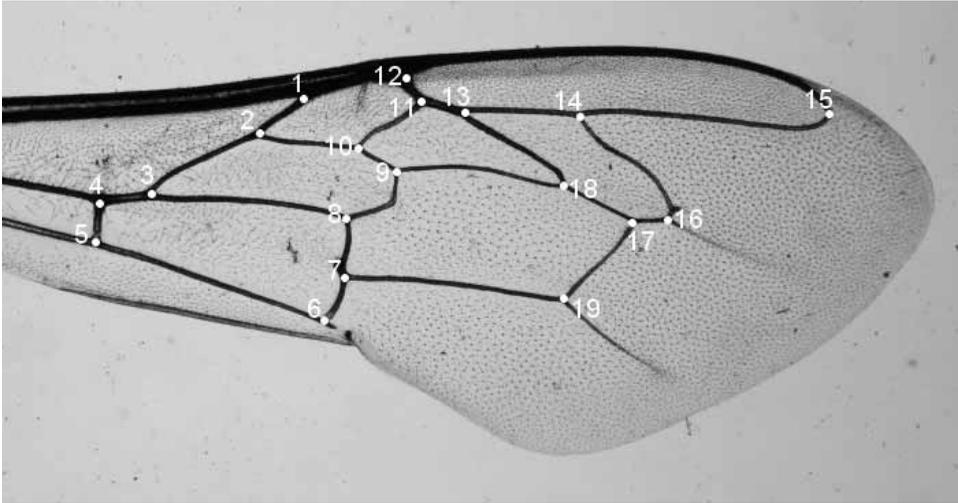


Fig. 2. Localización de los 19 puntos de interés en el ala delantera de la obrera considerados en el análisis de morfometría geométrica.

(*landmarks*) situados en las intersecciones venosas de las alas (fig. 2) se registraron y midieron por duplicado utilizando un *software* específico basado en MATLAB y desarrollado por Ernesto Ángel. En el proceso de medición, las coordenadas de los *landmarks* se superpusieron utilizando la superimposición de Procrustes GLS (*Generalized Least Squares*). Las diferencias de forma se analizaron mediante análisis canónico de varianza (CVA) utilizando el programa libre MorphoJ (disponible en http://www.fly-wings.org.uk/morphoj_page.htm) (MIGUEL y cols., 2011; MEIXNER y cols., 2013; CHARISTOS y cols., 2014).

Diseño experimental

Estudio 1

El primer estudio se diseñó para evaluar la fiabilidad del nuevo *software* desarrollado. Para ello se fotografiaron cien alas con los equipos anteriormente indicados y se evaluó la precisión en el reconocimiento de las intersecciones venosas. Además, se estudió el error de medición (es decir, la variabilidad de la determinación de coordenadas para un ala dada) del *software* en comparación con tpsDig (disponible en <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>)

(ROHLF, 2001). Para ello se realizaron análisis repetidos de la misma imagen de ala (tres alas, 30 repeticiones/ala). La variabilidad de cada coordenada se calculó utilizando coeficientes de variación (CV). Los CV intraala se expresaron como la media de los valores individuales.

Estudio 2

Este estudio se realizó para comparar la morfometría geométrica de diferentes subespecies de abejas y entre colmenares dentro de la *Apis mellifera iberiensis*. Para ello se recogieron las muestras indicadas anteriormente que, además de las abejas negras, incluyeron algunos colmenares conocidos de *Apis mellifera ligustica*, *Apis mellifera carnica* y el híbrido Buckfast. Las muestras de las alas se analizaron con el nuevo *software* específico desarrollado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio 1

El nuevo *software* permitió el análisis del 100% de las alas. La precisión de la detección automática de las intersecciones venosas fue del 100% en el 87% de los casos, mientras que la detección falló en un solo punto en el 9%, en dos puntos en el 3%, y en más de dos puntos en el 1% de las muestras analizadas.

La determinación de las intersecciones venosas con el nuevo *software* fue altamente repetible, con coeficientes de variación aún más bajos que los de tpsDig: los CV dentro del ala variaron de 0,06 a 0,12% para el nuevo *software* y de 0,23 a 0,28% para el tpsDig. El tpsDig es el programa más utilizado para el estudio de la morfometría geométrica de las alas (ROHLF, 2001), aunque requiere el trazado manual de todas las intersecciones venosas con un clic del ratón. La principal ventaja de este *software* es su flexibilidad, pero requiere mucha interacción humana que es propensa a errores y problemas de reproducibilidad. El nuevo *software* desarrollado, basado en MATLAB, supone un avance, ya que permite una determinación más rápida y precisa de las intersecciones venosas, que es el mayor factor limitante de los estudios morfométricos a gran escala.

Estudio 2

Discriminación entre subespecies

Cuando se estudiaron las diferencias entre subespecies, considerando todas las abejas de manera independiente, los resultados del análisis canónico indicaron que los ejes primero, segundo y tercero explican el

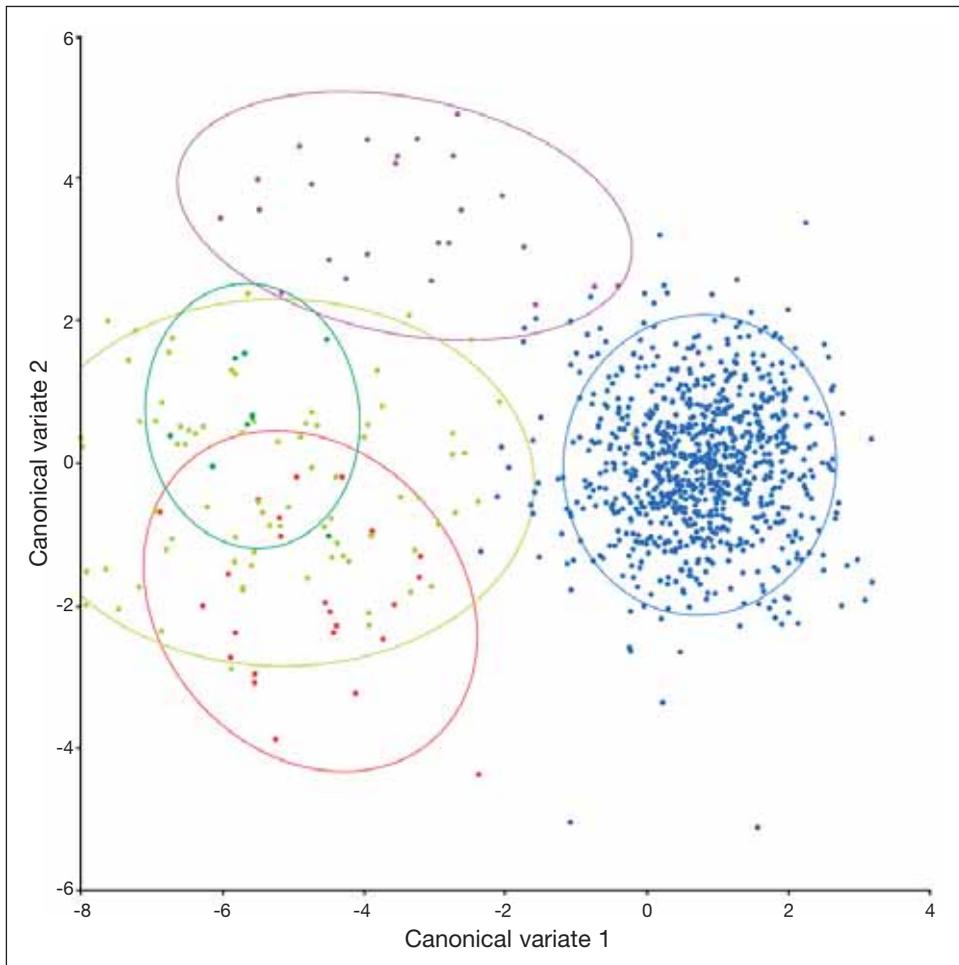


Fig. 3. Diagrama de dispersión de cuatro subespecies de abejas obtenido a partir del análisis canónico de varianza de las coordenadas cartesianas de los puntos de referencia en el ala delantera derecha considerando todos los individuos. Azul: *Apis mellifera iberiensis*; verde oscuro: *Apis mellifera carnica*; violeta: *Apis mellifera ligustica*; verde claro: Buckfast; rojo: F1 Buckfast × *Apis mellifera iberiensis*.

85,01%, 8,87% y 3,78% de la variación total, respectivamente. El gráfico de dispersión mostró una superposición parcial entre razas Cárnica y Buckfast, aunque la raza Ibérica parece diferenciarse con bastante claridad (fig. 3).

Una vez obtenidas las medias para cada colmena de las coordenadas de las intersecciones venosas de las alas, los resultados del análisis canónico indican que los ejes primero, segundo y tercero explican el 84,74%, 9,87% y 2,89% de la variación total, respectivamente. El gráfico de dispersión demuestra una excelente discriminación de la raza Ibérica con el resto de razas analizadas (fig. 4).

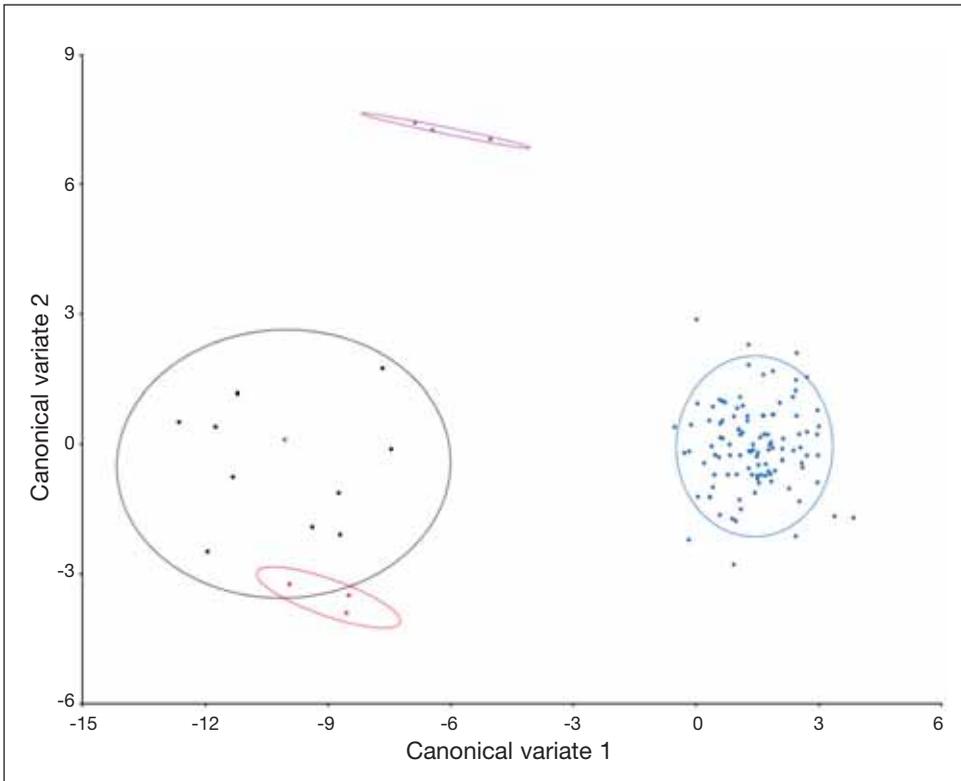


Fig. 4. Diagrama de dispersión de cuatro subespecies de abejas obtenido a partir del análisis canónico de varianza de las coordenadas cartesianas de los puntos de referencia en el ala delantera derecha considerando las medias por colmena. Azul: *Apis mellifera iberiensis*; verde: *Apis mellifera carnica*; violeta: *Apis mellifera ligustica*; negro: Buckfast; rojo: F1 Buckfast \times *Apis mellifera iberiensis*.

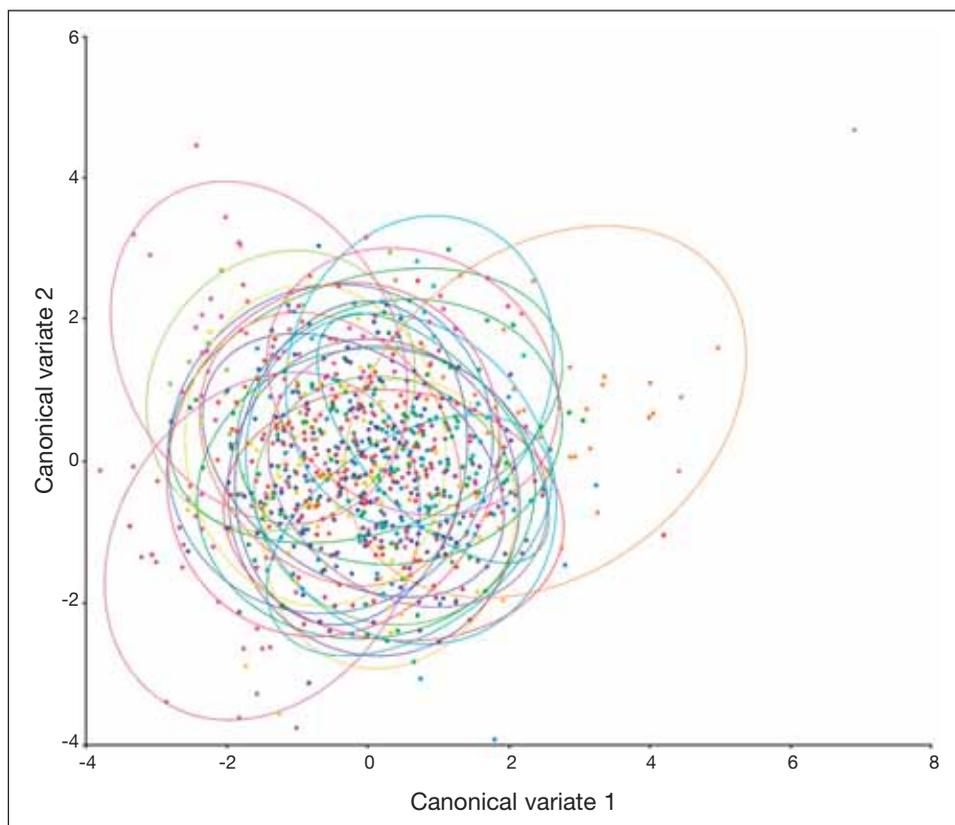


Fig. 5. Diagrama de dispersión de los colmenares de *Apis mellifera iberiensis* obtenido a partir del análisis canónico de varianza de las coordenadas cartesianas de los puntos de referencia en el ala delantera derecha considerando todos los individuos.

Discriminación entre variedades de Apis mellifera iberiensis

Cuando se analizaron los datos de la *Apis mellifera iberiensis* de manera independiente, la discriminación entre colmenares fue poco clara, especialmente cuando se consideraron todos los individuos por separado (fig. 5).

Tras el cálculo de las medias por colmena y posterior análisis, los resultados mostraron la existencia de un colmenar claramente diferenciado del resto a nivel morfométrico, y de diferencias entre colmenares cuando se comparan por parejas (fig. 6). En una de las explotaciones situadas en la periferia de la gráfica se observó la presencia de abejas de color amarillo, lo que viene a indicar una hibridación probable con otra raza, aspecto

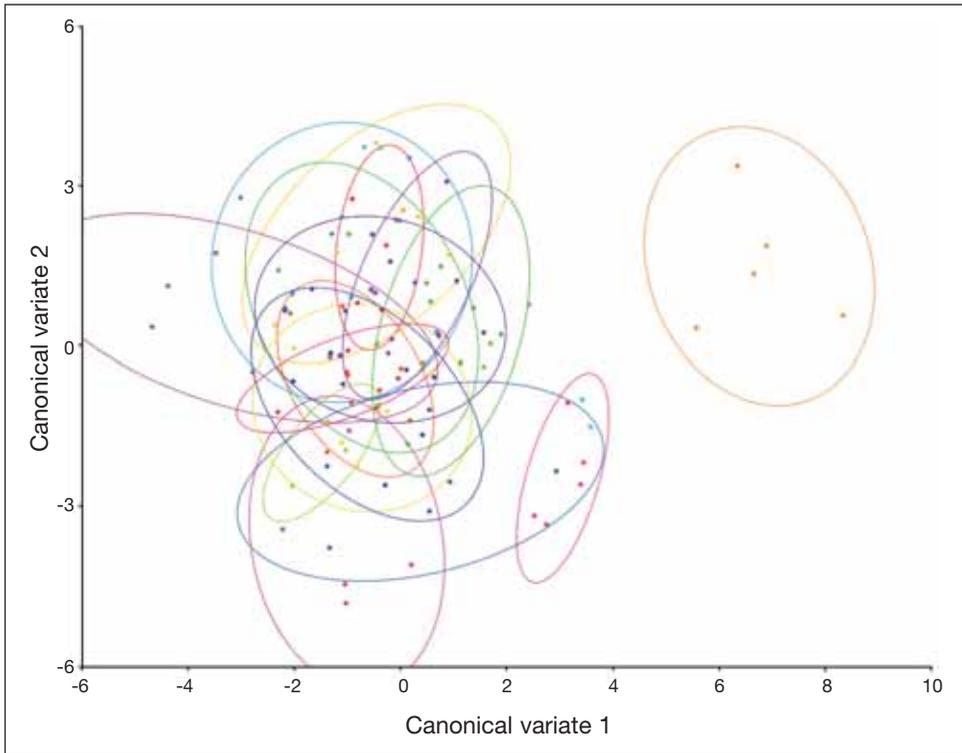


Fig. 6. Diagrama de dispersión de los colmenares de *Apis mellifera iberiensis* obtenido a partir del análisis canónico de varianza de las coordenadas cartesianas de los puntos de referencia en el ala delantera derecha considerando las medias por colmena.

corroborado por el apicultor en la encuesta realizada. La explotación más claramente diferenciada corresponde a un colmenar estante que apenas ha tenido entrada de material genético externo, en la que no se observó la presencia de abejas con alteraciones del color, ni el apicultor indicó la posibilidad de una posible hibridación. En este caso, y en el resto en los que se observaron diferencias entre colmenares, podría tratarse de variantes de la abeja negra ibérica, aunque este aspecto se verificará mediante el estudio del ADN en futuros proyectos.

La abeja melífera de la península ibérica se considera actualmente como una raza o subespecie de *Apis mellifera* (*Apis mellifera iberiensis*) originada a partir de la hibridación natural entre los linajes M del oeste y norte de Europa (*Apis mellifera mellifera*) y del linaje A de África (CÁNOVAS y cols.,

2008). Hay indicios de que abejas del linaje M sobrevivieron en diferentes refugios de la península ibérica y que, en la era posglacial, comenzaron a expandirse hacia el norte. Al mismo tiempo se debieron producir una o varias oleadas colonizadoras de abejas procedentes de África (linaje A), con una hibridación natural entre ambos linajes en nuestro territorio (CÁNOVAS y cols., 2008).

En la actualidad, la abeja negra ibérica presenta un gradiente de variabilidad de sur a norte: las abejas del sur presentan una mayor afinidad con razas del norte de África (linaje A), mientras que las abejas del norte de España se encuentran más próximas a la abeja negra europea *Apis mellifera mellifera* (linaje M) (FLORES y cols., 1998; CÁNOVAS y cols., 2008). Estudios moleculares han demostrado que la península ibérica es la región europea con la mayor diversidad en haplotipos (12 haplotipos detectados del linaje M y 10 del linaje A), probablemente como resultado de la adaptación a las condiciones climáticas regionales (CÁNOVAS y cols., 2008). Esta diversidad constituye un tesoro natural que debemos preservar, no solo por el interés ecológico, sino también porque muestran una mayor capacidad de adaptación a las modificaciones ambientales, por ejemplo, las derivadas del cambio climático, y más posibilidades de afrontar los nuevos desafíos sanitarios a los que se enfrentan las abejas en la actualidad.

Aragón es una de las regiones españolas en las que mejor se ha conservado, sin hibridar, el linaje M de *Apis mellifera iberiensis*. En un estudio realizado a nivel nacional, se observó que Huesca y Zaragoza fueron las únicas provincias en las que solo se detectó la presencia del haplotipo M (CÁNOVAS y cols., 2008). Sin embargo, el número de apiarios y colonias analizado fue muy reducido (6 apiarios y 43 colonias en Huesca), y la situación ha podido modificarse en los últimos años. Las diferencias morfométricas observadas en nuestro estudio podrían indicar la presencia de diferentes linajes dentro de la provincia, aspecto que se analizará con más profundidad en futuros estudios moleculares.

CONCLUSIONES

La metodología desarrollada de morfometría geométrica de las alas, incluyendo *software* específico, permite estudiar la variedad genética de las

abejas. Esta metodología puede resultar muy útil en futuros proyectos de investigación y en trabajos prácticos de selección que se prevén realizar.

Existe una diferenciación morfométrica muy clara entre la abeja negra ibérica y el resto de razas que se están introduciendo en nuestra región, lo que permite una identificación rápida y fiable de la introducción de abejas alóctonas.

Entre las explotaciones con abejas ibéricas analizadas, se encontraron diferencias morfométricas en algunos colmenares, en algún caso como resultado de la hibridación con abejas introducidas. También se han detectado diferentes subpoblaciones de abejas ibéricas, que podrían representar diferentes líneas genéticas.

Este proyecto constituye un primer paso muy importante para la caracterización y conservación de la abeja melífera en la provincia de Huesca, y los resultados obtenidos nos han permitido afrontar nuevos proyectos de I+D+i más amplios utilizando esta raza autóctona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los apicultores participantes en el estudio su ayuda al proporcionar muestras de abejas y al ADS n.º 1 de Huesca, por su colaboración. Este trabajo fue financiado por una Ayuda a la Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en su convocatoria del año 2015.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CÁNOVAS, F., P. DE LA RÚA, J. SERRANO y J. GALIÁN (2008). Geographical patterns of mitochondrial DNA variation in *Apis mellifera iberiensis* (Hymenoptera: Apidae). *J. Zool. Syst. Evol. Res.*, 46: 24-30.
- CHARISTOS, L., F. HATJINA, M. BOUGA, M. MLADENOVIC y A. D. MAISTROS (2014). Morphological Discrimination of Greek Honey Bee Populations Based on Geometric Morphometrics Analysis of Wing Shape. *J. Apic. Sci.*, 58: 75-84.
- COROIAN, C. O., I. MUÑOZ, E. A. SCHLUNS, O. R. PANITI-TELEKY, S. ERLER, E. M. FURDUI, L. A. MARGHITAS, D. S. DEZMIREAN, H. SCHLUNS, P. DE LA RÚA y R. F. A. MORITZ (2014). Climate rather than geography separates two European honeybee subspecies. *Mol. Ecol.*, 23 (9): 2353-2361.
- DAINAT, B., J. D. EVANS, Y. P. CHEN, L. GAUTHIER y P. NEUMANN (2012). Predictive markers of honey bee colony collapse. *PLoS. One*, 7, e32151.

- ELLIS, J. D., J. D. EVANS y J. PETTIS (2010). Colony losses, managed colony population decline, and Colony Collapse Disorder in the United States. *J. Apicult. Res.*, 49: 134-136.
- FLORES, J. M., J. Á. RUIZ, J. M. RUIZ, F. PUERTA, F. CAMPANO, F. PADILLA y M. BUSTOS (1998). Queen rearing of *Apis mellifera iberica*. *Arch. Zootec.*, 47: 347-350.
- HOPKINS, B. K., C. HERR y W. S. SHEPPARD (2012). Sequential generations of honey bee (*Apis mellifera*) queens produced using cryopreserved semen. *Reproduction, fertility, and development*, 24: 1079-1083.
- KLEIN, A. M., B. E. VAISSIERE, J. H. CANE, I. STEFFAN-DEWENTER, S. A. CUNNINGHAM, C. KREMEN y T. TSCHARNTKE (2007). Importance of Pollinators in Changing Landscapes for World Crops. *Proceedings of the Royal Society B*, 274 (1608): 303-313.
- MEIXNER, M. D., M. A. PINTO, M. BOUGA, P. KRYGER, E. IVANOVA y S. FUCHS (2013). Standard methods for characterising subspecies and ecotypes of *Apis mellifera*. *J. Apicult. Res.*, 52.
- MIGUEL, I., M. BAYLAC, M. IRIONDO, C. MANZANO, L. GARNERY y A. ESTONBA (2011). Both geometric morphometric and microsatellite data consistently support the differentiation of the *Apis mellifera M* evolutionary branch. *Apidologie*, 42: 150-161.
- MONTESINOS, P. (2014). Situación de la apicultura en España. *Albéitar. Portal Veterinario*.
- OLLERTON, E., R. WINFREE y S. TARRANT (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120: 321-326.
- ROHLF, F. J. (2001). *TpsDig: digitize landmarks from image files, scanner, or video*. Department of Evolutionary Biology. University of New York. Stony Brook. NY. USA.
- SOLAND-RECKEWEG, G., G. HECKEL, P. NEUMANN, P. FLURI y L. EXCOFFIER (2009). Gene flow in admixed populations and implications for the conservation of the Western honeybee, *Apis mellifera*. *J. Insect. Conserv.*, 13: 317-328.

VÍAS PECUARIAS Y RECURSOS PASCÍCOLAS EN RUTAS TRASHUMANTES DE OVINO DE LA PROVINCIA DE HUESCA

Roberto BETRÁN¹
Olivia BARRANTES²
Ramón REINÉ³

RESUMEN.— La trashumancia es un sistema de producción animal que evita periodos críticos de la producción vegetal mediante movimientos estacionales del ganado, que se realizan tradicionalmente desde la zona llana hasta la montaña, al inicio de la época estival, y a la inversa al inicio del otoño.

Los objetivos de este artículo fueron: (i) desarrollar una metodología de seguimiento del ganado para analizar las rutas recorridas por cuatro rebaños de ovino trashumantes entre la hoya de Huesca y el Pirineo aragonés; (ii) caracterizar los tipos de viales que utilizan los rebaños durante sus desplazamientos; (iii) comparar las rutas seguidas con las vías pecuarias registradas por la Administración; (iv) caracterizar los recursos pascícolas disponibles y el tiempo de permanencia del rebaño en cada tipo de pasto. Para ello, se utilizó un sistema creado *ad hoc*, consistente en la incorporación de un GPS comercial, modificado mediante la adición de una batería, a un collar colocado alrededor del cuello de varios animales del rebaño, y programado para

Recepción del original: 10-1-2017

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. roberto.betran@gmail.com

² Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Facultad de Veterinaria. Miguel Servet, 177. E-50013 ZARAGOZA. olivia.barrantes@unizar.es

³ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. rreine@unizar.es

registrar datos de posición cada 30 segundos para su posterior procesamiento mediante un sistema de información geográfica, el *software* QGIS. Mediante este programa informático, las rutas descritas por los rebaños se superpusieron con información cartográfica para la identificación de los viales y se intersecaron con la capa de vías pecuarias registradas por la Administración y con el mapa de pastos. Una vez obtenidos y sintetizados los resultados, se analizaron estadísticamente (test de Friedman y test de Kruskal Wallis) mediante el *software* SPSS.

El vial más utilizado durante estas rutas fueron las pistas y las carreteras secundarias, que son las que menos trabas ponen al desplazamiento de los rebaños. Entre las longitudes de avance diarias de cada rebaño no se observaron diferencias significativas. Tres de las rutas estudiadas utilizan vías pecuarias de mayor entidad, puesto que las ovejas recorren fundamentalmente cañadas reales. En cuanto a los recursos pascícolas, el ganado transita por distintos tipos de pastos de monte, fundamentalmente “erizionales prepirenaicos”, “romerales y aliagares prepirenaicos”, “pastos con arbolado de *Pinus sylvestris* en masas puras y mixtas del Prepirineo” y “pastizales prepirenaicos”, aunque son reseñables también los porcentajes de tiempo sobre los barbechos y rastrojos elegidos en ocasiones para el reposo y las pernoctas del ganado. El valor pastoral (VP) promedio de cada ruta, que indica la calidad forrajera de los recursos pascícolas utilizados, no mostró diferencias significativas entre las cuatro rutas analizadas. La metodología puesta a punto proporcionó información con una alta precisión, adecuándose satisfactoriamente a los objetivos del artículo.

ABSTRACT.— Transhumance is a livestock production system that avoids the critical periods of plant production by means of seasonal moving of livestock. Traditionally, livestock moves from lowlands to highlands at the beginning of the summer, and inversely at the beginning of the autumn.

The objectives of this work were: (i) to develop a suitable methodology to analyse the routes used by the flocks in their movements; (ii) to typify the type of roads that are used by the flocks; (iii) to compare the routes used to the official drove roads registered by the Government; (iv) to characterize the pastoral resources available and the time spent by the flock on each type of vegetation. In order to achieve these objectives, a whole system was designed *ad hoc*, which consists of a commercial GPS modified by means of a battery plus a collar around the neck of several sheep of the flock. The GPS was programmed to register position data every thirty seconds. The data were processed by a Geographic Information System (GIS), specifically the QGIS software. This software was used to overlap the tracks used by the flocks on cartographic information, in order to identify the types of roads, to intersect the data with the drove roads database, provided by the Government and with a pasture map. The data were statistically analysed with Friedman and Kruskal-Wallis Tests using SPSS software.

The type of roads mainly used by the flocks was “non paved paths” and “secondary paved roads”, most convenient for the flock movements. No statistically significant differences were found between the daily length progresses of the flock between the four routes. Three flock routes used drove roads of higher entity, because of sheep use “cañadas reales” mainly. In terms of pastoral resources, the flocks used various natural pastures and arable land resources (grazeable shrublands like as “Pre-Pyrenean *Echinopartum* bushes” and “Pre-Pyrenean *Rosmarinus* and *Genista* bushes”, grazeable forests like “Pre-Pyrenean *Pinus sylvestris* forests”, and “Pre-Pyrenean natural grasslands”. The Pastoral Value, which indicates the quality of pastoral resources, did not show any statistically significant difference between the four routes. The methodology developed to track the flocks was suitable for the objectives of the study, providing highly accurate data of the routes.

KEY WORDS.— Sheep livestock systems, transhumant route, GPS, Geographic Information System, drove roads, types of pastures.

INTRODUCCIÓN

La trashumancia es un tipo de manejo del ganado caracterizado por los desplazamientos estacionales de los rebaños de unos pastos a otros siguiendo ciclos que se repiten anualmente. En la provincia de Huesca, los ganaderos que la practican aprovechan durante el verano los pastos de puerto y durante la temporada invernal mantienen sus rebaños en la tierra baja. La distancia que separa los pastos estivales del Pirineo de los de invernada en el valle del Ebro supera los 100 kilómetros, y con frecuencia ronda los 200.

Se distinguen tres formas diferentes de trashumancia (PALLARUELO, 1993): la descendente, que se produce cuando la residencia del ganadero está en los valles próximos a los puertos donde el ganado pasa el verano, de modo que los pastos de invernada se sitúan lejos del hogar familiar; la ascendente, cuando la residencia está junto a los pastos de invierno, y el modelo conocido como *trashumancia oscilante*, que está relacionado con un tipo de ganadero cuya vivienda se encuentra en un punto intermedio entre los pastos de invernada y los de estivaje.

En el pasado, el censo de ganado que practicaba la trashumancia ascendente era mucho menor que el que practicaba la trashumancia descendente, ya que los ganaderos de los valles pirenaicos, propietarios de los puertos,

saturaban los pastos con sus rebaños, por lo que apenas quedaban posibilidades para admitir ganados foráneos. Durante los años setenta la trashumancia se redujo, disminuyó el número de cabezas y aparecieron nuevas formas de ganadería extensiva (FILLAT, 1980), aumentando la práctica de la trashumancia ascendente como los cuatro ejemplos que desarrollamos en este artículo.

El ganado en estos desplazamientos suele seguir siempre las mismas rutas llamadas *vías pecuarias* (*cabañeras* en Aragón; *cañadas* en España, en general). El interés del mantenimiento de estas vías pecuarias ha sido ampliamente reconocido por la comunidad científica, ya que además de su interés para la producción animal, proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos que contribuyen a la conservación de la biodiversidad como la conectividad ecológica entre territorios, la dispersión de semillas, la disminución del riesgo y la propagación de incendios y el mantenimiento de paisajes culturales (p. e., FERRER y cols., 2001; GÓMEZ SAL y LORENTE, 2004; BUNCE y cols., 2006; FERNÁNDEZ-GIMÉNEZ y FILLAT, 2012; OTEROS-ROZAS y cols., 2013; BARRANTES y cols., 2015). Las Administraciones Públicas están interesadas en el conocimiento y mantenimiento de las vías pecuarias, la Política Agraria Comunitaria ha proporcionado en algunos casos financiación para su revitalización (O'FLANAGAN y cols., 2011) y algunas vías se están rehabilitando para el turismo como *vías verdes* (ANTÓN, 2007).

Sin embargo, y a pesar de ser bienes públicos protegidos por la legislación española (BOE, n.º 279, de 21 de noviembre de 2015), muchas vías pecuarias están siendo invadidas por obstáculos que complican los movimientos del ganado, comprometiendo su conservación, como cultivos, carreteras, usos urbanos, vertederos y otras infraestructuras. En la provincia de Huesca, existen unos 4200 kilómetros de vías pecuarias entre el llano y el Pirineo, con importantes dificultades para el mantenimiento de los movimientos del ganado a través de las rutas (PALLARUELO, 1993). Y salvo el trabajo inédito de FILLAT (1980) en pocas ocasiones se han estudiado estas rutas. Paradójicamente, la descripción detallada de la trashumancia descendente del ganado ovino desde Ansó a Barbués que realizó GÁLLEGO (1966) sería el antecedente más próximo a nuestra investigación.

Nuestros objetivos fueron: (i) desarrollar una metodología de seguimiento del ganado para analizar las rutas recorridas por cuatro rebaños

de ovino trashumantes entre la hoya de Huesca y el Pirineo aragonés; (II) caracterizar los tipos de viales que utilizan los rebaños durante sus desplazamientos; (III) comparar las rutas seguidas con las vías pecuarias registradas por la Administración; y (IV) caracterizar los recursos pascícolas disponibles y el tiempo de permanencia del rebaño en cada tipo de pasto.

MATERIAL Y MÉTODOS

Durante los meses de junio y julio de 2014 se colocaron dispositivos GPS a dos ovejas de cuatro rebaños diferentes que realizaron la trashumancia ascendente entre diferentes localidades de la hoya de Huesca y el Pirineo aragonés. Esta metodología basada en la tecnología GPS se ha utilizado para monitorizar animales domésticos aunque con otros fines como el control del pastoreo (VV. AA., 2001; AGOURIDIS y cols., 2004; SWAIN y cols., 2011) o el análisis de los patrones de pastoreo en función de los tipos de vegetación (ANIMUT y cols., 2005; GIPSON y cols., 2012).

Dispositivos GPS

Se utilizaron GPS comerciales marca GARMIN eTrex®20, modificados con dispositivos de almacenamiento de memoria y batería externa (fig. 1). Se programaron para que registraran cada 30 segundos la posición (coordenadas X, Y, Z) en el sistema de coordenadas WGS 84, la fecha y la hora. La información diaria se guardaba de forma automática en un archivo en formato gpx a las 12 de la noche, que contenía información de cada uno de los puntos registrados (*trackpoints*) y de la línea que los unía (*tracks*). La autonomía probada de los dispositivos varía entre 7 y 9 días, aunque para asegurar la toma correcta de datos se reemplazaban cada 4 o 5 días.

El GPS y la batería externa se colocaron dentro de una funda GARMIN que se cerraba mediante una cremallera y en la cual encajaban perfectamente. Después de sellarla con cinta aislante y colocar una brida para evitar que se perdiera, se colocaba en el cuello de la oveja con un collar con resultado final parecido en forma y peso a un cencerro (fig. 2).



Fig. 1. Dispositivo GPS y batería externa acoplada mediante sistema de cableado.



Fig. 2. Colocación del collar equipado con GPS a una oveja en el inicio de una ruta.

Rebaños trashumantes

Se han estudiado las rutas trashumantes ascendentes de cuatro rebaños diferentes. Para ello, se seleccionaron dos ovejas de cada uno de los rebaños (fig. 3) según dos criterios fundamentales sugeridos por los ganaderos: que estuvieran acostumbradas a llevar cencerro y que la condición física y el estado sanitario del animal fueran óptimos. Con la elección de dos ovejas por rebaño se aseguraba la toma de datos durante toda la trashumancia; si en algún momento uno de los GPS dejaba de funcionar por algún problema técnico, no registraba datos por pérdida de cobertura o se perdía, se tendría otro GPS en funcionamiento registrando los datos.

Entre los distintos rebaños que todavía practican la trashumancia ascendente, seleccionamos cuatro con fechas de subida a puerto no coincidentes, para así tener los cuatro dispositivos disponibles en uso (dos en ruta y dos



Fig. 3. Rebaño durante la trashumancia. A la izquierda y en el centro de la imagen se observan las dos ovejas con collar verde con el dispositivo GPS.

preparados para los reemplazos). En la tabla 1 se resumen las características técnicas de los rebaños estudiados.

<i>Rebaño</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Raza predominante	Churra tensina	Rasa aragonesa, roya bilbilitana y talaverana	Chisqueta (1600 del total)	Rasa aragonesa
Número de ovejas adultas	1200	1200	1900	3300
Número de moruecos	27	40	30	72
Número de carneros	–	2	–	–
Número de corderas de reposición	220	200	350	500
Número de corderos de reposición	5	5	–	–
Número de cabras	60	70	70	–
Número de chotos	10	50	50	–
Número de cabritas	–	30	30	–

Tabla 1. Características principales y composición de los rebaños de los cuales se han estudiado las rutas trashumantes.

Procesado de los datos

Utilizando el sistema de información geográfica QGIS se transformaron los archivos gpx en un archivo shapefile de puntos. El procedimiento no es directo, sino que conlleva conversiones intermedias a formatos gml. El shp es el formato vectorial estándar de intercambio de información geográfica, que almacena la localización de los elementos geográficos y las bases de datos o atributos asociados a ellos. La depuración de las rutas se hizo ya en este formato completando un archivo shp por ruta, a partir de los datos generados por los dos GPS. Además, el complejo proceso incluía la eliminación de algunos datos originados al comienzo de la ruta, en los reemplazos de los dispositivos en ruta y a la llegada a los puertos (los GPS estaban estancos y comenzaban a generar datos antes y después de ser colocados en las ovejas). En ocasiones también hubo que modificar algunos datos generados de forma incorrecta por falta de precisión del GPS (zonas de sombra) o incluso generar nuevos cuando no había registros por ausencia de cobertura, por fallos en el GPS o en la batería. En estos casos de nueva generación,

se simularon puntos cada 30 minutos siguiendo a pie los recorridos según la información aportada por los ganaderos, teniendo en cuenta las horas de las paradas que se hicieron a almorzar, comer o descansar, y la hora aproximada que estaban en puntos concretos.

Para realizar algunos análisis se generó una nueva capa vectorial por ruta que contenía únicamente el itinerario seguido por el rebaño, excluyendo los datos generados durante los días o periodos de descanso, los momentos de pastoreo sin avance en la ruta y las pernoctas. Con estos itinerarios y utilizando el *software* CompeGPS LAND se realizó un análisis de cada una de las rutas para la obtención de los datos más representativos (distancia, altitud máxima y mínima, ascenso acumulado, desnivel y perfil topográfico).

Tipos de viales

Se han clasificado los diferentes tramos del itinerario que recorre cada uno de los rebaños durante la trashumancia en función del tipo de vial utilizado, diferenciando cinco tipos de viales:

- Carretera principal: engloba las carreteras nacionales y las carreteras autonómicas de primer orden. Se caracterizan porque la calzada está asfaltada y el tránsito de vehículos es elevado.
- Carretera secundaria: abarca el resto de carreteras asfaltadas no incluidas anteriormente. El tránsito de vehículos y la anchura del vial es significativamente inferior que en las anteriores.
- Pista: comprende los viales no asfaltados que tienen la anchura suficiente para que pueda circular un coche. El tránsito de vehículos es prácticamente inexistente.
- Sendero: incluye las sendas por las que pueden circular únicamente personas y animales.
- Urbano: engloba los viales que discurren por el interior de núcleos de población.

Mediante las herramientas QGIS se dividieron las capas que contenían los itinerarios recorridos por los rebaños en estas clases, previa visualización sobre la base cartográfica. Posteriormente, se obtuvieron las distancias de cada uno de los tramos mediante la calculadora de campos de la tabla de atributos de la capa creada.

Tipos de vías pecuarias

Las cuatro rutas se compararon con las vías pecuarias registradas por el Gobierno de Aragón en la provincia de Huesca. Para ello, se utilizó la capa en formato shp facilitada por el Servicio Provincial de Desarrollo Rural y Sostenibilidad de Huesca. En este archivo hay registrados un total de 4470 kilómetros de vías pecuarias en la provincia de Huesca y se aporta la información de cada una de estas: nombre, longitud, clasificación en función de su anchura, actuaciones necesarias, municipios en los que se encuentra y otras observaciones.

De acuerdo con el Código Civil, la Ley 3/1995, de 23 de marzo, de Vías Pecuarias (BOE, 24/3/1995) y el artículo 6 de la Ley 10/2005, de 1 de noviembre, de Vías Pecuarias de Aragón, se diferencian los siguientes tipos de vías pecuarias en Aragón atendiendo a su anchura:

- Cañadas: vías pecuarias cuya anchura no exceda los 75 metros.
- Cordeles: vías pecuarias cuya anchura no sobrepase los 37,5 metros.
- Veredas: vías pecuarias cuya anchura no sea superior a 30 metros.
- Coladas: vías pecuarias de carácter consuetudinario, de anchura variable menor que las anteriores.

Utilizando las herramientas de geoprocso de QGIS *buffer e intersección* se consiguieron comparar nuestras capas de itinerarios con la capa lineal suministrada por la Administración, obteniéndose en cada caso una nuevo *shape* correspondiente a los tramos de ruta coincidentes. Las longitudes de cada uno de estos tramos comunes se calcularon mediante la calculadora de campos de la nueva tabla de atributos.

Recursos pascícolas

Para el análisis de los recursos pascícolas disponibles por el ganado en sus desplazamientos trashumantes se utilizaron los datos obtenidos mediante el GPS tras su procesado y la capa que contiene el mapa de los pastos de monte de Aragón (BARRANTES y cols., 2005). La estimación de la calidad forrajera se ha realizado siguiendo la metodología del valor pastoral (VP) de DAGET y POISSONET (1972). El VP de cada tipo de pastos se ha asignado a partir de los trabajos de MAESTRO y cols. (2004), REINÉ y cols. (2004a, b y c) y BARRANTES y cols. (2004, 2005).

El tipo de pasto en el que se encontraban las ovejas en cada uno de los momentos registrados por el GPS se asignó utilizando la herramienta de gestión de datos de QGIS denominada *unir atributos por localización* que permite completar el archivo de puntos en formato shapefile (del cual se disponía su posición, hora y fecha) con la información del tipo de pasto y ubicación de este. Una vez realizado este proceso, el archivo dbf asociado permite sintetizar la información mediante una hoja de cálculo, para realizar un análisis estadístico de los datos.

Análisis estadístico

Se han utilizado dos pruebas no paramétricas: el test de Friedman y la prueba de Kruskal Wallis. Con la primera de ellas se han comparado las longitudes y los porcentajes de rutas recorridas en cada tipo de vial. Mediante el test de Kruskal Wallis se compararon las longitudes totales de avance diario y las calidades forrajeras de los tipos de pasto aprovechados por los rebaños durante sus desplazamientos. Cuando los resultados de alguno de los dos test anteriores eran significativos, las diferencias se analizaron aplicando el test de separación de medias de Dunn-Bonferroni.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de las rutas trashumantes

- Ruta 1: Huesca – San Juan de Plan

El rebaño partió desde la localidad de San Jorge (hoya de Huesca) el viernes 30 de mayo de 2014 y los dispositivos GPS se colocaron el domingo 1 de junio de 2014 a las 21 horas en las inmediaciones de Huesca, en el momento en el que las ovejas fueron encerradas.

El 2 de junio de 2014, las ovejas salieron a las 7:34 horas para atravesar la capital oscense, recorriendo las siguientes calles: avenida Martínez de Velasco, calle Alcañiz, calle Doña Sancha, calle Teruel, avenida de los Danzantes, paseo de Lucas Mallada y, posteriormente, tomaron la carretera de Apiés. El rebaño se desvió hacia el polígono Monzú a las 8:49 horas para

aprovechar el pasto de los solares no construidos, donde permaneció el resto de la jornada y, además, los días 3 y 4 de junio.

El jueves, 5 de junio de 2014, las ovejas partieron hacia el norte por la carretera comarcal HU-324, en dirección Apiés a las 9:22 horas hasta llegar a la entrada del campo de tiro de Loreto a las 10:44 horas. Estuvieron pastando en sus alrededores hasta retomar de nuevo la ruta a las 19:27 horas en dirección Apiés por la pista agrícola que va paralela a la carretera y que parte desde la entrada al campo de tiro, pero en la margen izquierda de la carretera, que finaliza en el sur de la localidad de Apiés. Las ovejas fueron encerradas en un campo ubicado en las proximidades de este punto, a 300 metros de la localidad, a las 21:20 horas.

Al día siguiente, partieron de Apiés a las 7:57 horas por la carretera comarcal HU-324, en dirección a Sabayés. A menos de 800 metros tomaron la pista que sale en dirección norte, e inmediatamente después cogieron el camino que está a mano derecha hasta cruzarse con la carretera comarcal HU-V-3243, que va hacia Santa Eulalia de la Peña. Continuaron por la carretera 200 metros hasta desviarse por una pista que sale a mano izquierda, e inmediatamente después tomaron un camino que va hacia el norte hasta llegar de nuevo al cruce con la carretera que se dirige a Santa Eulalia, en el sur de esta localidad. Continuaron por la carretera hasta pasar el núcleo y a mano derecha se desviaron por una pista que se cruza con la HU-V-3241, que hay en la parte norte del acceso al Salto de Roldán y que va hacia el embalse de Santa María de Belsué. Las ovejas hicieron una parada a las 11:48 horas en una zona de monte ubicada poco después del cruce de pistas, donde estuvieron pastando. A las 18:30 horas prosiguieron la ruta por esta pista hacia el norte en dirección al embalse de Belsué hasta las 19:07 horas, momento en el que se dejaron las ovejas en una zona de monte ubicada a 5 kilómetros del embalse de Belsué. Durante ese día las ovejas no se cercaron y estuvieron en esa zona toda la noche. Al atardecer, se cogieron las dos ovejas que llevaban el dispositivo GPS y se cambió la batería para asegurar la toma de datos durante el resto de la ruta.

El sábado, 7 de junio de 2014, a las 7:20 horas continuaron por la pista que va al embalse de Belsué, rodearon este por su parte oriental y llegaron a los pastos ubicados al sur de Lúsera a las 10 horas. Durante el resto del

día estuvieron pastando en esta zona hasta que a las 19:50 horas fueron encerradas en las inmediaciones del embalse. Durante los días 8, 9 y 10 de junio las ovejas pastaron en los alrededores del embalse, en su parte más septentrional y occidental.

El miércoles, 11 de junio de 2014, el rebaño comenzó su andadura desde la parte norte del embalse a las 7:11 horas por la carretera comarcal que va a Nocito hasta tomar el desvío a Lúsera. Una vez llegado a la parte norte de esta localidad, tomaron el camino que se dirige al noreste en dirección Ibirque, adonde llegaron a las 10:06 horas. Estuvieron pastando en las inmediaciones de este pueblo deshabitado hasta las 17:14 horas, momento en el que retomaron la marcha en dirección este por la pista de acceso al pueblo ubicada en el norte en dirección al cruce con la carretera que va a Abellada. Las ovejas se detuvieron a pastar en las inmediaciones de esta carretera (1,5 kilómetros después del cruce) a las 20:22 horas y fueron encerradas a las 22:16 horas.

Al día siguiente, las ovejas partieron en dirección a Abellada a las 7:58 horas. Previamente, habían pastado durante aproximadamente una hora en las inmediaciones del paraje en el que habían pernoctado. Tras 1 kilómetro andando, las ovejas se desviaron por un camino que sale a mano izquierda y que pasa por el norte de la localidad de Abellada, hasta encontrarse de nuevo con la pista que va a Binueste. Durante el resto del recorrido, el ganado alternó largos tramos de pista con otros de camino a modo de atajo hasta llegar al pueblo abandonado de Matidero a las 19:30 horas, donde estuvieron pastando hasta caer la noche. Al atardecer, se cogieron las dos ovejas que llevaban el dispositivo GPS y se volvió a cambiar la batería para asegurar la toma de datos en el resto de la ruta. Durante esa noche no se cercó el rebaño y permaneció en las inmediaciones de Matidero (fig. 4).

