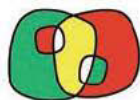


CUENCA DEL RÍO ÁGUEDA: UN TERRITORIO PARA DOS PAÍSES



Francisco Campos Sánchez-Bordona (Ed.)



PROGRAMA
COOPERACIÓN TRANSFRONTERIZA
ESPAÑA ~ PORTUGAL
COOPERAÇÃO TRANSFRONTEIRICA
2007 - 2013

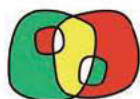
Unión europea
FEDER
Invertimos en su futuro



PROYECTO
AGUEDA

CUENCA DEL RÍO ÁGUEDA: UN TERRITORIO PARA DOS PAÍSES

Francisco Campos Sánchez-Bordona (Ed.)



P R O G R A M A
COOPERACIÓN TRANSFRONTERIZA
ESPAÑA ~ PORTUGAL
COOPERAÇÃO TRANSFRONTEIRIÇA
2 0 0 7 - 2 0 1 3

Unión europea
FEDER
Invertimos en su futuro



PROYECTO
ÁGUEDA

Edita: Servicio de Publicaciones. Universidad Europea Miguel de Cervantes

Imprime: SCL, S.L.

© Dibujos: Luisa F. Nunes

© Mapas, gráficos y fotografías: autores.

© Texto: autores

Dep. Legal: VA-831-2013

ISBN: 978-84-941760-3-6

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. La cuenca hidrográfica del río Águeda.....7

1. Ámbito geográfico y demografía.....	9
2. Usos del suelo y actividad económica.....	12
3. Climatología.....	13
4. Hidrología.....	14
5. Hidrogeología.....	15
6. Presiones sobre los ecosistemas acuáticos.....	19
7. Medio natural y paisaje.....	22
8. Impactos.....	24
9. Riqueza faunística.....	25
10. Sistemas de Información Geográfica.....	31

Germán Sanz, Tatiana Velasco, Roberto Martínez-Alegría, Isabel Montequi, Francisco Campos, Patricia Casanueva, M^a Ángeles Rojo.

CAPÍTULO 2. Caracterización e impactos ambientales en la cuenca del río Águeda.....35

1. Situación de la cuenca.....	37
1.1. Medio físico y soporte geológico.....	37
1.2. Medio biótico: Flora.....	40
2. Análisis de impactos ambientales en la cuenca.....	46
2.1. Diagnóstico global del estado de las aguas superficiales y subterráneas.....	46
2.2. Indicadores de contaminación por actividades mineras.....	49
2.3. Agricultura en la cuenca.....	62

Sara Sánchez-González, Antonio García-Sánchez, Pedro Caravantes, M^a Sonia Rodríguez-Cruz, M^a Jesús Sánchez-Martín, Ignacio Santa-Regina Rodríguez.

CAPÍTULO 3. Riscos e vulnerabilidades na bacia do rio Águeda.65

1. Introdução.....	67
2. Identificação / Caracterização de vulnerabilidades.....	69
2.1. Metodologias adotadas para caracterização dos principais riscos.....	69
2.2. Avaliação das vulnerabilidades.....	71
3. Como intervir de forma sustentável?.....	77
4. Articulação Territorial.....	79

Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes, Maria Teresa Durães Albuquerque, Sandrina Fidalgo de Oliveira, Natália Martins Roque, Maria de Fátima Magro Seco, Antonio Hoyuela, Leticia Alonso.

PREFACIO

La estrecha colaboración entre países, y más aún entre los que poseen fronteras comunes, es una antigua aspiración europea. En las últimas décadas se han establecido políticas, organismos, infraestructuras, etc., que han facilitado en gran medida aunar esfuerzos internacionales y tomar conciencia de que formamos parte de una Europa común.

Uno de estos mecanismos de colaboración es el Programa de Cooperación Transfronteriza España-Portugal (POCTEP), que permite aprovechar las redes ya existentes para la ejecución de infraestructuras materiales, a las que se han incorporado el turismo, servicios sociales, medio ambiente, innovación tecnológica, sanidad, educación y cultura.

Periódicamente el POCTEP convoca ayudas para subvencionar proyectos entre organismos españoles y portugueses. A tal efecto se estableció un primer periodo 2007-2013, en el que se aprobaron numerosos proyectos transfronterizos, todos ellos ahora finalizados o a punto de finalizar. En 2014 se abrirá otro periodo de ayudas que abarcará hasta 2020.

Uno de los proyectos aprobados para su realización es el titulado *Caracterización ambiental y análisis de riesgos en cuencas transfronterizas: proyecto piloto en el río Águeda*, que comenzó en 2011 y finalizó en 2013. Ha sido desarrollado por dos organismos españoles: la Universidad Europea Miguel de Cervantes, Valladolid, y el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y un organismo portugués: el Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Este proyecto tiene como objetivo último la mejora de la articulación territorial del ámbito transfronterizo hispano-portugués, optimizando la gestión de aspectos como la prevención y gestión de emergencias ambientales y la implantación de procesos de desarrollo ambiental y económico.

El proyecto pretende diseñar un modelo ambiental de impactos y riesgos extrapolable a cuencas transfronterizas a partir de datos de identificación morfológica, evolución temporal (hasta 50 años) de usos del suelo y de la caracterización biótica y fisicoquímica de la cuenca del río Águeda. Como proyecto multidisciplinar, busca una articulación coherente del territorio, a partir de la puesta en valor y la gestión sostenible de los recursos existentes, tratando de evitar y corregir los impactos negativos detectados.

La justificación del proyecto se basa en la necesidad de desarrollo en una zona transfronteriza concreta (la cuenca del río Águeda), cuyo nexo de unión es el agua. Para ello se ha usado una herramienta de análisis y diagnóstico ambiental que permite la evaluación de impactos y riesgos. El desarrollo de esta aplicación apoya la política de ordenación territorial, permite planificar de forma adecuada las actividades en función de los impactos y los riesgos ambientales previsibles, y sirve a la vez de modelo piloto para todo el eje transfronterizo hispano-luso.

Además, el proyecto contempla la difusión y transmisión de conocimientos. En este sentido, junto con los medios tradicionales de conferencias, exposiciones, etc., se ha recurrido a la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación con el fin de maximizar su alcance.

No obstante, parecía conveniente exponer al gran público los principales elementos del proyecto de un modo más divulgativo y no tan técnico como puede ser una memoria final de resultados. De ahí surgió la idea de editar un pequeño libro, con numerosas ilustraciones, en el que se pueda apreciar la riqueza paisajística y biológica de la zona estudiada, al tiempo que se pongan también de manifiesto los principales problemas que la afectan.

El libro se estructura en tres capítulos: 1) descripción de la cuenca del río Águeda, realizado por la Universidad Europea Miguel de Cervantes, 2) caracterización y análisis de impactos ambientales en la cuenca, realizado por el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca, y 3) análisis de riesgos y alteraciones ambientales basado en modelos de optimización, realizado por el Instituto Politécnico de Castelo Branco, y articulación territorial, realizado por Terysos.

La cuenca transfronteriza del río Águeda es un área de singular belleza, donde todavía es posible encontrar ecosistemas poco alterados, con una elevada diversidad biológica. Por su lejanía a los grandes núcleos de población, buena parte de su superficie permanece aún poco estudiada, sobre todo en aquellos aspectos menos llamativos. Algunos organismos que la habitan como, por ejemplo, la vegetación herbácea, los insectos y otros grupos animales de pequeño tamaño, requieren más atención. Entre los problemas de la cuenca, también deben ser más estudiados aspectos tales como contaminantes difusos, calidad de aguas corrientes y estancadas (ríos, lagunas, pozos, acuíferos subterráneos), residuos de minería abandonados, etc.

Los equipos participantes en el proyecto esperamos que este libro permita conocer más la cuenca del río Águeda. Conservarla en el mejor estado posible es una obligación de todos y, sin duda, las generaciones futuras lo agradecerán.

Por último, como Coordinador del libro quisiera agradecer a los componentes de cada Equipo de Trabajo su dedicación y las facilidades para realizar esta tarea que, por razones diversas, suele tornarse algo compleja. No es sencillo poner de acuerdo a más de veinte personas con diferentes opiniones, todas ellas muy lícitas. Sin embargo, parece que, al menos por esta vez, sí ha sido posible.

Dr. Francisco Campos Sánchez-Bordona

Valladolid, diciembre de 2013

LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ÁGUEDA

Germán Sanz, Tatiana Velasco, Roberto Martínez-Alegría, Isabel Montequi,
Francisco Campos, Patricia Casanueva y M^a Ángeles Rojo

1. Ámbito geográfico y demografía

Geográficamente la cuenca hidrográfica del río Águeda se extiende a través de más de 2600 km² por las provincias españolas de Salamanca y Cáceres y por el distrito portugués de Guarda. Abarca 79 entidades locales (entre términos municipales y freguesías) con una población superior a 42.700 habitantes de derecho, de los que 36.000 (84%) pertenecen al territorio español y 6.700 (16%) se encuentran en Portugal.



Situación de la cuenca del río Águeda en la Península Ibérica

En la parte española sólo 52 de los 62 términos municipales presentan núcleos de población dentro de la cuenca. Por este motivo se puede diferenciar la población total frente a la de derecho. No obstante, las estadísticas demográficas se han calculado teniendo en cuenta todos los términos, para así no dejar huecos al establecer relaciones espaciales en la cartografía.

En lo referente a la organización administrativa, se pueden diferenciar varios niveles:

1) Portugal

Distrito de Guarda:

- I. Concelho de Figueira de Castelo Rodrigo.

Freguesias de Almofala, Escalhão, Escarico y Mata de Lobos.

II. Concelho de Almeida.

Freguesias de Freineda, Malhada Sorda, Malpartida, Nave de Haver, São Pedro de Rio Seco, Vale da Mula, Vale de Coelho y Vilar Formoso.

III. Concelho de Sabugal.

Freguesias de Aldeia da Ponte, Aldeia da Ribeira, Aldeia do Bispo, Aldeia Velha, Fóios, Forcalhos y Lajeosa.

2) España

a) Castilla y León

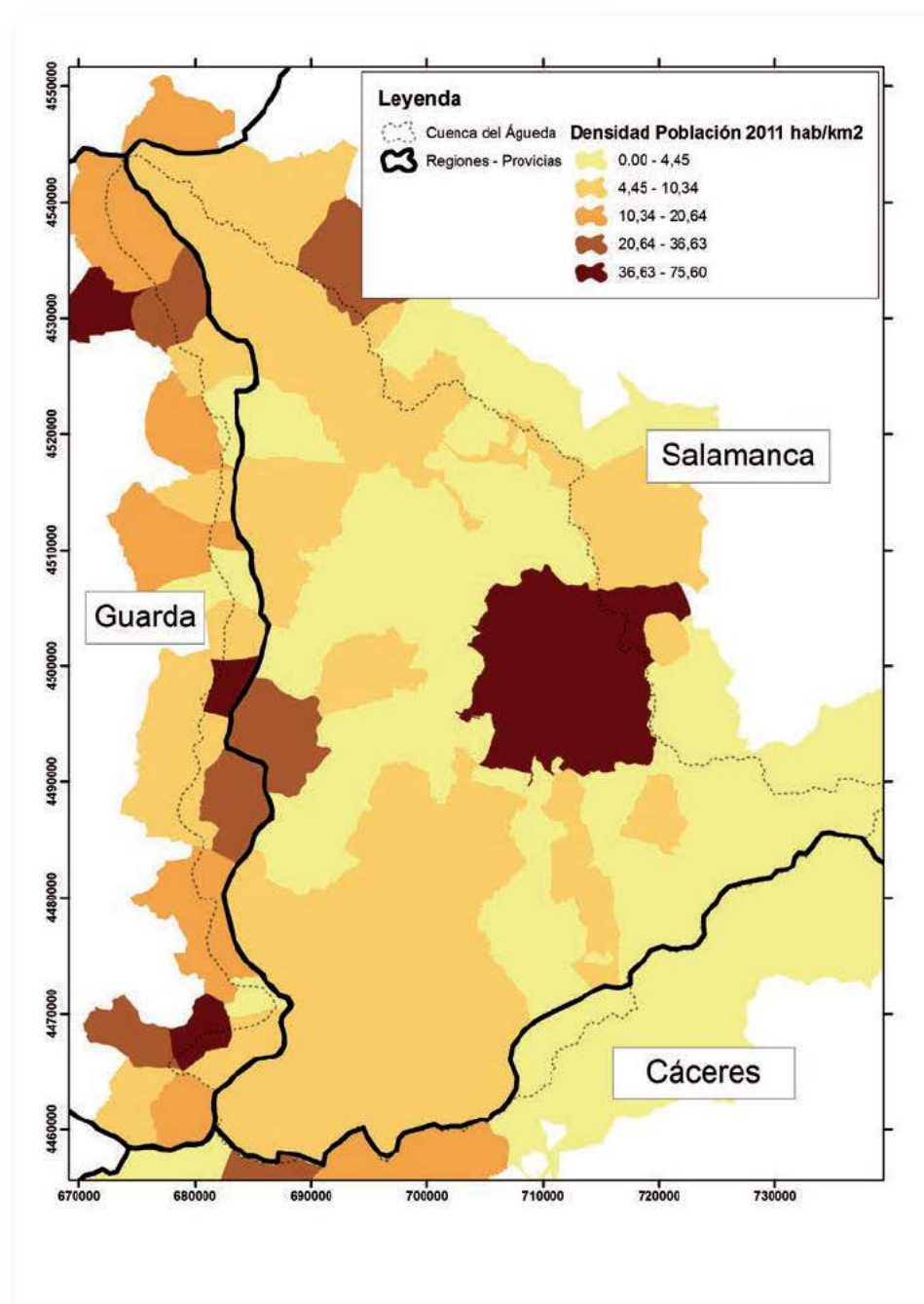
Provincia de Salamanca:

Términos municipales de Agallas, Ahigal de los Aceiteros, La Alameda de Gardón, La Alamedilla, La Alberquería de Argañán, Aldea del Obispo, La Atalaya, Bañobárez, El Bodón, La Bouza, Campillo de Azaba, Carpio de Azaba, Casillas de Flores, Castillejo de Martín Viejo, Ciudad Rodrigo, La Encina, Espeja, La Fregeneda, Fuenteguinaldo, Fuenteliante, Fuentes de Oñoro, Gallegos de Argañán, Herguiejuela de Ciudad Rodrigo, Hinojosa de Duero, Ituero de Azaba, Lumbrerales, Martiago, Monsagro, Navasfrías, Olmedo de Camaces, Pastores, El Payo, Peñaparda, Puebla de Azaba, Puerto Seguro, La Redonda, Retortillo, Robleda, Saelices el Chico, El Sahugo, San Felices de los Gallegos, Sancti Spiritus, Serradilla del Arroyo, Serradilla del Llano, Sobradillo, Tenebrón, Villar de Argañán, Villar de Ciervo, Villar de la Yegua, Villasrubias y Zamarra.

b) Extremadura

Provincia de Cáceres:

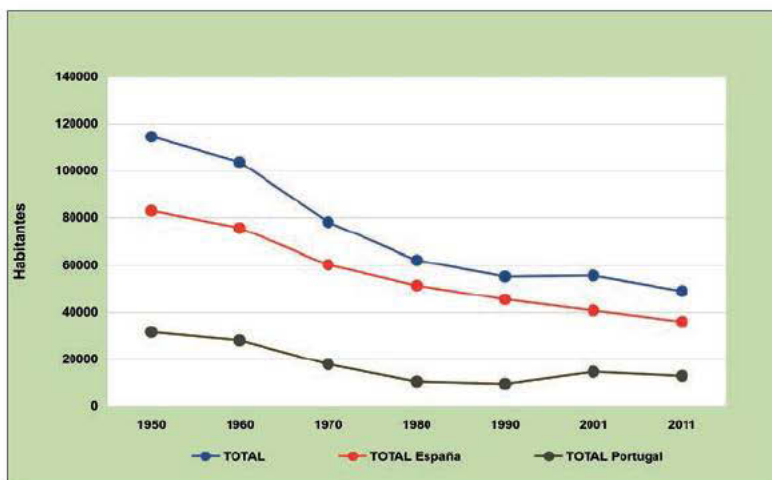
Términos municipales de Acebo, Cadalso, Descargamaría, Eljas, Gata, Robledillo de Gata, San Martín de Trevejo, Santibáñez el Alto y Torre de Don Miguel.



Densidad de población en la cuenca del río Águeda

La evolución de la población de la cuenca desde los años cincuenta del pasado siglo

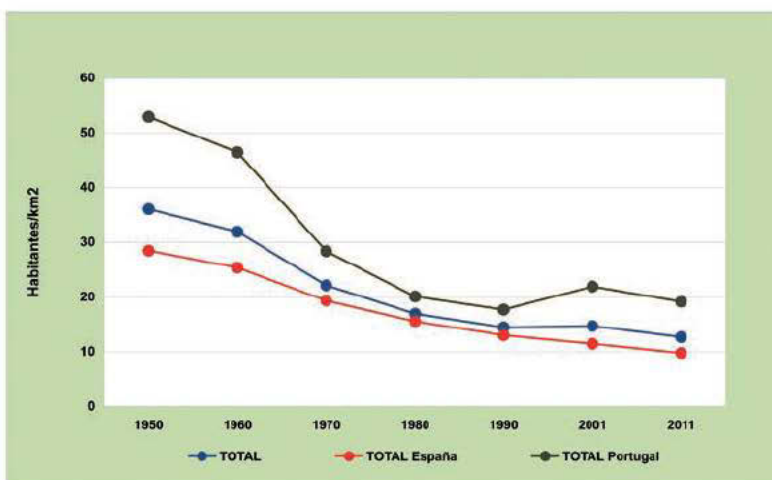
hasta la actualidad muestra un descenso casi continuo en el número de habitantes.



Evolución del número de habitantes en la cuenca del río Ágüeda entre 1950 y 2011

Por su parte, la densidad de población presenta patrones ligeramente distintos a ambos lados de la frontera: en la parte española el descenso ha sido ininterrumpido desde 1950,

mientras que en la parte portuguesa hubo un leve repunte a comienzos del siglo XXI, para disminuir ligeramente más tarde.



Evolución de la densidad de población entre 1950 y 2011 en las zonas española y portuguesa de la cuenca del río Ágüeda

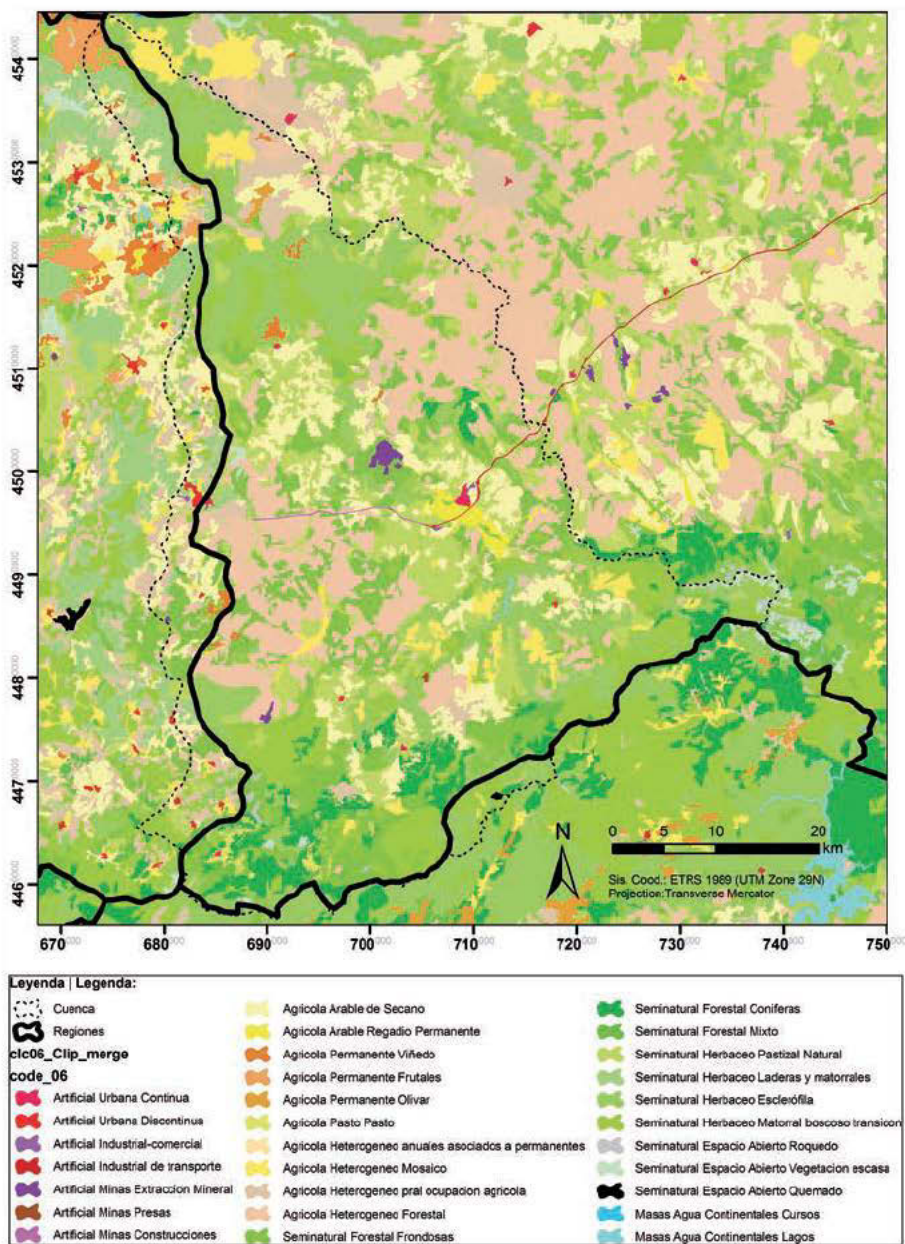
En conclusión, puede afirmarse que existe escasa densidad de población, muy concentrada en torno a Ciudad Rodrigo, vinculada tanto a la proximidad de los servicios como a la existencia de la autovía E-80, que mejora la comunicación entre los núcleos de población,

hecho que se ve corroborado por la existencia de una mayor densidad de población en torno a las carreteras nacionales. Además hay un envejecimiento de la población, sobre todo en la parte española, acompañado de cierto grado de masculinización.

2. Usos del suelo y actividad económica

La principal actividad de la cuenca es la agropecuaria, como se refleja en los usos del

suelo elaborados a partir del Corine Land Cover 2006.



Usos de suelo según leyenda nivel 3 de Corine Land Cover 2006 de la Agencia Europea de Medioambiente (EEA)

Tradicionalmente esta actividad estaba complementada por la minería metálica y la energética vinculada a los yacimientos uraníferos, pero en la actualidad sólo representa un recurso valorizable, ya que hasta la fecha no se ha explotado de manera planificada.

	Superficie (%)			
	2006	2000	1990	1959
Artificial	0,4	0,4	0,4	0,4
Agrícola	36,0	42,0	41,0	41,0
Semi-natural	63,0	57,0	58,0	58,0
Masas de agua	0,6	0,6	0,6	0,6

Variación de los usos del suelo en la cuenca del río Águeda entre 1959 y 2006

3. Climatología

En cuanto a la climatología de la cuenca, es necesario resaltar que, a pesar de sus dimensiones (90 km de norte a sur y 60 km de este a oeste), presenta fuertes variaciones vinculadas a la diferente altitud sobre el nivel del mar y al efecto de las montañas del Sistema Central sobre las precipitaciones y la circulación atmosférica.

