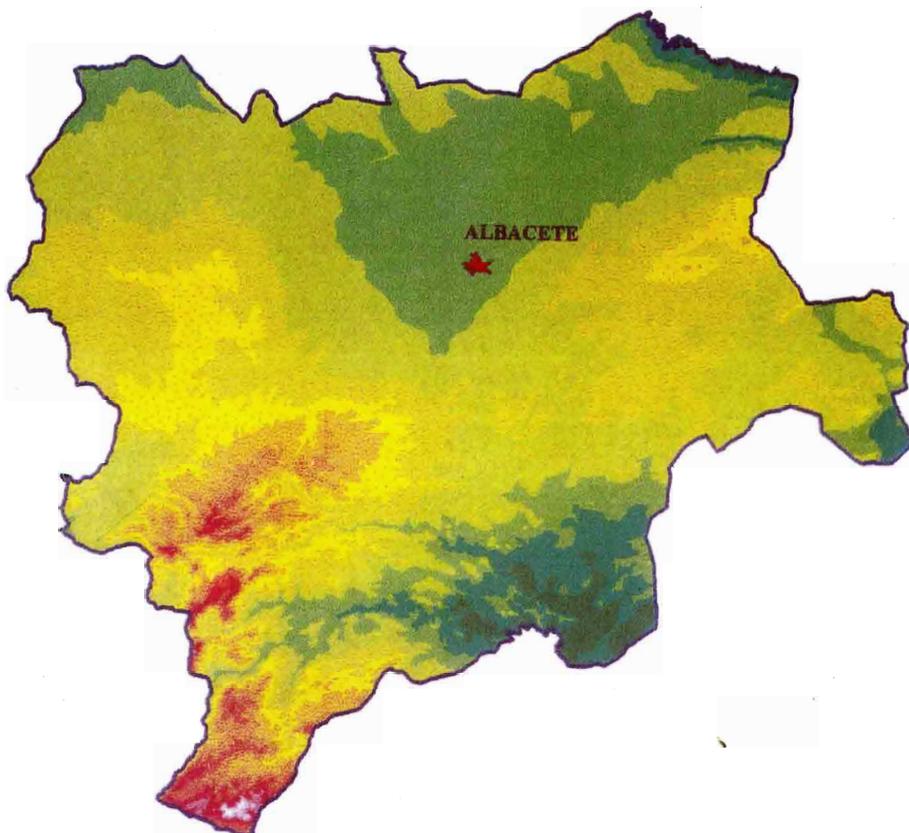


LUIS S. ALAFONT • JESÚS GARCÍA VILLAR

**ELABORACIÓN DE UN MAPA
DE RIESGO MEDIOAMBIENTAL
PARA LA PROVINCIA DE ALBACETE
MEDIANTE UN SISTEMA
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**



INSTITUTO DE ESTUDIOS ALBACETENSES
"DON JUAN MANUEL"
DE LA EXCMA. DIPUTACIÓN DE ALBACETE

LUIS S. ALAFONT • JESÚS GARCÍA VILLAR

**ELABORACIÓN DE UN MAPA
DE RIESGO MEDIOAMBIENTAL
PARA LA PROVINCIA DE ALBACETE
MEDIANTE UN SISTEMA
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**



INSTITUTO DE ESTUDIOS ALBACETENSES
"DON JUAN MANUEL"
DE LA EXCMA. DIPUTACIÓN DE ALBACETE
Serie I - Estudios - Núm. 125
Albacete 2001

Cubierta: Mapa hipsométrico de Albacete realizado a partir del Modelo Digital de Elevaciones.

ALAFONT, Luis S.

Elaboración de un mapa de riesgo medioambiental para la provincia de Albacete mediante un sistema de información geográfica / Luis S. Alafont, Jesús García Villar. -- Albacete : Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel", 2001.

154 p.: fot. Col., mapas ; 30 cm. -- (Serie I -Estudios; 125) Bibliografía.

ISBN 84-95394-18-9

I. Medio ambiente-Albacete(Provincia)-Mapas I. García Villar, Jesús II. Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel". III. Título. III. Serie.

504.4(460.288):528.93

INSTITUTO DE ESTUDIOS ALBACETENSIS "DON JUAN MANUEL"
DE LA EXCMA. DIPUTACIÓN DE ALBACETE.
ADSCRITO A LA CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE CENTROS DE ESTUDIOS LOCALES. CSIC

MAQUETACIÓN: TIPO Y TRAMA. S. L.
Camino de la Virgen. 16 - bajo
Telf. y Fax 967 550 019
02005 ALBACETE

D.L. AB-169/2001
I.S.B.N. 84-95394-18-9

IMPRIME: REPRODUCCIONES GRÁFICAS ALBACETE
Polígono Industrial Campollano. C/. C. N.º 16
Telf. 967 21 81 66 • 02007 ALBACETE

A Camino y Auri

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio medioambiental ha sido posible gracias a la aportación económica del Instituto de Estudios Albacetenses de la Excm. Diputación Provincial.

Los autores quieren agradecer a las personas y organismos siguientes su colaboración:

En primer lugar a la empresa EPTISA por las facilidades dadas para el empleo de los instrumentos informáticos precisos para poder llevar a cabo este trabajo.

A los colaboradores (Fran, Matilde, Beatriz, José, M.^a del Valle) que han participado en la redacción de algunos apartados del estudio, aportando su experiencia, escaso tiempo y amistad. No sólo han enriquecido este trabajo con sus conocimientos, sino también nos han ayudado a aprender muchos aspectos sobre el medio ambiente.

Un agradecimiento especial merecen Carlota Arquiaga y Susana Gómez (biólogas especialistas en contaminación de suelos y proyectos de impacto ambiental), por las valiosas sugerencias realizadas al manuscrito original.