El 13 de junio de 2014, el rebaño partió de Matidero a las 6:39 horas por la pista de acceso a esta localidad, en dirección a la carretera comarcal de La Guarguera, la A-1604. Una vez en el cruce, tomaron la carretera hacia el este en dirección a Boltaña; a las 10:12 horas pararon al sur de Campodarbe, en las inmediaciones de la pista que sale a mano derecha antes de llegar al pueblo. Durante el resto del día, las ovejas estuvieron pastando en los alrededores, hasta que fueron encerradas a las 20:54 horas.



Fig. 4. Rebaño pastando en las inmediaciones de Matidero, el día 12 de junio de 2014.

El sábado, 14 de junio de 2014, a las 7:09 horas las ovejas continuaron por la pista por la que se habían desviado el día anterior, que va por el este hacia Boltaña, hasta llegar al puente que cruza el río Ara en las proximidades de esta localidad. A continuación el rebaño continuó la ruta por la carretera nacional N-260 en dirección Aínsa hasta detenerse a las 11:02 horas en la margen derecha de la carretera, pasada la localidad de Margudged. A las 18:38 horas, las ovejas retomaron la ruta por la carretera y después se desviaron por un camino que sale a mano izquierda y que conduce al río Forcaz, que en época estival permanece seco. Descendieron por este río hasta llegar a su desembocadura en el río Cinca, cruzando la carretera comarcal A-138 hasta el camping Peña Montañesa. Desde aquí continuaron hacia el norte por la pista que va a Bielsa, ubicada entre la carretera comarcal y el curso del río Cinca. A las 21:32 horas, las ovejas fueron encerradas en las inmediaciones del río, unos cientos de metros después de dejar Labuerda a mano izquierda.

Al día siguiente, las ovejas partieron a las 6:43 horas en dirección a Bielsa por la carretera comarcal A-138, atravesando las localidades de Escalona y Lafortunada. Después de pasar esta localidad hicieron un descanso en la margen derecha de la carretera a las 11:56 horas. Retomaron de nuevo la ruta a las 17:42 horas por la carretera comarcal hasta tomar el desvío que hay antes de la población de Salinas de Bielsa. El rebaño continuó por la carretera comarcal A-2609, que va por el fondo del valle de Gistaín, paralelo al río Cinqueta, hasta llegar al desfiladero de la Inclusa a las 20:17 horas, lugar donde las ovejas estuvieron pastando y pernoctando durante esa noche.

El último día de trashumancia fue el lunes 16 de junio de 2014. Las ovejas se soltaron a las 10:18 horas y estuvieron pastando en un campo ubicado en las proximidades del embalse de Plandescún hasta las 17 horas, momento en el que continuaron por la carretera comarcal en dirección a San Juan de Plan. Las ovejas llegaron a un campo situado en las cercanías de San Juan de Plan, en el valle de Gistaín (comarca del Sobrarbe), a las 19 horas, en el que estuvieron pastando hasta las 20:30 horas. Fueron encerradas y, posteriormente, se les retiraron los dispositivos GPS. Este rebaño permaneció en el puerto de San Juan de Plan hasta el mes de octubre.

- Ruta 2: Lascasas-Canfranc

El dispositivo GPS se colocó antes de emprender la trashumancia en la explotación ganadera en la que permanecen las ovejas en época invernal ubicada en la localidad de Lascasas (hoya de Huesca). El rebaño partió el miércoles 18 de junio de 2014 a las 18:42 horas en dirección a Huesca por la pista que sale perpendicular al canal del Cinca, en dirección a Pompenillo y, posteriormente, tomaron el camino de la Torre del Sevillano hasta las inmediaciones de Huesca. Las ovejas se vallaron a las 22:14 horas en un campo cercano a la empresa Desguaces Alonso.

El día siguiente, el rebaño comenzó su andadura a las 7:06 horas; atravesó la capital oscense, donde recorrieron las siguientes calles: calle Doña Sancha, calle Teruel, avenida de los Danzantes, paseo de Lucas Mallada y, posteriormente, tomaron la carretera de Apiés. Una vez pasado el puente

carretero de la N-240, que va a Barbastro, tomaron la pista inmediatamente posterior a la izquierda en dirección Yéqueda. Desde allí se dirigieron al norte hacia Nueno pero, a la altura de Igríes, se hizo un descanso desde las 10:35 horas hasta las 16:24 horas. Continuaron por la pista que va a Nueno y desde allí tomaron la antigua carretera nacional N-330 hacia Arguis. Las ovejas pernoctaron 2 kilómetros al sur del embalse de Arguis, en una zona abierta al lado de la carretera, después de pasar los dos primeros túneles, donde llegaron a las 22:03 horas.

El viernes partieron a las 7:00 de la mañana por la antigua carretera nacional en dirección a Arguis. Una vez en el embalse, continuaron por la pista que parte desde el Restaurante-Hostal Casa Migalón y va paralela a la actual N-330 y el nuevo tramo de autovía, hasta llegar de nuevo a la antigua carretera nacional que va al este. Cruzaron el túnel de la Manzanera y siguieron hasta llegar a las inmediaciones del área de descanso ubicada en el alto de Monrepós, adonde llegaron a las 10:43 horas. Durante el resto del día estuvieron pastando en el entorno hasta que a las 21:08 horas fueron encerradas.

El sábado, 21 de junio de 2014, el rebaño continuó la ruta por la cara norte de Monrepós. Para ello, en el alto cruzaron la N-330 y, posteriormente, tomaron la antigua carretera hasta desviarse por una pista que discurre hacia la parte baja del puerto, cerca del río Guarga, en cuyas inmediaciones las ovejas hicieron un descanso desde las 12 horas hasta las 17:30 horas. Durante la parte final de este tramo tomaron un camino a modo de atajo en un par de ocasiones. Posteriormente, cruzaron la N-330 para coger una pista antes del pueblo de Lanave que va hacia el Hostal de Ipiés y de nuevo volvieron a cruzar la nacional para coger la carretera que va a Caldearenas. Poco después de tomarla se desviaron por la carretera comarcal HU-V-3011, que va a Arto. Antes de llegar a este núcleo, las ovejas estuvieron desde las 20:22 horas hasta las 21:17 horas pastando en una zona de monte, antes de ser cercadas en un campo al lado de Arto a las 21:35 horas.

A las 7:35 horas del día siguiente continuaron por la carretera comarcal HU-V-3011, que va a Navasa. A las 11:33 horas, 1 kilómetro antes de llegar a esta localidad, hicieron un descanso en la margen izquierda de la carretera hasta las 16:47 horas, momento en el que retomaron el paso hasta llegar a Navasa. En un campo ubicado en las inmediaciones de esta

localidad, volvieron a hacer una parada desde las 17:26 horas hasta las 19:42 horas para que las ovejas pastaran. A modo de atajo, tomaron la ruta por la pista que sale al norte de esta localidad hasta cruzarse de nuevo con la carretera comarcal y, posteriormente, se desviaron hacia el oeste en dirección a Jaca por la carretera comarcal, hasta llegar al campo en el que pernoctaron, en la bajada de Barós a Jaca. Las ovejas fueron encerradas a las 21:46 horas y se aprovechó este momento para cambiar la batería del dispositivo GPS y de esta forma asegurar la toma de datos durante el resto de la ruta.

El lunes, 23 de junio de 2014, a las 7:07 horas, salieron en dirección a Jaca, en donde recorrieron las siguientes calles para cruzarla: calle Antonio Beltrán, avenida Perimetral, avenida Regimiento de Galicia, avenida Primer Viernes de Mayo y avenida de Francia. Una vez atravesada la localidad, tomaron la cabañera que va a Somport, que en la actualidad está más transitada por los peregrinos que recorren el Camino de Santiago que por rebaños. Hasta el final de la ruta trashumante se continuó por esta cabañera alternando tramos de pista en su mayoría, tramos de camino y pequeños tramos urbanos, e incluso algún tramo de carretera comarcal. Antes de llegar a la localidad de Castiello de Jaca, hicieron una pequeña parada en las proximidades del río Aragón desde las 9:36 horas hasta las 10:27 horas para aprovechar estos pastos. Prosiguieron la ruta por la cabañera, que cruza la localidad de Castiello por la empinada calle de Santiago; pararon en un campo situado al norte de esta localidad desde las 11:24 horas hasta las 16:35 horas. Las ovejas siguieron la cabañera en dirección norte hasta el cruce de la carretera comarcal que va a Aratorés. Allí se realizó un tramo de carretera de 200 metros hasta el camino auxiliar del canal que abastece a la localidad de Jaca. Se siguió este camino hasta Villanúa alternando pista y camino. Las ovejas llegaron a Villanúa a las 19:48 horas y estuvieron pastando en los solares del centro del pueblo, en el camino de la Rambleta, hasta que fueron encerradas a las 21:37 horas.

El último día de ruta trashumante fue el martes 24 de junio de 2014. Las ovejas salieron de Villanúa por la cabañera que va hacia Somport a las 7:10 horas. El rebaño llegó a la localidad de Canfranc a las 9:44 horas, aproximadamente (fig. 5). Aquí se retiraron los dispositivos GPS. Este rebaño permaneció en el puerto de Ip hasta el mes de octubre.



Fig. 5. Ovejas cruzando Canfranc por la calle Albareda, el día 24 de junio de 2014.

- Ruta 3: Loscorrales-Zuriza

El dispositivo GPS se les colocó antes de emprender la trashumancia en la explotación ganadera en la que permanecen las ovejas en época invernal, ubicada en las proximidades de Loscorrales (hoya de Huesca). El rebaño partió el jueves 26 de junio de 2014 a las 18:20 horas por la pista de acceso a la explotación en dirección a la carretera comarcal A-132. Antes de llegar al cruce, se desviaron por la pista que discurre paralela a la carretera comarcal hacia el este, hasta llegar a las inmediaciones del polígono industrial de Ayerbe, al lado de la carretera de acceso a la localidad de Fontellas, a las 19:30 horas. Estuvieron pastando en el entorno hasta que se vallaron a las 21:04 horas.

A las 8:39 horas del día siguiente, cruzaron la carretera comarcal A-132, para tomar la cañada real de Fontellas, que va en dirección norte hacia la

localidad de Sarsamarcuello. Para llegar hasta esta localidad tuvieron que cruzar la carretera comarcal A-1206 y, posteriormente, la carretera de acceso a la localidad, la HU-V-3111. Tras una pequeña parada de 45 minutos aquí, las ovejas partieron a las 12:33 horas por el camino que hay al norte de esta y que desemboca en la pista que va a la ermita de San Miguel, adonde las ovejas llegaron a las 13:37 horas. Retomaron la ruta a las 15:51 horas por esta pista y, tras dejar a mano izquierda el desvío que va al mirador de los buitres, tomaron la pista de la derecha que hay en la siguiente bifurcación, que se dirige a Casa Pequera. A partir de ese punto hay una sucesión de bifurcaciones de pistas en las que tomaron la dirección del barranco de Forcallo hasta llegar a la Foz de Escaletes, al sur de la Peña Estación. Desde allí se desviaron hacia el oeste por un camino hasta la carretera de acceso a la localidad de la Peña Estación que conduce a la carretera comarcal A-132 rodeando el embalse de La Peña por su parte sur. Las ovejas fueron encerradas a las 20:14 horas en las inmediaciones de la localidad de Santa María, tras cruzar el embalse de La Peña por el puente.

El sábado partieron a las 10:18 horas por la carretera comarcal A-132 en dirección a Salinas de Jaca. Aproximadamente 1 kilómetro después, a las 10:35 horas hicieron una parada en la margen izquierda de la carretera, hasta retomar de nuevo la ruta a las 12:18 horas. Las ovejas se desviaron, antes de llegar a Salinas de Jaca, por una pista que va hacia el norte en dirección contraria al curso del barranco Paternoy, hasta llegar a las inmediaciones de la pardina Lagé, adonde llegaron a las 13:37 horas. El rebaño retomó la ruta a las 15:51 horas por la pista que sale a mano izquierda en la bifurcación que hay en este paraje, que va en dirección contraria al curso del barranco del Villar. Las ovejas fueron encerradas a las 17:45 horas en los alrededores de la pardina Rompesacos.

El 29 de junio de 2014, el rebaño partió por la pista hacia el oeste a las 9:46 horas hasta llegar al cruce con la carretera comarcal A-132, en el kilómetro 76. Continuaron por la carretera en dirección a Bailo durante aproximadamente 300 metros hasta desviarse por la pista que sale a mano izquierda hacia el oeste. Tras cruzar el cortafuegos, las ovejas tomaron la pista que parte a mano derecha en la bifurcación, en dirección contraria al curso del río Asabón, hacia la pardina Nuevaciercos. El rebaño recorrió esta pista que



Fig. 6. Rebaño pastando en las inmediaciones de la pista de acceso a Longás, el día 29 de junio de 2014.

va en dirección norte hasta llegar al cruce con la pista de acceso a la localidad de Longás, al lado de la pardina Pequera. En este punto, tomaron la pista a Longás y, después de pasar el cortafuegos, fueron encerradas en un campo ubicado a mano izquierda a las 20:04 horas (fig. 6), momento que se aprovechó para cambiar la batería del dispositivo GPS y de esta forma asegurar la toma de datos durante el resto de la ruta.

El lunes, 30 de junio de 2014, a las 9:32 horas, el rebaño retomó la ruta hacia el oeste por la pista que va a Longás durante aproximadamente 2,5 kilómetros hasta llegar al cortafuegos que delimita las provincias de Huesca y Zaragoza. En ese punto, ya en la provincia de Zaragoza, se desviaron por una pista que sale en dirección norte y, tras cruzar de nuevo el cortafuegos, las ovejas llegaron a las 11:31 horas a una zona de intersección de

pistas y el cortafuegos que delimita las provincias de Huesca y Zaragoza, donde hay una pequeña balsa. El resto del día, las ovejas permanecieron pastando en los alrededores hasta que fueron encerradas.

El 1 de julio de 2014, a las 9:34 horas, tomaron la pista de la derecha de las dos que salen en dirección norte, ya de nuevo en la provincia de Huesca. Esta pista antiguamente estaba asfaltada, pero debido a su escaso mantenimiento solo en algún tramo permanece en buenas condiciones. Las ovejas llegaron al cruce con la carretera A-2602, en el punto kilométrico 9 aproximadamente, y se dirigieron hacia Larués por esta carretera durante medio kilómetro hasta desviarse por la pista que sale a mano izquierda hacia el norte en dirección a la ermita de San Peláez y, tras continuar por esta durante varios kilómetros, llegaron a la localidad de Martes. Prosiguieron la ruta por la carretera HU-V-5821 de acceso al pueblo, hasta llegar al puente que cruza el río Aragón a las 15:13 horas. Tras pastar en sus inmediaciones, a las 17:33 horas continuaron por la carretera A-1602 en dirección Berdún. Tras cruzar la carretera nacional N-240, tomaron el desvío hacia esta localidad y continuaron por la carretera en dirección a Biniés; se detuvieron en un campo de las inmediaciones donde pastaron hasta las 19:39 horas, en que fueron encerradas.

El miércoles, las ovejas continuaron por la carretera A-1602 en dirección a Ansó. Tras pasar la localidad de Biniés, la carretera va en dirección contraria al curso del río Veral por la foz de Biniés hasta llegar al kilómetro 33 de la carretera A-176, que va de Hecho a Ansó. Durante este tramo, únicamente hicieron una parada de 3 horas a mitad de recorrido entre Biniés y Santa Lucía. Las ovejas continuaron por esta carretera hasta que se detuvieron en las inmediaciones de Ansó, en su parte este, donde fueron encerradas a las 20:05 horas.

El último día de ruta trashumante fue el jueves 3 de julio de 2014. Las ovejas salieron de Ansó a las 7:07 horas por la carretera HU-V-2024 hacia el norte en dirección a Zuriza. Tras llegar a este paraje, continuaron hacia el refugio de Linza durante 3 kilómetros, aproximadamente, y fueron cercadas en la margen izquierda de la carretera a las 12:20 horas, momento en el que se retiraron los dispositivos GPS. Este rebaño estuvo pastando en las proximidades de Zuriza, en el puerto de Gamueta, hasta principios de noviembre de 2014.

- Ruta 4: Esquedas-Astún

El rebaño partió de la localidad de Esquedas (hoya de Huesca) el viernes, 4 de julio de 2014, a primera hora de la mañana pero los dispositivos GPS se colocaron por la tarde, aprovechando que las ovejas se habían encerrado en un campo ubicado en la margen izquierda de la carretera A-132, concretamente en el kilómetro 22. El rebaño partió a las 17:15 horas por la pista que sale al otro lado de la carretera, la cual hace una semicircunferencia (cruzando la carretera de acceso a la localidad de Esquedas), hasta llegar de nuevo a la carretera nacional. Las ovejas retornaron a la margen izquierda de la carretera para tomar la pista que va paralela a esta en dirección este y que se cruza con el desvío de la explotación de Isidro Ara. Desde este punto, la ruta de los rebaños 3 y 4 es coincidente durante varios kilómetros, concretamente hasta Casa Pequera. Las ovejas continuaron por la pista que discurre paralela a la carretera comarcal hasta llegar a las inmediaciones del polígono industrial de Ayerbe. A continuación cruzaron de nuevo la carretera A-132 para tomar la cañada real de Fontellas, que va en dirección norte hacia la localidad de Sarsamarcuello. El rebaño fue encerrado a las 20:35 horas en una zona de monte ubicada en la margen izquierda de la carretera, antes del cruce con la carretera comarcal A-1206, al este del embalse de las Navas.

El 5 de julio, el rebaño partió a las 7:41 horas en dirección a Sarsamarcuello. Para ello, las ovejas tuvieron que cruzar la carretera comarcal A-1206 y, posteriormente, la carretera HU-V-3111 de acceso a esta localidad. Desde el norte del pueblo, tomaron el sendero que desemboca en la pista de acceso a la ermita de San Miguel, adonde llegaron a las 10:08 horas. Después de hacer un descanso de media hora, las ovejas retomaron la ruta por esta pista y, tras dejar a mano izquierda el desvío que va al mirador de los buitres, tomaron la pista de la derecha que hay en la siguiente bifurcación, que conduce a Casa Pequera. A partir de ese punto, las rutas descritas por los rebaños 3 y 4 dejan de ser coincidentes, ya que en la bifurcación el ganado se desvió por la pista que está a mano derecha conocida como *Camino de las Foces*, hasta llegar a los campos ubicados al sur de Arto Malo, a las 12:12 horas. Retomaron la ruta hacia el norte por el *Camino de las Foces* a las 17:57 horas, hasta llegar a la zona conocida como *El Saso*, campos en los que las ovejas pastaron desde las 18 horas aproximadamente hasta que fueron encerradas.

El domingo partieron a las 8:12 horas hacia el norte por la pista de acceso a El Saso hasta el puente que cruza el río Gállego en el desvío de la carretera de acceso a Rasal. Tras cruzar este puente, el rebaño continuó por la carretera A-1205 en dirección a Jaca, hasta llegar a los alrededores del desvío que conduce a las localidades de Ena y Centenero a las 11:45 horas, en donde hicieron una parada. Las ovejas partieron a las 13:18 horas por la carretera hasta que se desviaron por la pista que sale a mano derecha en el punto kilométrico 24, en dirección a Bernués. Después de recorrer medio kilómetro, el rebaño se desvió por un sendero que sale a mano izquierda, antes de la bifurcación, hasta regresar de nuevo a la pista que les condujo a Bernués. Tras atravesar esta localidad de sur a norte, las ovejas se dirigieron por la carretera de acceso al núcleo hasta el cruce con las carreteras A-1205 y A-1603. Inmediatamente después de tomar la carretera A-1603, que va a Santa Cruz de la Serós, el rebaño se desvió hacia el norte por una pista que sale a mano derecha, en cuyos alrededores se detuvieron a pastar a las 16 horas. A las 16:51 horas, retomaron la ruta por la pista, la cual se estrecha hasta formar un sendero y después se vuelve a ensanchar de nuevo hasta formar la pista que va hasta la pardina de Osán, punto en el que fueron valladas a las 18:41 horas.

Al día siguiente, las ovejas partieron a las 8:46 horas por la pista que hay al norte de la pardina de Osán hasta llegar a una bifurcación, en donde se desviaron a mano izquierda hasta llegar al cruce con un camino que llega a Atarés a las 9:45 horas. Después de hacer una pequeña parada en los campos de los alrededores, retomaron la ruta a las 10:21 horas por la pista que sale en dirección norte hasta el cruce con la carretera A-1205 y con la pista de acceso a las parideras de Sesún, adonde llegaron a las 11:06 horas. El rebaño estuvo pastando en las inmediaciones de esta pista, en el puerto de Oroel, durante el resto del día hasta que fueron valladas a última hora de la tarde.

El martes, 8 de julio de 2015, las ovejas estuvieron pastando durante gran parte del día en las inmediaciones de la zona de pernocta del día anterior (en el puerto de Oroel) y también en los pastos ubicados debajo de la línea eléctrica que está al otro lado de la carretera A-1603, en la margen izquierda. Desde ahí, las ovejas avanzaron a última hora de la tarde hasta tomar la pista que sale a mano derecha de la carretera A-1603 desde Venta

Fontazones, la cual siguieron durante 2 kilómetros aproximadamente hasta que fueron encerradas a las 21:34 horas en un campo ubicado en la margen derecha del cruce de la pista con la carretera A-1603, poco antes del desvío a la pardina Larbesa. Este momento se aprovechó para cambiar la batería del dispositivo GPS para asegurar la toma de datos en el resto de la ruta.

El día siguiente, las ovejas partieron hacia el norte a las 8:09 horas en dirección a Jaca siguiendo la pista por la que habían ido el día anterior, concretamente en dirección a la subestación eléctrica, situada al sur de la localidad. El ganado continuó hacia el norte, ya por terreno asfaltado, para atravesar la localidad de Jaca por las siguientes calles: bajada de los Baños, calle del Coso, avenida Regimiento Galicia, avenida Primer Viernes de Mayo y avenida de Francia. Desde la avenida Regimiento Galicia hasta la localidad de Canfranc, la ruta que describe este rebaño es coincidente con la que describe el rebaño de la ruta 2, anteriormente descrita. Una vez atravesada la localidad, tomaron la cabañera que va a Somport, que alterna tramos de pista en su mayoría, tramos de camino y pequeños tramos urbanos e incluso algún trozo de carretera comarcal. Las ovejas se detuvieron a pasar a las 10:47 horas en las proximidades del río Aragón, antes de llegar a la localidad de Castiello de Jaca. Tras un pequeño descanso, retomaron la ruta a las 11:17 horas por la cabañera que cruza la localidad de Castiello de Jaca por la empinada calle de Santiago y, posteriormente, continuaron por la pista en dirección norte hasta llegar al cruce con la carretera nacional N-330 y con la carretera comarcal HU-V-2201, que va a Aratorés. Desde ahí, continuaron por la carretera comarcal durante 200 metros hasta desviarse por la pista auxiliar del canal que abastece a la central eléctrica de Jaca que posteriormente desemboca en un sendero que conduce hasta la N-330. Una vez cruzada la nacional, las ovejas fueron por la pista que discurre paralela a la carretera por su margen derecha hasta llegar a Villanúa, a las 14 horas. Las ovejas estuvieron pastando en los solares del centro del pueblo, en el camino de la Rambleta, hasta que retomaron de nuevo la ruta a las 15:51 horas hacia el norte por el sendero, que es cabañera, en dirección a Somport hasta llegar a la localidad de Canfranc. A partir de ese punto, las rutas descritas por los rebaños 2 y 4 dejan de ser coincidentes, ya que este ganado no se desvió hacia el puerto de Ip, sino que continuó hacia el puerto de Astún. Desde la localidad de Canfranc, el rebaño fue por la N-330 hasta llegar a un campo ubicado en las proximidades de la gasolinera a las

18:02 horas, donde estuvieron pastando durante aproximadamente una hora hasta que fueron encerradas en un campo para su pernocta.

El último día de ruta trashumante fue el jueves, 10 de julio de 2014. Las ovejas salieron de la gasolinera de Canfranc a las 6:47 horas por la N-330 hacia el norte en dirección a Somport hasta Rioseta. A las 9:23 horas llegaron a un campo al norte del puente del Ruso donde fueron retirados los dispositivos GPS, zona conocida como *Espelungué*, entre las localidades de Canfranc Estación y Astún (fig. 7). Este rebaño pastó en los puertos de Espelungué, Canal Roya y Astún hasta finales de octubre.

En la tabla II y en las figuras 8-11 se resumen los datos y los puntos geográficos más relevantes de las cuatro rutas descritas. En ellas se puede apreciar cómo la ruta 1 es la más exigente tanto por su distancia como por los desniveles acumulados. Probablemente, por este motivo el ganadero comienza antes la trashumancia y realiza dos paradas claras en su recorrido: en los alrededores de Huesca y en las proximidades del embalse de Belsué sumando entre las dos 6 días de reposo.



Fig. 7. Rebaño lamiendo sal en el puerto de Astún.

Tabla II. Datos más relevantes de las cuatro rutas trashumantes.

<i>Rebaño</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Recorrido	Huesca – San Juan de Plan	Lascasas-Canfranc	Loscorrales-Zuriza	Esquedas-Astún
Distancia ruta (metros)	126 375	96 520	108 914	79 761
Distancia recorrida por las ovejas (metros)	243 018	130 590	151 212	112 761
Distancia lineal salida-llegada (metros)	80 750	73 400	72 610	60 890
Fecha de salida	1/6/14	18/6/14	26/6/14	4/7/14
Fecha de llegada	16/6/14	24/6/14	3/7/14	10/7/14
Días en que las ovejas no avanzan por la ruta	6 días	0	0	0
Avance medio diario (metros)	12 638 ^(*)	13 789	13 614	11 394
Altitud de salida (metros)	452	397	568	612
Altitud de llegada (metros)	1154	1058	1294	1466
Desnivel salida-llegada (metros)	702	661	726	854
Altitud máxima (metros)	1442	1352	1308	1467
Altitud mínima (metros)	449	396	527	548
Ascenso acumulado (metros)	4533	2581	4219	2989
Descenso acumulado (metros)	3829	1787	3464	2087

(*) Considerando solo los días de avance.

**Fig. 8.** Perfil longitudinal de la ruta 1: Huesca – San Juan de Plan.

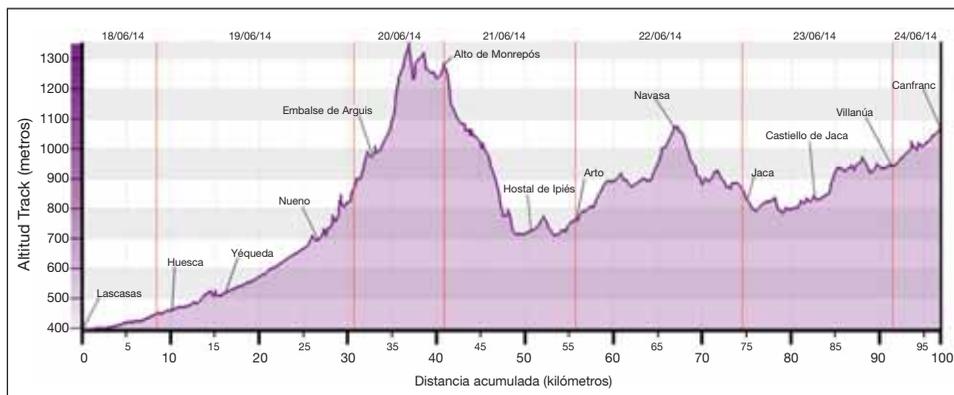


Fig. 9. Perfil longitudinal de la ruta 2: Lascasas-Canfranc.



Fig. 10. Perfil longitudinal de la ruta 3: Loscorrales-Zuriza.



Fig. 11. Perfil longitudinal de la ruta 4: Esqedas-Astún.

Si comparamos la longitud de las rutas trashumantes con las realmente recorridas por el ganado y registradas por los GPS, vemos lógicamente que los segundos valores son siempre mayores. En el caso de la ruta 1 de la comparación resulta que solo el 52% de las longitudes recorridas por el ganado suponen avances reales por la ruta trashumante. Sin embargo, en las rutas 2, 3 y 4 estos porcentajes aumentan y son muy similares: 73,91%, 72,03% y 70,73%, respectivamente. De nuevo estos resultados ponen de manifiesto las particularidades en el manejo del rebaño en la trashumancia de la ruta 1 con sus paradas en buenas zonas de pastos, mientras que en el resto de los ganaderos prima la rapidez en llegar a los pastos de puerto.

En la tabla II son también reseñables las longitudes medias de avance diario que en el caso de la ruta 1 no tiene en cuenta los 6 días de reposo. Las medias se sitúan entre los 11 y los 13 kilómetros diarios, con valores máximos de 27 824 metros en la ruta 1; 21 840 metros en la ruta 2; 22 763 metros en la ruta 3 y 22 821 metros en la ruta 4. La prueba de Kruskal Wallis para comparar los avances diarios entre las cuatro rutas no resultó significativa ($H = 0,839$; $p = 0,840$; $n = 32$ días), por lo que podemos concluir que no existen diferencias entre las medias diarias de avance de cada rebaño.

Viales utilizados

En la figura 12 se representan los porcentajes de los principales tipos de viales recorridos en cada una de las cuatro rutas trashumantes. Se observa en los cuatro casos que los principales viales recorridos son las pistas y las carreteras secundarias por este orden. Normalmente, las primeras son preferibles, por su anchura, por el terreno que pisa el ganado y por la tranquilidad que supone al ganadero la ausencia de tránsito rodado. Además, debemos recordar que el asfalto no es el terreno más idóneo para las ovejas, ya que el tránsito excesivo por estos viales provoca daños en las pezuñas de los animales y cojeras. En los casos estudiados, las pistas suponen por lo menos un 40% de los viales recorridos que, sumados a las carreteras secundarias, alcanzan en torno al 70% de los viales transitados. El resto son senderos, carreteras principales y zonas urbanas por este orden.

Cabe destacar que la ruta 3 (Loscorrales-Zuriza), apenas discurre por senderos, viales que en ocasiones tienen especial dificultad para el tránsito

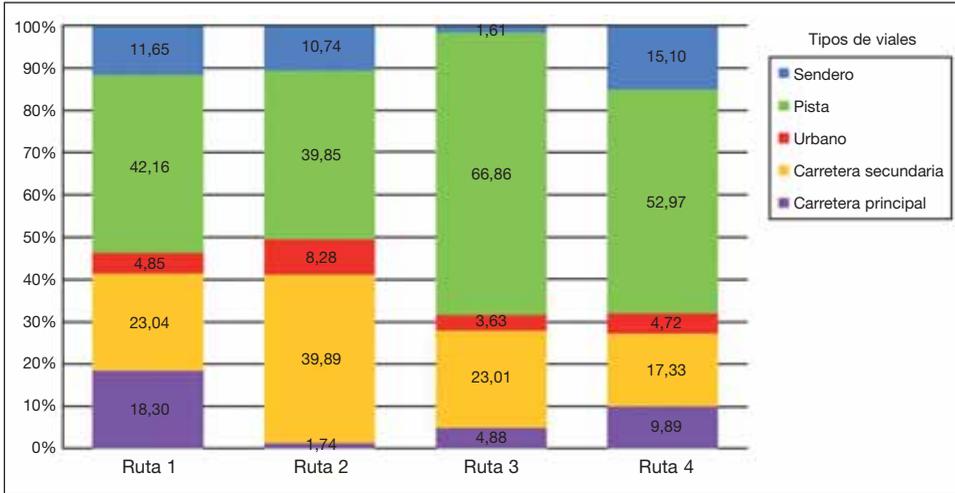


Fig. 12. Porcentajes de los tipos de viales utilizados en cada una de las rutas trashumantes.

del ganado debido a la mala conservación y, sobre todo, a la estrechez de los pasos. Por otro lado, en la ruta 2 (Lascasas-Canfranc), el recorrido no va prácticamente por carretera principal, hecho que facilita la labor a los ganaderos, ya que en este tipo de viales el tránsito de vehículos es elevado y hay que tomar muchas precauciones para regular el tráfico. En la ruta 1, sin embargo, en el penúltimo día de trashumancia, las ovejas realizan un largo recorrido de 19 kilómetros por carretera desde Labuerda al desfiladero de la Inclusa que hace que tengan los máximos en este tipo de vial.

Además, en todas las rutas se realizan pocos kilómetros en núcleos urbanos, aunque hay diferencias entre cada una de ellas, ya que el rebaño n.º 2 cruza dos núcleos de población importantes (Huesca y Jaca), el rebaño n.º 1 y el rebaño n.º 4 solo cruzan uno (Huesca y Jaca, respectivamente) y el rebaño n.º 3 no pasa por ningún núcleo de población de grandes dimensiones. El hecho de cruzar núcleos de población importantes supone una traba para los ganaderos, ya que tienen que avisar con antelación a la Policía Local para que establezca una hora de paso y regule el tráfico durante el paso del ganado.

Comparando las longitudes recorridas por cada rebaño trashumante en cada tipo de vial no encontramos diferencias significativas entre las cuatro rutas ni en lo relativo a las longitudes recorridas por cada tipo de vial (prueba

de Friedman $F = 3,480$; $p = 0,323$; $n = 5$); ni en cuanto a los porcentajes de longitudes recorridas por cada tipo de vial (prueba de Friedman $F = 1,56$; $p = 0,668$; $n = 5$).

Vías pecuarias

En la tabla III se muestran los resultados de las comparaciones entre los recorridos de las cuatro rutas trashumantes y las vías pecuarias registradas en el Servicio Provincial de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. En la ruta 1, el porcentaje de coincidencia es el más bajo, un 42,71%, es decir, que un 57,29% de la longitud recorrida por el rebaño trashumante no está identificada como vía pecuaria por la Administración. El porcentaje más alto de coincidencia lo obtuvimos en la ruta 4, pero a pesar de ello tampoco es un valor alto, no supera el 66%.

Tabla III. Comparación entre las rutas recorridas durante la trashumancia y las vías pecuarias registradas por el Gobierno de Aragón.

<i>Ruta trashumante</i>	<i>Longitud total de la ruta (metros)</i>	<i>Longitud coincidente con vías pecuarias registradas (metros)</i>	<i>Porcentaje de coincidencia (%)</i>
Ruta 1 (Huesca – San Juan de Plan)	126 375	53 980	42,71
Ruta 2 (Lascasas-Canfranc)	96 520	54 768	56,74
Ruta 3 (Loscorrales-Zuriza)	108 914	52 559	48,26
Ruta 4 (Esquedas-Astún)	79 761	52 555	65,89

Los motivos de estos desajustes tan elevados no están muy claros, pero algunas de las causas que pensamos pueden apuntarse son, en primer lugar, que el Servicio Provincial no tiene registradas todas las vías pecuarias existentes, pero también puede haber algún ganadero que desconozca las vías pecuarias tradicionales, o que conociéndolas vaya por rutas alternativas a las originales para ahorrar tiempo o para evitar tramos en los que el tráfico de vehículos es elevado o porque simplemente las vías pecuarias han desaparecido por diferentes causas.

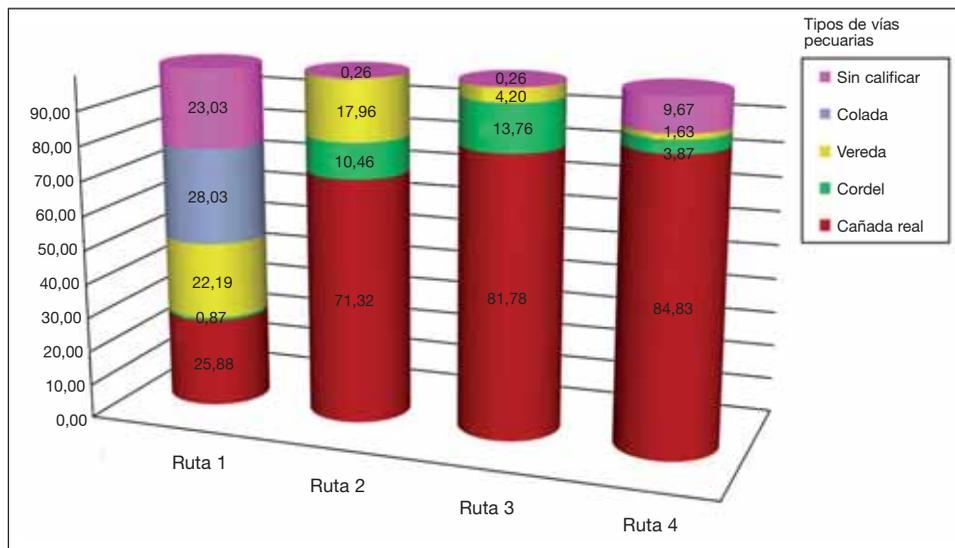


Fig. 13. Porcentajes de los tipos de vías pecuarias en los tramos registrados por la Dirección Provincial de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón en cada ruta trashumante.

En las tramos de ruta coincidentes con las vías pecuarias registradas por la Administración, se realizó una clasificación de estos tipos de vías. Los resultados expresados en porcentajes (%) de tipo de vías pecuarias se representan en el gráfico de la figura 13. En este análisis de nuevo la ruta 1 muestra diferencias con las rutas 2, 3 y 4 que discurrieron en altos porcentajes por cañadas reales (71,32%, 81,78% y 84,83%, respectivamente). En la ruta 1, las vías pecuarias están uniformemente repartidas entre cañadas, veredas, coladas y otras vías sin clasificar.

Debemos recordar que las cañadas son las vías pecuarias de mayor entidad tal y como se manifiesta en la Ley 3/1995 de 23 de marzo, de Vías Pecuarias. La denominación tradicional de *cañadas reales* a las actuales *cañadas* proviene de tiempos de Alfonso X el Sabio que ya reguló en 1273 por edicto real su uso para su preservación. Parece, por lo tanto, lógico pensar que las rutas 2, 3 y 4 serían tradicionalmente más importantes que la ruta 1. Por ejemplo, esta primera ruta tan solo realiza 7583 metros por la cañada real de Abellada y 5012 por la cañada real de Ibirque a Belsué, mientras que en la ruta 2 suma un total de 39,06 kilómetros por cañadas reales (CR) (CR de Huesca, CR del valle de Tena, CR de Jaca, etcétera), la ruta 3 suma

42,98 kilómetros (CR de Ayerbe a Sarsamarcuello, CR de Ansó a Mazandi, etcétera) y la ruta 4 totaliza 44,58 kilómetros por cañadas (CR de Bernués, CR de Jaca, CR de Villanúa, etcétera).

Recursos pascícolas

Se realizó un estudio de la disponibilidad de los recursos pascícolas para los rebaños por las cuatro rutas trashumantes. Para ello, se cruzó la información de los GPS que portaban las ovejas con el mapa de los pastos de monte de Aragón (BARRANTES y cols., 2005). Los resultados se calcularon tanto para los minutos de permanencia dentro de cada unidad de vegetación como para el porcentaje de permanencia sobre el tiempo total. Estos últimos valores se presentan en la tabla IV. En ella podemos observar los porcentajes de tiempo de permanencia del ganado en cada uno de los tipos de pastos. La calidad forrajera de estas unidades de vegetación aparece cuantificada por su valor pastoral obtenido en anteriores trabajos del equipo de investigación ya citados en el apartado «Material y métodos».

Como se observa en la tabla, el ganado transita por distintos tipos de pastos de monte, aunque son reseñables los porcentajes de tiempo sobre los barbechos y rastrojos (entre el 16% y el 48%), especialmente en el Prepireneo donde en la mayoría de los casos es reciente la cosecha del cereal de invierno en las fechas de la trashumancia y son elegidos por los ganaderos para el reposo y las pernoctas del ganado. El pasto de barbecho que está constituido por la vegetación espontánea de las especies que germinan, sean de cultivos anteriores o de malas hierbas, y las rastrojeras con restos de cosecha que quedan en el campo, constituyen unos buenos pastos.

Algunas de las zonas de monte con mayor tiempo de permanencia del ganado según los resultados de la tabla IV albergan interesantes comunidades pascícolas (REINÉ y cols., 2004a y b). Es reseñable, por ejemplo, en los “erizontales prepirenaicos” la presencia de leguminosas como *Anthyllis montana*, *Ononis striata*, *Onobrychis hispanica* y alguna gramínea como *Koeleria vallesiana*. En los “romerales y aliagares prepirenaicos” son interesantes los pastos de *Brachypodium retusum*, *Genista scorpius*, *Thymus vulgaris*, *Dorycnium pentaphyllum*. En el “*Pinus sylvestris* en masas puras y mixtas del Prepireneo” encontramos pastos de gramíneas como *Bromus*

Tabla iv. Tipos de pasto por los que transitaron los rebaños en sus rutas trashumantes, valor pastoral de los mismos y tiempo de permanencia de los rebaños en cada tipo de pasto.

Tipos de pasto	Valor pastoral	Tiempo de permanencia			
		Ruta 1 (%)	Ruta 2 (%)	Ruta 3 (%)	Ruta 4 (%)
<i>Pastos con arbolado denso</i>					
De <i>Pinus sylvestris</i> en masas puras del Pirineo	5,79	1,69	0,27	3,46	0
De <i>Pinus sylvestris</i> en masas puras del Prepirineo	10,4	3,35	1,25	14,29	21,52
De <i>Pinus sylvestris</i> en masas mixtas del Pirineo	2,39	0,17	0,09	0,84	0,11
De <i>Pinus sylvestris</i> en masas mixtas del Prepirineo	3,99	0,48	0,15	0,12	0,12
De <i>Pinus nigra</i> en masas puras	10,68	0,78	0,36	12,55	36,24
De <i>Pinus nigra</i> en masas mixtas	7,46	0,18	0	0	0
De <i>Pinus uncinata</i> del Pirineo	4,53	0	0	0	0,14
De <i>Fagus sylvatica</i> del Pirineo	4,53	0	0	0,62	0,50
De quejigos	8,84	0,15	1,04	0,05	2,58
De ribera	10,04	0,27	0	0	0
<i>Pastos con arbolado ralo</i>					
De <i>Pinus sylvestris</i>	12,43	4,45	9,20	1,13	1,20
De <i>Pinus nigra</i> del Prepirineo	17,34	0,17	0	2,11	0,32
De <i>Quercus ilex</i> del Prepirineo	14,77	0	0,33	7,58	10,98
De quejigos	7,8	0,15	0,99	0,30	0
De ribera	5,25	0,16	0	0,52	0
<i>Pastos arbustivos</i>					
Erizales de alta montaña	12	0,06	0	0	0
Erizales prepirenaicos	13	15,81	24,00	0	0
Enebrales de alta montaña	0,62	5,95	0	0	0
Romerales y aliagares prepirenaicos	10,2	4,69	10,72	5,67	5,78
Coscojares prepirenaicos	7,85	0,06	0	0,33	0,01
De matorrales espinosos con boj prepirenaicos	9,8	0	0,11	7,41	2,36
De la depresión del Ebro (lasto-timo-aliagares)	13,93	0,10	0	0	0
<i>Pastos herbáceos</i>					
De puerto pirenaicos	20,63	0	0	0,70	0,28
De pastizales prepirenaicos	25,58	18,38	0,26	11,75	0,09
<i>Pastos de superficies agrícolas</i>					
Barbechos y rastrojos del Pirineo	20,6	3,61	10,38	0,63	1,54
Barbechos y rastrojos del Prepirineo	20,2	38,10	38,42	27,26	14,45
<i>Superficies no pastables</i>	0	1,25	2,44	2,69	1,77

erectus, *Agrostis capillaris*, *Festuca rubra* y *Brachypodium* sp. Y los “pastizales prepirenaicos” constituyen un mosaico de distintos tipos de pasto con abundancia del muy apreciado por el ovino *Aphyllantes monspeliensis* acompañado de alguna leguminosa como *Anthyllis vulneraria* y gramíneas como *Avenula pratensis* y algunas otra especie de las ya citadas anteriormente.

Para comparar el tiempo de permanencia, tanto en minutos como en porcentajes, que el ganado permanece en cada tipo de vegetación, se realizaron dos análisis no paramétricos de Friedman. El primero de ellos resultó significativo ($F = 11,07$; $p = 0,011$; $n = 27$). El test *post hoc* por pares de Dunn-Bonferroni identificó estas diferencias significativas solamente entre la ruta 1 (Huesca – San Juan de Plan) y la ruta 2 (Lascasas-Canfranc) ($\alpha = 0,944$; $p = 0,043$). Estas rutas, por lo tanto, difieren en el tiempo total de permanencia de las ovejas en cada tipo de vegetación. El resto no. Estos resultados no nos sorprendieron, puesto que mientras en la ruta 1 el ganadero durante la primera semana va pausando mucho el avance reposando días enteros, el segundo no reposa ningún día y es el más rápido. Así mientras el primero totaliza 3922 minutos sobre pastizales prepirenaicos que se encuentran en el momento óptimo de aprovechamiento, el segundo solo está 20,5 minutos de su ruta.

Sin embargo, no hay diferencias significativas entre las cuatro rutas en cuanto a los porcentajes de tiempo de permanencia en cada tipo de vegetación (prueba F de Friedman = 2,318; $p = 0,509$; $n = 27$). Al pasar los resultados a porcentajes se reduce la varianza de los datos y es más difícil obtener diferencias en la prueba de Friedman.

Para analizar la calidad forrajera de los pastos disponibles para los rebaños durante las rutas, se ponderó el valor pastoral de cada tipo de pasto y el tiempo de permanencia; para ello, se multiplicó el valor pastoral por el tiempo de permanencia expresado en tanto por uno. La media de estos valores para la ruta 1 fue de 0,75; para la ruta 2, 0,65; para la ruta 3, también 0,65 y para la ruta 4 la media bajó a 0,50 (en todos los casos $n = 27$). El sumatorio de los 27 valores de cada ruta equivaldría a un hipotético valor pastoral de cada ruta. Estos resultados serían de un 20,03 para la ruta 1; 17,51 para la ruta 2; 17,48 para la ruta 3 y 13,48 para la ruta 4.

Para analizar las posibles diferencias estadísticas entre estas cuatro medias se realizó un test no paramétrico de Kruskal Wallis que resultó ser

no significativo ($H = 1,770$; $n = 108$, $p = 0,621$). Por lo que debemos concluir que pese a la tendencia mostrada a favor del manejo del ganadero de la ruta 1 que parece seleccionar mejores pastos, estadísticamente no podemos afirmar que haya recorridos con mayor calidad forrajera que otros.

CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado un método de seguimiento del ganado mediante GPS adecuado a los objetivos del estudio, obteniendo la trayectoria que recorre el ganado con una alta precisión.
- Se ha descrito la ruta que recorre cada uno de los rebaños durante la trashumancia desde la hoya de Huesca hacia los pastos de puerto del Pirineo, citando las vías pecuarias recorridas y el tipo de vial utilizado, los parajes, las localidades que atraviesa, las zonas de pernocta y los tiempos empleados en los desplazamientos.
- Entre el 26% y el 48% de las distancias recorridas por las ovejas en los distintos trayectos analizados no suponen un avance efectivo por la ruta trashumante, lo invierten las ovejas en buscar alimento fundamentalmente en las zonas de reposo y pernocta.
- La longitud media diaria recorrida por el ganado varía entre los 11,4 kilómetros y los 13,8 kilómetros según ganaderos y ruta trashumante, sin que existan diferencias significativas entre los cuatro rebaños.
- Los viales más comunes en las rutas son las pistas y, en segundo lugar, las carreteras secundarias. Las complicaciones que supone conducir el ganado por carreteras principales, zonas urbanas y senderos, hace que estos tres tipos de viales sean menos utilizados. No existen diferencias significativas entre los tipos de viales utilizados por los cuatro rebaños.
- Comparando las rutas trashumantes que utilizan los ganaderos con las vías pecuarias registradas por la Administración, hay unos rangos de coincidencia bajos, entre el 42% y el 65% según la ruta. Las vías pecuarias recorridas en las rutas 2, 3 y 4 parecen ser tradicionalmente más importantes que las de la ruta 1 (Huesca – San Juan de Plan), ya que las ovejas transitan en esos tres casos mayoritariamente por las cañadas reales, que son las vías pecuarias de mayor entidad.

