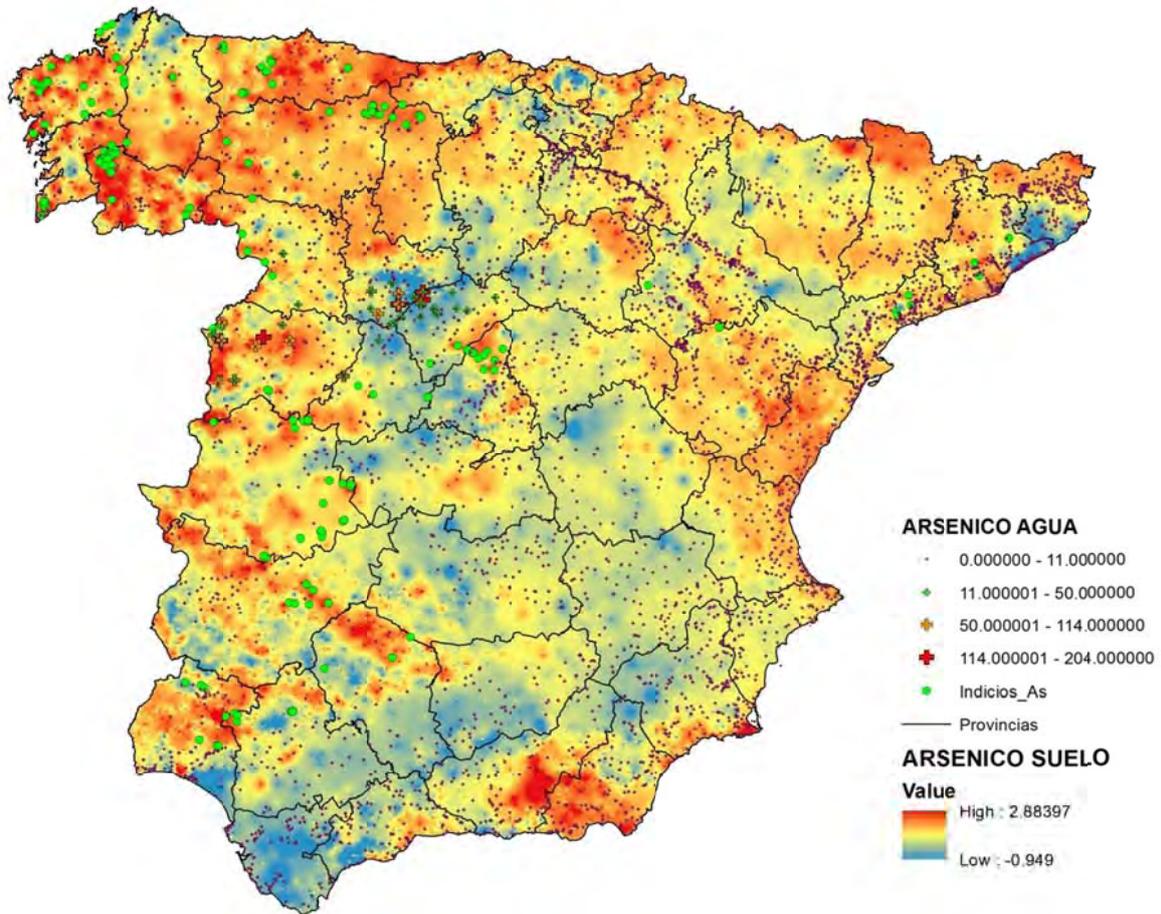


ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN SUELO-AGUAS SUBTERRÁNEAS.

MEJORA DE LA PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

Ref: 2304



INFORME FINAL DEL PROYECTO SOILWATER

Equipo de Trabajo:

Juan Antonio Luque Espinar (responsable)

Juan Grima Olmedo

Eulogio Pardo Igúzquiza

Sandra Martínez Romero

Jorge Jiménez Sánchez

Síntesis de los logros del proyecto (en relación con los objetivos)

En general, los logros del proyecto se pueden sintetizar en tres bloques:

a) Divulgación de resultados

El trabajo realizado en este proyecto se ha divulgado en congresos nacionales e internacionales así como en revistas de carácter nacional e internacional, además algunos de los aspectos más relevantes del mismo se presentaron en la I JORNADA DE GEOLOGÍA MÉDICA EN ESPAÑA, celebrada el 19 de septiembre de 2016 en Salamanca. En el 2015 se hizo también una presentación del proyecto en un workshop organizado en la Universidad de Perugia por el Departamento de Hidrogeología y Geología Aplicada. Igualmente, se ha utilizado parte de esta información en las clases del master GEOREC que se imparte en la Universidad de Granada. En conjunto, seis publicaciones internacionales y dos nacionales, además hay otra en revisión en la revista STOTEN.

b) Base de datos y mapas temáticos

La organización de la base de datos ha consumido mucho tiempo, especialmente la información proporcionada por el MAGRAMA pues la estructura y falta de relación entre tablas no hacía viable su uso en el formato original. En general, la información experimental del Proyecto está integrada por la base de datos de calidad de aguas subterráneas del MAGRAMA, como ya se ha mencionado, y por 25 parámetros geoquímicos procedentes del horizonte superficial del suelo del Atlas Geoquímico de España. A esta información hay que añadir la información del GEODE que ha sido reclasificada y el SIOSE que se ha simplificado y organizado con objetivos hidrogeológicos y medioambientales. Los casi 100 parámetros entre aguas subterráneas y suelos se han representado en su mayor parte en mapas temáticos, estos últimos mediante técnicas geoestadísticas debido a que su naturaleza así lo ha permitido.

c) Líneas de trabajo iniciadas

Dada la importante base de datos resultante, hay bastantes elementos o enfoques de análisis de problemas para los que no ha habido tiempo de abordar por lo que sería deseable bien con proyectos internos o con financiación externa continuar con los mismos. Todas estas líneas de trabajo se han abordado o abordarían a escala peninsular. Presenta especial relevancia la Geología Médica por ser, quizá, las más novedosa y que recientemente por iniciativa de investigadores del IGME se ha creado el capítulo español de la International Medical Geology Association of (IMGA).

1. Caracterización hidrogeoquímica y medioambiental de los acuíferos.

Una vez organizada la base de datos y depurados posibles errores, se seleccionaron los datos correspondientes a la península como unidad continua de trabajo. Por otra parte, aunque la base de datos tiene análisis que se remontan a los años 50, con cerca de 1,5 millones de registros en el formato original de dicha base, se decidió trabajar con la información hidroquímica a partir de la entrada en vigor de la Directiva Marco, año 2000.

Con objeto de tener una visión sintética y rápida de la calidad de las masas de agua subterráneas (MASb), se han representado los parámetros según tres criterios: valores máximos (Fig. 1), valores más frecuentes (Fig. 2) y rango de variación (Fig. 3). De esta forma, se pretende identificar las masas de agua que presentan algún tipo de problema debido a valores elevados o fluctuaciones que puedan indicar problemas de contaminación. A continuación se muestra un ejemplo con el arsénico. En estas figuras se muestra con claridad las MASb que tienen los problemas más importantes relacionados con este elemento tan contaminante. El valor inferior es el límite de cuantificación (0.00005 mg/L) y en ningún caso se muestran puntos con valores de sólo detección. Cuando no hay cuantificación se ha considerado que no se había analizado para la fecha o punto correspondiente.