Dentro de la cuenca hay cuatro estaciones termo-pluviométricas, con registros heterogéneos en lo referente a sus series temporales, insuficientes para una caracterización adecuada. Por este motivo se ha completado la caracterización climática con los registros de otras tres estaciones próximas a la cuenca, y se han comparado los resultados con los existentes en las obras de:

- G. Ramírez Estévez, J. Mauro Reguera de Castro. 1995. Atlas del territorio de Castilla y León. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Valladolid.

Por otra parte, con la clasificación de los aprovechamientos de los suelos de Corine 1990, 2000 y 2006, y a partir de los fotogramas aéreos de 1959, se ha podido establecer su variación durante los últimos cincuenta años.

A pesar de no existir diferencias significativas, sí se aprecia el efecto de la concentración parcelaria y la roturación de tierras realizada por los grandes planes desarrollistas y de modernización y extensión de la agricultura de la segunda mitad del siglo XX.

Finalmente, durante los últimos años el turismo rural se ha revelado como otra posible fuente de ingresos, sobre todo el vinculado con el mundo de los toros de lidia y el turismo patrimonial, cultural o gastronómico.

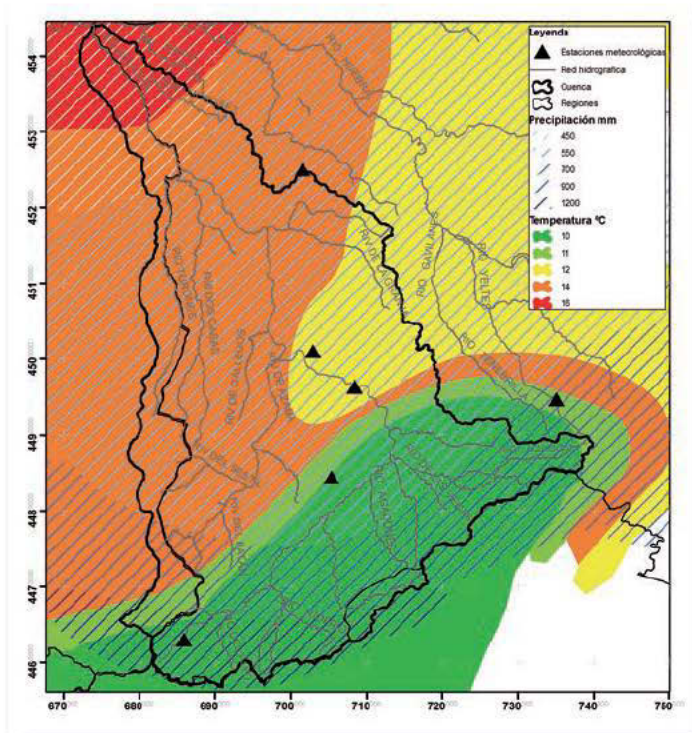
- M. Ninyerola, X. Pons y J. M. Roure 2005. Atlas climático digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra.

De ellas se han obtenido datos de precipitación y temperatura media mensual y anual en los puntos donde se realizaron los muestreos biológicos, con el fin de calcular índices climáticos que permitieran relacionar la distribución de las especies con las características del medio en que viven.

Las diferencias altitudinales, junto con la orientación del terreno, hacen que las temperaturas medias anuales varíen entre 11,3 °C (Navasfrías) y 16,0 °C (La Fregeneda). Algo similar sucede con la pluviosidad anual: 1263 mm las proximidades de las montañas del sur de la cuenca y 615 mm en las zonas más bajas. Por tanto, en la cuenca del río Águeda se encuentran los pisos bioclimáticos supra-mediterráneo y meso-mediterráneo. El primero

se extiende por la mayor parte de la cuenca, limitando la extensión del segundo a la zona de la desembocadura del río Águeda en el río Duero.

El mapa de isoyetas e isotermas se muestra a continuación.



Mapa climático (temperatura y precipitación) de la cuenca del río Águeda

4. Hidrología

El río Águeda es afluente del río Duero por su margen izquierda, y hace de frontera natural entre España y Portugal desde la desembocadura del río Turones hasta Barca d'Alva. Nace en el manantial del Puente de los Llanos, en Navasfrías (Salamanca). A lo largo de sus 144 km de recorrido presenta un fuerte desnivel (0,52% de media), pasando desde su punto más alto a 1678 m s.n.m. en la Sierra de Gata, dentro de la cadena montañosa del

Sistema Central, hasta su punto más bajo a 125 m s.n.m. en la desembocadura, dentro del término municipal de Barca d'Alva.

Presenta una trayectoria aproximada NW-SE entre su nacimiento y la localidad Ciudad Rodrigo. Posteriormente se dirige en sentido SSE-NNW hasta encontrarse con el río Duero. Por tanto, en líneas generales puede decirse que el río Águeda discurre de sur a norte.

En este trayecto adquiere formas muy diferentes: estrechos arroyos serpenteantes de aguas turbulentas en el tramo alto; gran anchura con aguas tranquilas en el tramo medio y la desembocadura, o profundos cañones en diversas partes de su recorrido.

En la cuenca existe una red hidrográfica muy densa, con muchas pequeñas presas y derivaciones, algunas muy antiguas y la mayoría en desuso.

Los principales ríos que desembocan en el río Águeda son Agadón y Frío. Además de los cauces fluviales, en esta zona se encuentran numerosas masas de agua estancada, de reducida extensión (media de 0,06 ha) que suelen secarse en los meses de estiaje, salvo algunos pocos embalses de pequeño tamaño utilizados principalmente para abrevadero de ganado. El río Águeda está represado en dos grandes embalses: Irueña (de 110 hm³) y Águeda (de 22 hm³).

5. Hidrogeología

Desde el punto de vista de las aguas subterráneas, en la cuenca del río Águeda se diferencian dos grandes extensiones: a) la zona central, que constituye un acuífero intra-granular de importancia económica, y b) los materiales rocosos del norte y sur, con bajas permeabilidades, asociadas a los sistemas de fracturación.

La importancia de los manantiales asociados a los sistemas de fracturación radica en su potencial geotermalismo de baja y media entalpía.

Geológicamente se pueden diferenciar dos grandes unidades: a) la cubeta de Ciudad Rodrigo, formada por materiales detríticos terciarios, y con un potente acuífero que, junto con las infraestructuras hidráulicas, abastece a la agricultura y la ganadería de la zona de estudio; b) la superficie formada por materiales paleozoicos metamórficos y plutónicos, rica en recursos mineros.

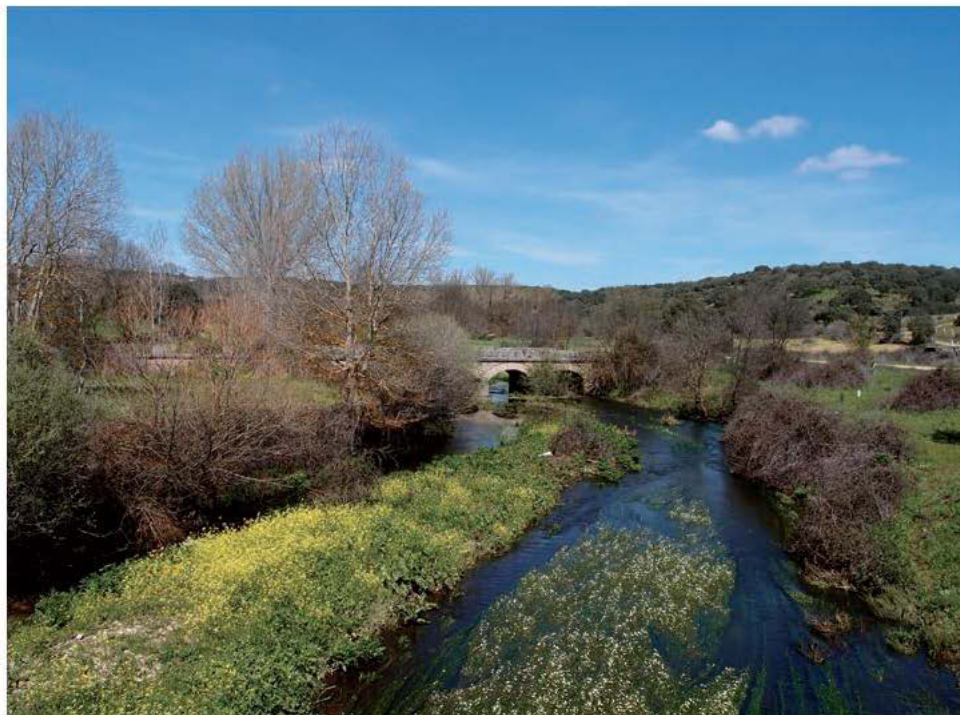
La hidrología subterránea se reduce a los flujos existentes dentro de la masa subterránea de Ciudad Rodrigo (denominada DU-400063), antiguamente conocida como Unidad Hidrogeológica de Ciudad Rodrigo.

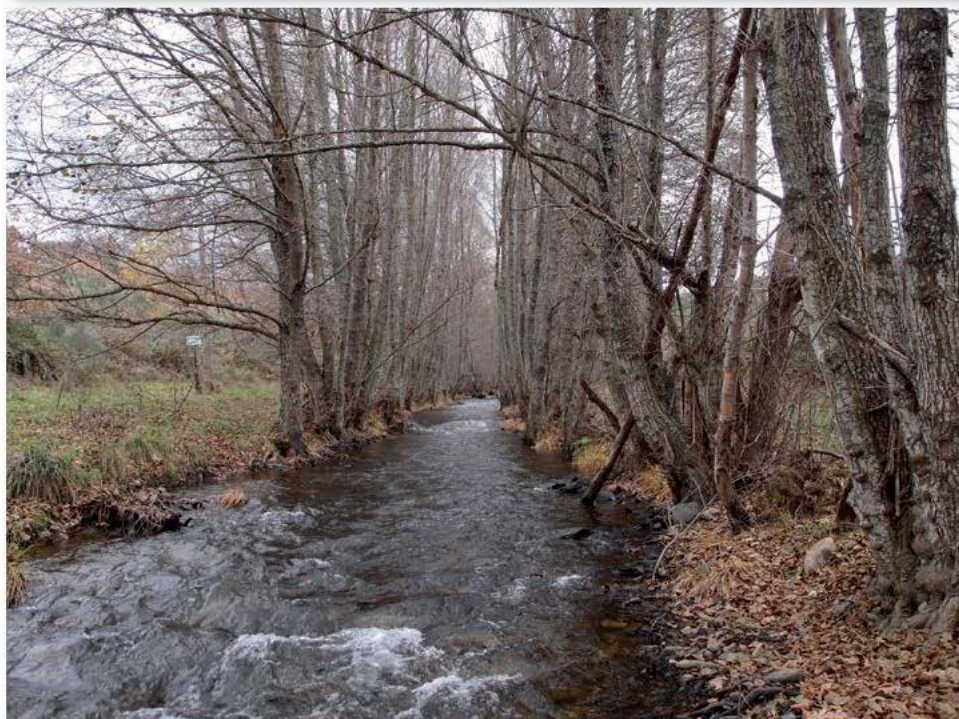
El límite nororiental de la cuenca viene a

coincidir con la divisoria entre el río Águeda y el arroyo Vallefrío, por un umbral paleozoico. Al norte y al sur la depresión queda limitada por los afloramientos hercínicos. Los límites se han determinado a partir de la geometría de las masas de agua subterráneas establecidas en el Plan Hidrológico de la cuenca del río Duero de 2009. En esta masa de agua subterránea los límites impermeables que la contienen se sitúan al norte y al sur, y están formados por los materiales plutónicos y metamórficos paleozoicos de Vitigudino y Las Batuecas. En sentido noreste, y de forma convencional, se ubica el límite con la masa de La Fuente de San Esteban, de carácter terciario. En el flanco oeste se encuentra la frontera con Portugal.

En resumen, se trata de una unidad abierta sólo por el oeste, relacionada con la unidad de la Fuente de San Esteban, y presenta unos límites muy marcados:

- Norte: borde cerrado con flujo nulo debido a contacto mecánico.
- Nordeste: límite abierto de tipo salida natural.
- Sur: impermeable; contorno de tipo cerrado sin flujo por contacto mecánico.





Los ríos de la cuenca del Águeda presentan un aspecto muy diferente según las estaciones del año. En la imagen, Rivera de Dos Casas (arriba, derecha), río Frío (abajo, derecha), río Rubioso (arriba, izquierda) y río Vegas (abajo, izquierda).

- Oeste: límite de tipo abierto con sentido de entrada y de naturaleza convencional.

En lo que respecta a la unidad, está formada por cuatro niveles acuíferos con parámetros hidrogeológicos anisótropos de diferente naturaleza:

- Conglomerados cuarcíticos, gravas y arenas silíceas.
- Arcosa.
- Conglomerados silíceos.
- Arenisca, limos y conglomerados ocre.

El balance hídrico de la masa de agua se resume en:

- aportaciones por precipitación, que oscilan entre 50 y 150 mm/año, lo que supone

una infiltración por lluvia útil próxima a los 35 hm³/año;

- retornos de riego, estimados en 2 hm³/año;
- salida a través de la red hidrográfica en torno a los 10 hm³/año;
- extracciones por captaciones subterráneas y superficiales de alrededor 2,25 hm³/año.

Con estos datos, y descontando las restricciones ambientales estimadas en 5 hm³/año, se obtiene un volumen de recurso aproximado de 22 hm³/año, es decir un índice de explotación de 0,36 que equivale a un estado cuantitativo bueno.



El valle del río Agadón visto desde la Peña de Francia



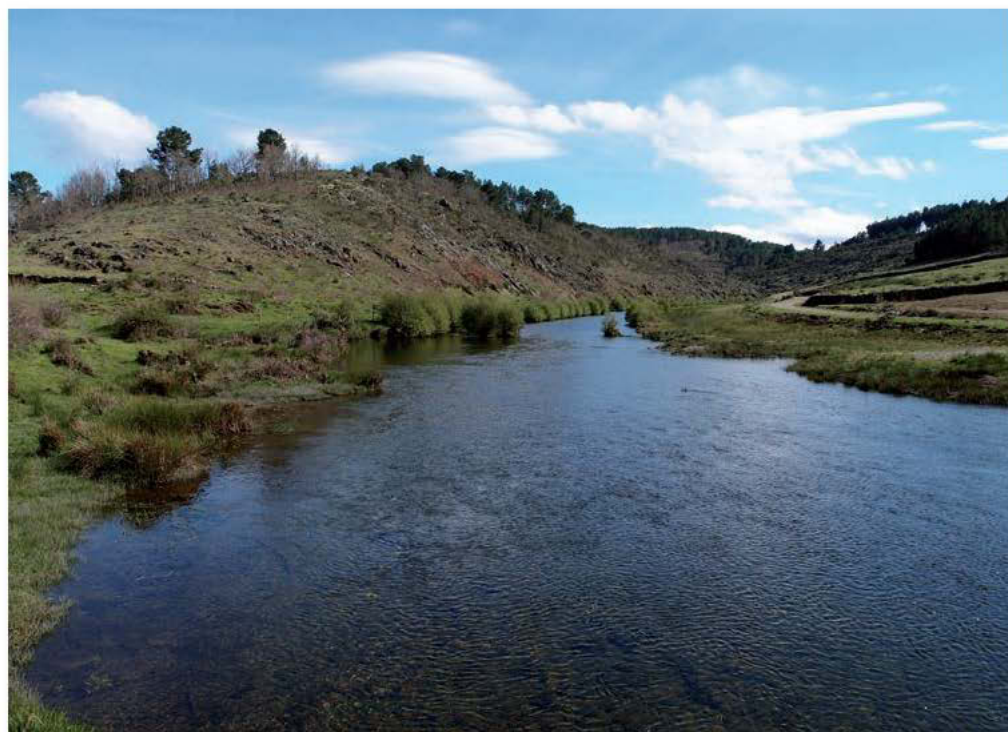
Los cauces de ríos bien conservados presentan bosque galería en su recorrido

6. Presiones sobre los ecosistemas acuáticos

A pesar de esta calificación, los ecosistemas acuáticos y, por tanto, los organismos que en ellos viven, se ven sometidos a numerosas presiones y amenazas. Un claro ejemplo de las alteraciones lo proporciona el río Mayas, donde el cauce puede estar casi totalmente seco en verano. Este hecho, junto con el paso de las estaciones, genera drásticos cambios en el paisaje y en el entorno de la cuenca.

Los cauces fluviales, grandes y pequeños, contienen multitud de pequeños azudes contruidos originalmente para abastecer

a los molinos, hoy casi todos abandonados. En la actualidad algunos se destinan a usos agropecuarios o de ocio, como piscinas fluviales. Este tipo de infraestructuras presenta el inconveniente de fragmentar los cauces, alterando la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas naturales. El mayor ejemplo lo tenemos en las dos grandes presas de la cuenca: el Embalse del Águeda y el Embalse de Iruña, con una altura de 35 m y 75 m, respectivamente.



El cauce del río Mayas en primavera (arriba) y verano (abajo)



Embalse en la Dehesa de Perosín (Peñaparda)



Presa del Embalse de Iruña



Presa del Embalse del Águeda

7. Medio natural y paisaje

A lo largo del río Águeda se pueden diferenciar distintas estructuras vegetales que lo acompañan, como los bosques de ribera que llegan a formar un dosel sobre el cauce, proporcionando sombra en verano.

Los paisajes de la cuenca se pueden agrupar en cuatro tipos principales, que son: montaña o sierra, pie de monte o presierra, depresión de Ciudad Rodrigo, o fosa de Ciudad Rodrigo, y las Arribes, con hoces y cañones profundos.



La Peña de Francia desde Monsagro



Vista de la Sierra de Gata: ejemplo de pie de monte



Depresión de Ciudad Rodrigo



Cañones del río Águeda

Cada uno de ellos está asociado a unas actividades humanas determinadas, y conservan

especies de flora y fauna características.

8. Impactos

Algunas actividades humanas en la cuenca del río Águeda originan problemas de diverso calibre, que requieren atención por parte de las autoridades y organismos competentes en la materia.

Uno de estos problemas lo constituyen las malas prácticas en la gestión de residuos: vertederos y escombreras incontroladas aún presentes en varias localidades.

Las infraestructuras hidráulicas generan, sin duda, beneficios económicos y son útiles para

prevenir inundaciones y sequías. Presentan, sin embargo, el inconveniente ya citado de la fragmentación de los ecosistemas acuáticos.

De igual modo, otra práctica que, a pesar de su consideración de semi-natural, produce importantes alteraciones ecológicas y paisajísticas, es la reforestación inadecuada. En tiempos pasados se realizaron, por ejemplo, plantaciones en zonas donde hoy ya no tendría sentido hacerlo, por ser lugares tan privilegiados.



Repoblación forestal en las inmediaciones de la Peña de Francia

El valor natural y cultural de la cuenca del río Águeda es enorme. La superficie protegida e incluida dentro de la Red Natura 2000 es superior al 60% del total. Esto se debe a la presencia de numerosas especies amenazadas (algunas incluso en peligro crítico de extinción) y a la

elevada diversidad de hábitats bien conservados. Sería conveniente continuar con las prácticas agropecuarias tradicionales, ya que su impacto sobre el medio ambiente es moderado, y favorecen la conservación de los ecosistemas naturales.

9. Riqueza faunística

Especies animales de muy distintas características viven en la cuenca del río Águeda como resultado de la elevada diversidad de hábitats que encontramos en la zona. Los altos riscos y profundos cañones albergan aves de gran porte (buitres, águilas, etc.) y mamíferos de tamaño considerable, como la cabra montés, reintroducida en estas montañas años atrás. Las amplias extensiones pobladas

de rebollares y encinares contienen una gran cantidad de vertebrados, ya sean reptiles, aves o mamíferos: ginetas, roedores, lagartos ocelados, culebras bastardas, rapaces nocturnas, aves insectívoras y granívoras, etc., componen una densa red trófica en la que unas especies dependen de otras, y todas necesitan que el medio físico esté bien conservado, así como una vegetación autóctona sin alterar.



Las cabras montesas pueden verse en las cumbres de la Peña de Francia

La riqueza vinculada con los medios acuáticos también es notable, tanto en especies de invertebrados como de vertebrados.

Entre las aves destaca la presencia del martín pescador y del mirlo acuático en ríos con agua de buena calidad, bien oxigenada y limpia. El martín pescador se alimenta de pequeños peces que captura mediante zambullidas rápidas desde una atalaya en la orilla. El mirlo acuático presenta un comportamien-

to excepcional entre las aves passeriformes, ya que es la única especie que bucea para capturar su alimento en el fondo del cauce: tricópteros, plecópteros, efemerópteros, etc., son los principales grupos de insectos que componen su dieta. Varias parejas se han establecido en los ríos de la cuenca del Águeda, donde suelen colocar sus nidos tras cascadas naturales o artificiales, o debajo de puentes, e incluso en rocas de la orilla del cauce.