- Se han clasificado los recursos pascícolas disponibles por cada uno de los rebaños trashumantes durante todo el recorrido realizado por las ovejas durante la trashumancia. El ganado transita por distintos tipos de pastos de monte, fundamentalmente “erizontales prepirenaicos”, “romerales y aliagares prepirenaicos”, “pastos con arbolado de *Pinus sylvestris* en masas puras y mixtas del Prepirineo” y “pastizales prepirenaicos”, aunque son reseñables también los porcentajes de tiempo sobre los barbechos y rastrojos elegidos en ocasiones para el reposo y las pernoctas del ganado.
- Las rutas 1 (Huesca – San Juan de Plan) y la 2 (Lascasas-Canfranc) son significativamente distintas en cuanto al tiempo de permanencia del ganado en cada tipo de vegetación, sin embargo, no hay diferencias significativas entre las cuatro rutas en cuanto a los porcentajes de tiempo de permanencia en cada tipo de vegetación.
- No hay diferencias significativas en la calidad forrajera de los recursos pascícolas disponibles durante el recorrido de los rebaños de cada una de las cuatro rutas trashumantes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los ganaderos trashumantes Ernesto Ferrer, Carlos Orensanz, Isidro Ara y Francisco Garzón su colaboración en la investigación, y a Luis Javier Cruchaga su ayuda en la solución técnica de los dispositivos GPS. The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under the grant agreement n.º 289328 CANTOGETHER.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOURIDIS, C. T., T. S. STOMBAUGH, S. R. WORKMAN, B. K. KOOSTRA, D. R. EDWARDS y E. S. VANZANT (2004). Suitability of a GPS collar for grazing studies. *Transactions of the ASAE*, 47 (4): 1321-1329.
- ANIMUT, G., A. L. GOETSCH, G. E. AIKEN, R. PUCHALA, G. DETWEILER, C. R. KREHBIEL, R. C. MERKEL, T. SAHLU, L. J. DAWSOND, Z. B. JOHNSON y T. A. GIPSON (2005). Grazing behavior and energy expenditure by sheep and goats co-grazing grass / forb pastures at three stocking rates. *Small Ruminant Research*, 59: 191-201.

- ANTÓN, F. J. (2007). Trashumancia y turismo en España. *Cuadernos de Turismo*, 20: 27-54.
- BARRANTES, O., R. REINÉ, J. ASCASO, A. MENDOZA, A. BROCA y C. FERRER (2004). Pastos arbustivos y pastizales del tipo lasto-timo-aliagar de la depresión del Ebro en la provincia de Huesca. Tipificación, cartografía y valoración. En B. García-Criado, A. García-Ciudad, B. R. Vázquez de Aldana e I. Zalbagoeazcoa (eds.), *Pastos y ganadería extensiva*: 601-606. IRNA-CSIC. Salamanca.
- BARRANTES, O., R. REINÉ, A. BROCA, S. GONZALO, J. ASCASO y C. FERRER (2005). Tipificación de los pastos de monte en Aragón. En B. de la Roza, A. Martínez y A. Carballal (eds.), *Producciones agroganaderas: gestión eficiente del medio natural*: 771-776. SERIDA. Asturias.
- BARRANTES, O., R. REINÉ, R. BETRÁN, I. BLASCO, A. OLAIZOLA, J. L. MORA, A. BROCA, E. MANRIQUE y C. FERRER (2015). Uso de recursos pascícolas en una ruta de ovino trashumante con seguimiento mediante GPS, entre el valle del Ebro y el Pirineo de Huesca. En J. Cifré, I. Janer, J. Gulías, J. Jaume y H. Medrano (eds.), *Pastos y forrajes en el siglo XXI*: 293-299. SEEP. Palma de Mallorca.
- DAGET, P., y J. POISSONET (1972). Un procédé d'estimation de la valeur pastorale des pâturages. *Fourrages*, 4: 83-98.
- FERNÁNDEZ-GIMÉNEZ, M. E., y F. FILLAT (2012). Pyrenean Pastoralists Ecological Knowledge: Documentation and Application to Natural Resource Management and Adaptation. *Hum. Ecol.*, 40: 287-300.
- FERRER, C., O. BARRANTES y A. BROCA (2001). La noción de biodiversidad en los ecosistemas pascícolas españoles. *Pastos*, 31 (2): 129-148.
- FILLAT, F. (1980). *De la trashumancia a las nuevas formas de ganadería extensiva. Estudio de los valles de Ansó, Hecho y Benasque*. Memoria de tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid. 571 pp. Inédita.
- GÁLLEGO, L. (1966). Ejemplo de la trashumancia descendente desde Ansó a Barbués. *Publicaciones del Centro Pirenaico de Biología Experimental*, 1 (7): 1-15.
- GIPSON, T. A., T. SAHLU, M. VILLAQUIRAN, S. P. HART, J. JOSEPH, R. C. MERKEL y A. L. GOETSCH (2012). Use of global positioning system collars to monitor spatial-temporal movements of co-grazing goats and sheep and their common guardian dog. *Journal of Applied Animal Research*, 40:4: 354-369.
- GÓMEZ SAL, A., y I. LORENTE (2004). The present status and ecological consequences of transhumance in Spain. En R. H. G. Bunce, M. Pérez-Soba, A. Jongman, A. Gómez Sal, F. Herzog y I. Austad (eds.), *Transhumance and Biodiversity in European Mountains*. Report from the EU-FP5 project Transhumount. IALE Publication Series n.º 1. Alterra. Wageningen (Holanda).
- Ley 3/1995, de 23 de marzo, de Vías Pecuarias. *BOE*, n.º 71, 24 de marzo de 1995.
- Ley 10/2005, de 1 de noviembre, de Vías Pecuarias de Aragón, artículo 6. *BOE*, n.º 139, 23 de noviembre de 2005.

- MAESTRO, M., A. BROCA, O. BARRANTES y C. FERRER (2004). Evaluación de los pastos agrícolas en Aragón. En B. García-Criado, A. García-Ciudad, B. R. Vázquez de Aldana e I. Zalbagogezcoa (eds.), *Pastos y ganadería extensiva*: 597-600. IRNA-CSIC. Salamanca.
- O'FLANAGAN, P., T. LASANTA y M. P. ERREA (2011). Restoration of sheep transhumance in the Ebro Valley, Aragón, Spain. *The Geographical Review*, 101 (4): 556-575.
- OTEROS-ROZAS, E., B. MARTÍN-LÓPEZ, C. LÓPEZ, I. PALOMO y J. A. GONZÁLEZ (2013). Envisioning the future of transhumant pastoralism through participatory scenario planning: a case study in Spain. *The Rangeland Journal*, 35: 251-272.
- PALLARUELO, S. (1993). *Cuadernos de la Trashumancia*, 6. Pirineo aragonés. ICONA. Madrid.
- REINÉ, R., O. BARRANTES, J. ASCASO, A. MENDOZA, A. BROCA y C. FERRER (2004a). Pastos arbustivos de coscojar en la provincia de Huesca. Tipificación, cartografía y valoración. En B. García-Criado, A. García-Ciudad, B. R. Vázquez de Aldana e I. Zalbagogezcoa (eds.), *Pastos y ganadería extensiva*: 619-624. IRNA-CSIC. Salamanca.
- REINÉ, R., O. BARRANTES, J. ASCASO, A. MENDOZA, A. BROCA y C. FERRER (2004b). Pastos arbustivos (erizontales, romerales-aliagares-lastonares y matorrales espinosos con boj) del Prepirineo en la provincia de Huesca. Tipificación, cartografía y valoración. En B. García-Criado, A. García-Ciudad, B. R. Vázquez de Aldana e I. Zalbagogezcoa (eds.), *Pastos y ganadería extensiva*: 625-630. IRNA-CSIC. Salamanca.
- REINÉ, R., O. BARRANTES, J. ASCASO, A. MENDOZA, A. BROCA y C. FERRER (2004c). Pastos arbustivos de alta montaña en la provincia de Huesca. Tipificación, cartografía y valoración. En B. García-Criado, A. García-Ciudad, B. R. Vázquez de Aldana e I. Zalbagogezcoa (eds.), *Pastos y ganadería extensiva*: 631-636. IRNA-CSIC. Salamanca.
- Resolución de 4 de noviembre de 2015, de la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales y de Archivos y Bibliotecas, por la que se incoa expediente de declaración de la Trashumancia como manifestación representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial. *Boletín Oficial de Estado*, núm. 27, de 21 de noviembre de 2015.
- SWAIN, D. L., M. A. FRIEND, G. J. BISHOP-HURLEY, R. N. HANDCOCK y T. WARK (2011). Tracking livestock using global positioning systems –are we still lost? *Animal Production Science*, 51: 167-175.
- Tracking Animals with GPS* (2001). An international conference held at the Macaulay Land Use Research Institute. Aberdeen, 12-13 march 2001.

Lucas Mallada, **18**: 311 a 378
ISSN: 0214-8315, e-ISSN: 2445-060X
<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>
Huesca, 2016

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA RESTAURACIÓN
HIDROLÓGICO-FORESTAL EN LA ATENUACIÓN
DE LOS RIESGOS NATURALES EN LAS CUENCAS DE MONTAÑA:
APLICACIÓN EN EL PIRINEO ARAGONÉS**

Juan Ángel MINTEGUI¹
Santiago FÁBREGAS²
José Carlos ROBREDO¹
Pablo HUELIN¹

RESUMEN.— La gran mayoría de los proyectos de restauración hidrológico-forestal de cuencas de montaña en España se efectuaron hace más de cincuenta años y algunos rebasan el siglo. Son proyectos que se planificaron y ejecutaron para asegurar la viabilidad futura de las actividades en la montaña con un horizonte temporal a largo plazo; exigieron importantes inversiones y causaron profundas transformaciones en el medio. Aunque se alcanzó su principal objetivo, habilitar la montaña, la profunda evolución que ha experimentado la sociedad en el último medio siglo le impide percibir unos logros que inconscientemente disfruta. Esta situación supone un serio riesgo para la conservación del bosque surgido de sus reforestaciones y el mantenimiento de las obras ubicadas en los torrentes para controlar sus crecidas ante aguaceros extraordinarios.

Recepción del original: 24-1-2017

¹ Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid. E-28040 MADRID. juanangel.mintegui@upm.es, josecarlos.robredo@upm.es, pablo.huelin@upm.es

² Director de la Agrupación Europea de Cooperación Territorial (AECT) Espacio Portalet. E-22640 SALLENT DE GÁLLEGO. sfabregas@espalet.eu

Se expone una metodología, basada en criterios científico-técnicos, para analizar la transformación experimentada por la montaña con dichos proyectos en el tiempo y estimar el grado de protección proporcionado por los mismos ante los riesgos naturales mediante: 1) las cubiertas forestales surgidas de las reforestaciones; 2) las obras ejecutadas en sus cauces de drenaje e incluso en sus laderas, cuyo correcto comportamiento está condicionado a la evolución de las reforestaciones, por lo que estas se incluyen en su evaluación, y 3) las sinergias surgidas entre las reforestaciones y las obras de corrección hidráulica a lo largo de la consolidación de los objetivos específicos del proyecto. A modo de ejemplo se aplica la metodología a las cuencas de dos pequeños torrentes, Arratiecho y Arás, situadas en el Pirineo aragonés.

ABSTRACT.— Most of the water and forest restoration projects in mountain basins in Spain were carried out over 50 years ago and some were developed over a century ago. These projects were planned and implemented to secure a long term viability of activities in the mountain. They required important investments and caused deep transformations in the environment. Although they met the main objective of inhabiting the mountain, the evolution of society in the second half of the 20th century has not allowed to value their achievements, nor enjoying them. This put at risk the conservation of reforested forests and the maintenance of works in torrents to control floods in torrential events.

A methodology based on technic-scientific criteria is shown to analyse the transformation experimented by the mountain throughout the years by those projects, and to estimate the level of protection provided against natural hazards through: 1) the extent of the forest arising from reforestations; 2) the works carried out within the watersheds and their drainage courses, whose functioning is affected by the evolution of reforestations and is taken into account; 3) the synergies arising between reforestations and works along the consolidation of the specific objectives of the projects. The methodology is applied to the basin of two little torrents in the Aragonese Pyrenees, Arratiecho and Arás, to serve as an example.

KEY WORDS.— Natural hazards, protective forest, torrential floods, reforestation, torrent control, conservation measures, Aragonese Pyrenees.

ANTECEDENTES

El tiempo es consustancial en los proyectos forestales que impliquen reforestaciones. Si a ello se añade que se trata de proyectos específicos destinados a la protección frente a los peligros naturales de las personas, de sus bienes y de las infraestructuras de la montaña, se les ha presupuesto que reducen la vulnerabilidad ante los mismos conforme se consolidan los diferentes

estadios de las reforestaciones hasta alcanzar el bosque climácico o pseudoclimácico. Si, además, las cubiertas forestales son el resultado de reforestaciones ejecutadas en las áreas dominantes y de mayores pendientes de las cuencas de montaña, donde las precipitaciones son más abundantes, también se ha esperado de ellas que mejoren los ciclos del agua y de los sedimentos en la cuenca, especialmente cuando en ella inciden aguaceros torrenciales. Basados en estos principios en la mayoría de los países del marco alpino europeo (Francia, Suiza, Austria, Italia, Alemania, etcétera), así como en Japón, han desarrollado en el pasado métodos para evaluar la rentabilidad (beneficios *ex ante*) de la restauración hidrológico-forestal (en adelante RH-F) de las cuencas de montaña apoyándose en criterios socioeconómicos. En España también se plantearon este tipo de metodologías utilizando para su valoración indicadores económicos como la relación beneficio / coste o la tasa interna de retorno (TIR); se citan como ejemplos las de AGUILÓ (1976) y GARCÍA ROBREDO (2000). Estos modelos no evalúan específicamente el modo en que inciden las condiciones físicas de la cuenca en la protección de los peligros naturales conforme se consolida el proyecto de RH-F; presuponen que si el proyecto cumple con sus objetivos se alcanza dicha protección.

Una forma diferente de evaluar la efectividad de los proyectos de RH-F en cuencas de montaña es el planteado por SARANDÓN y cols. (2007) en el marco del Proyecto EPIC-FORCE-INCO-CT2004-510739 (BATHURST y cols., 2010) y continuado por MINTEGUI y ROBREDO (2008). Esta metodología relaciona la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones torrenciales extraordinarias en una cuenca, con las condiciones físico-biológicas de la misma en el momento de recibirlas; a su vez, establece una conexión entre las precipitaciones extraordinarias y los efectos geotorrenciales que estas causan en la cuenca, clasificándolas en 1) daños menores, 2) daños mayores, 3) desastres y 4) catástrofes. En la figura 1 la magnitud de una precipitación extraordinaria se representa en el eje de ordenadas, expresada como probabilidad de ocurrencia, y en el eje de las abscisas se representan las condiciones físicas de la cuenca. El espacio comprendido entre ambos ejes queda dividido por las líneas A, B y C en cuatro zonas, que delimitan los cuatro tipos de daños señalados. Las tres rectas paralelas que aparecen perpendicularmente al eje de las abscisas representan: a) la situada a la izquierda, el estado físico de la cuenca antes de ejecutarse en ella los trabajos de RH-F, y b) las situadas en el centro y en la derecha, los estados

físicos de la cuenca tras la ejecución de dichos trabajos y conforme se consolidan sus efectos en ella. La estimación de los beneficios proporcionados por la RH-F queda representada en cada una de las tres rectas normales al eje de las abscisas, por la variación en la longitud de los segmentos que resultan en ellas al interceptar con las líneas A, B y C.

En este artículo se plantea evaluar la atenuación del geodinamismo torrencial en una cuenca de montaña que ha sido objeto de RH-F, respecto a lo que previsiblemente hubiera sido en ella de no haberse restaurado, utilizando de referencia las precipitaciones máximas ocurridas en ella desde que se tienen registros.

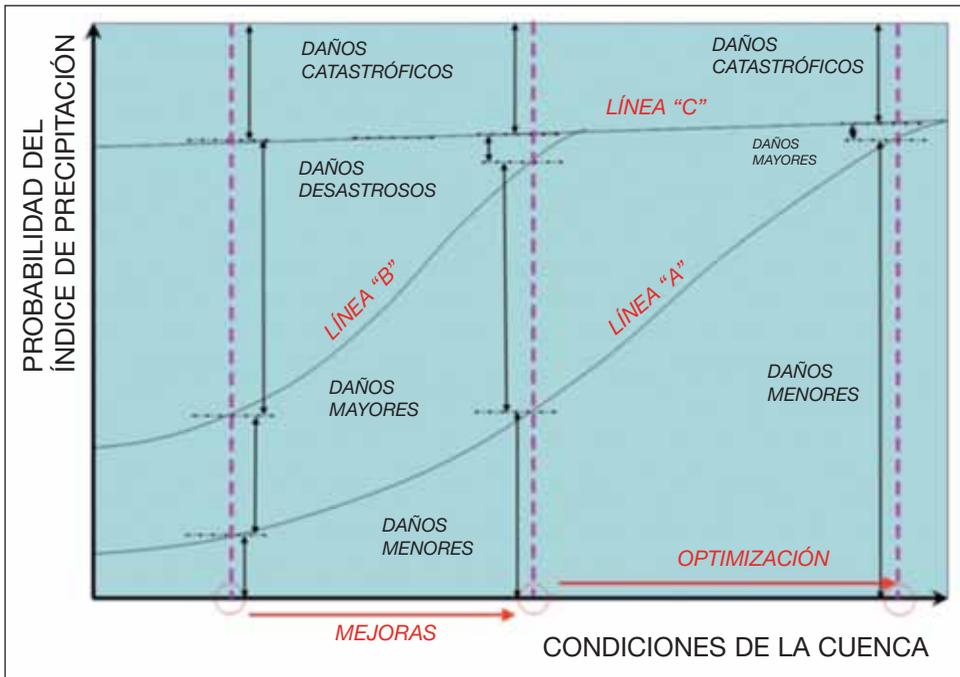


Fig. 1. Representación gráfica de los beneficios que le aporta la restauración hidrológico-forestal a una cuenca vertiente (por la mejora que supone de sus condiciones físico-biológicas) a partir de las tres rectas perpendiculares al eje de las abscisas: a) la de la izquierda representa el estado de la cuenca anterior a la ejecución en ella de los trabajos de restauración; b) las situadas en el centro y en la derecha, los estados físicos de la cuenca tras la ejecución de dichos trabajos, conforme se van consolidando sus efectos en ella. La estimación de los beneficios debidos a la restauración queda representada en dichas rectas, por la variación en la longitud de los segmentos que resultan en ellas al interceptar con las líneas A, B y C.

Para abordarlo se ha recurrido al concepto de *bosque o monte protector* atendiendo a las propiedades físicas de las masas arboladas clasificadas como protectoras. Es la línea que adopta Silva Project, un programa sobre bosques protectores iniciado en 2004 por la Confederación Helvética (LOSEY y WEHRLI, 2013), y el proyecto Interreg III (GAUQUELIN y COURBAUD, 2006; LICINI y PASQUETTAZ, 2006, DE FERRARI y BRUSCHINI, 2006). El texto de REY y cols. (2009) sintetiza los aspectos tratados en el Interreg III relacionados con el comportamiento de los bosques de montaña ante los riesgos naturales, por lo que se ha utilizado de referencia, junto con los *índices de protección del suelo por la vegetación* (GARCÍA NÁJERA, 1954, 1955; LÓPEZ CADENAS DE LLANO y BLANCO CRIADO, 1968), corroborados por GARCÍA DÍAZ y cols. (2002) en una de las líneas desarrolladas en el proyecto FOR-90-1005-C02-01 (SERRADA y cols., 1998).

OBJETIVO

Elaborar como una aproximación con criterios científico-técnicos una metodología, que en adelante se denominará *metodología de monte protector* o simplemente *metodología*, para evaluar la efectividad de los proyectos de RH-F en el control de los peligros naturales y consecuentemente de los riesgos naturales en la montaña, que permita justificar las inversiones necesarias para conservar las cubiertas forestales conseguidas con dichos proyectos y mantener las obras de protección ejecutadas con los mismos.

METODOLOGÍA DE MONTE PROTECTOR Y MODO DE APLICACIÓN EN UNA CUENCA DE MONTAÑA

Metodología de monte protector

La *metodología* propuesta en FÁBREGAS (2015) plantea evaluar los efectos de la RH-F ante los riesgos naturales en la montaña basándose en el concepto de *bosque o monte protector* y considera tres aspectos: 1) la protección que proporcionan las cubiertas forestales, tanto si son de regeneración natural como si proceden de reforestación; 2) la que aportan las obras ejecutadas en los cauces torrenciales y en las cuencas que vierten a ellos, que en el ámbito de la RH-F se vinculan con las reforestaciones, por lo que a estas se les incorpora en su evaluación, y 3) las sinergias que surgen entre

las reforestaciones y de las obras ejecutadas en los cauces y en la cuenca, conforme se consolidan las primeras; que se estiman atendiendo al grado de cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto de RH-F.

Protección que proporcionan las cubiertas forestales

Se asume que el nivel de protección de un tipo de cubierta forestal ante un riesgo natural determinado es función del grado que alcanza dicha cubierta en un baremo de niveles de protección de las cubiertas forestales, que se establece experimentalmente a partir de determinados parámetros que identifican su estructura. Para establecer dicho baremo, cuyo objetivo final es definir las características del monte protector eficaz y sus niveles previos hasta alcanzarlo, se apoya en dos premisas: a) las experiencias realizadas con diferentes tipos de cubiertas forestales en los países del área alpina y en las propias experiencias, y b) el conocimiento físico de las cubiertas forestales que son objeto de la evaluación, que se obtiene mediante su inventario y su correspondiente proyecto de ordenación, con la consiguiente división en rodales. Por tanto, solo es posible aplicar la *metodología* si previamente se conoce el *estado físico de la cubierta forestal* de la cuenca a la que se pretende aplicar. Se asume que la *metodología* constituye una primera aproximación y aborda los cuatro tipos de riesgos naturales característicos en la montaña: 1) crecidas torrenciales, 2) desprendimientos de aludes, 3) caídas de bloques y 4) deslizamientos del terreno (tabla 1), pero en los ejemplos de este artículo se limita a evaluar el primero.

Para estructurar la *metodología* se plantean las tres operaciones siguientes: 1) asignar para cada riesgo natural los parámetros de la cubierta forestal y del medio donde se ubica que se estiman que ejercen mayor control ante dicho riesgo, estableciendo el porcentaje con el que contribuyen cada uno de ellos; 2) ponderar dichos parámetros en función del estado en que se encuentran para intervenir ante el riesgo que se analiza; para lo que se establece un baremo de 1 (mínima incidencia) a 5 (máxima incidencia); esta asignación exige que cada parámetro disponga de su propia escala de desarrollo o de intensidad atendiendo a sus singularidades (por ejemplo, su grado de desarrollo, su evolución, sus dimensiones, etcétera), y 3) volcar el resultado de las dos operaciones anteriores sobre los rodales previamente establecidos con la ordenación de las cubiertas forestales objeto de la evaluación.

Tabla 1. Metodología basada en el concepto de *monte protector* para evaluar los efectos de la restauración hidrográfico-forestal de las cuencas de montaña ante los riesgos naturales.

<i>Motivo y objetivo de la metodología</i>		<i>Actuaciones y resultados de un proyecto de restauración hidrográfico-forestal</i>			<i>Evaluación de la protección de las cuencas ante los riesgos naturales en la montaña conseguidos a través de la restauración hidrográfico-forestal</i>		
		<i>Actuaciones</i>	<i>Resultados</i>	<i>Procedimientos</i>	<i>Criterios</i>	<i>Protecciones parciales debidas a</i>	<i>Efecto final</i>
a) En el pasado se ejecutaron en las cuencas de montaña trabajos y obras para prevenir riesgos naturales.	Trabajos	Reforestaciones.	Cubiertas forestales.	Análisis de los parámetros de las cubiertas forestales que inciden en la protección de la cuenca ante los riesgos naturales (adecuación de las experiencias de proyectos europeos al Pirineo aragonés).	Definición de tipo de unidad protectora (TUP) y tipo de monte protector (TMP).	Las cubiertas forestales ante las crecidas torrenciales. Las cubiertas forestales ante el desprendimiento de aludes. Las cubiertas forestales ante los deslizamientos del terreno. Las cubiertas forestales ante el riesgo de caída de bloques. Las cubiertas forestales ante los riesgos múltiples.	Conforme los trabajos y obras de RH-F se consolidan se deben ir cumpliendo los objetivos del proyecto.
		Estabilización de vertientes con sistematización del terreno e implantación de vegetación leñosa.	Cubiertas forestales.				
b) Se trata de evaluar sus resultados, para justificar las inversiones precisas para mantenerlos en buen estado y con ello garantizar su eficiencia.	Obras	Diques de corrección de torrentes.	Control de las crecidas torrenciales.	a) Analizar el mayor número de eventos torrenciales aleatorios que hayan podido incidir en las obras.	Definición de unidad específica de protección (UEP), siguiendo a REY y cols., 2009).	La mejora del comportamiento del ciclo del agua en la cuenca, cuando en ella inciden eventos torrenciales.	Las obras operan conforme evoluciona la cubierta forestal de la repoblación y se evalúan sus efectos junto con ella.
		Obras de fijación del manto de nieve.	Defensa contra aludes.	b) Analizar el estado que presentan las obras tras los impactos de dichos eventos.		La reducción del número de aludes durante los inviernos. Evitar deslizamientos superficiales. Retención de bloques con el arbolado; con redes u otros tipos de infraestructuras.	
		Actuaciones para estabilizar las laderas.	Reducir las pendientes de las laderas.				
		Medidas de control ante la caída de bloques.	Evitar caídas y retener los bloques.				

Estas operaciones permiten: a) correlacionar cada riesgo con los parámetros de la cubierta forestal y de su medio que contribuyen a su control, de modo que el conjunto de los parámetros represente el efecto global (100%) sobre el riesgo en cuestión desde el punto de vista funcional; b) establecer la intensidad con la que cada parámetro incide ante el riesgo analizado, y c) visualizar en la montaña el efecto protector de las cubiertas forestales a través de los rodales.

Con la *metodología* los rodales mantienen su sentido dasocrático e incorporan una nueva función como unidades que presentan un comportamiento prácticamente uniforme ante el riesgo natural concreto que se analiza a través de ellas; por lo que dentro de su nuevo cometido se les denomina *tipo de unidad protectora*, en lo sucesivo TUP. La *metodología* proporciona un valor cuantitativo determinado a los TUP que oscila entre 100 y 500, aunque en la práctica los valores habituales se sitúan alejados de ambos extremos. La operación 1, que selecciona los parámetros con mayor incidencia en el control del riesgo que se evalúa, eleva dicho valor hasta 100, y la operación 2, que establece la intensidad con la que cada parámetro actúa en función de su estado físico, lo pondera mediante un factor que oscila entre 1 y 5. La protección más baja ante el riesgo analizado queda definida por el valor 100 y la más alta por 500.

En la situación más general, que contempla los cuatro riesgos analizados con la *metodología*, se prevé que esta utilice hasta doce parámetros que son los siguientes: 1) tipo de cubierta vegetal; 2) fracción de cabida cubierta: FCC (%); 3) densidad (número pies/ha); 4) diámetro medio de los árboles: D (cm); 5) altura media de los árboles: H (m); 6) esbeltez (relación altura / diámetro: H/D); 7) área basimétrica ($m^2 \cdot ha^{-1}$); 8) heterogeneidad de la formación o masa forestal; 9) formación principal (para establecer la irregularidad de la masa forestal); 10) vigor de la masa forestal; 11) tipo de suelo y 12) pendiente media del terreno (%). Pero para cada uno de los riesgos analizados en particular utiliza unos parámetros y prescinde de otros. En este artículo se atiende únicamente al riesgo por crecidas torrenciales, por lo que los parámetros utilizados se limitan a los siete siguientes: 1), 2), 3), 8), 9), 11) y 12).

Continuando con la situación general, para establecer las intensidades con las que cada parámetro incide ante el riesgo analizado (operación 2) se ha elaborado la tabla II; que muestra las singularidades de cada parámetro y el

Tabla II. Estados de desarrollo de los parámetros de la cubierta forestal y de su medio que condicionan su incidencia sobre el riesgo natural analizado.

<i>Incidencia de los parámetros de menor a mayor (de arriba abajo en la tabla) en el control de los riesgos naturales</i>					
<i>Tipo de cubierta vegetal</i>	<i>Fracción de cabida cubierta (%)</i>	<i>Densidad (número pies/ha)</i>	<i>Área basimétrica (m²-ha⁻¹)</i>	<i>Tipo de suelo</i>	<i>Pendiente del terreno (%)</i>
Terreno desnudo	< 15	< 250	< 5	Roca – litosuelo	> 70
Prado	15-29	250-499	5-14,9	Suelo superficial	35-70
Pastizal abierto (< 50% cobertura)	30-49	500-999	15-24,9	Suelo poco desarrollado	34,9-12
Pastizal denso (> 50% cobertura)	50-70	1000-1500	25-34,9	Suelo medio de ladera	< 12
Pastizal / Matorral (< 50% matorral)	> 70	> 1500	35-50	Suelo profundo	
Matorral bajo (> 50% matorral; h < 1 m)			> 50		
Matorral alto (> 50% matorral; h > 1 m)					
Bosque muy abierto (FCC < 15%)					
Bosque abierto (15 < FCC < 30%)					
Bosque (30 < FCC < 70%)					
Bosque denso (FCC > 70%)					
Heterogeneidad de la masa forestal	Formación de la masa forestal	Vigor de la masa	Altura media de los árboles (m)	Diámetro medio de los árboles (cm)	Relación altura / diámetro
Masa monoespecífica	Masa coetánea	Muy bajo	< 4	< 4	> 100
Masa monoespecífica con especies acompañantes y abundante matorral	Masa con dos clases de edad	Bajo	4-5,9	4-5,9	100-80
Masa con dos especies principales (coníferas)	Masa con tres clases de edad	Medio	6-9,9	6-9,9	79,9-60
Masa con dos especies principales (conífera + frondosa)	Masa irregular en bosquetes	Alto	10-14,9	10-14,9	59,9-40
Masa muy heterogénea	Masa irregular	Muy alto	15-20	15-20	< 40
			> 20		

modo en que es posible precisar su grado de implicación ante el riesgo analizado. Esta tabla se complementa con la elaboración para la cuenca objeto de estudio de los mapas temáticos de cada uno de los parámetros.

Establecidos los TUP, mediante una integración ponderada de los mismos de tipo cuantitativo, la *metodología* establece cuatro *tipos de montes protectores* (TMP), que los adopta como base para definir la protección de las diferentes cubiertas forestales ante los distintos riesgos naturales analizados. Los rangos entre los que se sitúan los cuatro tipos de TMP son:

- 1) Protección muy buena: $TMP > 350$;
- 2) Protección buena: $350 > TMP > 250$;
- 3) Protección regular: $250 > TMP > 150$, y
- 4) Protección deficiente: $TMP < 150$.

Definidos los TMP, se determinan las superficies que ocupan en la cuenca cada uno de ellos; lo que permite: a) tener localizados geográficamente en la cuenca las superficies con distintos niveles de protección ante el riesgo natural analizado, y b) obtener una media ponderada de la protección de la cuenca ante dicho riesgo natural.

Protección que proporcionan las obras ejecutadas en los cauces y en la propia cuenca

La protección que aportan las obras hidráulicas de corrección se evalúa considerando a las cuencas en las que se ubican como *unidades específicas de corrección* en línea con lo planteado por REY y cols. (2009) y analizando su comportamiento ante el mayor número posible de eventos torrenciales que inciden en ellas. Para ello, se opera con todas las precipitaciones registradas en la estación o estaciones meteorológicas, situadas en la propia cuenca o en su entorno más próximo, de serie histórica más larga y verificando *a posteriori* las incidencias ocurridas en la cuenca en dicho periodo, junto con la evolución temporal de las reforestaciones que se ejecutaron en ella durante su RH-F. Tratándose de periodos de análisis cortos, se puede considerar el estado en que quedan las obras tras cada episodio torrencial, como lo plantean DELL'AGNESSE y cols. (2013). Las razones para operar de este modo se resumen a continuación.

La mayor preocupación de los ingenieros en la planificación y la ejecución de la RH-F de una cuenca de montaña degradada es el control de la carga de sedimentos que las precipitaciones torrenciales pueden proporcionar a los caudales de crecida de los torrentes que drenan por ellas, porque la incorporación de dicha carga sólida a la corriente incrementa en esta su peso específico y su tensión de arrastre, y altera las condiciones de circulación del flujo, pudiéndose modificar las hipótesis con las que se diseñó la corrección hidráulica del curso. Esta cuestión ya fue observada por SURREL (1841), que propuso como solución la repoblación de la cuenca del torrente. Cabe añadir que el incremento de la tensión de arrastre de la corriente puede llegar a afectar a la estabilidad de las laderas que vierten directamente a los torrentes.

Está comprobado que la vegetación leñosa, especialmente la arbórea, regula los ciclos del agua y de los sedimentos en la cuenca vertiente en el transcurso de las precipitaciones torrenciales, reduciendo con ello la carga sólida de la corriente y contribuyendo a la sujeción de las laderas. Como resultado de estos efectos, disminuye también la superficie de inundación en las áreas dominadas de la cuenca y en el volumen de los sedimentos depositados en ellas (MINTEGUI y ROBREDO, 2008). Por ello, en los proyectos de RH-F las reforestaciones se consideran esenciales para asegurar la funcionalidad de las obras de corrección hidráulica y prolongar su vida útil, consolidándose estos efectos conforme evolucionan las reforestaciones. Aunque en este proceso también pueden surgir problemas secundarios que se comentan más adelante.

Protección surgida de las sinergias entre las obras hidráulicas de corrección de los cursos torrenciales y las reforestaciones de sus cuencas vertientes

Para evaluar dichas sinergias mientras se consolida el proyecto de RH-F, se apoya en el grado de cumplimiento de sus principales objetivos, asumiendo que por su propia dinámica los resultados de un proyecto de RH-F se consiguen o se verifican a medio y largo plazo, intervalo en el que pueden surgir distintos imponderables. En cualquier caso, la restauración de las cuencas de montaña no implica la desaparición en ellas de todos los riesgos, sino un control de estos y la consiguiente reducción de sus efectos.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ANTE EL RIESGO DE CRECIDAS TORRENCIALES EN DOS CUENCAS DEL PIRINEO ARAGONÉS

Las dos condiciones ineludibles para poder aplicar la *metodología* son 1) que la cuenca en cuestión haya sido objeto de una RH-F en el pasado, y 2) que se disponga de un conocimiento suficiente del estado actual de sus cubiertas forestales, lo que implica la ordenación de sus masas arboladas y la definición de los rodales en ellas.

Las cuencas elegidas son las de los torrentes de Arratiecho y de Arás, que discurren respectivamente por las márgenes izquierda y derecha del río Gállego en el municipio oscense de Biescas. La corrección de ambos torrentes tuvo su origen en la búsqueda de una solución a los repetidos cortes de la carretera nacional N-260 que atraviesa sus respectivos conos de sedimentación, causados por las continuas crecidas de ambos cursos. Para la cuenca del torrente de Arratiecho se redactó un único proyecto de RH-F, que se ejecutó entre 1903 y 1907. Para la cuenca del torrente de Arás se han redactado tres proyectos de RH-F: el primero se ejecutó entre 1907 y 1912, el segundo entre 1930 y 1964 y el tercero entre 1996 y 2000. Este artículo aborda únicamente los dos primeros; el tercero, junto con un análisis de la catástrofe ocurrida en este torrente la tarde-noche del 7 de agosto de 1996, se analizará en un artículo posterior. Esta separación se debe a que la *metodología* no está especialmente diseñada para analizar acontecimientos aislados, sino el comportamiento de la cuenca en el tiempo y a largo plazo tras la ejecución de su RH-F, en el que suceden crecidas torrenciales tanto extraordinarias como ordinarias, siendo las últimas más frecuentes y, con el paso del tiempo, suelen tener mayor repercusión en la cuenca, aunque esta circunstancia pase desapercibida.

A continuación se describen las dos cuencas que son objeto de aplicación de la *metodología*, y *a posteriori* se concretan las operaciones efectuadas para aplicarla.

Descripción de las dos cuencas objeto de estudio

Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho

Situada muy próxima al núcleo de población de Biescas (fig. 2), morfológicamente es una típica cuenca torrencial de montaña, en la que se diferencian



Fig. 2. Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho. Izquierda: límites de la cuenca, su proximidad al núcleo de población de Biescas y paso por su área dominada de la carretera N-260. Derecha: vista del cono de sedimentación del torrente y del trazado de la N-260 por el mismo, en marzo de 2012.

el área vertiente o de recepción, la garganta y el cono de sedimentación. Tiene una superficie de 1,60 km²; su cota máxima y mínima son 1667 y 860 msnm, respectivamente, y su pendiente media del 52,81%. El torrente tiene una longitud de 2,74 kilómetros y una pendiente media de 0,30 m·m⁻¹. Los suelos predominantes en la cuenca son *flysch* coluviales, pero en su vertiente noreste presenta un pequeño manto de depósitos morrénicos que ocupa unos 0,06 km². Actualmente, toda su área vertiente está prácticamente cubierta por una masa forestal, compuesta básicamente por pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y monte de quejigo (*Quercus faginea*). Las crecidas torrenciales son el riesgo principal en esta cuenca y la carretera N-260, que atraviesa su cono de sedimentación, junto con el área recreativa y los aprovechamientos agropastorales emplazados en dicho cono, son los elementos más expuestos a ellas. En menor medida también afecta a algunas pistas forestales y/o agrícolas y senderos de montaña de la cuenca (FÁBRIGAS y cols., 2011).

Estado físico del torrente de Arratiecho y de su cuenca vertiente al inicio del siglo xx: descripción y justificación de las obras y trabajos realizados en ambos con la RH-F entre 1903 y 1907

A comienzos del siglo xx la cuenca del torrente de Arratiecho estaba prácticamente deforestada y profundamente degradada. Por ello, cada vez

que ocurrían precipitaciones torrenciales, se iniciaba en ella un intenso geodinamismo torrencial ocasionándole: a) una fuerte erosión lineal en su cauce; b) el transporte por las crecidas del torrente de los sedimentos arrancados de su propio lecho, junto con los materiales acumulados en él procedentes de la denudación de la cuenca y su posterior arrastre por las escorrentías de ladera hasta el mismo, y c) la expansión de la corriente y de los sedimentos transportados por ella en su desplazamiento por el cono de sedimentación del torrente. A ello se unía un proceso de erosión generalizado en la cuenca, incluyendo deslizamientos superficiales en su área dominante y en la ladera noreste ocupada por la morrena, causando un paulatino deslizamiento de esta hacia el torrente. En conjunto, la cuenca estaba sometida a una pérdida importante de suelo y apuntaba síntomas de desertificación.

Las situaciones de inestabilidad mencionadas causaban repetidos cortes en la carretera N-260 que atraviesa su cono de sedimentación, aislando a la población de Biescas de los núcleos de población vecinos situados al este, además de provocar múltiples daños en los cultivos y pastizales de sus áreas dominadas (fig. 3).

Ante el escenario expuesto, el ingeniero de montes don Pedro de Ayerbe de la Sexta División Hidrológico-Forestal ubicada operativamente en Huesca redactó el proyecto de corrección del torrente de Arratiecho y, tras su aprobación, dirigió su ejecución entre 1903 y 1907. El proyecto abordó: a) la estabilización de toda la ladera de la vertiente noreste (fig. 4); b) el control

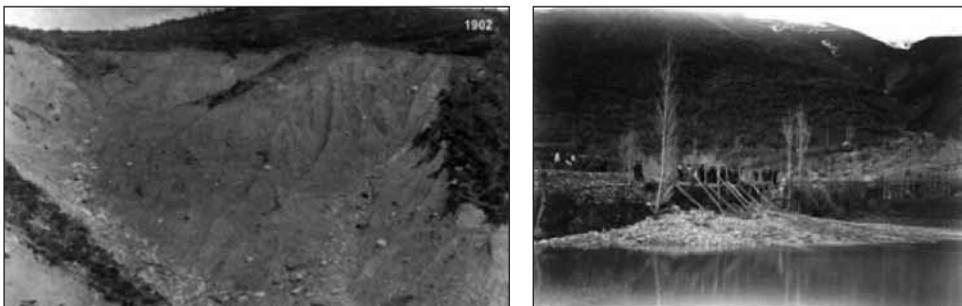


Fig. 3. Cuenca vertiente al barranco de Arratiecho a comienzos del siglo XX.

Izquierda: erosión remontante en la cabecera de la cuenca hacia 1902.

(Fototeca Forestal Española, DGB-INIA, 2004)

Derecha: corte de la carretera N-260 por una crecida del barranco de Arratiecho hacia 1905. (Fotografía de la familia Ayerbe)

de la erosión remontante en el torrente de Arratiecho y en los barrancos secundarios (figs. 5 y 6); c) el control de la erosión superficial en todas las laderas vertientes al mismo mediante reforestación (fig. 5), y d) la evacuación controlada y rápida de los caudales de avenida del torrente de Arratiecho en el tramo de su cono de sedimentación (fig. 7).

Se realizaron obras y trabajos en las tres zonas de la cuenca: 1) área de recepción, 2) garganta y 3) cono de sedimentación.

a) Para estabilizar la ladera noreste de la cuenca se abancaló su perfil, lo que permitió regular las pendientes de los tramos resultantes de la ladera y reforestar las superficies niveladas. De este modo se dotó a la ladera de la pendiente y la permeabilidad adecuadas para dirigir sus escorrentías al



Fig. 4. Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho hacia 1904. Trabajos de estabilización de la ladera noreste por la Sexta División Hidrológico-Forestal. (Izquierda: fotografía de la familia Ayerbe. Derecha: Fototeca Forestal Española, DGB-INIA, 2004)



Fig. 5. Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho hacia 1910. Encauzamiento del cauce principal y obras y trabajos de reforestación realizados en el área de recepción de la cuenca. (Fototeca Forestal Española, DGB-INIA, 2004)

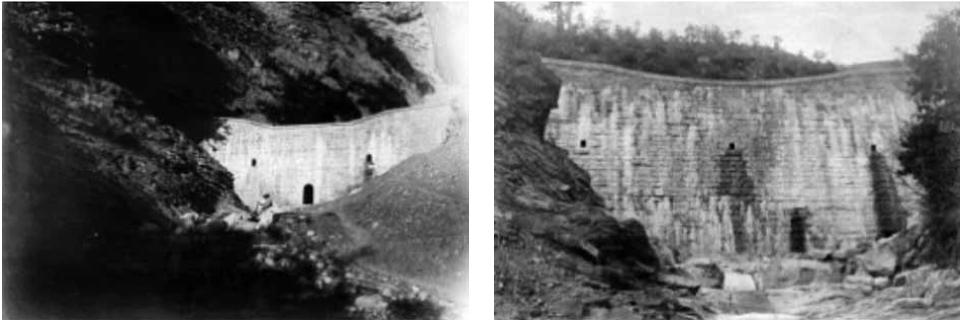


Fig. 6. Diques de mampostería hidráulica de primer orden en la garganta del torrente de Arratiecho hacia 1904. (Fototeca Forestal Española, DGB-INIA, 2004).

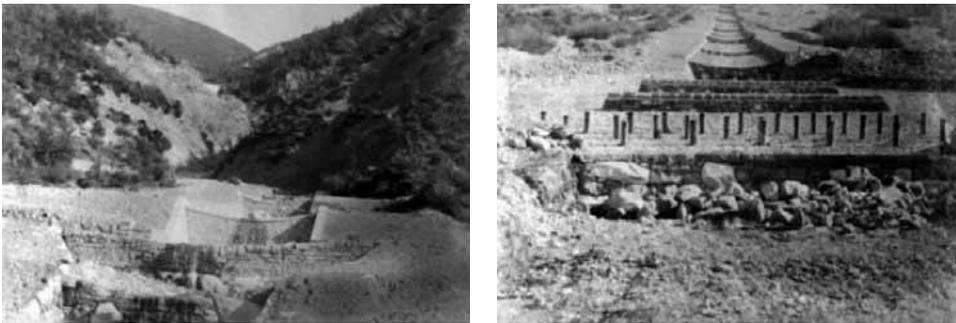


Fig. 7. Encauzamiento del torrente de Arratiecho en su cono de sedimentación para asegurar el servicio de la carretera N-260, hacia 1904. Izquierda: primer tramo, inmediatamente aguas arriba de la carretera N-260. Derecha: segundo tramo, aguas abajo de la misma carretera. (Fototeca Forestal Española, DGB-INIA, 2004)

curso principal, bien directamente o a través de barrancos intermedios afluentes al mismo; en conjunto el sistema de drenaje adoptó el esquema que se conoce como espina de pescado (figs. 4 y 5, imágenes de la derecha). Los muros del abancalado se levantaron con las margas calizas más resistentes del *flysch* de la ladera. Con esta medida, a la vez que se conseguía una evacuación ordenada de los volúmenes de agua disponibles en la cuenca en momentos torrenciales y postorrenciales, se evitaba también la erosión de sus suelos por acción de las escorrentías, que con anterioridad a la ejecución del proyecto circulaban descontroladas ladera abajo.

b) Para controlar la erosión remontante en el torrente de Arratiecho se encauzó su recorrido (desde el inicio de su garganta hasta el final de su cono

de sedimentación) y a lo largo de este encauzamiento se construyeron 70 diques de mampostería hidráulica transversales al cauce (figs. 5, 6 y 7). En julio de 2016, se realizó un levantamiento topográfico a dicho encauzamiento (desde el final de su cono de sedimentación hasta el inicio de su garganta) (PÁRRAGA, 2016), diferenciándose cuatro tramos. El primero de ellos atraviesa el cono de sedimentación del torrente, pero ello se comenta posteriormente en el epígrafe d), los tres restantes corresponden al presente epígrafe. El segundo tramo abarca desde el final de la garganta (fig. 7, imagen izquierda) hasta un gran salto natural del propio curso; tiene una longitud de 205 metros y salva una altura de 45 metros, el canal presenta una anchura constante de 5 metros y en él se sitúan 18 diques transversales, de los que 16 presentan alturas comprendidas entre 1,5 y 3 metros y los dos restantes, considerados de primer orden (fig. 6), tienen alturas de 4 y 6 metros, respectivamente. El tercer tramo está pasado el intervalo del citado salto natural y llega hasta otro gran salto natural del torrente, tiene una anchura constante de 6 metros, una longitud de 164 metros y salva un desnivel de 46 metros; el tramo comienza en un dique de primer orden de 10 metros de altura (posiblemente se corresponda con la imagen central de la figura 6) y tiene otros 20 diques de alturas comprendidas entre 0,5 y 3 metros. El cuarto y último tramo comienza al inicio del segundo gran salto natural y termina al inicio de la garganta, donde existe un dique de cierre de 1,50 metros de altura totalmente cubierto por la vegetación del lugar. La anchura de este tramo es de 5 metros, su longitud de 144 metros y salva un desnivel de 44 metros; además del dique de cierre, tiene otros 13 diques, uno de ellos de primer orden de 6 metros de altura y los restantes diques presentan alturas comprendidas entre 0,6 y 3 metros.

c) Para controlar la erosión superficial en las laderas vertientes al barranco de Arratiecho se llevó a cabo su reforestación, que afectó aproximadamente a un 50% de la cuenca, incluyendo la ladera noreste y todas aquellas superficies directamente asociadas con las obras, por ser vertientes directas a ellas (dicha repoblación se destaca por el color verde en la imagen de la derecha de la figura 2). La especie principal utilizada fue el pino silvestre (*Pinus sylvestris*), pero en las zonas de cotas más bajas se empleó también el quejigo (*Quercus faginea*) y en las márgenes de los cursos de drenaje de la cuenca, especialmente del torrente de Arratiecho, y a los pies de la mayor parte de las obras hidráulicas se introdujeron plantones de aliso (*Alnus glutinosa*) para enriquecer y sujetar los suelos.

