



**PREPARACIÓN DEL MAPA HIDROGEOLÓGICO
DE ESPAÑA A ESCALA 1:200.000,
CONTINUO Y EN FORMATO DIGITAL**

Julio 2009



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Instituto Geológico
y Minero de España

Índice General del Documento

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. CRITERIOS DE REPRESENTACIÓN.....	2
1.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	3
2. MAPA LITOESTRATIGRÁFICO	4
2.1. ZONACIÓN	4
2.2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	5
2.3. LEYENDA ZONAL.....	5
2.4. CARTOGRAFÍA ZONAL	6
2.5. CONFORMACIÓN DE ZONAS (CASES).....	6
2.6. LEYENDA LITOESTRATIGRÁFICA	9
2.7. MAPA LITOESTRATIGRÁFICO.....	13
3. MAPA DE PERMEABILIDADES	15
3.1. LEYENDA DE PERMEABILIDADES	15
3.2. MAPA DE PERMEABILIDADES	16
3.3. REVISIÓN Y CORRECCIÓN DE ERRORES	18
3.4. AJUSTE DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	19
4. MAPA HIDROGEOLÓGICO	21
4.1. LEYENDA HIDROGEOLÓGICA.....	21
4.2. MAPA HIDROGEOLÓGICO.....	22
5. TRATAMIENTO INFORMÁTICO	25
6. APLICACIÓN DE VISUALIZACIÓN DE MAPAS	27
6.1. ESTRUCTURA.....	28
7. BIBLIOGRAFÍA	37

Índice General de Figuras

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE ZONAS DE TRABAJO.....	5
FIGURA 2. CARTOGRAFÍA SÍNTESIS DE LA ZONA 2	6
FIGURA 3. CASES ENTRE LAS SÍNTESIS DE LAS ZONAS 5,6 Y 8.....	7
FIGURA 4. CASE ENTRE LAS SÍNTESIS DE LAS ZONAS 1 Y 4	8
FIGURA 5. LEYENDA DE LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS DEL CUATERNARIO.....	10
FIGURA 6. LEYENDA DE LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS DEL TERCIARIO	10
FIGURA 7. LEYENDA DE LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS DEL MESOZOICO	11
FIGURA 8. LEYENDA DE LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS DEL PALEOZOICO	12
FIGURA 9. LEYENDA DE LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE ROCAS ÍGNEAS.....	12
FIGURA 10. LEYENDA DE LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE CANARIAS.....	13
FIGURA 11. MAPA LITOESTRATIGRÁFICO	14
FIGURA 12. DETALLE DEL MAPA LITOESTRATIGRÁFICO A ESCALA 1:200.000. HOJA N° 11, REINOSA.	14
FIGURA 13. LEYENDA DE PERMEABILIDADES.	16
FIGURA 14. MAPA DE PERMEABILIDADES.....	17
FIGURA 15. DETALLE DEL MAPA DE PERMEABILIDADES A ESCALA 1:200.000. HOJA N° 11, REINOSA.	17
FIGURA 16. DETALLE DE LA INCLUSIÓN DE NUEVAS FORMACIONES CARTOGRÁFICAS.....	19
FIGURA 17. MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA	20
FIGURA 18. AJUSTE M.A.S. SOBRE MAPA LITOESTRATIGRÁFICO A ESCALA 1:200.000. HOJA N° 11, REINOSA.	20
FIGURA 19. LEYENDA HIDROGEOLÓGICA.	22

FIGURA 20. LEYENDA DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	23
FIGURA 21. MAPA HIDROGEOLÓGICO.	23
FIGURA 22. DETALLE DEL MAPA HIDROGEOLÓGICO A ESCALA 1:200.000. HOJA N° 11, REINOSA.....	24
FIGURA 23. VISTA DEL MAPA GUÍA	28
FIGURA 24. SELECCIONANDO UNA CUENCA	29
FIGURA 25. NAVEGANDO ENTRE LOS DATOS	29
FIGURA 26. VISTA DE DETALLE CON CARTOGRAFÍA BÁSICA.....	29
FIGURA 27. SOBRE UNA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	30
FIGURA 28. SOBRE UNA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	30
FIGURA 29. LAS MASAS DE AGUAS SUBTERRÁNEA, CON ETIQUETAS	30
FIGURA 30. SELECCIONANDO UN MAPA TEMÁTICO	31
FIGURA 31. VISTA DEL MAPA TEMÁTICO (EN ESTE CASO, HIDROGEOLÓGICO)	31
FIGURA 32. INTERACTIVIDAD: COORDENADAS UTM E INFORMACIÓN SOBRE EL POLÍGONO SELECCIONADO	32
FIGURA 33. SELECCIÓN DE “CONGLOMERADOS, PIZARRAS Y GRAUVACAS (FM. SAN CLUDIO) Y ARENISCAS”.....	33
FIGURA 34. EL MAPA DIBUJA ÚNICAMENTE (EN AMARILLO) LOS POLÍGONOS CORRESPONDIENTES A LA SELECCIÓN.	33
FIGURA 35. LERYENDA HIDROGEOLÓGICA, CON LA SELECCIÓN Y SU PERMEABILIDAD RECUADRADAS EN NEGRO .	34
FIGURA 36. VISTA PRELIMINAR DEL INFORME CON MAPA, LEYENDAS Y LITERATURA (SE MUESTRA SOLAMENTE LA PRIMERA DE LAS 12 PÁGINAS DE QUE CONSTA EL INFORME)	35
FIGURA 37. OPCIONES DE IMPRESIÓN DEL INFORME.....	35

1. INTRODUCCIÓN

Este mapa surge al plantearse la necesidad de un mapa continuo de todo el territorio nacional sobre el que plasmar la distribución de masas de agua derivada de la Directiva Marco del Agua (DMA) y se prepara mediante un “Convenio de Colaboración entre el Ministerio de Medio Ambiente (Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad. Dirección General del Agua) y el Instituto Geológico y Minero de España para la realización de trabajos técnicos en relación con la aplicación de la Directiva Marco del Agua en materia de agua subterránea” firmado en 2004.

Uno de los objetivos fundamentales de este convenio era la elaboración, a partir de una síntesis de la cartografía geológica disponible en el IGME y de la que se pudiera obtener de otros organismos, de unos mapas litológico y de permeabilidad de España, continuos, a escala 1:200.000 y en formato digital, como instrumento básico para la localización e identificación de las masas de agua subterránea (m.a.s.) y para dar respuesta a los requerimientos de la DMA. Esta información cartográfica supuso el punto de partida para la realización de este Mapa Hidrogeológico de España continuo y en formato digital a escala 1:200.000.

Al entrar en vigor la DMA, se necesita disponer de información hidrogeológica y mapas que sirvan para definir y delimitar con mayor precisión las masas de agua subterránea, de forma que dicha información permita: indicar la ubicación y los límites de las m.a.s., definir las características generales de los estratos suprayacentes de la zona de captación, las fuentes de contaminación, etc. y, para realizar la caracterización adicional de las m.a.s. con riesgo en las que sea necesario establecer sus áreas de recarga, las características de la composición química de las aguas, la ubicación de los puntos de extracción de agua subterránea, las zonas protegidas y sus características.

Todo este conocimiento hidrogeológico además de sintetizarse e incorporarse en la Base de Datos Hidrogeológicos para facilitar su manejo, tratamiento y explotación, debe plasmarse en una base cartográfica adecuada, en formato digital, que sirva de soporte para una descripción homogeneizada y estandarizada a nivel nacional y cotejable con cartografías hidrogeológicas del resto de países comunitarios.

La realización de este mapa hidrogeológico se ha planteado en dos fases bien diferenciadas: en primer lugar se elaboró un **mapa litoestratigráfico y de permeabilidades** continuo y en formato digital, a escala 1:200.000 que sirve de punto de partida para la elaboración, en una segunda fase, del **mapa hidrogeológico** propiamente dicho.

La escala de representación elegida, 1:200.000, se considera suficiente para sintetizar, recoger y mostrar la información hidrogeológica de la mayor parte las masas de agua que se han delimitado. Por otro lado, aunque esta escala de representación puede plantear ciertos inconvenientes a nivel de definición de masas de agua de pequeña entidad, si permite un cierto detalle para mostrar su funcionamiento hidrogeológico y para programar estudios de detalle cuando sea preciso.

Esta cartografía, por razones del Convenio, se ha adaptado a la red hidrográfica y al modelo de sombras realizado por el CEDEX, a escala 1:200.000, a partir de la base topográfica, a escala 1:50.000, del Servicio Cartográfico del Ejército.

En cualquier caso, aunque la base cartográfica del mapa sea la misma, la información hidrogeológica, se presenta de dos maneras diferentes con sus correspondientes leyendas:

- **Mapa de permeabilidades.** Representación del mapa hidrogeológico a escala 1:200.000.
- **Mapa hidrogeológico.** Representación del mapa hidrogeológico a escalas de menor detalle (1:500.000, 1:1.000.000, etc.)

En ambos casos se asigna un valor de permeabilidad a cada unidad litológica cartografiada en el mapa litoestratigráfico aunque con distinto alcance según la escala de trabajo:

En el caso del mapa de mayor detalle (mapa de permeabilidades) las permeabilidades asignadas varían entre un rango de 5 valores posibles (muy alta, alta, media, baja y muy baja) y las distintas litologías se asocian en 7 grandes grupos (carbonatadas, detríticas del cuaternario, detríticas, volcánicas, metadetríticas, ígneas y evaporíticas) dando lugar a una clasificación por tipos de acuíferos (en total, 35) establecidos según los procesos de formación de cada permeabilidad.

Para el caso del mapa hidrogeológico la agrupación queda reducida a 6 tipos de acuíferos ya que se clasifican las distintas unidades litológicas en: formaciones detríticas permeables, formaciones carbonatadas permeables o formaciones no permeables. En cuanto a la permeabilidad se distinguen dos valores: media o alta productividad para el caso de las formaciones permeables y baja permeabilidad o impermeable para el caso de formaciones no permeables.

1.1. CRITERIOS DE REPRESENTACIÓN

La litología y el nivel de consolidación de las rocas determinan el tipo de permeabilidad y la transmisividad de las mismas, su capacidad de recargar, transmitir, almacenar y descargar agua subterránea. La estructura tectónica influye en la geometría de los acuíferos y en las condiciones de contorno (zonas de flujo preferencial y permeabilidad de las fallas, barreras, drenajes).

Estas dos premisas, junto con la escala de trabajo, han sido las que han determinado los criterios fundamentales de representación que se han seguido a la hora de sintetizar las cartografías geológicas que han servido de punto de partida en el proceso de homogeneización, simplificación y adaptación de la geología a los procesos hidrogeológicos.

En este sentido, es importante tener siempre en cuenta la relatividad que conlleva las propias definiciones de permeabilidad, de acuífero y de masas de agua subterráneas para cuya definición y soporte se han elaborado estos mapas.

1.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la realización de estos mapas se estableció una sucesión lógica de etapas de trabajo cuya finalidad quedó establecida en la obtención de tres productos finales: Mapa Litoestratigráfico, Mapa de Permeabilidades y Mapa Hidrogeológico a partir del resultado anterior.

Las etapas de trabajo que se han definido son:

- Mapa Litoestratigráfico:
 - Zonación
 - Recopilación de la información
 - Leyenda zonal
 - Cartografía zonal
 - Conformación de zonas (cases)
 - Leyenda litoestratigráfica
 - Mapa litoestratigráfico
- Mapa de permeabilidades:
 - Leyenda de permeabilidades
 - Mapa de permeabilidades
 - Revisión y corrección de errores
 - Ajuste de las Masas de Agua Subterránea
- Mapa hidrogeológico:
 - Leyenda hidrogeológica
 - Mapa Hidrogeológico
- Tratamiento informático
- Aplicación de visualización de mapas
- Memoria

2. MAPA LITOESTRATIGRÁFICO

2.1. ZONACIÓN

El territorio Español fue dividido en 10 zonas atendiendo a criterios fundamentalmente geológicos e hidrogeológicos. Los límites de estas zonas fueron establecidos teniendo en cuenta, además de los criterios geológicos antes citados, los límites de las hojas topográficas a escala 1:200.000 establecidos por el IGN a los que estas zonas se han adaptado. Esta distribución permite su posterior tratamiento a escala 1:200.000, facilitando su representación y planteamiento de trabajo.

Las zonas de trabajo que se establecieron en este estudio, son las siguientes:

- Zona 1. Macizo Ibérico norte
- Zona 2. Norte
- Zona 3. Ebro-Cataluña
- Zona 4. Duero
- Zona 5. Macizo Ibérico sur
- Zona 6. Tajo-Mancha
- Zona 7. Levante-Ibérica
- Zona 8. Guadalquivir
- Zona 9. Baleares
- Zona 10. Canarias

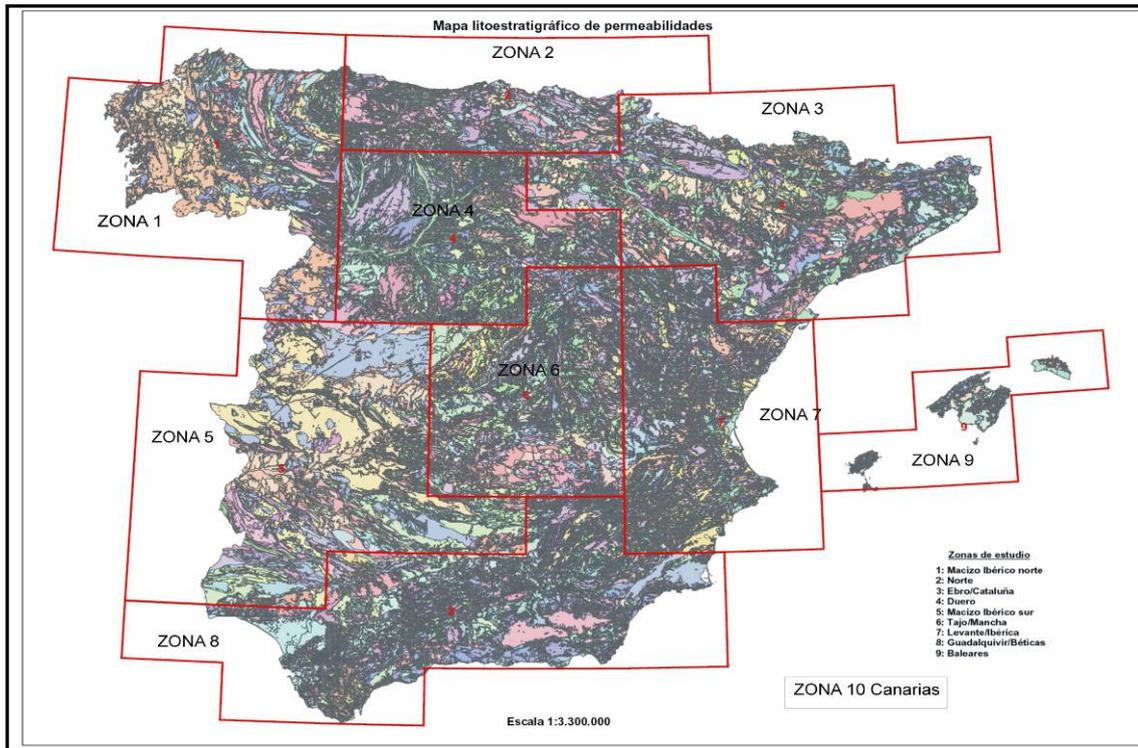


Figura 1. Distribución de zonas de trabajo

2.2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para cada una de estas zonas se llevó a cabo una recopilación y análisis de la información cartográfica disponible en ese momento y con las siguientes premisas:

- a) Que estuviera en formato digital
- b) Que procediera de síntesis previas a escala 1:200.000 o, en su defecto, lo más próxima a esta escala
- c) Cuando no se dieran las premisas anteriores, se recurriera al 1:50.000 (MAGNA) en formato digital u otras cartografías.