También nos han ayudado con sus comentarios e ideas, Ana M.^a Alonso (Dpto. de Petrología Sedimentaria de la U.C.M.) y Pablo Silva (Dpto. de Geología, Universidad de Salamanca).

Por diversos apoyos prestados a Carlos Gazapo (CIECSA), Joaquín R. Chaparro, Ernesto García y SAGRARIO Esteras (CEDEX), Sara García (CAM), Ignacio Español (ETSICCP), Luis Laín (ITGE), Javier Plaza y Cristina Toledo.

Por los trabajos de fotocopiado y ploteado de planos a CAVERO-CAD, especialmente a Ángel, Javier y Pedro.

A nuestros amigos de ESRI España, Cayetano, José Luis, Ana, Marisa y Yolanda.

Por último a nuestros compañeros de EPTISA, en especial a los de la división de Medio Ambiente.

ÍNDICE

	<u>PÁGINA</u>
I. INTRODUCCIÓN	21
I.1. OBJETIVO E INTERÉS DEL TRABAJO	23
I.2. METODOLOGÍA	25
I.3. MATERIALES	27
I.4. ANTECEDENTES	27
I.5. CONTEXTO GEOGRÁFICO	29
I.6. CONTEXTO GEOLÓGICO	32
I.6.1. Estratigrafía	32
I.6.1.1. Paleozoico	32
I.6.1.2. Mesozoico (Prebético)	32
I.6.1.3. Cenozoico	35
I.6.2. Tectónica	36
I.7. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL MEDIO AMBIENTE	38
I.7.1. Agentes contaminantes	39
I.7.1.1. Origen de la contaminación del agua subterránea	39
I.7.1.2. Tipos de contaminación de las aguas subterráneas	40
I.7.1.3. Prevención y gestión de la contaminación de las aguas subterráneas	41
II. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ...	43
II.1. TERMINOLOGÍA	45
II.1.1. Datos descriptivos	47
II.1.2. Coordenadas	48
II.1.3. Topología	49
II.1.4. Organización de datos. <i>Coberturas</i>	51
II.2. GIS VECTORIAL – GIS <i>RASTER</i>	53
II.2.1. Modelo vectorial	53

II.2.2. Modelo <i>raster</i>	53
II.2.3. Comparación entre los dos modelos de datos	54
II.3. FUNCIONES DE UN GIS	55
II.3.1. Captación de datos.	56
II.3.2 Análisis de datos.	56
II.3.3 Gestión de datos	58
II.3.4 Conversión y salidas gráficas	58
II.4. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO	59
III. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES	63
III.1. HIDROGEOLOGÍA. Permeabilidad del terreno (A)	65
III.1.1. Unidades Hidrogeológicas del Guadiana	66
III.1.2. Unidades Hidrogeológicas del Júcar.	69
III.1.3. Unidades Hidrogeológicas del Guadalquivir.	73
III.1.4. Unidades Hidrogeológicas del Segura	73
III.2. CLIMATOLOGÍA Pluviometría (B)	81
III.2.1. Los Elementos climáticos.	82
III.2.1.1. Puntos de control.	82
III.2.1.2. Precipitación	85
III.2.1.3. Temperatura.	86
III.3. SISMOLOGÍA. Peligrosidad sísmica (C).	87
III.3.1. Tipos de sismicidad	88
III.3.2. Geografía sismológica de Albacete.	92
III.3.3. Peligrosidad sísmica.	94
III.4. ESPACIOS NATURALES. Zonas sensibles (D)	100
III.4.1. Lagunas de Ruidera	100
III.4.2. El Calar del Mundo	102
III.4.3. Las Hoces del Río Cabriel	103
III.4.4. La Hoz el Júcar	104
III.4.5. Otras áreas de interés	104
III.5. ARCILLAS. Peligrosidad por expansividad de terreno (E).	106
III.6. YESOS. Terrenos corrosivos (F)	109
III.7. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL. Distancia al D.P.H. (G)	111

PRÓLOGO

El conocimiento apropiado de los distintos usos del suelo, en los ámbitos social, económico y ambiental, es imprescindible para los responsables del ordenamiento territorial de cualquier administración del Estado (autonómica, provincial, municipal,...). Para ello es necesario recopilar un gran volumen de datos de origen muy diverso. Por una parte, los referentes a los ciudadanos, por otra, los datos territoriales que incluyen los diferentes tipos de ocupación (urbana, industrial, regadío,...), los datos cartográficos (altimetría, hidrografía, límites municipales,...) y, por último, los procesos de gestión (impuestos, padrón,...). La mayor parte de esta información tiene una componente geográfica, por ejemplo, el número de metros cuadrados de una explotación agrícola, tipo de cultivo, forma de riego, etc., que puede asociarse con un elemento físico, tal como una parcela o un municipio.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS) son unas herramientas informáticas muy útiles que permiten desarrollar interfaces geográficas para obtener, fácilmente, una visión rápida del territorio y evaluar los efectos de los diferentes usos del suelo sobre el medio ambiente. Para realizar estas funciones son necesarios dos requisitos: 1) que los diferentes tipos de información estén referenciados a un mismo sistema de coordenadas y; 2) que exista un programa específico para satisfacer las demandas del usuario. En este sentido, se ha generado una amplia base de datos cartográfica sobre aquellos aspectos abióticos más relevantes de la provincia de Albacete. Para ello se ha contado con los programas ARC/INFO® y ARCVIEW® de ESRI.

Albacete, al igual que otras provincias españolas, está experimentando un desarrollo importante y desigual. Así, algunas áreas urbanas adquieren una fuerte industrialización, mientras que en otros puntos del

territorio se sufre la despoblación. El uso de las tierras está constantemente cambiando; el suelo rústico se convierte en urbano; bosques que pasan a ser áreas naturales protegidas; cultivos de secano que se transforman en regadíos, etc. Todos estos cambios están en manos de las diferentes administraciones competentes: Ministerios, Comunidades Autónomas, Diputaciones, Ayuntamientos, etc.