La reforestación se planteó para consolidar a lo largo del tiempo la estabilización de las tierras del escenario de la restauración y como herramienta complementaria a las obras hidráulicas de corrección. Con ella se protegían también las áreas dominadas de la cuenca, las de mayor valor agronómico, dedicadas a cultivos y pastizales.

d) Con el encauzamiento mencionado del torrente de Arratiecho en el tramo de su cono de sedimentación, se aseguraba la evacuación controlada y rápida de sus caudales de crecida hacia el río Gállego por su margen izquierda, evitando la expansión y divagación de su corriente por las áreas dominadas de la cuenca que constituyen su cono y garantizando el tránsito en la carretera N-260 a la salida de Biescas hacia las poblaciones de la comarca situadas al este, y la seguridad de las áreas dominadas. En el tramo que se comenta, el encauzamiento está escalonado mediante 17 diques transversales de alturas comprendidas entre 0,5 y 1 metros (fig. 7, imagen derecha); tiene una anchura constante de 5 metros; una longitud de 425 metros y salva un desnivel de 50 metros. La superficie del cono de sedimentación más próxima al canal escalonado también fue objeto de repoblación (fig. 2, imagen derecha).

Cuenca vertiente al torrente de Arás

La cuenca vertiente al torrente de Arás se encuentra algo más alejada del núcleo de población de Biescas (fig. 8), tiene mayor extensión, 19,25 km², e incluye las tres pedanías de Sobremonte: Aso, Yosa y Betés. Es también una típica cuenca torrencial de montaña con su área de recepción, su garganta y un gran cono de sedimentación que ocupa 0,69 km². Su cota máxima y mínima son 2190 msnm (en el pico de Peña Petrus) y 837 msnm (en su afluencia en el río Gállego por su margen derecha); tiene una pendiente media del 46% y morfología ovalo-redonda. El curso principal recibe el nombre de *torrente de Aso* hasta su confluencia con el barranco de Furcos cerca del poblado de Aso; a partir de esta unión toma el nombre de torrente de Arás y tiene dos afluentes principales, el torrente de Betés por la izquierda (con una cuenca de 4,30 km²) y el torrente de la Selva o de Yosa por la derecha (con una cuenca de 2,53 km²), ambos muy torrenciales. La pendiente media del torrente de Arás es de 0,14 m·m⁻¹ y la de sus afluentes 0,18 m·m⁻¹ y 0,17 m·m⁻¹, respectivamente. Geológicamente

la formación predominante en la cuenca es un *flysch* del Eoceno, constituido por una alternancia de capas de areniscas y margas; pero una parte de su superficie, que incluye a su divisoria meridional en la zona de garganta, está constituida por una capa de morrena muy erosionable de origen glaciar, capaz de proporcionar al torrente un caudal sólido muy importante durante las crecidas. Según NICOLÁS (2001) la cubierta vegetal de esta cuenca presenta un 42% de arbolado; un 14% de matorrales puros o mezclados con arbolado; un 20% de prados y cultivos y un 24% de pastizales de montaña y roca desnuda.

El principal riesgo natural en esta cuenca son las crecidas del torrente de Arás. También existen zonas de aludes en su cabecera y deslizamientos, asociados sobre todo a las laderas vertientes a los cauces, así como desprendimientos de bloques, pero sus impactos son menos importantes. El elemento más directamente expuesto en la cuenca es la carretera N-260 que corta al cono de sedimentación del torrente de Arás. Indirectamente resultan afectados el entorno agrícola de los núcleos de Aso y Yosa y el propio núcleo de Betés, y algunas pistas forestales y/o agrícolas (FÁBREGAS, 2011).



Fig. 8. Cuenca vertiente al torrente de Arás. Izquierda: representación tridimensional de la cuenca en la que se aprecia a la derecha la población de Biescas y el paso de la carretera N-260 por el cono de sedimentación del torrente. Derecha: vista de la cuenca en abril de 1998, en primer término aparece el cono de sedimentación con su primitivo canal escalonado que se dirige desde el centro hacia la izquierda de la fotografía; en el centro la garganta del torrente y al fondo parte del área de recepción de la cuenca. (Fuente: NICOLÁS, 2001)

Estado físico del torrente de Arás y de su cuenca vertiente a comienzos del siglo XX: descripción y justificación de las obras y trabajos de RH-F ejecutados en ellos entre 1907 y 1964

MARRACO (1999) se refiere al pasado del torrente en los siguientes términos:

el torrente Arás cortaba varias veces al año la carretera de acceso al valle de Tena, al punto que el coche de línea de la Hispano-Tensina disponía, debidamente guardados al borde del torrente, de unas barras de madera con enganches para acoplar a los radios de las ruedas, que los pasajeros detenidos por la riada empleaban a modo de andas para alzar y transportar a hombros el autobús al otro lado del torrente y seguir el viaje [fig. 9, imagen izquierda]. Las obras de corrección tropezaron siempre con la existencia de tres pueblos, Aso, Yosa y Betés —el Sobremonte— extendidos sobre un llano cultivable, imposible de repoblar sin afectar a su supervivencia, que forma la mayor parte de la cuenca de recepción, constituida por una morrena glaciar lateral desbordante hacia el río Aurín, de forma que la garganta del Arás, que la corta en el desagüe, aparece como un caos de material inestable.

NICOLÁS (2001), refiriéndose a una publicación del Cuerpo Nacional de Ingenieros de Montes de 1909, comenta:

aunque fuera posible que a finales del siglo XIX se ejecutaran algunas correcciones para paliar los daños causados por el torrente de Arás; la solución integral del problema mediante el encauzamiento del torrente y la RH-F de su cuenca vertiente no se aborda hasta el año 1907, cuando la Administración encarga a don Pedro de Ayerbe la redacción y posterior ejecución del primero de los tres proyectos de RH-F llevados a cabo en el torrente de Arás, al que se estima que se dedicó hasta 1912.



Fig. 9. Izquierda: cruce del torrente de Arás en su cono de sedimentación durante una de sus crecidas anuales hacia 1910. Derecha: tramo medio del torrente de Arás antes de su corrección hacia 1930. (Fotografías de la familia Ayerbe)



Fig. 10. Dos vistas del torrente de Arás hacia 1910. Izquierda: dique de cierre al final de la garganta del torrente. (Fototeca Forestal Española, DGB-INIA, 2004) Derecha: obras en el canal escalonado que atraviesa el cono de sedimentación del torrente. (Fotografía de la familia Ayerbe)

La filosofía adoptada fue la clásica: a) se inició ejecutando los trabajos hidráulicos de corrección del torrente de Arás, para resolver o al menos paliar los problemas causados por sus desbordamientos en el cono de sedimentación, y b) se simultanearon los trabajos citados con la restauración de su cuenca alimentadora, tratando de sujetar las laderas vertientes al torrente mediante una cubierta forestal apropiada, para reducir la emisión de caudal sólido al torrente durante sus crecidas y facilitar con ello la evacuación de su corriente hacia el río Gállego. Documentos de la época señalan que para el año 1908 estaba construido un gran dique de cierre al final de la garganta del torrente de 8,40 metros de altura desde sus cimientos y una anchura variable entre sus márgenes desde 27 a 49,9 metros (fig. 10, imagen izquierda).

Su vertedero tenía forma trapezoidal de 17 metros de longitud media y 1 metro de altura, suficiente para evacuar los caudales aforados hasta la fecha. La obra se completaba con un contradique de doble escalón, para que la corriente, tras pasar por el vertedero, laminara su energía antes de entrar en el canal escalonado de evacuación proyectado aguas abajo del dique. Este canal de 1300 metros atravesaba todo el cono de sedimentación del torrente en línea de máxima pendiente, permitiendo la descarga de los caudales de crecida del torrente de Arás directamente al río Gállego (fig. 10, imagen derecha), evitando con ello los cortes de la carretera a Francia y Panticosa (la actual N-260), y asegurando al mismo tiempo los cultivos y pastizales de

la zona. Los documentos de la época señalan que para el año 1911 estaban contruidos 1000 metros de canal que, además de resolver la evacuación de los caudales de avenida en el lugar, se estimaba que se habían recuperado unas 15 hectáreas del cono de sedimentación del torrente para cultivos o pastizales.

Las obras efectuadas en el torrente de Arás y los trabajos de reforestación ejecutados en su cuenca vertiente entre 1907 y 1912, aportaron en su momento una solución satisfactoria a los problemas del paraje que se comenta; pero no los resolvieron de un modo definitivo, debido al comportamiento intensamente torrencial del Arás que exigía un seguimiento y mantenimiento permanente del mismo, en ocasiones inasumible por la falta de un presupuesto adecuado.

Según NICOLÁS (2001) no se conocen los acontecimientos que ocurrieron en los años posteriores, pero cuando en 1930 el ingeniero de montes don Mariano Borderas redacta un nuevo proyecto, en cumplimiento de la Real Orden de 12 de abril de 1929, el panorama debía ser de nuevo desolador según se desprende de su memoria, en la que refiriéndose al cono de sedimentación del torrente de Arás expone: “antiguamente emplazamiento de las mejores huertas de Biescas y en la actualidad invadidas por las gravas y materiales procedentes del torrente, lo mismo que la carretera a Francia que en un trayecto de 1300 metros permanece cortada e interrumpido el tránsito durante una gran parte del año”. El nuevo proyecto mostraba una idea bastante precisa de la situación y en el plano levantado al canal de evacuación aparecían dos discontinuidades: una hacia la mitad de unos 35 metros y otra de unos 115 metros aguas abajo del dique de cierre. Además, su longitud desde el dique de cierre hasta la entrega de los caudales de avenida al río Gállego medía 1085 metros; por lo que la cifra de 1300 metros del proyecto anterior podía incluir las obras de consolidación de la garganta del torrente en 215 metros.

El autor definió el estado de la garganta del torrente de preocupante y en su nuevo proyecto propuso para ella 11 diques de consolidación, de alturas de entre 4 y 8,5 metros sobre los cimientos y con sus correspondientes contradiques, ubicándose los dos superiores aguas arriba de la confluencia del torrente de Betés, a la altura de la población de Yosa. Para su diseño y cálculo adoptó un caudal de crecida (de proyecto) de $125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, valiéndose para

ello de las observaciones hechas en distintos puntos del cauce tras la tormenta del 11 de junio de 1929, la mayor que se recordaba hasta entonces, que registró 50,1 milímetros en hora y media. Asimismo, para sujetar las laderas de la garganta, propuso realizar enfagados, palizadas y muretes, de altura inferior a 2 metros siguiendo curvas de nivel. En los intervalos entre los muretes se colocarían las barreras vegetales, constituidas por entrelazados de ramas entre piquetes clavados por lo menos 0,5 metros en el terreno. Proyectó un total de 25 000 m³ de mampostería mixta para muretes y 30 kilómetros de barreras vegetales.

En el capítulo de las reforestaciones, el autor estimó la superficie disponible para las repoblaciones y pastos en 850 hectáreas, de las que consideró necesario destinar a pastos 350, para cubrir las necesidades de la población del lugar; asimismo, describió el estado de las repoblaciones ejecutadas en la etapa del proyecto anterior, como masas interrumpidas de *Pinus sylvestris*, medianamente conformadas y de escasa altura, mezcladas con especies arbóreas secundarias como el roble, el quejigo y el haya; que es lo que cabría esperar por el tiempo que había transcurrido.

El año siguiente, 1931, los servicios centrales de la Administración le ordenan la ampliación del proyecto, incluyendo: 1) la solución para el cruce del canal de desagüe con la carretera, 2) un historial del torrente con los daños causados por las avenidas, y 3) un estudio de los pastos, con la intención de repoblar la cabecera de la cuenca del torrente al máximo compatible con la economía de los pueblos afectados. En realidad, la ampliación ocultaba una adecuación del proyecto a las disposiciones presupuestarias y a la planificación del nuevo trazado de la carretera a su paso por el cono de sedimentación del Arás. El autor respondió a las tres cuestiones planteadas y acomodó el proyecto a las circunstancias que el momento exigía: a) mantuvo la reconstrucción de los dos tramos del canal de evacuación que estaban deteriorados; b) redujo a cuatro los diques de consolidación a construir en el tramo de garganta del torrente de Arás, los imprescindibles para poder estabilizarlo, todos ellos aguas arriba de las obras ya construidas a continuación del dique de cierre y aguas abajo de la confluencia en el mismo del torrente de Betés; c) se iniciaron los trabajos de sujeción de las laderas vertientes a la garganta con enfagadas, palizadas y muretes, y, por último, d) se reforestaron las primeras hectáreas de las 500 destinadas a tal fin.

En los años siguientes, el proyecto continuó, adecuándose a las sucesivas reformas pertinentes (figs. 11 y 12), hasta que en 1964 un documento de la Jefatura Regional del Ebro del Patrimonio Forestal del Estado (PFE)

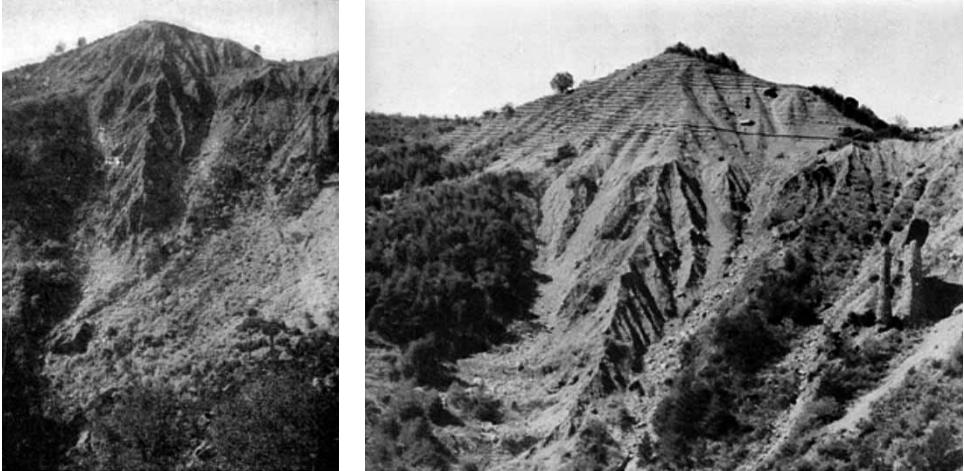


Fig. 11. Trabajos de restauración hidrológico-forestal de la garganta de la cuenca del torrente de Arás hacia 1963. (Fototeca Forestal Española, DGB-INIA, 2004)



Fig. 12. Trabajos de estabilización del tramo de garganta del torrente de Arás. Izquierda: ejecución de fajinas para sujetar la morrera en la garganta del torrente a mediados del siglo pasado. (Fotografía de la familia Ayerbe) Derecha: imagen de 1963 que muestra una visión completa de las obras de sujeción del lecho del torrente, con diques de consolidación y fijación de sus laderas vertientes directas mediante fajinas y reforestación. (Fototeca Forestal Española, DGB-INIA, 2004)

dio por terminados los trabajos en varios torrentes, entre ellos en el Arás; aunque años más tarde entre 1975 y 1980 el ICONA (organismo al que en 1973 le fueron transferidas las competencias del PFE) llevó a cabo reparaciones de algunas obras del torrente. En el vuelo americano de 1957 se puede distinguir que las obras de corrección se aproximaban a la confluencia de los tres torrentes (Arás, Betés y de la Selva) y que la carretera N-260 estaba en obras.

Resumen de las obras y trabajos ejecutados con los dos primeros proyectos de RH-F en el torrente de Arás y en su cuenca vertiente (1907-1964)

Se enumeran a continuación las obras y trabajos realizados entre 1907 y 1964 (NICOLÁS, 2001):

a) En el *cono de sedimentación*, un encauzamiento recto a lo largo de su generatriz superior (fig. 13), con el propósito de evitar que las crecidas divaguen; formado por 32 escalones de longitudes de entre 12 y 40 metros y alturas de entre 1 y 2 metros, con disipadores en cada escalón y encajonados entre dos muros laterales; salvando una longitud de 785 metros y un desnivel de 50 metros. Al vertedero final de entrega de los caudales de avenida al río Gállego se le dotó de una cota de 4,5 metros, para favorecer la afluencia de las crecidas al río. Se señala también que al inicio del encauzamiento, coincidiendo con el segundo escalón aguas abajo del gran dique de cierre, el encauzamiento disponía de un vertedero lateral para evacuar los caudales



Fig. 13. Dos vistas del canal escalonado de tramos erosionables en el cono de sedimentación del torrente de Arás. Izquierda: 1963. Derecha: 1993. (Fototeca Forestal Española, DGB-INIA, 2004)

sobrantes. Entre el inicio del encauzamiento y el gran dique de cierre, se dispusieron 10 estructuras transversales de 2 a 3,5 metros de altura, distanciadas entre 12 y 26 metros y unidas entre sí por muros longitudinales en un tramo de 170 metros, salvando un desnivel de 35 metros, que finaliza en el contradique del gran dique de cierre.

b) En el tramo de la *garganta* del torrente se distinguen tres secciones: inferior, media y superior.

b.1) En la sección inferior, inmediatamente aguas arriba del dique de cierre, se construyeron 17 obras transversales de consolidación del lecho y márgenes del torrente, entre diques de primero y segundo orden, de alturas comprendidas entre 7 y 1,5 metros y separados entre sí entre 10 y 25 metros, cubriendo una longitud de 270 metros y un desnivel de 50 metros. Los diques se conectaron entre sí por muretes longitudinales. Estas obras pertenecen al periodo cuya dirección correspondió a don Pedro de Ayerbe.

b.2) En la sección media de la garganta, aguas arriba de la anterior pero por debajo del torrente de Betés, se construyeron 18 obras transversales también de consolidación del lecho y márgenes del torrente, de las que 8 se consideran diques de primer orden, dos de segundo orden y el resto como contradiques. Sus alturas oscilan entre 2 y 9 metros, según la categoría de la obra, y estas presentan una separación mayor entre ellas, llegando hasta los 125 metros. Como en el tramo anterior, los diques se conectaron entre sí por muros longitudinales, cubriendo una longitud de 600 metros y salvando un desnivel de 110 metros.

b.3) En la sección superior del tramo de garganta, aguas arriba de la afluencia del torrente de Betés en el torrente de Arás, se construyeron dos diques, al pie de la ladera donde se ubica el pueblo de Yosa y tres diques más de altura reducida en el torrente de Aso, aguas arriba de los dos primeros, para fijar el perfil longitudinal del torrente.

c) En lo que respecta a los dos tributarios al torrente de Arás, en el de Yosa se construyeron los dos diques proyectados por Mariano Borderas y en el de Betés no se llegó a construir ninguno, a pesar de que estaba proyectado un dique de cierre. Además, se realizaron trabajos de drenaje para evitar un corrimiento de fondo detectado en la ladera derecha del torrente de Arás sobre la que se asienta el pueblo de Yosa.

d) Asimismo, se finalizó la reforestación de las 500 hectáreas proyectadas y se realizaron trabajos de sujeción de las laderas vertientes directas al torrente mediante faginas y muretes, seguidas de revegetaciones. La magnitud y la duración del proyecto exigieron la ejecución de diversas obras auxiliares, como caminos forestales, refugios y almacenes.

Resumiendo, los dos primeros proyectos de RH-F del torrente de Arás y su cuenca vertiente comprenden el periodo 1907-1964, siendo los responsables de su dirección, además de los citados don Pedro de Ayerbe y don Mariano Borderas, los ingenieros de montes don José María de Ayerbe (hijo de don Pedro) que se hizo cargo a partir de 1947, don Jaime Jordán de Urriés y don José María Ruiz Tapiador.

Las actuaciones realizadas consiguieron regular las crecidas del torrente de Arás, evitando los cortes periódicos en la carretera N-260 durante los inviernos. Al comienzo de la década de los setenta, el torrente se consideraba definitivamente corregido, algo que también sucedía en los años veinte, según se desprende de las informaciones de que se dispone de aquella época. La RH-F de la cuenca del torrente de Arás despertó interés entre los expertos en corrección de torrentes y en los años previos a la tormenta del 7 de agosto de 1996 fue visitado por varias delegaciones; la última la del Grupo de Ordenación de Cuencas de Montaña de la Comisión Forestal Europea de la FAO en julio de 1994.

Operaciones previas a la aplicación de la metodología en las cuencas vertientes a los torrentes de Arratiecho y Arás

La descripción de las operaciones se inicia con las que se refieren a las cubiertas forestales, para continuar con las que afectan a las obras ejecutadas en los cauces y en la propia cuenca, y finalizar con las sinergias surgidas entre ambas.

Operaciones para evaluar el efecto protector de las cubiertas forestales

Se ha indicado anteriormente que en relación con las cubiertas forestales la *metodología* establece tres condiciones: 1) la caracterización de su estado físico, en este caso el de las cuencas vertientes a los torrentes de

Arratiecho y Arás; 2) la asignación de los parámetros representativos de dichas cubiertas y de su medio que inciden en el control de las crecidas torrenciales, y 3) la ponderación de la incidencia de los parámetros que han sido asignados ante el riesgo que se analiza.

Caracterización del estado físico de las cubiertas forestales de las cuencas a las que se aplica la metodología

Para llevarlo a cabo FÁBREGAS y cols. (2011) realizaron las operaciones que en orden cronológico y agrupadas en cuatro fases se describen a continuación.

a) En la primera fase, utilizando la escala 1 : 5000, abordaron las siguientes tareas: a₁) la topografía, incluyendo un modelo digital del terreno (MDT); a₂) la generación de los mapas de pendientes y orientaciones; a₃) la realización de un mapa litológico a partir de la información geológica disponible en la Comunidad Autónoma de Aragón, y a₄) un trabajo con ortofotografías para el análisis de la vegetación, especialmente de las masas forestales, así como también para inventariar las obras de ingeniería para el control de los riesgos naturales y los diferentes elementos expuestos a estos últimos. Las tres tareas siguientes se realizaron mediante fotointerpretación y consistieron en a₅) una caracterización preliminar de los tipos de cubiertas forestales; a₆) un mapa de ubicación de las obras de protección contra riesgos naturales en la montaña, para establecer en una primera aproximación los objetivos que defienden, y a₇) la delimitación de las posibles zonas de peligro ante los diferentes tipos de riesgos.

b) En la segunda fase se realizó un trabajo de campo, que incluyó las tareas siguientes: b₁) la elaboración de un inventario forestal, atendiendo a los diferentes parámetros utilizados en la predefinición en gabinete de los diferentes tipos de cubiertas forestales, llevando a cabo las rectificaciones que procediesen tras su comprobación *in situ*; b₂) un análisis y evaluación de las áreas de riesgo significativas para los diferentes tipos de fenómenos adversos, diferenciando en ellas las zonas de salida, de recorrido y de anegación y depósito de los flujos y de los materiales desplazados, observando y anotando las evidencias sobre el terreno, para corroborar la existencia de un peligro dado, su ubicación e intensidad, y b₃) una recopilación cualitativa

de la constancia histórica de los eventos relacionados con los riesgos naturales analizados y de los elementos expuestos a ellos, que hubieran sido o hubieran podido ser alcanzados. Dicha constancia histórica incluyó la de tipo documental o escrita, oral y/o visual, pero la investigación se limitó a constatar la información histórica.

c) La tercera fase consistió en un trabajo de procesado de los datos de campo y la comparación con los datos previos obtenidos en gabinete, que implicó las siguientes operaciones: c₁) la corrección y/o modificación de los errores en el trabajo de caracterización de los escenarios en cuestión; c₂) el replanteo de los puntos significativos localizados en el terreno; c₃) la división de las cubiertas forestales a partir de los datos previos de la fotointerpretación, corroborados con los datos del inventario de campo tras el reconocimiento en el terreno, y c₄) la estimación de una división previa en tipologías de cubiertas protectoras, atendiendo a criterios dasocráticos.

d) En la cuarta fase se elaboraron las cartografías temáticas de los parámetros que permitían ser cartografiados y definen el estado físico de los escenarios de trabajo y, consecuentemente, contribuyen a determinar el grado de protección de esos mismos ante los riesgos naturales.

Asignación de los parámetros representativos de las cubiertas forestales y de su medio que intervienen en el control de las crecidas torrenciales

Caracterizado el estado físico actual de las cubiertas forestales de las cuencas vertientes a los torrentes de Arratiecho y Arás, para establecer sus parámetros representativos y de su medio que inciden en el control de las crecidas torrenciales, se utilizaron de referencia los criterios sintetizados en la tabla III (REY y cols., 2009), que analiza la incidencia de las cubiertas forestales en el ciclo del agua y en la estabilidad del suelo, por considerarlos estructuralmente lógicos y comprobados experimentalmente. La tabla III centra la protección de las cubiertas forestales en sus distintas tipologías o formaciones y, en lo que se refiere a la estabilidad del suelo, pone el énfasis en la reducción del efecto salpicadura, es decir, de la erosión del suelo por impacto de las gotas de lluvia. Por ello, se consideró conveniente utilizar también los *índices de protección del suelo por la vegetación* (tabla IV) de LÓPEZ CADENAS DE LLANO y BLANCO CRIADO (1968), que fundamentan la

protección del suelo por las cubiertas forestales en la contribución de estas a la reducción de la capacidad de la lámina de escorrentía para erosionar y arrastrar el suelo en una ladera; los *índices* incorporan también al análisis situaciones de suelos cultivados y dan mayor significado a la pendiente del terreno. En la selección de los parámetros a incorporar en la *metodología* se tuvo en cuenta el contenido de ambas tablas.

Además, se incorporó un factor discriminante f en los TUP asociados a los barrancos y torrenteras a fin de atender al efecto de la vegetación específica

Tabla III. Efectos de las cubiertas forestales en la regulación del ciclo del agua y en la defensa del suelo frente a la erosión hídrica y su repercusión en las crecidas torrenciales (REY y cols., 2009).

	<i>El papel positivo del bosque y de la vegetación</i>	<i>Consecuencias en las crecidas torrenciales y en la erosión del suelo</i>	<i>Factores a considerar en la matriz crecidas torrenciales</i>
Sobre el ciclo del agua	Intercepción de una parte del agua de lluvia.	Disminución de la escorrentía superficial del agua.	Tipos de cubierta forestal arbolada con abundancia de todos los estratos de la vegetación en > 70% de la superficie de la cuenca.
	Retraso en la fusión del manto de nieve.		
	Aumento de la infiltración del agua en el suelo.	Disminución de la frecuencia e intensidad de las crecidas o avenidas torrenciales.	Presencia de numerosos estratos de la vegetación y diversidad de especies.
	Retorno de una parte del agua del suelo a la atmósfera por evapotranspiración.		Abundancia de formaciones arbóreas de ribera en las zonas próximas a los cursos de agua.
Sobre la estabilidad del suelo	Disminución de la energía cinética de las gotas de lluvia.	Reducción del efecto salpicadura (erosión del suelo por impacto de las gotas de lluvia).	Tipos de cubierta forestal arbolada con abundancia de todos los estratos de la vegetación en > 70% de la superficie de la cuenca.
	Moderación de los intervalos de temperatura diaria.	Reducción de la disgregación en las rocas.	
	Mejora de la cohesión del suelo y reforzamiento de sus propiedades.	Sujeción de suelos.	Presencia de numerosos estratos de la vegetación y diversidad de especies.
	Captura y retención de los sedimentos erosionados aguas arriba.	Disminución de la cantidad de sedimentos emitidos por las cuencas vertientes.	Cubierta vegetal > 30% arbustiva y herbácea en barrancos y torrenteras, incluido en sus lechos.

Tabla iv. Índices de protección del suelo por la vegetación de LÓPEZ CADENAS DE LLANO y BLANCO CRIADO (1968).

<i>Tipo de vegetación</i>	<i>Estado de la vegetación</i>	<i>Pendiente del terreno</i>	<i>Índices de protección</i>
Forestal	Masas arboladas densas (cabida cubierta $\geq 0,7$).	Cualquiera	1
	Masas arboladas de cabida cubierta $< 0,7$ con sustrato arbustivo o herbáceo no degradado.		1
	Masas arboladas de cabida cubierta $< 0,7$ con sustrato arbustivo o herbáceo degradado.	3 (*)	0,4
		2 (*)	0,8
		1 (*)	1
	Vegetación arbustiva no degradada.	Cualquiera	1
	Vegetación arbustiva degradada.	3	0,2
		2	0,6
		1	0,8
	Pastizales bien conservados.	$< 30 \%$	0,9
$> 30 \%$		0,6	
Pastizales degradados.	Cualquiera	0,3	
Agrícola	Cultivos agrícolas sin prácticas de conservación de suelos.	3	0
		2	0,5
		1	0,9
	Cultivos agrícolas con prácticas de conservación de suelos.	3	0,3
		2 y 1	1
No productivo	Terrenos desnudos.	3	0
		2	0,5
		1	0,9

(*) 1) Pendiente inferior al de *iniciación de la erosión* ($< 12\%$); 2) pendiente comprendida entre la *iniciación de la erosión* y el *arrastré total* ($12\% < p < 24\%$), y 3) pendiente superior a la de *arrastré total* ($> 24\%$).

en los mismos; para este factor se adoptaron los valores siguientes: a) vegetación de ribera abundante: $f = 1,0$; b) vegetación de ribera suficiente: $f = 0,7$; c) vegetación de ribera insuficiente: $f = 0,3$. Por supuesto, esta vegetación en ningún momento debe suponer un obstáculo para la descarga de las crecidas torrenciales, sino una protección para sus márgenes y lechos.

El resultado se muestra en la tabla v, con cuyo contenido se preconfiguran los TUP atendiendo a los parámetros que intervienen y en la proporción que lo hacen. Para la configuración definitiva posterior, se requiere

Tabla v. Parámetros de las cubiertas forestales y del medio en el que se ubican seleccionados en la *metodología* por su incidencia en el riesgo de las crecidas torrenciales y sus correspondientes porcentajes de intervención.

<i>Factores</i>	<i>Porcentaje</i>
1) Tipo de cubierta vegetal	10
2) Fracción de cabida cubierta: FCC (%)	25
3) Densidad (número pies/ha)	10
8) Heterogeneidad de la formación o masa forestal	15
9) Formación (irregularidad de la masa forestal)	15
11) Tipo de suelo	10
12) Pendiente media del terreno (%)	15
Conjunto de todos los factores	100

considerar la intensidad con la que intervienen los parámetros, dependiendo del grado de su desarrollo.

Ponderación de la intensidad con la que inciden los parámetros asignados ante el riesgo de crecidas torrenciales

Para esta operación se elaboraron previamente los mapas temáticos correspondientes a los parámetros asignados en el apartado anterior para ambas cuencas de Arratiecho y Arás. A continuación se realizó una ponderación inicial de las clases definidas en dichos mapas siguiendo el baremo de 1 a 5 (tabla VI). Por último, se determinó un índice de ponderación medio para cada uno de los TUP preconfigurados en la operación anterior. El producto de estos últimos por sus índices de ponderación medios proporcionaron los valores de los TUP definitivos.

Operaciones para evaluar el efecto protector de las obras hidráulicas de corrección ejecutadas en los cauces y en las laderas que vierten directas a los torrentes

Para analizar la protección aportada por las obras de corrección hidráulica tanto en la cuenca del torrente de Arratiecho como en la del de Arás, se analizaron todas las precipitaciones en 24 horas registradas en las estaciones meteorológicas: Biescas E I A (código 9454; periodo operativo 1927-1980)

Tabla vi. Índices de ponderación de los parámetros seleccionados como representativos de las cubiertas forestales y de su medio ante el riesgo de crecidas torrenciales, atendiendo a su grado de desarrollo, magnitudes u otras circunstancias específicas de los mismos.

Parámetros representativos							Índice de ponderación
Tipo de cubierta vegetal	Fracción de cubierta cubierta (%)	Densidad (número pies/ha)	Heterogeneidad de la masa forestal	Formación de la masa forestal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno (%)	
Terreno desnudo.	< 15	< 250	Masa monoespecífica.	Masa coetánea.	Roca-litosuelo.	< 70	1
a) Prado b) Pastizal abierto (< 50% cobertura) c) Pastizal denso (> 50% cobertura)	15-29	250-499	Masa monoespecífica con especies acompañantes y abundante matorral.	Masa con dos clases de edad.	Suelo superficial.	35-70	2
a) Pastizal / Matorral abierto (< 50% matorral) b) Matorral bajo (> 50% matorral; h < 1 m) c) Bosque muy abierto (FCC < 15%)	30-49	500-999	Masa con dos especies principales (coníferas).	Masa con tres clases de edad.	Suelo poco desarrollado.	34-12	3
a) Matorral alto (> 50% matorral; h > 1 m) b) Bosque abierto (15 < FCC < 30%) c) Bosque (30 < FCC < 70%)	50-70	1000-1500	Masa con dos especies principales (conífera + frondosa).	Masa irregular en bosquetes.	Suelo medio de ladera.	< 12	4
Bosque denso (FCC > 70%)	> 70	> 1500	Masa muy heterogénea.	Masa irregular.	Suelo profundo.	< 12	5

y Biescas Central II (código 9454 A; periodo operativo 1971-2012), por ser las más próximas a ambas cuencas y con el periodo de registro de datos más prolongado. De todos estos valores, en los gráficos superiores de las figuras 14, 15 y 16 se representan las precipitaciones máximas en 24 horas de cada año: $P_{\text{máx. 24 horas de cada año}}$ (mm) con rombos azules; pero se operó con todos los valores. En las figuras mencionadas, aparece un tramo (acotado por dos líneas perpendiculares al eje de las abscisas) que corresponde al periodo 1971-1980, en el que se solapan las precipitaciones registradas en las dos estaciones. Las precipitaciones que aparecen en dicho tramo son la media de las registradas en cada una de las estaciones, que cabe indicar que son valores muy próximos.

A continuación, utilizando el método del número de curva (NC), se estimaron las escorrentías directas asociadas a todas las precipitaciones diarias. Se planteó un procedimiento sistemático de cálculo de las escorrentías para todas las precipitaciones diarias utilizando los números de curva (NC = 95, NC = 80 y NC = 60); seleccionándose a continuación los mayores valores de cada año: $Q_{\text{máx. de cada año}}$ (mm) asociados con las $P_{\text{máx. 24 horas de cada año}}$ (mm). En el gráfico superior de las figuras 14, 15 y 16 se muestran con triángulos verdes.

A posteriori se determinaron los caudales punta específicos q_{ps} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) asociados a las escorrentías definidas en el párrafo anterior $Q_{\text{máx. de cada año}}$ (mm), representados por cuadrados marrones en las figuras 14, 15 y 16.

Los valores de q_{ps} que aparecen en las figuras mencionadas se han obtenido dividiendo los caudales punta q_p ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) determinados para la cuenca del torrente de Arratiecho por la superficie de esta. Se podrían haber obtenido a partir de los caudales punta de la cuenca del torrente de Arás y, en este caso, los valores de q_{ps} diferirían ligeramente, porque en el cálculo de los caudales punta interviene el tiempo de concentración y cada cuenca tiene el suyo; pero para el análisis planteado en la práctica las diferencias son poco significativas.

En los gráficos inferiores de las figuras 14, 15 y 16 se muestra en azul la *curva de precipitaciones diarias clasificada* correspondiente al registro histórico 1927-2012, así como el rango de escorrentías correspondientes a las precipitaciones (que se señala en marrón) en función de a) del NC (NC = 95, en la figura 14; NC = 80, en la figura 15, y NC = 60 en la figura 16) y b) el estado de humedad del suelo en el momento de la precipitación, aplicando al respecto las condiciones I, II y III que establece el procedimiento del NC.

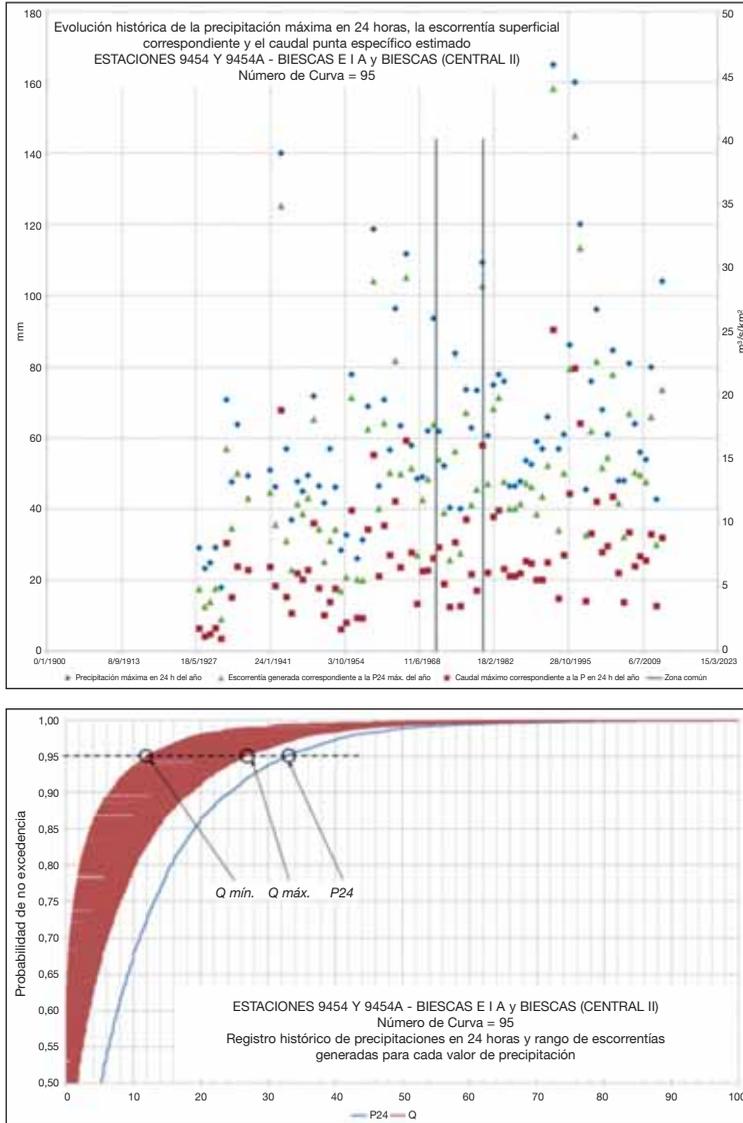


Fig. 14. Gráfico superior: precipitaciones máximas anuales (rombos); escorrentías directas máximas anuales (triángulos) con NC = 95; caudales máximos específicos anuales (cuadrados), para los datos registrados en las estaciones de Biescas E I A (código 9454) y Biescas Central II (código 9454A) en el periodo 1927-2012 y $t_c = 0,81$ horas (que corresponde a la cuenca del torrente de Arratiecho). Gráfico inferior: registro histórico de la precipitación en 24 horas (*curva de precipitaciones diarias clasificada*) y rangos de escorrentías generadas para cada valor de precipitación, dependiendo del NC y de las condiciones de humedad del suelo en cada momento.

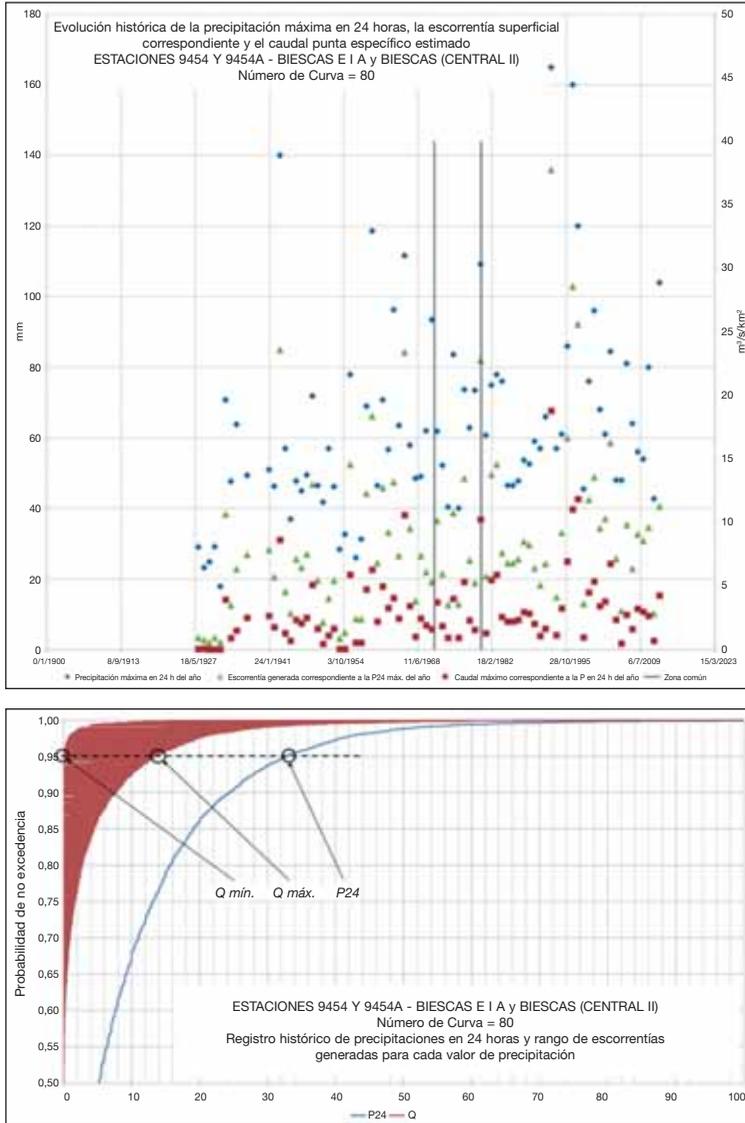


Fig. 15. Gráfico superior: precipitaciones máximas anuales (rombos); escorrentías directas máximas anuales (triángulos) con $NC = 80$; caudales máximos específicos anuales (cuadrados), para los datos registrados en las estaciones de Biescas E I A (código 9454) y Biescas Central II (código 9454A) en el periodo 1927-2012 y $t_c = 0,81$ horas (que corresponde a la cuenca del torrente de Arratiecho). Gráfico inferior: registro histórico de la precipitación en 24 horas (*curva de precipitaciones diarias clasificada*) y rangos de escorrentías generadas para cada valor de precipitación, dependiendo del NC y de las condiciones de humedad del suelo en cada momento.

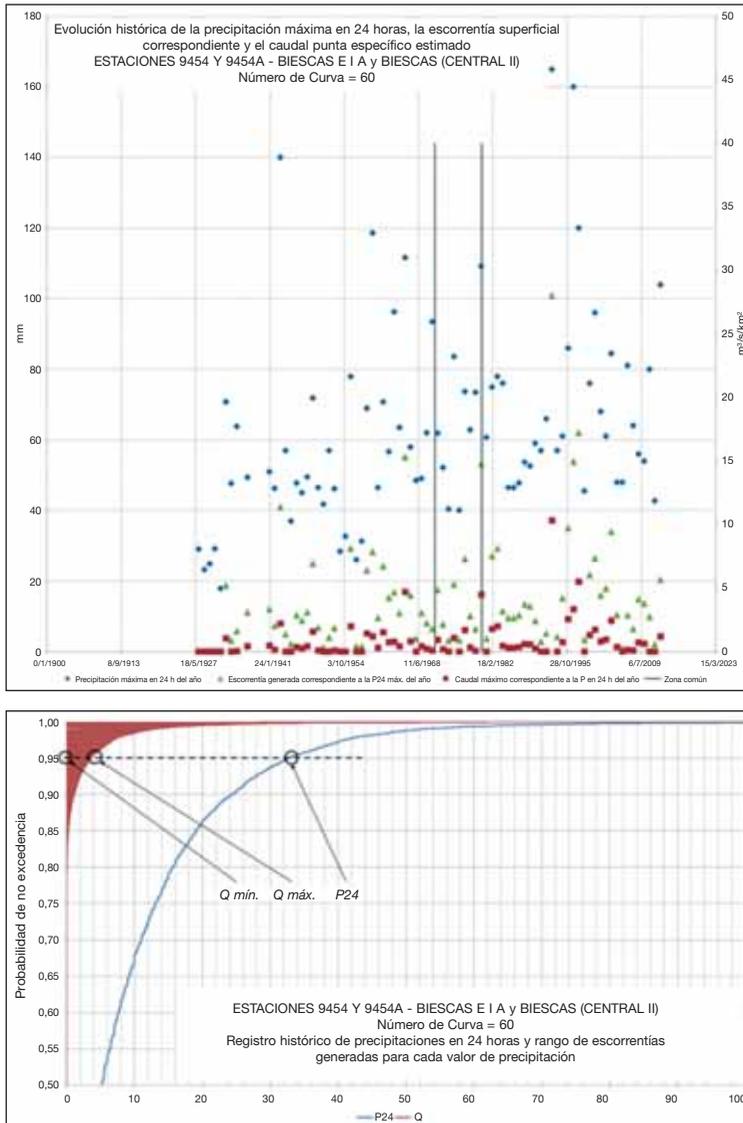


Fig. 16. Gráfico superior: precipitaciones máximas anuales (rombos); escorrentías directas máximas anuales (triángulos) con NC = 60; caudales máximos específicos anuales (cuadrados), para los datos registrados en las estaciones de Biescas E I A (código 9454) y Biescas Central II (código 9454A) en el periodo 1927-2012 y $t_c = 0,81$ horas (que corresponde a la cuenca del torrente de Arratiecho). Gráfico inferior: registro histórico de la precipitación en 24 horas (*curva de precipitaciones diarias clasificada*) y rangos de escorrentías generadas para cada valor de precipitación, dependiendo del NC y de las condiciones de humedad del suelo en cada momento.

Para el cálculo previo de los caudales punta de avenida q_p ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) se utilizó la *fórmula racional* modificada por TÉMEZ (1978), que establece la ecuación siguiente:

$$q_p = 1,2 \frac{C \cdot I_t \cdot A}{3,6}$$

Siendo:

q_p , el caudal punta ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

C , el coeficiente de escorrentía, que el autor define por la ecuación:

$$C = \frac{(P_{24} - P_0) - (P_{24} + 23P_0)}{(P_{24} + 11P_0)^2}$$

Los términos que aparecen en esta última ecuación representan:

P_{24} , la precipitación máxima en 24 horas (mm)

$P_0' = k \cdot P_0$ para $k = 2,5$ (coeficiente regional para el Pirineo)

$$S = \frac{25400}{NC} - 254$$

I_t , la intensidad de la lluvia en el tiempo de concentración t_c . Témez establece la fórmula siguiente para su obtención:

$$t_c = 0,3 \left[\frac{L}{j^{0,25}} \right]^{0,76}$$

Siendo:

L , la longitud del torrente en kilómetros;

j , su pendiente en $\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$

A , la superficie de la cuenca (km^2)

La adopción de estas ecuaciones para el cálculo de los caudales de crecida se justifica: a) porque son las que se han utilizado de un modo habitual en las obras de los diferentes servicios de la Administración española en las últimas décadas, por tanto, asumiendo el coeficiente de seguridad propio en ingeniería, se tiene una experiencia contrastada de su adecuación a los fenómenos reales, y b) porque la investigación que se comenta tiene un carácter marcadamente finalista, se centra en valores medios y abarca el periodo más largo posible; por tanto, su precisión hay que adecuarla al rango de certidumbre de los datos que se manejan y sin perder de vista los

objetivos planteados. Evidentemente, la creación de una red de mediciones en ambos torrentes sería lo deseable para aforar las futuras crecidas, pero es fundamental que dicha red se pueda perpetuar en el tiempo.

En el apartado de “Resultados” se completa la información anterior aportando los caudales punta estimados q_p ($m^3 \cdot s^{-1}$) en las secciones de salida de las cuencas de los torrentes de Arratiecho y de Arás, para las situaciones hidrológicas de ambas cuencas que se consideran más probables en los momentos en que tuvieron lugar las precipitaciones utilizadas en las simulaciones, es decir, utilizando los NC más ajustados en cada caso (tabla IX).

RESULTADOS

Resultados alcanzados con la metodología relacionados con protección de las cubiertas forestales

Se inicia este apartado con la exposición de unas imágenes del estado físico de las cuencas de los torrentes de Arratiecho (figs. 17a, b y c) y de Arás (figs. 18a y b) del año 2011 y posteriores. También se adjuntan los mapas de las cubiertas forestales de ambas cuencas en el año 2011; del torrente de Arratiecho (fig. 19) y de la del torrente de Arás (fig. 20).