En la bibliografía se detalla una relación de la cartografía consultada para la realización del trabajo.

2.3. LEYENDA ZONAL

Una vez seleccionadas y aprobadas las distintas cartografías a utilizar, se preparó, para cada una de las zonas de trabajo, una leyenda cronoestratigráfica sintética de todas las unidades cartográficas representadas en las mismas.

En estas leyendas, se trató de mantener aquellas unidades cartográficas que presentan un importante desarrollo litoestratigráfico en cada zona, tanto por su representación cartográfica como por su singularidad, incorporando además las que manifiestan un alto interés hidrogeológico, bien por su propia naturaleza litológica (alta permeabilidad) o porque se consideran que forman parte esencial de la definición del acuífero.

2.4. CARTOGRAFÍA ZONAL

Una vez establecida la leyenda de las unidades a representar, se realizó la cartografía de cada una de las diez zonas en las que se había dividido el territorio nacional. En estas cartografías se trató de mantener los mismos criterios que los ya indicados para la realización de la leyenda es decir, mantener la representación de las unidades cartográficas que presentan una singularidad de carácter litoestratigráfico e hidrogeológico, teniendo en cuenta que la escala de trabajo establecida es la 1:200.000.

Los contactos entre las unidades cartográficas quedaron dispuestos según la normativa establecida para esta cartografía. Se representaron los contactos normales, discordantes e intrusivos, además de fallas, cabalgamientos y estructuras de plegamiento

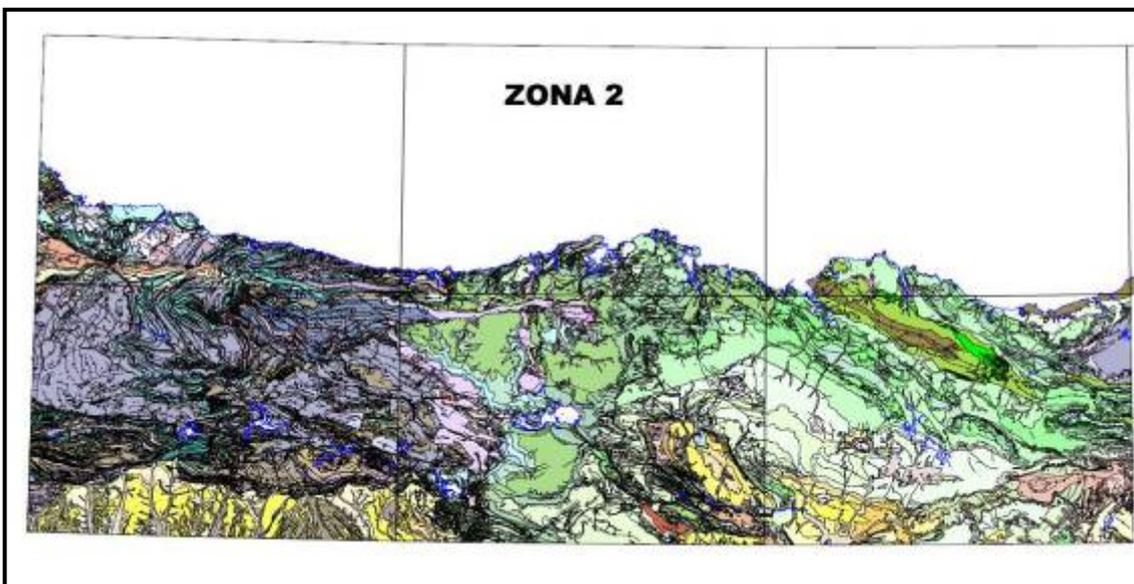


Figura 2. Cartografía síntesis de la zona 2

2.5. CONFORMACIÓN DE ZONAS (CASES)

Una vez completada la síntesis de cada una de las zonas, y debido al diverso origen de la cartografía de partida, fue necesario casar cartográficamente estas entre sí para obtener un mapa sin discontinuidades entre los límites de las diferentes zonas.

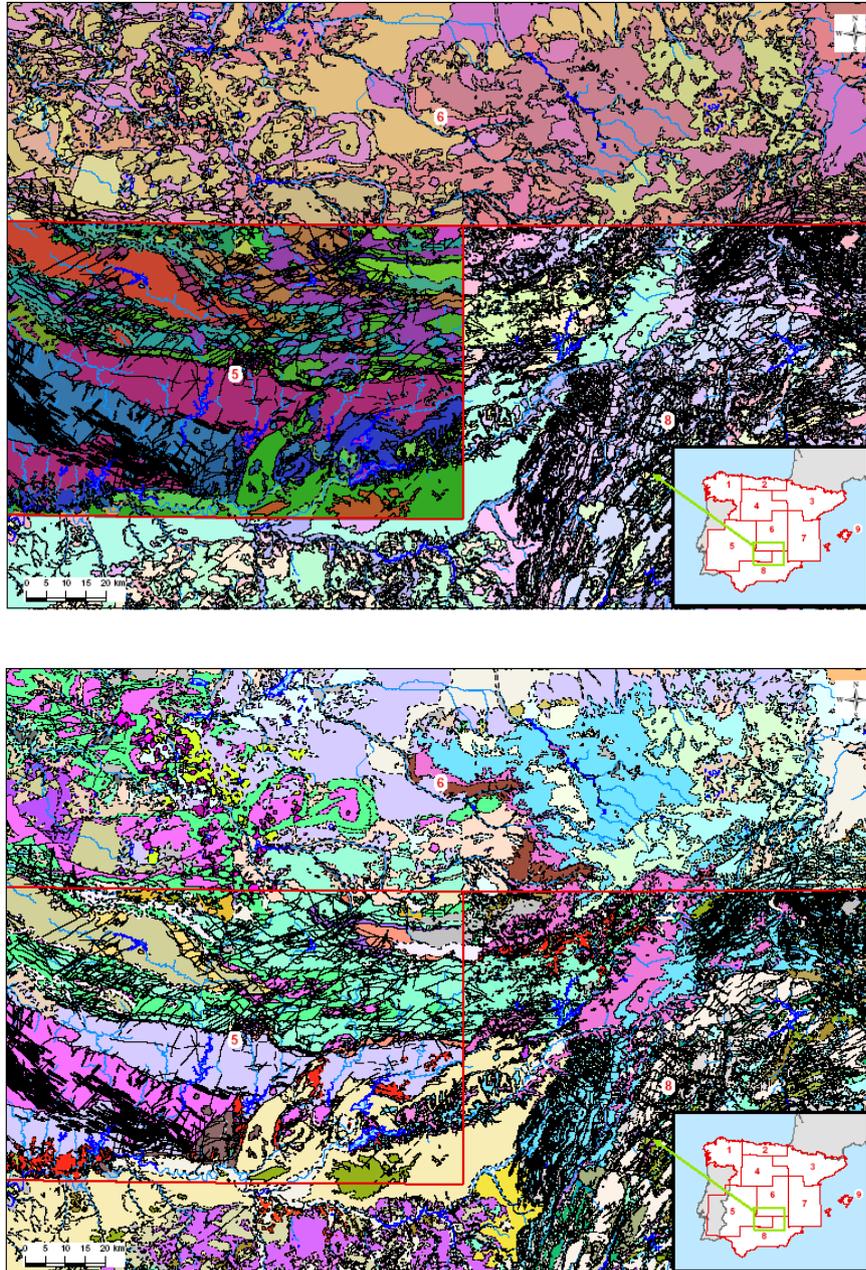


Figura 3. Cases entre las síntesis de las zonas 5,6 y 8

Por tanto se realizó la conformación del mapa, con el “case” entre las distintas zonas tratando de unificar, para todo el territorio español, los criterios de representación establecidos en cada una de ellas. En este proceso de conformación se han homogeneizado las distintas unidades zonales cartográficas, continuando sus contactos entre ellas.

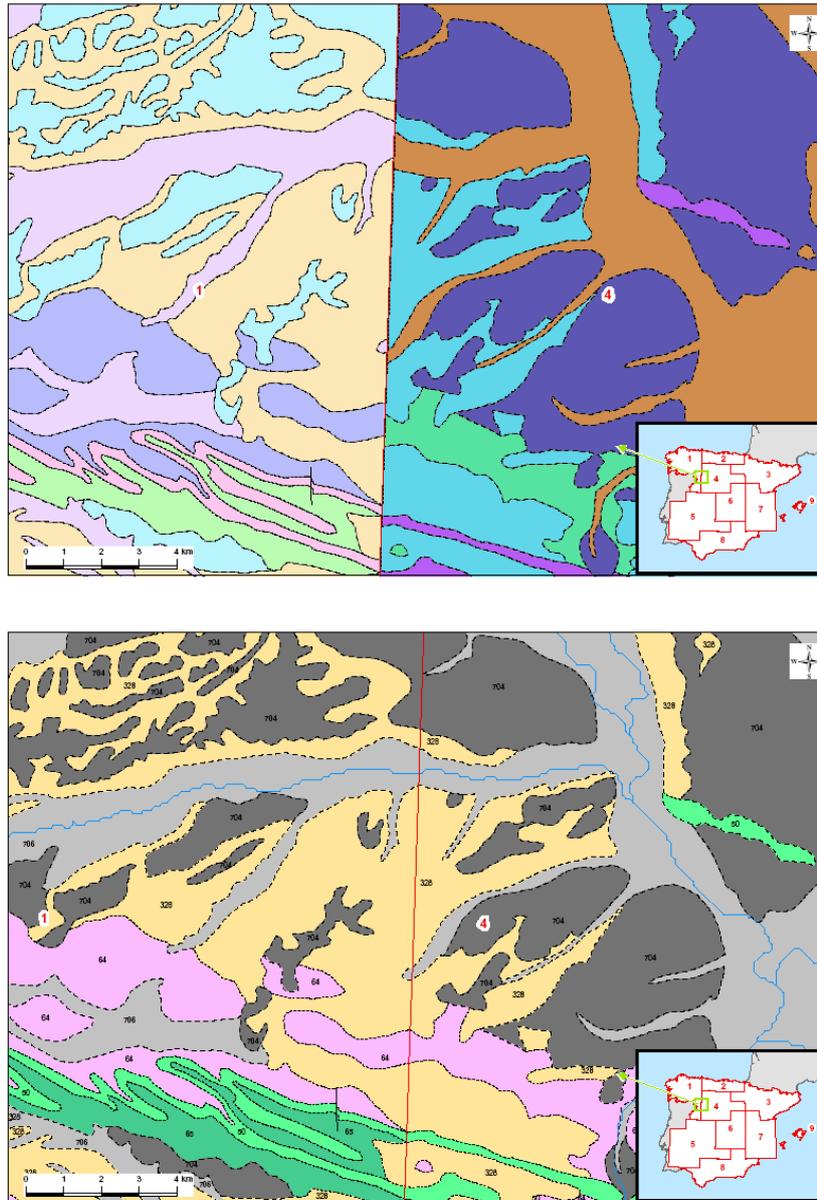


Figura 4. Case entre las síntesis de las zonas 1 y 4

Como se puede apreciar en la Figura 4, no solo se prolongaron los contactos de las unidades cartográficas entre las distintas zonas sino que, en principio, se trató de homogeneizar y equilibrar la información geológica representada cartográficamente en cada uno de los mapas zonales adyacentes. Sin embargo y dado que, por el momento, no se trata de publicar este mapa en formato “papel” y si utilizarlo para definir y delimitar las m.a.s. y obtener información geológica de su entorno, se creyó conveniente sacrificar la estética cartográfica a un mayor nivel de información.