Los autores proponen un método sencillo y de bajo coste que evalúa la capacidad del territorio para acoger instalaciones urbanas (vertederos, polígonos industriales,...) que puedan causar la contaminación del subsuelo –en especial de las aguas subterráneas– como consecuencia de su actividad. Para realizar esta caracterización se han estudiado diversos recursos, como son: usos de suelo actuales, tipo de acuíferos, características hidrológicas y climáticas, zonas ecológicas de interés, peligrosidad sísmica, expansividad y agresividad del terreno. Estos parámetros se definen como elementos diagnósticos y son ponderados en función de su importancia relativa.

Para el estudio de dichos parámetros se ha contado con el asesoramiento de un grupo de especialistas que han aportado su experiencia profesional en su valoración. Éstos han sido:

LUIS F. TURRIÓN PELÁEZ <i>Geólogo</i>	Hidrogeología Confederación Hidrográfica del Segura
MATILDE DE PERTIERRA Y REY <i>Geóloga</i>	Sismología EPTISA
BEATRIZ VILA MOLINA <i>Ingeniero de Montes</i>	Espacios naturales Consultor
JOSÉ M. de RAMÓN PEREZAGUA <i>Geólogo</i>	Terrenos corrosivos Consultor
M ^a del VALLE VALLADOLID GUIJARRO <i>Ingeniero Agrónomo</i>	Regadíos EPTISA

También se ha contado con una amplia bibliografía como se detalla al final del libro y en el capítulo de antecedentes. Todos los parámetros se han integrado bajo el GIS como una serie de coberturas que intentan caracterizar el medio físico albacetense. Posteriormente, toda esta información se ha *implementado* en el programa ARCVIEW, un GIS de fácil

manejo (*desktop*) en donde la información puede ser fácilmente visualizada, actualizada, seleccionada, etc., por los distintos planificadores provinciales.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. OBJETIVO E INTERÉS DEL TRABAJO

La Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana (Decreto 1346/1976 de 9 de abril) incluye los Planes Directores Territoriales de Coordinación en los que se establecen una serie de reglamentos encaminados a la protección del medio ambiente dentro del ámbito provincial o comarcal. Para poder poner en marcha estos planes es necesario, primero, un conocimiento de los usos del suelo, los recursos naturales y el medio ambiente; segundo, tener una valoración ecológica, paisajística, social o cultural sobre el territorio a estudiar; tercero, conocer el impacto que puede provocar sobre el medio natural el cambio de uso que se ejerce sobre él y, por último, saber qué medidas son necesarias para mitigar en lo posible las afecciones que sobre el medio ambiente puede producir ese cambio de actividad.

El objetivo principal de este trabajo se centra en los dos primeros puntos, es decir, se trata de un estudio meramente descriptivo del medio físico albacetense y, en particular, de aquellos elementos que están en relación con la contaminación del subsuelo y las aguas subterráneas. Para realizarlo es necesario inventariar dichos elementos con todos los parámetros disponibles. Éstos serán valorados de forma que el uso del territorio sea el más apropiado a sus peculiaridades y permita preservar la riqueza del medio. Todos los elementos inventariados y sus parámetros se plasmarán en mapas temáticos y sus valoraciones se integrarán para obtener un nuevo mapa que describa el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Dicho riesgo se ha establecido mediante una clasificación del territorio en niveles de protección de forma que puedan reducirse al máximo los efectos negativos que pueden causar la fuga de un agente contaminante.

El interés de este mapa al que llamaremos «*Mapa de Riesgo Combinado (MRC)*» estriba en que aporta información relevante para la instalación de actividades potencialmente contaminantes en cualquier punto del territorio albacetense. Entre estas actividades tenemos vertederos, polígonos industriales, gasolineras, instalaciones agropecuarias, etc., que pueden ser la causa de vertidos accidentales de contaminantes. Se trata, por tanto, de determinar cual es la localización más apropiada, dentro de la provincia, para la instalación de una actividad que puede causar daños a las aguas subterráneas y los ecosistemas. Los datos obtenidos pueden ser de interés para los diferentes Organismos del Estado, de forma que se permita el desarrollo económico de la provincia de forma compatible con los criterios de sostenibilidad. También puede ser de gran utilidad para empresas privadas en la selección de áreas más adecuadas para el desarrollo de actividades industriales. Es decir, el interés es suministrar criterios en la toma de decisiones para un mejor uso del espacio disponible y defensa de los intereses sociales.

La valoración se ha establecido basándose en información preexistente suministrada por EPTISA y por diversos organismos con competencia en estudios sobre el territorio (CEDEX, ITGE, IGN, INM, Confederaciones Hidrográficas, etc.). De la calidad, disponibilidad y fiabilidad de esta información ha dependido el resultado final, que debe tomarse como un índice de probabilidad relativo. Para tomar decisiones con repercusión económica son necesarios estudios más detallados y adaptados a cada caso concreto (p. ej. FEMP, 1999).

Otro objetivo en este proyecto de investigación es mostrar las capacidades de los Sistemas de Información Geográfica como herramientas que contribuyen a una gestión y ordenación más eficiente del territorio. El interés de estas herramientas es que constituyen un sistema aditivo, es decir, que la transcripción a formato digital del conjunto de datos permite ir introduciendo nuevas capas de información de campos muy distintos. Así a la información del ámbito de variables naturales, ya sean físicas o bióticas, se puede añadir datos de tipo antrópico, como pueden ser gastos de transporte, edad de las instalaciones o precios de las parcelas, o bien límites administrativos de distinta índole.