Cuenca del torrente de Arratiecho

La aplicación de la *metodología* para evaluar el riesgo ante las crecidas torrenciales a la cuenca del torrente de Arratiecho proporcionó 22 TUP (fig. 21); que en la tabla VII se muestran agrupados en cada una de las cuatro clases de tipos de montes protectores (TMP), cuya distribución espacial se muestra en la figura 22.

Tabla VII. Distribución de los 22 TUP de la cuenca vertiente al torrente de Arratiecho en las cuatro clases de TPM.

<i>Capacidad de protección ante las crecidas torrenciales</i>	<i>Número de TUP</i>
Muy buena $TMP > 350$	11
Buena ($250 < TMP < 350$)	5
Regular ($150 < TMP < 250$)	2
Deficiente < 150	4

TUP: tipo de unidad protectora; TMP: tipo de monte protector.

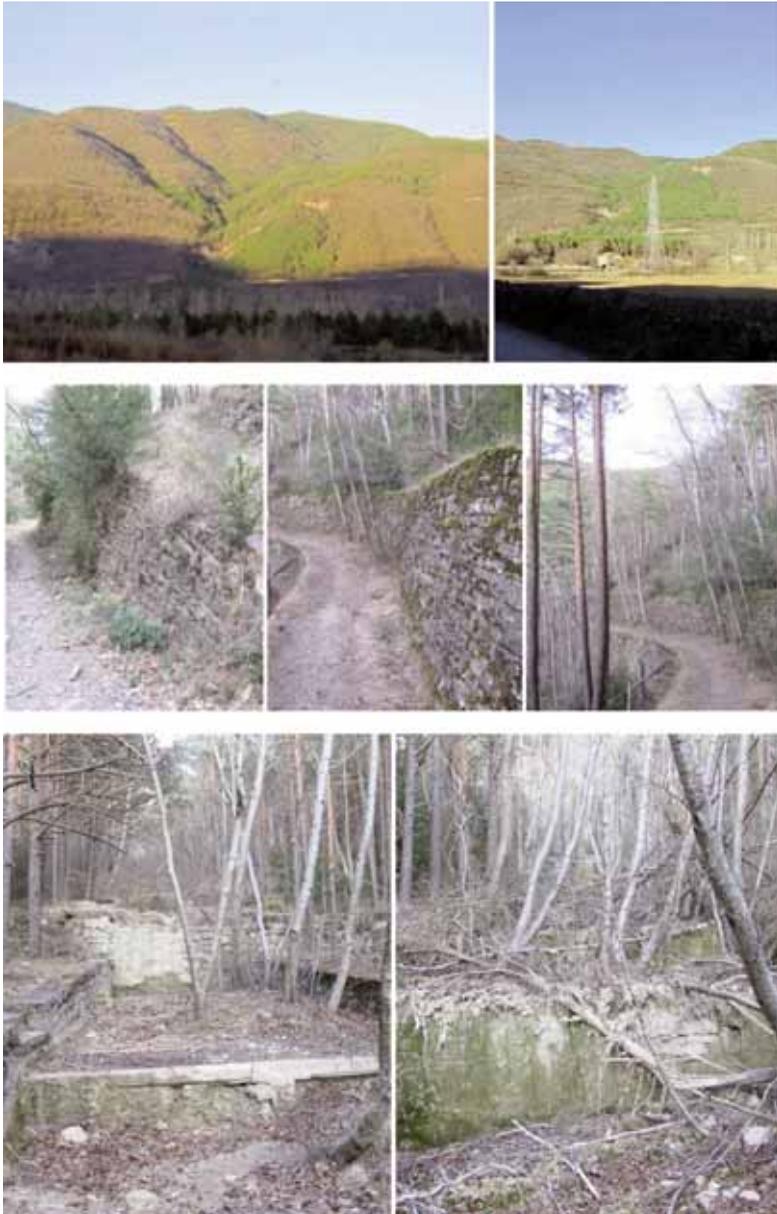


Fig. 17a. Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho en marzo de 2012.
 Imágenes superiores: vistas generales de la cuenca. Imágenes centrales: estado actual de los trabajos de estabilización de la ladera noreste ejecutados a comienzos del siglo xx.
 Imágenes inferiores: estado actual del encauzamiento del torrente, ejecutado también a comienzos del siglo xx, en el primer tramo de la garganta de la cuenca.

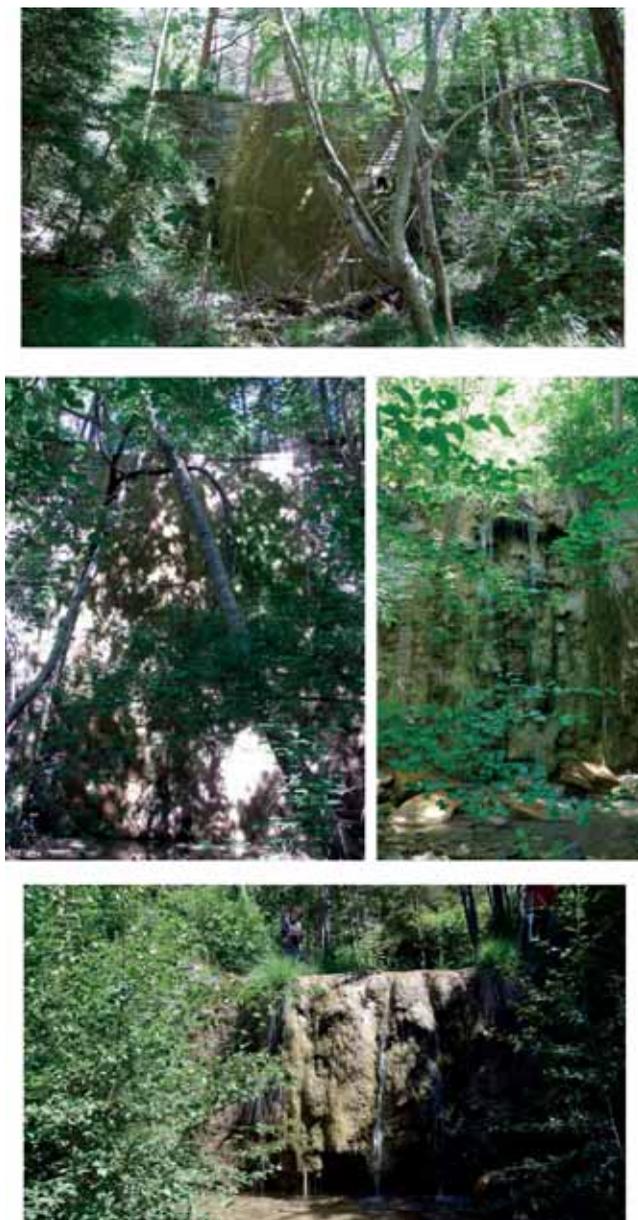


Fig. 17b. Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho en julio de 2016. Estado actual de los cuatro diques de primer orden situados en el encauzamiento del torrente en la garganta de la cuenca. La ubicación de los mismos va del inicio de la garganta (imagen superior) hacia aguas abajo; sus alturas son $H = 6$ metros (imagen superior), $H = 10$ metros y $H = 6$ metros (imágenes centrales izquierda y derecha) y $H = 4$ metros (imagen inferior).



Fig. 17c. Cono de sedimentación de la cuenca vertiente al torrente de Arratiecho en marzo de 2012. Imágenes superiores: vistas del inicio del cono de sedimentación del torrente fotografiadas desde la carretera N-260; izquierda, aguas arriba; derecha, aguas abajo.

Estas vistas se corresponden con las de la figura 7 obtenidas cien años antes.

Imágenes inferiores: izquierda, la carretera N-260 en la sección que atraviesa al torrente de Arratiecho en su estado actual, en el que el antiguo badén ha sido sustituido por dos tubos de 7 metros de longitud y 600 milímetros de diámetro y la carretera se ha elevado 0,5 metros sobre la rasante original; derecha, otra vista del canal escalonado que atraviesa el cono de sedimentación del torrente, al fondo el paso por el mismo de la carretera N-260.



Fig. 18a. Cuenca vertiente al torrente de Arás. Imágenes superiores: estado en el año 2011 de los montes protectores conseguidos en su área de recepción, con las reforestaciones de los dos primeros proyectos de RH-F ejecutados en la primera mitad del siglo XX; izquierda: cabecera del barranco de Betés (tributario al Arás); derecha, cabecera del torrente de Arás. Imágenes centrales: izquierda, bosque situado aguas arriba del núcleo de población de Aso de Sobremonte; derecha, bosque situado aguas arriba del núcleo de población de Yesa de Sobremonte. Imágenes inferiores: inicio de la garganta del torrente de Arás en octubre de 2015; izquierda, dique de hormigón revestido de mampostería ubicado en el torrente, construido a finales del siglo pasado durante el tercer proyecto de RH-F de la cuenca; derecha, el torrente aguas abajo del dique anterior. Se observa la estabilidad de sus laderas cubiertas de vegetación leñosa.



Fig. 18b. Cuenca vertiente al torrente de Arás. Imagen superior: repartidor de los caudales de crecida del torrente de Arás construido al final de la garganta con el tercer proyecto de RH-F de esta cuenca (1996-2000) en julio de 2016. Imágenes centrales e inferiores: vegetación leñosa arbolada y de matorral cubriendo las laderas directamente vertientes al torrente de Arás en su tramo de garganta en noviembre de 2016. Se detecta el efecto de los trabajos de sujeción de las laderas con vegetación leñosa comparando estas imágenes con las de las figuras 11 y 12.

Cuenca del torrente de Arás

La aplicación de la *metodología* a la cuenca del torrente de Arás para evaluar el riesgo ante las crecidas torrenciales proporcionó 50 TUP (fig. 23), que en la tabla VIII se agrupan en cada una de las cuatro clases de TMP, cuya distribución espacial se muestra en la figura 24.

Tabla VIII. Distribución de los 50 TUP de la cuenca vertiente al torrente de Arás en las cuatro clases de TPM.

Capacidad de protección ante las crecidas torrenciales	Número de TUP
Muy buena $TMP > 350$	21
Buena ($250 < TMP < 350$)	20
Regular ($150 < TMP < 250$)	6
Deficiente < 150	3

TUP: tipo de unidad protectora; TMP: tipo de monte protector.

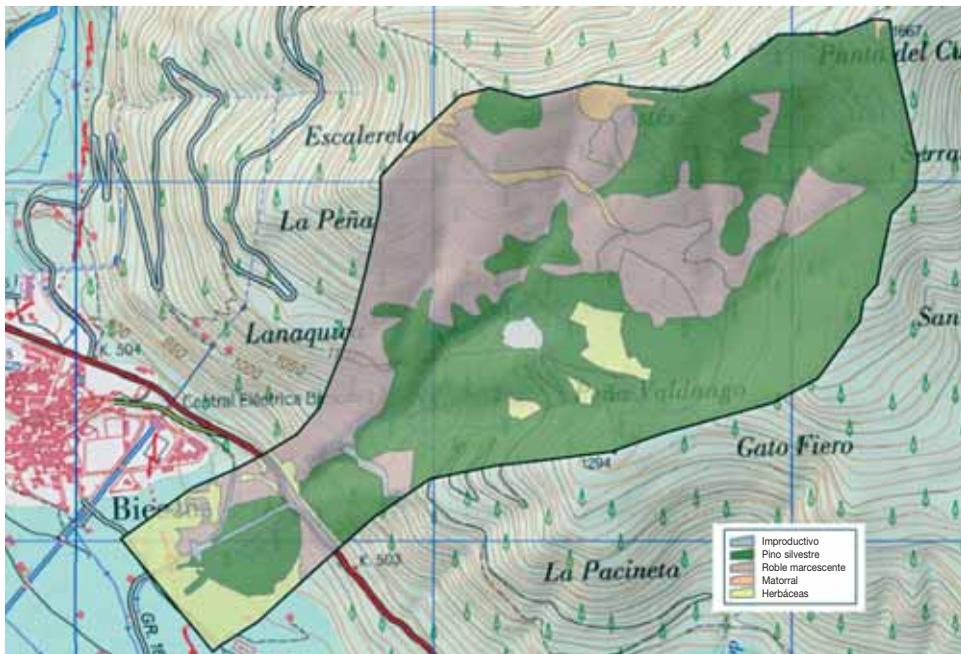


Fig. 19. Mapa de las cubiertas vegetales de la cuenca vertiente al torrente de Arratiecho en el año 2011. Leyenda de arriba abajo: 1) improductivo, 2) pino silvestre, 3) roble marcescente, 4) matorral, 5) herbáceas.

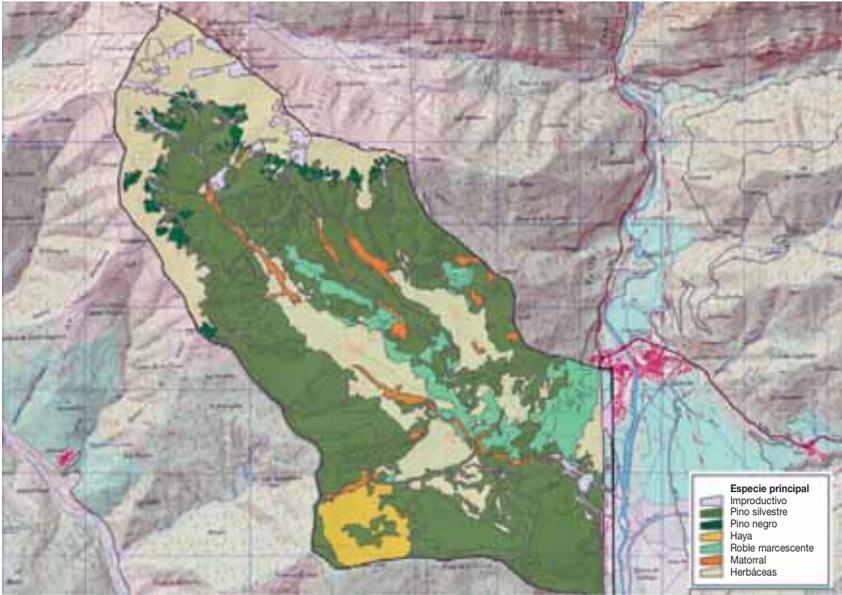


Fig. 20. Mapa de las cubiertas vegetales de la cuenca vertiente al torrente de Arás en el año 2011. Leyenda de arriba abajo: 1) improductivo, 2) pino silvestre, 3) pino negro, 4) haya, 5) roble marcescente, 6) matorral, 7) herbáceas.

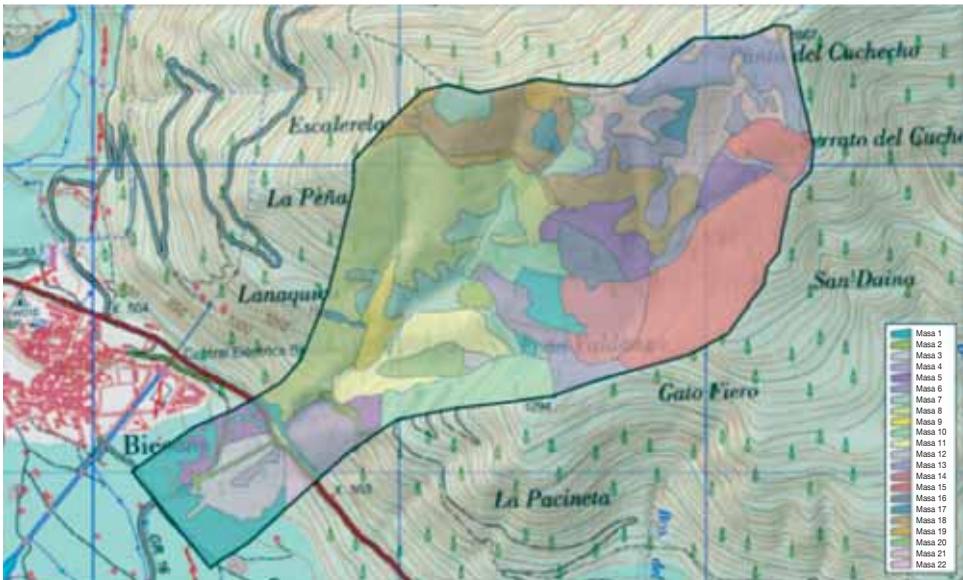


Fig. 21. Tipos de unidades protectoras (TUP) en la cuenca vertiente al torrente de Arratiecho definidos con la metodología de montes protectores.

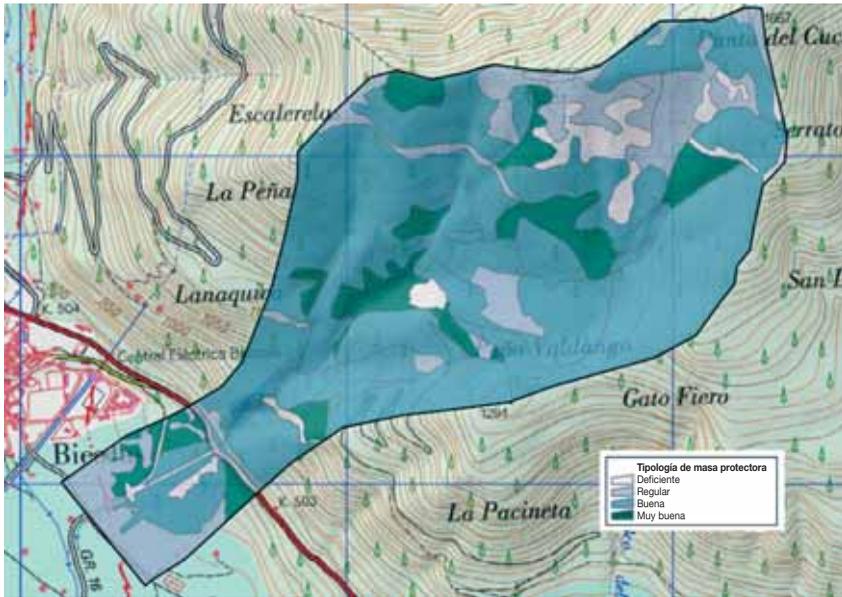


Fig. 22. Nivel de protección ante el riesgo de crecidas o avenidas torrenciales por clases de tipos de montes protectores (TMP) en la cuenca vertiente al torrente de Arratiecho. Leyenda de arriba abajo: 1) deficiente, 2) regular, 3) buena y 4) muy buena.

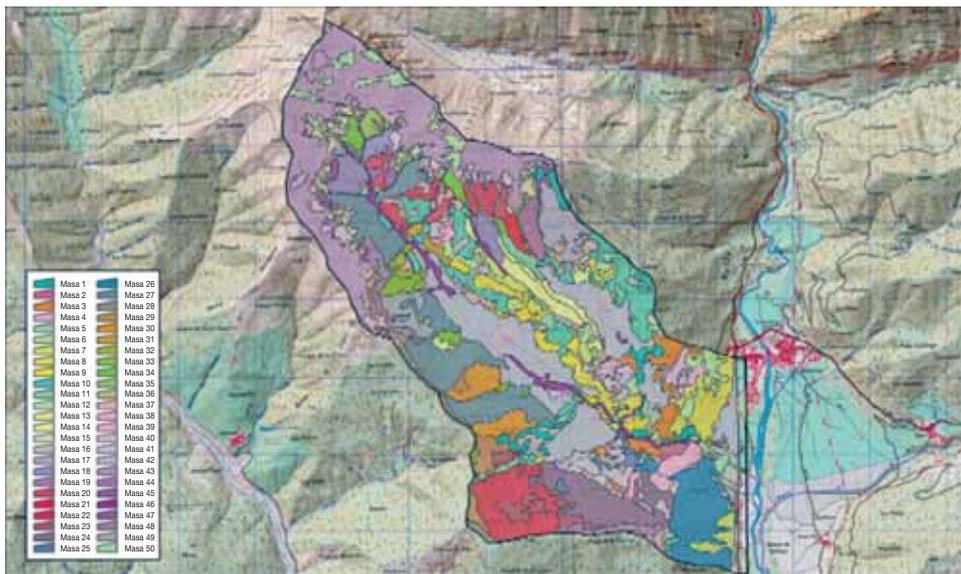


Fig. 23. Tipos de unidades protectoras (TUP) en la cuenca vertiente al torrente de Arás definidos con la metodología de montes protectores.

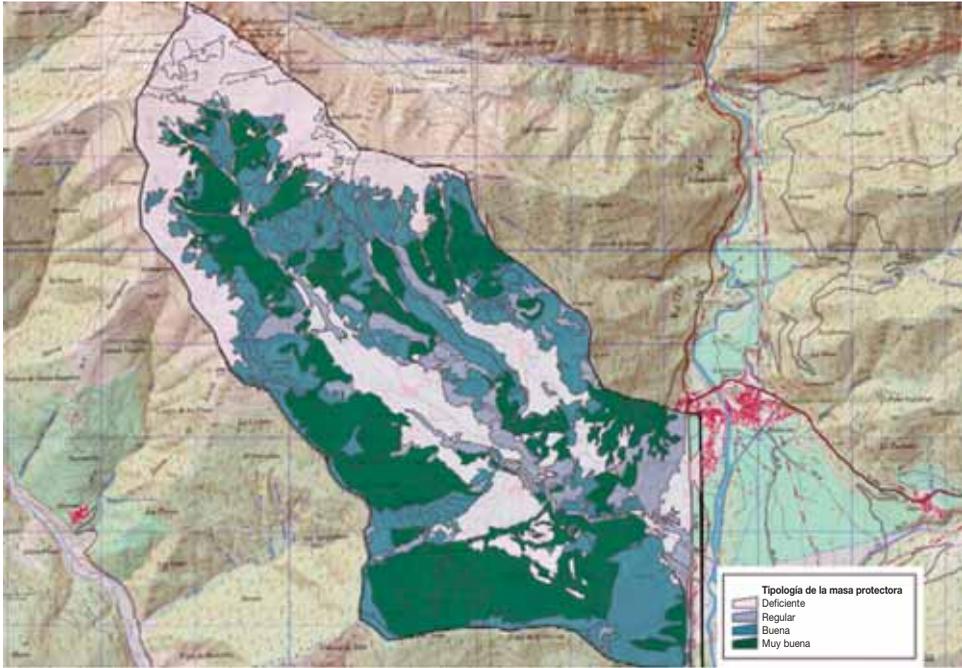


Fig. 24. Nivel de protección ante el riesgo de crecidas o avenidas torrenciales por clases de tipos de montes protectores (TMP) en la cuenca vertiente al torrente de Arás.
Leyenda de arriba abajo: 1) deficiente, 2) regular, 3) buena y 4) muy buena.

Resultados alcanzados con la metodología relacionados con las obras hidráulicas de corrección de cauces torrenciales

En los proyectos de RH-F las obras hidráulicas de corrección de torrentes y de sistematización de laderas se deben ejecutar simultáneamente con las reforestaciones de sus cuencas vertientes, asumiendo que estas últimas son actuaciones necesarias para el correcto funcionamiento de las obras y para la prolongación de su vida útil. Ello justifica que en la evaluación de sus resultados se tenga en cuenta la evolución temporal de las masas arboladas surgidas de las reforestaciones. Se comenta a continuación la evolución experimentada por las cubiertas forestales de las cuencas de los torrentes de Arratiecho y de Arás desde que finalizaron sus proyectos de RH-F.

Con anterioridad a la reforestación de la cuenca del torrente de Arratiecho entre los años 1903-1907, el valor medio del NC de su cubierta vegetal debía encontrarse muy próximo a $N = 95$; pero conforme las reforestaciones se fueron asentando en la cuenca, este valor se fue reduciendo. En 1927, primer año del que se dispone de registro de precipitaciones en la estación de Biescas, la reforestación tenía veintidós años, por lo que es muy previsible que hubiera alcanzado e incluso superado el estado de monte bravo y la cubierta de la cuenca presentara un $NC = 80$. Por motivos similares a partir de 1965, tras cumplir la reforestación sesenta años y encontrarse consolidada, habiendo mejorado también el porte de las masas de *Quercus faginea* existentes en la cuenca y encontrándose esta cubierta prácticamente en su totalidad por una masa arbolada, resulta asumible asignarle un $NC = 60$ e incluso inferior.

Las primeras reforestaciones en la cuenca del torrente de Arás son posteriores a las de la cuenca del torrente de Arratiecho, su primer proyecto de RH-F concluye hacia 1912 y no incidió demasiado en las reforestaciones. Por otro lado, su masa forestal, a diferencia de lo que sucede en la cuenca del torrente de Arratiecho, nunca ha llegado a cubrir la totalidad de la cuenca; NICOLÁS (2001) le asigna un 42% de arbolado y un 14% de matorral con arbolado. Atendiendo a estos datos y optando por el lado de la seguridad, se asigna a la cubierta vegetal de esta cuenca en los veinte años siguientes a sus primeras repoblaciones un valor de $NC = 95$. Por lo señalado en la redacción de su segundo proyecto de RH-F (1930), las repoblaciones del proyecto anterior se estaban asentando y las masas de frondosas que alternaban con ellas habían mejorado su desarrollo; por lo que es probable y asumible que a partir de 1933 la cubierta vegetal en la cuenca se aproximara a $NC = 80$. Actualmente, se le puede asignar un valor del NC más reducido; pero en el análisis posterior, continuando con los criterios de seguridad establecidos, se mantiene el valor del $NC = 80$.

Asumiendo todo lo anteriormente expuesto, se ha elaborado la tabla IX, que para poder comentarla con mayor comodidad se sintetiza en la tabla X. La comprobación del contenido de ambas tablas se realiza en el apartado "Análisis de los resultados".

Tabla ix. Precipitaciones anuales máximas en 24 horas (P_{24} mm) en las estaciones meteorológicas de Biescas E I A y Biescas Central II (códigos 9454 y 9454A) en el periodo 1927-2012. Escorrentías directas máximas anuales (Q , mm) aplicando el NC de la tabla en cada año. Caudales punta anuales en las secciones de salida de las cuencas de Arratiecho y Arás (q_p , $m^3 \cdot s^{-1}$).

Año	P_{24} (mm)	NC	Q (mm)	q_p ($m^3 \cdot s^{-1}$) Arratiecho	P_{24} (mm)	NC	Q (mm)	q_p ($m^3 \cdot s^{-1}$) Arás
1927	29,0	80	3,3	0,04	29,0	95	17,5	19,80
1928	23,3	80	2,7	0,08	23,3	95	12,5	12,87
1929	24,8	80	1,9	0,00	24,8	95	13,8	14,60
1930	29,1	80	3,4	0,00	29,1	95	17,5	19,93
1931	17,9	80	2,0	0,01	17,9	95	8,9	10,60
1932	70,8	80	38,3	6,30	70,8	95	57,0	94,84
1933	47,6	80	12,5	1,44	47,6	80	12,5	10,11
1934	63,8	80	22,8	2,39	63,8	80	22,8	16,75
1935								
1936	49,4	80	26,9	4,00	49,4	80	26,9	28,04
1937								
1938								
1939								
1940	51,0	80	28,3	4,26	51,0	80	28,3	29,91
1941	46,3	80	20,6	2,81	46,3	80	20,6	19,74
1942	140,0	80	84,9	13,82	140,0	80	84,9	96,99
1943	57,0	80	16,4	2,07	57,0	80	16,4	14,55
1944	36,9	80	10,3	1,10	36,9	80	10,3	7,69
1945	47,8	80	25,6	3,74	47,8	80	25,6	26,22
1946	45,0	80	23,2	3,30	45,0	80	23,2	23,12
1947	49,5	80	27,0	4,01	49,5	80	27,0	28,16
1948	71,8	80	46,8	8,13	71,8	80	46,8	57,05
1949	46,5	80	19,6	2,64	46,5	80	19,6	18,52
1950	41,8	80	7,7	0,72	41,8	80	7,7	5,07
1951	57,0	80	14,5	1,75	57,0	80	14,5	12,30
1952	46,2	80	19,5	2,62	46,2	80	19,5	18,42
1953	28,4	80	3,1	0,07	28,4	80	3,1	0,51
1954	32,7	80	4,8	0,04	32,7	80	4,8	0,29

Tabla IX. (Continuación)

Año	P_{24} (mm)	NC	Q (mm)	q_p ($m^3 \cdot s^{-1}$) Arratiecho	P_{24} (mm)	NC	Q (mm)	q_p ($m^3 \cdot s^{-1}$) Arás
1955	78,0	80	52,5	9,41	78,0	80	52,5	65,99
1956	26,0	80	8,7	0,86	26,0	80	8,7	6,06
1957	31,3	80	8,6	0,84	31,3	80	8,6	5,93
1958	69,0	80	44,2	7,57	69,0	80	44,2	53,13
1959	118,6	80	66,2	10,02	118,6	80	66,2	70,32
1960	46,5	80	24,5	3,53	46,5	80	24,5	24,76
1961	70,8	80	45,9	7,93	70,8	80	45,9	55,64
1962	56,6	80	33,2	5,23	56,6	80	33,2	36,71
1963	96,2	80	47,4	6,48	96,2	80	47,4	45,46
1964	63,5	80	26,6	3,93	63,5	80	26,6	27,58
1965	111,7	60	55,1	7,54	111,7	80	84,3	118,95
1966	57,9	60	16,0	1,29	57,9	80	34,3	38,35
1967	48,5	60	3,6	0,00	48,5	80	13,7	11,44
1968	49,0	60	10,9	0,65	49,0	80	26,6	27,58
1969	62,0	60	8,1	0,32	62,0	80	22,0	21,51
1970	93,5	60	6,5	0,14	93,5	80	19,1	17,92
1971	61,9	60	17,5	1,50	61,9	80	36,6	41,62
1972	52,2	60	7,7	0,28	52,2	80	21,4	20,72
1973	40,4	60	3,1	0,00	40,4	80	12,7	10,27
1974	83,7	60	19,0	1,71	83,7	80	38,7	44,78
1975	40,1	60	3,2	0,00	40,1	80	12,9	10,47
1976	73,7	60	26,2	2,74	73,7	80	48,5	59,69
1977	62,9	60	10,0	0,55	62,9	80	25,2	25,77
1978	73,5	60	6,3	0,13	73,5	80	18,9	17,57
1979	109,3	60	53,1	7,18	109,3	80	81,9	114,91
1980	60,7	60	3,7	0,00	60,7	80	20,7	14,56
1981	74,9	60	27,1	2,87	74,9	80	49,6	61,48
1982	78,0	60	29,2	3,20	78,0	80	52,5	65,99
1983	76,0	60	11,4	0,72	76,0	80	27,4	28,74
1984	46,5	60	9,6	0,50	46,5	80	24,5	24,76
1985	46,5	60	9,6	0,50	46,5	80	24,5	24,76

Tabla ix. (Continuación)

Año	P_{24} (mm)	NC	Q (mm)	q_p ($m^3 \cdot s^{-1}$) Arratiecho	P_{24} (mm)	NC	Q (mm)	q_p ($m^3 \cdot s^{-1}$) Arás
1986	47,8	60	10,3	0,58	47,8	80	25,6	26,22
1987	53,6	60	13,4	0,97	53,6	80	30,5	33,01
1988	52,6	60	12,9	0,90	52,6	80	29,7	31,81
1989	59,0	60	8,7	0,40	59,0	80	23,1	22,90
1990	57,0	60	2,8	0,00	57,0	80	18,2	12,09
1991	66,0	60	5,1	0,00	66,0	80	24,3	18,38
1992	165,0	60	100,9	16,53	165,0	80	135,9	211,07
1993	57,0	60	4,2	0,00	57,0	80	14,8	12,74
1994	61,0	60	15,1	1,18	61,0	80	33,1	36,59
1995	86,0	60	35,1	4,11	86,0	80	59,9	77,96
1996	160,0	60	53,8	5,35	160,0	80	102,9	124,00
1997	120,0	60	62,0	8,79	120,0	80	92,2	132,81
1998	45,5	60	3,3	0,00	45,5	80	13,0	10,60
1999	76,0	60	21,7	2,08	76,0	80	42,4	50,37
2000	96,0	60	26,4	2,77	96,0	80	48,8	60,19
2001	68,0	60	16,0	1,30	68,0	80	34,4	38,48
2002	61,0	60	17,9	1,55	61,0	80	37,0	42,34
2003	84,5	60	34,0	3,93	84,5	80	58,5	75,68
2004	48,0	60	10,4	0,59	48,0	80	25,7	26,44
2005	48,0	60	0,8	0,00	48,0	80	10,9	5,24
2006	81,0	60	10,3	0,19	81,0	80	35,4	30,78
2007	64,0	60	6,5	0,14	64,0	80	22,9	17,92
2008	56,0	60	14,8	1,15	56,0	80	32,6	35,96
2009	54,0	60	13,7	1,00	54,0	80	30,9	33,50
2010	80,0	60	9,9	0,00	80,0	80	34,6	29,88
2011	42,7	60	2,1	0,00	42,7	80	10,2	7,62
2012	104,0	60	20,4	1,90	104,0	80	40,6	47,65
<i>Máximo</i>	165,0		100,9	16,53	165,0		135,9	211,07
<i>Promedio</i>	63,5		20,7	2,54	63,5		32,8	37,42

Tabla x. Valores absolutos y promedios de las precipitaciones máximas anuales en 24 horas (P_{24} mm) en las estaciones meteorológicas de Biescas E I A y Biescas Central II (códigos 9454 y 9454A) y caudales punta absolutos y promedios en las secciones de salida de las cuencas de Arratiecho y de Arás (q_p , $m^3 \cdot s^{-1}$) en los periodos 1927-1932, 1933-1964 y 1965-2012.

Precipitaciones			Caudales			
Estaciones E-9454 y E-9454 A			Cuenca de Arratiecho		Cuenca de Arás	
Periodo	P_{24} absoluta (mm)	P_{24} media (mm)	q_p absoluto ($m^3 \cdot s^{-1}$)	q_p medio ($m^3 \cdot s^{-1}$)	q_p absoluto ($m^3 \cdot s^{-1}$)	q_p medio ($m^3 \cdot s^{-1}$)
1927-1932	70,8 (1932)	32,5	6,30	1,07	94,84	28,77
1933-1964	140,0 (1942)	57,7	13,82	4,10	96,99	28,75
1965-2012	165,0 (1992)	70,8	16,53	1,82	211,07	42,79
	*160,0 (1996)		*5,35		* 124,00	

* Precipitaciones y caudales correspondientes al 7 de agosto de 1996 usando el procedimiento de la metodología.

Resultados alcanzados con las sinergias surgidas entre las obras hidráulicas de corrección de los cursos torrenciales y las reforestaciones de sus cuencas vertientes

Cuenca del torrente de Arratiecho

En la cuenca del torrente de Arratiecho han surgido sinergias entre las reforestaciones y las obras hidráulicas de corrección ejecutadas en sus cursos de drenaje, especialmente del curso principal, y las de fijación de su ladera noreste. Se ha conseguido estabilizar la cuenca y regular los ciclos del agua y de los sedimentos en ella ante precipitaciones torrenciales; luego se han cumplido los objetivos planteados con el proyecto de RH-F.

Cuenca del torrente de Arás

En la cuenca del torrente de Arás, las sinergias entre las obras hidráulicas de corrección de los cursos que drenan por ella, especialmente el curso principal, y las reforestaciones ejecutadas en las áreas vertientes a ellos se han dado y se dan, pero ocasionalmente han ocurrido situaciones de total desconexión; la última y más notoria fue la que se produjo durante la

crecida del 7 de agosto de 1996, en la que el sistema de corrección hidráulica de los tramos de la garganta y del cono de sedimentación del torrente quedó totalmente destruido, mientras que las cubiertas forestales de sus laderas vertientes se mantuvieron prácticamente inalteradas, lo mismo que las reforestaciones de las áreas dominantes de la cuenca vertiente. Dicha tormenta y el desencadenamiento posterior del fenómeno geotorrencial en la cuenca del torrente de Arás presentan la complejidad suficiente para ser analizada en un artículo específico posterior.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Análisis de los resultados relacionados con la protección de las cubiertas forestales

Dada la extensión espacio-temporal de lo que se analiza, la única forma de enfocarlo y entenderlo es utilizando un procedimiento de aproximaciones sucesivas. Adoptando esta línea, se ha razonado como sigue: a) en una primera aproximación se limita a comparar las imágenes de un mismo paraje o simplemente de una misma localización de la cuenca objeto de análisis, antes de la ejecución en el mismo de un proyecto de RH-F y transcurrido un periodo desde que este fuera ejecutado; se puede obtener un resultado visualmente muy efectivo, pero no se puede clasificar de científico-técnico en sentido estricto; b) en la segunda aproximación se considera también el modo en que se llevó a cabo la transformación del paraje o localización objeto de comparación; este paso supone asociar la transformación producida con la aplicación de ciertas técnicas sobre el territorio para conseguirlo y aporta mayor información, aunque en principio esta no resulte comparable; c) en la tercera aproximación se plantea, además de los contenidos de las dos primeras, el objetivo que se pretende alcanzar en el futuro para la cuenca con su RH-F; lo que implícitamente conduce a tener un *esquema conceptual* de lo que se piensa poder alcanzar en la cuenca, que estará más o menos configurado dependiendo de la experiencia del proyectista. Este *esquema conceptual* es comparable con los resultados realmente obtenidos en la cuenca a través de su proyecto de RH-F tras un periodo de haberse ejecutado (al margen de todos los imponderables que en un proyecto a largo plazo puedan surgir).

En consecuencia, si el objetivo de las reforestaciones ligadas a la RH-F en una cuenca es alcanzar en el futuro para ella unas cubiertas forestales, que aseguren a largo plazo el sistema corrector proyectado con su RH-F y, transcurrido el periodo de análisis adoptado, la cuenca posee dichas cubiertas protectoras; estas se pueden contrastar utilizando los tipos de montes protectores (TMP) definidos en la *metodología*.

En el caso de la cuenca del torrente de Arratiecho, 16 de sus 22 tipos de unidad protectora (TUP) pertenecen a las clases de TMP definidas como muy buena y buena (tabla VII). Tratándose de la cuenca del torrente de Arás, 41 de sus 50 TUP pertenecen a las clases de TMP definidas como muy buena y buena (tabla VIII); por lo que las reforestaciones llevadas a cabo en ambas cuencas en el pasado a través de sus respectivos proyectos de RH-F han sido efectivas.

Análisis de los resultados relacionados con la protección que aportan las obras hidráulicas de corrección de cauces torrenciales

La *metodología* utiliza la *fórmula racional* modificada por Témez para evaluar el efecto de la RH-F de las cuencas de montaña sobre las crecidas de los torrentes que circulan por ellas, que está diseñada para determinar los caudales punta de avenida en cuencas de pequeña superficie, como son las dos que se analizan. La cuenca del torrente de Arratiecho tiene 1,6 km² y la del torrente de Arás 19,25 km².

Un problema que se puede plantear al aplicar la *fórmula racional* modificada por Témez es que su ecuación utiliza la intensidad de la precipitación I_t para el tiempo de concentración t_c ; por lo que, si la superficie de la cuenca es muy pequeña, el tiempo de concentración t_c , que se establece mediante ecuaciones empíricas, puede resultar muy reducido y ello derivar a que las curvas de Intensidad-Duración de las precipitaciones proporcionen valores muy altos para la intensidad I_t a introducir en la *fórmula racional*. Sin embargo, este problema no se ha dado en las cuencas analizadas; utilizando la ecuación propuesta por Témez para el tiempo de concentración, se obtuvieron los resultados siguientes: a) para la cuenca del torrente de Arratiecho: $t_c = 0,81$ horas, y b) para la cuenca del torrente de Arás: $t_c = 2$ horas.

Cuenca del torrente de Arratiecho

Para comprobar que se ha cumplido el objetivo de reducción de los caudales punta de crecida en la cuenca del torrente de Arratiecho conforme su proyecto de RH-F se ha ido consolidando, se ha definido una sección de análisis para dos fechas diferentes: a) durante la ejecución de su proyecto de RH-F, entre 1903 y 1907, y b) en la situación actual.

La sección en cuestión es la que intercepta la carretera N-260 en la cuenca y coincide con el final de su garganta y el inicio del cono de sedimentación del torrente (figs. 2, 7 y 17c). Para dicha sección don Pedro de Ayerbe (1903) diseñó un badén parabólico interrumpiendo el encauzamiento del torrente en la misma; el badén mantenía la anchura de 5 metros del encauzamiento de forma prácticamente rectangular.

a) Entre 1903 y 1907, la capacidad de evacuación de dicho badén debía adecuarse al caudal punta de crecida del torrente en dicha fecha y esta capacidad coincide con el caudal determinado utilizando la fórmula de Témez, para las precipitaciones máximas registradas en la estación de Biescas en el periodo del que se dispone de registros (tabla IX) y estimando la escorrentía directa en la cuenca para un NC = 95, que es el valor más probable que tuviera esta cuando se ejecutó el proyecto.

b) Actualmente, en la citada sección el flujo del torrente es conducido por debajo de la carretera N-260 mediante dos tubos de 600 milímetros de diámetro (fig. 17c, imágenes inferiores), antes de incorporarse al canal de evacuación del cono de sedimentación.

Atendiendo a ambas situaciones, se comenta que la precipitación máxima anual en 24 horas en el año 1992 fue: $P_{\text{máx} \cdot 24 \text{ horas}} = 165$ milímetros (tabla IX) y se dio el 8 de diciembre. El caudal punta que aparece en la tabla IX para ese día está calculado para un NC = 60 y resulta $q_p = 16,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Si el caudal se hubiera calculado para un NC = 95, que se estima para la cuenca entre 1903 y 1907, el resultado es: $q_p = 40,10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Este caudal puede parecer un valor extremo; pero para el día 7 de agosto de 1996, que registró una precipitación $P_{\text{máx} \cdot 24 \text{ horas}} = 160$ milímetros, el caudal obtenido aplicando a la cuenca un NC = 95 es similar: $q_p = 35,41 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y aplicando un NC = 60 se reduce a $q_p = 5,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

La sección de evacuación proyectada por don Pedro de Ayerbe en el encauzamiento de su cono de sedimentación (figs. 7 y 17b, imágenes superiores) tiene capacidad para evacuar del orden de $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; pues el canal situado aguas abajo de la carretera N-260, que es la continuación inmediata del badén, tiene una geometría casi rectangular de anchura $b = 5$ metros y calado $y = 1$ metro, siendo su pendiente media $j = 0,06 \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$. Tomando como coeficiente de rugosidad del mismo un número de Manning $n = 0,03$ y aplicando la ecuación de continuidad, resulta:

$$q = [b \cdot y] - \frac{(y^{0,667} \cdot j^{0,5})}{n} = 40,82 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Que coincide con lo estimado por don Pedro de Ayerbe, atendiendo a la magnitud que presentaban las recurrentes crecidas del torrente de Arratiecho de su época.

En la situación actual, con los dos tubos de 600 milímetros de diámetro y la carretera elevada 0,5 metros sobre la rasante original (imágenes inferiores de la figura 17c) que sustituyen al badén inicial, la capacidad de evacuación está mucho más próxima al caudal que resulta de aplicar la ecuación de Témez asignando a la cubierta forestal de la cuenca un $\text{NC} = 60$. Se trata de valores de entre 2 y $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para precipitaciones torrenciales ordinarias, que puede multiplicarse por cinco tratándose de precipitaciones torrenciales extraordinarias (tablas IX y X), pero no hay constancia de continuas interrupciones de la carretera N-260 por las crecidas del torrente, como en el pasado. Resumiendo, la RH-F de la cuenca del torrente de Arratiecho ha conseguido regular los ciclos del agua y de los sedimentos en la misma, cuando en ella suceden precipitaciones torrenciales.

Cuenca del torrente de Arás

La lectura de las cuatro últimas columnas, referidas al torrente de Arás, de la tabla IX conduce a las siguientes conclusiones: 1) que la crecida del 11 de junio de 1929 en el torrente de Arás se debió a un aguacero local, pues no se registró ninguna precipitación torrencial en la estación de Biescas ese

día; 2) que entre la crecida anterior y la que tuvo lugar el 7 de agosto de 1996, día del trágico accidente en el torrente, ocurrieron 14 crecidas torrenciales, sin contar la crecida del día del accidente, cuyos caudales se estiman en más de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y de estos 6 superan los $90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; 3) la crecida del 8 de diciembre de 1992 se estimó en $211,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, casi el doble de los $124 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ estimados para la crecida del 7 de agosto de 1996 utilizando en ambos casos el procedimiento establecido en la *metodología*.

La tabla IX no está pensada para eventos puntuales, atiende simplemente a los criterios adoptados en la *metodología*, pero sus resultados apuntan a que a partir de los dos primeros proyectos de RH-F de la cuenca del torrente de Arás, la regulación del ciclo del agua ante la ocurrencia en ella de precipitaciones torrenciales se fue afianzando; por lo que el suceso de la tarde-noche del 7 de agosto de 1996 quizá deba interpretarse como un accidente ligado a la precipitación extraordinaria de ese día, por ejemplo, a una corriente con arrastres o una lava de sedimentos, más que a una consecuencia directa del caudal de crecida generado por dicha precipitación.

Prescindiendo de la catástrofe ocurrida en el torrente la tarde-noche del 7 de agosto de 1996, que se analizará en otro artículo, la situación de la cuenca y del propio torrente de Arás en relación con el control de las crecidas torrenciales en el periodo 1927-2012 puede representarse por la curva de *caudales reales estimados* de la figura 25. La reconstrucción de la garganta y del cono de sedimentación del torrente de Arás con el tercer proyecto de RH-F (1996-2000) ha mejorado sustancialmente la estabilidad de las obras de corrección hidráulica levantadas en los cauces de la cuenca, especialmente en los torrentes de Arás y Betés, pero no ha alterado el proceso de regulación del ciclo del agua en la cuenca iniciado con los dos proyectos anteriores. Durante la crecida del 7 de agosto de 1996 no hubo daños señalados ni en la cuenca del torrente de Arás, ni en las laderas vertientes a los cauces que drenan por ella, únicamente en los propios cauces, y el tercer proyecto solo se ocupó de ellos.

Previamente a la tabla IX se elaboraron tres tablas para estimar los hipotéticos caudales máximos en las secciones de salida de las cuencas de Arratiecho y de Arás, para todas las precipitaciones máximas en 24 horas anuales en las estaciones de Biescas (códigos 9454 y 9454A) en el periodo 1927-2012 y para tres supuestas cubiertas forestales en cada una de las

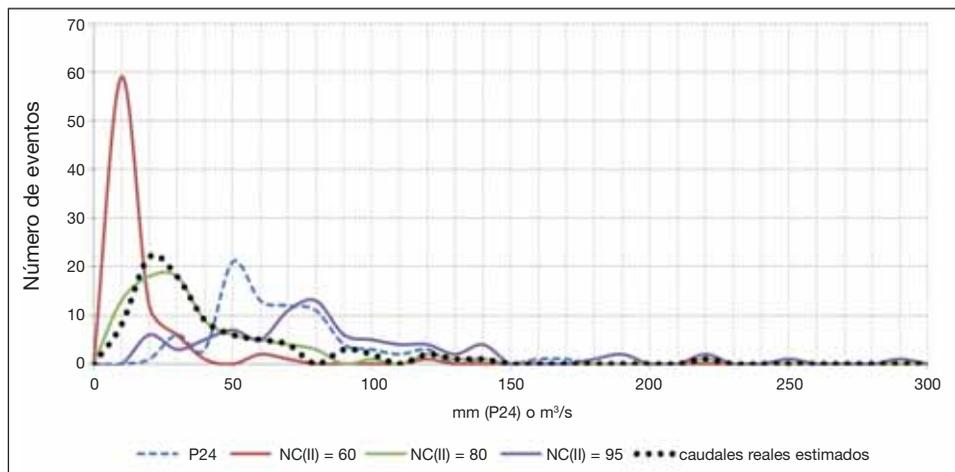


Fig. 25. Frecuencia de las $P_{\text{máximas}}$ en 24 horas anuales (mm) en las estaciones Biescas E I A y Biescas Central II (códigos 9454 y 9454A) en el periodo 1927-2012 (representada en la imagen por P24). Frecuencia de los caudales punta hipotéticos q_p ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) en la cuenca vertiente al torrente de Arás correspondientes a dichas precipitaciones dependiendo del NC adoptado: NC = 60, NC = 80 y NC = 95. Frecuencia de los caudales punta reales estimados q_p ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ajustados al estado físico de la cuenca vertiente al torrente de Arás en las diferentes etapas del periodo 1927-2012 para las mismas precipitaciones.

cuencas, definidas por los números de curva NC = 95, NC = 80 y NC = 60. En la tabla IX se recogen únicamente los caudales máximos en las situaciones en las que la cubierta forestal fuera la más probable en el momento del aguacero causante del correspondiente caudal, que en la cuenca del torrente de Arás coincide con *caudales reales estimados* de la figura 25.