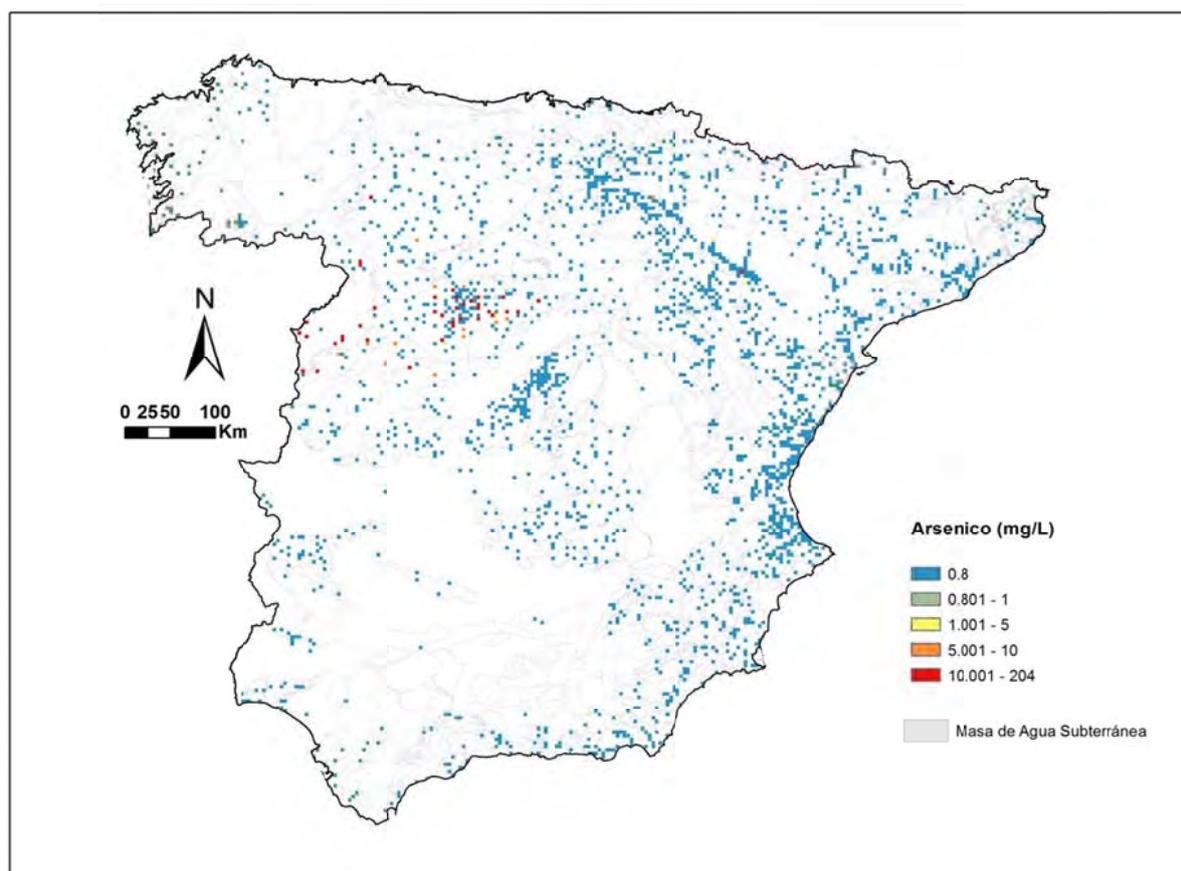


Fig. 1. Valores máximos de arsénico en las MASb.

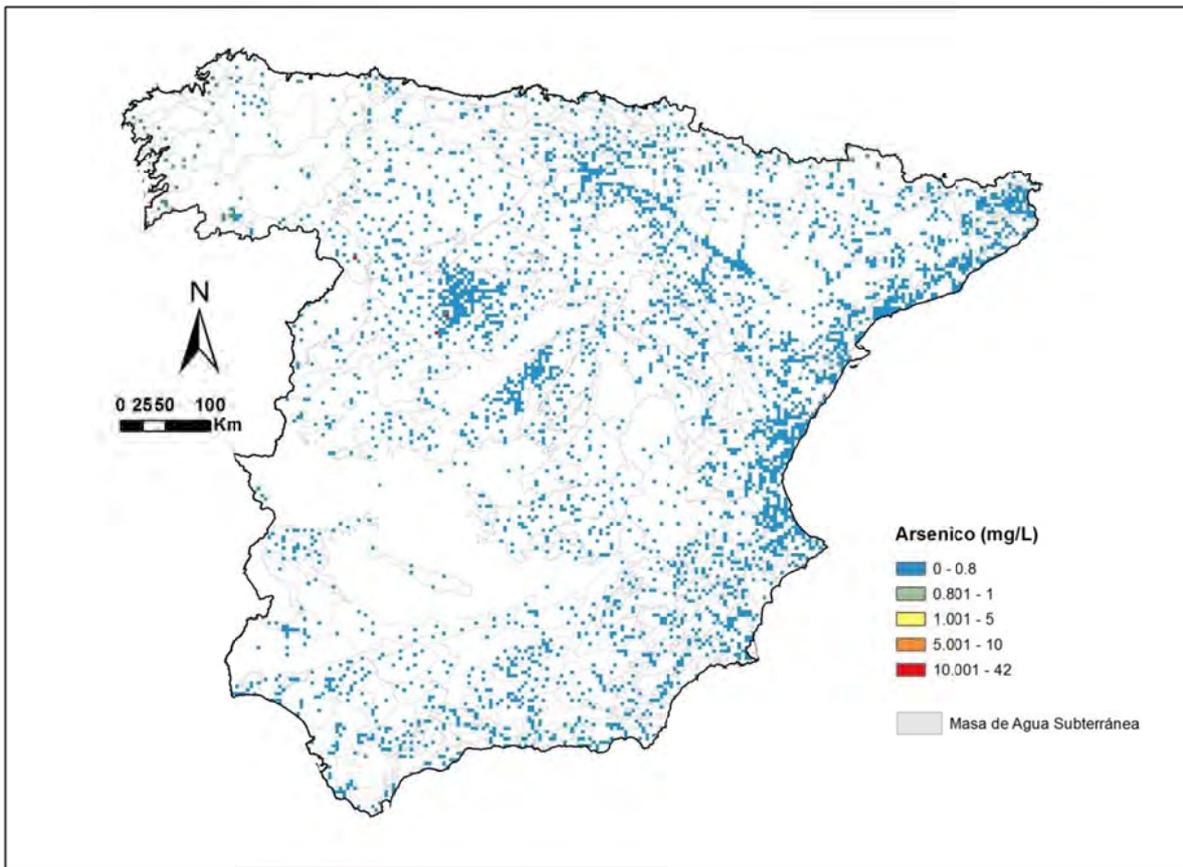


Fig. 2. Valores más frecuentes de arsénico en las MASb.

El rango de variación de los parámetros muestra con mayor claridad las MASb donde las fluctuaciones de los parámetros pueden tener relación con algún proceso de alteración de la calidad natural de las aguas subterráneas. En este caso son especialmente significativos algunos valores observados en MASb del Duero donde, por otra parte, se sabe que este elemento presenta problemas desde hace años.

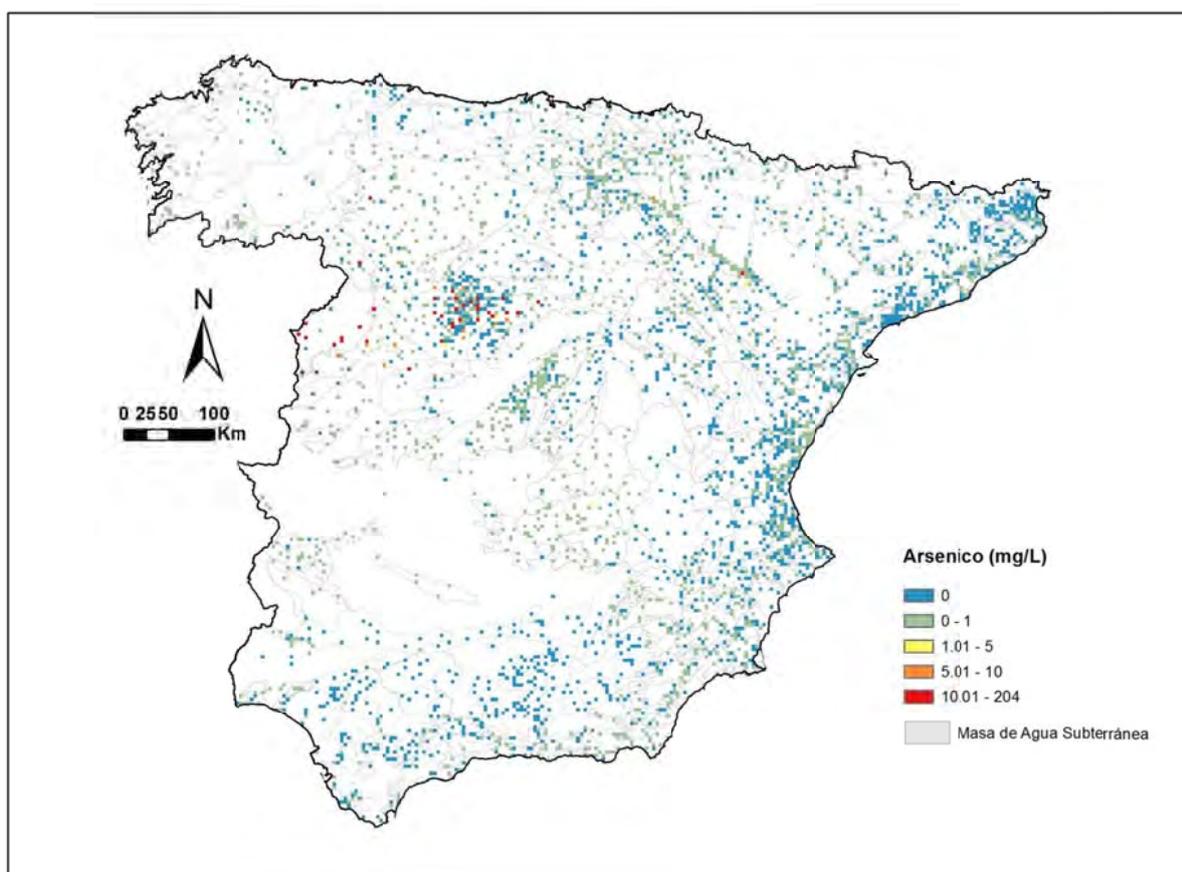


Fig. 3. Valores del rango de variación de arsénico en las MASb.

Además de a escala de MASb, también se ha verificado el comportamiento de la calidad de los parámetros a escala de demarcación (Fig. 4). Se ha comprobado que muchos parámetros, al igual que con el arsénico, se puede hablar de fondos hidroquímicos con características diferentes. Esto se muestra con bastante claridad al comparar Duero o Tajo con el Júcar. De igual forma, a escala de demarcación también se pueden observar agrupaciones o categorías diferentes o, como en el caso del Ebro, heterogeneidad en el comportamiento espacial.

Dado que los valores de este parámetro presentan valores con diferencias de varios órdenes de magnitud, también se ha representado la distribución espacial del mismo como logaritmo en base 10 (Fig. 5). El objeto de esta transformación ha sido que el histograma de frecuencias presentara menos sesgo y, quizá, aportara mayor información en relación con dicha distribución.