2.6. LEYENDA LITOESTRATIGRÁFICA

Posteriormente se realizó la unificación y síntesis de todos los términos cartográficos representados en las leyendas zonales. Esta leyenda se realizó según criterios cronoestratigráficos establecidos en los distintos dominios geológicos que se han definido para cada periodo en el territorio español. Estos dominios paleogeográficos son:

Canarias

Rocas Ígneas

Paleozoico

- Zona Sudportuguesa
 - Faja Pirítica Ibérica
 - Pulo do Lobo
- Zona de Ossa-Morena
- Subdominio Lusitano Oriental-Alcúdico
- Ollo de Sapo
- Zona de Galicia tras-Os-montes
- Zona Asturoccidental-Leonesa
- Zona Cantábrica
- Cordillera Ibérica
- Catalánides-Pirineos
- Menorca
- Dominio de Alborán

Mesozoico

- Cantábrica
- Pirineos
- Ibérica-Maestrazgo
- Béticas

Cenozoico

- Cuencas Gallegas
- Cuenca del Guadiana
- Cuenca del Duero, Asturias y Bierzo
- Cuenca del Ebro, Villarcayo, Cerdeña y Vallés-Penedés
- Cuenca del Tajo, Intrabéticas y del Guadalquivir

Cuaternario

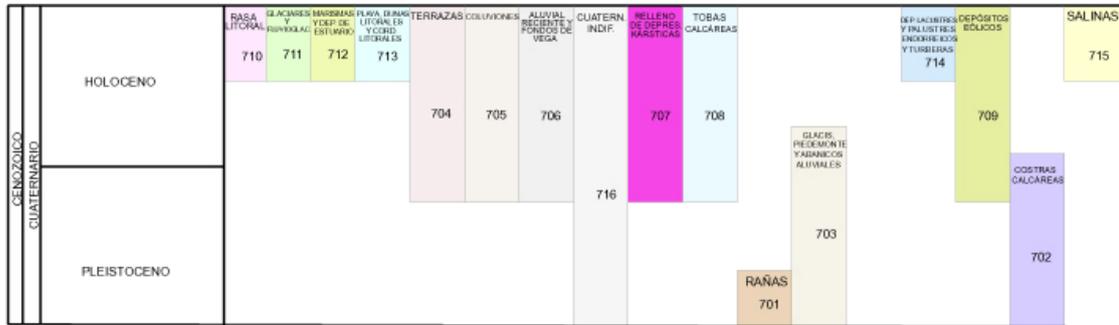


Figura 5. Leyenda de las Unidades Cartográficas del Cuaternario

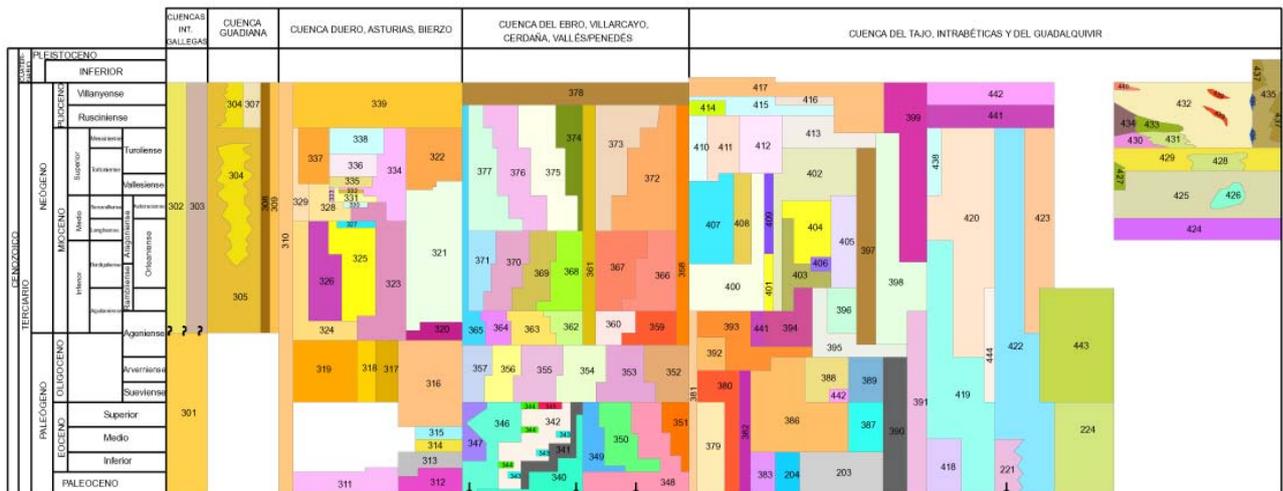


Figura 6. Leyenda de las Unidades Cartográficas del Terciario

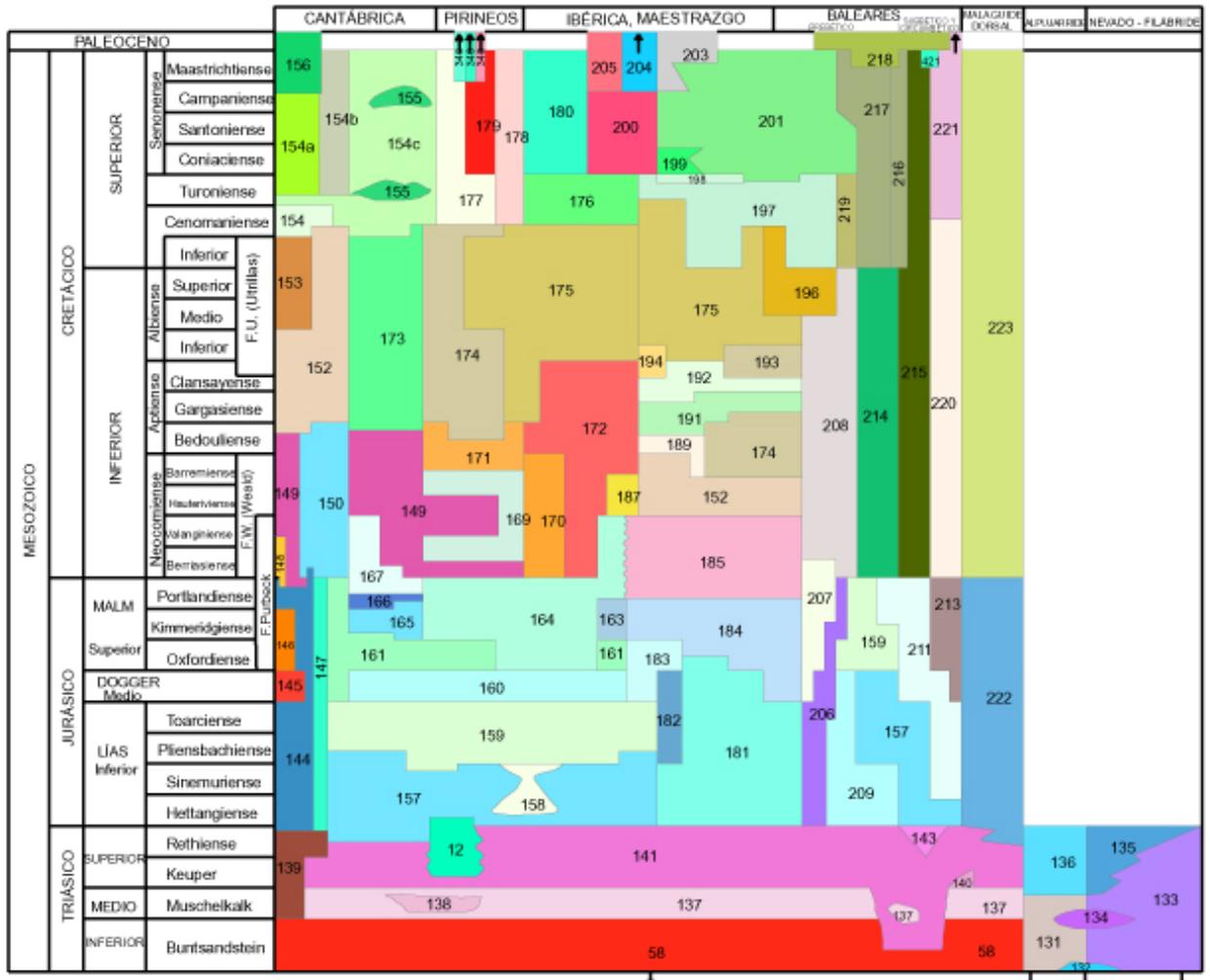


Figura 7. Leyenda de las Unidades Cartográficas del Mesozoico

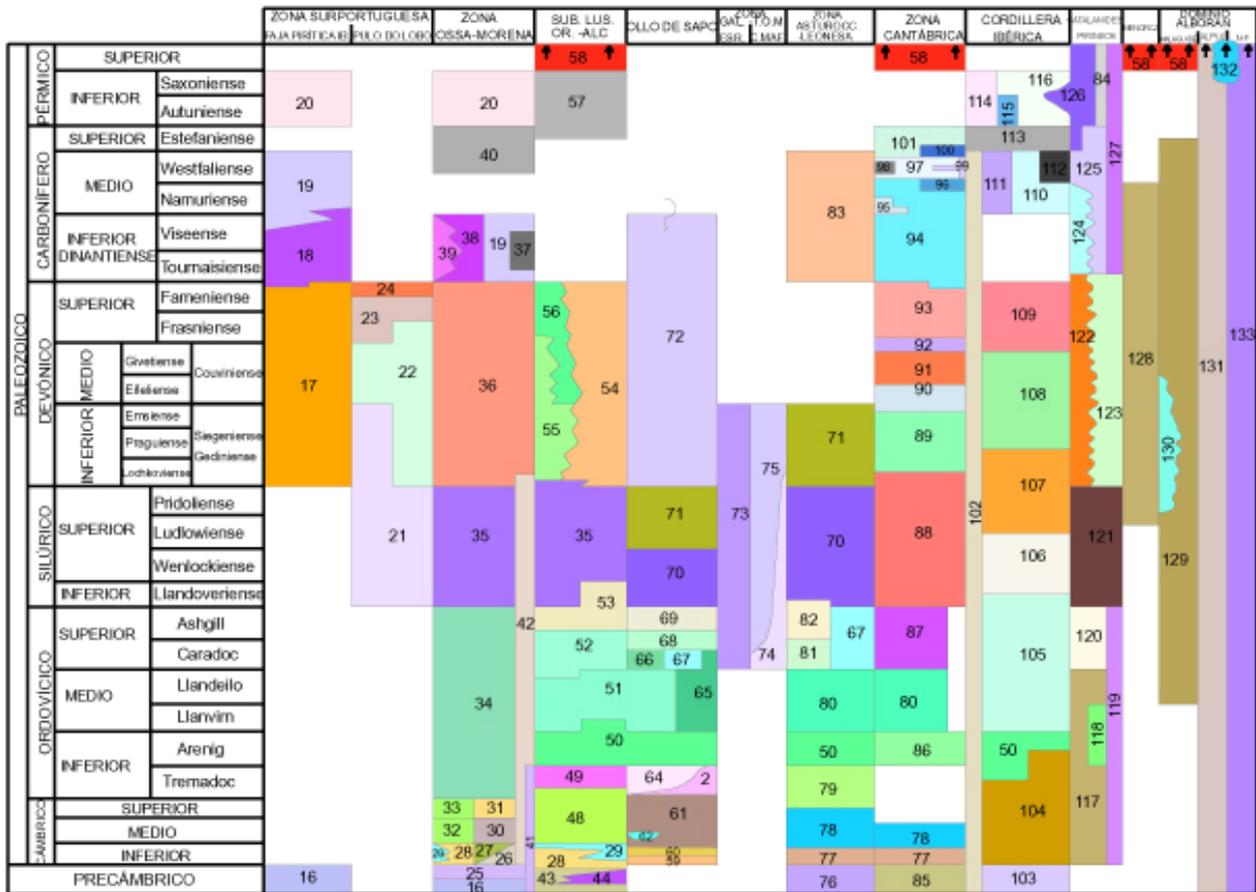


Figura 8. Leyenda de las Unidades Cartográficas del Paleozoico

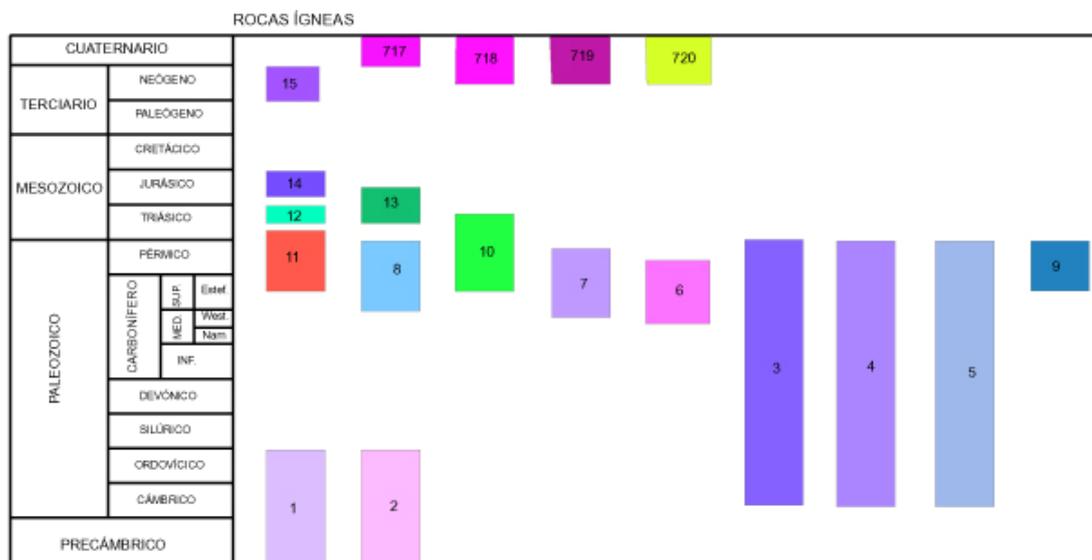


Figura 9. Leyenda de las Unidades Cartográficas de Rocas Ígneas

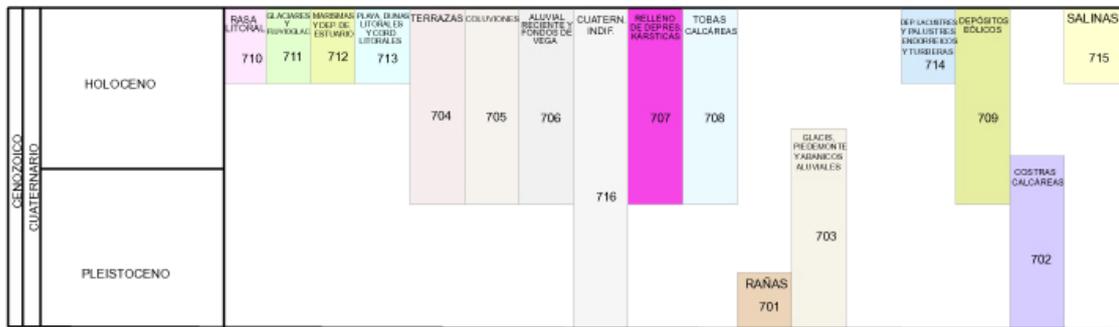


Figura 10. Leyenda de las Unidades Cartográficas de Canarias

2.7. MAPA LITOESTRATIGRÁFICO

Una vez realizada la leyenda litoestratigráfica se procedió a la confección del Mapa Litoestratigráfico del territorio español teniendo en cuenta que la escala de esta cartografía es 1:200.000. En esta cartografía se ha tratado, fundamentalmente, de unificar las dimensiones mínimas de afloramiento, eliminado los que no presentan una extensión cartográfica que permitan su visualización e integración dentro del conjunto geológico. Asimismo, se han tratado de unificar los criterios de representación de elementos estructurales, permitiendo diferenciar las principales estructuras que afectan a un dominio geológico, su distribución y densidad de afección estructural.

Así, se ha obtenido un mapa continuo y en formato digital, en el que persisten zonas con una densidad de información cartográfica mayor que otras debido, bien a que proceden de mapas de síntesis realizados con criterios menos generalistas que el de estas, o bien a que para su confección se ha recurrido a la utilización de cartografías a menor escala (p. e. 1:50.000), obteniéndose así una cartografía mucho más rica y detallada.

Esto mismo puede suceder entre áreas distintas de una misma zona, si bien se está llevando a cabo un proceso de limpieza y homogeneización entre las mismas.

En esta fase del trabajo se validaron las unidades cartográficas definidas para la leyenda litoestratigráfica.