La figura 25 es el resultado de tratar estadísticamente toda la información mencionada en el párrafo anterior. En el eje de ordenadas se muestra la frecuencia durante el periodo 1927-2012 de cada uno de los eventos que se enumeran en el eje de las abscisas con diferentes trazos y colores y que son los siguientes:

- a) Las $P_{\text{máximas}}$ en 24 horas anuales (mm) (P24, azul a trazos).
- b) Los caudales punta en la sección de salida de la cuenca q_p ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) suponiendo para esta un NC = 60 (NC [II] = 60 (marrón en línea continua).
- c) Los caudales punta en la sección de salida de la cuenca q_p ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) suponiendo para esta un NC = 80 (NC [II] = 80 (verde en línea continua).
- d) Los caudales punta en la sección de salida de la cuenca q_p ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) suponiendo para esta un NC = 95 (NC [II] = 95 (morada en línea continua).

e) Los caudales punta en la sección de salida de la cuenca q_p ($m^3 \cdot s^{-1}$) en las condiciones definidas en la tabla IX, que se estiman las más ajustadas al estado físico de la cuenca en el periodo estudiado y, por tanto, los caudales reales estimados (negro a puntos).

Los gráficos de la figura 25 señalan que la mejora de la cubierta forestal de la cuenca reduce la magnitud de sus caudales punta e incrementa su frecuencia. En el caso de la cuenca del torrente de Arás para el periodo 1927-2012 sus caudales punta están regidos por unas condiciones de la cuenca en torno al $NC = 80$. Pero los gráficos también reflejan que el número de sucesos normales es muy superior al de los extraordinarios. Además, se da la circunstancia de que la eficiencia de la cubierta forestal de la cuenca como reguladora del ciclo del agua y de los sedimentos es mayor para los primeros que para los segundos (MINTEGUI y ROBREDO, 2008).

La comprobación de estos efectos implica evidentemente su medición y no es habitual que los torrentes dispongan de dispositivos de aforo y menos durante un periodo lo suficientemente prolongado como para verificar plenamente las hipótesis planteadas, por lo que las conclusiones se limitan al rango de tendencias o a análisis puntuales muy definidos, que en cualquier caso se deben tener en cuenta en futuras monitorizaciones.

Análisis de los resultados asociados a las sinergias surgidas entre las obras hidráulicas de corrección de los cursos torrenciales y las reforestaciones de sus cuencas vertientes

Las RH-F de las cuencas de los torrentes de Arratiecho y de Arás han conseguido regular el ciclo del agua para situaciones de precipitaciones torrenciales en ambas cuencas y dicha regulación se mantendrá, mientras sus cuencas conserven sus actuales cubiertas forestales. En el caso del torrente de Arratiecho lo expuesto resulta más evidente e incluso se podría considerar que también se ha conseguido la regulación del ciclo de los sedimentos, algo que no se puede afirmar de igual modo para la cuenca del torrente de Arás. Los comentarios siguientes se centran en analizar esta cuestión.

Para corregir un torrente de montaña no es suficiente con la regulación de sus caudales líquidos de crecida, aunque esta sea condición necesaria, se precisa controlar también los caudales sólidos, y para ello resulta imprescindible

el mantenimiento en buen estado de las obras hidráulicas de corrección ejecutadas en el torrente, porque de ellas depende que la corriente discurra con una velocidad que le permita evacuar las crecidas sin alterar su lecho, es decir, manteniendo su pendiente de compensación. Si surge un problema en una o varias estructuras hidráulicas ubicadas en el torrente, este puede causar que la corriente adquiera en las crecidas una carga de sedimentos importante, capaz de alterar la estabilidad de todo el curso. Por esta razón es necesario efectuar revisiones periódicas de las obras y de manera muy especial tras las crecidas ocurridas en el torrente, para conocer cómo han afectado a las obras.

Abundando en lo anterior, la naturalización de un torrente no asegura su estabilidad, se trata únicamente de su adecuación a un ecosistema que por su dinámica es inestable. La corrección de los torrentes implica necesariamente controlar que su funcionamiento se adecue a lo previsto para él en su proyecto de corrección y llevar a cabo su seguimiento. En este contexto entran en juego las sinergias entre las obras hidráulicas de corrección y las cubiertas forestales.

Cuenca del torrente de Arratiecho

En un seguimiento reciente a este torrente en julio de 2016, se pudo comprobar que los ciclos del agua y de los sedimentos en este funcionan adecuadamente ante la ocurrencia en la cuenca de precipitaciones torrenciales, pero se observó que las crecidas del torrente transportan una carga de sedimentos en suspensión significativa, que se deposita en el canal y también se adhiere a las paredes de los diques construidos a lo largo de su recorrido, incrustando depósitos de sedimentos en sus estructuras (fig. 17*b*). En ocasiones estos depósitos llevan incorporadas semillas de árboles, que posteriormente germinan y sus raíces se extienden por la propia obra, que al ser de mampostería puede resultar dañada; además de extenderse por el canal y obstruirlo. Estos problemas requieren ser atendidos, se debe revisar el estado de los diques transversales al canal y, si es preciso, limpiarlos y reforzarlos, pues se trata de estructuras que a su vez aseguran la estabilidad de las obras de sistematización de la ladera noreste que sujeta a la morrena; además, conviene despejar algunas de las secciones de evacuación del canal en ciertos tramos. Esta atención es prioritaria en los dos primeros tramos, de los cuatro señalados anteriormente al describir el torrente, a partir del inicio de la garganta de la cuenca. Cabe señalar que la corrección del torrente de Arratiecho y de su cuenca vertiente,

por el modo en que están realizadas sus obras y la reforestación que los arroja, constituye un ejemplo singular del patrimonio histórico-natural de la villa de Biescas, y su conservación en un estado lo más próximo a la restauración original, siempre garantizando, en primer lugar, la seguridad ante el riesgo de crecidas torrenciales, es un motivo a tener en cuenta.

Cuenca del torrente de Arás

En la cuenca del torrente de Arás, aunque se hayan dado sinergias, también han surgido desconexiones entre las reforestaciones llevadas a cabo en sus áreas dominantes y las obras ejecutadas en los cauces de sus torrentes, así como entre estas y las revegetaciones realizadas en las laderas vertientes directas a los cauces. Estas desconexiones se han dado al menos en dos ocasiones que se corresponden con las crecidas del 11 de junio de 1929 y 7 de agosto de 1996; pero en la última tanto las reforestaciones como los trabajos de sujeción de las laderas mediante revegetación funcionaron correctamente, aisladas de lo que ocurrió en la garganta y cono de sedimentación del torrente.

Las causas de la rotura de los diques situados en el torrente de Arás el 7 de agosto de 1996 fueron múltiples, la principal la magnitud de la precipitación que incidió en su cuenca dicho día y desencadenó en ella el fenómeno geotorrencial; pero también pudo contribuir en menor medida la presencia de vegetación leñosa en el cauce del torrente, obstruyéndolo, introduciéndose por las oquedades de los mampuestos de las obras, y debilitando su estructura, efecto que se ha comentado en el párrafo anterior al describir lo que sucede en el torrente de Arratiecho. Tras la reconstrucción de la garganta y del cono de sedimentación del torrente de Arás con su tercer proyecto de RH-F (1996-2000), las nuevas obras de hormigón o de perfiles laminados no corren el peligro de las antiguas de mampostería hidráulica ubicadas en el torrente antes del catastrófico suceso. No hay peligro de que la vegetación leñosa penetre en sus estructuras y las debilite. Pero existe riesgo, si el cauce se llena de vegetación leñosa especialmente si es arbórea, de que una crecida extraordinaria del torrente lo arranque de golpe y lo arrastre aguas abajo, pudiendo causar daños bien por taponamiento de secciones críticas del encauzamiento del torrente (por ejemplo, en el repartidor que se muestra en la imagen superior de la figura 18*b*), lo que provocaría a continuación un desbordamiento; o bien porque la corriente de la crecida

arrastre la vegetación leñosa hasta la carretera N-260. Por ello, se insiste de nuevo en la vigilancia de las obras de corrección de torrentes.

CONCLUSIONES

Se diferencia entre a) las que resultan del estudio de los torrentes de Arratiecho y Arás y sus cuencas vertientes, y b) las que de un modo general afectan a los proyectos de RH-F.

Conclusiones específicas de los torrentes de Arratiecho y de Arás y sus cuencas vertientes

Los proyectos de RH-F de las cuencas vertientes a los dos torrentes se redactan y ejecutan ante dos necesidades concretas: a) mantener operativa la carretera N-260 frente a la amenazada de las crecidas de ambos torrentes de interrumpirla; b) garantizar la seguridad y productividad de los aprovechamientos agropecuarios en una parte importante de los terrenos situados en sus áreas dominadas.

En las dos cuencas sus primeros proyectos de RH-F (el único tratándose de la cuenca del torrente de Arratiecho) contaron con una elevada participación de la población local, que era la más interesada en que los proyectos surtieran sus efectos cuanto antes.

Los proyectos tuvieron una impronta empírica muy importante, pero ello no les resta valor. Por el contrario, han sido una fuente de conocimiento para el futuro.

Las sinergias surgidas entre las obras de corrección de los torrentes y las reforestaciones ejecutadas en sus áreas vertientes para reforzar la eficacia de las primeras y prolongar su vida útil, han sido más precisas en la cuenca del torrente de Arratiecho que en la cuenca del torrente de Arás. En ello ha podido influir su menor superficie y con ello una menor intensidad del fenómeno geotorrencial en la cuenca, aunque su dinámica sea la misma.

Los resultados de los proyectos de RH-F de las cuencas de ambos torrentes de Arratiecho y de Arás han sido lo suficientemente satisfactorios como para que en ocasiones se olvidara la razón que motivó sus ejecuciones:

reducir el peligro ante los riesgos naturales. Hay que recordar que el riesgo no depende solo del peligro, sino también de la exposición y de la vulnerabilidad. No se deben realizar actividades que impliquen asentamientos expuestos, vulnerables y permanentes en los conos de sedimentación de los citados torrentes.

Los torrentes de Arratiecho y de Arás experimentan crecidas repentinas de caudales líquidos y sólidos, por ello han sido corregidos y sus cuencas reforestadas, pero la RH-F, que engloba ambas operaciones, se debe acompañar de un seguimiento permanente del sistema corrector, para conocer el comportamiento del torrente y de su cuenca vertiente, analizar el estado de las obras y la evolución de las reforestaciones y planificar y ejecutar las revisiones que sean necesarias, para que los objetivos que se plantearon con la ejecución de la RH-F se sigan atendiendo.

Conclusiones que afectan a la RH-F de las cuencas vertientes de montaña en general

Los trabajos y obras de RH-F, que en la primera mitad del siglo XIX se conocían como *trabajos de restauración de montañas*, no se cuestionaron hasta el último tercio del siglo XX, y no en todos los lugares se han cuestionado de igual manera.

Esta prevención hacia ellos y, sobre todo, su asentamiento en la opinión pública se debe a diversos factores, quizá los principales sean: a) la reducción de la población rural permanente en las áreas de montaña, que fueron sus principales valedores y destinatarios; b) el periodo tan dilatado en que comienzan a surtir sus efectos, lo que motiva que sus perceptores no conozcan las razones que los motivaron, y c) el cambio sustantivo en la mentalidad de la sociedad actual en relación con el medio natural y, en especial, con las áreas de montaña.

Aunque en las últimas décadas la población rural en la montaña haya disminuido considerablemente, este espacio se ha vuelto a ocupar con gente de la ciudad, que lo utiliza principalmente para su esparcimiento y recreo. Conviene recordar a los nuevos pobladores que los riesgos en la montaña son los mismos que existían en el pasado y que resulta necesario no solo reconocerlos, sino también protegerse de ellos.

Se ha presentado una *metodología*, con las limitaciones propias de una primera aproximación, para evaluar la importancia de los trabajos de RH-F realizados en el pasado en cuencas de montaña empleando criterios que pensamos asumibles para la sociedad actual. La circunstancia de que la montaña sea cada vez más utilizada como esparcimiento y recreo ha creado en el imaginario colectivo la sensación de un nuevo edén, algo esencialmente bueno capaz de transmitir buenas sensaciones. En realidad, el medio natural no es ni bueno ni malo, carece de voluntad para serlo y, normalmente, tampoco se nos muestra en un estado virginal. Conviene recordar que no todas las intervenciones realizadas en él han constituido alteraciones negativas y reconocer las actuaciones positivas llevadas a cabo en las cuencas de montaña del pasado con las RH-F, que supieron respetar la evolución natural de los escenarios afectados y mejorarlos, garantizando con ello su permanencia para las generaciones futuras. Así como también la necesidad y obligación moral de la sociedad de continuar con esta tarea.

EPÍLOGO Y RECONOCIMIENTOS

En este artículo se ha comentado que el bosque es un elemento regulador de los procesos geotorrenciales que desencadenan los aguaceros en las cuencas de montaña, reduciendo con ello los riesgos para las poblaciones asentadas en ellas y para sus visitantes. El bosque también asegura la eficacia y prolonga la vida útil de las obras de corrección hidráulica ejecutadas en los torrentes. Además, una buena estructura de la masa boscosa puede mejorar los efectos de protección ante los riesgos naturales.

La idea del bosque protector ante los riesgos naturales en la montaña adquiere importancia en la primera mitad del siglo XIX con los trabajos conocidos como *restauración de montañas* que por entonces se ejecutaban en los Alpes. A nuestro país este concepto nos llega fundamentalmente a través de los ingenieros franceses de *Eaux et forêts* (*Aguas y bosques*), cuyos principios y técnicas se incorporan en los planes de enseñanza de los ingenieros de montes y en Aragón alcanza su máximo desarrollo en las tres primeras décadas del siglo XX. Este artículo sirve de recordatorio a la importante labor desarrollada por la Sexta División Hidrológico-Forestal en el Pirineo aragonés y pone de manifiesto la necesidad de preservar los

bosques surgidos de las reforestaciones realizadas en el pasado por las comunidades de la cuenca del Alto Gállego, para que mantengan su eficiencia ante los riesgos naturales en el presente y en el futuro.

Para el contenido del artículo nos hemos documentado en la tesis doctoral de Santiago Manuel Fábregas Reigosa, *Criterios de aproximación para medir la efectividad de las actuaciones hidrológico-forestales en el control del fenómeno nivo-torrencial en las cuencas de montaña* (Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural, UPM, 2015) y para los temas específicos relacionados con la protección de las cubiertas forestales en el estudio *Metodología para la gestión de montes protectores y del estado y efectividad de las obras de ingeniería de riesgos naturales* (2011) del mismo autor. En lo referente al torrente de Arás se ha utilizado el libro de José Nicolás Rodríguez, *Restauración hidrológico-forestal de la cuenca del torrente de Arás* (2001) y se han tenido muy en cuenta los intercambios de ideas e informaciones que nuestra unidad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes mantuvo con los ingenieros de montes Francisco Fábregas Giné y Juan Carlos Delgado Sánchez, que tras la crecida del día 7 de agosto de 1996 estuvieron muy involucrados en la primera fase de la reconstrucción de la garganta y del cono de sedimentación del torrente de Arás. En lo que respecta al torrente de Arratiecho se ha hecho uso del trabajo fin de máster de Ingeniería de Montes de Carlos Párraga Varona, *Comportamiento de los trabajos y obras de la RH-F del torrente de Arratiecho (término municipal de Biescas, Huesca, 1905-2016)*, realizado en el citado Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural, de la UPM, 2016. No queremos concluir sin citar las fotografías históricas de los trabajos realizados en los torrentes de Arratiecho y de Arás procedentes de la familia Ayerbe y recogidos en la Fototeca Forestal Española (DGB-INIA, MONTERO y cols., 2007). Por último, por su gran labor divulgativa en el ámbito desarrollado en este artículo se menciona a Carlos Tarazona Grasa, autor del blog <http://esmemoriaus.blogspot.com.es>.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILÓ BONNÍN, J. (1976). *Evaluación de inversiones en la ordenación agrohidrológica de cuencas*. Publicaciones del Ministerio de Agricultura. Madrid. 72 pp.
- BATHURST, J. C., J. AMEZAGA, F. CISNEROS, M. GAVIÑO NOVILLO, A. IROUMÉ, M. A. LENZI, J. Á. MINTEGUI AGUIRRE, M. MIRANDA y A. URCIUOLO (2010). Forests and Floods in Latin America: Science, Management, Policy and the EPIC FORCE Project. *Water International*, 35 (2): 114-131.
- DE FERRARI, F., y S. BRUSCHINI (coords.) (2006). *Selvicoltura nelle foreste di protezione: Esperienze e indirizzi gestionali in Piemonte e in Valle d'Aosta: 225-279*. Regione Autonoma Valle D'Aosta. Regione Piemonte. Compagnia delle Foreste. Arezzo.
- DELL'AGNESE, A., B. MAZZORANA, F. COMITI, P. VON MARAVIC y V. D'AGOSTINO (2013). Assessing the physical vulnerability of check dam through an Empirical Damage Index. *Journal Agricultural Engineering*, 44 (2): 9-16.
- FÁBREGAS REIGOSA, S. M. (dir.) (2011). *Metodología para la gestión de montes protectores y del estado y efectividad de las obras de ingeniería de riesgos naturales. A Lurte*. Estudio promovido por la Asociación Sargantana; financiado por FEADER, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y redactado por Pirinea Consultores Técnicos-Huesca. 137 pp., mapas.
- FÁBREGAS REIGOSA, S. M. (2015). *Criterios de aproximación para medir la efectividad de las actuaciones hidrológico-forestales en el control del fenómeno nivo-torrencial en las cuencas de montaña*. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 211 pp.
- GARCÍA DÍAZ, R., J. Á. MINTEGUI AGUIRRE y J. C. ROBREDO SÁNCHEZ (2002). La caracterización del movimiento del agua en laderas, como instrumento de zonificación de los usos del suelo en cuencas de montaña. *Ecología*, 16: 9-29.
- GARCÍA NÁJERA, J. M. (1954). *Pendientes máximas admisibles en las tierras de cultivo y cálculo de las terrazas intermitentes con desagüe para la conservación del suelo (banquetas de infiltración)*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 29 pp.
- GARCÍA NÁJERA, J. M. (1955). *El bosque, el agua y la conservación del suelo: pendiente máxima admisible en los pastizales*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 7 pp.
- GARCÍA ROBREDO, F. (2000). *Evaluación económica de las actuaciones de restauración hidrológico-forestal*. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- GAUQUELIN, X., y B. COURBAUD (coords.) (2006). *Guide des Sylvicultures de Montagne. Alpes du Nord françaises*. Cemagref de Grenoble. Centre Régional de la Propriété Forestière Rhône-Alpes. Office National des Forêts. Saint-Martin-d'Hères. 289 pp.
- HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER (2000). *HEC-HMS (Hydrologic Modelling System), 2nd version. Technical Reference Manual*. A. D. Feldman. Washington D. C.
- LICINI, F., y E. PASQUETAZZ (dirs.) (2006). *Selvicoltura nelle foreste di protezione: Esperienze e indirizzi gestionali in Piemonte e in Valle d'Aosta: 1-224*. Regione Autonoma Valle D'Aosta. Regione Piemonte. Compagnia delle Foreste. Arezzo.

- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F., y M. BLANCO CRIADO (1968). *Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte y depósito de materiales*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 187 pp.
- LOSEY, S., y A. WEHRLI (2013). *Forêt protectrice en Suisse. Du projet Silva Project-CH à la forêt protectrice harmonisée*. Office Fédéral de l'Environnement. Berna. 29 pp. y anexos.
- MARRACO SOLANA, S. (1999). La restauración hidrológico-forestal en el Pirineo aragonés: tres ejemplos y una conclusión. En A. Madrigal Collazo (coord.), *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.
- MINTEGUI AGUIRRE, J. Á., y J. C. ROBREDO SÁNCHEZ (2008). *Estrategias para el control de los fenómenos torrenciales y la ordenación sustentable de las aguas, suelos y bosques de las cuencas de montaña*. UNESCO (Documentos Técnicos del PHI-LAC, 13). Montevideo. 176 pp. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001592/159245s.pdf> [consulta: 31/7/2017].
- MONTERO, G., R. VALLEJO y R. RUIZ-PEINADO (2007). *Fototeca Forestal Española, DGB-INIA*. Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid. Disponible en <http://www.inia.es/fototeca> [consulta: 31/7/2017].
- NICOLÁS RODRÍGUEZ, J. (2001). *Restauración hidrológico-forestal de la cuenca del torrente de Arás*. Grupo TRAGSA-TRAGSATEC. Madrid. 221 pp.
- PÁRRAGA VARONA, C. (2016). *Comportamiento de los trabajos y obras de RH-F del torrente de Arratiecho (T. M. de Biescas, Huesca, 1905-2016)*. Trabajo fin de máster de Ingeniería de Montes. Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 65 pp., planos y anexo del estado del torrente.
- REY, F., J. LADIER, A. HURAND, F. BERGER, G. CALES y S. SIMON-TEISSIER (2009). *Forêts de protection contre les aléas naturels: diagnostics et stratégies, Alpes du sud françaises*. Édition Quae. Versailles. 111 pp.
- SARANDÓN, R., M. GAVIÑO NOVILLO y V. GUERRERO BORGES (2007). *Factors affecting the occurrence of hydrological events and subsequent damages*. Draft Technical. Universidad de La Plata (Argentina). 7 pp.
- SERRADA, R., J. Á. MINTEGUI, J. L. GARCÍA, V. GÓMEZ, J. C. ROBREDO y J. ZAZO (1998). A method for simulating torrential rainfall in experimental plots for the analysis of the hydrological behavior of different types of plant cover and systematic preparation of soil for reforestation. En A. Rodríguez Rodríguez, C. C. Jiménez Mendoza y M. L. Tejedor Salguero (eds.), *The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures*: 165-176. Geofoma. Logroño.
- SURREL, A. (1841). *Étude sur les torrents des Hautes-Alpes*. Dunod. París.
- TARAZONA GRASA, C. <http://esmemoriaus.blogspot.com.es> [consulta: 31/7/2017].
- TÉMEZ PELÁEZ, J. R. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Madrid, 113 pp.

ETNOVETERINARIA EN EL VALLE DE TENA Y EN TIERRA DE BIESCAS

Lucía LÓPEZ¹
Concepción OBÓN²

RESUMEN.— Se realiza un estudio en el valle de Tena y en Tierra de Biescas, en la comarca del Alto Gállego (Huesca), sobre prácticas curativas tradicionales de los animales. Se han llevado a cabo 31 entrevistas a 30 informantes. Se presentan entre otros datos los nombres científicos y vernáculos de las plantas, indicación terapéutica, animal para el que se emplea el remedio y formas de preparación. Se han registrado 78 taxones vegetales diferentes pertenecientes a 47 familias botánicas, 17 remedios de origen vegetal, 1 hongo, 13 remedios de origen animal, 8 remedios minerales, 2 remedios químicos y 9 remedios de origen distinto a los citados anteriormente. En total, 92 ingredientes utilizados con fines medicinales, reproductivos, o de producción animal. Se relacionan sus nombres científicos y vernáculos, usos, especies de destino y formas de preparación. Estas prácticas tradicionales son de gran interés en ganadería ecológica como alternativas a los medicamentos de síntesis y como fuentes de alimentación no convencionales. También contribuyen al mantenimiento de este conocimiento tradicional cuya difusión de generación en generación ha sido sobre todo oral y viene cayendo en desuso en los últimos tiempos.

Recepción del original: 30-1-2017

¹ Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza. Avenida de Montañana, 1005. E-50059 ZARAGOZA. lucia@mallata.com, lopez-marco@iamz.ciheam.org

² Departamento de Biología Aplicada. Universidad Miguel Hernández. Carretera de Beniel, km. 3,4. E-02312 ORIHUELA. cobon@umh.es

ABSTRACT.— A study is carried out in the Tena Valley and Biescas Area (Huesca, Spain) on traditional animal healing practices. 31 interviews were carried out with 30 informants. The research presents scientific and vernacular names of plants, therapeutic indication, animal for which the remedy is used, and forms of preparation. There are 78 different plant taxa belonging to 47 botanical families, 17 plant remedies, 1 fungus, 13 animal remedies, 8 mineral remedies, 2 chemical remedies and 9 remedies of origin other than those mentioned above. In total, the study identifies 92 ingredients used for medicinal, reproductive or animal production purposes. These traditional practices are of great interest in organic farming as alternatives to synthetic medicines and as unconventional food sources. They also contribute to the maintenance of this traditional knowledge whose dissemination from generation to generation has been mostly oral and has been falling into disuse in recent times.

KEY WORDS.— Ethnoveterinary, veterinary medicine, animal farming, traditional knowledge, Pyrenees.

INTRODUCCIÓN

La etnoveterinaria o medicina popular veterinaria es “el conocimiento y/o la aplicación de remedios naturales, dirigidos tanto a la prevención como a la curación de las enfermedades de los animales, transmitidos fundamentalmente de forma oral, aunque algunos hayan sido descritos en la literatura” (PENCO y GORDÓN, 2003). Es decir, se trata de un “estudio interdisciplinario y holístico de los sistemas de conocimientos locales asociados a prácticas, aptitudes, creencias y estructuras sociales pertenecientes a la producción animal, con el fin de aplicarlos a proyectos de desarrollo agropecuario que tengan como objetivo mejorar el nivel de vida de la población e incrementar sus producciones” (McCORKLE, 1995).

Los conocimientos de los pastores sobre remedios naturales han tenido una gran influencia en la medicina moderna, ya que a lo largo de los siglos la medicina practicada por los médicos ha ido asimilando numerosas influencias de la medicina de pastores y campesinos (OBÓN y RIVERA, 1991). Sin embargo, a pesar de la importancia que tienen como fuente de principios activos los remedios naturales, los estudios en esta materia son escasos, si bien han aumentado en los últimos años por el interés en inventariar los conocimientos tradicionales o por atender la demanda de los ganaderos que buscan alternativas fitoterapéuticas o alimentarias para la salud de sus animales.

Buena parte de las investigaciones en este campo han sido llevadas a cabo en África, Asia y Centroamérica (MAXIA y cols., 2005), aunque cada vez hay mayor interés en Europa. Este creciente interés por la etnoveterinaria también se evidencia en España, donde en los últimos años se han publicado diversas investigaciones en esta materia, aunque siguen siendo insuficientes, además de muy localizadas en zonas muy concretas: la dehesa española (ORTIZ, 2010), Navarra (AKERRETA y cols., 2010), Arribes del Duero (Zamora y Salamanca) (GONZÁLEZ y cols., 2011), sierra de Aracena (Huelva) (GÓMEZ, 2011), Granada (BENÍTEZ, 2011), Pirineos catalanes e islas Baleares (CARRIÓ y cols., 2012), Triacastela (Lugo) (ROMERO y cols., 2013), etcétera. En lo que al Pirineo aragonés respecta, cabe destacar el libro *Plantas medicinales del Pirineo aragonés* (VILLAR y cols., 1987, 1992), en el que se recogen 54 especies vegetales de uso veterinario, y el trabajo del farmacéutico José María Palacín (PALACÍN, 1980).

Según algunos estudios (McCORKLE y MATHIAS-MUNDY, 1992), la integración de la etnoveterinaria en la veterinaria convencional podría suponer un ahorro de dinero, energía y recursos naturales. Por otro lado, el Reglamento vigente de Ganadería Ecológica (CE) n.º 834/2007 (CE, 2007) recoge que “se utilizará preferentemente la fitoterapia, que utiliza plantas medicinales en forma de esencias y extractos y la homeopatía, que permite tratar al animal sin dejar residuos en sus productos; los sistemas de cría se basarán en la utilización máxima de los pastos, según estén disponibles a lo largo del año, teniendo que estar constituida la ración diaria en al menos un 60% de la materia seca por forrajes”. Por este motivo resultan imprescindibles este tipo de trabajos que ponen al alcance de ganaderos y técnicos recursos muy accesibles, pero cada vez más desconocidos.

La zona de estudio se corresponde con la parte norte de la comarca del Alto Gállego, que incluye los términos municipales de Sallent de Gállego, Hoz de Jaca, Panticosa, Biescas y Yebra de Basa, y se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera Ordesa-Viñamala. La economía del territorio ha sido tradicionalmente ganadera, aunque en los últimos años del siglo XX la despoblación y el turismo han disminuido el peso de las actividades agropecuarias y los saberes tradicionales que las sustentaban, por eso urge recoger los conocimientos relacionados con la etnoveterinaria, para conservarlos y permitir el desarrollo de nuevas formas curativas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos principales se han obtenido por entrevista directa semiestructurada a informantes experimentados, entre los que destacan personas que se dedican o se han dedicado a la ganadería. Se realizaron 31 entrevistas a 30 personas. Las entrevistas consistieron en conversaciones flexibles con los informantes, pero acompañadas de una encuesta-guía, con preguntas pre-determinadas. A todas las personas se les visitó una sola vez, excepto a un informante, que dado el amplio grado de conocimiento que poseía sobre la materia se le visitó dos veces en dos épocas distintas: invierno y primavera. Las entrevistas se realizaron en semanas alternas de febrero a junio de 2015.

Los distintos datos recogidos se clasificaron según los órganos y funciones a los que afectaban, siguiendo la clasificación de *El manual Merck de veterinaria: un manual de diagnóstico, tratamiento, prevención y control de las enfermedades para el veterinario* (FRASER, 1993), dividiéndose en “Sistemas sanguíneo, linfático y cardiovascular”; “Sistema digestivo”; “Sistema endocrino”; “Ojo y oído”; “Afecciones generalizadas”; “Sistema inmune”; “Trastornos metabólicos”; “Sistema osteomuscular”; “Sistema nervioso”; “Influencias físicas”; “Sistema reproductivo”; “Sistema respiratorio”; “Piel”; “Sistema urinario”; “Manejo, cría y nutrición”. A esta clasificación, además, se ha añadido brujería, al igual que en otras investigaciones en etnoveterinaria (GÓMEZ, 2011), donde se agrupan aquellas preparaciones de origen místico y cuya finalidad era prevenir de fenómenos tales como las brujas, las tormentas, etcétera

A diferencia de los estudios etnobotánicos, en esta recopilación no se pretende informar sobre las aplicaciones de distintas especies vegetales, sino que se centra única y exclusivamente en las propiedades que afectan a los animales, y recoge no solo preparaciones realizadas a base de plantas, sino todo tipo de remedios relacionados con la sanidad y la producción animal. Resulta también importante destacar, que el presente artículo recoge la información aportada por los entrevistados y otras fuentes bibliográficas, sin someter a estudio científico la viabilidad o su eficacia. Además de la información aportada por los entrevistados, se recogen también datos encontrados en la bibliografía relacionados con la etnoveterinaria en la zona de estudio, recogidos en la publicación *Plantas medicinales del Pirineo aragonés y demás tierras oscenses* (VILLAR y cols., 1987, 1992).

RESULTADOS

Los datos vienen clasificados según su naturaleza: “Remedios vegetales” (tabla I), “Otros remedios de origen vegetal” (tabla II), “Remedios de origen fúngico” (tabla III), “Remedios de origen animal” (tabla IV), “Remedios de origen mineral” (tabla V), “Remedios de origen químico” (tabla VI), “Manipulaciones y otros remedios” (tabla VII); adaptando una clasificación propuesta por PENCO y GORDÓN (2003). En el caso de las especies vegetales y fúngicas, vienen ordenadas por familias taxonómicas.

Tabla I. Remedios vegetales.

Familia / Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
ADOXACEAE								
<i>Sambucus ebulus</i> L.	Sabuqueré	Hojas	Todos	P	Heridas	Contacto directo o lavado con la decocción	T	2
<i>Sambucus nigra</i> *	Sabuco	Flores	Todos	Resp.	Problemas respiratorios	Inhalación del vapor	I	16
				D	Indigestiones	Inhalación o aplicación del vapor	I/T	
				Rep.	Mastitis	Aplicación del vapor + buro	T	
<i>Viburnum lantana</i> L.	Betataina	Varas	Equinos, vacunos	SLC	Cicatrizante	Contacto	T	1
AMARANTHACEAE								
<i>Chenopodium bonus-henricus</i> L.	Hierba calcárea	Parte aérea	Ovinos	Rep.	Inducción del estro	Comestible	O	1
			Porcinos	AG	Tumor	Comestible	O	
<i>Salsola vermiculata</i> L.	Salsola	Parte aérea	Ovinos	MCN	Producción láctea	Comestible	O	1
AMARYLLIDACEAE								
<i>Allium cepa</i> L.	Cebolla	Bulbo	Todos	P	Abscesos	Contacto	T	3
			Todos	IF	Heridas	Ungüento	T	
APIACEAE								
<i>Apium graveolens</i> L.	Apio	Parte aérea	Todos	D	Purgante	Comestible	O	0
				SLC	Inflamaciones	Contacto	T	
<i>Cuminum cyminum</i> L.	Espurrina	Parte aérea	Cánidos	D	Digestivo	Comestible	O	1
<i>Meum athamanticum</i> Jacq.	Meón	Hojas	Todos	U	Diurético	Infusión	O	0

Tabla 1. (Continuación)

Familia / Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
AQUIFOLIACEAE								
<i>Ilex aquifolium</i> L.**	Cardón, cardonera	Tallos / Rama	Todos	Resp.	Enfermedades respiratorias	Inhalación del vapor	I	8
		Rama	Todos	D	Indigestión	Ritual	M	
		Rama	Todos	Rep.	Mastitis	Aplicación del vapor	T	
		Rama	Vacuno	AG	Herpes	Ritual	M	
ARALIACEAE								
<i>Hedera helix</i> L.	Yedra	Hoja	Todos	D	Pancreática	Decocción	O	2
		Hoja	Todos	SLC	Hipotensora	Decocción	O	
		Hoja	Caprinos	SLC	Tóxica	Comestible	O	
<i>Aristolochia pistolochia</i> L.	Enredadera	Toda	Vacunos, equinos y ovinos	SLC	Depurativa	Triturada con cenizas en el agua de beber	O	0
ASPARAGACEAE								
<i>Asphyllanthes monspeliensis</i> L.	Chunqueta	Toda	Ovino	MCN	Alimento	Comestible	O	1
<i>Ruscus aculeatus</i> L.	Bujarreta, bujarras	Rama	Todos	AG	Herpes	Ritual	M	3
		Rama	Todos	B	Proteger de las tormentas	Ritual	M	
ASPLENIACEAE								
<i>Asplenium trichomanes</i> L.	Mermasangre	Rama	Todos	SLC	Problemas circulatorios	Decocción	O	1
BETULACEAE								
<i>Betula pendula</i> Roth	Abedul	Hojas	Cánidos	D	Digestiva	Decocción	O	0
<i>Corylus avellana</i> L.	Avellanera	Vara	Equino	D	Digestiva	Ritual	M	1
BUXACEAE								
<i>Buxus sempervirens</i> L.**	Bucho, boj	Ramas	Todos	Resp.	Enfermedades respiratorias	Inhalación del vapor	I	2
				Rep.	Mastitis	Aplicación del vapor	T	
CAPRIFOLIACEAE								
<i>Dipsacus fullonum</i> L.	Gardincha	Planta	Todos	B	Mágica	Se coloca en la puerta de las cuadras	M	0
COMPOSITAE								
<i>Achillea millefolium</i> L.	Mermasangre	Flor	Todos	Dig.	Digestiva	Decocción	O	2
			Todos	SLC	Cicatrizante	Decocción	T	2
<i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh.	Cachorrera	Hoja	Todos	IF	Heridas	Aplicación de la hoja sin pelusillas	T	0

Tabla 1. (Continuación)

Familia / Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
<i>Arnica montana</i> L.	Árnica	Flor	Todos	SLC	Antiinflamatorio	Cataplasma	T	6
				IF	Heridas	Decocción	T	
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso	Ontina	Toda	Todos	MCN	Alimentación	Comestible	O	1
<i>Carlina acaulis</i> L.	Cardo	Flor	Todos	B	Protección	Ritual	M	1
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	Manzanilla	Flor	Ovinos	D	Diarreas	Decocción	O	8
			Todos	D	Indigestión	Decocción		
CRASSULACEAE								
<i>Sedum telephium</i> L.	Callera	Hoja	Todos	SLC	Cicatrizante	Decocción	T	1
CUCURBITACEAE								
<i>Bryonia cretica</i> subsp. dioica (Jacq.) Tutin	Tunca	Raíz	Équidos	D	Indigestión	Pasta compuesta por raíces de tunca con sal	O	
CUPRESSACEAE								
<i>Juniperus communis</i> L.	Chinebro, enebro	Aceite	Todos	IF	Heridas	Aplicación del aceite	T	10
		Bayas	Todos	SLC	Cicatrizante	Decocción	T	
		Aceite	Todos	AG	Miasis	Aplicación del aceite	T	
<i>Juniperus phoenicea</i> L.	Sabina	Cenizas	Todos	MCN	Complemento mineral	Se añaden cenizas de sabina a la sal	O	0
CYPERACEAE								
<i>Scirpoides holoschoenus</i> (L.) Soják	Junco	Tallo	Caprinos	U	Diurético	Introducción de tallo lubricado con aceite en la vía	T	1
DENNSTAEDTIACEAE								
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Jéus	Ramas	Vacunos	MCN	Cama	Preparación de la cama con ramas	T	1
ERICACEAE								
<i>Arctostaphylos Uva-Ursi</i> (L.) Spreng. **	Bucheta	Ramas	Todos	D	Indigestión	Inhalación o aplicación del vapor	I	2
				Resp.	Problemas respiratorios	Inhalación del vapor	I	
				Rep.	Mastitis	Aplicación del vapor	T	
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	Anayón	Hojas	Ovinos	AG	Viruela	Consumo de esta planta en animales con la enfermedad	O	1
		Polen	Abejas	AG	No se sabe	Polinización	O	

Tabla 1. (Continuación)

Familia / Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
EUPHORBIACEAE								
<i>Ricinus communis</i> L.	Recino	Aceite	Todos	D	Indigestión	Con una botella vía oral	O	2
FAGACEAE								
<i>Quercus faginea</i> Lam.	Cajico	Hoja	Vacunos	D	Diarreas	Agua de la decocción de la hoja	O	1
HYPERICACEAE								
<i>Hypericum perforatum</i> L.	Hierba de pericón	Planta florida	Vacunos	AG	Infección bucal	Cocimiento de la planta junto con malvas para lavado bucal de los animales	O	1
JUGLANDACEAE								
<i>Juglans regia</i> L.	Nogal, noguera	Corteza	Vacunos	D	Diarreas	Decocción vía oral a terneros	O	2
			Todos	IF	Heridas	Aplicación de la decocción con una pera de goma en las heridas	T	
LAMIACEAE								
<i>Marrubium vulgare</i> L.	Marruego	Planta	Todos	IF	Heridas	Aplicación del agua de la decocción	T	1
				SLC	Antiinflamatorio	Aplicación mediante compresas calientes empapadas con el cocimiento	T	
				D	Purgante	Lavativa del cocimiento	O	
<i>Melissa officinalis</i> L.*	Tolonjina	Planta	Todos	Resp.	Enfermedades respiratorias	Inhalación del vapor	I	1
				D	Indigestiones	Inhalación o aplicación del vapor	T	
				Rep.	Mastitis	Aplicación del vapor	T	
<i>Nepeta cataria</i> L.	Nopetas	Hojas	Vacunos	D	Diarreas	Decocción de las hojas	O	1
<i>Origanum vulgare</i> L.	Orégano	Tallos	Vacunos	Rep.	Expulsión de la placenta	Administrado molido con harina o la decocción	O	5
<i>Sideritis hyssopifolia</i> L.	Té de monte	Ramas	Todos	U	Afecciones renales	Decocción de la planta	O	1
LEGUMINOSAE								
<i>Echinospartum horridum</i> (M. Vahl) Rothm	Arizón, erizón	Planta	Ovinos	Rep.	Inducción del estro	Para inducir el estro simultáneo del rebaño y sincronizar partos, se les hacía comer esta planta	O	3
			Ovinos, caprinos	T	Problemas urinarios	En machos, el consumo abundante de esta planta conlleva problemas urinarios	O	

Tabla 1. (Continuación)

Familia / Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
<i>Lens culinaris</i> Medik.	Lentejas	Grano	Ovinos	MCN	Engorde	Administración de lentejas junto con avena para engorde de corderos	O	1
<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.	Pipirigallo	Grano	Ovinos, caprinos	MCN	Engorde	Alimentación	O	3
				AG	Control parasitosis	Administración del grano	O	
<i>Ononis aragonensis</i> Asso	Hierba de pedreguera	Hojas	Todos	AG	Hipoglucemia	Consumo de la planta	O	1
			Rumiantes	D	Reactivación de la rumia	Se les hace comer esta planta para reactivar la rumia	O	
<i>Trifolium alpinum</i> L.	Regaliz	Raíz	Vacunos	D	Digestiva	Consumo de la raíz	O	1
LINACEAE								
<i>Linum usitatissimum</i> L.	Linaza	Semillas	Todos	D	Indigestión	Cocimiento de las semillas	O	2
MALVACEAE								
<i>Malva sylvestris</i> L.*	Malva	Flores	Todos	D	Indigestión	Inhalación o aplicación del vapor	I/T	10
				Resp.	Enfermedades respiratorias	Inhalación del vapor	I	
				Rep.	Mastitis	Aplicación del vapor del ramo de San Juan	T	
				IF	Mordedura de víbora	Aplicación del vapor	T	
					Desinfección cubículos	Vapor	I	
				IF	Heridas	Se tritura el ramo de San Juan, se macera en alcohol y se hacen frías para curar heridas	T	
				D	Laxante	Decocción de la planta	O	
MORACEAE								
<i>Ficus carica</i> L.	Figonera	Fruto	Equinos	P	Tumores cutáneos	Aplicación de emplastos de figonera	T	1
ORCHIDACEAE								
<i>Orchis mascula</i> (L.) L.	Orquídea	Flor	Vacunos	Rep.	Inducción del estro	Decocción	O	1

Tabla 1. (Continuación)

<i>Familia / Nombre científico</i>	<i>Nombre vernáculo</i>	<i>Parte usada</i>	<i>Especie de destino</i>	<i>Categoría terapéutica</i>	<i>Indicación terapéutica</i>	<i>Preparación</i>	<i>Administración</i>	<i>N.º de citas</i>
				OM	Fortalecer los huesos	Orquídeas mezcladas con leche	O	
PAPAVERACEAE								
<i>Chelidonium majus</i> L.	Planta de yodo	Látex	Todos	IF	Heridas, verrugas	Administración del látex para cerrar heridas y eliminar verrugas	T	1
				P	Tumores	Aplicación del látex	T	
		Planta	Gallinas	AG	Pepita en la boca	Para prevenir la aparición de la enfermedad, dar a comer una vez al mes	O	
		Látex	Vacunos	Rep	Lavado uterino	Para lavar el útero de las recién paridas	IU	
PINACEAE								
<i>Abies alba</i> Mill.	Abet	Ramas	Todos	B	Protección	Las ramas bendecidas el Domingo de Ramos se colocan en las ventanas de las cuadras	M	0
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Pino royo	Pez	Todos	O	Marcaje	Marcar al ganado	T	13
			Ovinos, caprinos	IF	Cojeras	Con pez caliente, un trapo, trozos de caña y cuerdas, se colocaba una pilma para inmovilizar al animal	T	
			Ovinos	AG	Miasis	Pana con pez en la herida para prevenir las miasis	T	
PLANTAGINACEAE								
<i>Digitalis Purpurea</i> L.	Napech	Hoja	Todos	Rep.	Abortiva	Consumo de una pequeña porción de la hoja	O	1
POACEAE								
<i>Avena sativa</i> L.	Avena	Grano	Ovinos	MCN	Engorde	Administración junto con lentejas a corderos	O	1
<i>Lygeum spartum</i> Loeff. Ex L.	Esparto	Hojas	Todos	Rep.	Expulsión de la placenta	Para expulsar las parias, se ataba un fenejo o cuerdecilla de esparto	T	0
<i>Secale cereale</i> L.	Centeno	Grano	Gallinas	MCN	Engorde	Alimentación	O	1
<i>Triticum</i> spp. L.	Trigo	Grano	Gallinas	MCN	Engorde	Alimentación	O	3

Tabla 1. (Continuación)

Familia / Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
		Salvado	Vacunos	Rep	Aborto	Se calentaba el salvado de trigo y se metía en un saco que se colocaba encima de la vaca que había abortado junto con una manta	T	
<i>Zea mays</i> L.	Panizo	Grano	Porcinos	MCN	Engorde	Único alimento administrado a los cerdos durante el último mes antes del sacrificio	O	1
RANUNCULACEAE								
<i>Aconitum napellus</i> L	Napech	Hoja	Cánidos	Rep.	Abortiva	Se introduce una porción pequeña de hoja escondida en el pan u otro alimento	O	1
<i>Clematis vitalba</i> L	Betiquera	Hojas	Ovinos	AG	Miasis	Aplicación de las hojas secas molidas sobre las heridas	T	1
ROSACEAE								
<i>Amelanchier ovalis</i> Medik	Hierba de los huesos, senera	Flor y tallo	Todos	OM	Huesos	Decocción	O	3
		Rama	Ovinos	D	Indigestión	Se empleaba para pinchar en la hijada a las ovejas que <i>se rinchaban</i>	T	
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	Cachimiro-nero	Fruto	Todos	AG	Infección bucal	Agua procedente de la decocción del fruto para hacer curas	O	1
<i>Rosa canina</i> L.*	Rosa silvestre	Flor	Todos	D	Indigestiones	Inhalación o aplicación del vapor	I/T	1
				Resp.	Enfermedades respiratorias	Inhalación del vapor	I	
				Rep.	Mastitis	Inhalación del vapor	T	
				OO	Conjuntivitis	Utilización del agua de rosas para limpiar los ojos del animal afectado	T	
RUTACEAE								
<i>Ruta angustifolia</i> Pers.	Ruda	Planta	Todos	Rep.	Expulsión de la placenta	Decocción	O	3

Tabla 1. (Continuación)

<i>Familia / Nombre científico</i>	<i>Nombre vernáculo</i>	<i>Parte usada</i>	<i>Especie de destino</i>	<i>Categoría terapéutica</i>	<i>Indicación terapéutica</i>	<i>Preparación</i>	<i>Administración</i>	<i>N.º de citas</i>
		Hoja	Vacunos	Rep.	Planificación de los partos	Consumo de hoja por vía oral	O	
SANTALACEAE								
<i>Viscum album L.</i>	Visco	Hoja	Porcinos	MCN	Infiltración grasa	Hervidos	O	4
			Equinos	P	Tumores cutáneos	Emplastos de visco mezclados con manteca	T	
SAXIFRAGACEAE								
<i>Saxifraga longifolia Lapeyr.</i>	Coda de borrega	Hojas	Todos	Rep.	Abortiva	Cocimiento	O	0
					Expulsión de parias	Cocimiento	O	
SCROPHULARIACEAE								
<i>Verbascum thapsus L.</i>	Guardalobo	Hojas	Todos	Resp.	Enfermedades respiratorias	Infusión	O	1
SOLANACEAE								
<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>	Tomate	Hoja	Todos	D	Purgante	Cocimiento	O	0
<i>Nicotiana tabacum L.</i>	Tabaco	Hoja	Ovinos	AG	Miasis	Se vierte la picadura del tabaco en la herida	O	3
				IF	Heridas	Para prevenir la aparición de miasis	O	
THYMELAEACEAE								
<i>Daphne laureola L.</i>	Barrabón	Ramas	Todos	SLC	Cicatrizante	Decocción	O	3
			Ovinos	AG	Miasis	Decocción	T	
<i>Thymelaea tinctoria (Pourr.) Endl.</i>	Bufarala	Ramas	Todos	IF	Heridas en las patas	Decocción	T	1
				AG	Glosopeda	Decocción	O	
ULMACEAE								
<i>Ulmus minor Mill.</i>	Ulmo	Hojas	Todos	MCN	Alimentación	Administración de las hojas para consumo	O	1
URTICACEAE								
<i>Urtica Dioica L.</i>	Chordica, chordiga	Planta	Ovinos	MCN	Alimentación	Administración de la planta en el pesebre	O	4
			Porcinos	MCN	Alimentación	Escaldadas	O	
			Vacunos	Rep.	Inducción del estro	Administración de la planta en el pesebre	O	
			Todos	IF	Heridas	Decocción	T	

Tabla 1. (Continuación)

Familia / Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
VERBENACEAE								
<i>Verbena officinalis</i> L.	Verbena	Hojas	Todos	SLC	Antiinflamatoria	Cataplasma	T	1
VITACEAE								
<i>Vitis vinifera</i> L.	Uva	Vino	Vacunos	Rep.	Cetosis	Una botella de vino rancio	O	11
			Ovinos	AG	Hipoglucemia	Una botella de vino rancio		
			Gallinas	Rep.	Incubación	Administración de pan con vino a las gallinas que están incubando		
			Todos	AG	Hipoglucemia	Administración de pan con vino a los animales "apocopados"	O	
		Vinagre	Todos	AG	Glosopeda	"Piruleta" hecha con miel y vinagre enfriados en torno a un palo	O	
						Trapo empapado con sal y vinagre atado a un palo	O	
			Todos	Rep.	Mastitis	Aplicado directamente o mezclado con buro	T	
					Miasis	Aplicación del vinagre en la zona afectada	T	
XANTHORRHOEACEAE								
<i>Asphodelus albus</i> Mill.	Abozos	Hojas	Porcinos	MCN	Engorde	Hervidas	O	2

Cuando ese remedio no ha sido aportado por ningún informante y se ha obtenido de la bibliografía, aparece reflejado con un 0. Clasificación de patologías según Manual Merck: SLC: Sistemas sanguíneo, linfático y cardiovascular; D: Sistema digestivo; OO: Ojo y oído; AG: Afecciones generalizadas; OM: Sistema osteomuscular; N: Sistema nervioso; IF: Influencias físicas; Rep.: Sistema reproductivo; Resp.: Sistema respiratorio; P: Piel; U: Sistema urinario; MCN: Manejo, cría y nutrición; B: Brujería. Administración: T: Tópica; I: Inhalación; O: Oral; M: Mágica; IU: Intrauterina; R: Rectal; OQ: Operación quirúrgica.