Mirlo acuático, un ave típica de ríos de montaña

Otras aves ligadas a los ríos, pero de mayor tamaño, son las garzas reales y las garcillas bueyeras. Las primeras tienen algunas colonias de reproducción no lejos del agua, que anualmente ocupan para establecer sus nidos y sacar adelante los pollos. Las garcillas bueye-

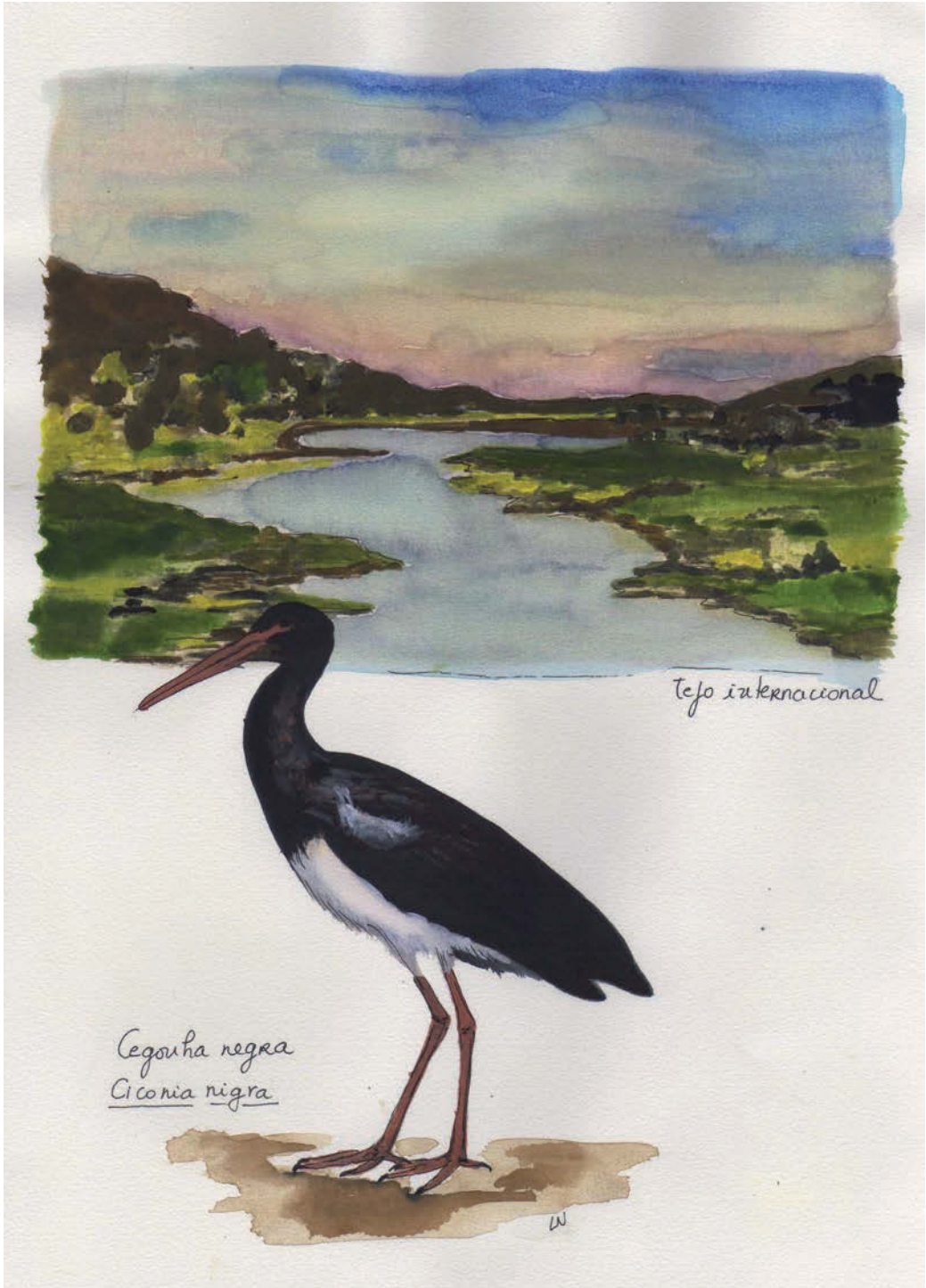
ras se distribuyen de día por las numerosas fincas ganaderas de la cuenca, mientras que al atardecer se concentran en dormideros, como el que a diario puede verse durante los meses de otoño e invierno en Ciudad Rodrigo.



Colonia de garza real y cigüeña blanca en las proximidades de Ciudad Rodrigo

Las dos especies de cigüeña (blanca y negra) también están presentes en esta zona. La cigüeña blanca es muy abundante y durante la época reproductora las parejas se agrupan formando núcleos que pueden contener docenas de nidos. Ciudad Rodrigo y otras localidades cercanas son buen ejemplo de ello, con los voluminosos nidos ocupando torres y teja-

dos de iglesias y casas, y también árboles en las colonias repartidas por encinares adeshados. La cigüeña negra, por el contrario, es muy escasa. Pueden verse ejemplares aislados en determinados cauces próximos a la frontera portuguesa, donde colocan sus nidos en viejos y altos árboles o en los cortados rocosos de las orillas.



La cigüeña negra, habitante de ríos y riberas

De las grandes y llamativas especies de vertebrados pasamos a los pequeños invertebrados, casi desconocidos para el gran público. Por citar tan sólo a los que viven dependiendo del agua, que es el nexo de unión de toda la cuenca en el presente libro, los odonatos (vulgarmente conocidos como libélulas y caballitos del diablo) presentan aquí una notable riqueza de especies. Muchos son de vistosos colores, su tamaño varía de 2-3 cm hasta casi

una docena, y su vuelo puede ser muy rápido y recto o lento y sinuoso. Ríos, pequeños arroyos, charcas, embalses, turberas: en todos estos hábitats es posible encontrarlos. Son cazadores de otros insectos de menor tamaño, como moscas, mosquitos, etc., y su presencia se ha utilizado para comprobar si son eficaces indicadores de la calidad de las aguas que ocupan.



Calopteryx y Pyrrhosoma, también llamados caballitos del diablo



Ejemplar de Brachythemis impartita en Robleda (Salamanca)

Los insectos odonatos han sido particularmente estudiados en este proyecto. Se ha registrado la presencia de algunas especies protegidas en la Península Ibérica, como por ejemplo *Macromia splendens*, *Coenagrion mercuriale* y *Coenagrion scitulum*. Otras han sido citadas por primera vez en Castilla y León, como es el caso de *Brachythemis impartita*. La abundancia de este grupo de insectos es un aspecto más que enriquece a la cuenca del río

Águeda y que la convierte en un objetivo prioritario de protección ambiental.

La riqueza faunística es reflejo de una elevada riqueza vegetal. Existen multitud de formaciones naturales de interés ecológico, entre las que destacan encinares (adehesados o no), bosques de roble rebollo, y una vegetación acuática muy vistosa durante la época de floración. En el Capítulo 2 del libro se aportan más datos sobre este particular.

10. Sistemas de Información Geográfica

El proyecto llevado a cabo fundamenta sus resultados en el desarrollo de un sistema que permite la gestión de la información geográfica, el estudio de la evolución espacial de la cuenca y la determinación de los riesgos y vulnerabilidades, a partir de los cuales se han propuesto las directrices de articulación territorial.

El Sistema de Información Geográfica (SIG) está formado por dos tipos de información: por un lado bases de datos alfanuméricas espaciales (ficheros shape), y por otro imágenes (ficheros geo-tiff).

Parte importante del SIG son las fuentes bibliográficas. En este caso las principales fuentes han sido los Institutos Geográficos Nacionales de España y Portugal, la Confederación Hidrográfica del Duero, el Centro Territorial de Información Cartográfica de Castilla y León, los Institutos Nacionales de Estadística, la Unidad de Protección Civil de la Delegación del Gobierno de Castilla y León, y los Institutos Geológicos y Mineros de España y Portugal.

Esta variedad de fuentes y, sobre todo, la falta de homogeneidad y continuidad cartográfica de la información facilitada, ha requerido un notable esfuerzo técnico para conseguir que toda la información fuera continua, interoperable y coherente.

Pero la construcción del SIG no es un objetivo en sí mismo, sino una herramienta que per-

mite buscar y establecer relaciones espaciales vinculadas al territorio. De esta forma el SIG ha hecho posible:

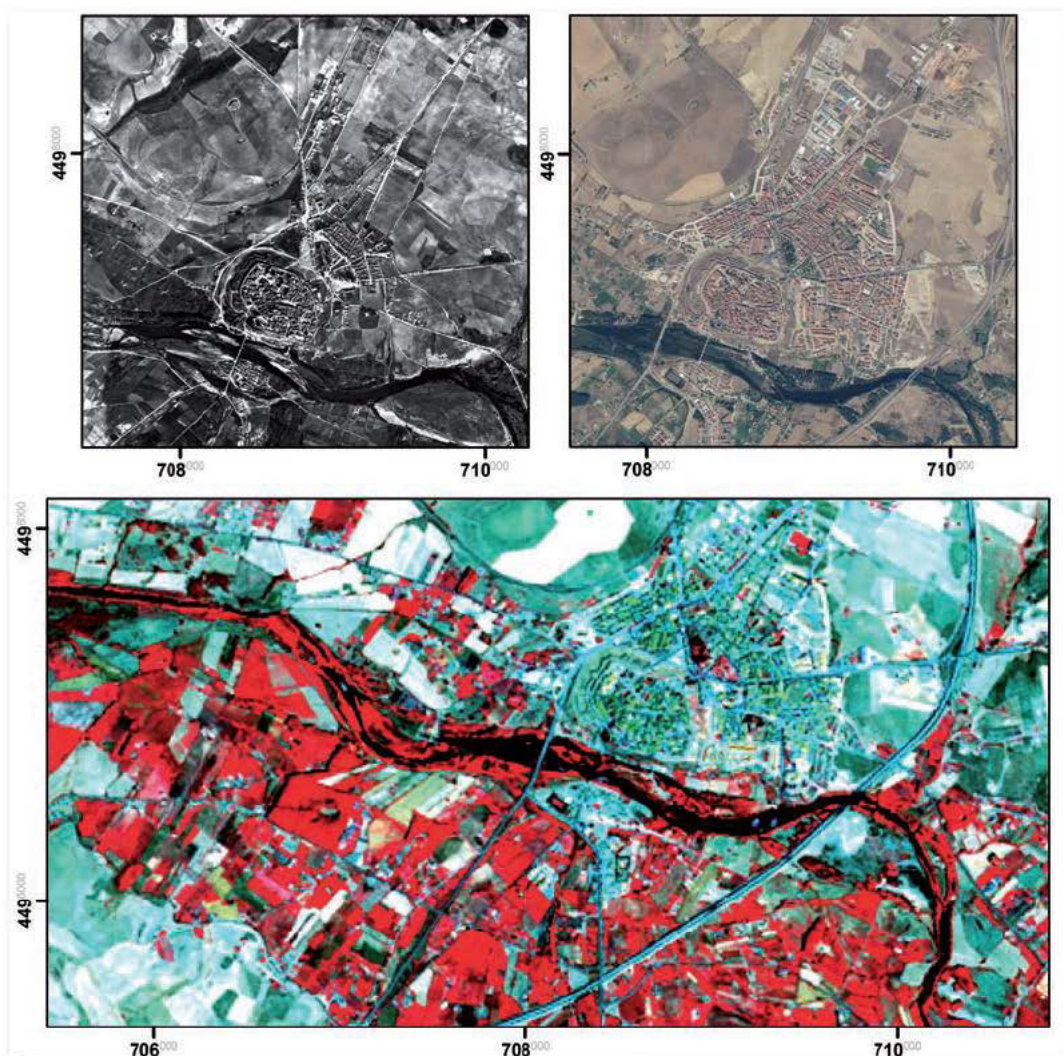
- Analizar la evolución multitemporal de la ocupación del territorio. Partiendo de las fotografías aéreas obtenidas entre los años 1959 y 2009, y con ayuda de los usos del suelo elaborados por la Agencia Europea del Medio Ambiente a través del Proyecto Corine Land Cover, se ha podido observar un ligero cambio en los usos del suelo, a pesar de que la cuenca siga manteniendo su tradicional carácter agropecuario.
- Observar el cambio en la estructura parcelaria antes y después del proceso de concentración de los planes de desarrollo. Este cambio permitió la modernización de la agricultura y la puesta en marcha de comunidades de regantes. Pero las alteraciones morfológicas asociadas a la concentración también supusieron cambios en la red hidrográfica y en la red de caminos y senderos.
- Determinar el índice de vegetación NDVI, usando las imágenes de satélite SPOT 2005 y 2008 y técnicas convencionales de teledetección (realces, cambios de bandas y álgebra de mapas). Se han identificado las zonas de mayor activi-

dad vegetal, con el fin de incorporar la información al análisis de vulnerabilidad y riesgos.

- Finalmente, el SIG ha sido el punto de partida para la elaboración de los modelos en los que se apoyan las directrices de articulación territorial planteadas.

La evolución del territorio y los cambios pueden observarse a través del registro histó-

rico de las fotografías aéreas. A pesar de que los grandes usos apenas hayan cambiado, se puede observar cómo ha evolucionado, por ejemplo, la mina de Fe (en Saelices el Chico) desde su apertura hasta su restauración, o los cambios originados por la construcción de la autovía E-80, por la evolución del núcleo de Ciudad Rodrigo, por la construcción de la presa de Iruña, etc.



Ejemplo de cómo pueden detectarse cambios utilizando el SIG. Ciudad Rodrigo.

Como conclusión el SIG es la herramienta que, a pesar de sus limitaciones, ha permitido una primera fase de aproximación y análisis del área de estudio. Posteriormente será la base para los análisis de riesgos, a partir de los

cuales se proponen las intervenciones puntuales sobre el territorio que permiten una mejora en el uso y la gestión de los recursos existentes.



De izquierda a derecha: Francisco Campos, Roberto Martínez-Alegría, Germán Sanz, M^a Ángeles Rojo, Begoña Rodríguez, Isabel Montequi, Tatiana Velasco, Sonia Garrote y Patricia Casanueva

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO ÁGUEDA

Sara Sánchez-González, Antonio García-Sánchez, Pedro Caravantes, M^a Sonia Rodríguez-Cruz,
M^a Jesús Sánchez-Martín, Ignacio Santa-Regina Rodríguez

1. Situación de la cuenca del río Águeda

1.1. Medio físico y soporte geológico

La cuenca del río Águeda, geológicamente, se encuadra en la Cordillera Varísica Europea y dentro de ella en el dominio de los pliegues verticales de la zona Centro-Ibérica, en el centro del Macizo Ibérico.

Sobre estos materiales pre-ordovícicos se depositan los sedimentos de la fosa tectónica de Ciudad Rodrigo, ubicándose únicamente su extremo occidental en la cuenca del río Águeda.

El conjunto de materiales pre-Ordovícicos constituye el basamento hercínico, denominado Complejo Esquisto Grauváquico. Las rocas sedimentarias originales se transformaron en pizarras, filitas y esquistos en función de las condiciones de presión y temperatura impuestas por el metamorfismo regional y el metamorfismo de contacto originado por la intrusión de las diversas masas graníticas.

Los materiales ordovícicos se sitúan discordantes sobre los materiales pertenecientes al Complejo Esquisto-Grauváquico. Los depósitos del Ordovícico se pueden dividir en dos series: La Serie Inferior, denominada Formación Cuarcita Armoricana, está constituida por ortocuarcitas de grano fino-medio separados por otros de alternancias de cuarcitas con

términos más finos, con espesor que se estima en 200 m. La Serie Superior, equivalente a las Pizarras de Luarca, se compone de pizarras de color gris oscuro y negras que contienen abundante pirita y algunas intercalaciones cuarcíticas, cuya potencia varía entre 150 y 800 m. Esta unidad se caracteriza por contener abundantes restos de fauna como trilobites, graptolites, braquiópodos y moluscos.

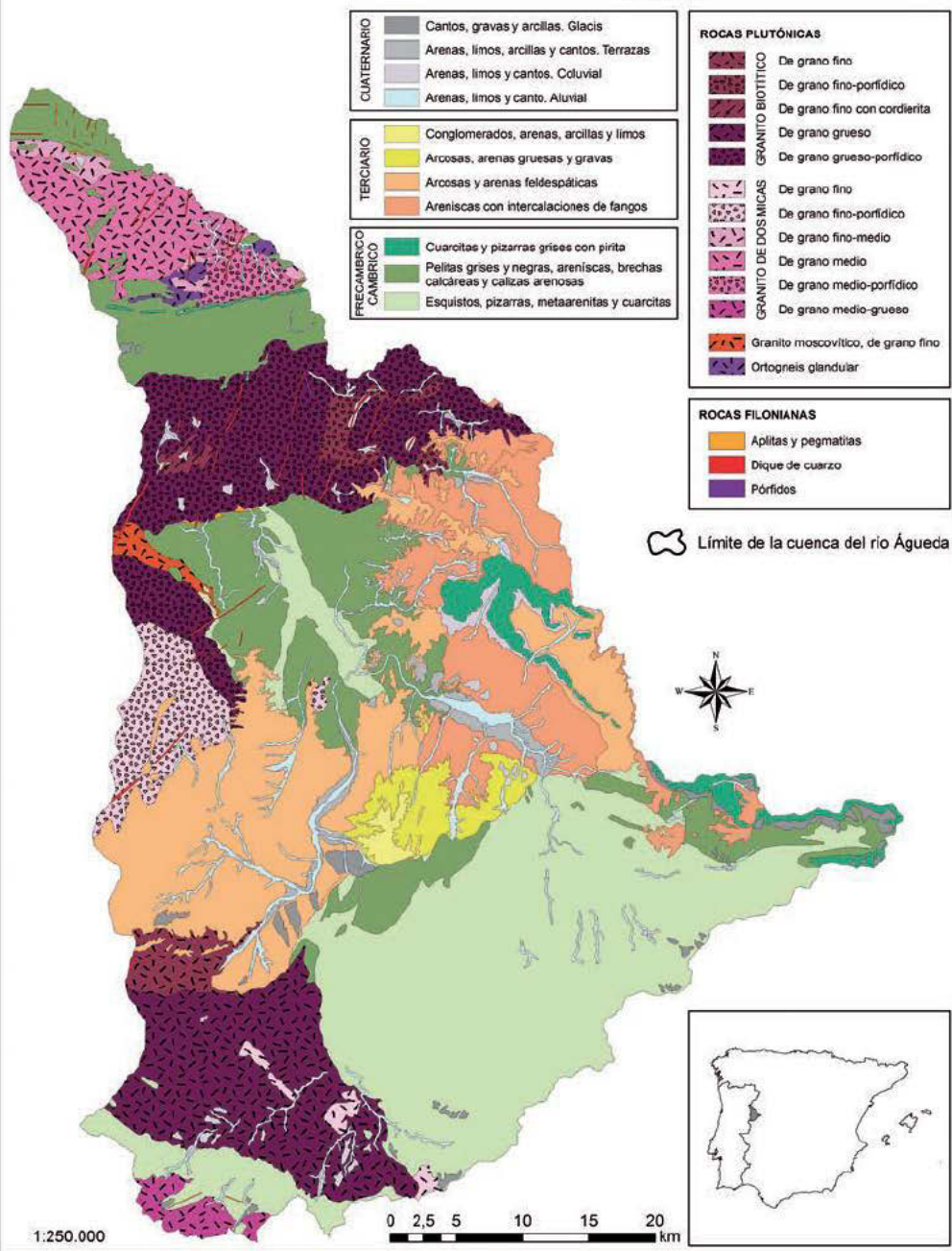
Sobre los materiales metamórficos intruyen masas ígneas, integradas por rocas plutónicas (granodioritas, granitos monzoníticos y leucogranitos) y filonianas de edad Devónico Superior - Pérmico (385-270 millones de años) que instruyen a metasedimentos de edad Precámbrico Superior - Ordovícico Inferior (600-470 millones de años). Los materiales graníticos, junto con los metasedimentos, conforman el basamento hercínico deformado y fracturado por las orogenias Varisca y Alpina. El metamorfismo que muestran estos materiales, debido a la orogenia varísica, produce un metamorfismo regional de bajo grado en facies de esquistos verdes y con el metamorfismo de contacto producido por las intrusiones graníticas.



Contacto entre esquisto y granitos en Alameda de Gardón

Mapa geológico de la cuenca del río Ágüeda

LEYENDA





Panorámica de la comarca de Argañán, con diferencia de vegetación y usos consecuencia del cambio geológico entre los esquistos y los granitos

Respecto a la orogenia alpina se conoce muy poco de su influencia en la formación de yacimientos minerales, pero la existencia de los yacimientos de uranio en la cuenca indica que en su origen intervino un sistema hidrotermal asociado a dicha orogenia.

Los materiales terciarios y cuaternarios (65 millones de años hasta la actualidad) se disponen discordantes tanto sobre los metasedimen-

tos como sobre los granitoides, formando parte del conjunto de depósitos de facies continentales que rellenan la Fosa de Ciudad Rodrigo, la cual adquiere su configuración actual por el levantamiento de las cadenas alpinas.

En el cuaternario se produce el encajonamiento de la red hídrica, generando profundos cañones como los de las Arribes del Águeda.



Panorámica de la cuenca sedimentaria del Águeda a su paso por Ciudad Rodrigo

Los materiales paleógenos se disponen en discordancia sobre los materiales paleozoicos.

Las Areniscas con intercalaciones de fangos del Eoceno, denominada Formación Areniscas de Ciudad Rodrigo, es una unidad de carácter continental aluvial formada por depósitos detríticos mal calibrados, cuyo espesor máximo es de 40 m.

Las Arcosas y arenas feldespáticas del Oligoceno, denominada Formación Arcosas de la Alamedilla, se disponen en discordancia sobre los sedimentos terciarios, así como sobre los materiales del Complejo Esquito Grauváquico y rocas ígneas, cuya potencia se puede estimar en unos 80-100 m. Está formada por arenas de grano grueso y muy grueso, fangosas y mal calibradas con gravas y cantos en proporciones variables, siendo los feldespatos muy abundantes y pudiendo alcanzar tamaños de hasta 2 cm.

Los depósitos cuaternarios constituyen formaciones superficiales que abarcan desde finales del Plioceno hasta la actualidad. Se trata

de los depósitos continentales relacionados principalmente con la red fluvial actual y originada como consecuencia de la erosión parcial de los materiales terciarios y la continua denudación de los rebordes montañosos de la cuenca.

Respecto a los suelos en áreas mineras encontramos que aquellos ubicados al sur de la cuenca, en la Sierra de Gata, son cambisoles dístricos y cambisoles húmicos con una textura media; en la zona central predominan los cambisoles dístricos con leptosoles líticos con una textura media; la zona norte se caracteriza por la presencia de leptosoles líticos y cambisoles húmicos con una textura gruesa; y distribuido de una forma más dispersa de norte a sur, y en la parte más occidental de la cuenca encontramos cambisoles húmicos y cambisoles gleícos con una textura gruesa.

Los tipos de suelos regionalmente distribuidos son en general cambisoles, luvisoles, fluvisoles y acrisoles. Los valores de pH de dichos suelos oscilan entre 4,36 y 7,9, siendo 6,5 el valor más frecuente.

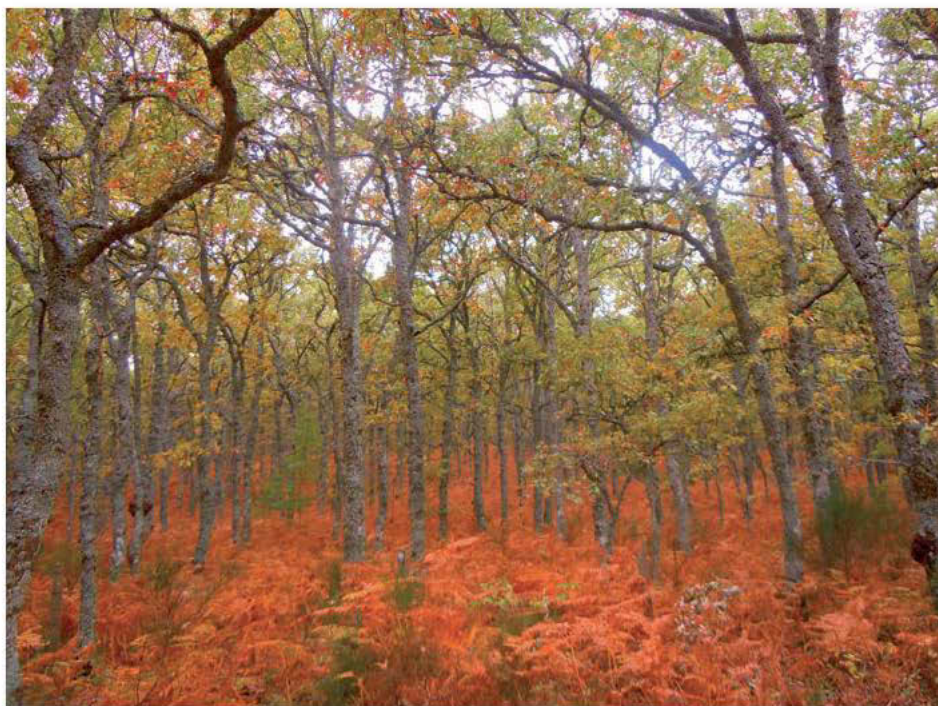
1.2 Medio biótico: Flora

Desde un punto de vista corológico la cuenca del río Águeda se encuentra situada en la Región Mediterránea, sometida a una gran influencia oceánica, como se deduce de los índices fitoclimáticos y tiene fiel reflejo en su vegetación. Las grandes diferencias de altitud en la zona, condicionan diferentes grados de vegetación, muchas veces invertidos como consecuencia de microclimas locales.