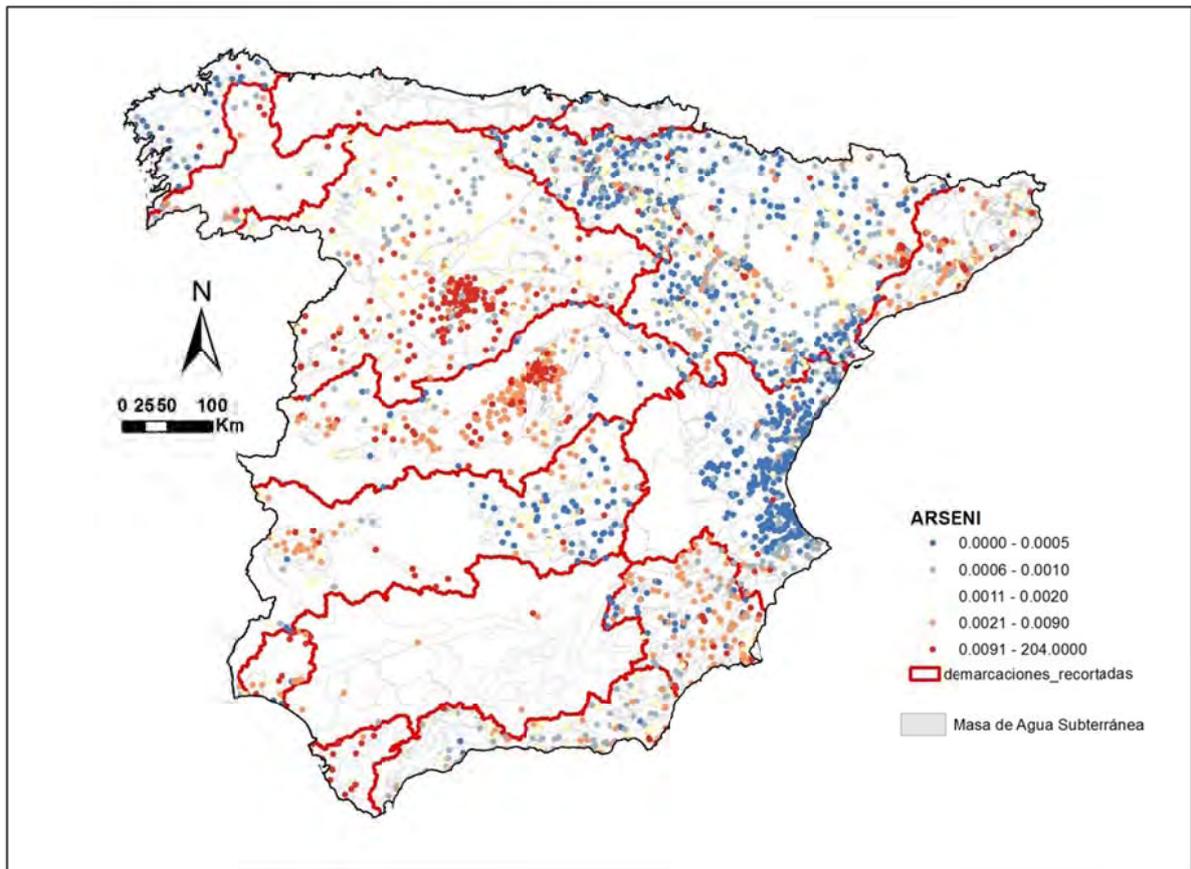


Fig. 4. Distribución del arsénico sin transformaciones.

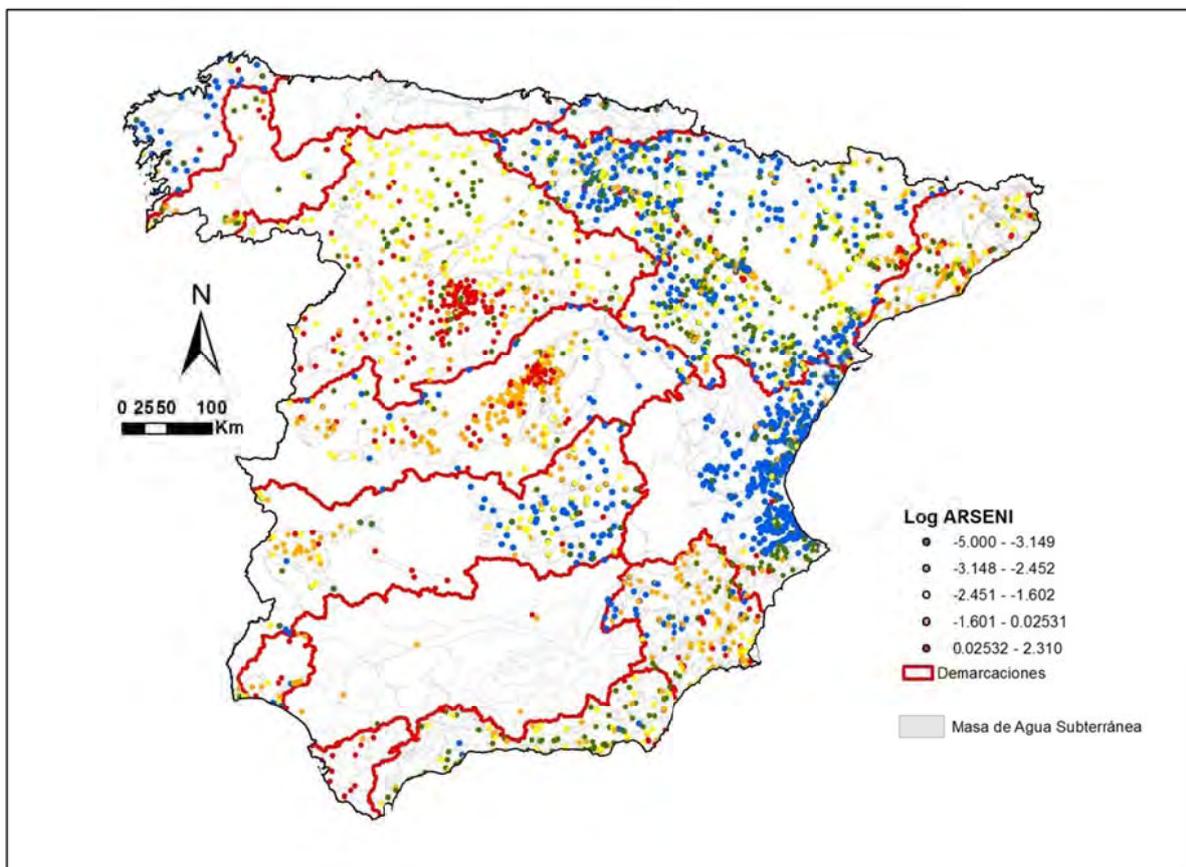


Fig. 5. Distribución del arsénico de acuerdo con el logaritmo en base 10 de la concentración.

Pero el conocimiento de las variables de calidad del acuífero también se debe ligar a la disponibilidad de los municipios que tengan o pueden tener potencialmente para explotar las MASb para abastecimiento u otros fines. En este sentido se han realizado mapas por municipio de la calidad de las aguas subterráneas tal y como se muestra a continuación (Fig. 6).

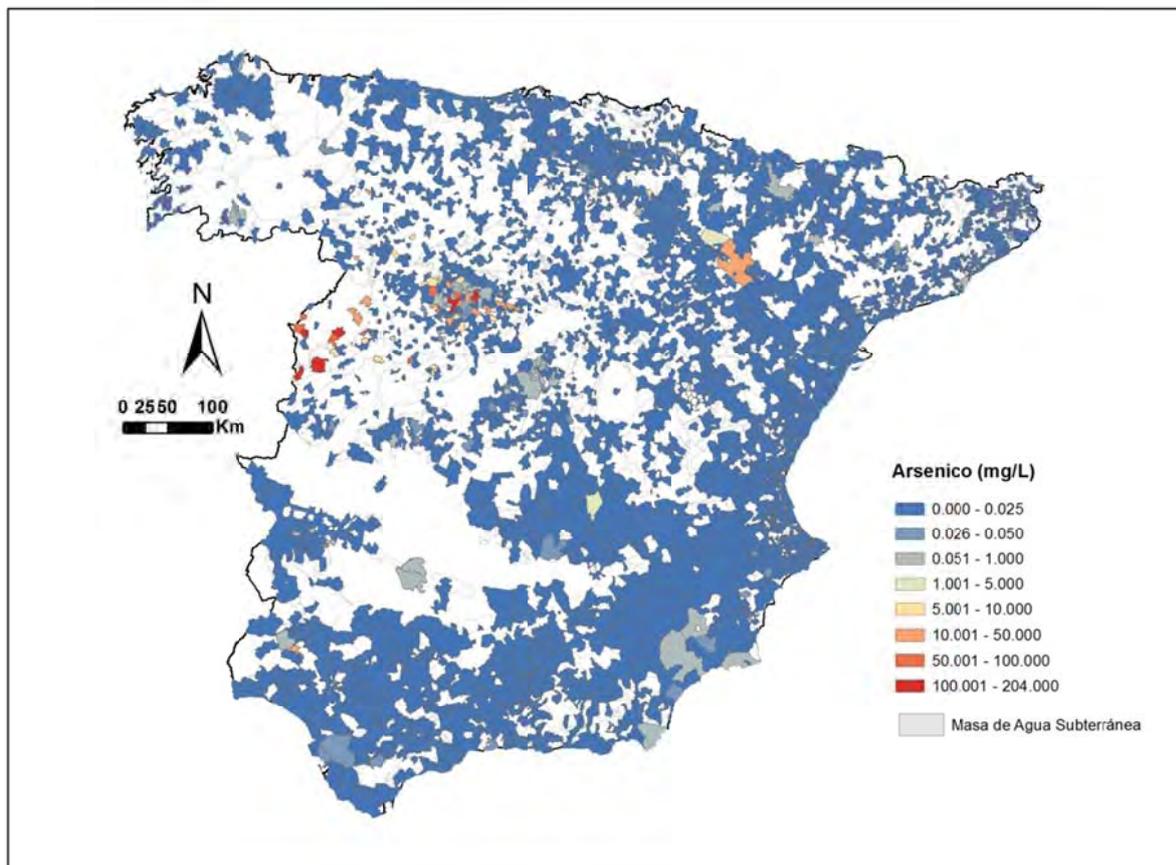


Fig. 6. Valores máximos en aguas subterráneas ligadas a MASb registrados en los municipios.