Este mapa a escala 1:1.000.000 se presenta en la figura 11 en una imagen jpg. La imagen a su verdadera escala, 1:200.000, es la que se representa en el fragmento de la figura 12.

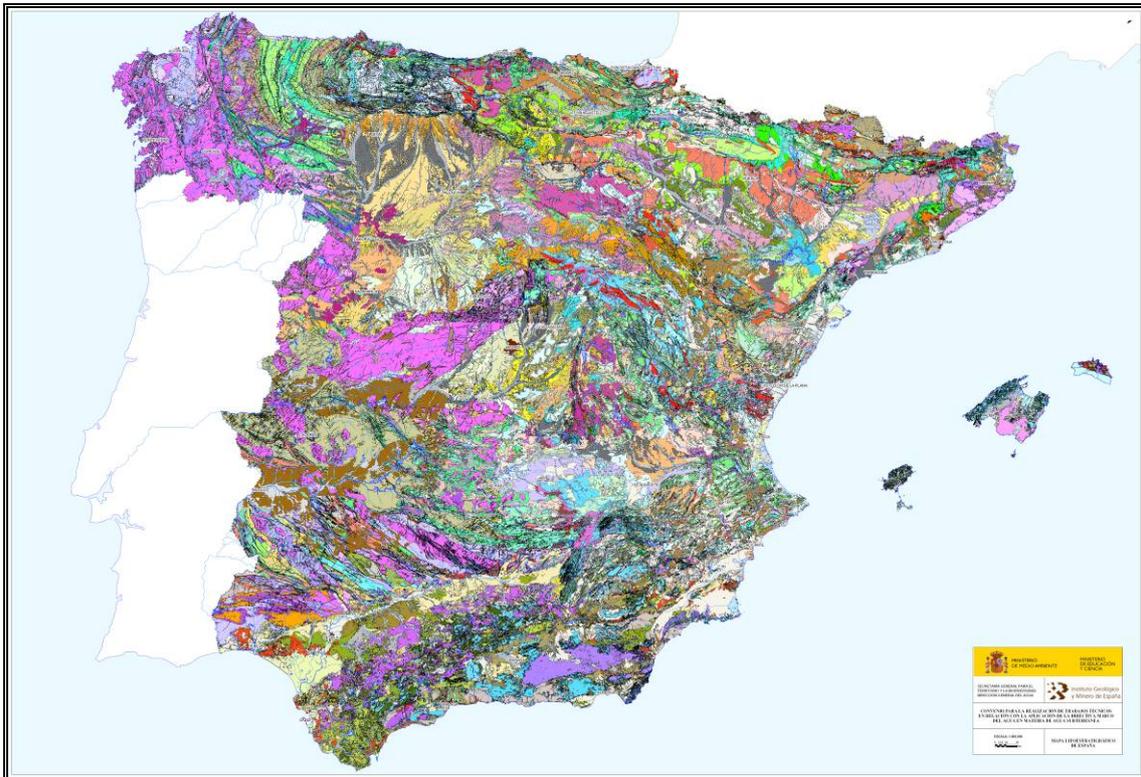


Figura 11. Mapa litoestratigráfico

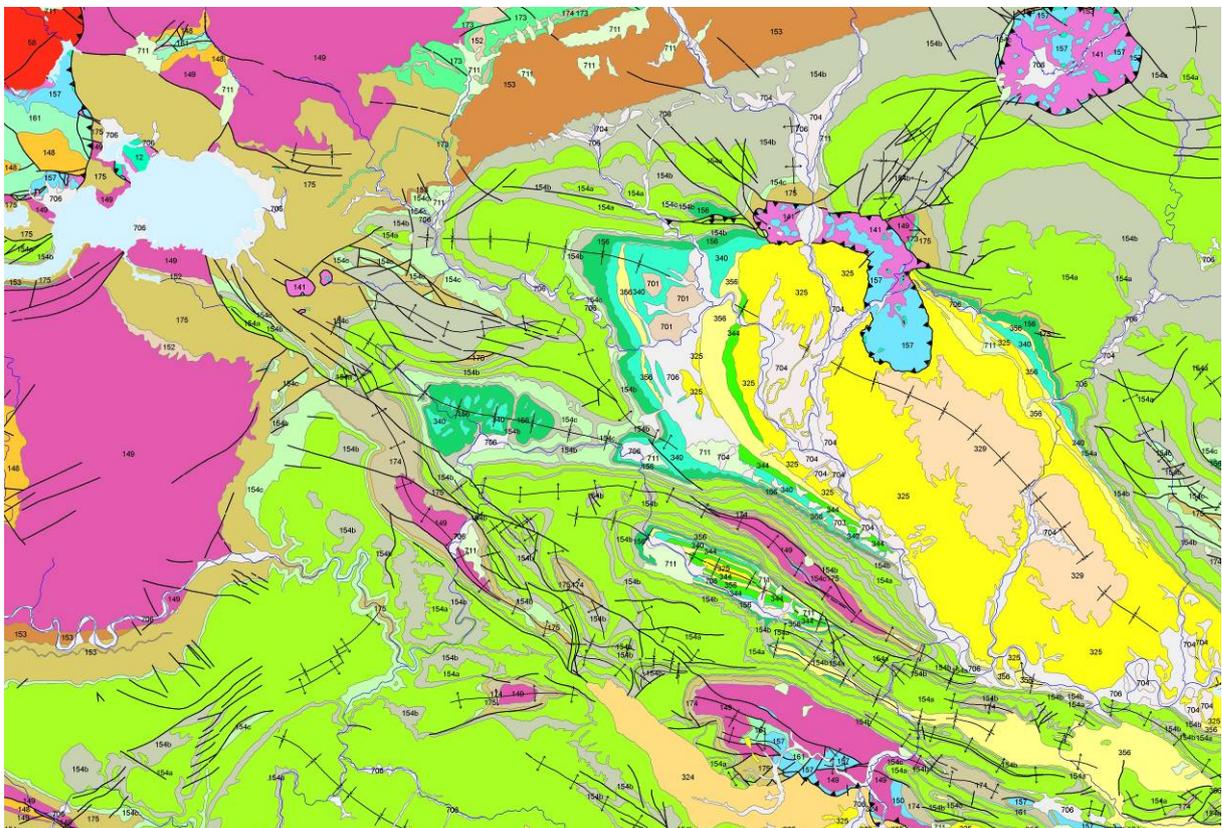


Figura 12. Detalle del Mapa Litoestratigráfico a escala 1:200.000. Hoja Nº 11, Reinosa.

3. MAPA DE PERMEABILIDADES

3.1. LEYENDA DE PERMEABILIDADES

Para la realización del mapa de Permeabilidades, en primer lugar se confeccionó una leyenda en la que se asigna un grado de permeabilidad para cada unidad litoestratigráfica cartografiada. Según la normativa para la realización de esta cartografía, se establecieron cinco tipos de permeabilidad: Muy alta, Alta, Media, Baja y Muy baja.

Con estos criterios, la leyenda del Mapa de Permeabilidades quedó establecida como un gráfico de doble entrada mostrando en el eje de abscisas los rangos de permeabilidad establecidos y en el eje de ordenadas las litologías asociadas a esos rangos de permeabilidades. Las distintas litologías se asociaron en grandes grupos dando lugar a una clasificación por tipos de acuíferos establecidos según los procesos de formación de cada permeabilidad. Por último se relacionó cada tipo de acuífero con la utilidad de las aguas que contiene.

Cada grupo establecido en esta clasificación se representó con un color y tono determinado para su visualización en el Mapa de Permeabilidades. Así, las rocas carbonatadas se representaron en color verde, las rocas detríticas del cuaternario se representan en color gris, las litologías detríticas se representan en azul, las volcánicas en morado; las rocas meta-detríticas en rojo; las rocas ígneas en tonos violáceos y las rocas evaporíticas en marrón. Todos estos grupos reservan los tonos más claros para las litologías menos permeables.

LITOLOGÍAS		PERMEABILIDAD					
		MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	
CON AGUAS UTILIZABLES	FISURABLES Y SOLUBLES	CARBONATADAS	C-MA	C-A	C-M	C-B	C-MB
	POROSAS	DETRÍTICAS (Cuaternario)	Q-MA	Q-A	Q-M	Q-B	Q-MB
		DETRÍTICAS	D-MA	D-A	D-M	D-B	D-MB
		VOLCÁNICAS (Piroclásticas y lávicas)	V-MA	V-A	V-M	V-B	V-MB
	FISURABLES	META-DETRÍTICAS	M-MA	M-A	M-M	M-B	M-MB
	POROSAS POR METEORIZACION	ÍGNEAS	I-MA	I-A	I-M	I-B	I-MB
	SOLUBLES	EVAPORÍTICAS	E-MA	E-A	E-M	E-B	E-MB
CON AGUAS NO UTILIZABLES O DE MUY BAJA CALIDAD							

Figura 13. Leyenda de permeabilidades.

3.2. MAPA DE PERMEABILIDADES

Con los criterios de representación indicados anteriormente en la leyenda y teniendo en cuenta que a cada unidad litoestratigráfica se le asignó un grado de permeabilidad, se realizó el Mapa de Permeabilidades en el que se agruparon los niveles litoestratigráficos cartografiados que presentaban valores similares de permeabilidad.

En este mapa se pueden distinguir perfectamente los dominios hidrogeológicos con predominio de acuíferos calcáreos y evaporíticos, detríticos y cristalinos, poniendo de manifiesto las principales líneas estructurales peninsulares e insulares que ponen en contacto las diferentes masas de agua subterránea que se han definido.

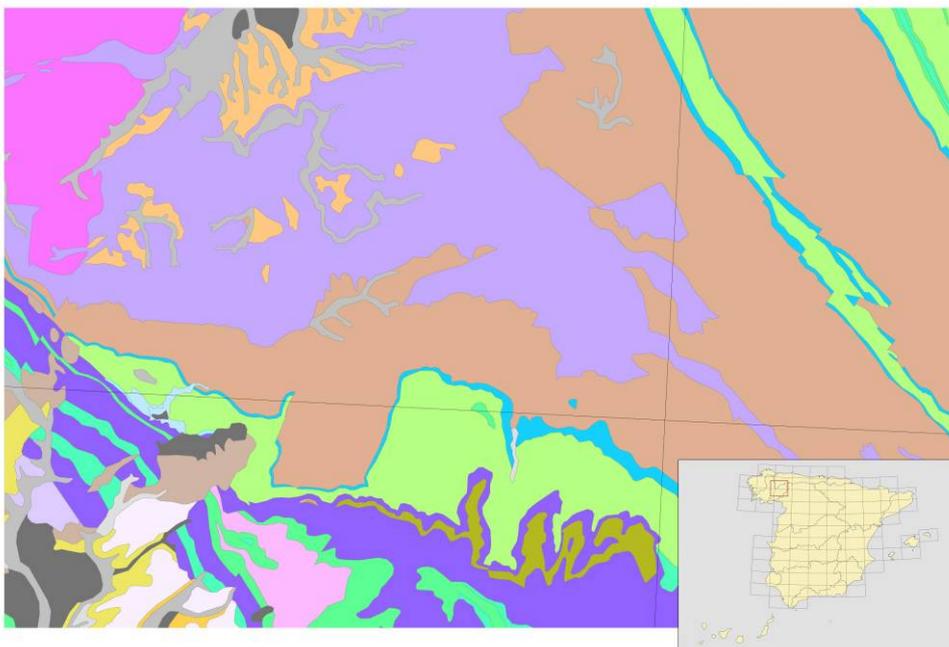
En la figura 14 se presenta una imagen en jpg del mapa de permeabilidades tal como quedaría a escala 1:1000.000, aunque a su verdadera escala 1.200.000 es la que se presenta en la figura 15.

3.3. REVISIÓN Y CORRECCIÓN DE ERRORES

Previamente a la realización del Mapa Hidrogeológico, se procedió a revisar el mapa litoestratigráfico, ya que dada su complejidad tanto por su envergadura como por haber sido realizado a partir de diversas síntesis realizadas en periodos diferentes y con distintos objetivos, y completadas en algunas zonas con síntesis de la cartografía MAGNA 1:50.000, persistían pequeños errores o desajustes que fueron subsanados. Estos errores eran tanto cartográficos como topológicos (duplicidad de arcos y/o polígonos; problemas de convergencia, cierre, solapes..) y dado el elevado número de elementos a revisar, modificar y corregir, esta fase del trabajo fue especialmente larga y tediosa.

Así, después de observar que abundaban los contactos concordantes entre formaciones terciarias, se procedió a revisión y recodificación en caso necesario, de los contactos entre dichas formaciones. Del mismo modo, se completó el proceso de limpieza y homogeneización de distintas zonas que todavía presentaban una densidad de información cartográfica superior al resto de la zona de estudio.

Por otro lado y dados los diferentes alcances de las síntesis de partida, que en su mayor parte no fueron realizados con criterios hidrogeológicos, se revisó por completo el mapa para verificar que se encontraban diferenciadas cartográficamente las formaciones que constituyen los principales acuíferos. Así se incluyeron nuevas formaciones cartográficas en la zona de Galicia.



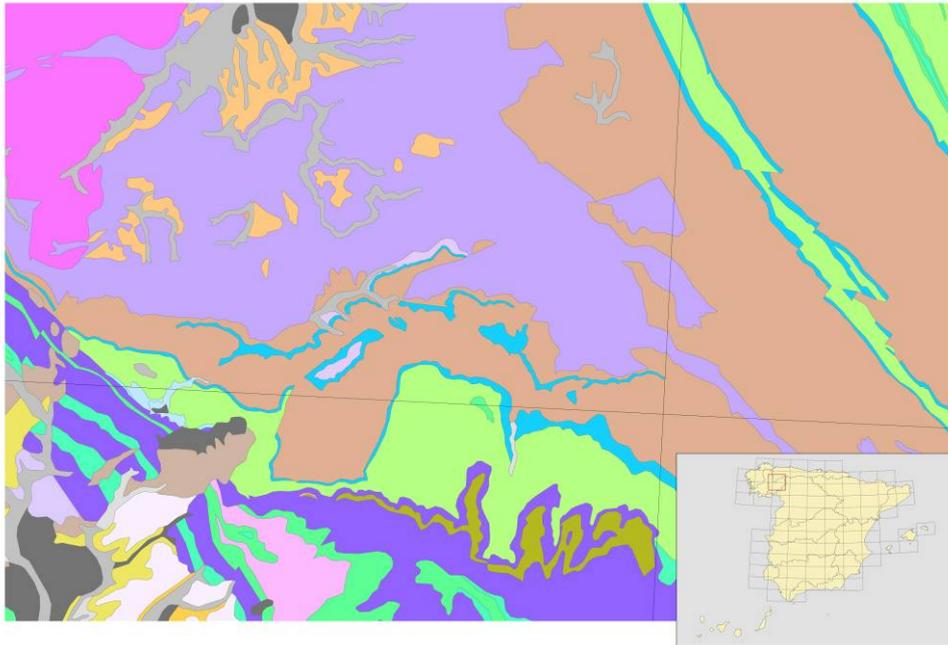


Figura 16. Detalle de la inclusión de nuevas formaciones cartográficas.