* Las plantas indicadas con un * forman parte del ramo de San Juan, el cual era, y es, muy empleado en la zona y se preparaba a base de flores de malva, sabuco, menta, etcétera, que se recolectaban la noche de San Juan antes de que amaneciese. Estos ramos se dejaban secar al aire libre o junto a la chimenea, para posteriormente quemarlos en braseros o sartenes viejas y se empleaba para la curación de enfermedades digestivas, respiratorias, mastitis y para desinfectar cubículos o habitaciones en las que hubieran fallecido personas o animales. Para que tuviese más poder, solía bendecirse en la iglesia.

** Estas plantas forman parte del ramo de Santa Cruz, similar al de San Juan y empleado con los mismos fines, pero para cuya elaboración se emplean otras plantas, como el boj, la buxeta o la cardonera.

Tabla II. Otros remedios de origen vegetal.

Ingredientes	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
Aceite (no se especifica ninguna planta)	Vacunos	D	Indigestión	Mediante botella	O	3
	Equinos	IF	Heridas	Con hollín	T	
Anís (<i>Pimpinella anisetum</i>)	Rumiantes	D	Cólico	Licor	O	3
Azúcar	Todos	OO	Uveitis	Aplicación en el ojo	T	9
Capazo, canasto de mimbre	Gallinas	Rep.	Gallinas cluecas	Se quitan los huevos a la gallina y se le coloca un capazo de 4 a 7 días	T	1
Carbón molido	Todos	IF	Heridas	Aplicación de carbón molido para prevenir	T	12
Cenizas	Gallinas	AG	Piojos	Se espolvorean las cenizas sobre los animales con piojos	T	7
	Todos	IF	Heridas	Las cenizas del hogar de Noche Buena se guardaban todo el año y se ponían en las heridas del ganado	T	
	Todos	D	Pancreática	Con sal	O	
	Todos	SLC	Cicatrizante	Aplicación en las heridas por la marca de pez	T	
Cuerdas	Vacunos	Rep.	Partos complicados	Se atan las cuerdas a las patas delanteras del feto	U	3
	Todos	Rep.	Prolapso de matriz	Se sujeta con las cuerdas la matriz una vez limpiada	U	
Estaca	Ovinos	MCN	Amamantamiento	Se ata la madre a una estaca para que no huya del cordero	T	5
Hilo de algodón	Ovinos	Rep.	Prolapso de matriz	Con aguja de coser colchones e hilo de algodón de hacer embutido se daban unas puntadas para sujetar la matriz	U	1
Miga de pan	Gallinas	IF	Fractura	Se mastica la miga y con un palo se "escayola" la pata	T	2
Palo	Ovinos	D	Meteorismo	Se coloca el palo en la boca del animal y se le ata una de las patas traseras	T	5
	Todos	Rep.	Castración	Se colocan por encima y debajo de los testículos y se hace presión	T	
Peladilla	Porcino	D	Indigestión	Se les introducen por el recto las peladillas	R	1
Pimienta	Gallinas	AG	Desinfección	Administración con vino	O	1

Clasificación de patologías según Manual Merck: SLC: Sistema sanguíneo, linfático y cardiovascular; D: Sistema digestivo; OO: Ojo y oído; AG: Afecciones generalizadas; OM: Sistema osteomuscular; N: Sistema nervioso; IF: Influencias físicas; Rep.: Sistema reproductivo; Resp.: Sistema respiratorio; P: Piel; U: Sistema urinario; MCN: Manejo, cría y nutrición; B: Brujería. Administración: T: Tópica; I: Inhalación; O: Oral; M: Mágica; IU: Intrauterina; R: Rectal; OQ: Operación quirúrgica.

Tabla III. Remedios de origen fúngico.

Familia / Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
ESPECIES FÚNGICAS								
AGARICACEAE								
<i>Lycoperdon</i> spp.	Bufinas	Hongo	Todos	SLC local	Hemostático	Aplicación sobre heridas	T	2

Clasificación de patologías según Manual Merck: SLC: Sistemas sanguíneo, linfático y cardiovascular; D: Sistema digestivo; OO: Ojo y oído; AG: Afecciones generalizadas; OM: Sistema osteomuscular; N: Sistema nervioso; IF: Influencias físicas; Rep.: Sistema reproductivo; Resp.: Sistema respiratorio; P: Piel; U: Sistema urinario; MCN: Manejo, cría y nutrición; B: Brujería. Administración: T: Tópica; I: Inhalación; O: Oral; M: Mágica; IU: Intrauterina; R: Rectal; OQ: Operación quirúrgica.

Tabla IV. Remedios de origen animal.

Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
<i>Apis mellifera</i>	Abeja	Miel	Todos	AG	Glosopeda	“Piruleta” hecha con miel y vinagre enfriados en torno a un palo	O	3
<i>Bos primigenius taurus</i>	Vaca	Leche	Todos	AG	Envenena- miento	Administración con cal a animales envenenados	O	2
<i>Bufo bufo</i>	Sapo	Sapo	Equinos	IF	Heridas	Se pone a hervir el aceite, se vierte al mismo el sapo vivo y se deja cocer en el aceite en un puchero de tierra. Posteriormente, se guarda el aceite en una botella y se aplica con una pluma de gallina en las heridas	T	2
<i>Canis lupus familiaris</i>	Perros mastines	Perros	Ovinos	MCN	Prevención de ataques de oso	Acompañamiento durante la estancia en puerto de mínimo dos mastines	T	2

Tabla IV. (Continuación)

Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
<i>Equus africanus asinus</i>	Burra	Leche	Todos	AG	Cólera	Beber la leche de burra	O	1
		Estiércol seco, sirrio	Ovinos	AG	Miasis	Cuando aparece la miasis, aplicar el sirrio en la herida	T	1
<i>Gallus gallus domesticus</i>	Gallina	Huevos	Vacunos	Rep.	Inducción del estro	Verter huevo batido en el útero de las vacas que no quedan cubiertas	U	4
			Ovinos	Dig.	Digestiva	Administración de huevos batidos en aceite con ayuda de una botella	O	
			Gallinas	MCN	Aporte mineral	Administrar cáscaras de huevo machacadas para aportar calcio a las gallinas	O	
		Pluma	Todos	Instrumento	Varias	Para aplicar remedios	T	5
<i>Ovis orientalis aries</i>	Oveja, ovella	Marta (oveja negra)	Ovino	B	Espantar los rayos	Llevar en el rebaño una oveja completamente negra, sin un solo pelo blanco a la que no se puede hacer sangre	M	2
		Piel de cordero	Ovino	MCN	Amamantamiento	Sacar la piel del cordero muerto para cubrir a un nuevo cordero con esta y que la madre del primero lo acepte y amamante	T	3
<i>Rupicapra pyrenaica</i>	Sarrio	Cuerno	Equino	AG	Infección bucal	Con la punta de los cuernos de los sarrios se pinchaban las encías infectadas	T	6
			Todos	AG	Infección de la glándula parótida	Cuando un animal tenía paperas, se le pinchaba la muela con cuerno de sarrio	T	

Tabla IV. (Continuación)

Nombre científico	Nombre vernáculo	Parte usada	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
				Resp.	Pulmonía	A los animales con pulmonía, se les hacía una hendidura en el paladar con cuerno de sarrio	T	
				N	Derrame	Cuando un animal tenía un derrame, se le pinchaba con cuerno de sarrio en el paladar hasta que salía sangre	T	
				SLC	Sangrados	Se utilizaban los cuernos de sarrio para hacer sangrados en la yugular	T	
<i>Sus scrofa domestica</i>	Cerdo	Manteca	Todos	Rep.	Mastitis	Aplicación de manteca sin sal en la ubre del animal	T	4
			Equino, vacuno	SLC	Cicatrizante	Aplicación en la herida de un emplasto con grasa de cerdo al que se podía añadir azufre	T	
	Telaraña	Telaraña	Todos	SLC	Coagulante	Aplicación de la telaraña en la zona de sangrado	T	4

Clasificación de patologías según Manual Merck: SLC: Sistemas sanguíneo, linfático y cardiovascular; D: Sistema digestivo; OO: Ojo y oído; AG: Afecciones generalizadas; OM: Sistema osteomuscular; N: Sistema nervioso; IF: Influencias físicas; Rep.: Sistema reproductivo; Resp.: Sistema respiratorio; P: Piel; U: Sistema urinario; MCN: Manejo, cría y nutrición; B: Brujería. Administración: T: Tópica; I: Inhalación; O: Oral; M: Mágica; IU: Intrauterina; R: Rectal; OQ: Operación quirúrgica.

Tabla v. Remedios de origen mineral.

<i>Ingredientes</i>	<i>Especie de destino</i>	<i>Categoría terapéutica</i>	<i>Indicación terapéutica</i>	<i>Preparación</i>	<i>Administración</i>	<i>N.º de citas</i>
Arcilla, buro	Todos	Rep.	Mamitis	Aplicación en la ubre del animal, también se puede añadir vapores del ramo de San Juan o vinagre	T	9
	Porcino	AG	Mal rojo porcino	Cubrir a los animales enfermos todo el cuerpo con buro	T	
Azufre	Todos	IF	Cojeras	Quemar los cascos con azufre en cojeras producidas por pezuñas infectadas	T	1
Bicarbonato	Todos	D	Indigestión	Administrar bicarbonato con ayuda de una botella	T	1
Piedras con un agujero natural	Ovino	N	“Modorras”	Pasar una cuerda por una piedra plana con un agujero natural y colgar en la paridera / mallata / corral en un lugar donde no pueda verse para prevenir de la aparición de ovejas “modorras”. En algunos sitios estas piedras solo se consideran virtuosas si se cogen en otra localidad	M	3
Piedra de Ordovés (piedra mágica de la que una parte se conserva en el pueblo de Ordovés, en la Guarguera)	Todos	IF, SLC	Enfermedades, heridas, cicatrizante	Se sumerge la piedra en un recipiente con agua y el agua adquiere todas las virtudes curativas de la piedra. Según cuál sea la dolencia del enfermo, se bebe, o se aplica directamente sobre la zona afectada. El agua mantiene siempre la virtud	O/T	5
Sal común	Todos	OO	Conjuntivitis	Echar sal al ojo afectado	T	8
	Todos	OO	Uveitis	Echar sal al ojo afectado con el objetivo de que el ojo lllore y se limpie de patógenos	T	
	Todos	IF	Heridas	Lavar las heridas con agua y sal	T	
	Ovino	Rep.	Abortiva	El consumo de un exceso de sal puede hacer abortar a las ovejas preñadas	O	
	Todos	MCN	Aporte mineral	Cada 12 días se sube sal al puerto para evitar deficiencias minerales	O	
Sal yodada	Ovino	AG	Bocio	Cuando el ganado manifiesta bocio, aportar sal yodada para corregir la falta de este mineral	O	1
Sulfato de cobre (<i>Vitriolo</i>)	Ovino	IF	Cojera, pederio	Se disuelve en agua, se aplica en la herida y se deja secar	T	16

Clasificación de patologías según Manual Merck: SLC: Sistemas sanguíneo, linfático y cardiovascular; D: Sistema digestivo; OO: Ojo y oído; AG: Afecciones generalizadas; OM: Sistema osteomuscular; N: Sistema nervioso; IF: Influencias físicas; Rep.: Sistema reproductivo; Resp.: Sistema respiratorio; P: Piel; U: Sistema urinario; MCN: Manejo, cría y nutrición; B: Brujería. Administración: T: Tópica; I: Inhalación; O: Oral; M: Mágica; IU: Intrauterina; R: Rectal; OQ: Operación quirúrgica.

Tabla vi. Remedios de origen químico.

Remedios	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
Zotal	Todos	AG	Miasis, sarna	Aplicar producto en la zona afectada	T	10
Bolsa de balcabín	Vacuno	Rep.	Posparto	Dar de beber en botella agua templada con harina y una bolsa de balcabín	O	1

Clasificación de patologías según Manual Merck: SLC: Sistemas sanguíneo, linfático y cardiovascular; D: Sistema digestivo; OO: Ojo y oído; AG: Afecciones generalizadas; OM: Sistema osteomuscular; N: Sistema nervioso; IF: Influencias físicas; Rep.: Sistema reproductivo; Resp.: Sistema respiratorio; P: Piel; U: Sistema urinario; MCN: Manejo, cría y nutrición; B: Brujería. Administración: T: Tópica; I: Inhalación; O: Oral; M: Mágica; IU: Intrauterina; R: Rectal; OQ: Operación quirúrgica.

Tabla vii. Manipulaciones y otros remedios.

Remedios	Especie de destino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
Agua	Ovino	D	Timpanismo	Verter por encima del animal afectado un cubo de agua y, si se quiere, restregar con un cepillo o tirar de la ingule	T	5
	Ovino, vacuno	AG	Carbunco bacteridiano	Dar de beber abundante agua a los animales enfermos	O	
	Gallinas	Rep	Gallinas cluecas	Mojar con un cubo lleno de agua o meterlas en un charco	T	
Cirugía	Todos	AG	Envenenamiento	Cuando una víbora muerde a algún animal, hacer corte con una navaja en la zona afectada y sacar el veneno	Corte	7
	Todos	Rep.	Castración de los machos	Existía en el vecino valle de Ossau, una larga tradición de familias que se dedicaban a la castración quirúrgica. Los saberes pasaban únicamente de padres a hijos y estaban muy cotizados, ya que la técnica garantizaba que no quedaban animales mal castrados.	OQ	
	Porcino	Rep.	Castración de las hembras	Operación realizada únicamente por castradores, quienes “abrían a las hembras, les quitaban los ovarios sin anestesia y se les dejaba en una cama limpia”	OQ	
	Todos	OO	Uveitis	No se sabe exactamente cómo se hacía	OQ	
Dormir al sol	Ovino	Rep.	Inducción del estro	Se hace a las hembras dormir al sol para inducir el estro		1

Tabla VII. (Continuación)

Remedios	Especie de dextino	Categoría terapéutica	Indicación terapéutica	Preparación	Administración	N.º de citas
Efecto macho, separar mardanos	Ovino	Rep.	Inducción del estro	Los machos se mantienen separados de las hembras y se juntan para inducir el estro		1
“Espuntar uñetas”	Todos	IF	Cojeras	Cuando el animal no ha desgastado las pezuñas lo suficiente, se les despuntan con una navaja	T	2
Flushing, aumentar la alimentación	Ovino	Rep.	Inducción del estro	Para planificar los partos, e inducir el estro en las ovejas, se les aumenta la porción de comida	O	1
Objeto pesado	Vacuno	Rep.	Expulsión de la placenta	Para que expulsen las parias, se les cuelgan alpargatas o hierros para que, por el peso, salgan	T	1
Sangrado	Ovino	AG	Basquilla, carbunco bacteridiano	Hacer un corte en la oreja, en la conjuntiva del ojo (más efectiva para basquilla), o en la punta del rabo (más efectiva para el carbunco)	T	9
Vuelta	Todos	Rep.	Castración	Torcer el testículo (darle vueltas) varias veces	T	3

Clasificación de patologías según Manual Merck: SLC: Sistemas sanguíneo, linfático y cardiovascular; D: Sistema digestivo; OO: Ojo y oído; AG: Afecciones generalizadas; OM: Sistema osteomuscular; N: Sistema nervioso; IF: Influencias físicas; Rep.: Sistema reproductivo; Resp.: Sistema respiratorio; P: Piel; U: Sistema urinario; MCN: Manejo, cría y nutrición; B: Brujería. Administración: T: Tópica; I: Inhalación; O: Oral; M: Mágica; IU: Intrauterina; R: Rectal; OQ: Operación quirúrgica.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La mayoría de los entrevistados (un 53,3%) aportó entre 2 y 10 remedios, un 30% entre 10 y 20, y un 13,3% entre 20 y 25, mientras que solo un informante compartió más de 25, concretamente 57. En la figura 1 se muestran los tipos de remedios que han aportado cada uno de los informantes.

Se aprecia que todos los informantes, excepto tres, aportaron algún remedio de origen vegetal, y todos, excepto cinco, aportaron alguno de origen mineral; mientras que por el contrario, solo dos aportaron alguno de origen fúngico.

Sobre los remedios recogidos, *Sambucus nigra* ha sido el remedio de origen vegetal más citado por los informantes, para el tratamiento de problemas respiratorios, digestivos y mamarios. Los mismos usos en la misma

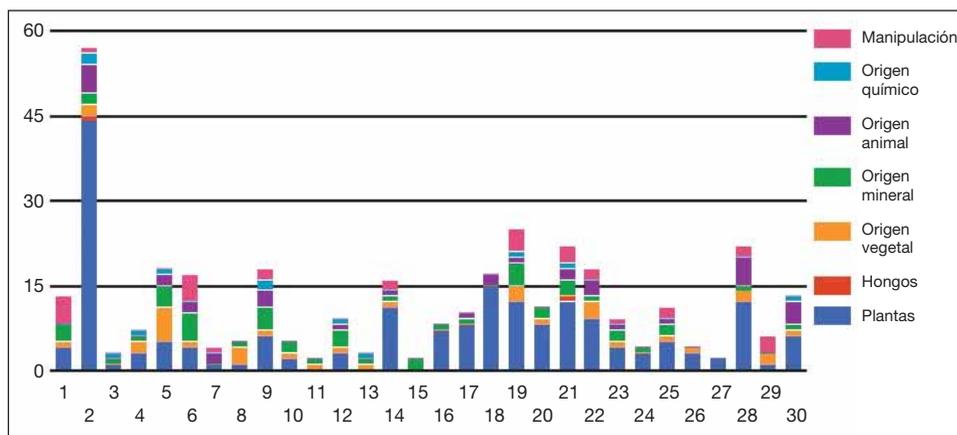


Fig. 1. Origen de los remedios aportados por cada informante.

zona son registrados por distintos autores (VILLAR y cols., 1992; NAVARRO, 1994). En otros trabajos llevados a cabo en el Pirineo navarro y catalán, también se registra el saúco para curar las mismas enfermedades (AKERRETA y cols., 2010; CARRIÓ y cols., 2012), aunque empleado de forma distinta. Mientras que AKERRETA y cols. (2010) registran su uso para curar enfermedades bronquiales mediante la inhalación de los *sahumerios*, para las mastitis documentan el uso del *Sambucus nigra* administrándolo en forma de cataplasma. Por otro lado, CARRIÓ y cols. (2012) registran su uso en el Pirineo catalán para tratar las mastitis mediante la aplicación de los vapores, mientras que para otros usos se administra vía interna.

Ilex aquifolium L. tiene un uso parecido a *Sambucus nigra*, aunque también se cuelga de las cuadras para prevenir la aparición de herpes en el ganado. AKERRETA y cols. (2010) cita este último uso, además del de prevenir la aparición de nematodos y curar heridas; y VIEGI y cols. (2003) también citan su uso para tratar enfermedades de la piel y del aparato locomotor.

Otra planta usada con los mismos fines que las dos anteriores es *Malva sylvestris* L., cuyo empleo en etnoveterinaria es muy conocido, y muy variado (vulneraria, laxante, emoliente, cura de pezuñas, antiinflamatoria, diurética, posparto, para patologías del sistema respiratorio y del sistema digestivo). Su uso es citado por numerosos autores (PENCO y GORDÓN, 2003; VIEGI y cols., 2003; VELASCO y cols., 2010; TEJERINA, 2010; GONZÁLEZ y cols., 2011; GÓMEZ, 2011; CARRIÓ y cols., 2012). El uso de esta

planta se ha registrado tanto sola como formando parte del conocido ramo de San Juan (VILLAR y cols., 1992; NAVARRO, 1994). A pesar de los múltiples usos registrados de esta especie vegetal, no se han encontrado referencias en la bibliografía para el tratamiento de las mastitis, si bien sí se han hallado referencias para *Sambucus nigra*, planta de la que suele acompañarse.

Matricaria chamomilla L. es también un remedio muy conocido, cuyos usos recogidos se han centrado en problemas del aparato digestivo, fin con el que también es citada por PENCO y GORDÓN (2003), concretamente para los cólicos y la inapetencia. En dicho trabajo también se registran sus usos en la retención de secundinas y el lavado de ojos.

Otra de las especies más usadas en la zona de estudio es *Juniperus communis* L., empleada como cicatrizante, desinfectante y para evitar las miasis (NAVARRO, 1994; VILLAR y cols., 1992). BONET y VALLÈS (2007) la citan como anticatarral, antihelmíntica y depurativa de la sangre.

También es muy frecuente el uso de la pez que se obtenía de *Pinus sylvestris* L. por destilación de su madera tanto para marcar el ganado como para curar cojeras (NAVARRO, 1994; BONET y VALLÈS, 2007; CARRIÓ y cols., 2012) y prevenir miasis. VILLAR y cols. (1992), además de citar su uso para curar las fracturas de las patas de los animales, mencionan que para evitar que enfermen los conejos domésticos, se pone a su alcance una rama recia de pino en primavera, para que coman la corteza.

Otra de las plantas con abundantes referencias en la bibliografía es *Urtica dioica* L. (VILLAR y cols., 1987; VIEGI y cols., 2003; PENCO y GORDÓN, 2003; BONET y VALLÈS, 2007; AKERRETA y cols., 2010; BENÍTEZ, 2011; CARRIÓ y cols., 2012), cuyos usos van desde inducir el estro (AKERRETA y cols., 2010), acelerar el parto (VILLAR y cols., 1987), posparto (BONET y VALLÈS, 2007), afrodisiaca (CARRIÓ y cols., 2012), tonificante (BENÍTEZ, 2011), antiinflamatoria (BONET y VALLÈS, 2007), enfermedades virales del ganado porcino y manchas en la piel de estos (AKERRETA y cols., 2006) o debilidad de los pavos (PENCO y GORDÓN, 2003). Sin embargo, no se han encontrado citas como alimento ni del ganado ovino ni del porcino, tal y como indicaron algunos informantes.

Vitis vinifera L. ha sido el segundo taxón vegetal más citado por los informantes en sus distintas formas (vino, vinagre, etcétera). Sin embargo,

a pesar de los distintos usos asignados, en la bibliografía no se han encontrado coincidencias con los descritos por los informantes, aunque algunos podrían tener una relación directa como el de administrar vino para la ceto-sis (documentado en este trabajo), para la desinfección posparto (BONET y VALLÈS, 2007) y retención de secundinas (PENCO y GORDÓN, 2003). Otros autores registran el uso del vinagre para tratar la sarna, y del coñac para las parasitosis intestinales (ORTIZ, 2010) o del vinagre como anticatarral, diurético, antiséptico y tranquilizante, y del vino como reconstituyente (CARRIÓ y cols., 2012).

La especie más controvertida de todo el estudio ha sido *Arnica montana* L., ya que existen más de una docena de falsas árnicas (VILLAR y cols., 1987), de hecho 32 especies en la península ibérica (OBÓN y cols., 2012). Durante el estudio, fue imposible localizar ejemplares de *Arnica montana* con los informantes, y la identificación fue mediante fotografías. De este modo, aunque algunos informantes afirmaron que la planta a la que se referían era *Arnica montana* L., otros no supieron identificarla, y se limitaron a asegurar que poseía flores amarillas, característica común a todas las árnicas. Por este motivo, aunque todos los informantes aseguraban que cogían la planta en puertos de alta montaña, es muy probable que la planta a la que hacían referencia no fuese en todos los casos *Arnica montana*, sino otra árnica, muy probablemente *Doronicum grandiflorum*, muy utilizada en la zona de Tierra de Biescas junto con *Hypericum perforatum* L. como cicatrizante de heridas y para elaborar el anís de árnica (NAVARRO, 1994).

El único hongo conocido en veterinaria popular por los entrevistados es *Lycoperdon* sp. pl. de la familia Agaricaceae. VILLAR y cols. (1987) también la citan por su poder hemostático local.

Un remedio poco conocido, aunque citado por dos informantes, era el de hervir sapos vivos en aceite y utilizar este aceite para cicatrizar heridas. Según MELNYK y MALCONE (2011), la secreción mucosa del sapo común (*Bufo* sp. pl.) es muy utilizada por las medicinas tradicionales india y china, ya que tiene efecto anestésico local y detiene las hemorragias. ANDOLZ (1987) cita un remedio parecido en la Ribagorza, aunque con un fin distinto, consistente en hervir lagartos vivos en aceite y hacer con ellos un ungüento con espliego y grasa de cerdo que se utilizaba para curar las hemorroides en medicina humana.

Las telarañas son un recurso terapéutico y vigente de uso generalizado, sobre todo para el tratamiento de hemorragias (GONZÁLEZ y VALLEJO, 2012). Se encuentran numerosas citas bibliográficas para este fin en la península ibérica, también en la provincia de Huesca (ULLOD, 1994; IBÁÑEZ, 2009).

Por otro lado, aunque el cuerno de *Rupricapra pyrenaica* es el elemento de origen animal más citado por los informantes, no se han encontrado referencias bibliográficas.

Respecto a los remedios de origen mineral, la tradición de colgar piedras con un agujero natural para evitar que las ovejas tengan patologías relacionadas con el sistema nervioso, es una práctica que se ha mantenido desde el Neolítico hasta nuestros días (Satué, comunicación personal), aunque en claro receso, como demuestra el presente artículo, ya que de los entrevistados, solo tres lo conocían, y ninguno lo hacía. Sin embargo, hasta hace no muchos años era muy habitual ver piedras con agujeros colgadas de las *paredes* pirenaicas (PALACÍN, 1980; SATUÉ, 1996; ANDOLZ, 1998).

La piedra de Ordovés es un elemento utilizado en la actualidad para tratar numerosas enfermedades, sobre todo de las personas, aunque en el pasado se utilizaba frecuentemente para sanar las enfermedades del ganado. Los prodigios de la piedra han sido recogidos en varias publicaciones de carácter etnográfico (PALLARUELO, 1983; ANDOLZ, 1987; PALLARUELO, 1988; ERKOREKA, 1991; MONESMA, 1996). Para explicar sus poderes mágicos, se ha atribuido su origen a una serpiente. Según PALLARUELO (1983), “el origen del prodigioso poder de estas piedras se buscaba en su procedencia: venían de los monstruos que guardaban *el árbol de la vida*, que representaba lo sagrado, la inmortalidad, la eterna juventud. Ciertamente, de las cabezas de las serpientes se han extraído —en casos raros— concreciones pétreas, pero no parece que sea ese el verdadero origen de las *piedras de serpiente* que desde la antigüedad se han empleado, ni tampoco de esta *Piedra de Ordovés*”.

La arcilla es uno de los elementos de origen mineral más conocidos por los informantes, si bien no se han encontrado citas bibliográficas para los usos indicados, aunque PALACÍN (1980) cita su uso en el Alto Aragón para tratar a “los cerdos” tras hacerles una sangría, aplicándoles el “buro” sobre

los riñones del animal, rociándolo posteriormente con vinagre y tapando al paciente con una manta.

Sobre los elementos de origen químico, el Zotal® era muy popular en todo el área de estudio contra miasis, algunos informantes también mencionan su uso para tratar la sarna. También se menciona la popularidad de este producto en ciertas zonas de Andalucía (MATA y cols., 2004; GÓMEZ, 2011).

En lo relativo a “Otras manipulaciones”, se ha registrado el sangrado de distintas partes de la anatomía del ganado como actuación para tratar el carbunco y la basquilla, siendo aún hoy muy utilizado para esta última enfermedad, que fue una de las principales causas de bajas en la cabaña ganadera en los años treinta en la zona (BALDÚS, 2006). MATA y cols. (2004) hacen referencia a esta práctica, como técnica para bajar la fiebre de los animales enfermos de basquilla, siendo el proceso febril uno de los síntomas de la enfermedad. GÓMEZ (2011) también registra esta manipulación para tratar la basquilla. Según PALACÍN (1980) a los cerdos enfermos se les hacía una sangría “hasta que las orejas quedan blancas, pues así «sale la mala sangre que enferma al animal»”.

CONCLUSIONES

Este artículo muestra que hay un conocimiento considerable relacionado con la etnoveterinaria en el valle de Tena y en Tierra de Biescas, tanto por el número de remedios recogidos como por su calidad, al mismo tiempo que desconocido y en peligro de desaparecer definitivamente, puesto que la mayor parte de los entrevistados tienen una edad avanzada y se ha cortado la transmisión oral de estos conocimientos a las siguientes generaciones.

En total, 92 elementos utilizados con fines medicinales, de alimentación o de manejo de los animales.

Los datos recogidos en este artículo son de gran utilidad de cara a la práctica de la ganadería en la zona, pudiendo resultar alternativas a los productos farmacéuticos, sobre todo en la ganadería ecológica.

Resulta necesario poner en marcha medidas que recojan este tipo de conocimientos antes de que se pierdan. Igualmente, son necesarios estudios que evalúen y validen de forma científica la eficacia de estos remedios.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras del artículo quieren agradecer su amabilidad y su disposición a todos los informantes y a todas las personas que han colaborado en él.

Este artículo es el resultado del trabajo final del máster en Agroecología, Desarrollo Rural y Agroturismo de la Universidad Miguel Hernández.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKERRETA, S., M. I. CALVO y R. Y. CAVERO (2010). Ethnoveterinary knowledge in Navarra (Iberian Peninsula). *Journal of Ethnopharmacology*, 130 (2): 369-378.
- ANDOLZ, R. (1987). *De pilmadores, curanderos y sanadores en el Alto Aragón*. Mira Editores. Zaragoza. 139 pp.
- ANDOLZ, R. (1998). *El Pirineo: cuéntamelo, yayo*. Pirineo. Huesca. 172 pp.
- BALDÚS, M. (2006). *Recuerdos de Sallent: la vida en 1930, últimos años de la etapa tradicional*. MB Editores. Sallent. 379 pp.
- BENÍTEZ, G. (2011). Animals used for medicinal and magic-religious purposes in western Granada Province, Andalusia (Spain). *Journal of Ethnopharmacology*, 137 (3): 1113-1123.
- BONET, M. À., y J. VALLÈS (2007). Ethnobotany of Montseny biosphere reserve (Catalonia, Iberian Peninsula): Plants used in veterinary medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 110 (1): 130-147.
- CARRIÓ, E., M. RIGAT, T. GARNATJE, M. MAYANS, M. PARADA y J. VALLÈS (2012). Plant Ethnoveterinary Practices in Two Pyrenean Territories of Catalonia (Iberian Peninsula) and in Two Areas of the Balearic Islands and Comparison with Ethnobotanical uses in Human Medicine. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012. 22 pp.
- ERKOREKA, A. (1991). Ritos de fertilidad. *Kohie (Serie Antropología 87 Cultural)*, 5: 165-169.
- FRASER, C. M. (ed.) (1993). *El manual Merck de veterinaria: un manual de diagnóstico, tratamiento, prevención y control de las enfermedades para el veterinario*. Merck & Company. Madrid. 2092 pp.
- GÓMEZ, A. (2011). *Estudio etnobotánico en el término municipal de Santa Olalla del Cala (sierra de Aracena, Huelva)*. Tesis fin de máster. Universidad de Córdoba. Córdoba. 47 pp.
- GONZÁLEZ, J. A., M. GARCÍA-BARRIUSO y F. AMICH (2011). Ethnoveterinary medicine in the Arribes del Duero, western Spain. *Veterinary Research Communications*, 35: 283-310.
- GONZÁLEZ, J. A., y J. R. VALLEJO (2012). Las telarañas en la medicina popular española: historia reciente, vigencia y distribución geográfica de un recurso terapéutico. *Revista Ibérica de Aracnología*, 21: 169-174.
- IBÁÑEZ, E. (2009). Cuidados y medicina popular en el Alto Aragón. *Revista Paraninfo Digital*, 7. Disponible en <<http://www.index-f.com/para/n7/018d.php>>

- MATA C., P. MAURER, V. RODRÍGUEZ-ESTÉVEZ y A. FERNÁNDEZ-REYES (2004). *Recopilación del conocimiento ganadero tradicional de la comarca de la sierra de Cádiz y su validación para la reconversión e implantación de la ganadería ecológica*. ASAJA-Córdoba y UCO Producción Animal. 222 pp.
- MAXIA, A., C. LANCIONI, L. MURA y P. D. MONGIANO (2005). Plantas usadas en la práctica etnoveterinaria en el Nuorese (Cerdeña, Italia). *Revista de Fitoterapia*, 5 (2): 155-161.
- MCCORKLE, C. M. (1995). Back to the future: Lessons from ethnoveterinary RD&E for studying and applying local knowledge. *Agriculture and Human values*, 12 (2): 52-80, 88.
- MCCORKLE, C. M., y E. MATHIAS-MUNDY (1992). Ethnoveterinary medicine in Africa. *Africa*, 62 (01): 59-93.
- MELNYK, J. P., y M. F. MARCONE (2011). Aphrodisiacs from plant and animal sources. A review of current scientific literature. *Food Research International*, 44 (4): 840-850.
- MONESMA, E. (1996). La vida pastoril tradicional en el Pirineo. *MG Mundo Ganadero*, 76: 76-77.
- NAVARRO, J. M. (1994). *Medicina popular de Serrablo*. Ayuntamiento de Sabinánigo. Sabinánigo. IEA. Huesca. 127 pp.
- OBÓN, C., y D. RIVERA (1991). *Las plantas medicinales de nuestra región*. Agencia Regional para el Medio Ambiente y la Naturaleza. Editora Regional de Murcia (Colección Documentos, Serie Medio Ambiente, 3). Murcia. 156 pp.
- OBÓN C., D. RIVERA, A. VERDE, J. FAJARDO, A. VALDÉS, F. ALCARAZ y A. M. CARVALHO (2012). Arnica: A multivariate analysis of the botany and ethnopharmacology of a medicinal plant complex in the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. *Journal of Ethnopharmacology*, 144: 44-56.
- ORTIZ, N. (2010). *Plantas de interés en etnoveterinaria como antiparasitarios e insecticidas en el área de la dehesa española*. Trabajo fin de máster. Universidad de Córdoba. Córdoba. 19 pp.
- PALACÍN, J. M.^a (1980). Veterinaria popular del Serrablo. *Revista Serrablo*, 10 (38): 5-9.
- PALLARUELO, S. (1983). La piedra de Ordovés. *Revista Serrablo*, 13 (50).
- PALLARUELO, S. (1988). *Pastores del Pirineo*. Ministerio de Cultura. Madrid. 232 pp.
- PENCO A. D., y F. GORDÓN (2003). Remedios de origen vegetal utilizados en medicina popular veterinaria en la Comarca de Zafra. *Revista de Estudios Extremeños*, 59: 265-279.
- Reglamento (CE) N.º 834 / 2007 (CE, 2007) del Consejo de 28 de junio de 2007 sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) N.º 2092/91.
- ROMERO, R., M. RODRÍGUEZ y Á. RESÚA (2013). Plantas utilizadas en medicina humana y veterinaria en el municipio de Triacastela, Lugo (NW de España). *Recursos Rurais: Revista Oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural (IBADER)*, 9: 35-43.

- SATUÉ, E. (1996). *Cabalero: un viejo pastor del Pirineo*. E. Satué Oliván. Biescas. 255 pp.
- TEJERINA, Á. (2010). *Usos y saberes sobre las plantas de Monfragüe: etnobotánica de la comarca natural*. Itomonfragüe. Cáceres. 512 pp.
- ULLOD, M.^a C. (1994). Medicina popular en Sariñena y Monegros. *Revista de Folklore*, 168: 190-193.
- VELASCO J. M., J. CRIADO y E. BLANCO (2010). *Usos tradicionales de las plantas en la provincia de Salamanca*. Diputación de Salamanca. Salamanca.
- VIEGI, L., A. PIERONI, P. M. GUARRERA y R. VANGELISTI (2003). A review of plants used in folk veterinary medicine in Italy as basis for a databank. *Journal of Ethnopharmacology*, 89 (2): 221-244.
- VILLAR, L., J. M.^a PALACÍN, C. CALVO, D. GÓMEZ y G. MONTSERRAT (1987, 1992). *Plantas medicinales del Pirineo aragonés y demás tierras oscenses*. Diputación de Huesca. Huesca. 322 pp.

NOTA SOBRE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA DE LLUVIA Y DE LA NIEVE EN HUESCA

José Antonio MANSO¹

Joaquín LANUZA¹

Gonzalo GONZALO¹

José María GARCÉS¹

Ángel JIMÉNEZ¹

Tomás SALINAS¹

Esther LÓPEZ¹

Jaime ARRANZ¹

José Luis VILLARROEL¹

José Antonio CUCHÍ¹

RESUMEN.— Se presentan datos de conductividad eléctrica (CE) y pH de 567 episodios de lluvia en la Escuela Politécnica Superior de Huesca, recogidos entre 2004 y 2016, y de 42 muestras de nieve del Pirineo. En la lluvia se observan altos valores de conductividad eléctrica relacionables con episodios de contaminación agraria y biológica, y también se aprecia un porcentaje relativamente elevado de episodios que se pueden considerar como lluvia ácida. Las muestras de nieve tienen, en general, bajos valores de CE y pH, pero hay también un porcentaje de muestras muy básicas relacionadas con polvo eólico norteafricano.

Recepción del original: 7-2-2017

¹ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. manso@unizar.es, lanuza@unizar.es, ggonzalo@unizar.es, jgarcet@unizar.es, ajimenez@unizar.es, tjalfar@unizar.es, eslopez@unizar.es, jarranz@unizar.es, jlvilla@unizar.es, cuchí@unizar.es

ABSTRACT.— This article presents electrical conductivity (EC) and pH data from 567 rainfall episodes at the Polytechnic High School of Huesca between 2004 and 2016, and 42 samples of snow from the Pyrenees. The rain shows high values of electrical conductivity in episodes of agrarian and biological contamination. Within those measurements a relatively high percentage of episodes that can be considered as acid rain. Snow samples generally have low EC and pH levels although in some samples we also found North African Aeolian dust.

KEY WORDS.— Rainwater, snow, chemistry, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

A partir del último tercio del siglo xx, existe un claro interés por monitorizar sistemáticamente las características químicas de las precipitaciones atmosféricas, por su clara relación con diversos procesos de contaminación y la eliminación de estos contaminantes hacia el suelo. Algunos efectos han sido objeto de amplios estudios como es el caso de la lluvia ácida y sus efectos sobre masas forestales, corrosión de instalaciones metálicas y conservación de monumentos históricos. A nivel mundial existen numerosas redes de monitorización como se presenta, por ejemplo, en VET y cols. (2014). A nivel español, la Agencia Estatal de Meteorología controla desde hace años el pH de las precipitaciones en 13 estaciones (AEMET, 2010), pero ninguna de ellas está localizada en Aragón. Además, se han publicado numerosos trabajos de ámbito más local. BONET y cols. (1984) avanzan datos de lluvia de 1981 en Santander. Años más tarde, BONET y cols. (1988) comparan la acidez de la precipitación total entre Santander y Torrelavega. CAMARERO y CATALÁN (1993) ofrecen datos en 4 estaciones en el Pirineo catalán entre agosto de 1987 y agosto de 1988. ALASTUEY y cols. (1999), que estudian los efectos de la central térmica de Andorra, presentan datos para Morella. MARÍN y cols. (2001) estudiaron 8 estaciones en España y Portugal entre 1986 y 1987. SANZ y cols. (2002) han muestreado la química de la precipitación total (húmeda más seca) en 10 estaciones en la costa mediterránea. ÁVILA y RODÀ (2002) y trabajos asociados estudiaron una serie en un encinar del Montseny. En Galicia, VÁZQUEZ y cols. (2003) trabajaron con 17 estaciones de muestreo. HONTORIA y cols. (2003) analizan 164 eventos en 10 puntos dentro del casco urbano de Madrid. GONZÁLEZ y cols. (2009) presentan 211 datos de 11 estaciones en zonas forestales en 2006.

Pero hay poca información sobre las precipitaciones en el Alto Aragón. Este artículo presenta datos de pH y conductividad eléctrica de precipitaciones registradas y medidas en la Escuela Politécnica Superior de Huesca entre 2004 y 2016. Además, se presentan 42 muestras del manto nival, en su mayoría del Pirineo del Alto Aragón.

MUESTREO Y MÉTODOS ANALÍTICOS

La lluvia fue recogida manualmente en el pluviómetro de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (ETRS98. H 30; X: 710805; Y: 466182; Z: 466 msnm). Es un colector estándar con recipiente en plástico que recoge tanto el agua de lluvia como el polvo atmosférico, correspondiendo a lo que se define como *bulk precipitation*. Cuando ha llovido en las veinticuatro horas previas, la precipitación se determina por el método clásico mediante probeta. El pH se midió en la misma mañana del día de muestreo, con la mayor celeridad posible, tras la recogida de la precipitación mediante un pHmetro Orión 290 A portátil con un electrodo de vidrio Ingold de pH con compensación de temperatura, así como con el oportuno calibrado con los correspondientes tampones. La conductividad eléctrica (CE) se determinó mediante un conductímetro Orión 122 con sonda compensatoria de temperatura y electrodo calibrado para presentar los datos en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C.

El manto nival se muestreó esporádicamente mediante toma manual cuidadosa, para evitar contaminación en botes de polietileno nuevos, lavados en laboratorio con agua desionizada. En campo “se enjuagó” con la nieve a muestrear. Las determinaciones se realizaron al día siguiente del muestreo, una vez fundida la muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han estudiado 567 episodios de precipitaciones. En la mayor parte de los casos se trata de precipitaciones recogidas en las 24 horas previas. Tras fines de semana y fiestas diversas se mide la precipitación acumulada. En las determinaciones se observa el efecto acumulado de la lluvia más el polvo que se haya obtenido desde la anterior recogida donde se pueden dar la disolución de la fase sólida más reacciones posteriores. La comparación de los valores del presente artículo con los que se presentan en las referencias

bibliográficas debe ser realizada con cierto cuidado dado que unos autores solo muestrean la precipitación líquida (*wet*), eliminando el efecto de la deposición seca. Otros la presentan en total (*bulk*) como en este artículo. Algunos no lo explicitan. También hay que tener cierto cuidado con las estadísticas, ya que en algunos trabajos se presentan valores ponderando los parámetros químicos con el volumen de la precipitación.

Conductividad eléctrica de la precipitación (húmeda más seca) en Huesca

La conductividad eléctrica, que mide el contenido en iones disueltos, ha oscilado en un rango de entre 6,17 y 819 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C y una media aritmética de 50,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C. Eliminando los 15 valores superiores a los 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C se obtiene una media aritmética de 43,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C. Ambos valores entran dentro de los registrados dentro de la península ibérica que dependen de factores como la cercanía al mar, la presencia de aerosoles industriales y la erosión eólica. VÁZQUEZ y cols. (2003) para 17 estaciones gallegas con 647 eventos obtienen una conductividad media de 68,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (163,7 para las islas Cíes y 26,5 en Nodar), que reflejan la disminución de la influencia marina tierra adentro. Por su parte, CAMARERO y CATALÁN (1993) en Viella, Tavascán, Sallente y La Molina, de agosto de 1987 a agosto de 1988 con 212 episodios de lluvia, obtienen una conductividad media de 17,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1,2-165,9). Más recientemente, GONZÁLEZ y cols. (2009) en 211 eventos en 11 estaciones forestales obtienen un valor de 26 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C.

No se han encontrado datos para el valle del Ebro, donde la presencia de polvo atmosférico derivado de suelos calcáreos y salinos tiene una influencia innegable. El valor más bajo en Huesca, un dato asociable a una atmósfera muy limpia, corresponde al 23 de septiembre de 2016. El mayor valor, 819 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C, fue medido el 19 de noviembre de 2007. Es un dato muy alto que corresponde a la época de laboreo del terreno previo a la siembra del cereal de otoño durante un periodo seco (siembra en polvo). De hecho, este fue el primer episodio de lluvia tras 45 días sin precipitación. Los picos altos de los otoños de 2003, 2010 y 2012 pueden relacionarse con la misma causa. En los últimos años parece que el auge de la siembra directa ha disminuido la presencia de partículas de suelo en suspensión. Pero hay otros picos en fechas diversas. Algún valor alto, como los del 28 y 29 de agosto de 2003, se midieron en agua de tormenta. Ocasionalmente, como el

29 de diciembre de 2005, es evidente que la afición de algunos pájaros a descansar en el pluviómetro afecta a la conductividad medida en lluvias posteriores. Los valores altos del 14 y 15 de julio de 2007 y 17 de abril se han asociado visualmente con la presencia de polen de pino (“azufre”), procedente de un pinar de repoblación cercano (tabla 1).

Tabla 1. Datos de precipitación y química de la lluvia en la Escuela Politécnica Superior de Huesca, por fechas, entre 2003 y 2016. Precipitación (P) en mm; CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C.