Desde el punto de vista del suelo, la metodología de trabajo ha sido equivalente en muchos aspectos. En este sentido, antes de aplicar técnicas geoestadísticas de estimación espacial, se determinó la distribución de valores máximos basados en el percentil 10, tal y como muestra la figura 7.

Una vez estimada la distribución espacial de los elementos también se puede obtener el valor medio u otro estadístico resumen para el municipio (Fig. 8). El valor expresado en la figura 8 es el logaritmo en base 10 de la concentración en mg/Kg de As en el suelo.

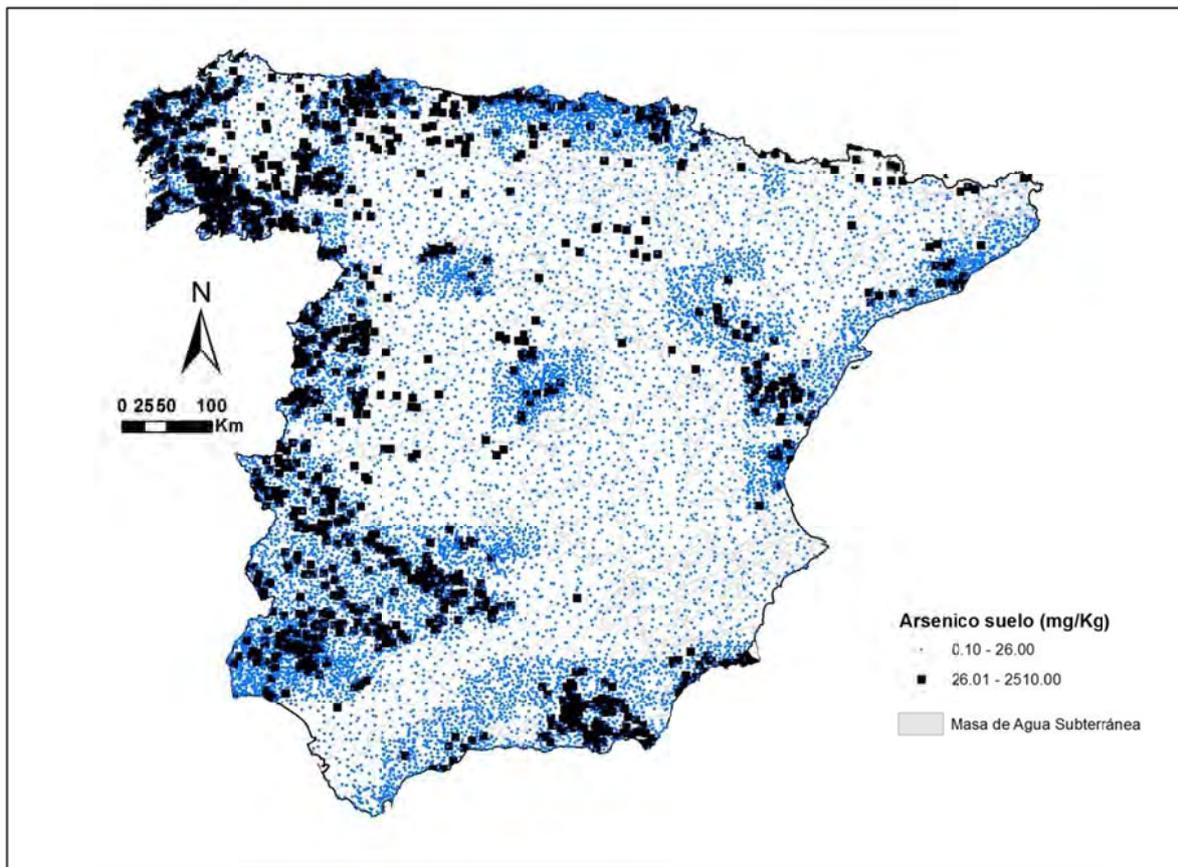


Fig. 7. Valores de arsénico en el suelo por encima del percentil 90.

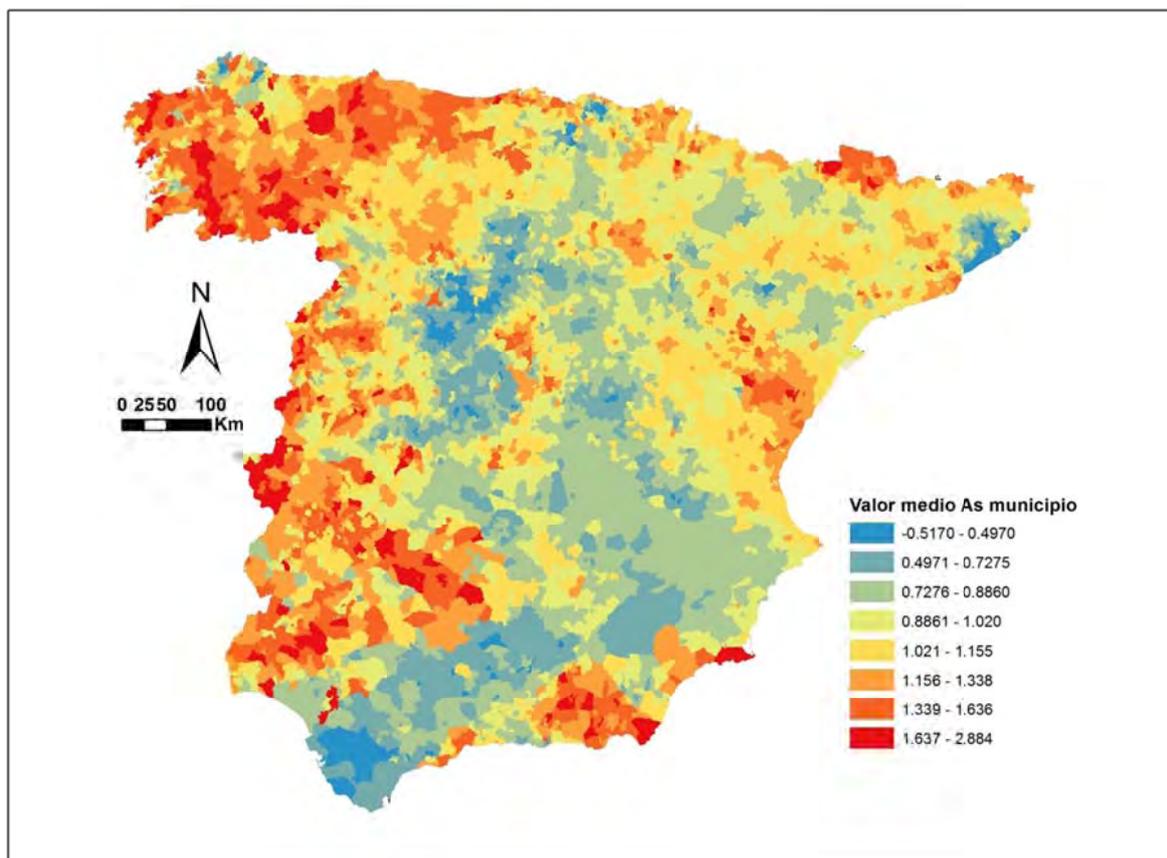


Fig. 8. Valor medio del arsénico en el suelo para cada municipio.

2. Implementación del sistema de información.

Toda la información del proyecto tanto experimental numérica como no numérica tiene como espacio natural de trabajo y gestión el SIG que dada la complejidad y volumen de información ha sido necesario crear un proyecto para cada problema que se ha analizado. En este sentido, toda la información se ha orientado desde el principio para ser gestionada y analizada en este entorno.

En sentido amplio, la información utilizada se puede clasificar en dos categorías:

- a) Principal
- b) Secundaria

- a) Principal

Esta información está compuesta por los datos geoquímicos del suelo y la composición de las aguas subterráneas del MAGRAMA. Los datos geoquímicos del suelo procedentes del Atlas Geoquímico de España (Locutura Rupérez J, Bellan Ballester A, García-Cortés A, Martínez Romero S. 2012. Atlas Geoquímico de España. Madrid, 592 p.) no necesitaron revisión o cambio de formato aunque posteriormente se trabajó, en general, con una transformación logarítmica en base 10. Los datos geoquímicos se entregaron en formato Excel que suponen más de 13 mil registros (figura 7).