Por último, otro aspecto interesante de este proyecto es que la Diputación de Albacete pueda disponer de una base de datos cartográfica que comprenda su ámbito territorial a una escala adecuada. Esto permitirá el desarrollo futuro de distintas líneas de investigación e ir accediendo a cartografías cada vez más detalladas.

I.2. METODOLOGÍA

Para la elaboración de este estudio se ha seguido la metodología utilizada en diversos proyectos, principalmente los llevados a cabo por EPTISA (1997, 1996). En nuestro caso, esta metodología se ha aplicado a una extensión geográfica más reducida y, por lo tanto, se ha podido utilizar más datos y de mayor precisión. A su vez, la metodología de dichos proyectos se basa en la evaluación de la contaminación potencial de las aguas subterráneas y la elaboración de mapas de vulnerabilidad de acuíferos (DRASTIC) propuesta por Aller *et al.* (1987). Sin embargo, en vez de centrarse únicamente en la capacidad que tiene el terreno de transportar un contaminante (efecto de la fuga), se han añadido una serie de factores que evalúan la aptitud intrínseca de terreno –arcillas expansivas, presencia de minerales corrosivos– así como factores externos –riesgo sísmico, pluviometría– que pueden provocar la degradación de los continentes (tanques, depósitos, contenedores, etc.) de las sustancias contaminantes (riesgo de fuga).

El conjunto de factores que pueden ser considerados en un proyecto determinado puede ser innumerable y variará en función del tipo de proyecto. En proyectos como éste, dirigidos a la ordenación del uso de suelo, los datos obtenidos deben interpretarse siempre con las siguientes precauciones (EPTISA, 1977):

- los resultados sólo sirven para establecer prioridades
- aunque se parta de datos objetivos, la realidad es mucho más compleja
- la elección y ponderación de factores, aunque basada en la experiencia, introduce subjetividad al resultado
- estos resultados dependerán de la escala de trabajo, de la calidad y disponibilidad de los datos introducidos (*input*) y de si éstos se han contrastado mediante la comprobación *in situ*.

En nuestro caso se ha podido contar con cartografía temática ya existente, de diferentes escalas, calidades y fuentes de procedencia. Los elementos del medio físico seleccionados, implicados en una posible contaminación de las aguas subterráneas por instalaciones contaminantes, han sido los siguientes:

- Climatología
- Hidrogeología

- Sismología
- Espacios sensibles
- Geología: arcillas y yesos
- Hidrología superficial
- Regadíos

Una vez estudiados e inventariados estos factores se procederá determinar cuáles son los elementos que los condicionan (Tremiño, *et al.* 1996). Por ejemplo, dentro de la hidrogeología el elemento clave, a nuestra escala de trabajo, es la litología, ya que de ella dependerá, *grosso modo*, la permeabilidad, la profundidad del agua, la transmisividad, etc.

Estos elementos constituyen un área cartografiable. La representación en un mapa de todos los lugares análogos bajo este punto de vista, da lugar a áreas continuas de valor homogéneo. Éstas se valoran con parámetros simples y unitarios (de 0 a 2) según el grado de aptitud que el terreno ofrece para un posible uso.

Finalmente, se ponderan los factores en función de su importancia relativa, del grado de precisión, etc. y se combinan –con la ayuda de las herramientas GIS– de forma que el resultado sea un mapa en el que se refleje un índice de riesgo medioambiental (Fig. 1.1). Con él se pretende obtener una visión rápida de la aptitud del territorio que sirva de pauta en las tomas de decisiones administrativas.

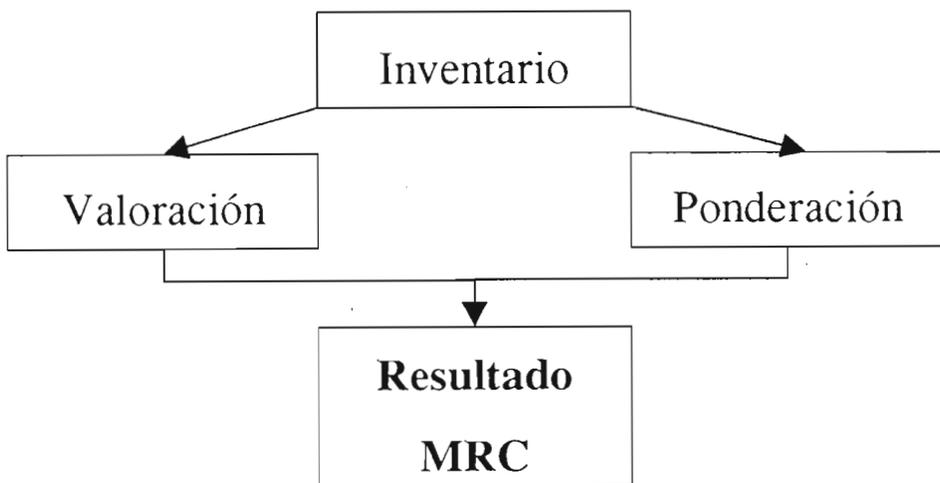


Fig. 1.1. Metodología para la realización del Mapa de Riesgo Combinado (MRC).

I.3. MATERIALES

Como se verá el capítulo de introducción a los Sistemas de Información Geográfica, éstos pueden definirse como un conjunto integrado por un sistema físico (*hardware*), un sistema lógico (*software*), los datos y los usuarios.

Respecto al sistema físico, se ha utilizado para este proyecto una estación de trabajo (*workstation*) SUN-10[®], un Pentium y los siguientes periféricos: mesa digitalizadora, *scanner*, impresora láser y trazador (*plotter*) de inyección de tinta.