Fecha	P	CE	pH	Fecha	P	CE	pH	Fecha	P	CE	pH
28/8/2003	2,2	169	5,87	27/11/2003	9,3	35,3	6,78	6/5/2004	2,4	88,7	6,45
29/8/2003	0,1	372	5,03	1/12/2003	6,9	39,4	6,69	7/5/2004	0,8	70,5	6,58
1/9/2003	15,4	48,3	5,15	2/12/2003	2,2	28,1	6,65	10/5/2004	0,9	193,6	6,22
2/9/2003	0,3	148,4	5,15	5/12/2003	17	32,7	6,18	11/5/2004	5,1	52,7	5,3
3/9/2003	14,0	29,1	4,96	9/12/2003	13,1	19,9	6,53	12/5/2004	2,5	75,1	6,19
4/9/2003	1,3	64,0	5,35	19/12/2003	4,7	63,4	6,23	24/5/2004	6,3	93,2	5,82
8/9/2003	2,9	45,3	5,02	29/12/2003	5,5	23,6	6,87	6/7/2004	2,0	28,3	6,54
9/9/2003	9,2	16,4	4,95	2/1/2004	0,7	31,4	6,8	7/7/2004	12,0	41,7	6,68
29/9/2003	18,2	51	5,8	20/2/2004	5,0	45,1	6,74	12/7/2004	3,0	60,2	6,71
30/9/2003	9,3	31	5,23	23/2/2004	15,0	40,1	7,07	17/7/2004	9,4	71,9	6,52
3/10/2003	3,0	48,7	5,43	25/2/2004	11,4	11,9	6,14	28/7/2004	1,9	67,9	6,25
14/10/2003	4,4	91,6	5,64	26/2/2004	6,9	17,5	6,78	17/8/2004	3,1	124,2	6,86
15/10/2003	1,2	98,2	6,19	27/2/2004	6,3	11,5	6,55	18/8/2004	7,2	111,4	6,86
16/10/2003	5,6	67,8	5,67	15/3/2004	18,2	43,8	6,63	6/9/2004	13,8	40,7	6,67
17/10/2003	0,6	76,3	6,21	29/3/2004	16,4	14,2	6,09	7/9/2004	2,1	25,3	6,28
20/10/2003	54,0	61,2	5,78	30/3/2004	37,2	37,1	7,4	7/10/2004	3,0	162	6,4
27/10/2003	15,4	79,6	5,25	31/3/2004	6,8	25,1	5,94	18/10/2004	5,2	67,8	6,07
28/10/2003	4,0	36,7	4,97	1/4/2004	1,6	21,1	6,2	22/10/2004	13,6	18,6	6,47
29/10/2003	15,0	35,4	4,58	2/4/2004	9,0	18,3	5,98	25/10/2004	6,2	35,3	6,17
30/10/2003	0,5	48,9	6,48	19/4/2004	15,2	26,8	7,02	28/10/2004	26,8	10,9	6,76
31/10/2003	8,3	58,9	5,95	22/4/2004	7,9	24,1	6,25	29/10/2004	3,5	17,6	6,7
3/11/2003	4,0	38,8	5,68	23/4/2004	1,9	28,8	5,95	2/11/2004	3,1	18,7	6,58
10/11/2003	17	40,3	6,4	28/4/2004	17,2	24,3	5,89	9/11/2004	2,3	31,6	6,31
11/11/2003	28,5	21,5	5,17	29/4/2004	3,0	25,7	5,6	28/11/2004	3,2	72,3	6,82
17/11/2003	9,0	19	5,95	30/4/2004	1,4	45,5	6,35	01/12/2004	24,8	10,4	6,84
24/11/2003	9,8	81,1	7,01	3/5/2004	13,3	20,3	6,01	7/12/2004	6,2	12,8	6,81

Tabla 1. (Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
4/4/2005	nd	37,4	5,76	17/2/2006	3,0	79,7	6,65	18/10/2006	18,5	18,9	6,25
10/5/2005	4,6	100,1	6,92	3/2/2006	5,6	33,6	6,52	19/10/2006	3,2	31,2	6,03
12/5/2005	13,4	31,9	6,57	10/3/2006	5,2	30,8	6,61	22/10/2006	6,0	71,8	6,13
15/4/2005	nd	44,3	6,73	19/3/2006	21	49,6	6,37	23/10/2006	3,4	46,5	6,1
16/5/2005	8,7	30,9	6,18	24/3/2006	4,8	28,5	6,48	15/11/2006	3,1	66,4	6,51
17/5/2005	19,7	12,2	6,69	9/4/2006	0,2	215	6,45	16/11/2006	11,9	35,2	6,33
23/5/2005	2,5	115,5	6,66	16/4/2016	19	25,7	6,51	22/11/2006	1,4	52,4	6,6
14/6/2005	8,0	73,6	6,54	17/4/2006	11,4	11,9	6,41	26/11/2006	7,6	36,2	6,53
23/6/2005	6,6	12,5	6,52	21/4/2006	3,4	48,7	6,25	7/12/2006	17,5	24,5	6,21
27/6/2005	nd	115,7	6,05	7/5/2006	19,9	40,8	6,48	17/12/2006	0,6	147,6	6,62
28/6/2005	10,4	30,3	6,55	11/5/2006	3,8	54,4	6,68	22/1/2007	1,9	138,6	6,48
26/7/2005	5,0	193,4	6,67	16/5/2006	2,8	77,3	6,52	24/1/2007	4,0	37,4	6,6
28/7/2005	1,4	204	6,18	17/6/2006	5,9	201	6,37	30/1/2007	4,4	57,9	6,83
29/7/2005	20	39,1	5,84	16/6/2006	2,5	122,6	6,46	7/2/2007	2,4	65,1	7,17
18/8/2005	0,9	284	5,57	24/6/2006	20,5	63,7	5,95	8/2/2007	11,5	18,1	6,74
8/9/2005	13,6	61,4	6,75	26/6/2006	3,4	82,7	5,95	11/2/2007	1,3	81,4	6,91
12/10/2005	29,1	75	5,25	13/7/2006	2,4	259	6,19	12/2/2007	3,0	19,4	6,57
13/10/2005	16	21	6,1	15/7/2006	12,3	62,5	5,85	14/2/2007	1,5	49,7	6,93
16/10/2005	30,6	12,9	5,04	19/7/2006	47,3	63,4	6,35	17/2/2007	1,3	71,8	7,33
18/10/2005	5,0	40,1	7	15/8/2006	3,0	84	6,26	25/2/2007	2,2	92,6	7,38
22/10/2005	6,5	26,7	7,06	17/8/2006	9,4	48,8	6,06	6/3/2007	0,7	118,5	7,21
30/10/2005	19	40,6	5,79	23/8/2006	2,2	17,9	6,09	20/3/2007	1,8	97,6	7,11
8/11/2005	0,6	97,9	6,01	7/9/2006	3,6	133,2	6,34	26/3/2007	17,9	57,6	7,33
13/11/2005	12,6	18	6,49	11/9/2006	23,6	32,4	6,02	1/4/2007	34,1	35,4	7,14
15/11/2005	2,2	21,3	6,36	12/9/2006	13,6	14,9	6,01	2/4/2007	28,5	16,5	6,96
1/12/2005	13,4	25,9	6,78	13/9/2006	48,4	10,4	5,72	9/4/2007	16	26,2	6,24
4/12/2005	8,5	22,8	6,73	14/9/2006	6,8	7,4	5,5	10/4/2007	1,6	77,4	6,84
5/12/2005	2,6	23,4	6,21	21/9/2006	41,5	27,7	6,7	12/4/2007	12,8	20,2	6,59
29/12/2005	0,4	206	6,35	24/9/2006	13,5	63,7	6,09	15/4/2007	7,8	498	6,95
31/1/2006	7,2	17,3	6,6	2/10/2006	1,6	56,7	6,2	17/4/2007	2,4	388	6,68
8/1/2006	2,8	5,82	6,63	3/10/2006	0,5	21,1	6,4	28/4/2007	3,0	180	6,92
9/1/2006	13,3	19,4	6,56	10/10/2006	1,6	121,6	6,83	1/5/2007	4,6	18,6	6,89
15/1/2006	1,6	70,2	6,14	11/10/2006	4,6	42,6	6,59	3/5/2007	8,4	16,4	6,24
30/1/2006	1,8	73,1	6,41	17/10/2006	12,2	37,3	6,18	27/5/2007	4,3	101,6	7,54

Tabla 1. (Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
10/6/2007	9,4	97,9	6,54	13/4/2008	3,8	16,4	6,61	13/12/2008	14,3	8,9	5,73
14/6/2007	3,5	104,5	6,61	16/4/2008	8,4	29,7	6,46	28/12/2008	16,2	39,8	6,03
17/6/2007	7,8	44,2	6,46	17/4/2008	10,5	13,8	6,32	29/12/2008	5,5	23,3	5,91
20/6/2007	3,6	64,9	6,41	20/4/2008	25,8	13,1	6,31	9/1/2009	9,2	15,3	5,39
24/6/2007	2,6	82,4	6,48	4/5/2008	4,3	69,7	6,97	19/1/2009	6,5	19,3	6,14
7/7/2007	2,7	159,8	6,4	12/5/2008	26,6	37,1	6,15	23/1/2009	11,8	8,5	5,72
21/7/2007	8,0	256	6,95	13/5/2008	7,0	25,6	6,06	25/1/2009	11,1	10,3	5,66
6/8/2007	3,4	107,3	7,16	14/5/2008	12,2	9,7	5,61	1/2/2009	11,3	13,8	5,39
24/8/2007	21,2	94,9	6,62	15/5/2008	2,5	35,5	5,85	2/2/2009	2,2	13,1	5,75
17/9/2007	5,5	102,5	6,7	18/5/2008	20,3	10,2	5,66	2/3/2009	10,3	39	5,78
1/10/2007	8,1	61,8	6,68	19/5/2008	2,1	9,4	5,75	4/3/2009	10,5	27,2	6,36
3/10/2007	3,3	65,5	6,29	22/5/2008	2,3	26,6	5,81	5/3/2009	11,8	33,1	6,21
19/11/2007	4,3	819	7,03	25/5/2008	41,0	13,2	5,61	28/3/2009	10,2	48,2	5,47
20/11/2007	5,6	79,5	7,12	26/5/2008	4,2	12,9	5,54	6/4/2009	11,3	34,8	5,44
17/12/2007	8,2	57,4	6,79	31/5/2008	10,0	7,1	5,5	7/4/2009	2,2	19,3	6,12
18/12/2007	3,1	37,8	6,04	9/6/2008	15,4	17,2	5,97	10/4/2009	34	9,2	4,77
2/1/2008	4,6	87,9	6,64	10/6/2008	13,5	9,6	5,61	14/4/2009	19,2	14,8	5,87
3/1/2008	15,3	41,5	6,42	16/6/2008	9,6	18,7	5,59	7/5/2009	7,2	40	5,7
11/1/2008	6,7	37,8	6,74	26/6/2008	5,4	69,8	6,1	9/5/2009	4,3	52,1	4,87
15/1/2008	5,8	29,3	6,72	14/7/2008	16,2	35,3	5,98	11/5/2009	2,0	106,6	5,89
3/2/2008	4,3	72,8	6,59	13/8/2008	3,7	186	6,12	13/5/2009	8,8	40,4	5,46
18/2/2008	9,0	56,8	6,22	11/9/2008	4,2	89,3	6,63	24/6/2009	9,2	61,2	5,97
19/2/2008	6,3	38,6	6,62	22/9/2008	11,8	47,1	6,06	20/7/2009	9,2	51	6,01
24/2/2008	8,2	32,1	6,66	7/10/2008	3,4	59,1	6,01	6/8/2009	3,5	44,2	6,01
4/3/2008	1,7	52,2	6,12	12/10/2008	5,4	58,1	6,47	8/8/2009	16,6	36	5,88
10/3/2008	1,8	68,4	6,72	18/10/2008	13,3	32,4	6,04	1/9/2009	6,7	161,7	5,15
17/3/2008	1,6	91,2	6,61	21/10/2008	23,8	24,2	6,01	17/9/2009	25,5	71,5	5,83
23/3/2008	7,5	29,5	6,18	22/10/2008	2,5	26,7	6,15	1/10/2009	4,1	65,4	5,4
28/3/2008	4,5	19,3	6,28	27/10/2008	4,4	50,1	5,64	20/10/2009	18,6	68,9	5,99
30/3/2008	3,4	32,9	6,61	28/10/2008	4,0	13,1	5,95	21/10/2009	7,4	15	5,32
7/4/2008	21,8	32,4	6,4	30/10/2008	11,1	15	6,1	22/10/2009	22,1	13,6	5,84
8/4/2008	3,7	19,5	6,51	2/11/2008	37,3	11,8	5,98	1/11/2009	6,0	46,8	5,31
9/4/2008	7,5	18,2	6,46	29/11/2008	3,8	21,3	6,15	8/11/2009	16,8	19,8	6,03
10/4/2008	7,8	13,3	6,32	8/12/2008	10,8	25,6	5,4	21/11/2009	3,6	44,9	4,73

Tabla 1. (Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
29/11/2009	3,3	36,3	6,17	22/7/2010	11,3	30,9	6,27	29/5/2011	6,8	51	5,4
30/11/2009	8,7	22,2	5,96	18/8/2010	7,5	85,5	5,46	30/5/2011	11,4	23,1	5,62
2/12/2009	3,3	6,17	5,78	2/9/2010	32,9	38,3	5,4	5/6/2011	12,8	17,6	5,51
21/12/2009	6,1	10	6,14	3/9/2010	3,6	42,5	5,43	6/6/2011	14,5	14,1	5,44
26/12/2009	32	11,1	6,14	17/9/2010	12,5	21,2	6	7/6/2011	27,7	56,8	6,58
29/12/2009	1,8	10,3	6,48	21/9/2010	3,5	36,9	5,88	9/6/2011	3,0	48,3	6,46
2/1/2010	8,1	32,2	6,18	23/9/2010	12,1	32,8	6,16	12/6/2011	0,1	44,4	6,51
4/1/2010	7,4	13,3	5,61	3/10/2010	2,8	55,2	5,64	2/7/2011	2,5	182,8	6,38
12/1/2010	9,6	10,4	5,59	10/10/2010	39,4	25,4	6,13	19/7/2011	5,0	94,5	6,51
13/1/2010	18,8	10,6	5,1	7/11/2010	5,0	42,4	5,63	18/8/2011	1,5	357	5,97
14/1/2010	3,5	8,6	6,43	8/11/2010	20,5	14,4	5,96	24/8/2011	5,3	109	6,15
4/2/2010	6,5	23,8	5,7	14/11/2010	5,3	43,8	5,6	25/8/2011	1,6	99,1	6,14
8/2/2010	5,2	16,5	6,22	20/11/2010	16,9	35,5	5,79	2/9/2011	13,2	53	4,61
16/2/2010	15	12,2	6,03	30/11/2010	1,9	125,4	5,6	24/9/2011	9,3	67,9	5,43
17/2/2010	12,2	22,9	5,66	9/12/2010	15,4	33,3	5,86	24/10/2011	13,1	73,3	6,3
22/2/2010	5,9	15,1	5,49	21/12/2010	8,6	59	5,57	27/10/2011	12,6	28,6	5,62
23/2/2010	2,2	20,7	5,33	22/12/2010	1,8	46,2	5,31	2/11/2011	7,3	28,8	5,58
24/2/2010	2,1	16,6	5,42	5/1/2011	2,2	79	5,83	3/11/2011	18,5	14,6	6,12
28/2/2010	5,2	11,7	5,73	8/1/2011	6,0	31,1	5,79	7/11/2011	6,6	7,57	6,24
2/3/2010	3,5	15,8	5,54	18/1/2011	0,9	116,1	6,06	14/11/2011	15,3	20,6	6,13
3/3/2010	2,9	14,6	5,77	29/1/2011	13,9	22,5	6,62	15/11/2011	1,5	29,1	4,87
24/3/2010	28,2	29,3	6,02	14/2/2011	6,2	40,6	6,42	19/11/2011	2,1	38,8	6,68
3/4/2010	6,7	20,6	5,55	16/2/2011	2,8	26,9	6,59	2/12/2011	4,7	35,5	6,75
1/5/2010	15	38,5	5,65	20/2/2011	1,3	56,3	5,42	16/12/2011	3,8	50,5	6,61
8/5/2010	19,5	39,2	5,32	21/2/2011	3,8	29,6	5,71	21/3/2012	5,9	144,6	5,54
10/5/2010	11,7	41,6	5,28	3/3/2011	6,8	37	5,6	5/4/2012	14,8	104,8	5,76
11/5/2010	4,5	33,3	5,77	12/3/2011	12,8	49	6,21	6/4/2012	15,3	56,8	5,83
13/5/2010	1,8	26,2	5,63	15/3/2011	4,6	25,3	6,42	10/4/2012	2,3	73,3	5,81
27/5/2010	4,1	23,3	5,94	16/3/2011	28	9,5	6,47	21/4/2012	8,6	37,6	5,96
28/5/2010	4,2	15,4	5,75	27/3/2011	12,8	17,3	6,47	31/4/2012	85,1	10,39	5,76
5/6/2010	4,3	13,7	5,99	30/3/2011	12,6	32,7	6,38	3/5/2012	3,5	9,98	5,78
8/6/2010	17,9	15,5	6,03	3/4/2011	3,5	34,9	6,36	4/5/2012	8,0	31,5	5,68
9/6/2010	28,5	11,6	5,71	7/5/2011	19,4	37,9	5,62	18/6/2012	4,4	141,5	5,18
27/6/2010	5,8	50,9	6,12	26/5/2011	6,9	51	5,52	19/6/2012	16,4	42	5,65

Tabla 1. (Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
5/7/2012	53	47,3	6,12	25/4/2013	4,8	16,2	5,39	4/2/2014	11,2	7,49	5,68
29/8/2012	30,5	75,4	6,11	28/4/2013	18	22,5	5,52	5/2/2014	1,6	11,82	5,46
23/9/2012	0,4	226	5	29/4/2013	19	12,94	5,66	9/2/2014	11,4	14,15	5,45
26/9/2012	1,7	146,8	5,11	30/4/2013	8,5	15,41	5,58	11/2/2014	4,5	8,17	5,66
29/9/2012	20,8	29,9	5,45	7/5/2013	7,3	21,3	5,67	25/2/2014	2,7	41,2	5,64
10/10/2012	10	29,8	4,34	14/5/2013	6,7	16,28	5,48	27/2/2014	1,7	26,1	5,68
14/10/2012	3,2	37,5	6,11	14/5/2013	12,8	8,6	5,86	2/3/2014	8,2	25,3	5,23
25/10/2012	6,4	18,26	5,76	20/5/2013	0,8	21,9	5,84	3/3/2014	34	10,3	5,52
21/10/2012	154	36,6	7	6/6/2013	3,3	97,3	7,03	24/3/2014	3,6	38,2	5,02
27/10/2012	11	22,9	5,7	9/6/2013	4,3	28,5	7,13	25/3/2014	1,2	28,1	5,24
30/10/2012	5,4	16,21	5,73	17/6/2013	3,5	107,8	5,67	30/3/2014	5,3	50,6	5,64
5/11/2012	15,6	29,6	6,21	18/6/2013	43,2	11,71	5,52	2/4/2014	12	52,5	6,03
8/11/2012	2,4	34,1	6,18	15/7/2013	2,5	12,35	5,7	3/4/2014	19,9	15,25	6,23
10/11/2012	8,3	18,9	5,46	16/7/2013	11,7	10,8	5,9	20/4/2014	7,3	43,1	5,43
18/11/2012	2,5	16,88	5,45	29/9/2013	14	21,7	5,92	24/4/2014	21	10,84	5,61
25/11/2012	2,5	20,7	6,64	19/10/2013	4,5	45	5,05	19/5/2014	2,7	81	5,58
26/11/2012	5,0	8,47	5,64	21/10/2013	5,0	35	5,68	20/5/2014	21,5	17,16	5,8
12/12/2012	1,4	64,5	5,4	3/10/2013	1,8	31	5,38	21/5/2014	5,5	15,58	5,39
13/12/2012	4,1	32,5	5,45	4/10/2013	41,5	13,65	5,49	25/5/2014	38	14,08	5,37
16/12/2012	18,7	47,8	6,07	22/10/2013	5,0	47,4	4,89	28/5/2014	2,8	16,55	4,81
25/12/2012	0,7	89,3	5,04	3/11/2013	2,7	55,5	4,62	29/5/2014	1,4	10,95	4,82
13/1/2013	1,5	40,2	4,74	4/11/2013	3,5	63,5	4,25	23/6/2014	2,8	136,7	5,46
15/1/2013	2,4	13,05	5,3	21/11/2013	0,5	46,3	5,28	24/6/2014	15,3	45,5	4,36
17/1/2013	2,0	12,58	7,2	17/12/2013	14,5	27,5	5,22	1/7/2014	4,7	115,5	4,66
20/1/2013	18,3	14,32	5,67	18/12/2013	1,4	104,1	5,83	3/7/2014	15,6	49,5	6,09
22/1/2013	2,5	20,2	5,71	19/12/2013	5,5	35,7	6,6	4/7/2014	3,7	74,4	6,31
23/1/2013	3,5	13,47	5,6	4/1/2014	45	12,7	5,93	7/7/2014	7,4	30	5,91
24/1/2013	6,6	8,75	5,9	12/1/2014	2,6	27,7	5,28	18/7/2014	4,6	83,6	5,74
27/1/2013	11,3	9,62	5,9	14/1/2014	1,7	10,57	5,48	28/8/2014	27,3	59,9	5,65
1/2/2013	2,0	7,35	6,7	15/1/2014	0,8	13,39	4,89	7/9/2014	36,4	28,3	4,71
10/2/2013	5,2	37,9	5,87	18/1/2014	8,7	7,7	6,08	18/7/2014	18,7	30,9	5,32
5/3/2013	10,8	20,7	5,47	28/1/2014	3,3	10,3	5,46	22/9/2014	13,2	21,8	4,77
7/3/2013	8,4	18,4	5,57	1/2/2014	4,0	10,43	5,48	28/9/2014	4,7	52,7	5,26
10/3/2013	7,4	22,8	5,61	3/2/2014	2,4	15	5,11	9/10/2014	7,5	39,5	5,65

Tabla 1. (Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
13/10/2014	15,4	34,9	5,52	2/9/2015	12,2	27	5,47	21/4/2016	9,8	24,6	6,26
3/11/2014	21,4	28,4	5,2	17/7/2015	3,2	36,5	5,4	27/4/2016	1,7	40	6,16
11/11/2014	4,5	50,1	5,36	17/9/2015	12	25,6	5,35	8/5/2016	10,7	28,5	5,15
16/11/2014	11,2	25,2	5,16	13/10/2015	5,7	43,4	5,55	7/5/2016	15,2	13,36	5,3
25/11/2014	18,3	26,3	4,89	18/10/2015	3,4	44,6	5,65	13/5/2016	7,8	13,41	4,75
27/11/2014	3,3	42	5,45	20/10/2015	3,2	34	5,6	22/5/2016	5,4	20,03	5,84
31/11/2014	44	20,7	5,39	2/11/2015	25,5	43,2	5,05	29/5/2016	8,5	34,1	6,18
14/12/2014	2,9	72,1	5,35	14/1/2016	1,7	36,4	5,58	5/6/2016	1,4	59,7	5,84
15/1/2015	8,2	56,3	5,73	8/2/2016	12,6	22,7	4,94	6/6/2016	1,2	42,1	6,36
1/2/2015	12,5	33,6	5,64	9/2/2016	4,1	24,3	5,32	20/7/2016	9,8	88,7	6,2
2/2/2015	5,2	28,8	5,98	10/2/2016	1,5	15,78	5,48	7/7/2016	8,7	42,7	5,93
15/2/2015	2,9	61,4	5,76	14/2/2016	47,4	9,28	5,81	15/6/2016	3,4	41,8	6,38
23/2/2015	3,2	35,9	5,05	27/2/2016	50,5	24,7	5,92	13/9/2016	18	31,5	5,64
18/3/2015	6,8	73,2	5,96	6/3/2016	3,1	38,7	5,17	23/9/2016	11,6	34,6	5,87
22/3/2015	46	40,5	5,94	10/3/2016	2,6	30,1	5,8	12/10/2016	7,2	36,4	5,58
23/3/2015	22,5	27,3	5,92	13/3/2016	3,9	46,6	5,32	16/10/2016	15	19,93	5,7
26/4/2015	9,3	48,5	5,95	14/3/2016	38,2	15,84	5,46	23/10/2016	8,2	31,4	6,9
1/6/2015	11,8	67,1	5,84	20/3/2016	31,3	22,9	5,98	24/10/2016	13,5	14,86	7,03
10/6/2015	6,5	68,3	5,76	3/4/2016	1,1	74,3	6,01	6/11/2016	36,5	15,93	6,54
11/6/2015	19,6	26,9	5,95	4/4/2016	43,3	12,3	6,12	9/11/2016	1,5	35,1	7,14
13/6/2015	5,5	45	5,87	5/4/2016	4,0	15,05	6,08	20/11/2016	13,9	14,9	7,1
8/8/2015	21,5	52,9	5,94	10/4/2016	8,9	16,7	5,03	21/11/2016	7,1	13,15	6,23
12/8/2015	16,7	34,9	5,93	12/4/2016	1,6	23,9	5,15	22/11/2016	38	23,1	6,77
31/8/2015	36,2	35,5	5,4	18/4/2016	6,3	18,3	5,03	23/11/2016	51,7	11,49	7,02
1/9/2015	13,4	27,3	5,08	20/4/2016	1,7	89,8	6,14				

pH de la lluvia total en Huesca

El pH de la lluvia tiene un valor medio de 5,98 con un rango de entre 4,25 y 7,54. El valor más bajo se relaciona con una CE de 42,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C y el más alto con 101,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C lo que evidencia que es muy baja la correlación entre ambas variables ($r = 0,137$).

A efectos comparativos, hay muchos trabajos relativamente antiguos sobre el pH de la lluvia en España, con valores diversos en función del

emplazamiento y del periodo considerado. ALASTUEY y cols. (1999), para 75 eventos de precipitación total entre 1995 y 1996 en Morella, obtienen un valor medio de 6,8 (5,4 a 7,8). Solo se detectaron dos episodios de ligera acidez. ÁVILA y ALARCÓN (1999), en una cuenca experimental en un encinar del Montseny, relacionan las situaciones meteorológicas con el pH de la lluvia. Los valores de pH más altos se relacionan con viento del sur y polvo sahariano, mientras que los más ácidos corresponden a flujos de aire procedentes del Atlántico y Centroeuropa. MARÍN y cols. (2001), con 8 estaciones en España y Portugal entre 1986 y 1987, presentan datos medios de pH de entre 5,3 en Viana do Castelo y 6,7 en la Cartuja de Granada. En todas las estaciones se registraron valores por debajo de 5,6 con un mínimo de 3,5 en Toledo en agosto de 1993. Concluyen también que la acidez disminuye en verano. ÁVILA y RODÀ (2002) estudiaron una serie en un encinar del Montseny, 538 datos de 4 pluviómetros entre enero de 1983 y septiembre de 2000. En precipitación total obtienen valores ponderados de 16,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH: 5,27. Desde un pH por debajo de 5,0 observan una tendencia temporal hacia pH superiores a 6 entre 1983 y 2000 en el Montseny. VÁZQUEZ y cols. (2003), para 17 estaciones gallegas con 647, eventos obtienen un pH medio de 6,55 (de 7,08 en Monte Medio a 5,99 en Xunqueira). HONTORIA y cols. (2003), en 164 eventos de precipitación húmeda en 10 puntos dentro del casco urbano de Madrid, obtienen que, únicamente, un 3% es ácida. En la misma línea, GONZÁLEZ y cols. (2009), con 211 datos de 11 estaciones en zonas forestales en 2006, no obtienen valores inferiores a 6,5 y concluyen que la lluvia ácida no es un problema en España. Pero AEMET (2010) para el año 2008, sin especificar si es en lluvia o total, presenta para sus 13 estaciones unos valores medios extremos de 5,33 en Niembro (Llanes, Asturias) y 6,73 en Els Torms (Lérida). En el primer emplazamiento, los valores mensuales solo están por encima del umbral de 5,6 en los meses de enero y febrero.

Los valores del presente artículo se encuentran dentro de los parámetros presentados por los trabajos mencionados, a los que hay que aplicar el efecto derivado de la semiaridez y las condiciones climáticas y agronómicas del centro del valle del Ebro, con una importante erosión eólica que pone abundante polvo en suspensión en la atmósfera.

En los datos de Huesca (fig. 1), se observan fuertes oscilaciones en periodos muy cortos de tiempo. En parte pueden ser debidas a la interacción entre

la lluvia y el polvo almacenado desde la precipitación líquida anterior. También se observa una tendencia hacia la acidificación desde inicios de 2007 seguida de una estabilización en bajos valores desde enero de 2009 hasta finales de 2016. Esta acidificación también se constata numéricamente en los resultados estadísticos de la tabla II, donde se observan que tanto en los valores mínimos como en las medianas de los eventos (Q2) alcanzan su mínimo en 2014. No es fácil conocer la causa de esta acidificación, que parece cesar a finales de 2016.

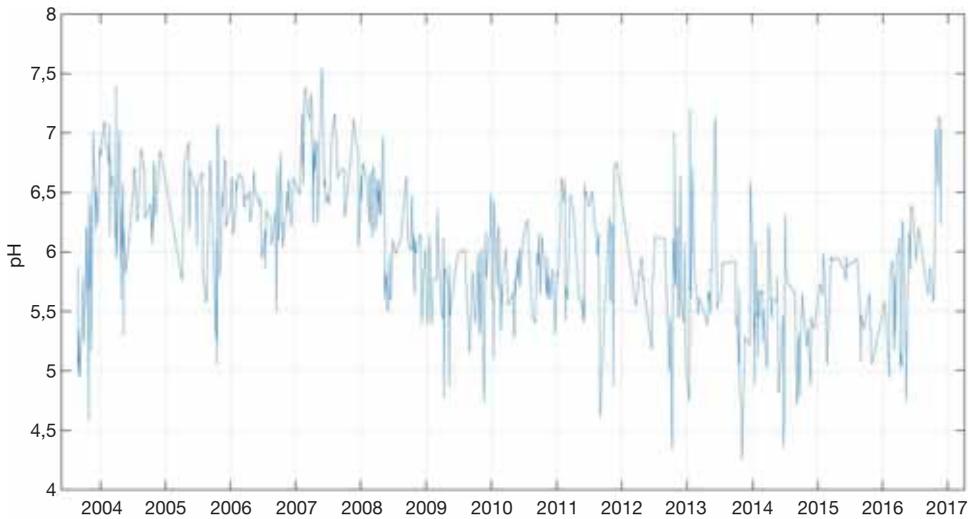


Fig. 1. Evolución del pH de la lluvia en Huesca entre 2004 y 2016.

Tabla II. Estadística anual del pH en los eventos de lluvia en Huesca (mín.: valor mínimo; Q1: primer cuartil; Q2: mediana; Q3: tercer cuartil; máx.: valor máximo registrado).

Año	Mín.	Q1	Q2	Q3	Máx.	Año	Mín.	Q1	Q2	Q3	Máx.
2003	4,58	5,15	5,67	6,21	7,01	2010	5,10	5,56	5,71	5,98	6,43
2004	5,30	6,18	6,52	6,77	7,40	2011	4,61	5,62	6,15	6,46	6,75
2005	5,04	6,05	6,49	6,69	7,06	2012	4,34	5,45	5,66	5,87	7,20
2006	5,50	6,13	6,37	6,52	6,83	2013	4,25	5,43	5,66	5,87	7,20
2007	6,04	6,56	6,81	7,05	7,54	2014	4,36	5,23	5,46	5,65	6,31
2008	5,40	5,93	6,12	6,47	6,97	2015	5,05	5,45	5,75	5,93	5,98
2009	4,73	5,44	5,83	6,01	6,48	2016	4,58	5,36	5,86	6,22	7,14

En total, un 25% de los eventos estudiados tienen un pH por debajo de 5,6, valor umbral para que se puedan considerar lluvia ácida. Este es un fenómeno complejo, con diversas causas como señalan BERNER y BERNER (1987), en su mayoría derivadas de la contaminación antrópica. El fenómeno ha perdido algo de la inquietud que despertó en el último tercio del siglo XX, por ejemplo, sobre el decaimiento de los bosques centroeuropeos, pero no deja de tener efectos poco deseables. Es cierto que en el entorno calcáreo de la hoya de Huesca, la acidez de la lluvia es neutralizada por el fuerte contenido en carbonato cálcico de suelos, rocas y sedimentos fluviales. Sin embargo, la lluvia ácida tiene un efecto negativo sobre las construcciones antiguas de arenisca oscense, al eliminar el cemento natural que liga esta roca ya de por sí poco cementada en muchos casos, aumentando la arenización de la roca. En la práctica, esto lleva al deterioro de los monumentos expuestos a la lluvia como, por ejemplo, los capiteles del claustro de San Pedro el Viejo.

Por otro lado, en los datos aparecen algunos valores de pH bastante altos. En unos casos pudiera deberse a la ya reseñada alcalinidad del polvo local. Sin embargo, también puede deberse a lluvias de barro de polvo atmosférico de origen africano, cuya alta alcalinidad ya fue señalada por LÖYE-PILOT y cols. (1986), ÁVILA y RODÀ (1991), ÁVILA y ALARCÓN (1999) y otros autores.

Para estudiar este posible efecto, se han recogido entre 2004 y 2010, de forma no sistemática ni exhaustiva, una serie de muestras de nieve en diversas localidades del Pirineo, sobre todo altoaragonés, donde se supone que el efecto del polvo local es menor. En algunos casos, era nieve parda, para comprobar los altos valores de pH obtenidos por CUCHÍ y MANSO (1997). Los datos se presentan en la tabla III.

La mayoría de las 42 muestras tienen bajas conductividades, mucho menores que los valores recogidos en Huesca y que están en relación con la menor erosión eólica de tipo terrígeno, especialmente en invierno cuando el manto nival recubre predominantemente el terreno circundante. Hay dos valores muy altos para los que no se tiene una explicación clara.

Los valores de pH “normales” son ligeramente ácidos. Diez muestras tienen un pH menor de 5,6 y se pueden considerar como nieves ácidas. Es

Tabla III. Datos básicos de la química del agua de nieve en el Pirineo del Alto Aragón. Precipitación (P) en mm. CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C.

<i>Localidad</i>	<i>Fecha</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
Pico de Guara	4/1/2004	2060	210	8,26
Lecherines	15/2/2004	2011	10,4	5,18
Gallinero (Cerler)	22/1/2004	2400	41,9	9,19
Escuela Politécnica Superior de Huesca (Huesca)	20/2/2004	460	45,0	6,74
Sallent de Gállego	1/3/2004	1345	5,1	6,80
Tres Hombres (Formigal)	19/3/2004	2200	3,3	6,06
Valle de Aspe	17/5/2004	1800	5,1	5,68
Pico de Alba	9/5/2004	3100	8,8	5,40
Burrumbala	25/11/2004	2100	6,8	6,85
Belagua	4/2/2005	1362	7,2	5,81
Loma Verde	7/2/2005	2254	31,8	5,21
Gavarnie	16/2/2005	1828	10,1	5,72
Hospital de Benasque	21/2/2005	1812	8,7	5,14
Huesca	22/2/2005	460	6,02	7,40
Espelunciacha	27/2/2005	1895	08,7	4,73
Tavascán	27/2/2005	2000	11,5	5,74
Andorra	3/3/2005	2308	9,4	5,86
La Molina	7/3/2005	2415	9,9	5,63
Astún	14/3/2005	2140	4,0	5,76
Paderna (parda)	9/5/2005	2500	47,5	8,37
Paderna (110-142 centímetros)	9/5/2005	2500	7,1	6,71
Paderna (145-170 centímetros)	9/5/2005	2500	16,6	6,39
Paderna (218-236 centímetros)	9/5/2005	2500	3,6	6,01
Lizara	19/12/2005	1500	206	6,35
Ainielle	22/1/2006	1500	3,9	5,85
La Larri	5/2/2006	1550	2,1	6,26
Arañones	9/2/2006	1360	10,1	5,46
Pene Blanche	12/2/2006	2500	11,3	6,96
Rinconada de Tortiellas 1	7/2/2006	1850	5,2	5,73
Rinconada de Tortiellas 2	7/2/2006	1850	5,9	5,14
Rinconada de Tortiellas 3	7/2/2006	1850	6,0	5,55
Rinconada de Tortiellas 4	7/2/2006	1850	6,1	6,42
Rinconada de Tortiellas 5	7/2/2006	1850	3,0	5,81
Rinconada de Tortiellas 6	7/2/2006	1850	2,7	5,83
Tortiellas	28/3/2006	1850	4,4	6,04
Tortiellas	5/4/2006	1850	3,2	6,04
Tortiellas	25/4/2006	1850	5,3	6,57
Arroyeras	13/3/2007	2440	3,5	5,38
Midi Ossau	2/2/2008	1830	5,8	5,56
Formigal	16/11/2008	2130	28,0	9,07
Collado de los Monjes	20/4/2009	2200	4,2	5,14
Cangas	14/2/2010	2000	4,2	5,14

un porcentaje muy similar al que se ha observado en la lluvia. Aunque no se pueden comparar ambas series, evidencian que probablemente hay un factor lejano que influye en las precipitaciones.

Además, cuatro muestras son muy básicas, alguna claramente relacionada con nieve claro parda por precipitación de polvo sahariano. Son similares a los presentados por CUCHÍ y MANSO (1997). Los mayores valores de conductividad (Guara, 4 de enero de 2004; Lizara, 19 de septiembre de 2005) se presentan en muestras con pH básicos, pero hay valores de pH más altos con menores conductividades. Descartados los dos valores más altos, hay una ligera correlación positiva entre CE y pH ($r = 0,594$). En principio, una mayor presencia de polvo en la muestra produce, al fundirse la nieve y correspondientes reacciones en fase líquida, una mayor conductividad y un pH más alto.

CONCLUSIONES

Un estudio de larga duración sobre la lluvia en Huesca ha permitido conocer algunas de sus características químicas, señalando la presencia de lluvia ácida en esta localidad que puede tener efecto sobre la arenisca de los monumentos locales. La presencia de porcentajes similares de lluvia / nieve ácida sugiere, con mucha prudencia, una posible lejana causa común. Se constata en la conductividad eléctrica en la lluvia de la Escuela Politécnica Superior de Huesca, la presencia de polvo de origen natural y agrícola, en contraste con las muestras del manto nival pirenaico. Los episodios de lluvias de barro de origen sahariano quedan enmascaradas en la hoya de Huesca, pero se observan bien en el color y en los altos pH en la nieve.

Como tantas veces, es evidente la necesidad de estudios más detallados identificando, en la medida de lo posible, las trayectorias de las masas de aire con su química. También habría que profundizar en el análisis de los diversos iones, nitratos incluidos, presentes en la precipitación, así como en la naturaleza del polvo tanto local como transportado a larga distancia. Sería necesario disponer de un captador que solo recogiera las precipitaciones líquidas y un muestreo de la nieve, *in situ* y en tiempo real, identificando adecuadamente cada episodio

AGRADECIMIENTOS

Las muestras de nieve se tomaron con la ayuda de Carlos Calvo, Natalia Ayuso, Vanesa Bataller, Francisco Lera, Antonio Muñoz, Víctor Viñals, Antonio Gros, Lorenzo Ortas y otros amigos de la EMMOE, del GTE y del grupo de esquí de travesía de Peña Guara.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMET (2010). Calendario meteorológico 2010. Disponible en http://www.aemet.es/documentos_d/conocerlas/recursos_en_linea/calendarios/cm-2010.pdf [consulta: 31/1/2017].
- ALASTUEY, A., X. QUEROL, A. CHAVES, C. R. RUIZ, A. CARRATALÁ y Á. LÓPEZ-SOLER (1999). Bulk deposition in a rural area located around a large coal-fired power station, northeast Spain. *Environmental Pollution*, 106 (3): 359-367.
- ÁVILA, Á., y F. RODÀ (1991). Red rains as mayor contributors of nutrients and alkali to terrestrial ecosystems at Montseny (NE Spain). *Orsis*, 6: 215-229.
- ÁVILA, Á., y M. ALARCÓN (1999). Relationship between precipitation chemistry and meteorological situations at a rural site in NE Spain. *Atmospheric Environment*, 33 (11): 1663-1677.
- ÁVILA, Á., y F. RODÀ (2002). Assessing decadal changes in rainwater alkalinity at a rural Mediterranean site in the Montseny Mountains (NE Spain). *Atmospheric Environment*, 36 (17): 2881-2890.
- BERNER, E. K., y R. A. BERNER (1987). *The global water cycle, geochemistry and environment*. Prentice Hall. Englewood Cliffs (NJ). 397 pp.
- BONET, A., N. DÍAZ-CANEJA, I. GUTIÉRREZ, J. SOTO y E. VILLAR (1984). Contaminación química del agua de lluvia de Santander y su correlación con la cantidad de precipitación y otras variables meteorológicas. *Revista de Meteorología. AME*, 3: 11-17.
- BONET, A., N. DÍAZ-CANEJA, I. GUTIÉRREZ, A. MARTÍNEZ y E. VILLAR (1988). A comparative study of the precipitation acidity in two cities in Cantabria (Spain) with different degrees of industrialization. *Water, Air and Soil Pollution*, 38 (1-2): 181-188.
- CAMARERO, L., y J. CATALÁN (1993). Chemistry of bulk precipitation in the central and eastern Pyrenees, northeast Spain. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27 (1): 83-94.
- CUCHÍ, J. A., y J. A. MANSO (1997). Calidad química de la nieve del Pirineo altoaragonés en 1997. En *I Congreso Ibérico de Geoquímica – VII Congreso de Geoquímica de España (Soria)*: 427-433. CEDEX. Madrid.
- GONZÁLEZ, I., M. R. GONZÁLEZ, A. C. DE LA CRUZ, M. SERRANO y J. M. GRAU (2009). Variación estacional y geográfica de la composición química de la precipitación incidente en parcelas intensivas de la Red de Nivel II (ICP-FORESTS) en España. En *Actas V Congreso Forestal Español: 2/9-9/9*. Junta de Castilla y León. Ávila.

- HONTORIA, C., A. SAA, J. ALMOROX, L. CUADRA, Á. SÁNCHEZ y J. M. GASCÓ (2003). The chemical composition of precipitation in Madrid. *Water, Air and Soil Pollution*, 146 (1): 35-54.
- LÖYE-PILOT, M. D., J. M. MARTIN y J. MORELLI (1986). Influence of Saharan dust on the rain acidity and atmospheric input to the Mediterranean. *Nature*, 321: 427-428.
- MARÍN, E., N. LAVÍN, E. HERNÁNDEZ y A. RÚA (2001). Análisis de la acidez de la precipitación en la Península Ibérica. *Finisterra*, 36 (71): 103-113.
- SANZ, M. J., A. CARRATALÁ, C. GIMENO y M. M. MILLÁN (2002). Atmospheric nitrogen deposition on the east coast of Spain: Relevance of dry deposition in semi-arid Mediterranean regions. *Environmental Pollution*, 118 (2): 259-272.
- VÁZQUEZ, A., M. COSTOYA, R. M. PENA, S. GARCÍA y C. HERRERO (2003). A rainwater quality monitoring network: A preliminary study of the composition of rainwater in Galicia (NW Spain). *Chemosphere*, 51 (5): 375-386.
- VET, R., R. S. ARTZ, S. CAROU, M. SHAW, C. U. RO, W. AAS, A. BAKER, V. C. BOWERSOX, F. DENTENER, F. GALY-LACAUX, A. HOU, J. J. PIENAAR, R. GILLET, M. C. FORTI, S. GROMOV, H. HARA, T. KHODZER, N. M. MAHOWALD, S. NICKOVIC, P. S. P. RAO y N. W. REID (2014). A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus. *Atmospheric Environment*, 93: 3-100.

RECENSIÓN

**RECENSIÓN DEL LIBRO *ESTUDIO DEL MANTO DE NIEVE
Y DEFENSA EN LA MONTAÑA ANTE EL PELIGRO DE ALUDES,*
DE JUAN ÁNGEL MINTEGUI AGUIRRE,
JOSÉ CARLOS ROBREDO SÁNCHEZ Y PABLO HUELIN RUEDA**

Ángel GARI¹

Los aludes de nieve en la provincia de Huesca suponen uno de los principales problemas que pueden afectar tanto al medio natural como a la población y a sus bienes.

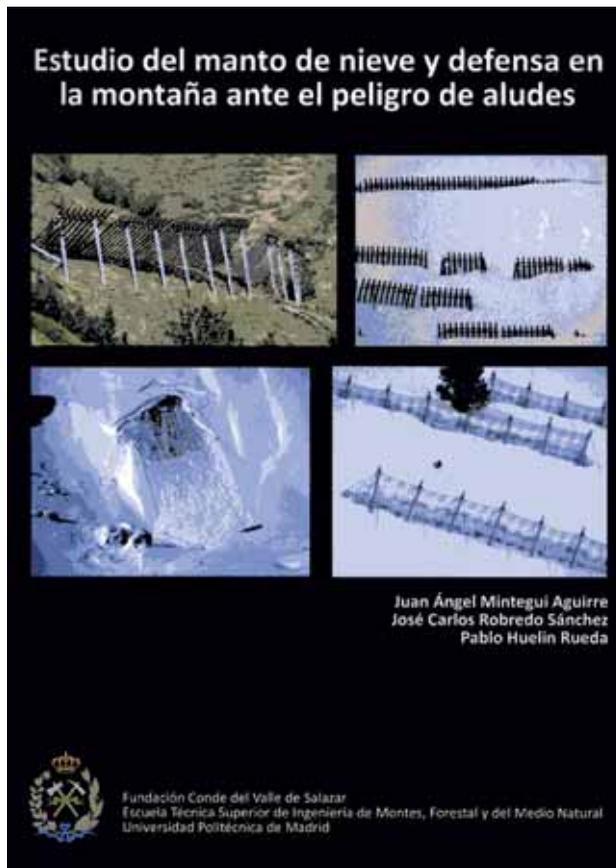
Históricamente, la provincia de Huesca ha sido un referente a nivel nacional en cuanto a las diferentes infraestructuras y estrategias llevadas a cabo en nuestros montes, no solo para la prevención del riesgo de avalanchas de nieve, sino también de la hidrología en un sentido más amplio. Actuaciones como las llevadas a cabo a principios del siglo XX en Canfranc han supuesto un hito en la historia de la hidrología forestal tanto para la protección del monte como de la población frente a las avalanchas.

En el momento actual, se juntan una serie de factores que nos podrían llevar a un punto de inflexión especialmente crítico y peligroso. En primer lugar, desgraciadamente la memoria es corta, y por lo general la planificación se maneja en periodos de cuatro años. Periodos de retorno de una determinada

Recepción del original: 30-1-2017

¹ Ingeniero de Montes.

avalancha, como la que acabó con el Hotel de la Pradera en el Balneario de Panticosa, son de cien años. Eventos de ese tipo o más trágicos quedan muy lejanos en el tiempo, dando una falsa sensación de seguridad. Una obra de protección frente a avalanchas puede ser un proyecto que precise una planificación a diez años vista, con fuertes inversiones. En segundo lugar, el aumento del uso público invernal en los montes, tanto en tipología como en número de usuarios, ha llevado a que se estén empleando para transitar, para aparcar coches o para instalar infraestructuras muchas localizaciones que no habían sido empleadas anteriormente y sobre las que desconocemos los antecedentes.



El libro tiene 102 páginas y ha sido editado por la Fundación Conde del Valle de Salazar, institución ligada a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid.

En tercer y último lugar, nos encontramos en un momento clave en el que muchas de las infraestructuras hechas en su día se encuentran en mal estado u obsoletas y, por otro lado, han aparecido nuevas posibilidades de actuación en protección civil y nuevas tecnologías como puedan ser la cartografía disponible, la información en tiempo real o las redes sociales, que abren el abanico a un mayor número de opciones en cuanto a las defensas activas, debiendo plantearnos qué defensas pasivas son necesarias y justificables desde el punto de vista de la inversión de dinero público.

La publicación del libro *Estudio del manto de nieve y defensa en la montaña ante el peligro de aludes*, de Juan Ángel Mintegui Aguirre, José Carlos Robredo Sánchez y Pablo Huelin Rueda, supone una gran aportación en estos momentos en los que por parte de las diferentes Administraciones Públicas deben tomarse decisiones importantes en este terreno.

En la primera y segunda parte, el libro aborda la situación actual del conocimiento en cuanto a las teorías del comportamiento del manto nival y de las avalanchas. La tercera parte dedica un buen número de páginas al análisis de las obras de defensa ante los aludes basadas en la fijación del manto de nieve, como puedan ser redes o rastrillos, ahondando en aspectos de elevado nivel técnico, lo que, sin duda, servirá de referencia a numerosos profesionales ocupados de estas materias. La cuarta parte analiza las experiencias llevadas a cabo en el Pirineo aragonés en los últimos cien años analizando el tipo de obras ejecutadas, su funcionamiento y su estado actual. Desde el punto de vista del lector, conviene remarcar que la tercera parte es de gran interés y supone un compendio de información clave y fundamental para cualquier profesional del ramo, si bien se podría decir que casi aparecen más fórmulas que letras, siendo, por tanto, poco recomendable su lectura para cualquier persona leiga en la materia. En cambio, el resto del libro es, en gran parte, fácilmente entendible para cualquier persona, destacando la cuarta parte que resulta, sin duda alguna, apasionante y de muy agradable lectura por los numerosos ejemplos y las fotografías que los acompañan.

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.