3.4. AJUSTE DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

Una vez revisado el mapa litoestratigráfico, base del mapa hidrogeológico, se volcaron sobre él las masas de agua subterránea (m.a.s.) definidas para cada una de las demarcaciones hidrográficas con objeto de comprobar que los límites establecidos en dichas m.a.s se ajustaran convenientemente a la cartografía elaborada.

Las masas de agua subterránea utilizadas para este proceso son las del artículo 5 de la Directiva Marco del Agua (DMA), enviadas a Bruselas en Marzo de 2007.



Figura 17. Masas de agua subterránea

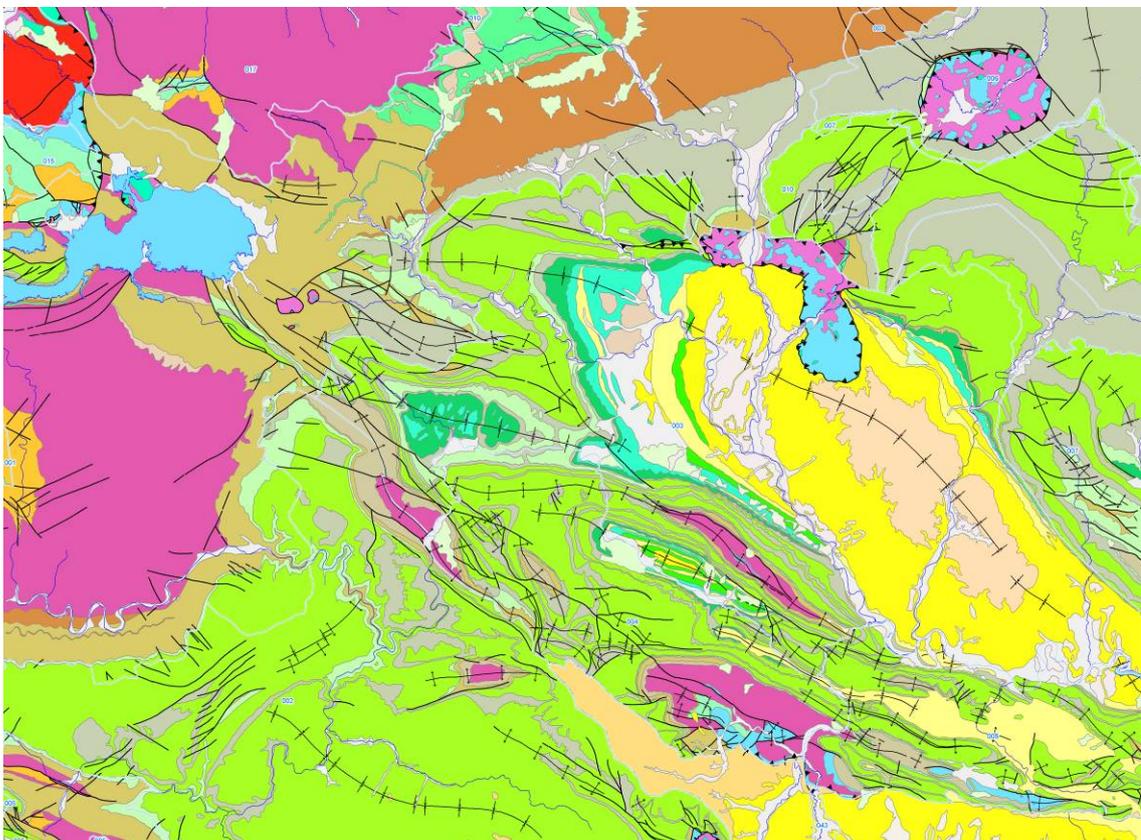


Figura 18. Ajuste m.a.s. sobre Mapa litoestratigráfico a escala 1:200.000. Hoja Nº 11, Reinosa.

4. MAPA HIDROGEOLÓGICO

4.1. LEYENDA HIDROGEOLÓGICA

Realizadas las correcciones necesarias se procedió a la elaboración de la leyenda hidrogeológica, a partir de los mapas litoestratigráfico y de permeabilidades. Para ello se agruparon las distintas formaciones cartográficas en función de sus permeabilidades, geometría, relación hidráulica y funcionamiento hidrogeológico. Este trabajo se realizó teniendo en cuenta tanto la información existente de los distintos acuíferos de España, especialmente la cartográfica y la relativa a geometría y funcionamiento hidrogeológico, como las masas de agua subterránea definidas en cada una de las cuencas del territorio nacional. Con esta agrupación las 436 formaciones litoestratigráficas existentes quedan reducidas a 182 formaciones hidrogeológicas.

Una vez conseguida la agrupación hidrogeológica, se procedió a asignar a cada una de las formaciones litoestratigráficas originales un código hidrogeológico semejante al utilizado en el "Mapa Hidrogeológico Internacional de Europa 1:1.500.000". Este código se estableció, de forma simplificada, en función de la permeabilidad y la litología y se representó con un determinado color y tono para permitir visualizar en el Mapa Hidrogeológico las áreas asociadas a los diferentes acuíferos subterráneos.

Así, áreas con colores azules representan acuíferos porosos (formaciones detríticas permeables, en general, no consolidadas) y áreas con colores verdes representan zonas con acuíferos fisurados o kársticos (rocas carbonatadas permeables). Por otro lado, los acuíferos se dividen en dos clases según su productividad: acuíferos de alta productividad (tonos oscuros) y acuíferos de productividad media (tonos claros), es decir, el tono más oscuro en los acuíferos permeables indica mayor permeabilidad.

En cuanto a las formaciones impermeables o de baja permeabilidad, estas se representan en colores marrones y el tono más oscuro indica mayor impermeabilidad.

Esta clasificación se realizó, en un primer momento, a partir de la leyenda del Mapa de Permeabilidades ya que muestra conjuntamente el rango de permeabilidades y las litologías asociadas. Posteriormente se realizó una revisión detallada y corrección, en caso necesario, de los códigos asignados a cada una de las formaciones litoestratigráficas.

Leyenda

	Ia. Formaciones carbonatadas de permeabilidad alta o muy alta.
	Ib. Formaciones carbonatadas y volcánicas de permeabilidad media.
	IIa. Formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad alta o muy alta, así como formaciones volcánicas de permeabilidad muy alta.
	IIb. Formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad media. Formaciones volcánicas de alta permeabilidad.
	IIIa. Formaciones metadetríticas de alta permeabilidad. Formaciones detríticas, volcánicas, carbonatadas y cuaternarias de permeabilidad baja.
	IIIb. Formaciones generalmente impermeables o de muy baja permeabilidad y formaciones metadetríticas, ígneas y evaporíticas de permeabilidades baja y media.

Figura 19. Leyenda hidrogeológica.

4.2. MAPA HIDROGEOLÓGICO

A cada unidad litoestratigráfica se le asignó el código hidrogeológico correspondiente según quedó especificado en la leyenda anterior. De esta forma, al representarlas en el mapa 1:200.000 se aprecian tanto las formaciones impermeables como las detríticas o carbonatadas lo que permite distinguir los dominios hidrogeológicos.

Para completar y facilitar la consulta y comprensión del mapa hidrogeológico y de permeabilidades, se representaron sobre ellos los siguientes elementos de interés hidrogeológico:

Masas de agua subterránea y masas de agua superficial (red de drenaje significativa, lagos y embalses). Todas ellas enviadas a Bruselas en Marzo de 2007 para el artículo 5 de la Directiva Marco del Agua.

Demarcaciones hidrográficas (únicamente con el ámbito terrestre). Enviada a Bruselas en Marzo de 2007 para el artículo 3 de la Directiva Marco del Agua.

Límite de demarcación hidrográfica entre Júcar y Guadiana aprobada según OM BOE 30 de diciembre de 2008.

Estaciones de control de agua subterránea del Ministerio de Medio Ambiente, diferenciándolas según su naturaleza (manantial, pozo, sondeo u otro) y su pertenencia a las siguientes redes:

- Seguimiento del estado cuantitativo.
- Seguimiento del estado químico. Red operativa.
- Seguimiento del estado químico. Red de vigilancia.
- Red internacional de Control EIONET-WATER.

- Control de zonas designadas para el control de las aguas designadas al consumo humano.

Redes de control

- Seguimiento del estado químico. Red de Vigilancia
- Seguimiento del estado químico. Red Operativa
- Seguimiento del estado Cuantitativo
- Red Internacional de Control EIONET-WATER
- Control de zonas designadas para el control de las aguas destinadas al consumo humano

Tipo de estación según su naturaleza

- ● Manantial
- Pozo
- ◆ Sondeo
- × Otro

Figura 20. Leyenda de las estaciones de control de agua subterránea.

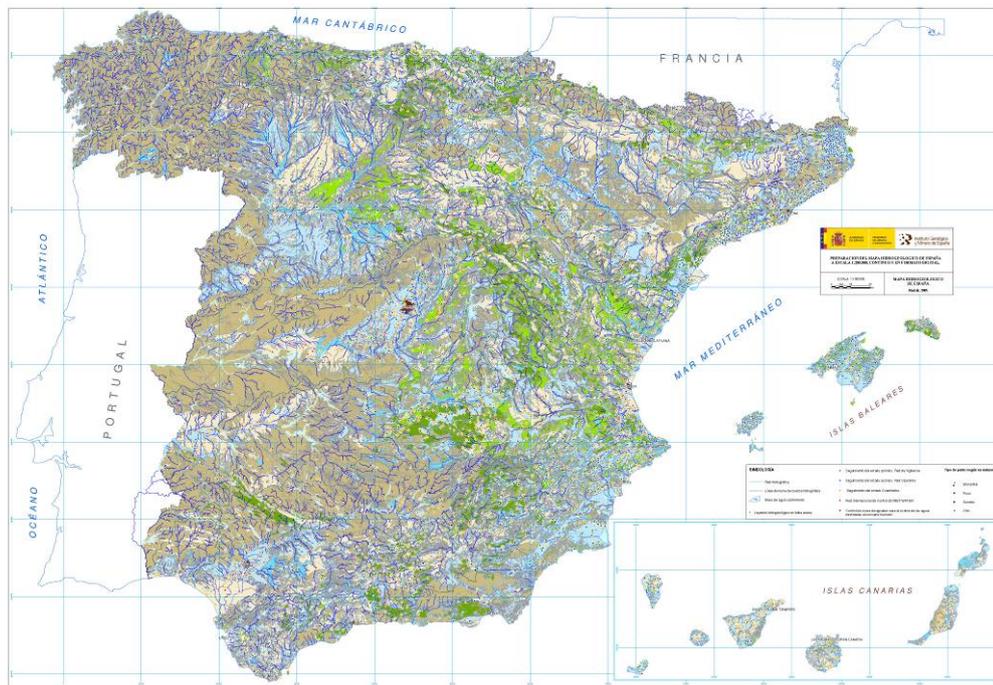


Figura 21. Mapa Hidrogeológico.



Figura 22. Detalle del Mapa Hidrogeológico a escala 1:200.000. Hoja Nº 11, Reinos.

5. TRATAMIENTO INFORMÁTICO

La integración de todo este conocimiento en un Sistema de Información Geográfica exige establecer unos criterios sobre las características de los datos y su alcance. Toda la información, tanto geográfica como geológica, se estructura en capas de geometrías simples: puntos, líneas y polígonos. La componente temática se registra mediante una serie de tablas que se asocian a los elementos gráficos mediante una codificación. Cada tabla incluye los atributos precisos para almacenar toda la información relevante para la representación gráfica.

Toda la información cartográfica, es decir, tanto la cartografía geológica generada (lplit, lpcyf, lpest) como la cartografía de base necesaria para la conformación de los mapas (núcleos de población, masas de agua superficiales..) está referida a coordenadas en proyección UTM, Datum Europeo, huso 30; salvo la correspondiente a las Islas Canarias que se encuentra referida al huso 28.

Los elementos que constituyen el **Mapa litoestratigráfico**, base de los mapas hidrogeológico y de permeabilidades, se pueden agrupar en tres niveles de información según sus características y contenidos:

Unidades cartográficas (LPLIT)

Recintos poligonales litológicos con las unidades cartográficas codificadas según el campo FH. Cada recinto o polígonos tiene un código numérico correspondiente a la formación geológica según la columna litoestratigráfica (FH).

La descripción litológica completa, la descripción geocronológica y la clasificación de permeabilidad se almacenan en una tabla externa (Tabla *litperm.dat*) que tiene un registro por cada formación litoestratigráfica en el mapa.

Para favorecer la utilización y correcta simbolización de la información generada, se crea otra tabla externa (Tabla *colores.lut*) que relaciona cada una de las formaciones con el color que se le debe asignar al realizar la composición de la leyenda y mapa litoestratigráficos.

Contactos y fracturas (LPCYF)

Líneas que delimitan recintos poligonales litológicos (contactos) y fallas o líneas de fractura con o sin cambio de identificación litológica. Todos los elementos lineales de esta capa llevarán asociado su código en un campo denominado ID según la librería de símbolos MAGNA.

Estructuras de plegamiento (LPEST)

Líneas que representan la traza axial de los pliegues. Todos los elementos lineales de esta capa llevarán asociado su código en un campo denominado ID según la librería de símbolos MAGNA.

Para el **Mapa de Permeabilidades** se utiliza la capa de unidades cartográficas LPLIT relacionándola con la tabla externa *Perme.dat* que asigna a cada formación litoestratigráfica (FH), tanto su valor de permeabilidad como el color para su adecuada representación.

De la misma manera, el **Mapa Hidrogeológico** se construye a partir de la capa poligonal LPLIT y dos tablas externas:

- **Hidro.dat.** Asigna a cada unidad litoestratigráfica (FH) el código hidrogeológico correspondiente según tipo de formación y permeabilidad (COD_HIDRO). Este código será el utilizado para la representación gráfica de la información.
- **Descrip_hidro.dat.** Relaciona cada formación litoestratigráfica (FH) con su formación correspondiente después de realizar la agrupación según criterios hidrogeológicos (C_HD).

Además de esta información, se añade al mapa hidrogeológico la relativa a masas de agua subterránea, masas de aguas superficiales (red de drenaje significativa, lagos y embalses) demarcaciones hidrográficas y estaciones de control, tal y como se indicó anteriormente.