Por el contrario, la base de datos del MAGRAMA disponía de infinidad de tablas, muchas de ellas sin relación entre sí. Los datos analíticos se encontraban separados en tres tablas y, en conjunto, tenían más de $1,2 \times 10^6$ registros. Fueron necesarias diferentes transformaciones y uniones para que los datos fueran manejables para los objetivos del proyecto. Si bien, una vez organizada la información, la tabla donde se unen todas las analíticas no llega a los 200 mil registros (figura 9).

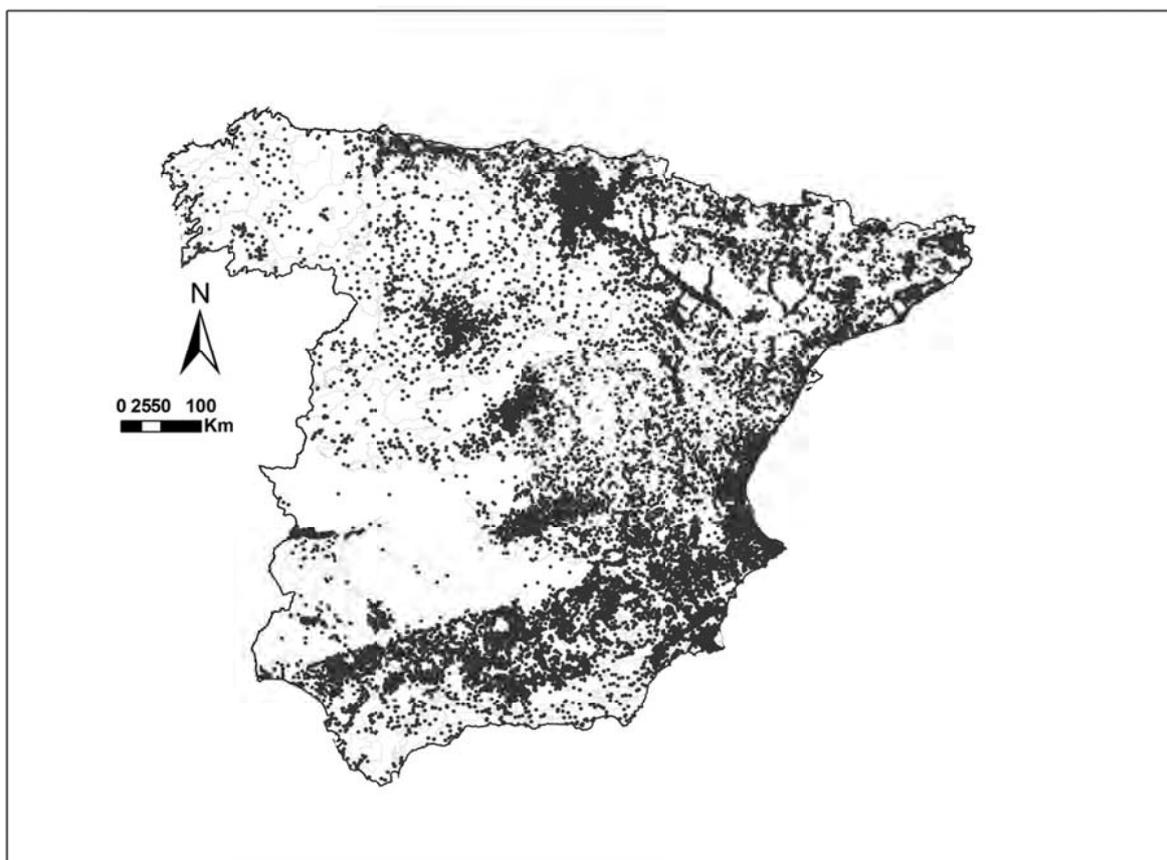


Figura 9. Red de control de calidad de MASb del MAGRAMA.

b) Secundaria

Para la realización del proyecto la geología se ha utilizado con diferentes grados de detalle. La geología que presenta más detalle es la que procede del proyecto GEODE y la que ofrece menos detalle es el mapa 1M (figura 10). Por otra parte, se consideró importante realizar una reclasificación de la cartografía del Geode con objeto de simplificar los términos y que tuviera un enfoque más hidrogeológico (figura 11). No obstante, dado que el GEODE está unido a la reclasificación, se puede hacer cualquier consulta con objeto de extraer algún material de interés como puede ser el estudio de acuíferos carbonáticos.

Además de las capas anteriores, los límites de las MASb también se han utilizado como parte esencial del proyecto. Igualmente, se ha incluido la información de usos del suelo que contiene el SIOSE como elemento de análisis auxiliar. No obstante, debido a la complejidad que presenta el manejo de esta información y analizar todos los datos que contiene en una única tabla no fue viable la utilización en el formato original por lo que se extrajeron aquellos usos que potencialmente podían tener más influencia en el suelo y en la calidad de las aguas subterráneas, en total, 42 usos del suelo distintos.

Otras capas de información que se han incluido en el proyecto son los límites de demarcaciones hidrográficas, términos municipales o el modelo digital de elevaciones de 100m. También se ha incluido información de sobre la minería en España procedente de las bases de datos del IGME, así como límites de Parques Nacionales o Espacios Naturales y humedales.

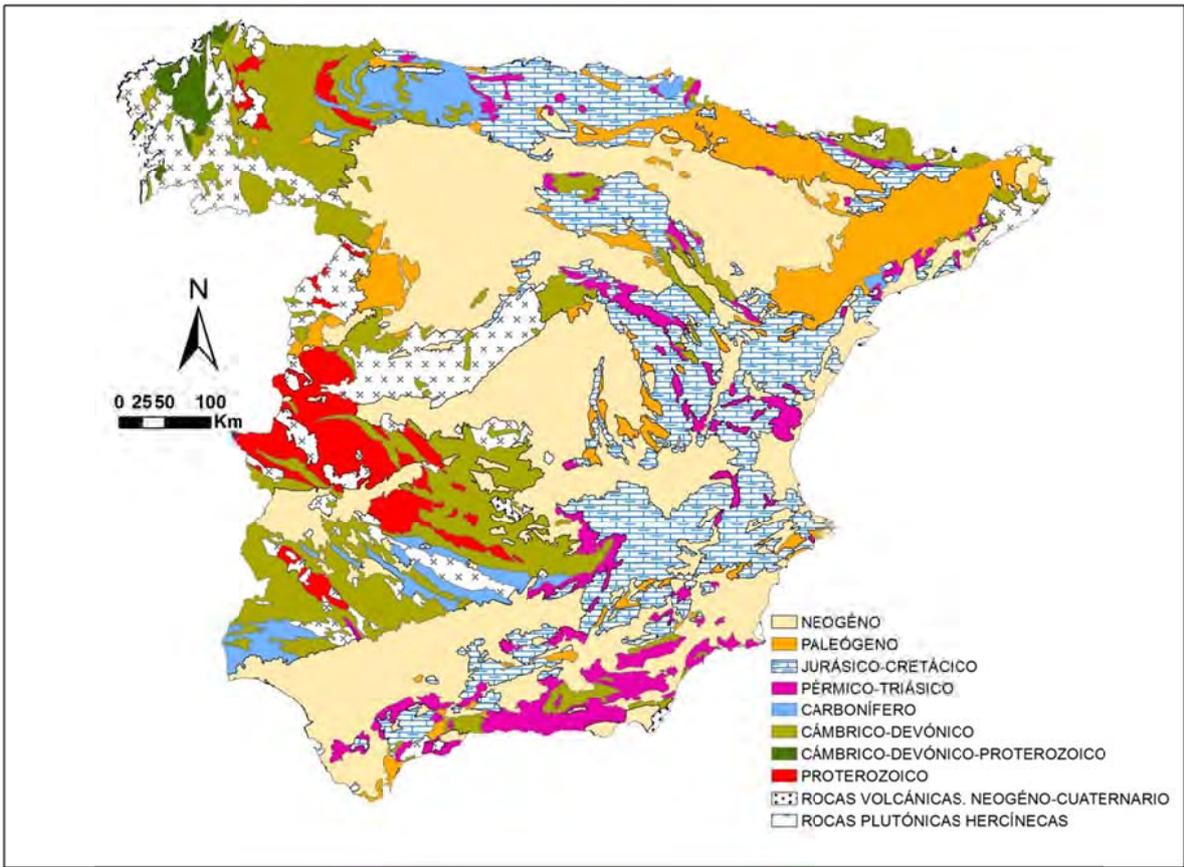


Fig. 10. Mapa geológico 1M.