En la zona montañosa del sur de la cuenca, en altitudes superiores a los 800 m. s.n.m., predominan las formaciones caducifolias de *Quercus pyrenaica* Willd. En la penillanura del centro y norte de la zona estudiada, dominan las formaciones perennifolias con *Quercus rotundifolia* Lam., bastando una ligera dife-

rencia de nivel u orientación para que se formen comunidades en las que conviven junto a las perennifolias *Quercus rotundifolia* Lam. y *Quercus suber* L., las caducifolias *Quercus pyrenaica* Willd, y la marcescente *Quercus faginea* Lam. Existen en la comarca grandes zonas de repoblación con coníferas, preferentemente en la clímax de *Pinus sylvestris* L.

La influencia oceánica se manifiesta más claramente en las etapas subseriales, representadas por un matorral ericoide en las sierras meridionales de la zona. La condición de encrucijada climática del territorio estudiada, se denuncia en dichas etapas subseriales donde es frecuente encontrar formaciones mixtas de jaras y brezos.



Rebollo Quercus pyrenaica Wild



Encina Quercus rotundifolia Lam.



Alcornoque Quercus suber L.



Formaciones mixtas de jarales y brezales



Cytisus striatus (Hill.) Rothm

Son abundantes también las formaciones de retamares, constituidos por *Cytisus multiflorus* (L'Her.) Sweet., *Cytisus scoparius* (L.) Link, *Cytisus striatus* (Hill.) Rothm., acompañados por *Adenocarpus hispanicus* (Lam.) DC., *Echinopartum lusitanicum* (L.) de mayor altitud, y por *Lygos sphaerocarpa* (L.) Heywood, en los enclaves más térmicos. En las mayores elevaciones se establece el contacto piornal-cervunal.

En zonas con marcada vocación agrícola y debido a la influencia antrozoógena, ha desaparecido el bosque clímax, dando paso a cultivos preferentemente cerealistas y en otros donde la naturaleza del suelo lo impedía, a un aclareo del bosque para transformarlo en monte adehesado o zonas de cultivo, tanto de viñedos como de olivos. En los alrededores de los ríos y zonas de sondeos se han establecido los cultivos de huerta, mucho más abundantes en la ribera del río Águeda a su paso por Ciudad Rodrigo.

Los roquedos de las cumbres y laderas de las montañas, así como los de los escarpados ribereños de algunos cursos de agua, soportan una vegetación típica con *Asplenium tricho-*

manes L., *Umbilicus rupestris* (Salisb.) Dandy, *Sedum brevifolium* DC. y *Sedum hirsutum* All., entre otras.

En el área de montaña se originan pastizales de *Nardus stricta* L. acompañada de *Euphrasia hirtella* Jordan, *Polygala vulgaris* L., *Viola palustris* L., etc., así como emplazamientos higroturbosos con *Erica tetralix* L., *Drosera rotundifolia* L., *Rhynchospora alba* Vahl, *Agrostis juressi* Link, etc. Los prados de siega aparecen escasamente representados, estando constituidos por *Trifolium pratense* L., *Poa trivialis* L., *Dactylis glomerata* L. y *Trifolium striatum* L., encontrándose en ellos taxones tan notables como *Pedicularis schizocalyx* (Lange) Steininger.

Los bosques ribereños que acompañan a los cursos de agua, están constituidos por alisos, sauces y fresnos, chopos y arraclán, apareciendo muy abundante el almez en el curso del río Águeda cerca de Puerto Seguro.

Asimismo, en humedales se desarrollan plantas que poseen unas adaptaciones morfológicas o fisiológicas que les permiten crecer y sobrevivir en agua o en suelos que periódicamente se encuentran en condiciones anaeróbicas.

Muchas de ellas tienen estrategias reproductivas únicas que les permiten desarrollarse con éxito en este ambiente. Las especies más representativas de charcas y lagunas de esta área son: *Azolla caroliniana* Willd., especie recubierta por un alga azul verdosa (*Anabena azollae*) cuya propiedad más característica es absorber el nitrógeno del aire y lo intercambia con *Azolla caroliniana* por carbohidratos. Su distribución está muy restringida al periodo estival, allí donde permanece el agua estancada.

Callitriche stagnalis Scop. desarrolla una gran cantidad de rosetas de hojas flotando hasta cubrir toda la lámina de agua, dejando la charca de color verde. Su ciclo vegetativo es más largo que el de la especie anterior, desarrollándose a principios de la primavera. *Lemna minor* (L.) Griff. crece con tanta rapidez y eficiencia que puede provocar grandes daños, suele aprovechar los fertilizantes residuales de las plantaciones colindantes para su crecimiento de forma incontrolada.

Además hemos de destacar ciertos taxones que dan impronta a los ecosistemas de humedales, como *Ceratophyllum demersum* L.



Alisedas y saucedas formando bosque de ribera.



Arraclán, Rhamnus frangula.

Myriophyllum alterniflorum DC., *Potamogeton natans* L., el junco palustre (*Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult.), *Scirpus holoschoenus* L., *Cyperus longus* L., *Isoetes setacea* Lam., *Juncus effusus* L., *Juncus conglomeratus* L., *Glyceria*

fluitans (L.) R. Brown, *Alisma plantago* L., *Ranunculus fluitans* Lam., *Ranunculus aquatilis* L., *Juncus bufonius* L., *Typha angustifolia* (L.) y *Sparganium ramosum* Huds.



Azolla caroliniana Willd.

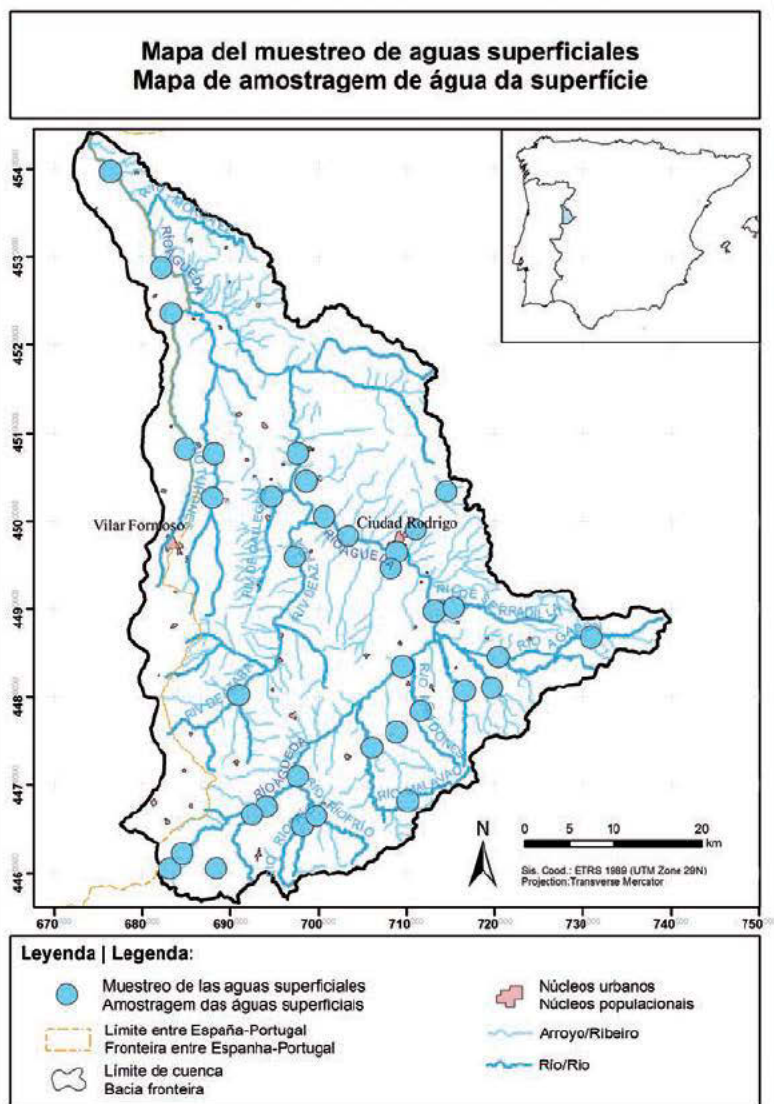


Callitriche stagnalis Scop.

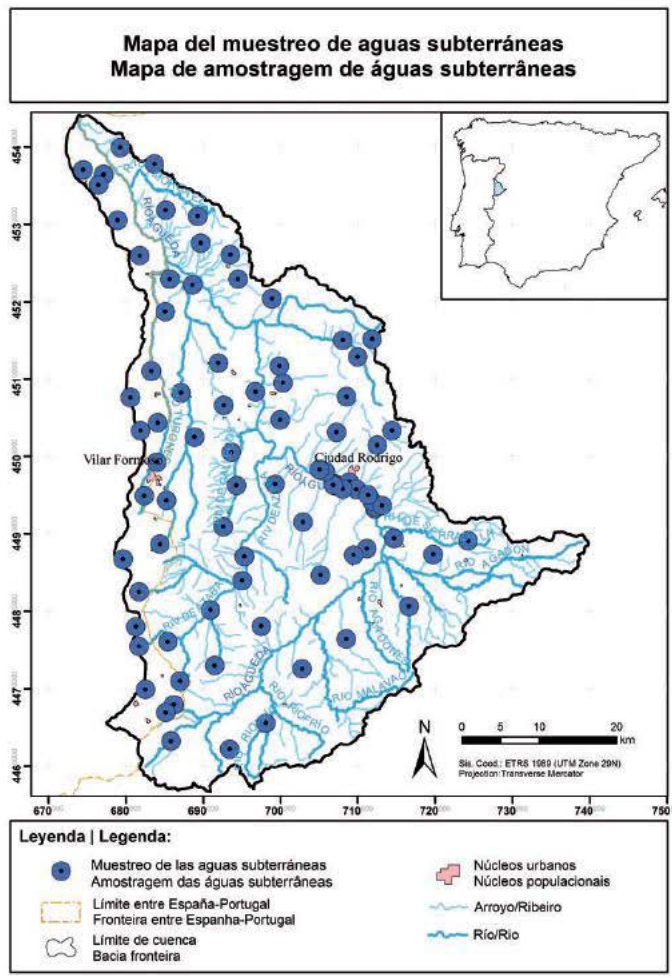
2. Análisis de impactos ambientales en la cuenca del río Águeda

2.1. Diagnóstico global del estado de las aguas superficiales y subterráneas

Diferentes parámetros *in situ* y en laboratorio fueron analizados en 55 muestras de aguas superficiales y 140 muestras de aguas subterráneas tomadas de la cuenca del río Águeda. Las aguas superficiales se recogieron en época de estiaje (octubre, 2011) (19) y primavera (mayo-julio, 2012, 2013) (36). En los mismos periodos de tiempo se recogieron también 52 y 88 muestras, respectivamente de aguas subterráneas correspondientes a pozos de la llanura aluvial de Ciudad Rodrigo y de la parte portuguesa de la cuenca.



Mapa del muestreo de las aguas superficiales



Mapa muestreo de aguas subterráneas o de pozos

2.1.1. Parámetros *in situ*

Se analizaron los parámetros pH, temperatura, conductividad, potencial redox, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, encontrándose valores dentro de los rangos normales en todas las muestras analizadas.



Determinación in situ de parámetros del agua en el río Agadón

2.1.2 Parámetros en laboratorio

Se analizaron en todas las muestras los aniones inorgánicos (cloruros, nitritos, nitratos, fosfatos y sulfatos) y los metales (Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn, As y U). Los valores obtenidos para los aniones se encontraron por debajo de los límites establecidos en la Directiva 98/83/EC en todas las muestras excepto para algunas de aguas subterráneas, donde las concentraciones de nitratos alcanzaron valores de 65,49 mg/L y 93,01 mg/L, superiores a los límites permitidos (50 mg/L).

Las concentraciones obtenidas para los metales están en los rangos normales, con la excepción de arsénico y uranio que son evaluados de forma individual, y de manganeso y hierro en las aguas subterráneas, que son superiores a los niveles de concentración de re-

ferencia establecidos por la Directiva 98/83/EC.

Según la OMS hay manganeso de origen natural en muchas fuentes de aguas superficiales y subterráneas, sobre todo en condiciones anaerobias o de microoxidación, y es la fuente más importante de manganeso en el agua de consumo.

Respecto al hierro, en aguas dulces naturales se puede encontrar en concentraciones de 0,5 a 50 mg/L y en aguas subterráneas anaerobias puede haber concentraciones de hierro ferroso de hasta varios miligramos por litro. La OMS propuso un valor orientativo de la concentración de hierro en agua de 2 mg/L, para prevenir la acumulación excesiva en el organismo.

2.1.3. Demanda biológica de oxígeno (DBO) y Demanda química de oxígeno (DQO).

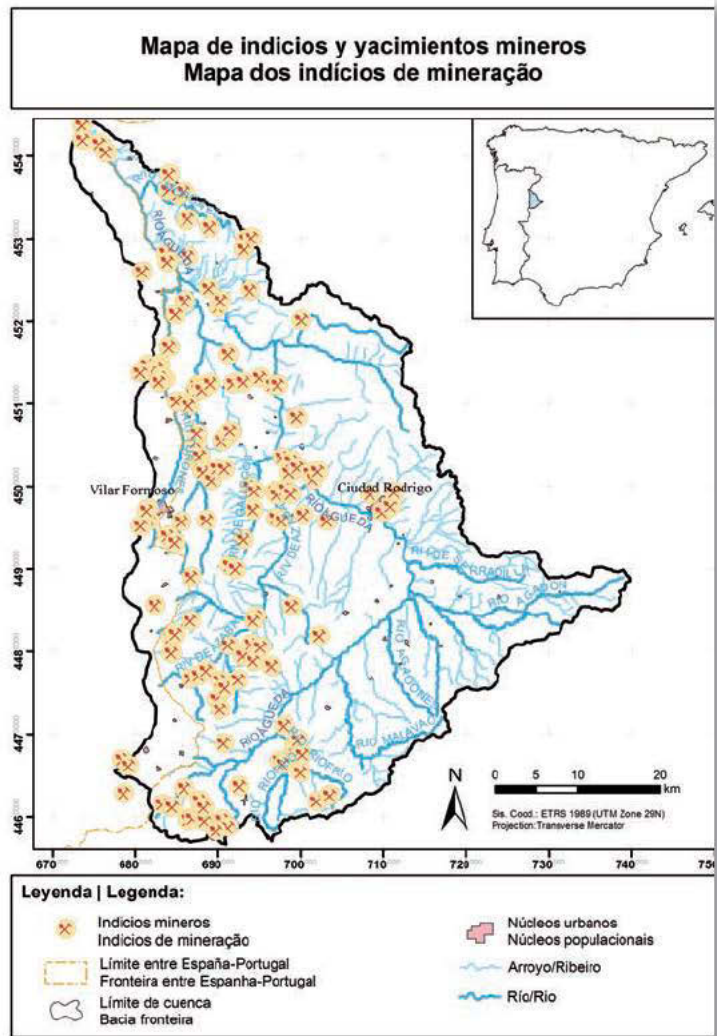
La DBO nos proporciona una estimación semi-cuantitativa de la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable existente en el agua, es decir, la materia orgánica susceptible de sufrir una oxidación biológica en un corto periodo de tiempo, normalmente cinco días. Por su parte, la DQO mide la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas, que hay disueltas o en suspensión, por medios químicos. Ambos parámetros se utilizan para determinar la calidad de las aguas: cuanto mayores sean sus valores, más contaminada estará el agua, y se determinaron en aguas superficiales (DBO y DQO) y en subterráneas (DQO) de la cuenca.

Se aprecia ligera contaminación de las aguas superficiales, según los valores medios

de DBO (41,4 mg O₂/L). De DQO no se aprecia contaminación excepto en algunas muestras que presentan valores elevados de 733 y 1016 mg O₂/L, que se localizan en entornos de mayor actividad industrial. Respecto a las aguas subterráneas DQO presenta unos valores inferiores a 50 mg O₂/L.

La relación entre DBO y DQO nos muestra el nivel de contaminación y su origen industrial (menos biodegradables conforme el valor de la relación sea menor) o urbano (más biodegradables, conforme el valor de la relación sea mayor). Así tenemos que los puntos donde más elevada es la DQO coinciden con una contaminación industrial, mientras que en los otros puntos se debe a vertidos de naturaleza urbana.

Durante la época de la minería industrial los vaci-



1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 798. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 840. 84

se explotaron minas de estaño, a menudo asociado a otros metales. Se continuó con la explotación de rocas ornamentales como granito en Sobradillo, Villar del Ciervo y la Bouza, canteras de calizas en Fuenteguinaldo y el Bodón y algunas pequeñas canteras de areniscas en los entornos de Ciudad Rodrigo, además de la extracción de áridos en Ciudad Rodrigo, Carpio de Azaba, Fuentes de Oñoro e Ituro de Azaba.

Hay que destacar que lo más importante respecto a la minería de la cuenca fueron las explotaciones de los minerales industriales, y en especial la minería del uranio, representado por el Centro Minero de Saelices el Chico,

como consecuencia de las intensas prospecciones realizadas entre 1950 y 1970, ubicada en esquistos negros del complejo esquisto-grauváquico (CEG). En 1975 se erigió la planta de concentrados Elefante de lixiviación estática y en 1993 la Quercus de lixiviación dinámica.

Actualmente la actividad minera en la cuenca del río Águeda se encuentra parada o abandonada, en casi su totalidad, aunque existen algunos intentos de la puesta en marcha de nuevas prospecciones por algunas empresas extranjeras, principalmente referente al uranio y al wolframio.

2.1.2. Elementos tóxicos

Arsénico

El arsénico es considerado uno de los contaminantes inorgánicos más peligrosos, ya que puede causar disfunciones graves en los organismos vivos. En el hombre la exposición crónica a este elemento a bajas concentraciones puede originar diversos tipos de cáncer y otras disfunciones cardiovasculares graves, neurológicas y anemias. La entrada de este elemento en el medio ambiente como contaminante puede tener lugar mediante procesos geogénicos, aunque en general las causas antrópicas más importantes son las actividades mineras. En este sentido la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su documento "Guías para la calidad del agua potable" considera al arsénico como "un elemento distribuido extensamente por toda la corteza terrestre, en su mayoría en forma de sulfuro de arsénico o de arseniatos y arseniuros metálicos".

Aunque el agua es la principal vía de la ingestión de arsénico por el hombre, la cadena alimenticia puede ser también otra vía muy significativa de su ingestión cuando la pobla-

ción consume cosechas, vegetales y productos animales contaminados.

La principal fuente de arsénico del agua de consumo es la disolución de minerales y menas de origen natural. Excepto en las personas expuestas al arsénico por motivos laborales, la vía de exposición más importante es la vía oral, por el consumo de alimentos y agua. En ciertas regiones, las fuentes de agua de consumo, particularmente las aguas subterráneas, pueden contener concentraciones altas de arsénico. Con frecuencia, su concentración está estrechamente relacionada con la profundidad del pozo. Por ello debe darse una prioridad alta en el análisis sistemático de fuentes de agua de consumo. En relación con esto la OMS estableció en 1993 un valor de referencia provisional de 0,01 mg/L de contenido de As en agua potable, basándose en su capacidad cancerígena en humanos.

La contaminación de suelos con arsénico es un hecho particularmente relevante en Castilla y León, por su extensión y la existencia de centenares de explotaciones mineras



Escombrera de mina, con arsenopirita en El Payo



Mina con arsenopirita en Navasfrías

abandonadas. Los suelos contaminados con metales tóxicos se encuentran principalmente en el entorno de escombreras y depósitos de lodos de minas de Sn, W, Cu, Pb, Nb, Ta y Sb, muchas de las cuales contienen sulfuros y arsenopirita. La remediación de estos suelos contaminados con metales mediante procesos tradicionales (lixiviación, volatilización,

electrorremediación, etc.) es un proceso generalmente muy costoso y frecuentemente dañino para las propiedades del suelo y el medio ambiente. La fitorremediación mediante el uso de plantas hiperacumuladoras es una tecnología experimental en auge, que puede constituir una opción menos dañina para el medio ambiente y económicamente menos

gravosa. El éxito del proceso de fitorremediación depende en gran medida de la biodisponibilidad de los contaminantes para las raíces de las plantas.

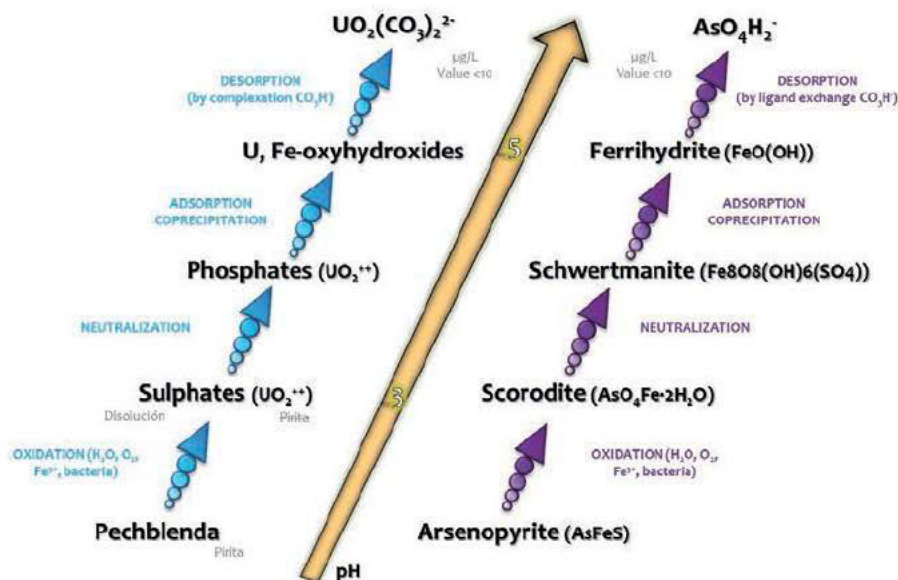
La cuenca del río Águeda es un área donde existen alrededor de 60 zonas mineralizadas que contienen arsénico. Estos yacimientos consisten principalmente en filones de cuarzo encajados en granitos hercínicos o en materiales del CEG, que están mineralizados con wolframita y/o scheelita, así como casiterita, lo que constituye la mena explotada en la mayor parte de estas minas. Como regla general estas mineralizaciones se presentan dentro de los granitos o los contactos con las rocas metamórficas encajantes. La arsenopirita (SFeAs) es el mineral más abundante y común de los que constituyen la ganga. El contenido de arsénico en los filones de cuarzo varía entre el 2-17%.