El DVD adjunto contiene tanto la información geológica y cartográfica, como la tablas, librerías de simbología y composiciones de mapa necesarios para obtener:

- Mapa hidrogeológico.
- Mapa de permeabilidades.
- Mapa litoestratigráfico.
- Leyendas.

6. APLICACIÓN DE VISUALIZACIÓN DE MAPAS

Con la información obtenida en las fases anteriores, y para el acceso a los datos geográficos y alfanuméricos a aquellos usuarios que no dispongan de un Sistema de Información Geográfica, se ha escrito una aplicación de consulta, un visualizador de mapas, datos y documentos, para el sistema operativo Microsoft Windows, y se ha compilado un DVD, que se adjunta, con la información geográfica en formato shapefile de ESRI, que constituye casi un estándar en el mundo de la cartografía.

Aunque el DVD es autoejecutable, es preciso instalar en el equipo del usuario algunos complementos de software: MapObjects LT de ESRI, un control ActiveX que ofrece la posibilidad de visualizar cartografía vectorial y ráster. La aplicación detecta la existencia de este control y facilita su instalación en caso de no encontrarlo la primera vez que se inserta el DVD en el lector. También sería necesaria la instalación de un visor de archivos PDF, como Acrobat Reader, que no se incluye en la compilación porque se desconoce el número de copias que se harán del DVD y la propietaria del software, Adobe, no concede licencia de distribución para tiradas cortas o de un solo ejemplar de CD/DVD, y es preciso indicar el número de ejemplares al solicitarla. Sin embargo, puede descargarse gratuitamente en Internet y en el futuro, cuando se decida la realización de una tirada de DVD, puede hacerse la solicitud pertinente. Después, la aplicación se ejecutará directamente desde el DVD sin necesidad de instalar nuevos archivos.

Debido a la gran ocupación de espacio de la información, esta aplicación no se ha concebido para ser instalada en el disco del usuario, aunque es perfectamente operativa en cualquier disco duro, removible, etc., de modo que el usuario puede copiar el contenido del DVD a una carpeta de su disco, si así lo desea, simplemente arrastrando los archivos al directorio que más le convenga.

La interfaz se ha diseñado para que la aplicación pueda utilizarse sin aprendizaje, gracias a botones que muestran iconos intuitivos y cajas de ayuda que explican su funcionalidad.

6.1. ESTRUCTURA

El visualizador comienza mostrando un mapa guía con las cuencas hidrográficas (figura 23); y que permite elegir cualquiera de las cuencas para su estudio en detalle. La barra de herramientas de la parte izquierda nos permite seleccionar elementos, aumentar y reducir la escala, volver a la escala original, recorrer el mapa de forma panorámica y, por supuesto, imprimir la totalidad o parte del mapa.

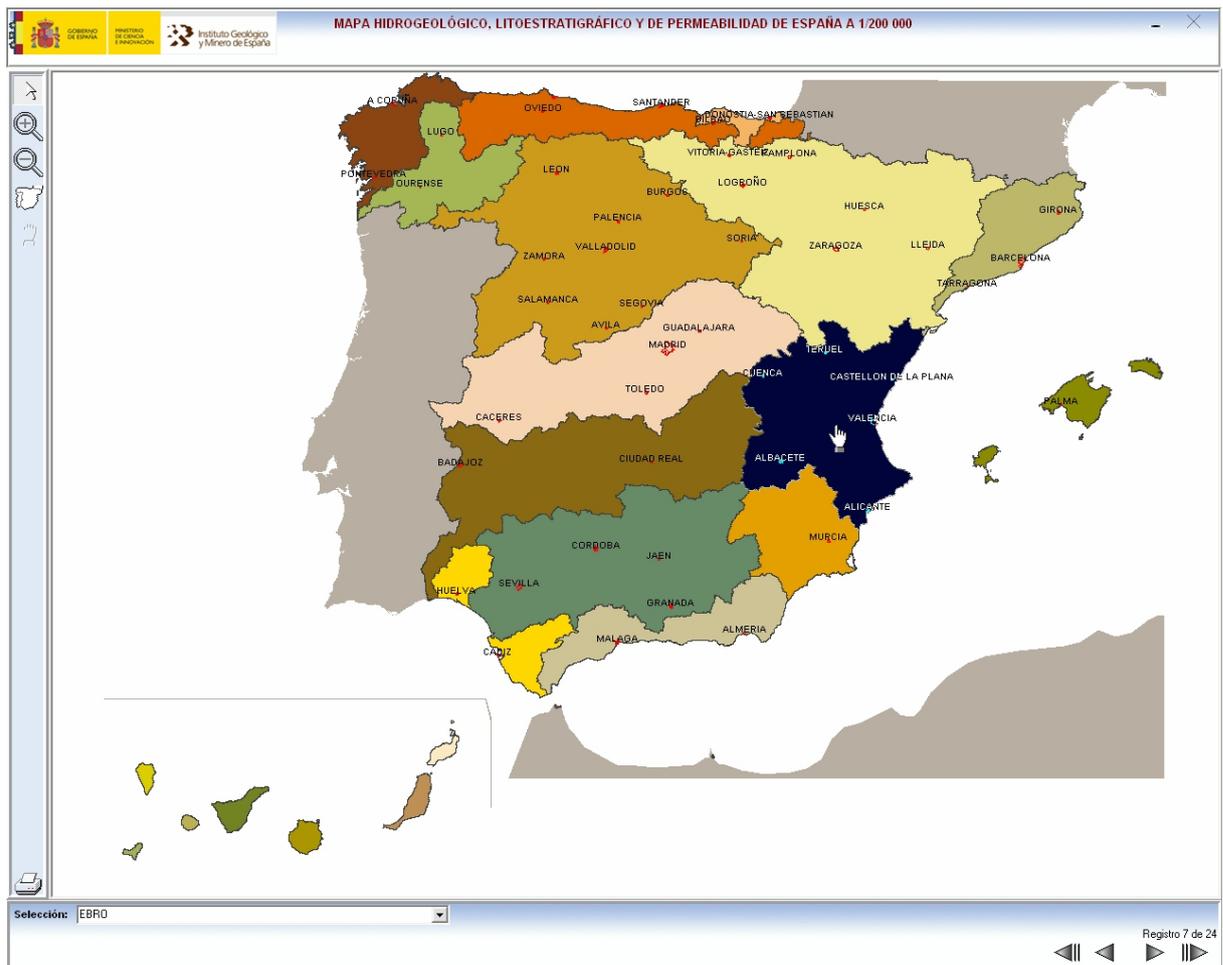


Figura 23. Vista del mapa guía

Además de usar el puntero del ratón para seleccionar una cuenca, es posible hacerlo mediante una lista desplegable (figura 24) o utilizando los controles que permiten navegar entre las distintas cuencas (figura 25).

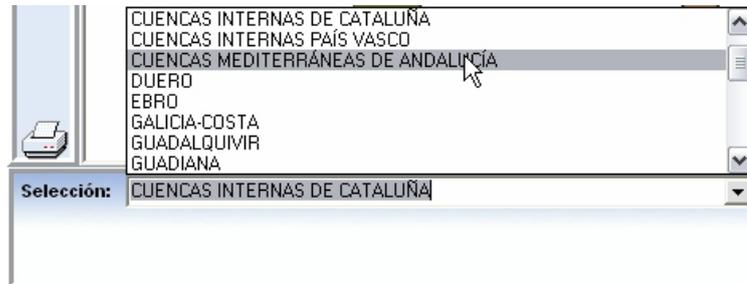


Figura 24. Seleccionando una cuenca



Figura 25. Navegando entre los datos

Al pulsar sobre la cuenca seleccionada, se abre la vista de detalle. La cartografía básica muestra el contorno de la Cuenca, capitales de provincia y masas de agua superficiales y subterráneas. La barra de herramientas de la izquierda es idéntica a la de la Ventana Guía, excepto porque incluye un botón (todavía inoperativo) para acceder al mapa en PDF de la cuenca seleccionada.

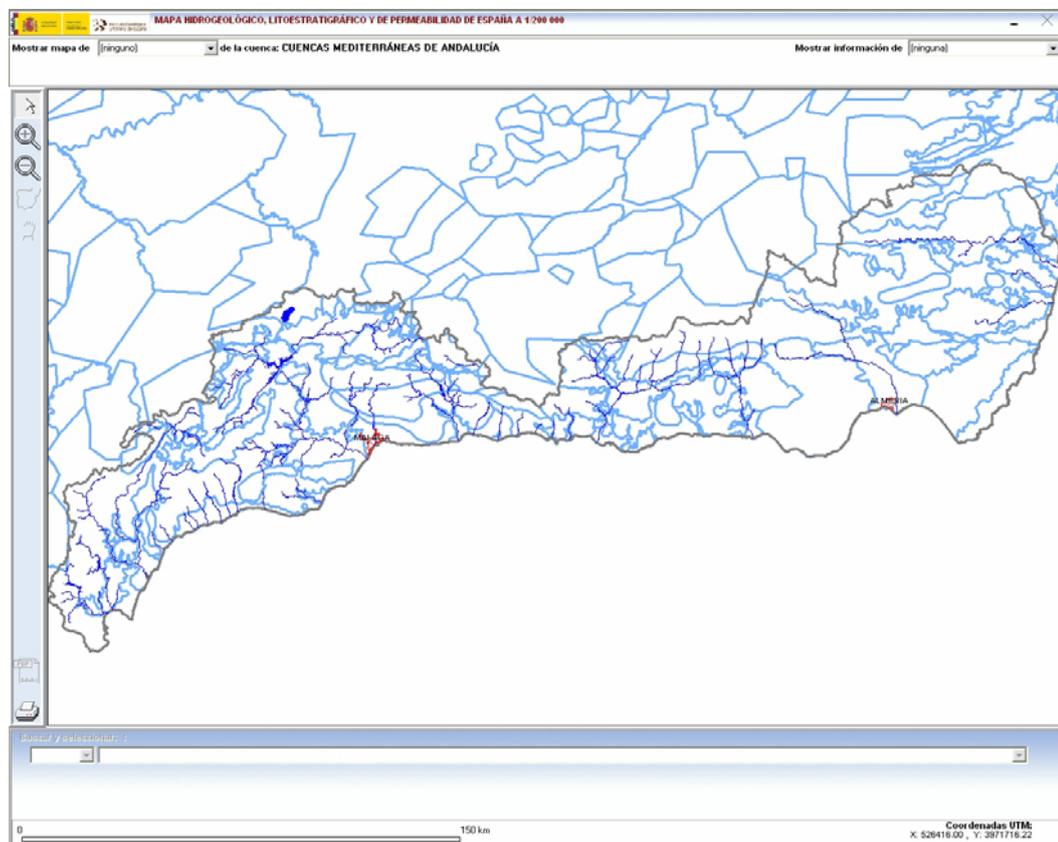


Figura 26. Vista de detalle con cartografía básica

En la parte superior derecha de la ventana se puede activar una de las capas de masas de agua existentes (figura 27), lo cual permitirá obtener información con el puntero sobre cualquier masa (figura 28), ya sea superficial o subterránea.

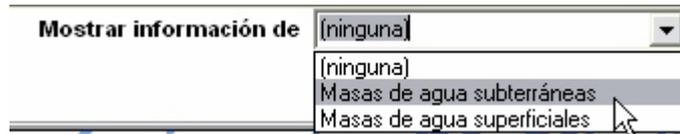


Figura 27. Sobre una masa de agua subterránea

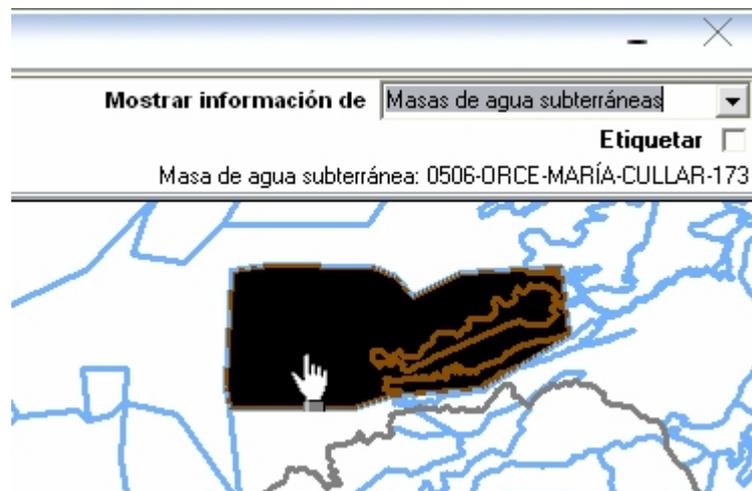


Figura 28. Sobre una masa de agua subterránea

En el caso de las masas superficiales, que se representan como polígonos, también puede pulsarse sobre la casilla de verificación “ETIQUETAR”, que nos permitirá tener los nombres de las masas de agua sobre cada una de ellas.



Figura 29. Las masas de aguas subterránea, con etiquetas

En la parte superior izquierda de la vista, se nos muestra una lista desplegable (figura 30) que permite dibujar uno de los tres distintos mapas temáticos confeccionados: litoestratigráfico, permeabilidad o hidrogeológico.

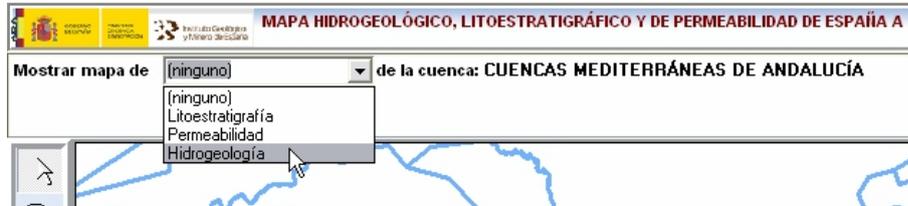


Figura 30, Seleccionando un mapa temático

El mapa elegido conserva siempre la base cartográfica de masas de agua, capitales de provincia y el borde la cuenca hidrográfica. Obsérvese en la figura 31 que el botón que permite el acceso al mapa temático en PDF se activa al elegir un tipo de mapa.