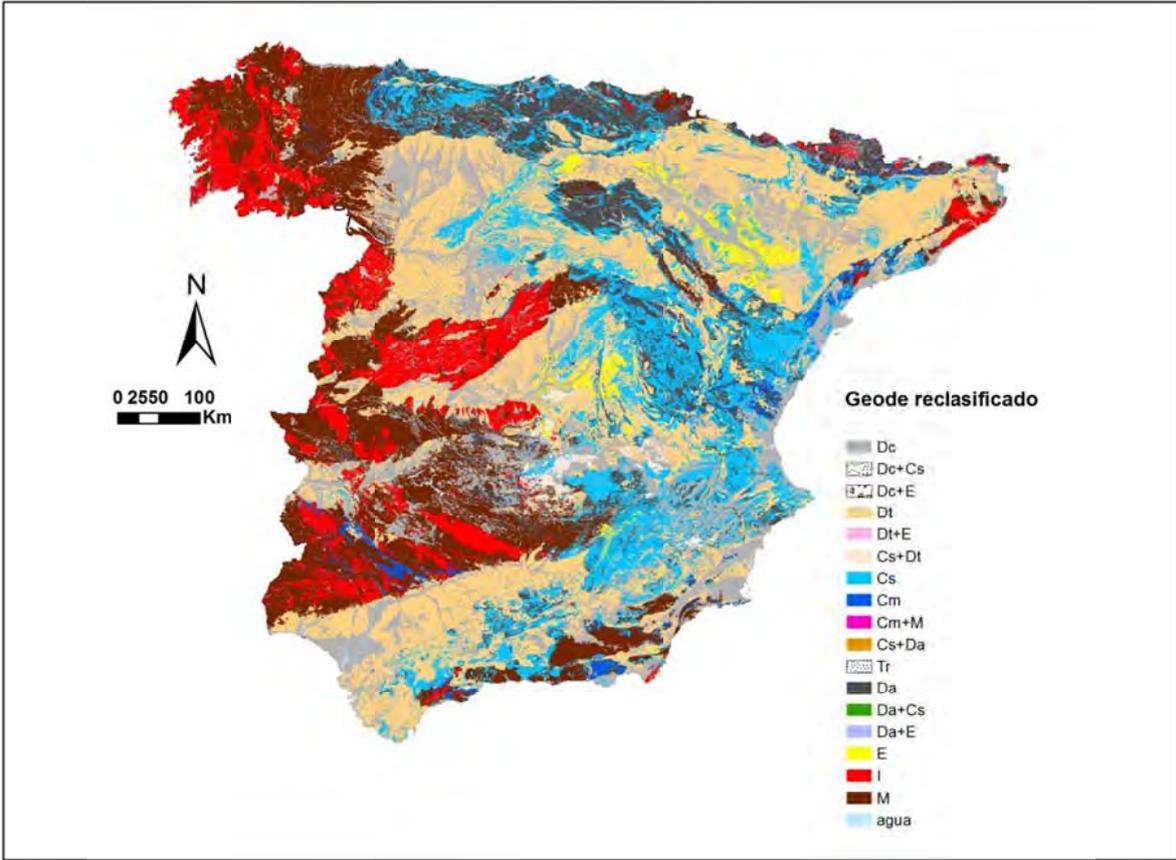


Fig. 11. Reclasificación de la cartografía GEODE. Dc: detrítico cuaternario. Dc+Cs: detrítico cuaternario + caliza sedimentaria. Dc+E: detrítico cuaternario + evaporitas. Dt: detrítico terciario. Dt+E: detrítico terciario + evaporitas. Cs+Dt: carbonato sedimentario + detrítico terciario. Cs: carbonato sedimentario. Cm: carbonato metamórfico. Cm+M: carbonato metamórfico + metamórfico. Cs+Da: carbonato sedimentario + detrítico antiguo. Tr: travertinos. Da: detrítico antiguo (inferior al terciario). Da+Cs: detrítico antiguo + carbonato sedimentario. Da+E: detrítico antiguo + evaporitas. E: evaporitas. I: rocas ígneas en general. M: Metamórfico.

3. Análisis de la información

Las posibilidades de relacionar la calidad de las aguas subterráneas y la composición geoquímica del suelo son muy variadas por lo que desde el principio la información se organizó de forma que se pudiera acceder con facilidad a la misma independientemente del enfoque y sin que necesitara adaptación alguna. En este sentido, el primer análisis consiste únicamente en comprobar la distribución de valores conforme se iban representando, tal y como se ha mostrado en los apartados anteriores.

El análisis de la información se ha hecho tanto para el conjunto del área de trabajo como para otras escalas de representación desde un punto de vista hidrológico o de gestión como son las demarcaciones hidrográficas o las MASb. También se ha hecho para otros ámbitos de trabajo como comunidad autónoma, provincia y municipio. Con este enfoque general, también se utilizó esta información como parte de los documentos que se presentaron para la candidatura como parque nacional de la Sierra de las Nieves y afloramientos de peridotitas.

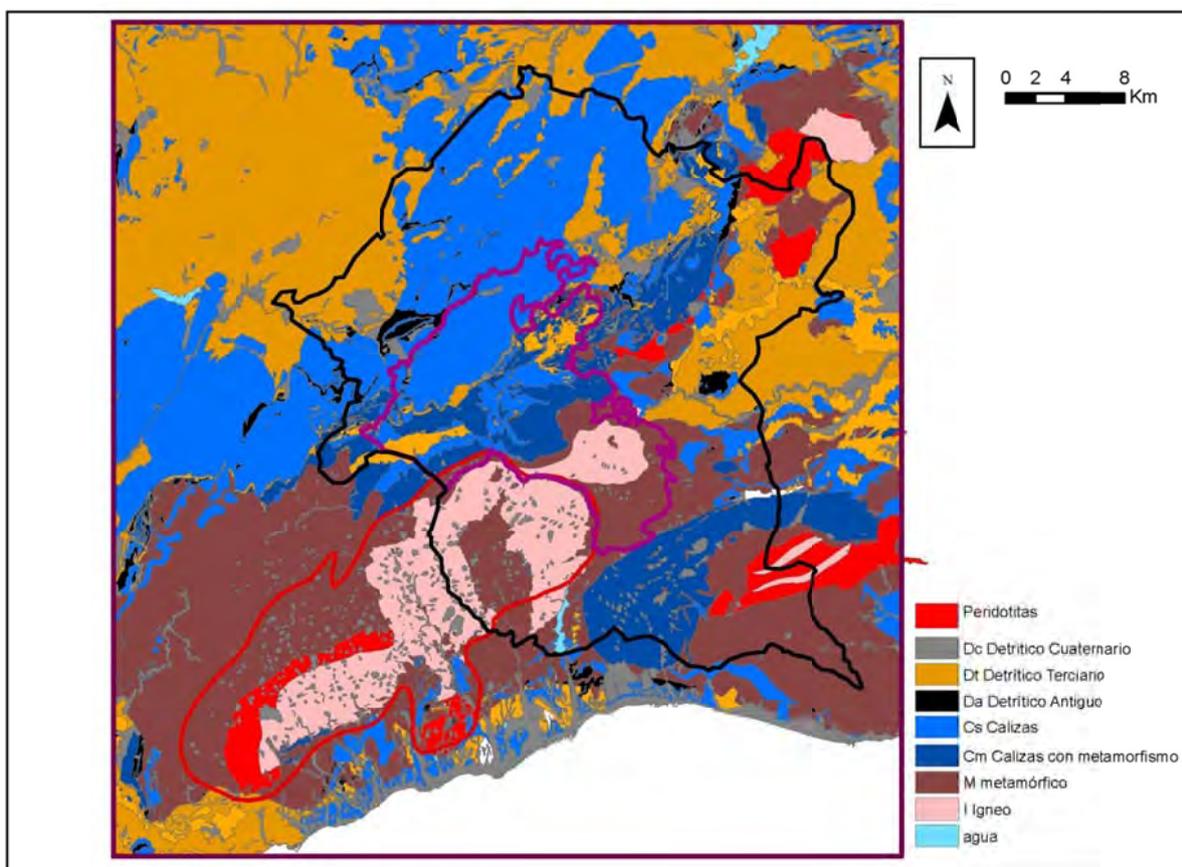


Fig. 12. Geología simplificada del entorno del Parque.

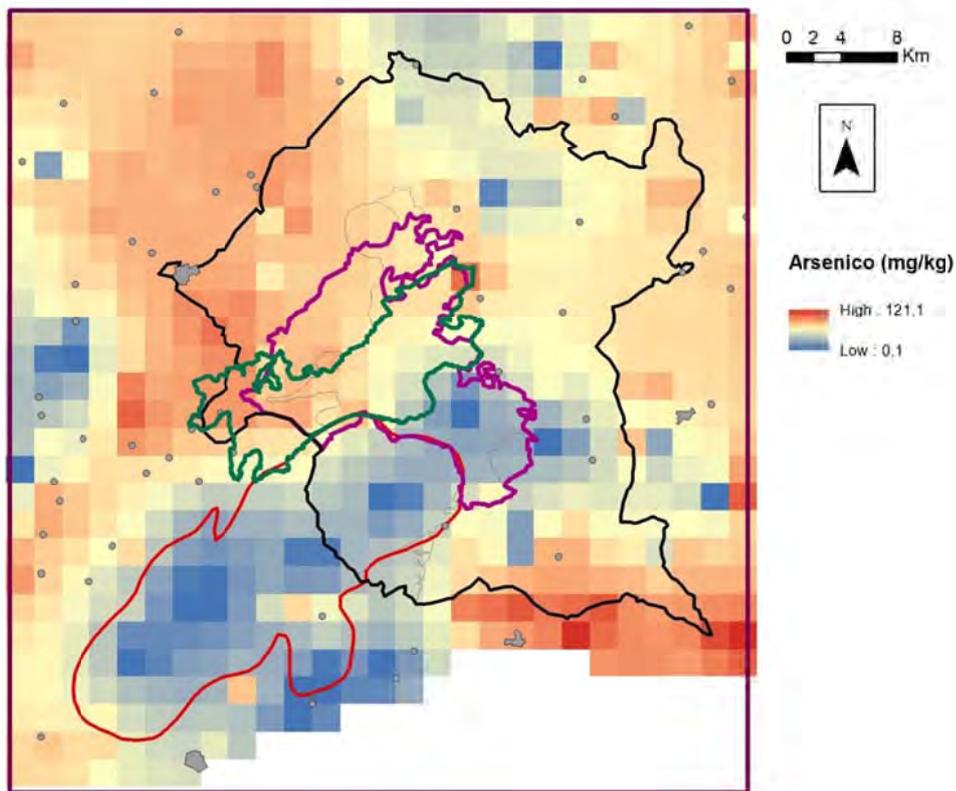


Fig. 13. Distribución de arsénico en el entorno del Parque.