Las actividades mineras llegaron a un máximo en esta área en el periodo de 1940-1987, produciendo enormes cantidades de residuos

estériles, compuestos de varios tipos de rocas (granitos, esquistos, pizarras y cuarzozos), minerales de la ganga incluyendo arsenopirita y pirita y productos de meteorización tales como oxihidróxidos de hierro, sulfatos, arseniatos, etc. Las escombreras y balsas de lodos contienen arsénico en elevadas concentraciones, lo cual constituye una fuente de contaminación continua del medio circundante. Las principales áreas afectadas por escombreras corresponden a las minas de Navasfrías, Barquilla, Ahigal de los Aceiteros, El Payo y Puerto Seguro.

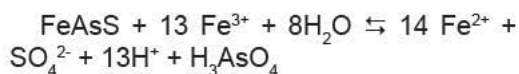
| Municipio | Superficie (hectáreas) |
|-------------------------|------------------------|
| Navasfrías | 15.200 |
| Barquilla | 3.700 |
| Ahigal de los Aceiteros | 0,457 |
| El Payo | 0,734 |
| Puerto Seguro | 0,880 |

Principales áreas afectadas por las escombreras de mina



Esquema del proceso de meteorización de la arsenopirita y pechblenda

El principal mecanismo de la liberación del arsénico y contaminación del medio tiene lugar a través de la meteorización de la arsenopirita mediante la acción del Fe^{3+} , oxígeno, agua y algunos microorganismos (*Thiobacillus ferrooxidans* etc.), según la siguiente reacción (con previa oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} mediante O_2 y bacterias):

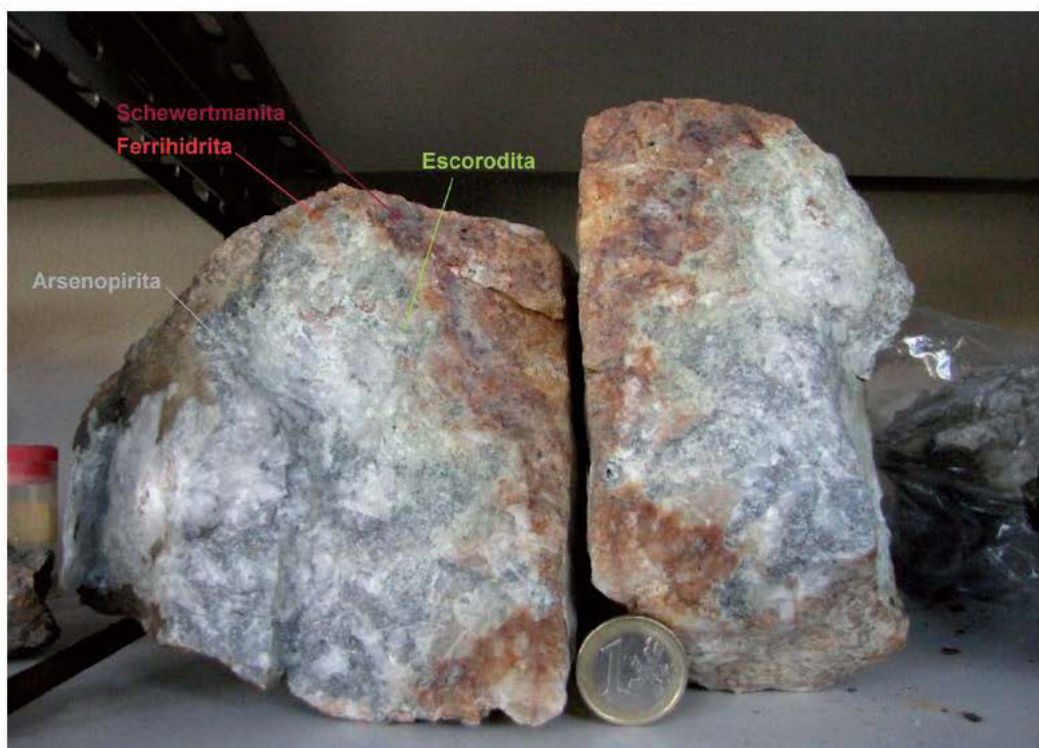


El ión férrico es regenerado continuamente por los microorganismos ferrooxidantes, los cuales causan la oxidación del hierro ferroso mediante el oxígeno. La scorodita (principal producto de meteorización de la arsenopirita) precipita a partir de las disoluciones ácidas

muy concentradas de Fe^{3+} y AsO_4^{3-} . Los productos de meteorización de arsenopirita son principalmente:

- Scorodita: $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ pH 3
- Arsenosiderita: $\text{Ca}_2 \text{Fe}_3 (\text{AsO}_4)_3 \text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- Sarmientita: $\text{Fe}_2 (\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)\text{OH} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- Bukovskyita: $\text{Fe}_2 (\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)\text{OH} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Pharmacosiderita: $\text{K Fe}_4 (\text{AsO}_4)_3 \text{OH}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Sainfeldita: $\text{Ca}_5 \text{H}_2 (\text{AsO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- Amorphous pitticita: $\text{Fe} (\text{AsO}_4)(\text{SO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Beudantita (jaros.): $\text{Pb Fe}_3 (\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})^6$
- Johnbaumita (apat.): $\text{Ca}_{10} (\text{AsO}_4)^6 (\text{OH})^2$
- Ox. Fe

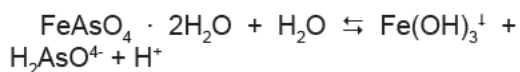
Nuestras observaciones muestran una íntima asociación de la scorodita y la arseno-



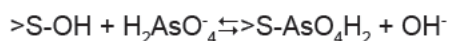
Fragmento de arsenopirita con todos sus productos de meteorización

pirita en las escombreras lo cual sugiere que la arsenopirita se oxida directamente a escorodita.

Cuando el pH sube de 3 la escorodita se disuelve produciendo oxihidróxidos de hierro y arseniato en disolución:



El pH bajo (alrededor de 4-5) de las muestras de suelo situadas en el entorno de las escombreras favorece la adsorción del arsénico en la superficie de los oxihidróxidos de hierro según el siguiente mecanismo de cambio de ligando:



Los contenidos de arsénico en los suelos de las áreas mineras de la cuenca del río Águeda son muy altos. Los suelos más próximos a las escombreras (distancia inferior a 10 m) contienen arsénico en cantidades elevadas, mientras que los contenidos de los suelos más alejados (distancia 50-500 m) son inferiores a los 1000 mg/kg. Algunas muestras del área recreativa de la mina de Navasfrías superan incluso 1000 mg/kg lo que representa un serio problema de higiene y salud sobre todo para los niños. En general la contaminación es elevada si la comparamos con la de los suelos de la provincia de Salamanca que es inferior a 10 mg/kg. Si consideramos un valor guía de 40 mg/kg de arsénico total en suelos como nivel de riesgo de toxicidad ambiental se observa que el 80% de las muestras superan ese nivel guía.

El contenido de arsénico en los suelos sin influencia minera y regionalmente distribuidos a lo largo de la cuenca varían entre 2 y 60 mg/kg con una media de 12 mg/kg. Alguna muestra excede el límite de toxicidad y los contenidos de arsénico están principalmente influenciados por la naturaleza de la roca madre del suelo. Así sus rangos y medias siguen la siguiente secuencia: Cobertera terciaria y cua-

ternaria < granitos < rocas metamórficas (los contenidos más altos se presentan en suelos sobre las pizarras ampelíticas), secuencia que es la misma que la observada en los contenidos de arsénico en esos tipos de rocas.

La concentración de arsénico en los sedimentos de arroyos y ríos, regionalmente distribuidos, varía entre 5 y 30 mg/kg, con una media de 12 mg/kg y son un reflejo de la distribución de arsénico en los materiales geológicos de los que proceden, con una media ligeramente más alta en las fracciones de limos y arcillas. Solamente el 15% de las muestras presentan contenidos de riesgo mayor de 40 mg/kg. Sin embargo en los sedimentos de arroyo cercanos a las áreas mineras la distribución de arsénico muestra un rango más amplio con algunos valores mayores de 100 mg/kg. Este enriquecimiento de arsénico en los sedimentos alrededor de las minas y otros depósitos no explotados es una consecuencia de su baja movilidad supergénica.

La fracción de arsénico soluble en los suelos, considerado como biodisponible para las plantas, depende de algunas de sus propiedades físicas y químicas. Se ha publicado que existe una buena correlación entre la fracción soluble en agua y el arsénico absorbido por la planta. Así la fracción de arsénico soluble en agua pudiera ser considerada un buen indicador de la fracción biodisponible. Algunos datos publicados indican que la fracción de arsénico soluble en agua varía desde 0,01 mg/kg en suelos no contaminados hasta 5 mg/kg en suelos contaminados por actividades industriales.

El arsénico soluble en agua o biodisponible en las muestras de suelos de las áreas mineras de la cuenca presenta un rango entre 2 y 4432 µg/kg con una media de 172 µg/kg, aunque muy pocas muestras presentaron valores extremos. El 80% de las muestras presentan valores superiores a 40 µg/kg, que es el límite de biotoxicidad en suelos agrícolas.

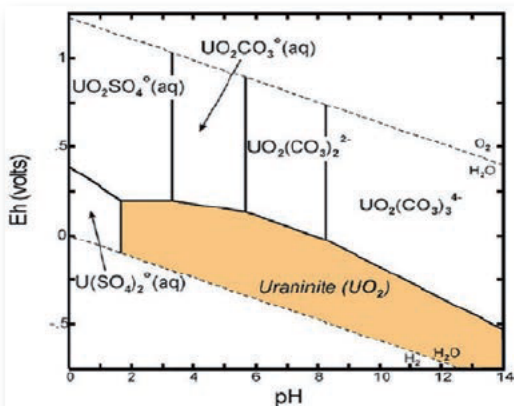
Las concentraciones de arsénico en las aguas superficiales de ríos y arroyos que discurren por la cuenca son relativamente bajas, con un rango de 1 a 28 $\mu\text{g/L}$ y una media de 8 $\mu\text{g/L}$, debido a la adsorción del arsénico en los sedimentos, así como al efecto de dilución del caudal, escorrentía y fuentes de los arroyos.

Sólo un 20% de las muestras contenían concentraciones relativamente altas, mayores de 10 $\mu\text{g/L}$, como resultado de un alto contenido en arsénico en algunas áreas de recarga, en las que existen actividades mineras o acumulaciones geogénicas de arsénico. alguna muestra con arsénico está influenciada por la actividad minera, como sucede en los alrededores a la mina de Navasfrías. Cabe reseñar que hay dos puntos de muestreo anómalos situados en el arroyo de Sexmiro y en el arroyo de Castillejo de Dos Casas, situadas en el centro de la comarca de Argañán y donde los aportes de agua más probables percolan y lixivian arsénico de las pizarras ampelíticas, ricas en este elemento.

La concentración de arsénico en aguas de pozos y sondeos (aunque mayoritariamente de pozos con poca profundidad, que apenas sobrepasan el nivel freático, 4-5 m aproximadamente) varía entre 1 y 90 $\mu\text{g/L}$, con una media de 4 $\mu\text{g/L}$ y únicamente 7 muestras presentaron valores anómalos de varias centenas de $\mu\text{g/L}$, correspondiendo estos últimos a sondeos profundos en materiales de CEG, posiblemente influenciados por anomalías o mineralizaciones de arsénico en el acuífero. En cuanto al agua de consumo, cabe destacar que el 20 % de las muestras presentan valores superiores al límite de la OMS de 10 $\mu\text{g/L}$.

Las plantas del pasto contienen cantidades anómalas de arsénico en relación con el background mundial de este elemento, que raramente excede de 1 mg/kg. Destacan los contenidos encontrados en el área de Navasfrías donde algunas especies presentan concentraciones superiores a 100 mg/kg y con una media de 13 mg/kg. La tolerancia de estas plantas acumuladoras a los suelos contaminados con

arsénico pudiera ser debida a la absorción del arsénico, reducción a arsenito, complejación y secuestación en vacuolas. Estos valores se acentúan en gramíneas, leguminosas y poligonáceas, con contenidos superiores a 50 mg/kg. Es interesante destacar desde el punto de vista de pastoreo, que las especies que presentan alto potencial de entrada de arsénico en la cadena alimentaria son *Agrostis delicatula*, *Agrostis castellana*, *Avena sterilis*, *Rumex acetosella* y *Cytisus striatus*.



Formas químicas del uranio según el pH y el Eh

Uranio

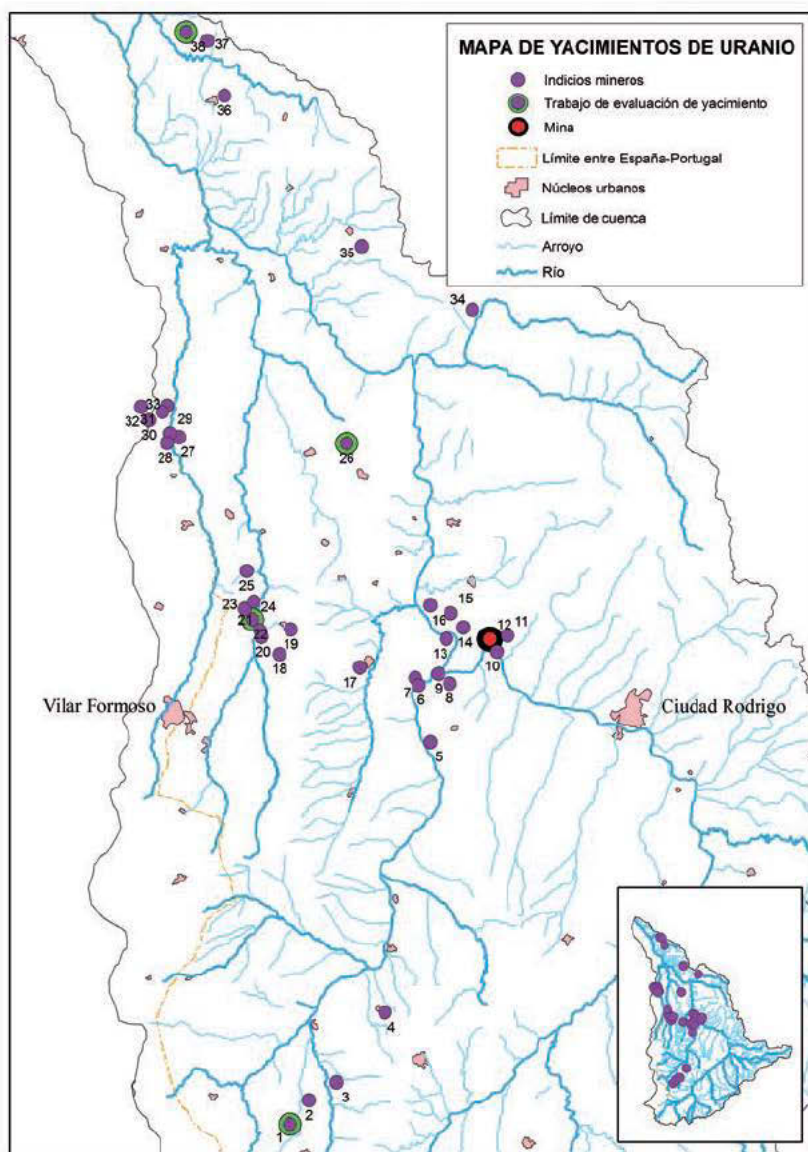
El uranio tiene una amplia presencia en la naturaleza, en diversos depósitos minerales y en granitos, y su presencia en el medio ambiente se puede deber a diferentes fuentes, como a su filtración desde los depósitos naturales, la liberación de residuos procedentes del tratamiento del uranio, las emisiones de la industria nuclear, etc.

La ingesta de uranio es bastante baja, tanto si procede del aire como de los alimentos, pero si hay presencia en una fuente de agua de consumo su ingesta es más elevada. Según la OMS el valor de referencia provisional es de 0,015 mg/L. Por otro lado algunos países de la Unión Europea como Alemania, establece un límite en aguas superficiales y subterráneas de

8 $\mu\text{g/L}$ según German Enviroment Protection Agency (UBA). En referencia a la concentración de uranio en suelos se ha establecido como valor de referencia 30 $\mu\text{g/kg}$.

El uranio es un elemento tóxico muy peligroso debido a su radioactividad, así como a la propia toxicidad como metal pesado. El conocimiento de su transporte y destino en el

medio ambiente es importante para evaluar los efectos negativos en la salud de los lugares contaminados, tales como aquellos de la minería del metal, la mineralurgia y los procesos de enriquecimiento de combustible nuclear, sin olvidar los aportes a la contaminación ambiental difusa del uso de los fertilizantes fosfatados.



Mapa de yacimientos de uranio

En ambientes oxidantes el U (VI) es el estado de oxidación más estable y móvil y existe en disolución, tanto en aguas como en suelos como catión uranilo (UO_2^{2+}) y como complejos solubles carbonatados principalmente.

La adsorción en las superficies de los coloides es uno de los más importantes mecanismos para su inmovilización en el medio. La alta movilidad del catión uranilo, puede ser fuertemente disminuida en presencia de oxihidróxidos de hierro, y minerales arcillosos, particularmente esmectitas, debido a su adsorción en los planos basales de los cristales de arcilla y en las superficies de los oxihidróxidos de hierro.

En los suelos su solubilidad depende del pH, potencial redox, estructura del suelo y composición mineralógica, así como de la cantidad y tipo de compuestos orgánicos, tanto en la matriz como en la solución del suelo, y la actividad microbiana. En general la adsorción del U (VI) en las partículas coloidales de ferrihidrita del suelo es más alta alrededor del pH 6, aunque con elevados contenidos de carbonatos en el medio la alta adsorción sigue produciéndose a pH más alcalinos.

El descubrimiento de niveles de radioactividad muy altos permitió la identificación de la mina Esperanza en Villar del Ciervo, Mina Fe en Saelices y la zona de Alameda de Gardón. En 1972 se funda la Empresa Nacional del Uranio (ENUSA) cuya finalidad era hacerse cargo de la sección de Ciudad Rodrigo, iniciar la explotación de los yacimientos y en años posteriores reconocer los yacimientos del entorno.

Los principales yacimientos de uranio en la cuenca del río Águeda se presentan en zonas de fractura en pizarras y esquistos del CEG pre-ordovícico, que forma parte del basamento paleozoico del Macizo Hespérico. Los yacimientos de Saelices, Alameda de Gardón, Gallegos de Argañán, Carpio de Azaba, y Villar

de la Yegua son los más importantes de este tipo de depósitos en el área.

Existe, en general, un claro control tectónico de las mineralizaciones a lo largo de fracturas regionales y zonas de cizalla; a esta fracturación se le ha asignado una edad Alpina, así como a los procesos hidrotermales asociados que causaron la mineralización de uranio. Además, en la cuenca existen otros yacimientos de uranio de menos importancia que se presentan en forma de filones de cuarzo asociados espacialmente a granitos hercínicos y que contienen en general pechblenda (UO_2) y/o cofinita [$\text{Si O}_4\text{U}(\text{OH})_4$], los cuales están situados en Casillas de Flores, Ituero de Azaba, Puebla de Azaba, Sobradillo, San Felices de los Gallegos y Bañobárez. Además de estos minerales citados en los yacimientos aparecen productos de alteración gummita (óxidos de uranio), fosfatos-U (autunita, torbernita y sabugalita) y sulfatos-U (uranopilita y zippeita). Los minerales de la ganga incluyen piritita y marcasita y otros sulfuros de la paragénesis BGPC.

El principal yacimiento explotado en Saelices consiste en filones delgados, así como impregnaciones de uranio en las pizarras encajantes, con un volumen total de 25 millones de m^3 . Este yacimiento fue explotado originalmente en la zona oxidada más superficial (10-20 m) y posteriormente mediante una cantera a cielo abierto de grandes dimensiones. Las actividades mineras en Saelices, incluyendo lixiviación ácida estática y dinámica, comenzaron en 1960 y acabaron en el 2000 y han producido alrededor de 30 millones de toneladas de estériles de mina, incluyendo eras de lixiviación agotadas, balsas de lodos y rocas estériles (esquistos y cuarzo), mineral empobrecido y lodos ricos en sulfatos, óxidos de hierro y relativamente en ^{226}Ra , afectando a un área de 300 hectáreas.

| Nº mapa | Nombre | Término municipal | Tipología | Morfología |
|---------|----------------------------------|-------------------|-----------|------------|
| 1 | Casillas de Flores | Casillas F. | H | SW |
| 2 | Baños de Fuente Santa | Casillas F. | H | IR |
| 3 | Casa del Agostadero | Puebla A. | | SW-IR |
| 4 | Castillejo de Azaba | Puebla A. | | SW-IR |
| 5 | - | Carpio A. | H | IR |
| 6 | Molino de Los Galanes | Gallegos | | IR |
| 7 | Pozuelos | Gallegos | H | IR |
| 8 | Marialba | Gallegos | H | IR |
| 9 | Gallegos | Gallegos | H | IR |
| 10 | Corta D | Carpio A. | H, SP | IR |
| 11 | Teso de Los Pasotres | Saelices | H | IR |
| 12 | Mina Fe | Saelices | H, SP | IR |
| 13 | Vado de Flores-Cuellar | Saelices | H | IR |
| 14 | Sagueras | Saelices | H | IR |
| 15 | Peña Utrera de La Vieja (Zona M) | Saelices | H, SP | IR |
| 16 | Valcabrero | Saelices | H | IR |
| 17 | Fuente del Moro | Gallegos | H | IR |
| 18 | Los Llanos | La Alameda G. | H | IR |
| 19 | Espinar | La Alameda G. | H | IR |
| 20 | Molino Los Sánchez | La Alameda G. | H | IR |
| 21 | La Puente Chica | La Alameda G. | H | IR |
| 22 | Las Chorreras | La Alameda G. | H, SP | IR |
| 23 | Raya El Gardón | La Alameda G. | H | IR |
| 24 | El Marcuelo | Aldea O. | H | IR |
| 25 | El Rodillo | Aldea O. | | - |
| 26 | Esperanza | Villar Y. | H, SP | IR |
| 27 | Villa Consuelo | Aldea O. | | - |
| 28 | Touries | Almeida | F-H-SP | F Bch |
| 29 | Ribeira | Almeida | F-H-SP | F Bch |
| 30 | Barreiros | Almeida | F-H-SP | F Bch |
| 31 | Fronteira Sul | Almeida | F-H-SP | F Bch |
| 32 | Deveza de Baixo | Almeida | F-H-SP | F Bch |
| 33 | Fronteira Norte | Almeida | F-H-SP | F Bch |
| 34 | Bañobárez | Bañobárez | | - |
| 35 | Teso de La Horca | San Felices G. | H, SP | F |
| 36 | Cristo del Sierro | Sobradillo | | F |
| 37 | Nava del Gamonal | Sobradillo | | F |
| 38 | Valdemascaño | Sobradillo | H, SP | SW |

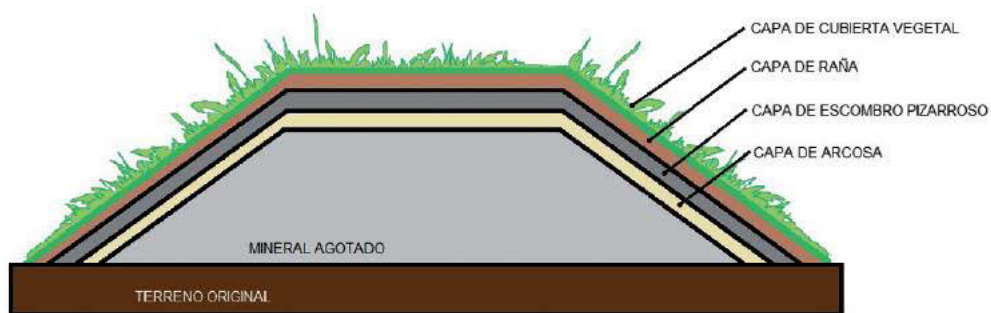
Tabla de yacimientos de uranio. Tipología: H, Hidrotermal; SP, Supergénica. Morfología: F, Filoniana; IR, Irregular; SW, Stockwork; Bch, Brecha



Restauración de la mina de uranio de Saelices el Chico en 2013

La restauración de la mina comenzada en 2001 ha incluido remodelado geomorfológico, recubrimiento de la superficie nueva con una capa de arcosas y areniscas para evitar la

lixiviación y escorrentía, así como la adición de una capa de suelo con enmiendas orgánicas y fertilizantes para promover su revegetación.