En cuanto al sistema lógico, se ha contado con los SIG ARC/INFO[®] ver. 7.1 para UNIX Solaris[®] y ARCVIEW[®] para PC, así como con una hoja de cálculo y programas de edición.

En cuanto a los datos, para este proyecto se ha usado información cartográfica digitalizada procedente de diversas fuentes, la mayor parte de ella a escala 1:200.000. Una descripción detallada de esta información se incluye en el Anejo 1. La integración de estos datos de origen diverso trae consigo una serie de trabajos que, resumidamente, podemos establecer como sigue:

- incorporación al GIS y su posterior adaptación para el proyecto a desarrollar (mismo formato, igual proyección geográfica, etc.).
- corrección y codificación
- integración de la información cartográfica procedente de distintas fuentes.

Un aspecto a destacar cuando se aborda un proyecto de este tipo, es que los datos suelen presentar los siguientes problemas:

- son escasos
- están dispersos por diversos organismos
- no siempre son accesibles o, si lo están, son de difícil acceso
- están faltos de actualización
- cada organismo utiliza un formato distinto

I.4. ANTECEDENTES

Son numerosos los trabajos realizados en relación con los estudios de ordenación del territorio y medio ambiente. Destacaremos el que publi-

có en 1992 la Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente del, por entonces, Ministerio de Obras Públicas y Transportes: «Guía para la elaboración de estudios del medio físico» (MOPT, 1992). Dicha guía ha servido de base para numerosos proyectos de ordenación del uso de los recursos, de impacto ambiental y de restauración de medios alterados. En ella se detalla la metodología necesaria para llevar a cabo este tipo de estudios, la descripción de las variables del medio físico más importantes, técnicas de inventario, cartografía y las posibilidades de análisis de las mismas –con la utilización de los GIS– en función del tipo de proyecto.

Anteriormente, en 1990, Tremiño *et al.* exponen algunas ideas para la representación cartográfica de la capacidad de acogida del medio natural y social para la instalación de vertederos de residuos sólidos urbanos (VRSU). Una metodología similar, más aplicada a la conservación de las aguas subterráneas, fue presentada en el Congreso de Geología de Alcalá de Henares (Tremiño *et al.*, 1996). En ella se seleccionan tres parámetros: infiltración de lixiviados en el terreno, degradación de los lixiviados en la zona no saturada y usos potenciales del agua subterránea.

Ya dentro de lo que son los GIS, también hay numerosos autores que han trabajado aplicando esta herramienta como apoyo en los estudios del medio ambiente, recursos naturales, etc. Ya que resulta difícil dar resumidamente una idea de las actividades desarrolladas por cada uno de ellos, nos centraremos en los trabajos de este tipo realizados en España que tienen un origen más reciente.

José I. Barredo (1996) integra la metodología de la evaluación multicriterio y multiobjetivo en el entorno de los GIS, para evaluar la capacidad de acogida del territorio. Como ejemplo el autor aplica esta metodología a la cuenca del lago de Valencia (Venezuela).

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España y la Diputación General de Aragón junto con EPTISA llevan a cabo durante 1995-1996 un estudio sobre el medio físico, los riesgos naturales y la aptitud del terreno para la construcción en un sector del Pirineo Aragonés (Ríos, 1996). Para la obtención del mapa de aptitud constructiva se combinaron con un GIS los siguientes factores condicionantes: caracterización geotécnica, movimientos de ladera riesgo sísmico, de inundaciones y de avalanchas. (Fresno *et al.*, 1997; Mulas *et al.*, 1997).

En noviembre de 1996 Francisca Gómez presenta su tesis doctoral en la Facultad de CC. Geológicas (UCM) en la que desarrolla una metodología SIG para el Análisis y Gestión del Riesgo Volcánico, con aplicación en la elaboración de planes de emergencia o la ordenación del territorio.

Otro trabajo relacionado con los riesgos geológicos es el llevado a cabo por el Consejo de Seguridad Nuclear (1997), dedicado a la caracterización sísmica de emplazamientos nucleares y evaluación del daño potencial en estructuras. En él, la información sismológica fue almacenada en bases de datos e implementadas en un GIS. El resultado ha sido un mapa de peligrosidad obtenido a partir de las diferentes capas de información (sísmica, tectónica, geológica, topográfica, etc.).

En 1998 M^a L. Martínez publica un resumen de su tesis de licenciatura. En ella se emplea la metodología de reconocimiento de tierras de la escuela australiana de la CSIRO. Las variables básicas que utiliza esta metodología se pueden clasificar en tres tipos principales: topo-geomorfológicas, lito-edafológicas y aquéllas relacionadas con la vegetación. Como resultado del análisis GIS de estas variables obtiene tres tipos de mapa: de Unidades Territoriales, de Sistemas Territoriales y de Grandes Dominios Territoriales.

Ese mismo año, José L. Labradero y Javier Martínez presentan un estudio integrado de los componentes naturales y antrópicos del paisaje para la ordenación de zonas montañosas de los Montes de Toledo.

1.5. CONTEXTO GEOGRÁFICO

La provincia de Albacete, al igual que la mayoría de las provincias españolas, presenta una rica variedad en cuanto a sus caracteres geográficos y geológicos, más aún al tratarse de una de las más extensas. Con sus casi 15.000 km² ocupa el noveno lugar en cuanto a tamaño. Los diferentes tipos de relieve han dado lugar a una rica variedad de paisajes que tienen afinidad con ecosistemas muy distintos.

Desde el punto de vista político, aunque desde principios del siglo pasado hasta hace unas décadas la provincia estaba integrada en la Región de Murcia, según la actual organización territorial del Estado, pertenece a la Comunidad de Castilla-La Mancha. Se encuentra al sudeste de dicha Comunidad, limitando con las Comunidades de Valencia, al este, Andalucía al sudoeste y la citada de Murcia al sur y sudeste (fig. 1.2 y mapa 1.1).