Con el objetivo general del proyecto, se abordaron, además de las líneas de trabajo ya esbozadas, otras tales como: influencia de la minería en las aguas subterráneas (Fig. 14), zonas húmedas como sumideros de elementos pesados (Fig. 15) y otros análisis relacionados con la geología médica.

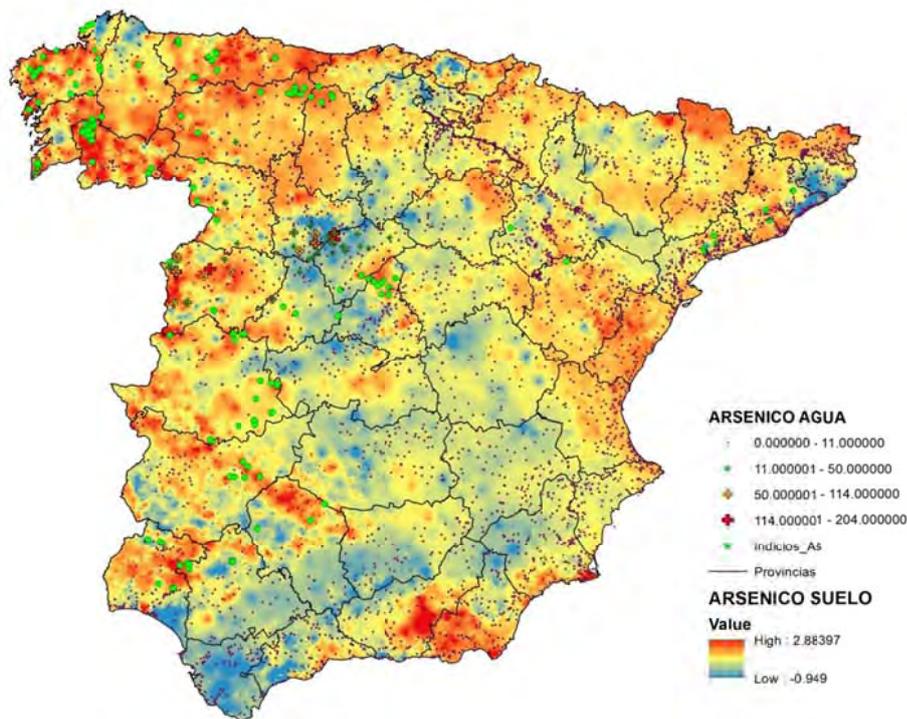


Fig. 14. Representación del contenido de As en el suelo, agua e indicios mineros.

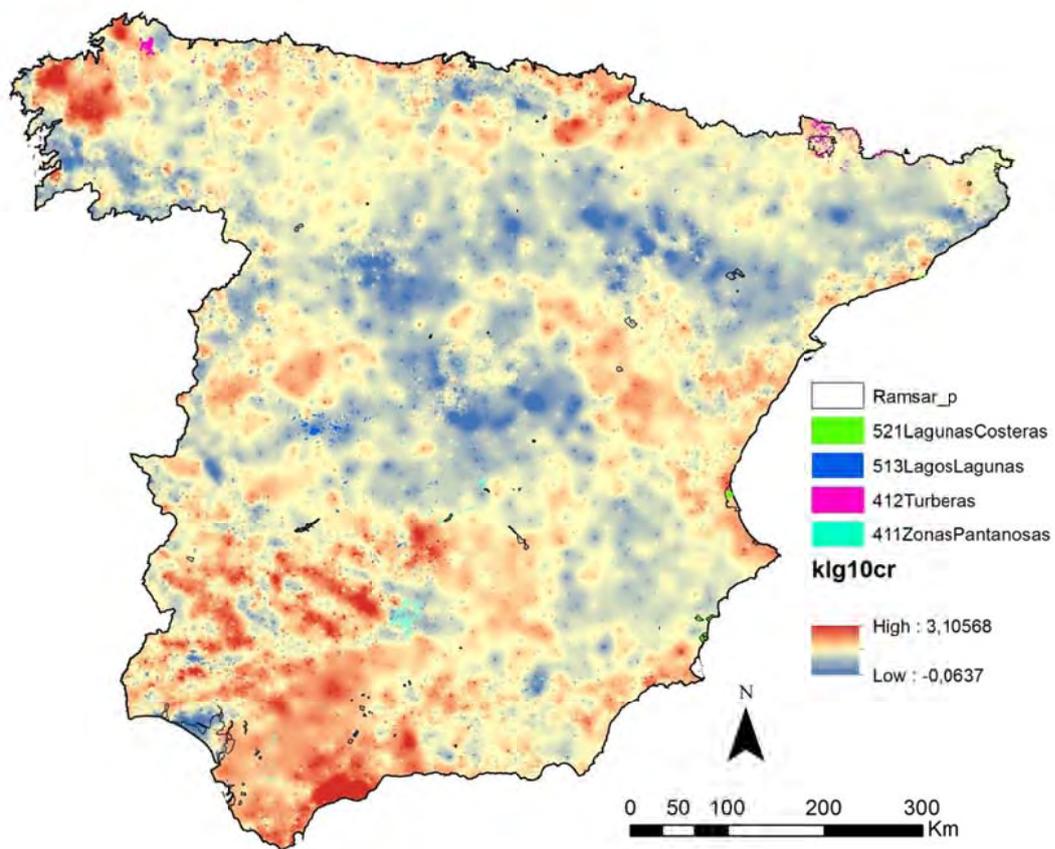


Fig. 14. Representación del contenido de Cr en el suelo y localización de humedales de distinto tipo.

4. Creación de cubiertas de información

Como se ha comentado, los parámetros relacionados con el suelo y el agua se han incorporado al SIG y se han representado en forma de mapas temáticos. Además, de la geología, otras fuentes de información como el SIOSE que se han tenido en cuenta en el análisis. El SIOSE presenta una considerable complejidad y la gran cantidad de información que contiene hace imposible gestionarlo con ordenadores normales. Por esta razón, se extrajeron por separado todos aquellos usos que presentaran interés para los objetivos del proyecto.

Para crear muchas cubiertas de información ha sido necesario utilizar las diferentes herramientas que ofrece ArcGis. Dichas herramientas no sólo se han empleado para representar parámetros como resultado final sino también para fusionar tablas de datos, cubiertas de información o para realizar operaciones entre capas para obtener otras.

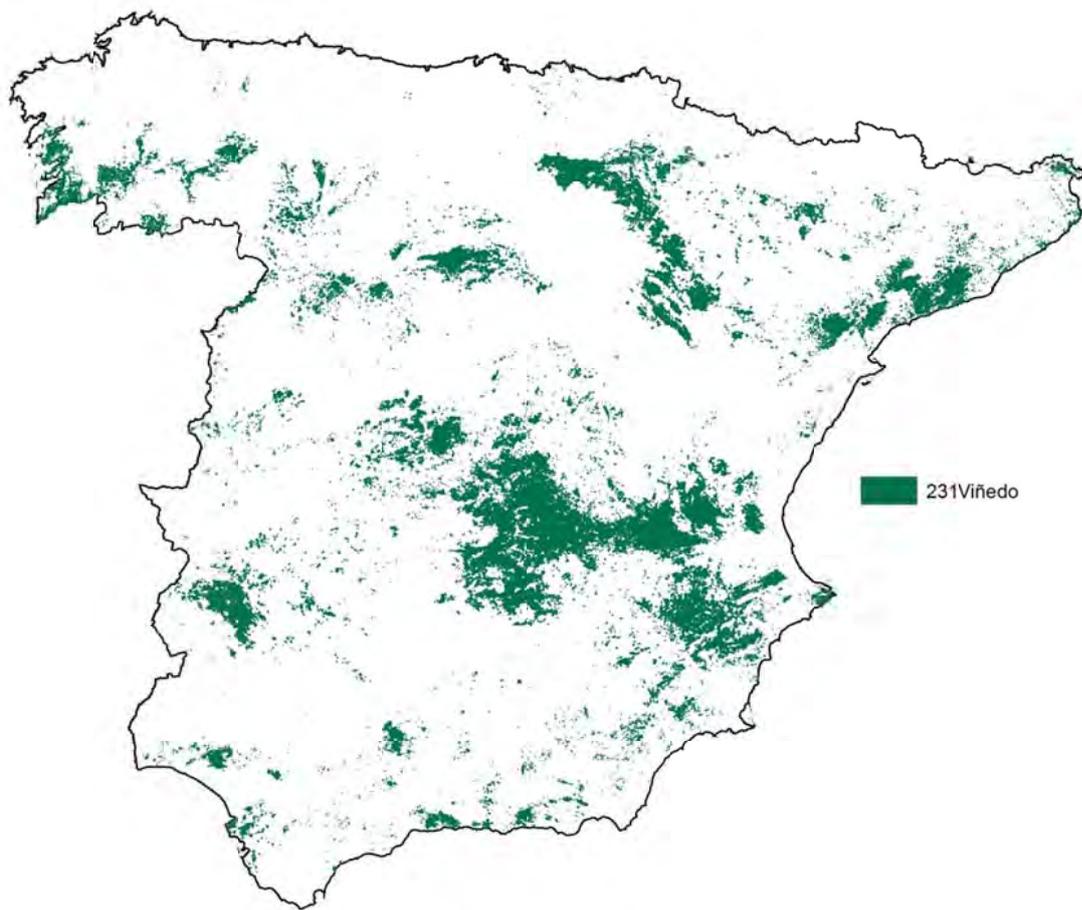


Fig. 15. Ejemplo de cubierta temática extraída del SIOSE.