Método de restauración de las eras de lixiviación de Saelices el Chico mediante la aplicación de diferentes cubiertas

Para prevenir la entrada de agua de lluvia exterior a la mina se construyó un canal perimetral de hormigón. Las aguas de lluvia del área minera se almacenan en varios estanques localizados a diferentes niveles topográficos para controlar el pH ácido, debido a la meteorización de la piritita existente, así como

su descarga al río Águeda, a fin de evitar la contaminación radiactiva. Hay 10 estanques distribuidos por toda el área minera, ocupando en conjunto unas 30 hectáreas y un volumen aproximado de un millón de m³ de aguas potencialmente contaminadas.



Estanque de regulación de aguas de lluvia y escorrentía de la mina de Saelices

La situación radiológica de la cuenca no es de inmediata preocupación, excepto en las áreas de explotación minera citadas con elevados índices de riesgo: dosis efectiva anual 6,13 mSv/año, frente una media mundial de 0,06 mSv/año y un riesgo de cáncer de vida media (80 años) de 284×10^{-4} , frente una media mundial de $2,8 \times 10^{-4}$. Por consiguiente la restauración medioambiental de estos sitios debería estar planificada y ejecutada.

El contenido de uranio en la aguas de ríos, arroyos y pozos superficiales varía entre 0,1-13,6 µg/L, con una media de 0,55 µg/L. Cerca del 5% de las muestras contienen concentraciones de uranio superiores a 8 µg/L, límite recomendado para el agua potable. La mayor parte de las muestras de aguas superficiales se localizan en áreas de pizarras ampelíticas.

Teniendo en cuenta que alfa total es la suma de actividades de isótopos de uranio, Th y Ra y ²¹⁰Po, y la buena correlación entre alfa total y uranio, la serie de este último es la responsable de la radioactividad en el agua principalmente, y ya que la razón de actividades Ra/U es aproximadamente 21, indicaría un elevado

fraccionamiento de Ra en aguas respecto a los materiales geológicos del entorno.

La concentración de uranio soluble en agua o biodisponible en suelos regionalmente distribuidos, sin influencia de trabajos mineros varía entre 1-137 µg/kg, con una media de 9 µg/kg. Aproximadamente el 10% de las muestras tienen contenidos de riesgo mayores de 30 µg/kg, relacionadas con anomalías geoquímicas de uranio en la roca madre.

En la parte portuguesa de la cuenca las explotaciones de uranio están catalogadas y no muestran más que pequeños trabajos de excavación o de reconocimiento, pero no se ha realizado una explotación intensiva de las minas.

Cobre

La explotación de cobre en la cuenca del río Águeda es muy limitada y se restringió a una única mina en Fuentes de Oñoro, abandonada donde se encuentran vetas de cuarzo, casi pegmatitas y donde hay un granito rojo, posiblemente posterior y que parece ser el portador del cobre.

Estaño

La producción de estaño en la provincia alcanzó el 93% de la producción nacional entre 1959 y 1966, asociada a estaño-titanio o estaño-wolframio. Las mineralizaciones de estaño o asociadas a otros minerales suponen el 43% de las minas en la cuenca. Estas áreas afloran en La Fregeneda, donde las mineralizaciones se establecen en pegmatitas, feldespato y moscovita, con casiterita y wolframita y arsenopirita y pirita. Las minas más importantes son las minas Feli y Alabancos. En el área de Puebla de Azaba los yacimientos aluvionares son de casiterita e ilmenita con monacita, rutilo y circón, que fueron explotados en las décadas de los 40 y 50 del siglo pasado, y cuya mina más representativa fue La Insuperable, siendo la única explotación de estaño que existe actualmente en España. En Navasfrías se explotaron filones, pegmatitas y aluviones con casiterita.

Hierro

Las mineralizaciones de hierro se ubican en la zona noroeste de Ciudad Rodrigo, y está asociado principalmente a mineralizaciones de uranio de tipo hidrotermal, con morfología irregular y filoniana, dentro del complejo esquistograuváquico.

Manganeso

La extracción de manganeso se limita al yacimiento de Sierro de Horcajo en Sobradillo, donde hay unas catas de exploración, que posteriormente se recubrieron de escombros. Actualmente está abandonada.

Oro

Son mineralizaciones primarias que se establecen en el entorno de La Fregeneda. Los yacimientos de oro están situados en filones de cuarzo con arsenopirita cerca del contacto del granito con los metasedimentos, disminuyendo su contenido hacia el interior del granito. El oro se encuentra incluido en la arsenopirita o en fracturas con este mineral. También son

importantes las mineralizaciones secundarias de carácter aluvionar de la cabecera del río Águeda y sus afluentes.

Plomo

La extracción del plomo en la cuenca corresponde a varias minas pequeñas existentes en los aldeaños de Ahigal de los Aceiteros, en Alameda de Gardón, Sobradillo y Figueira de Castelo Rodrigo, actualmente todas inactivas.

Wolframio

La producción de wolframio abarcó un largo periodo desde 1904 hasta 1986, como consecuencia de la situación económica y política a nivel mundial. En la cuenca del río Águeda existen 42 mineralizaciones de wolframio o mixtas, principalmente entre estaño y wolframio, lo que supone el 50% de las mineralizaciones de la cuenca. Dichas mineralizaciones en la zona norte van asociadas a filones de cuarzo con wolframita, schelita y abundantes sulfuros, principalmente arsenopirita y pirita, con valores altos de oro, y filones de cuarzo con casiterita, wolframita y sulfuros (sin oro); además hay mineralizaciones de casiterita asociada a pegmatitas.

En el entorno de Villar del Ciervo-La Bouza la mineralización consiste en filones de cuarzo con schelita y wolframita, próximos a los contactos del granito del mismo nombre. Dichas mineralizaciones se explotaron de manera artesanal en la década de los 40 del siglo pasado. Otra área de mineralización es la del granito del Jálama, mineralización que se presenta en haces de filones de cuarzo con wolframita, casiterita y sulfuros (arsenopirita, pirita, bismutita y sulfosales de Bi) y a veces también en diques aplopegmatíticos. Existen mineralizaciones similares a las del granito del Jálama en el término de Villasrubias, relacionadas en este caso con el granito de Peñaparda, y entre las que cabe destacar las minas Miguel y Canalita.

En la zona portuguesa se ubican en los municipios de Almeida y Sabugal, presentándose en forma de filones con casiterita y schelita.

2.3. Agricultura en la cuenca del río Águeda

La agricultura moderna requiere la aplicación de fertilizantes químicos, especialmente nitrogenados y fosforados. Sin embargo, sólo una parte reducida del fertilizante empleado queda disponible para la planta, suponiendo un importante gasto económico para el agricultor, además de una notable polución del entorno. Algunas prácticas agrícolas pueden ocasionar cierto grado de contaminación difusa de arsénico en los suelos (fertilizantes, compost, riego con aguas con cierto contenido en arsénico, etc.), con concentraciones de arsénico total en suelo no muy elevadas, pero superiores a las medias mundiales o niveles de fondo superiores a 10 mg/Kg, o de arsénico soluble mayores de 100 µg/L.

También el uso de pesticidas, especialmente insecticidas, herbicidas y fungicidas, es un mecanismo esencial para combatir toda clase de plagas y enfermedades y es una práctica ampliamente extendida en las actividades agrícolas. Sin embargo derivado de su aplicación están surgiendo problemas de contaminación a causa de la infiltración de estos compuestos, generalmente tóxicos, en los cursos

de agua, que amenaza al medio ambiente y a la salud humana. Como consecuencia de esta problemática surgida, la Comunidad Europea ha requerido el establecimiento de estrictas directivas para disminuir o controlar los efectos negativos que podrían producirse en el ambiente. Así la Directiva del Consejo 98/83/EC estableció como límites para la presencia de residuos de pesticidas en aguas para consumo humano la concentración de 0,1 µg/L para compuestos individuales y 0,5 µg/L para la suma de todos los compuestos.

En la cuenca del río Águeda se podrían producir problemas de contaminación por pesticidas a causa de que el suelo es poco profundo en algunas áreas, lo cual podrá facilitar el lavado y/o percolación de estos compuestos a las aguas. De ahí el interés del estudio de los residuos de estos compuestos en suelos y aguas en escenarios agrícolas locales reales de estas áreas, constituidos fundamentalmente por huertos familiares o explotaciones de mayor tamaño aunque generalmente menores de 1 ha.

2.3.1. Indicadores de contaminación por agricultura: pesticidas

Los pesticidas estudiados como indicadores de la calidad ambiental de las aguas de la cuenca del río Águeda son compuestos de amplio espectro y ampliamente utilizados en agricultura, tales como los herbicidas terbutilazina, atrazina y algunos de sus productos de degradación (desetil-terbutilazina (DET), hidroxi-terbutilazina (HT) y deethylatrazina (DEA), isoproturón, linurón, diurón y metolaclo; los insecticidas diazinón, clorpirifos y dimetoato, y los fungicidas metalaxil, ciprodinil, penconazol y tebuconazol. Algunos de estos compuestos están incluidos en la última mo-

dificación de la lista de 33 sustancias prioritarias, por ello el interés de su discriminación en las aguas subterráneas. Para la selección de los compuestos estudiados se tuvo también en cuenta aquellos utilizados habitualmente en las principales cosechas (trigo, cebada, avena, alfalfa, maíz) y los cultivos hortícolas (patatas, fréjoles o repollo) de la cuenca. Los pesticidas se analizaron en aguas de pozos situados en pequeños huertos de la cuenca y las aguas se tomaron en dos periodos de tiempo, invierno (octubre-enero) y verano (mayo-junio).



Pozos de muestreo de aguas en la Cuenca del río Águeda

La concentración de los pesticidas detectados y el número de muestras positivas aumentó significativamente en las muestras de aguas tomadas en verano después de la aplicación de los pesticidas en primavera, comparados con los resultados de las tomadas en invierno. Los herbicidas más detectados fueron terbutilazina, atrazina, diurón, linurón, y metolaclo, siendo terbutilazina el compuesto detectado en mayor concentración. Otros pesticidas como dimetoato y clorpirifos (insecticida) o tebuconazol, ciprodinil y metalaxil (fungicida) se detectaron también a niveles altos en algunas muestras de aguas. El porcentaje de mues-

tras que excedía el standard de calidad de 0,5 $\mu\text{g/L}$ para todos los compuestos fue 4-7% para las muestras tomadas en invierno, y aumentó hasta 64% para las tomadas en verano.

Los niveles de residuos encontrados en estas aguas están de acuerdo con los niveles de pesticidas encontrados en los suelos adyacentes a los pozos muestreados. Asimismo, están de acuerdo con las actividades agrícolas llevadas a cabo en la zona y sugieren la necesidad de llevar a cabo prácticas agrícolas sostenibles, especialmente cuando las aguas subterráneas se dediquen para el consumo humano.

Agradecimientos. Los autores agradecen a E. Herrero, E. Pose, A. Álvarez, L.F. Lorenzo, J.M. Ordax, A. González y N. Curto del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA-CSIC) por su colaboración y al Servicio de Análisis e Instrumentación del Instituto por su asistencia técnica. También agradecen al Herbario de la Universidad de Salamanca la cesión de las fotos de plantas.



De izquierda a derecha: M^a Concepción Alonso Miguel, Pedro Caravantes Cuerpo, Ángel González Núñez, Antonio García Sánchez, Sara Sánchez González, Ignacio Santa-Regina Rodríguez, M^a Jesús Sánchez Martín, Alba Álvarez Martín, Fernando Lorenzo Martín, Eva Pose Juan, José Manuel Ordax de Castro.

RISCOS E VULNERABILIDADES NA BACIA DO RIO ÁGUEDA

Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes¹, Maria Teresa Durães Albuquerque¹,
Sandrina Fidalgo de Oliveira¹, Natália Martins Roque¹, Maria de Fátima Magro Seco¹,
Antonio Hoyuela², Leticia Alonso²

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco (Portugal)

² Terysos (Espanha)

1. Introdução

Nos últimos 60 anos tem-se assistido a um aumento exponencial na exploração dos recursos naturais, o que conjuntamente com as alterações nos padrões de consumo das matérias-primas produzidas, introduziu importantes modificações ambientais, com efeitos diretos e indiretos tanto sobre a população como no ambiente.

A gestão e o ordenamento do território constituem um dos principais pilares no desenvolvimento e sustentabilidade dos recursos de uma determinada região. Neste contexto, é fundamental a identificação de situações de elevada vulnerabilidade e risco associados.

A gestão territorial desarticulada de um enquadramento Ibérico, bem como o tratamento parcial das bacias hidrográficas transfronteiriças, pode gerar problemas e riscos ambientais que ultrapassam os limites administrativos podendo, nalgumas situações, levar à ocorrência de litígios internacionais indesejados.

Estas bacias hidrográficas transfronteiriças representam elementos geográficos articuladores do território, facilitando uma maior eficácia na partilha de compartimentos ambientais, produção e utilização de fontes de energia, utilização de equipamentos e/ou gestão de emergências.

A bacia hidrográfica do rio Águeda é uma bacia transfronteiriça entre Portugal e Espanha, onde ocorrem diversas barragens e represas de água, infraestruturas de drenagem e de comunicação viária e ferroviária, assim como, uma marcada tradição mineira representada pela exploração de elementos metálicos e não metálicos.

Nas atividades mineiras de metais, destacam-se as de: estanho (Sn), volfrâmio (W),

chumbo (Pb) e urânio (U) pela sua dominância e associação de outros elementos metálicos associados.

A maioria das explorações mineiras estão atualmente abandonadas, podendo ser identificadas pelas suas escomboreiras pois foram encerradas sem a aplicação de processos de recuperação e remediação ambiental.

As explorações agrícolas e pecuárias são bastante representativas da bacia hidrográfica do rio Águeda, constituindo as atividades dominantes do sector primário. Estas atividades têm um forte interesse económico e de desenvolvimento social para a região em estudo.

A identificação dos principais perigos ambientais na envolvente da bacia hidrográfica do rio Águeda, tais como: propagação de incêndios florestais, ocorrência de cheias e inundações ou episódios climáticos extremos assumem-se, *a priori*, como potenciais riscos de maior impacto no ambiente, população e/ou modificação das características fisiográficas da bacia hidrográfica.

Este projeto piloto, desenhado numa área transfronteiriça, pretendeu contribuir para uma melhor articulação do território, baseada na elaboração de planos de atuação e de controlo ambiental comuns. Com esta articulação, será potenciado um uso mais eficaz dos recursos ambientais disponíveis no espaço Luso-Espanhol e contribuindo para a diminuição das barreiras administrativas. Desta forma, uma gestão transfronteiriça otimizada, em situações de emergência, permite um aumento da eficiência/eficácia dos procedimentos a adotar, com a consequente diminuição dos custos económicos envolvidos.



Zona de inundação em Ciudad Rodrigo



Episódios climáticos extremos em Navasfrías

2. Identificação/Caraterização de vulnerabilidades

A vulnerabilidade de qualquer sistema pode ser entendida como a maior ou menor capacidade de atenuação/depuração face à exposição a substâncias poluentes. Esta resposta depende das características intrínsecas da região e das condições a que está exposta.

A vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação está diretamente associada à capacidade de atenuação das camadas superficiais do aquífero, face à infiltração de poluentes, sendo uma característica do sistema hidrogeológico.

A vulnerabilidade deve ser avaliada sob o ponto de vista intrínseco e extrínseco. A vulnerabilidade intrínseca, como o nome sugere, representa a capacidade natural de um sistema aquífero em receber e transmitir substâncias potencialmente contaminantes a o longo do tempo. Depende da capacidade de infiltração

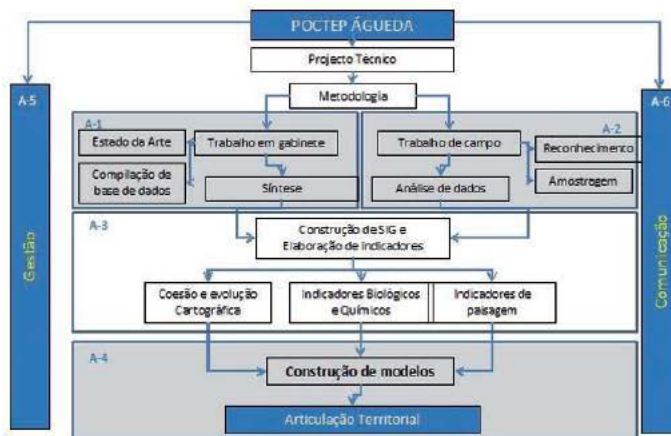
no meio, do tempo de percolação, das características hidráulicas do fluxo, da concentração do(s) contaminante(s), entre outros fatores. A vulnerabilidade extrínseca, por sua vez, depende diretamente das atividades antropogénicas, nomeadamente do uso do solo. Esta avaliação deverá ter em conta as características físicas e químicas do contaminante, o tipo de fonte de contaminação, bem como a quantidade e taxa de aplicação.

Na avaliação da vulnerabilidade, de um sistema aquífero, têm sido desenvolvidas várias metodologias, para a construção de índices, principalmente não paramétricos. A aplicação de metodologias da estatística espacial e da geoestatística, permitem a construção de mapas de vulnerabilidade contínuos para unidades espaciais, como são as bacias hidrográficas.

2.1. Metodologias adotadas para caraterização dos principais riscos

Para a identificação dos principais riscos foi definida a metodologia com as seis principais atividades: A-1. Reconhecimento inicial; A-2. Obtenção de dados físico-químicos e biológicos;

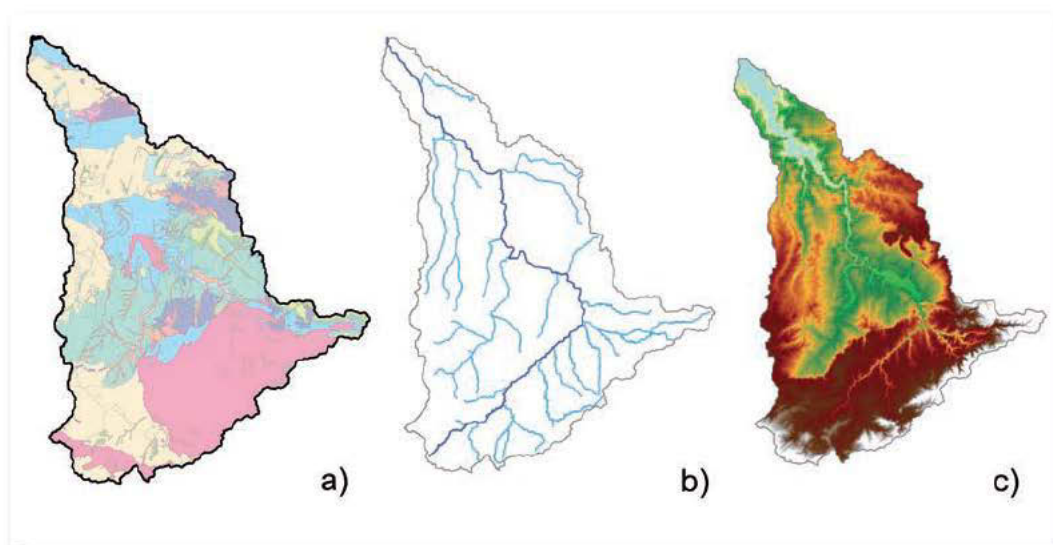
A-3. Indicadores ambientais: impactos e riscos; A-4. Análise territorial e geração de modelos ambientais; A-5. Gestão e coordenação e A-6. Comunicação.



Síntese da metodologia de trabalho

Uma das primeiras atividades desenvolvidas consistiu na recolha e compilação da informação relativa à área de estudo, a partir de fontes de dados existentes, tendo por finalidade o desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O sistema de coordenadas adotado para o projeto SIG foi o sistema de Coordenadas ETRS 89 - European Terrestrial Reference System (ETRS 1989 UTM Zone 29N), Datum ETRS 1989. Este sistema de coordenadas foi introduzido através do Regulamento (UE) N.º 1089/2010 (UE 2010), que estabelece as disposições de execução da Diretiva 2007/2/CE do Parlamento Europeu

(CE 2007) relativamente à interoperabilidade do conjunto de serviços respeitantes a dados geográficos, transposta para a legislação portuguesa no Decreto Regulamentar n.º 10/2009 (Diário da República 2009). Nesta fase, foi necessário proceder a uma tarefa adicional de compatibilização e uniformização do sistema de coordenadas de toda a informação disponível, uma vez que relativamente ao território português esta se encontrava no sistema de coordenadas Lisboa Hayford Gauss IGeoE (Portugal). Com esta transformação de coordenadas obteve-se uma georreferenciação coerente para toda a bacia hidrográfica.

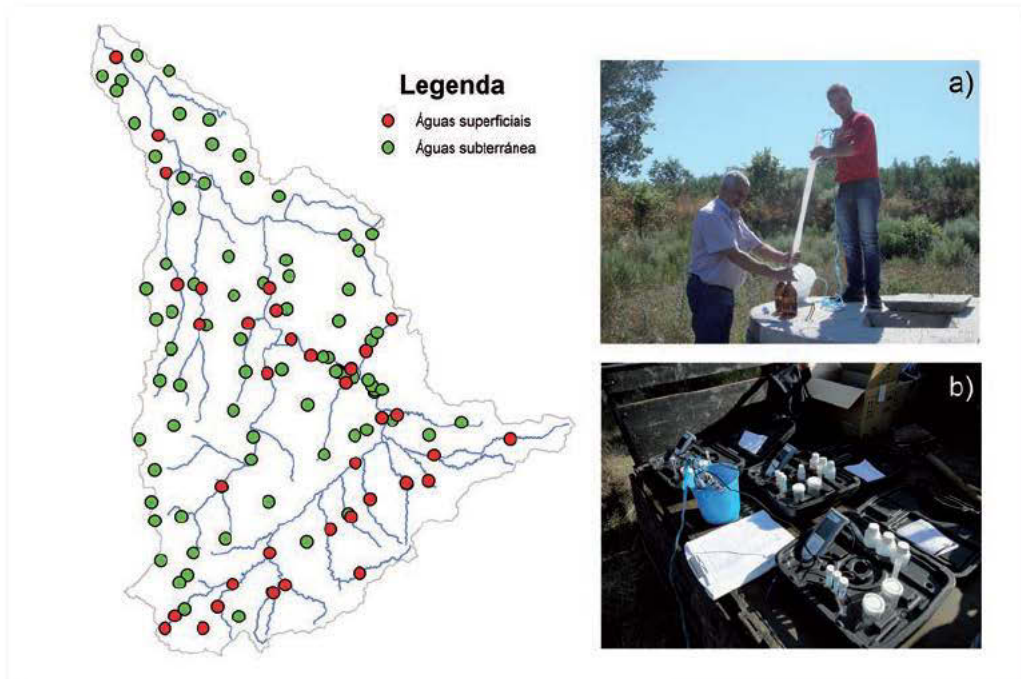


Exemplos de cartografia temática da bacia hidrográfica do rio Ágüeda: a) mapa geológico; b) rede hidrográfica; c) modelo digital do terreno (MDT)

Tendo em consideração os objetivos do projeto, foram desenhadas redes de amostragem para recolha de águas superficiais, águas subterrâneas, solos e organismos (insetos).