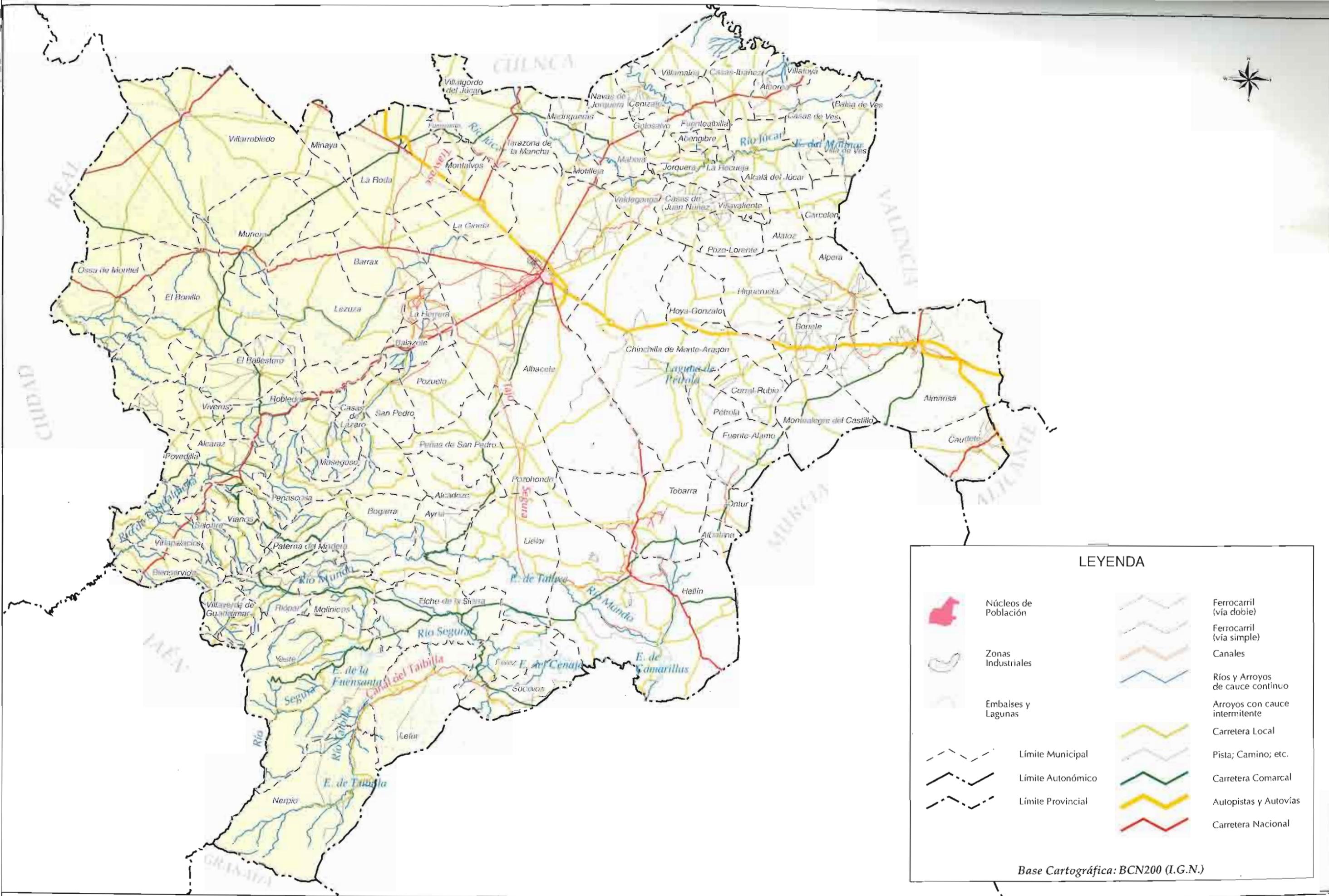
Desde el punto de vista geográfico, Albacete se encuadra en la submeseta sur en la que dominan las grandes planicies bordeadas por sierras y cordilleras (fig. 3.2).



Fig. 1.2. Mapa de situación de la provincia de Albacete en Castilla-La Mancha.

El primero de los dominios, la llanura, ocupa la mayor extensión*, especialmente el norte y centro de la provincia. Por ella discurre gran parte de las divisorias de los ríos Guadiana, Júcar y Segura que, a diferencia de otros bordes de cuencas, no la forman grandes relieves montañosos. La notoria horizontalidad sobre la que fluyen estos ríos ha favorecido la formación de numerosas áreas endorréicas (*Pétrola, Saladar, Salobralejo, Ontalafía*, etc.) (Vallejo y Cocero, 1997). Esta planicie sólo ha podido ser rota por el Júcar, dando lugar al cañón que lleva su nombre. Hacia el sur y el este, el terreno se va haciendo más ondulado, dando lugar a pequeños cerros y cuestas cada vez más acusados.

* El nombre de Albacete deriva del árabe (Al-Baseyt) que significa llanura.



Progresivamente se llega al segundo dominio, las sierras (*Calar del Mundo, Alcaraz, Los Morales*, etc.). Es la zona del río Segura el cual, nada más nacer en las sierras andaluzas, se adentra en Albacete. La erosión diferencial del Segura y sus afluentes como el Mundo, Tus, Taibilla, etc. han dando lugar a un modelado abrupto sobre los materiales mesozoicos del prebético, incluso formación de karst en los terrenos carbonatados.

Al oeste de la provincia se encuentran las estribaciones de la comarca de *Campo de Montiel*, calizas mesozoicas suavemente plegadas y enrasadas por varias superficies de erosión escalonadas, en las que se abren *Las Lagunas de Ruidera*, con importantes formas travertínicas. (Vallejo y Cocero, 1997).