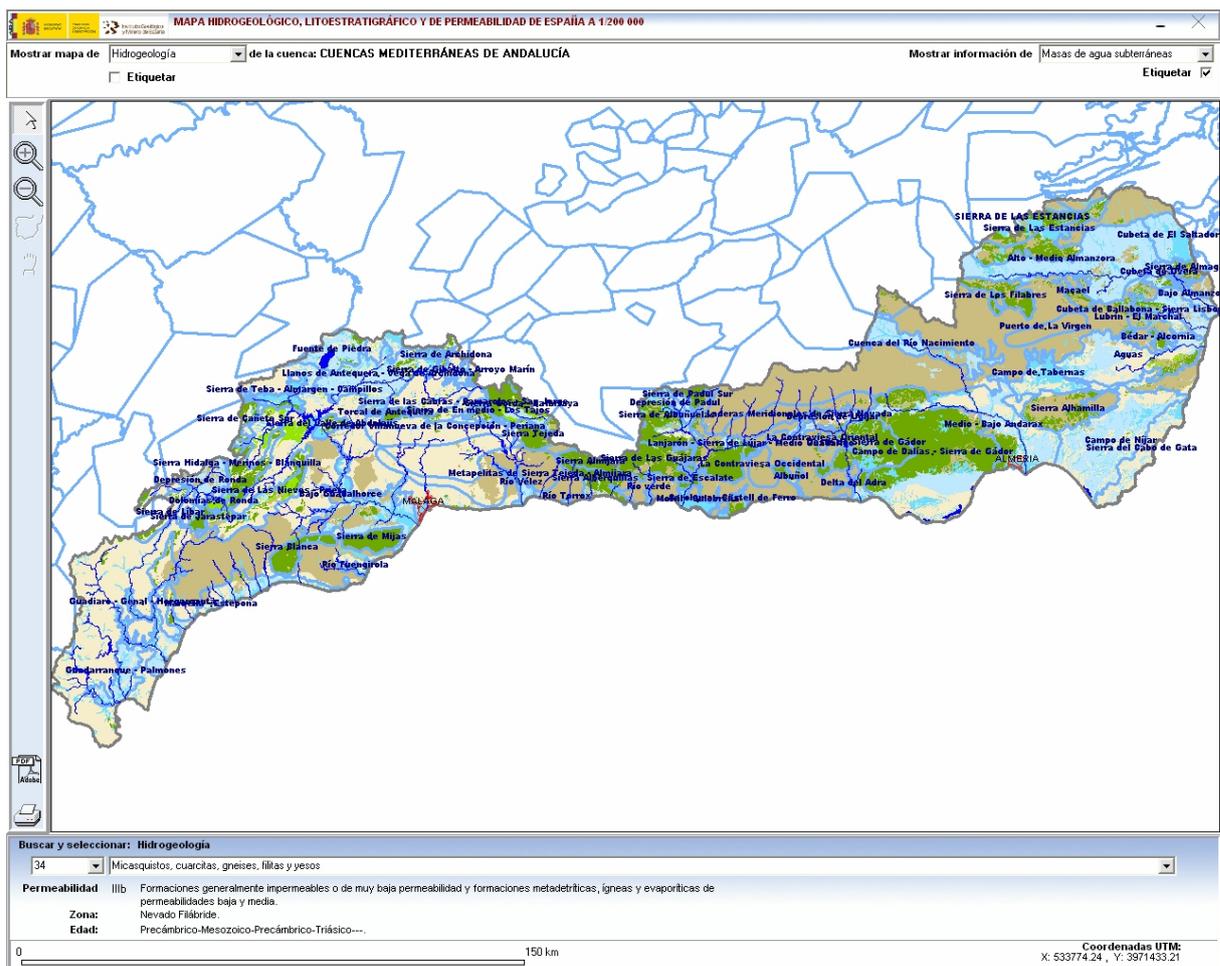


Figura 31. Vista del mapa temático (en este caso, hidrogeológico)

El mapa es completamente interactivo, y en todo momento se muestra la escala gráfica las coordenadas UTM. También puede consultarse la información de cualquier elemento poligonal: basta con elegir la herramienta de Información y recorrer el mapa con el puntero para que los controles de la zona inferior nos muestren el código y la descripción del elemento seleccionado.

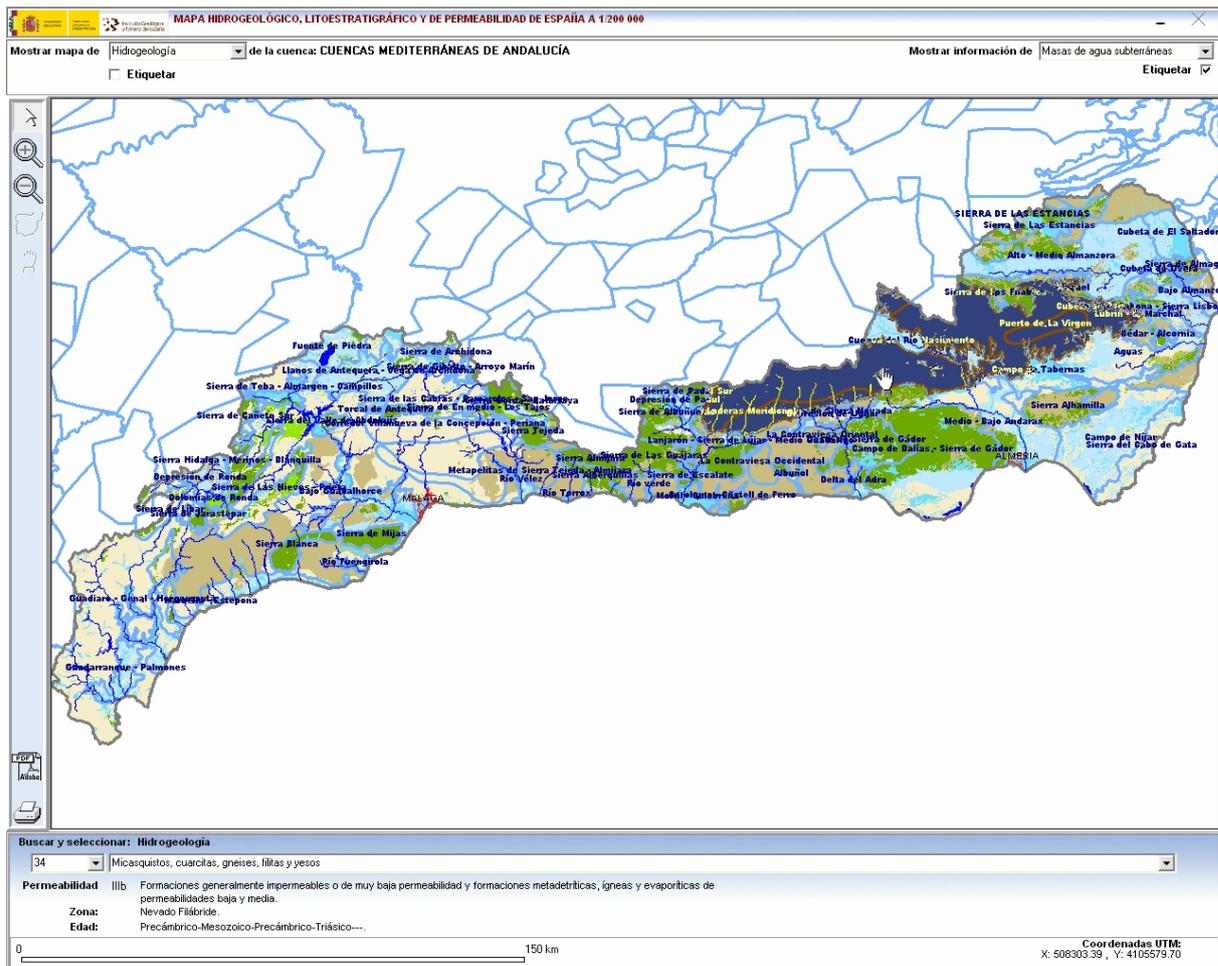


Figura 32. Interactividad: coordenadas UTM e información sobre el polígono seleccionado
(en este caso código y descripción hidrogeológica, permeabilidad, zona y edad).

Las dos listas desplegables situadas en la parte inferior (figura 33) permiten elegir de manera alfanumérica las características de una clase (litología, permeabilidad, hidrogeología), bien por su código o por su descripción, que aparecerán en el mapa en color amarillo.

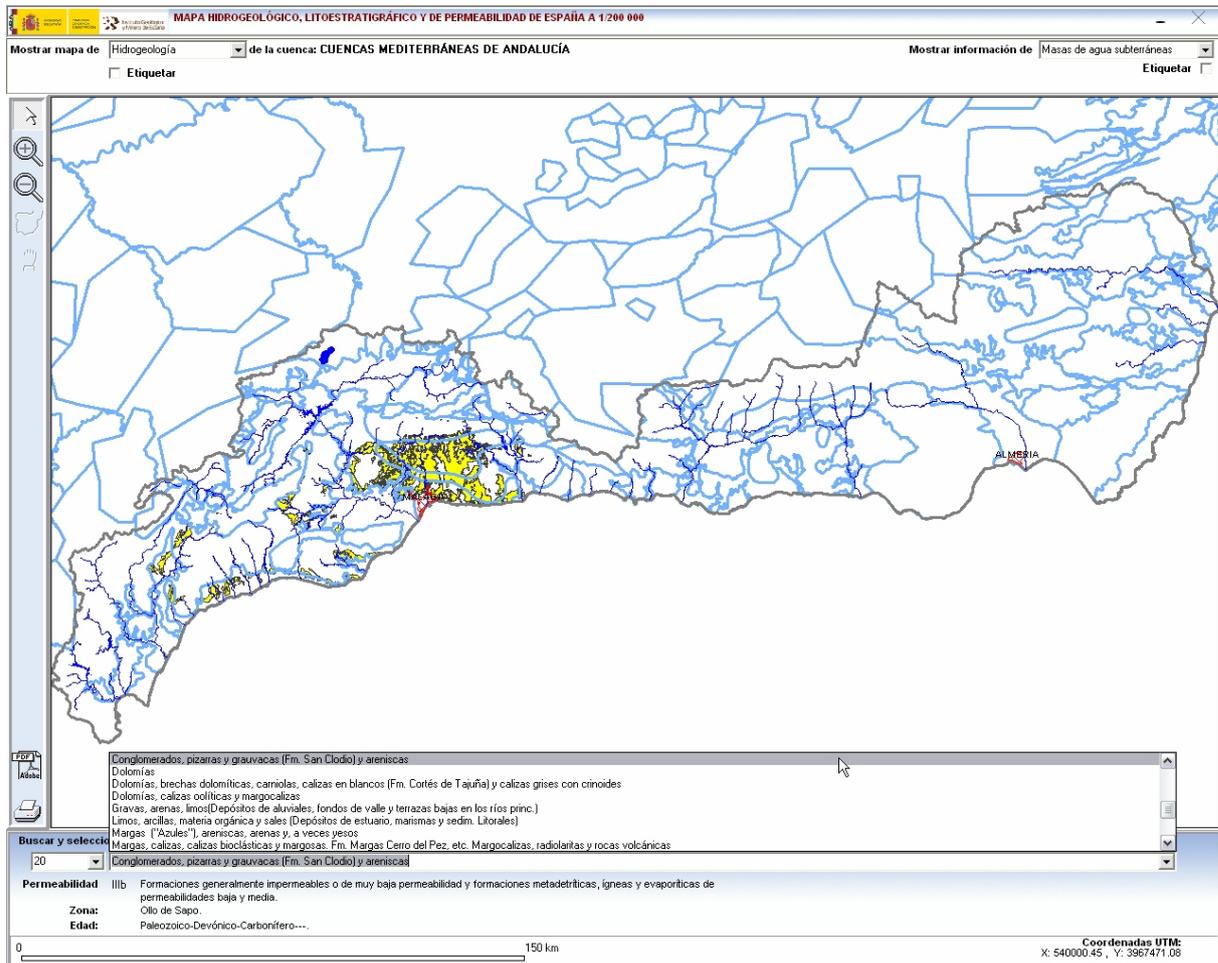


Figura 33. Selección de "Conglomerados, pizarras y grauwacas (Fm. San Clodio) y areniscas".

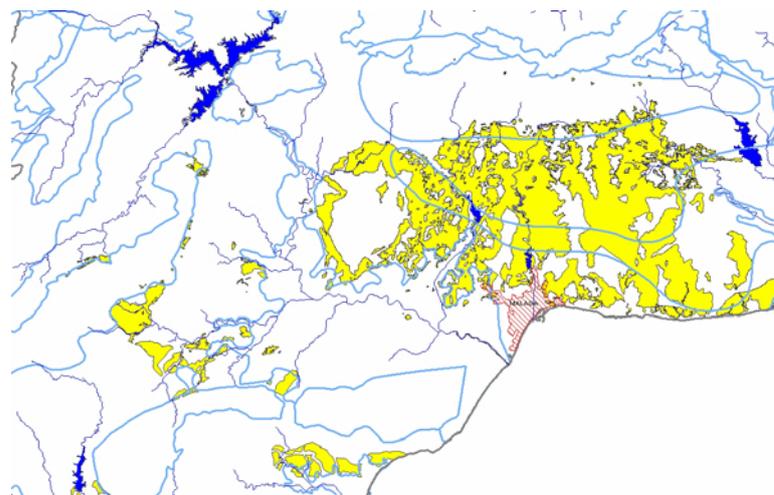


Figura 34. El mapa dibuja únicamente (en amarillo) los polígonos correspondientes a la selección.

Para completar los datos que se muestran en esta vista, pulsando sobre cualquier polígono aparecerá una ventana de leyenda, en la cual se resalta el polígono correspondiente a la selección, que permite conocer la edad del elemento en cuestión reflejada en la columna estratigráfica.