Para a elaboração das cartografias de vulnerabilidade procedeu-se à análise analítica das amostras selecionadas. Nas amostras de água superficial procedeu-se à determina-

ção de parâmetros *in situ*, tendo sido devidamente acondicionadas e transportadas, conjuntamente com as amostras de solo, para o Laboratório do Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNASA; Salamanca). As análises laboratoriais incluíram os principais elementos e compostos químicos associados às atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica em estudo.



Rede de amostragem de água superficial e subterrânea na bacia hidrográfica do rio Águeda. Exemplos de procedimentos utilizados na medição de parâmetros in situ

2.2. Avaliação das vulnerabilidades

A avaliação da vulnerabilidade de um aquífero permite a definição de áreas mais ou menos suscetíveis à contaminação por atividades antropogénicas. Esta delimitação constitui uma importante ferramenta de apoio na gestão de recursos hídricos e no planeamento territorial.

Na avaliação da vulnerabilidade na bacia hidrográfica do rio Águeda, foram aplicadas as metodologias: DRASTIC, DRASTIC pesticida, para avaliação da vulnerabilidade intrínseca, e Índice de Suscetibilidade (IS), para avaliação da vulnerabilidade extrínseca. Ulteriormente construiu-se a sua representação espacial, continua no espaço da bacia, utilizando ferramentas adequadas de SIG (ArcGIS) e constituindo, desta forma, uma cartografia da vulnerabilidade na região em estudo.

A metodologia DRASTIC utiliza sete parâmetros (representados por cada uma das letras da sigla): profundidade do aquífero (D), recarga (R), material do aquífero (A), tipo de solo (S), topografia (T), material da zona vadosa (I) e condutividade hidráulica (C). Cada um destes parâmetros é ponderado tendo em consideração a sua influência na propagação e dispersão de poluentes. O método DRASTIC pesticida é semelhante ao referido anteriormente com a modificação dos ponderadores a afetar aos diferentes atributos, valorizando os processos de atenuação dos pesticidas nos solos e na zona vadosa (Aller *et al.* 1987). Esta metodologia foi criada para responder melhor a zonas de agricultura intensiva, com utilização de pesticidas e, ainda, a problemática associada à intensa aplicação de sulfatos.

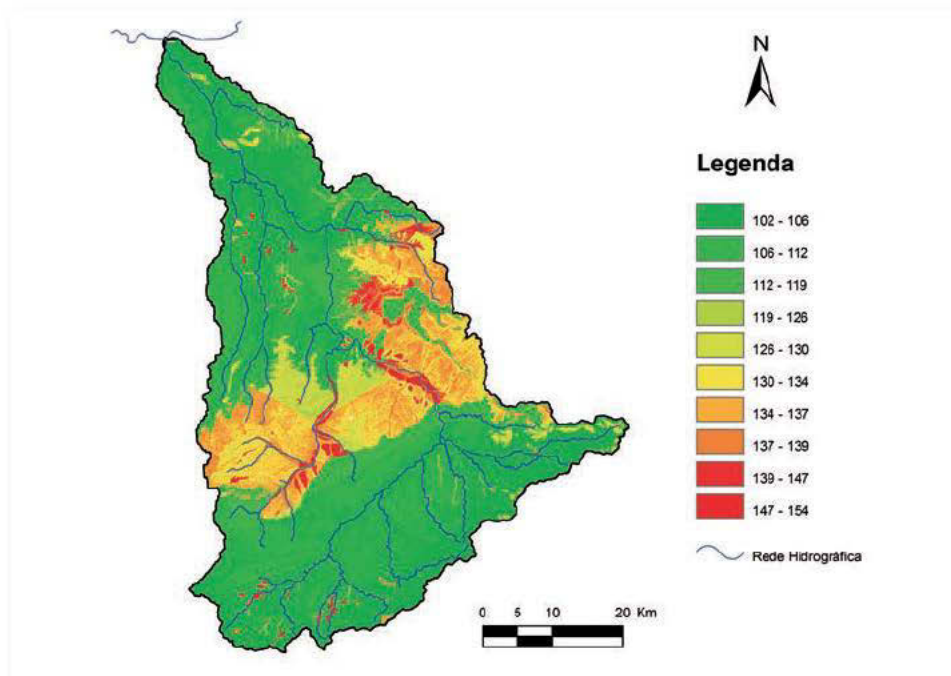
A pecuária e a agricultura são responsáveis por modificações na qualidade da água, tanto através da adição de adubos e compostos fitossanitários como através da descarga de águas residuais resultantes destas atividades.

O Índice de Suscetibilidade (IS) consiste numa adaptação do índice DRASTIC, introduzindo o “uso do solo” como novo atributo e reduzindo a redundância de alguns dos atributos utilizados nos índices DRASTIC (Stigter *et al.* 2006), pois em vez de considerar três parâmetros relacionados com a geologia (A, S, I) passa a incluir apenas um parâmetro (A) e elimina o parâmetro da condutividade hidráulica (C) cuja determinação é em muitos casos arbitrária (Ribeiro *et al.* 2003). O IS é ponderado numa escala percentual, variando de 1 a 100%. A grande diferença entre o método IS e

os dois anteriores consiste na ponderação de fatores extrínsecos relacionados com a ocupação do solo (OS).

No cálculo do índice DRASTIC foram calculados, em contínuo na área da bacia, os respetivos parâmetros. O recurso ao raster calculador (Arcmap 10) permitiu afetar as respetivas ponderações, no subsequente cálculo dos índices finais (Albuquerque *et al.* 2013).

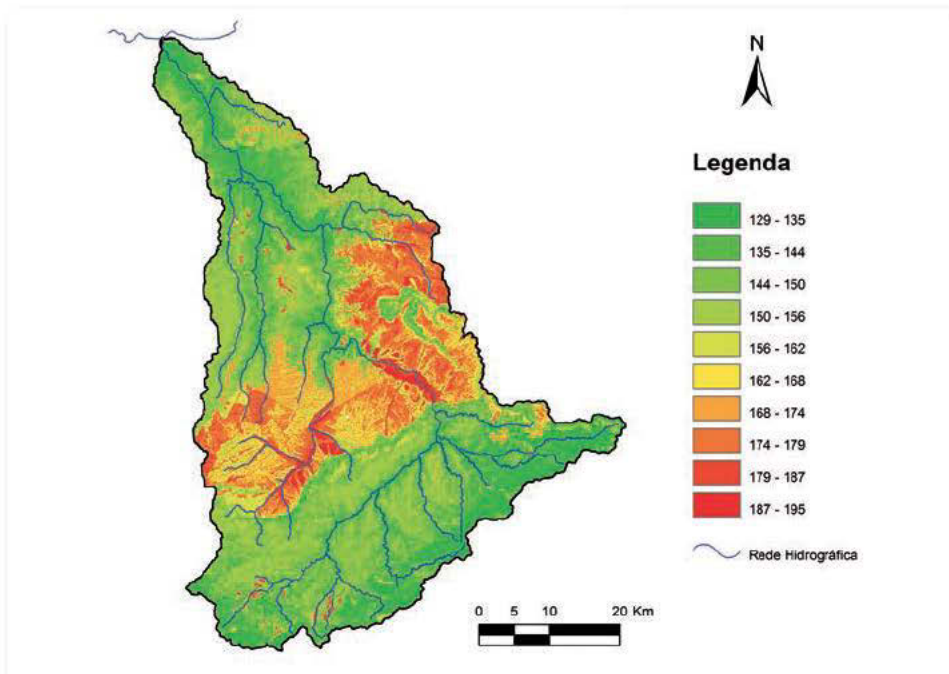
O índice DRASTIC mostra a predominância de baixa vulnerabilidade (cerca 78% da área da bacia), sendo a restante área (cerca de 22%) de vulnerabilidade intermédia. A zona de vulnerabilidade intermédia a elevada representa apenas cerca de 1% da bacia e ocorre na sua parte central, correspondendo às zonas mais urbanizadas e onde ocorrem os impactes mais importantes.



Mapa de vulnerabilidade da bacia do rio Águeda utilizando o Índice DRASTIC (Classes de vulnerabilidade: baixa 102-119; intermédia 120-139; intermédia a elevada 140-154)

O mapa de vulnerabilidade resultante da aplicação do DRASTIC pesticida revela a pre-

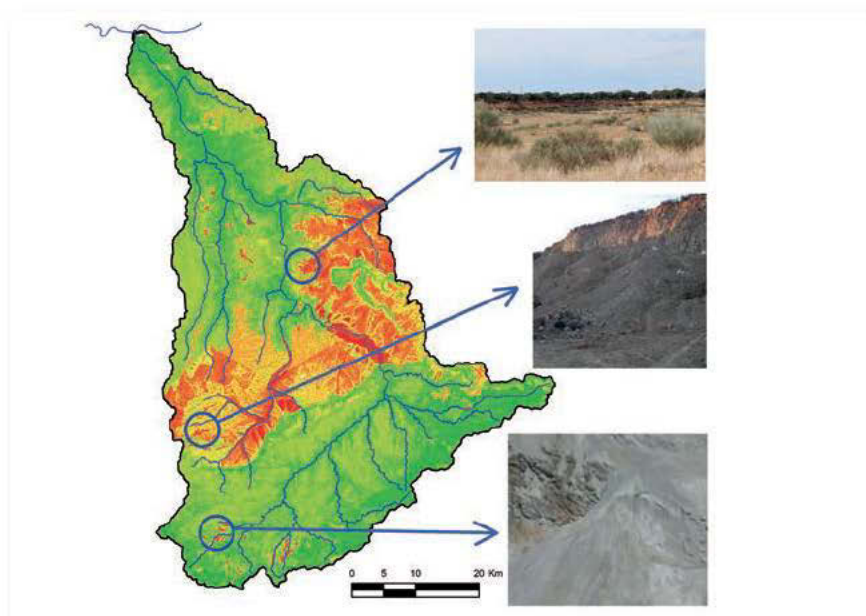
sença de zonas de vulnerabilidade intermédia a elevada.



Mapa de vulnerabilidade da bacia do rio Águeda utilizando o Índice DRASTIC Pesticida (Classes de vulnerabilidade: intermédia 120-159; elevada 160-195)

Os mapas de vulnerabilidade obtidos pela aplicação dos métodos DRASTIC e DRASTIC pesticida ilustram as várias heterogeneidades intrínsecas, presentes na bacia hidrográfica do rio Águeda. O índice DRASTIC pesticida revela que as zonas inicialmente classificadas como

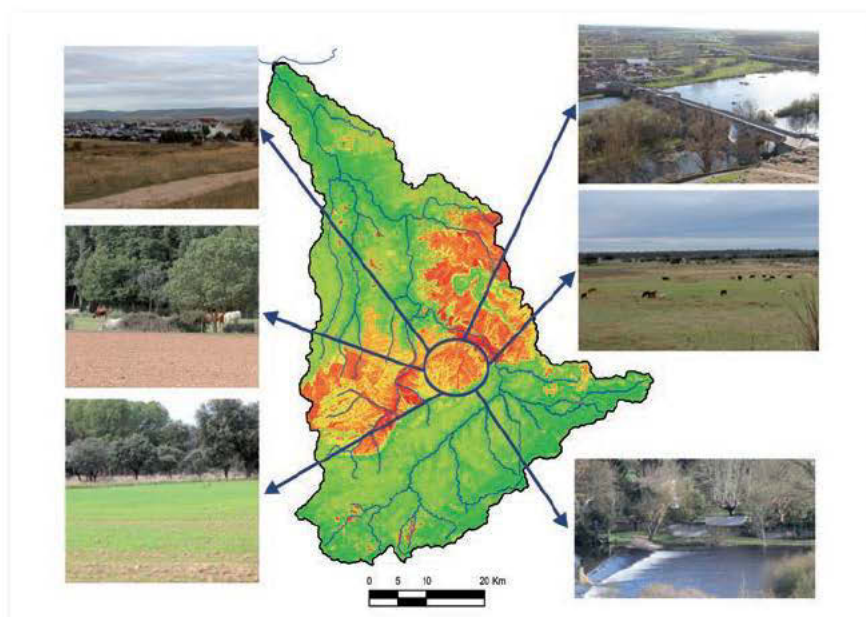
de baixa vulnerabilidade, pela aplicação do índice DRASTIC, passam a assumir uma classificação de vulnerabilidade intermédia. Estas zonas coincidem com explorações mineiras de Sn-W e de U, com elevados teores de metais pesados associados, entre eles o arsénio.



Exemplos de zonas de vulnerabilidade intermédia na bacia do rio Águeda

A zona mais vulnerável é sem dúvida a zona central coincidindo com o extenso aquífero

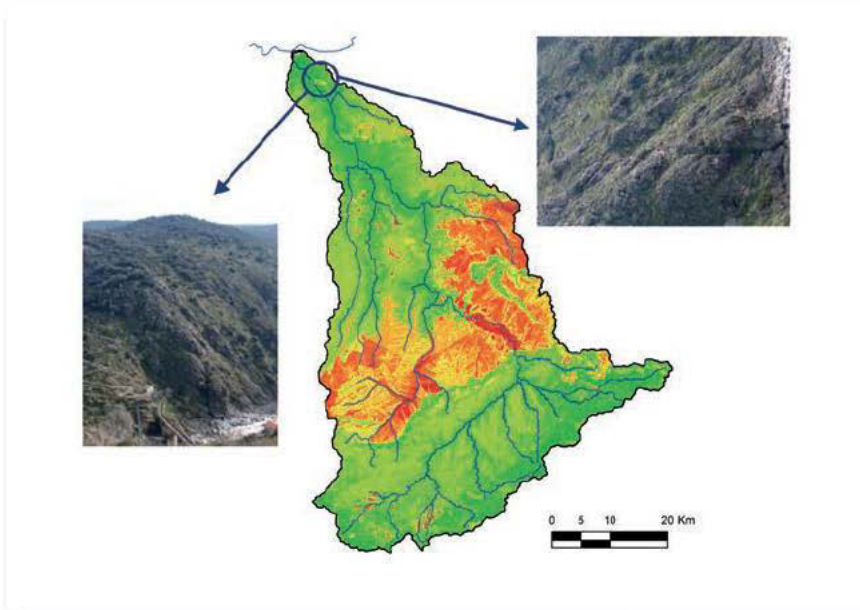
sedimentar terciário e área urbana e agrícola, desenvolvida na planície de Ciudad Rodrigo.



Exemplos atividades desenvolvidas na região de Ciudad Rodrigo (zona de vulnerabilidade elevada)

De destacar a zona de vulnerabilidade intermédia a elevada, na parte norte da bacia, correspondendo a características intrínsecas

associadas à presença de calcários carsificados. As atividades humanas são reduzidas ou praticamente inexistentes.

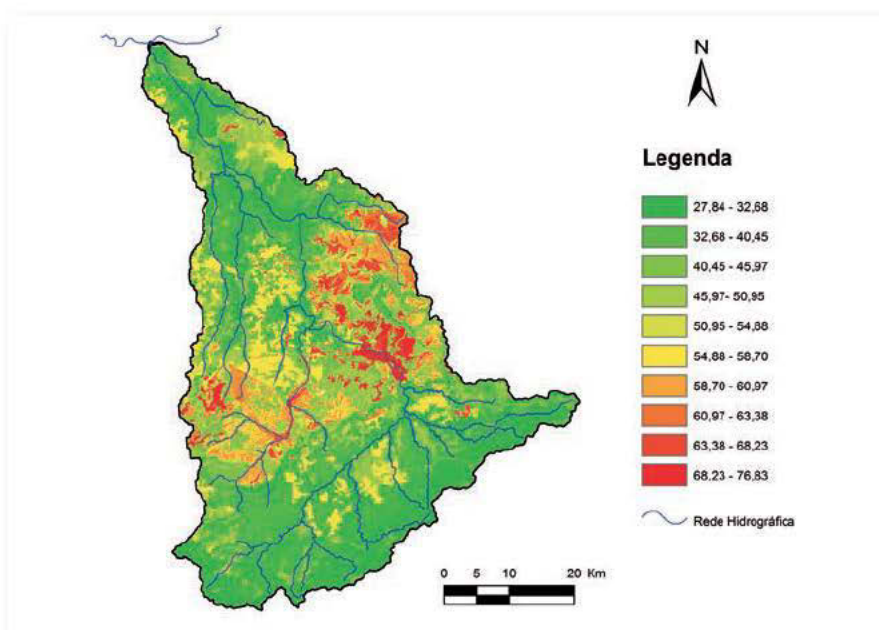


Zona de vulnerabilidade intermédia a elevada associada à presença de calcários carsificados

O Índice de Suscetibilidade (IS) permite a construção de um mapa ilustrativo da vulnerabilidade extrínseca na região, representada numa escala de 1 a 100% e onde é atribuído ao atributo “ocupação do solo” uma elevada ponderação, no cálculo do Índice de Síntese (IS).

No presente trabalho foi possível construir o mapeamento espacio-temporal da vulnerabilidade extrínseca, na bacia do rio Águeda, nomeadamente para os anos de 1959, 1990, 2000

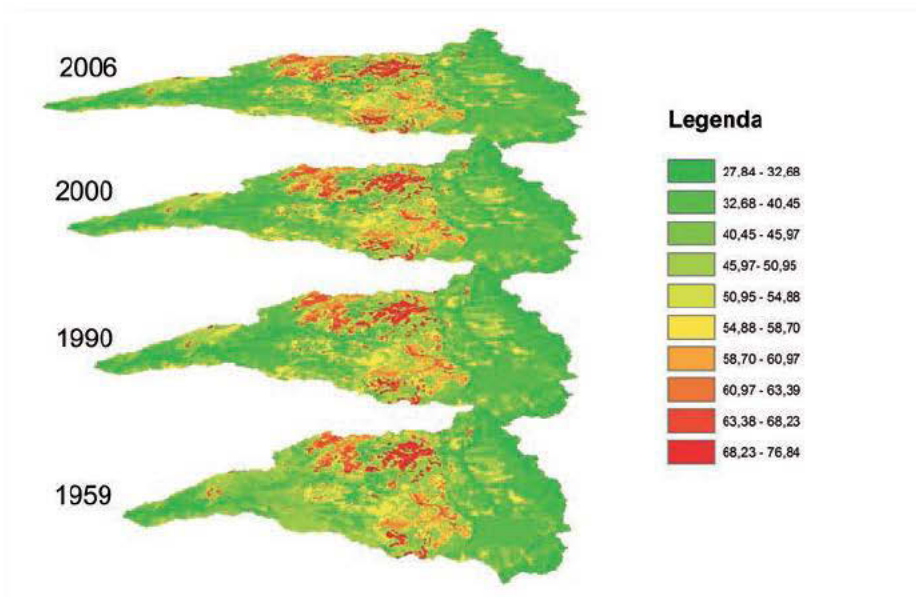
e 2006. Apesar de se observar uma evolução temporal nos padrões de vulnerabilidade, pode dizer-se que, genericamente, a bacia hidrográfica do rio Águeda, apresenta áreas de vulnerabilidade extremamente baixa a muito baixa ($IS < 40\%$) onde a ocupação do solo é reduzida e as atividades afetam pouco impactantes. Na parte central da bacia, coincidindo com a área de Ciudad Rodrigo, o IS assume uma classificação de moderada a elevada e elevada ($IS = 60\%$ a 80%).



Mapa de vulnerabilidade da bacia do rio Águeda utilizando o Índice Suscetibilidade (IS)

Para a previsão da evolução temporal, nos quatro anos em estudo (1959, 1990, 2000 e 2006), utilizou-se a cartografia histórica com as modificações no uso do solo verificadas.

Conclui-se que nos últimos 50 anos, e ainda que com algumas alterações, as classes de maior vulnerabilidade permanecem concentradas na parte central da bacia do rio Águeda.



Evolução temporal do índice de suscetibilidade na bacia do rio Águeda

Ao longo do tempo, as zonas de vulnerabilidade mais elevada expandiram-se para a parte norte da bacia hidrográfica, mostrando uma ampla distribuição de maior vulnerabilidade, no espaço e no tempo, com um incremento de zonas sensíveis. A evolução temporal do IS mostra uma vulnerabilidade crescente na zona norte possivelmente associada à presença de minas abandonadas. Na zona central, a presença de pequenas áreas de baixa vulnerabilidade extrínseca, incluídas em áreas mais alargadas e homogêneas de vulnerabilidade

intrínseca intermédia/alta, indica a heterogeneidade das atividades antropogénicas aí desenvolvidas e constitui um bom ponto de partida, para a avaliação de futuras medidas de planeamento urbano e de tomada de decisão, visando o ordenamento do território e preservação dos recursos da região. Desta forma, torna-se imperativo a tomada de medidas preventivas e de monitorização ambiental ao longo do tempo, em toda a área da bacia do rio Águeda.

3. Como intervir de forma sustentável?

Os resultados obtidos possibilitam uma avaliação da envolvente ambiental permitindo definir:

Programas de melhoramento de serviços:

- Coordenação de serviços de emergência transfronteiriços;
- Coordenação de atividades educativas;
- Elaboração de protocolos de alerta face a riscos transfronteiriços (incêndios florestais, inundações, contaminações, entre outros);
- Implantação de planos de emergência transfronteiriços.

Projetos de melhoria ambiental:

- Controlo de águas residuais de atividades mineiras e agro-pecuárias;
- Implantação de redes de controlo e monitorização de águas superficiais e subterrâneas;

- Integração hispano-portuguesa das redes de monitorização da bacia hidrográfica;
- Controlo integrado das descargas urbanas.

Projetos de potencial turístico:

- Reaproveitamento turístico de antigas rotas de contrabando e de atividades extrativas atualmente abandonadas;
- Aproveitamento natural e turístico;
- Promoção do turismo histórico através dos fortes transfronteiriços;
- Zonas valorização de espaços naturais;
- Desenho de itinerários (percursos pedestres, ciclovias, entre outros) ao longo da bacia hidrográfica do rio Águeda, tendo como ponto de partida, por exemplo, o porto fluvial de Barca d'Alva.



Exemplo de atividade extrativa



Exemplo de utilização do espaço hídrico



Exemplo de turismo histórico: San Felices de los Gallegos

4. Articulação Territorial

As diretrizes para o ordenamento e articulação territorial têm como principal objetivo permitir o desenvolvimento e a qualidade de vida no território, considerando as condições de sustentabilidade dos seus recursos, tanto naturais como construídos, e das qualidades ecológicas, paisagem e património que comportam. Assim sendo, a articulação do território será promovida pelos objetivos da qualidade orientada para a paisagem, proteção e conservação ou desenvolvimento.