En cuanto a la demografía, como el resto de la Comunidad de Castilla-La Mancha, la provincia presenta una baja densidad de población debido a factores históricos y a la emigración. La población de la provincia de Albacete se ha incrementado en la pasada década de los ochenta (1981-1991) sólo en un 2,2 %, la mitad que la media nacional (4,47%) aunque algo más que en el conjunto de su Comunidad Autónoma (1,46%). El incremento ha sido superior en aquellos municipios situados en torno a las principales vías de comunicación que unen Madrid con las ciudades de Alicante y Murcia, es decir, el eje formado por La Roda-Albacete-Almansa. Algunos municipios del norte de la provincia han mantenido a duras penas su población, mientras que el resto de municipios han visto decrecer su número de habitantes. Es de destacar el aumento de población experimentado por la capital de la provincia, que ha quintuplicado su número en este siglo (1900-1981), ostentando el primer lugar en cuanto a número de habitantes entre las capitales de la región.

La provincia de Albacete, por presentar una gran diversidad, se ha considerado un territorio muy idóneo para observar esta metodología de caracterización del territorio y también para discutir los resultados obtenidos en este estudio.

Para una descripción más detallada de la geografía de Albacete los autores remiten al lector a los trabajos de J. Sánchez (1982) y los atlas de la JCLM (1986, 1991).

I.6. CONTEXTO GEOLÓGICO*

I.6.1. Estratigrafía

A continuación se describen las características litológicas y estratigráficas de las rocas presentes en la provincia en relación con sus edades geológicas y su dominio geotectónico dentro de las Cordilleras Béticas.

I.6.1.1. Paleozoico

El Paleozoico se encuentra escasamente representado, aflorando en la Sierra del Relumbrar (foto 1), ubicada en la margen derecha del río Guadalmena (al oeste de la provincia), concretamente en los alrededores de la localidad de Alcaraz. La serie estratigráfica, de unos 300 m. de potencia, es de edad Ordovícica y está formada por cuarcitas con intercalaciones pizarrosas recubierta por sedimentos Triásicos y coluviones

I.6.1.2. Mesozoico (Prebético)

Casi toda la provincia de Albacete está enclavada dentro de este dominio de las Cordilleras Béticas, a excepción del extremo más suroccidental de la misma, en el entorno de la Sierra de Taibilla y a los alrededores de la localidad de Nerpio, donde sedimentos Triásicos y Jurásicos del Subbético cabalgan sobre el Prebético (IGME, 1982; IGME, 1987 a, b, y c).

I.6.1.2.1. Triásico

Aflora en el sudoeste de la provincia de forma discordante sobre las cuarcitas y pizarras paleozoicas (foto 1), al sur en las inmediaciones del embalse del Talave y de la población de Elche de la Sierra, al este de la provincia en los márgenes de los ríos Cabriel y Júcar; y al oeste, entre las localidades de Montealegre y Alpera y en las proximidades de Almansa. Este período se describe más detalladamente en los apartados III.5 y III.6.

I.6.1.2.2. Jurásico

El Jurásico que aflora en el límite sudoeste de la provincia da origen a la mayor parte de los afloramientos mesozoicos que aparecen en las proximidades de Alcaraz, río Mundo y Liétor. Aquí, la serie comienza con carniolas y dolomías y continúa con calizas y calizas margosas del Jurásico

* Redactado por L. F. Turrión.

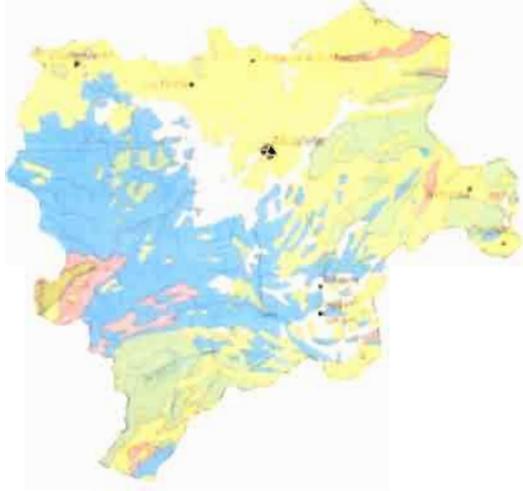


Fig. 1.3. Mapa geológico de la provincia de Albacete. Marrón: Paleozoico; Violeta: Triásico; Azul: Jurásico; Verde: Cretácico; Amarillo: Terciario; Gris: Cuaternario (JCL, 1991).



Foto 1. Valle del río Guadalmena desde el Cerro Vico al SO de Albacete. Al fondo en gris los suaves relieves paleozoicos de la Sierra del Relumbrar, delante en rojo el Triásico Hespérico en donde se observan niveles blancos de yesos y carbonatos. (Foto: L. S. Alafont).

Inferior (Lías). A continuación, el Jurásico Medio (Dogger) está representado por calizas marinas con abundante microfauna y el Superior lo componen margocalizas y calizas pisolíticas con presencia de aportes detríticos.

En la zona del *Campo de Montiel*, al oeste, el Jurásico se inicia con margocalizas y calizas blanquecinas, se continúa con carniolas que gradualmente pasan a dolomías de colores claros, calizas litográficas, y termina con calizas tableadas ocre y grises. Más al este, pero dentro de la mitad occidental de la provincia, el Jurásico está formado por dolomías y calizas con pasadas margosas hacia el techo, sigue con calizas gris –azuladas tabulares–, calizas de tonos rosados y termina con dolomías.