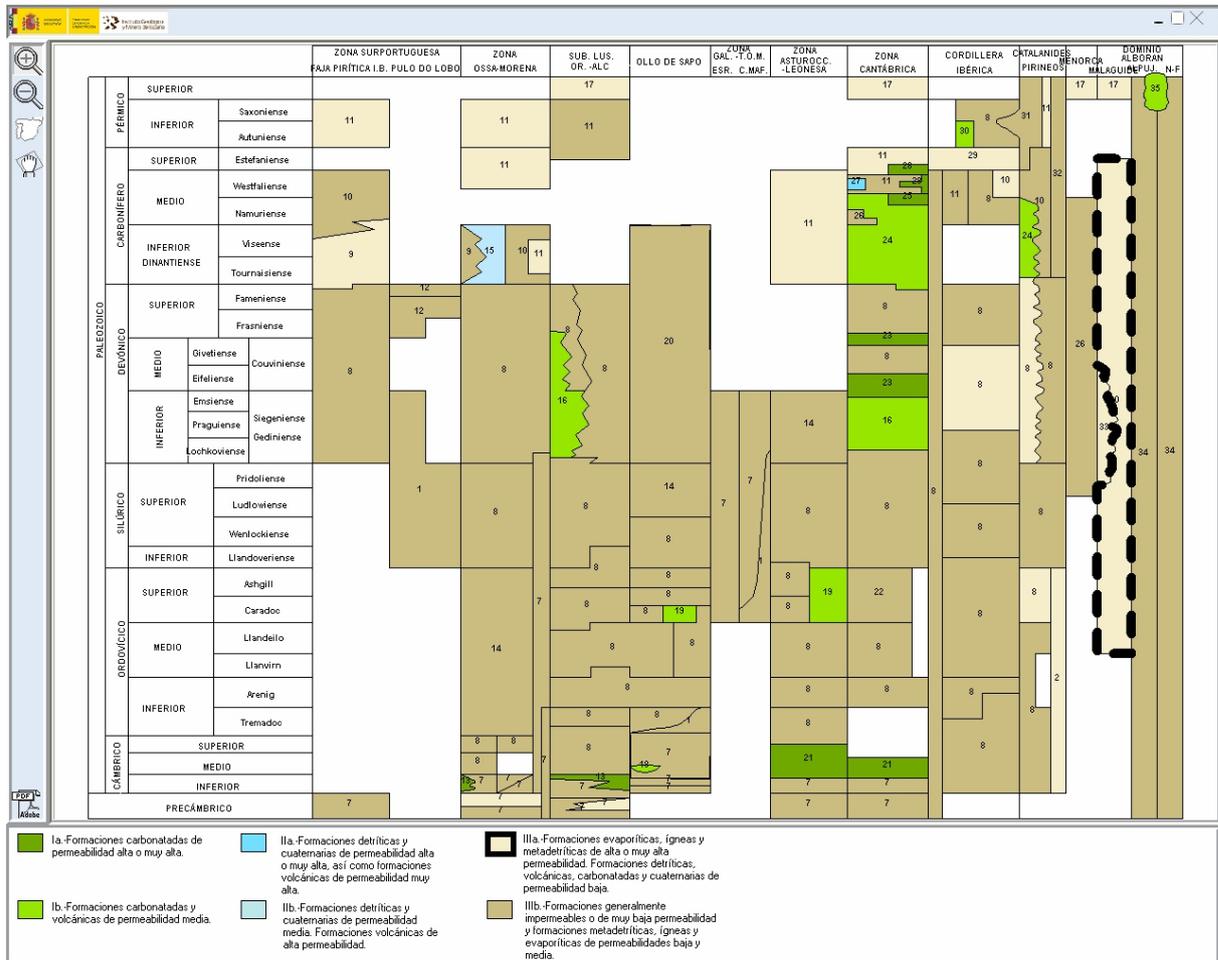


Figura 35. Leryenda hidrogeológica, con la selección y su permeabilidad recuadradas en negro

A todo esto, se añade la posibilidad de obtener un informe con el mapa o parte del mapa seleccionado, y las leyendas que lo explican. La aplicación muestra una vista preliminar de este informe y permite imprimir una página, una selección de ellas o todo el informe. También es posible guardarlo en PDF.

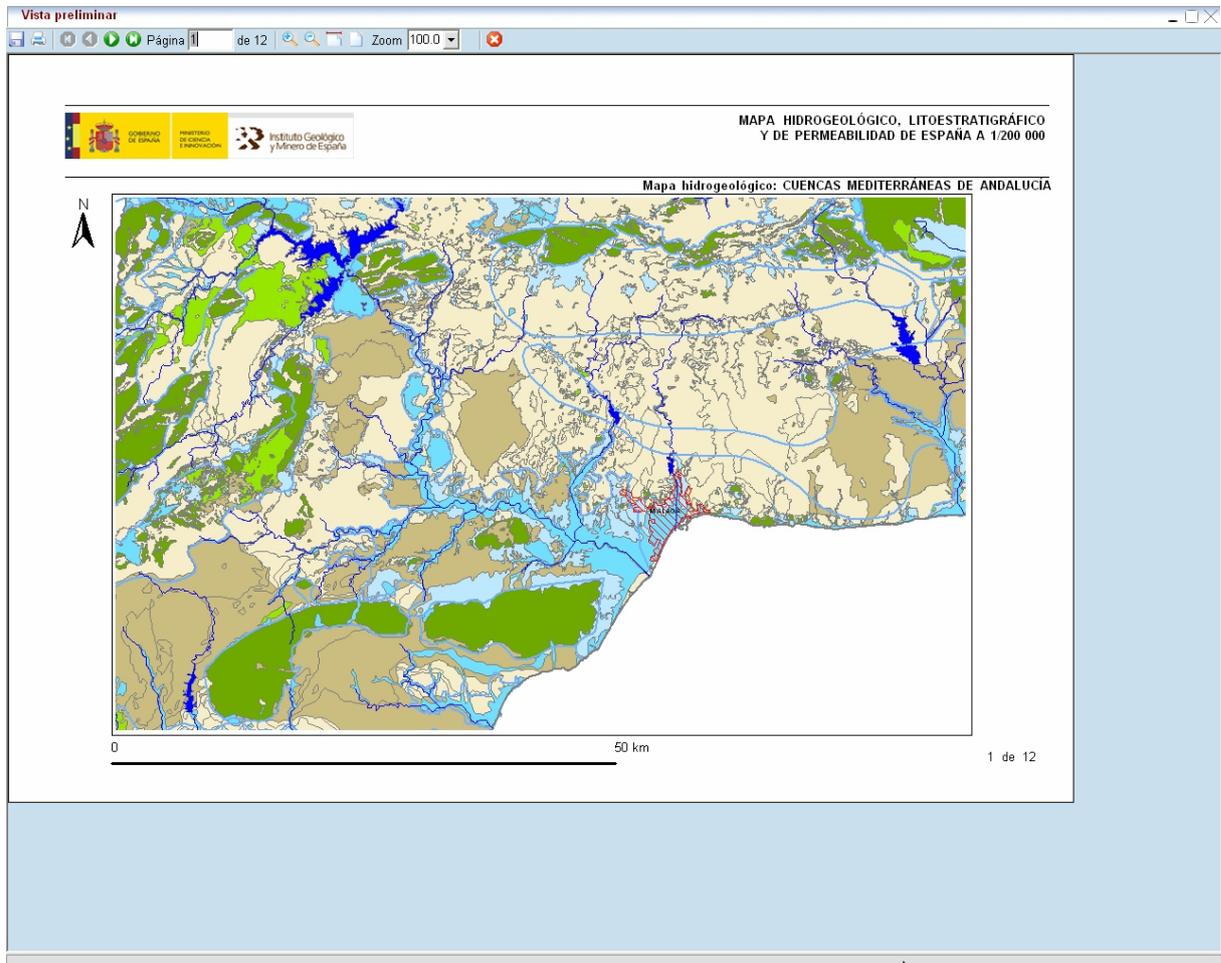


Figura 36. Vista preliminar del informe con mapa, leyendas y literatura (se muestra solamente la primera de las 12 páginas de que consta el informe)

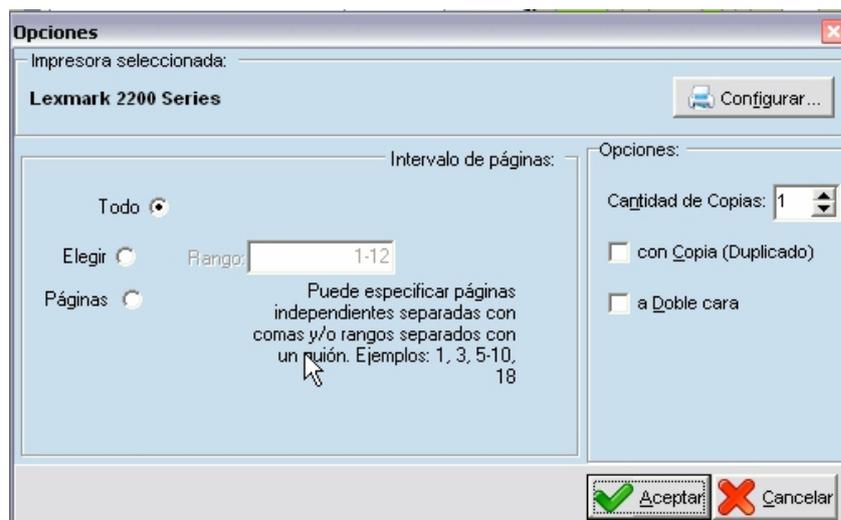


Figura 37, Opciones de impresión del informe.

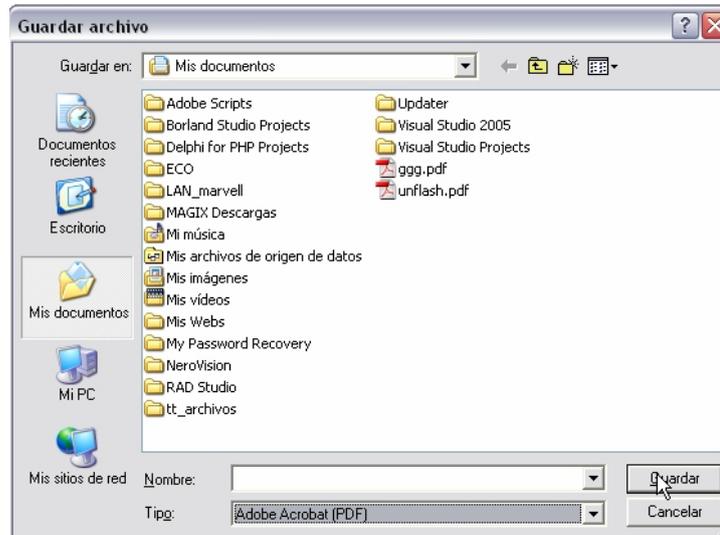


Figura 37, Guardando el informe en PDF.

7. BIBLIOGRAFÍA

Para la realización de la síntesis de las diferentes zonas se empleó la cartografía siguiente:

Zona 1, Macizo Ibérico Norte.

- Mapa Geológico de España a E. 1:200.000 (2ª serie) , hojas 1, 2, 7, 8, 16/26 y 17/27
- Mapa Geológico de síntesis a E. 1:200.000 de Asturias, realizado para el “Estudio del potencial de aguas mineromedicinales y termales del Principado de Asturias” (IGME, 2003)
- Mapa Geológico de España a E. 1:50.000 (MAGNA), hojas comprendidas en esta zona

Zona 2, Norte.

- Mapa Geológico de síntesis a escala 1:200.000 de Asturias (IGME)
- Mapa Geológico y Minero de Cantabria a escala 1:100.000 (IGME)
- Mapa Geológico del País Vasco a E. 1:200.000 (EVE-IGME, 1991)
- Mapa Hidrogeológico a E. 1:100.000 del País Vasco (EVE)
- Mapa Geológico de Navarra a escala 1:200.000 (Diputación Foral de Navarra)
- Cartografía Geológica de Navarra a E. 1:25.000 (Diputación Foral de Navarra)
- Mapa Hidrogeológico de España a E. 1:200.000, hojas 3 y 4
- Estudio Hidrogeológico de la U. H. 01-16, Llanes-Ribadesella (IGME, 1996)
- Mapa Geológico de España a E. 1:50.000 (MAGNA), hojas comprendidas en esta zona

Zona 3, Ebro-Cataluña.

- Mapa Geológico de España E. 1:200.000 (2ª serie), hojas 35 y 42
- Cartografía Geológica a escala 1:200.000 de la Confederación Hidrográfica del Ebro
- Mapa Hidrogeológico de España a E. 1:200.000, hojas 25, 32, 35
- Mapa Geológico de España E. 1:50.000 (MAGNA), hojas comprendidas en esta zona.
- Mapa d'árees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (ICC)

Zona 4, Duero.

- Mapa geológico de síntesis a E. 1:200.000 (ENRESA-IGME)
- Mapa Hidrogeológico de España E. 1:200.000, hojas 19, 29, 30, 37 y 38
- Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (MAGNA), hojas comprendidas esta zona

Zona 5, Macizo Ibérico Sur.

- Mapa geológico de síntesis de Extremadura a E. 1:200.000 (IGME)
- Mapa Geológico de España a E. 1:50.000 (MAGNA), hojas comprendidas en esta zona
- Mapa Geológico de síntesis a escala 1:200.000 (ENRESA-IGME)

- Mapa Geológico Provincial de Huelva a escala 1:200.000
- Mapa Hidrogeológico de España a E. 1:200.000, hojas nº 44 y 75

Zona 6, Tajo-Mancha.

- Mapa Geológico de síntesis a escala 1:200.000 (ENRESA-IGME)
- Mapa Geológico de España E. 1:50000 (MAGNA), hojas comprendidas en esta zona
- Mapa Hidrogeológico de España a escala 1:200.000, hojas nº 45, 54 y 61
- Mapa Hidrogeológico síntesis a escala 1:200.000 de Castilla-La Mancha (IGME)

Zona 7, Levante-Ibérica.

- Mapa Geológico de España a E. 1:200.000 (2ª serie), hojas nº 42, 47, 48 55 y 56
- Mapa Geológico de la Región de Murcia a escala 1:200.000 (IGME)
- Mapa Geológico provincial de Valencia y Alicante (IGME)
- Mapa Hidrogeológico de España a E. 1:200.000, hojas nº 40, 47, 48, 72 y 73

Zona 8, Guadalquivir.

- Mapa Geológico de España E. 1:200.000 (2ª serie), hojas 86 y 87
- Mapa Geológico de España E. 1:50000 (MAGNA), hojas comprendidas en esta zona
- Mapas Hidrogeológicos a escala 1:200.000 de las provincias de Huelva, Sevilla y Cádiz
- Mapa Hidrogeológico síntesis a escala 1:400000 de Andalucía
- Mapa Hidrogeológico de España E. 1:200.000, hojas 71, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86 y 87
- Cartografía Hidrogeológica de síntesis de los recintos internos correspondientes a la UU.HH. del proyecto Normas de Explotación realizado por la Confederación del Guadalquivir-IGME
- Cartografía de Vulnerabilidad de Andalucía realizado por DGOHCA-IGME
- Diversos proyectos inéditos realizados en la zona por el IGME

Zona 9, Baleares.

- Mapa Geológico a escala 1:00.000 de Ibiza y Formentera
- Mapa Geológico de España E. 1:25.000 (MAGNA), hojas comprendidas en esta zona
- Mapa Hidrogeológico de España E 1:200.000, hojas 57 y 66
- Mapas Hidrogeológicos a escala 1:100.000 de Ibiza, Formentera y Menorca
- Mapa Hidrogeológico de España E 1:50.000, hojas 671, 698 y 724

Zona 10, Canarias.

- Mapa Geológico de España E. 1:25000 (MAGNA), hojas comprendidas en esta zona
- Mapa Geológico a escala 1:100.000 de de cada una de las islas