5. Análisis químicos. Comprobación de resultados

Esta tarea no se ha podido desarrollar en el contexto del proyecto por cuestiones económicas. No obstante, el tratamiento realizado con la información disponible permite definir zonas que potencialmente pueden presentar anomalías o contenidos excesivos en buena parte de los elementos del suelo estudiados como se puede ver en algunas de las figuras que se presentan y en las publicaciones presentadas.

6. Riesgo de contaminación. Aproximación a la vulnerabilidad de acuíferos

Este análisis se ha realizado teniendo en cuenta, esencialmente, la distribución de los elementos en el suelo y en el agua así como otras fuentes potenciales de aportación de los elementos (industria, minería, agricultura,...). Aunque no se ha hecho un análisis amplio para todos los parámetros si se han abordado algunos problemas e incluso se han publicado.

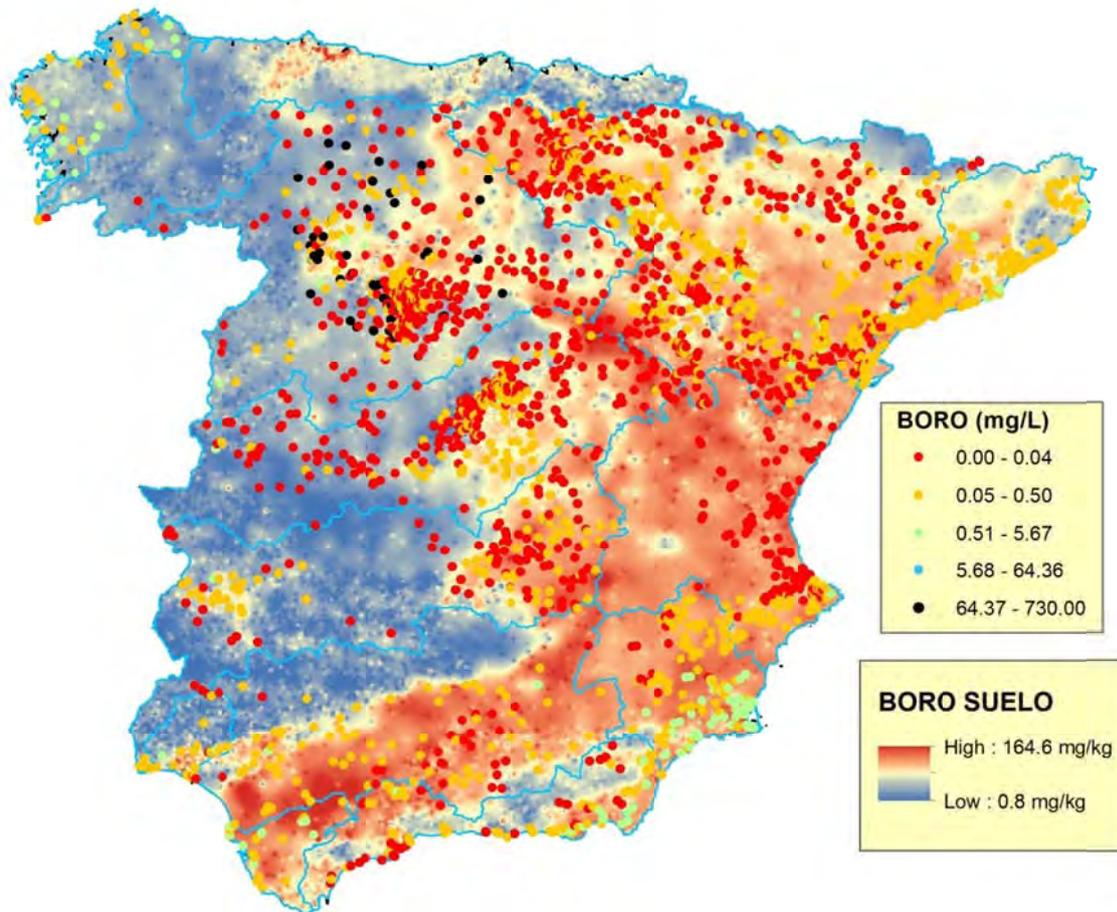


Fig. 16. La distribución de Boro en el suelo indica que amplias zonas superan el promedio de 8 mg/kg. En el agua subterránea presenta importantes anomalías en el Duero.

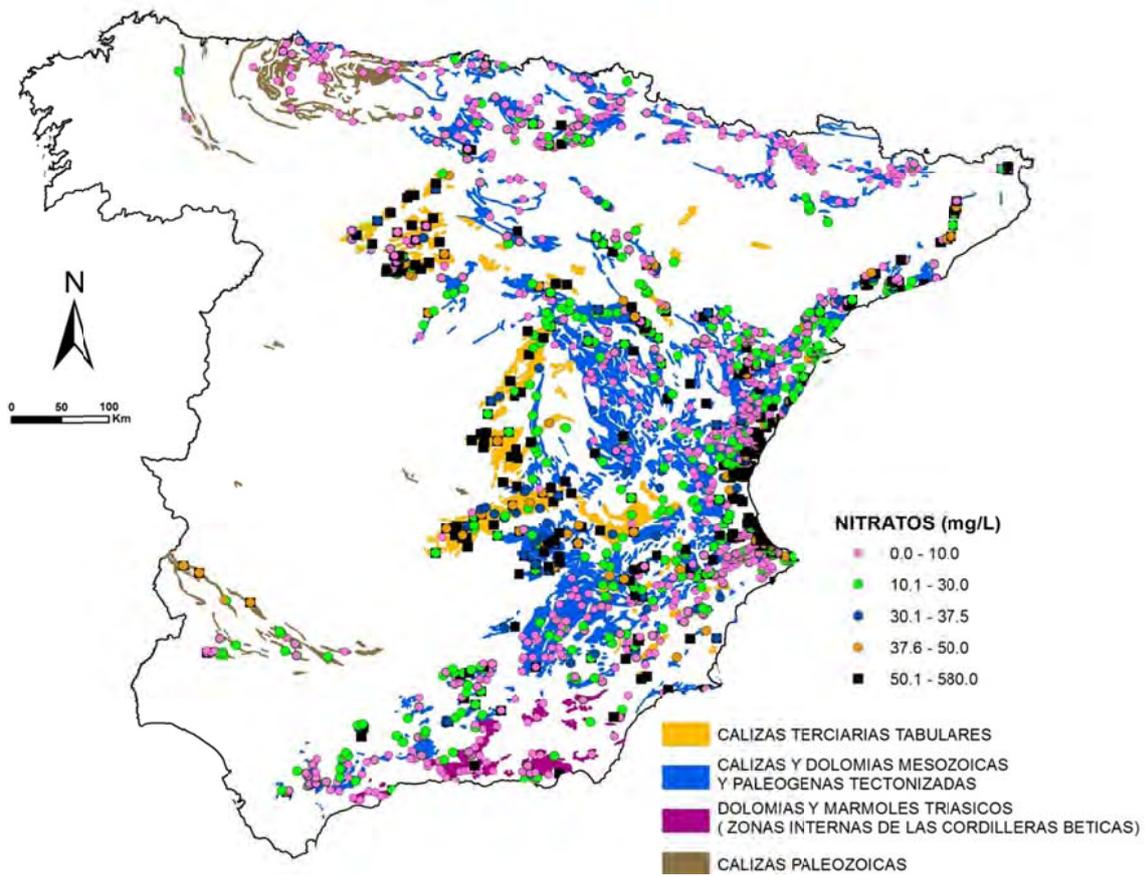


Fig. 18. Por la importancia de los acuíferos carbonatados, se hizo un análisis del impacto de los nitratos en los mismos.

7. Integración SIG

A pesar de la complejidad de la información y la cantidad de registros en algunas tablas (más de 2 millones en algún caso), en general, se ha logrado. Los problemas que se han encontrado están relacionados con las limitaciones de computación de la máquina utilizada pero, como se ha dicho, se ha conseguido de forma satisfactoria.

En este sentido, como se puede comprobar, toda la información ha sido perfectamente integrada en diferentes proyectos atendiendo a la temática y con objeto de que la máquina pudiera manejar de forma aceptable la información. No obstante, algunos análisis no se han podido llevar a cabo debido a los límites mencionados.

Más de 20 proyectos de ArcGis han sido necesarios para llevar a cabo y en conjunto, aunque no todos los archivos se pueden considerar como productos finales, más de 100.000 archivos se han generado.

8. Armonización de cartografías temáticas con otras cartografías europeas.

Toda la información generada cumple con las directivas en materia de cartografías llevadas a cabo con los SIG.