A articulação territorial é direcionada principalmente para a regulação e controle de componentes, peças e sistemas que compõem o espaço físico natural e rural integrado, e determinada pela relação com a atividade humana (económica, social e cultural). As orientações para a articulação territorial contemplam os

diferentes elementos do território, a nível da sua interdependência e relações geradas nas atividades desenvolvidas no espaço geográfico.

A nível socioeconómico, a bacia transfronteiriça do rio Águeda apresenta uma situação fortemente marcada por fraquezas e desequilíbrios. A economia local é dominada por atividades agro-pecuárias e uma estrutura industrial fraca. A distribuição dos Serviços, por sua vez, é desequilibrada, estando concentrados (quantitativa e qualitativamente) no principal núcleo populacional: Ciudad Rodrigo. Pode referir-se que a economia da região é marcada por fortes desequilíbrios regionais, com assimetrias na densidade populacional e distribuição espacial da atividade produtiva e dinâmica de trabalho (Indústria e Serviços).



O rio Águeda em Ciudad Rodrigo.

Quanto aos Serviços -educação e saúde- o principal ponto resulta dos desequilíbrios existentes na distribuição da população na área da bacia e diferenças na estrutura etária da população de Ciudad Rodrigo e outros pequenos aglomerados populacionais. Estes desequilíbrios podem constituir um problema estrutural a nível da “eficiência”, nos níveis básicos de alimentação e saúde educacional. Os desequilíbrios regionais têm sido afetados pela natureza e dinâmica dos processos de crescimento da economia nacional, tanto em Espanha como em Portugal.

A enriquecida diversidade de elementos físicos na bacia hidrográfica do rio Águeda promove processos territoriais para a região. As vastas zonas aplanadas que aparentemente

te dominam na bacia, são interrompidas por áreas mais acidentadas, com vales encaixados, no sector sul e norte. Ao longo da rota norte-sul, a planície inclina suavemente para o oeste, como é bem visível na principal via de comunicação entre Portugal e o noroeste da Europa continental.

A vasta planície na bacia do rio Águeda, com uma altitude média de 800 m, é interrompida por relevos mais resistentes à erosão, como a Serra de Gata e de França, ultrapassando os 1700 m de altitude. O rio Águeda e seus afluentes estão encaixados em profundos vales no relevo, principalmente próximo da fronteira com Portugal, mostrando uma das paisagens mais espetaculares da região: as Arribas.



Zona encaixada no rio Águeda

Do ponto de vista ambiental, na bacia do rio Águeda podem ser individualizadas quatro unidades, de acordo com os usos do solo e ocupação humana: peneplanície Paleozóica, planície suavemente ondulada com argilas e areias, montanhas ou colinas em vales e cumes e as contrastantes Arribas.

A polarização espacial com envelhecimento extremo da população promove um sistema

urbano em crise. A combinação de situações endógenas estruturalmente fracas, juntamente com a “força” e o impacto da dinâmica externa, nacional e internacional, têm levado a um continuado decréscimo da população nesta região. Este fenómeno é, em parte, resultante das históricas migrações internas e externas, desenvolvidas particularmente entre 1950-1975, tendo continuado posteriormente; afe-

tando as regiões rurais e população jovem em idade ativa. Embora o envelhecimento da população, tenha um conjunto de implicações sociais e económicas que se materializam de forma mais eficaz a médio e longo prazo; a redistribuição da população tem um impacto claro e rápido, visível já por alguns anos, com um crescimento urbano acentuado e um declínio acentuado nas áreas rurais.

Na bacia hidrográfica do rio Águeda é fundamental converter Ciudad Rodrigo, em um ponto focal de concentração de Serviços, independentemente de grandes cidades como Salamanca, da qual esta região é altamente dependente. Uma estratégia de centralização deve ser acompanhada de uma melhoria da rede de infra estruturas na sua área de influência, com um eficiente sistema de transportes públicos e/ou de comunicações. Contudo, estas propostas apenas serão eficazes se acompanhadas, posteriormente, por outras medidas administrativas (e.g., controle, incentivo e apoio) na gestão territorial destes aglomerados populacionais.

As potencialidades entre os valores patrimoniais e o turismo de paisagem constituem uma parte importante da população tradicional. Os recursos de arquitetura mais conhecidos, arte urbana e monumentos artísticos ou históricos e de carácter cultural, são alvos de catalogação e proteção. Algumas áreas de in-

teresse patrimonial confirmado (e.g., Parque Natural das Arribas ou áreas protegidas na Serra de Gata e de França), são recomendadas utilização recreativa ou turística, mesmo que sazonal.

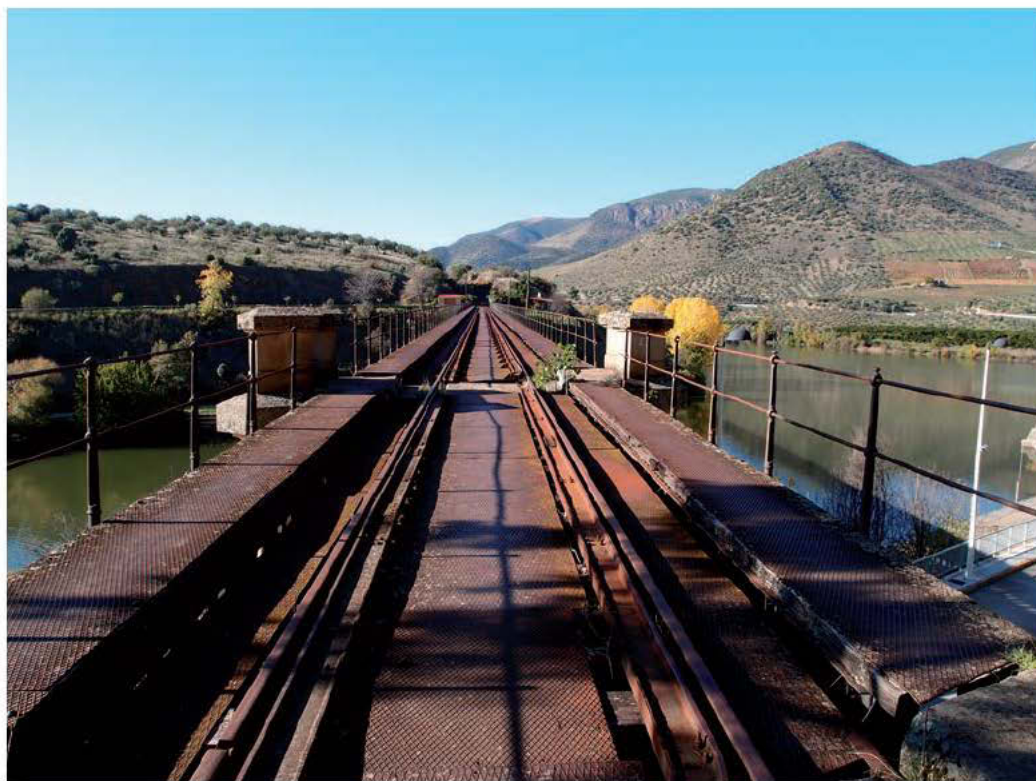
A falta de proteção para muitos assentamentos rurais tradicionais, como elemento de interesse histórico ou artístico ou como valor específico tradicional do país, são parte integrante e essencial de uma paisagem significativa com valores ambientais ou carácter cénico numa escala panorâmica maior.

Estes locais comportam situações de difícil inventariação sistemática, pois apresentam pequenas dimensões espaciais ou ocorrem dispersos no território; sendo identificados com medidas micro-territoriais.

O contexto sócio geográfico da bacia do rio Águeda, interior e periférico, num contexto ibérico regional; tem recebido ajuda de fundos estruturais, de forma a superar e corrigir deficits históricos na área de infra estrutura e equipamentos (FEDER) e como compensação para as dificuldades inerentes a uma região desfavorecida (FEOGA), ou como uma luta contra as desigualdades sociais e para manter o emprego (FSE). Destaque especial deve ser dado aos investimentos provenientes da União Europeia, nomeadamente em infra estruturas rodoviárias, entre Portugal e Espanha.



Catedral de Ciudad Rodrigo e porta da vila fortificada de Almeida



Linha de caminhos-de-ferro abandonada entre La Fuente de San Esteban – La Fregeneda – Barca D’Alva

A nível dos processos ambientais, a bacia hidrográfica do rio Águeda é protagonista da coexistência de paisagem natural e humanizada, onde está profundamente enraizada e delimitada a fronteira administrativa entre Espanha e Portugal. Neste espaço transfronteiriço do rio Águeda partilha-se a energia hidroelétrica, disponibilidade de água, barcos, moinhos, romarias, casamentos e contrabando, que marcaram a história destes povos. Também partilham a “luta” contra as encostas íngremes na construção de “socalcos” ou terraços, transformando as encostas mais íngremes em socalcos de campos de cultivo.

E hoje, ambos os lados da fronteira admi-

nistrativa que separa Espanha e Portugal, articulam este espaço territorial, compartilhando projetos de cooperação e recorrendo ao slogan: “a natureza não tem fronteiras”.

As zonas aplanadas com espaços abertos e explorações agrícolas mais intensivas parecem interromper o corredor ou “Vega” de Ciudad Rodrigo. Nesta área com materiais sedimentares Terciários, em que os solos mais desenvoltos e as condições térmicas favorecem a exploração e utilização em ambiente rural.

Contrastando com a penepalanície, surgem elevações num ambiente rochoso, com solos ácidos e explorações agrossilvopastoris; que se estende para toda a bacia.

As classificações de “geofacies” ou “geotopes”, dependendo da área da superfície que ocupam, podem ser utilizadas para lagos ou lagoas nas zonas de pastagens. Estes reservatórios possibilitam a existência de reservas de

água em períodos de escassez ou seca, favorecendo a ocorrência de alimentos húmidos, bem como, a conservação da fauna de áreas endorréicas. Favorecem, ainda, a existência de solo fértil em áreas agro pecuárias.



Arribas no rio Águeda na fronteira natural entre Espanha-Portugal

A diversidade ecológica com património enriquecido e paisagens simbólicas é característico das zonas de montanha -Serras da Gata e da França- nem sempre reconhecidas devido à rugosidade topográfica e/ou isolamento associado.

As fronteiras administrativas comportam a dualidade: “Fraqueza” e “Potencialidade” sendo necessário enfatizar a fronteira ao longo do tempo, longe dos principais centros de atividade económica. Na fronteira geográfica na

bacia hidrográfica do rio Águeda, como noutros espaços semelhantes, ocorrem: obstáculos físicos e limitações ecológicas, derivados principalmente da topografia e do encaixe do rio; baixo nível de equipamento, a nível local e regional, com efeitos negativos sobre o setor de serviços e da fronteira; falta ou deficiente infra estrutura, especialmente nas vias viárias, acentuando o isolamento e reforçando as consequências territoriais no espaço fronteira e dificultando a articulação territorial.



Zona de sopé na Serra de França

Na bacia hidrográfica do rio Águeda, tem-se áreas que embora não contempladas por qualquer plano de proteção, representam património cultural e natural a preservar (e.g., curso dos rios com diferentes formas, riqueza ecológica, culturas rurais tradicionais, pastos cercados, zonas montanhosas ou colinas). Estes espaços estão distribuídos pela área da bacia, sendo muitas vezes difíceis de definir com precisão; constituindo peças a nível micro-territorial.

A bacia do rio Águeda é uma região de fronteira e os sistemas de transporte e infra estruturas têm três etapas de Espanha para Portugal: Ponte Internacional Vega Terrón, Vilarformoso - Fuentes de Oñoro e Alberguería de Argañán. Esta condições "periféricas" afetam o nível de conectividade e densidade de transportes.

A "Autovía de Castilla" que efetua a ligação

entre Salamanca - Ciudad Rodrigo - Fuentes de Oñoro, é a principal via de comunicação, por estrada, na bacia do rio Águeda, sendo de grande importância pois permite a comunicação entre Portugal e Espanha. A linha ferroviária entre Salamanca e Fuentes de Oñoro, por sua vez, deverá ser melhorada, pois afetará diretamente a ligação ferroviária com Portugal, fundamental para o desenvolvimento de Portugal e Espanha. A melhoria desta linha poderia mesmo ser relevante para toda a zona oeste da Península.

De salientar, que a recuperação da rede ferroviária que entre La Fregeneda e Barca D'Alva, para fins turísticos, contribuiria para o desenvolvimento de uma das zonas mais desfavorecidas da bacia, para além de beneficiar o desenvolvimento do porto de Vega Terrón.



Autoestrada E-80 na bacia do rio Águeda



Porto de Vega Terrón e ponte internacional da linha ferroviária de “La Fregeneda – Barca D’Alva”

Numa perspetiva global, a maioria da população da bacia hidrográfica do rio Águeda pode ser servida por transportes públicos. Contudo, para um desenvolvimento sócio económico da região é fundamental criar ou melhorar redes complementares de transportes (e.g., mini autocarros), para apoio escolar, de saúde e logístico, com destino para os centros populacionais onde decorrem estes serviços.

As infra estruturas de telecomunicações têm assistido a uma poderosa expansão, sendo bastante provável que a privatização destes serviços possa aumentar os efeitos dos desequilíbrios regionais; embora o desenvolvimento das telecomunicações produza efeitos favoráveis na sua globalidade. A oferta de serviços avançados de telecomunicações é uma das fórmulas apropriadas para a integração e desenvolvimento de uma área, pois com baixos custos de manutenção, podem ser conectadas relações comerciais e/ou pessoal com o mundo. O desenvolvimento das telecomunicações, é uma questão de primordial importância para a bacia do rio Águeda.

Os locais destinados à produção de energia, nomeadamente eólica através de aerogeradores, correspondem a zonas topográficas mais elevadas, de extraordinária delicadeza ambiental e paisagística. As instalações destas estruturas promovem um considerável impacto visual e efeitos sonoros consideráveis; podendo ter consequências graves para a qualidade do ambiente não só a nível local como também em áreas afastadas.

Assim sendo, as áreas a selecionar devem ter um elevado potencial para o aproveita-

mento da energia eólica, onde a exploração assuma garantias de minimização dos impactos ambientais e paisagísticos associados e nunca irreparáveis. A concentração de parques eólicos, em qualquer caso, deve ser evitada e o projeto de implementação deve ser acompanhado de outras medidas e projetos adicionais para controlar o impacto visual e ambientais decorrentes da instalação, uma vez que as áreas de maior potencial eólico coincidem com espaços ambientalmente sensíveis e de interesse cénico. Os projetos apresentados, além de um estudo completo de impacto ambiental, deverão conter uma avaliação técnica e económica, medidas de controle e projetos complementares corretivos, preventivos e compensatórios. Este estudo deve prestar especial atenção às normas de planeamento, recursos naturais e da paisagem, e presença de outros parques eólicos e instalações de telecomunicações próximas.

Nas infra estruturas de água e qualidade ambiental, é necessário considerar que, de uma forma global, a bacia do rio Águeda possui medidas e ações regionais e locais que possibilitam uma melhoria significativa no abastecimento urbano de água e controle sanitário em toda a área. Mesmo assim, parece apropriado considerar as aplicações que podem ser dadas às águas residuais da ETAR; desde atividades agrícolas, irrigação (e.g., parques, jardins, estradas, campos de golfe), indústria (e.g., arrefecimento de caldeiras e processos), sem desvalorizar os potenciais problemas de reutilização da água (e.g., efeitos da qualidade da água nas culturas e problemas de saúde do solo, possível contaminação das águas subterâneas).



Campo de cultivo na “vega” de Ciudad Rodrigo

As políticas atuais sobre os resíduos pretendem evitar, ou reduzir, a sua produção e minimizar os seus impactos. Como evitar a produção é geralmente impossível, uma vez produzidos, pode ser transformado o excesso de elemento sem valor em um recurso útil e valioso para qualquer setor. Além disso, quase todos os resíduos que vão esgotos urbanos são matéria orgânica. As lamas residuais podem posteriormente ser utilizadas como corretores ou fertilizantes para melhorar e aumentar os rendimentos agrícolas ou em jardins e parques.

A bacia hidrográfica do rio Águeda possui diversas características, sem dúvida, muito importantes do ponto de vista do seu caráter e identidade, como sejam as decorrentes da extraordinária diversidade do ambiente físico, incluindo espaços altamente diferenciados, embora a nível microterritorial pudessem ser mais diferenciados. Estes espaços têm sido historicamente marcados não só pelos seus meios e recursos, mas também pela natureza

da sua exploração económica, o desenvolvimento populacional e acumulação de um histórico de experiências e formas culturais, oferecendo um rico e variado património.

Num território como a bacia hidrográfica do rio Águeda, com uma fraqueza estrutural e desequilíbrios territoriais, é fundamental adotar uma estratégia para mobilizar todos os recursos que podem oferecer algumas potencialidades, apoiada nos princípios de sustentabilidade e de preservação. Assim, um futuro design do modelo territorial deve considerar pontos num sistema urbano secundário, sendo necessário promover estratégias que suportam valores ambientais, paisagísticos e culturais. Neste contexto, a proteção de áreas naturais da bacia deve ser entendida como uma forma de preservar a cultura e qualidade de vida das populações para o futuro.

Nos últimos anos, a nota dominante da ocupação humana do território tem sido marcada pela deterioração de dois problemas fun-



Resíduos urbanos incontrolados nas proximidades de núcleos rurais



Fuenteguinaldo

damentais: o envelhecimento da população e o desequilíbrio na distribuição populacional. Este desequilíbrio populacional entre as áreas rurais e urbanas, implica a existência de uma economia fraca, ineficaz, sem produzir um crescimento populacional estável e impossi-

bilitando a sua correção. As atividades agro pecuárias existentes na bacia hidrográfica do rio Águeda sugerem um baixo desempenho económico; comprovado pela sua reduzida diversificação.

A diminuição da população que trabalha na agricultura não se traduz em uma maior industrialização na área da bacia, mas num sobredimensionamento no setor de Serviços. Esta tendência, como observado em anos anteriores, afeta o desequilíbrio na distribuição do emprego, o que se reflete inevitavelmente numa ocupação territorial concentrada nas

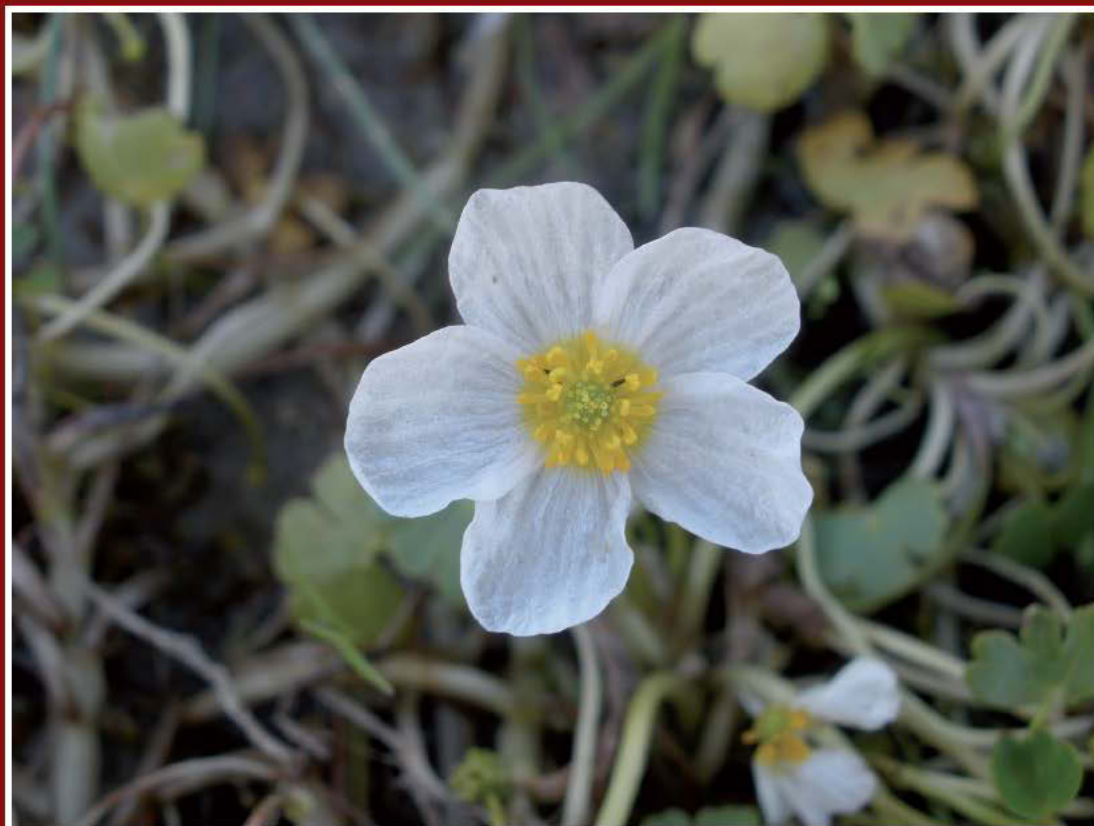
áreas urbanas dos centros mais importantes, Ciudad Rodrigo na área da bacia, e Almeida e Vitigudino como centros vizinhos e influentes, com despovoamento das áreas rurais. A área sul da bacia, é talvez a mais sensível, com um acentuado envelhecimento e diminuição da população, e, ao mesmo tempo, sem iniciativas francamente atrativas.

Referências

- Albuquerque M.T.D., Sanz G., Oliveira S.F., Martínez-Alegría R., Antunes I.M.H.R. 2013. Spatio-Temporal Groundwater Vulnerability Assessment - A Coupled Remote Sensing and GIS Approach for Historical Land Cover Reconstruction. *Water Resource Management* 27: 4509-4526.
- Aller L., Bennet T., Lehr J.H., Petty R.J., Hackett G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. In: U.S. Environmental Protection Agency (Eds.). EPA/600/2-87/035. Oklahoma.
- CE. 2007. Directiva 2007/2/CE de 14 de Março de 2007.
- Diário da República. 2009. Decreto Regulamentar n.º 10/2009 de 29 de Maio. Portugal.
- Ribeiro L., Serra E., Paralta E., Nascimento J. 2003. Nitrate pollution in hardrock formations: Vulnerability and risk evaluation by geomathematical methods in Serpa-Brinches aquifer (South Portugal). In: Krasny J., Hrkal Z., Bruthans J. (Eds.) *Proceedings of International Conference on Groundwater in Fractured Rocks*. Prague, Czech Republic, pp. 377-378.
- Stigter T.Y., Ribeiro L., Carvalho D.A.M.M. 2006. Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies - two Portuguese case studies. *Journal of Hydrology* 327: 578-591.
- UE (União Europeia). 2010. Regulamento (UE) N.º 1089/2010 de 23 de Novembro de 2010.



De izquierda a derecha: Fátima Seco, Sandrina de Oliveira, Teresa Albuquerque, Margarida Antunes, Natália Roque, Luísa Nunes.



Servicio
de Publicaciones



Universidad Europea
Miguel de Cervantes



Universidad Europea
Miguel de Cervantes



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGÍA DE SALAMANCA
(IRNAS)



Instituto Politécnico
de Castelo Branco