En el cuadrante nororiental el Jurásico se encuentra escasamente representado conformando afloramientos aislados pertenecientes a la serie del Jurásico Superior (Malm) y constituida por un paquete de entre 100 y 250 m de dolomías pardas y grises.

En el entorno de Hellín y Tobarra (sudeste) el Jurásico Inferior-Medio empieza con dolomías masivas y concluye con 4-5 m de yesos blancos, conjunto que, lateralmente y hacia Ontur, pasa a calcarenitas, calizas oolíticas crinoideas y margas verdes. El Jurásico Superior está compuesto por calizas nodulosas micríticas y biomicríticas.

1.6.1.2.3. Cretácico

Los sedimentos del Sistema Cretácico presentes en la provincia de Albacete afloran únicamente en dos sectores: en el cuadrante nororiental y en el suroccidental.

El primero incluye las sierras de Monte Aragón (Chinchilla-Carcelén), Sierra de la Caballa y del Boquerón, el entorno de las Lagunas de Pétrola y del Saladar y los términos municipales de Bonete y sur del de Almansa.

En tránsito todavía con el Jurásico, se inicia con un tramo de 30-70 m. de calizas compactas marrones, en cuya base, y en suave discordancia con los materiales infrayacentes, aparecen oolitos y pisolitos.

En los alrededores de Bonete, por encima del tramo de transición anterior, aflora una serie datada como Albense (último piso del Cretácico Inferior) constituida por margas arenosas, areniscas compactas, microconglomerados y, a techo, areniscas pardas. Continúa con calizas blanquecinas y cavernosas y concluye con un tramo detrítico de areniscas marrones y arenas (arenas de Chinchilla).

En la Sierra de Cuchillo y Oliva, el Cretácico Inferior (aquí datado como Aptiense) está compuesto por calizas en bancos bien definidos, des-

pués margas, arcillas plásticas y areniscas para terminar con un banco de calizas arrecifales.

El Cretácico Superior aflora algo más al norte (sierras de Monte Aragón, Caballa y Boquerón). Concretamente, en las proximidades de la localidad de Carcelén, se han definido dos formaciones del Cretácico Superior que son: la Formación San Jorge (Cenomaniense - Turoniense), compuesta por una potente serie dolomítica muy extensa –entre 80 y 250 m de espesor– y, por encima, la Formación Hornillo que se inicia con una brecha calcárea y termina con calizas marrones.

En el cuadrante suroccidental, el Cretácico aparece en la zona entre el río Mundo y el límite con la provincia de Murcia. Concretamente, en las inmediaciones de Liétor, se ha definido una serie compuesta por tres tramos:

Tramo inferior (Aptiense - Albiense): formado por arenas cuarcíticas que culmina con un nivel arcilloso muy característico. Lateralmente, y hacia el Embalse de la Fuensanta, el tramo pasa a calizas arrecifales con abundante fauna fósil.

Tramo medio: comprende calizas y margas del Cenomaniense dolomías y calizas turonienses y calizas blancas y grises Turoniense - Senoniense (término que agrupa a los cuatro últimos pisos del Cretácico Superior). La edad de estas últimas calizas es la misma que la Formación Hornillo antes descrita.

Tramo superior: es de tipo margoso con intercalaciones calcáreas y datado como Senoniense.

1.6.1.3. Cenozoico

1.6.1.3.1. Paleógeno

El Terciario inferior (Paleógeno) solamente se ha cartografiado en la cuña suroccidental de la provincia. Sobre el Cretácico Superior se depositó, aparentemente concordante sobre él, una serie de edad eocena de origen marino, compuesta por sedimentos areniscosos intercalados con otros de naturaleza calcárea.

Por encima, en ligera discordancia sobre los anteriores, la serie oligocena está compuesta por areniscas, margas y arcillas con interestratificaciones calcáreas que, hacia el este de dicho sector, pasa lateralmente a calizas microcristalinas y margas de ambiente sedimentario lagunar.

1.6.1.3.2. Neógeno (Mioceno)

Aflora en dos zonas fundamentalmente: en el sector centro-septentrional, comprendido entre Albacete (al sur), la Roda (noroeste), Tarazona de la Mancha (norte) y Jorquera (como límite nororiental), y al sur de la provincia, donde el Mioceno presenta dos tramos uno inferior, marino, y otro superior, claramente lacustre y que lateralmente puede adquirir caracteres fluviales.

En la primera zona, la de mayor extensión, el Mioceno se apoya directamente sobre el Mesozoico. Se trata de una serie basal detrítica con conglomerados, arenas y arcillas rojas que aparecen rellenando las zonas más deprimidas de lo que debió ser la cuenca miocena. Al extenderse los límites de esa cuenca se sedimentaron formaciones de predominio margoso-yesífero y después calizas lacustres del Turolense (*Pontiense*) con interstratificaciones de arenas y evaporitas (ver apartado III.6).

1.6.1.3.3. Pliocuaternalio y Cuaternario

Los sedimentos Plio-Cuaternalios se pueden ver coronando las facies lacustres y fluviales de las formaciones miocenas. Están formados por conglomerados poligénicos de origen continental, con espesores de más de 100 m en algunos puntos. En la región comprendida entre Letur y Férez, y también al noroeste de Socovos, la serie antes descrita culmina con sedimentos travertínicos.

En otras ocasiones forman también lentejones discordantes sobre el Mesozoico, formados por conglomerados heterométricos con cantos calizos cementados por arcillas o calcita y pasadas de arenas con limos.

Al Cuaternario pertenecen los rellenos detríticos de valles y ramblas, los depósitos de tipo raña (donde se reubican en planicies los conglomerados basales miocenos), los canchales de las laderas más abruptas de las sierras, y los derrubios y conos de deyección de los relieves cuarcíticos.

1.6.2. Tectónica

El territorio de la provincia de Albacete no sufrió por igual los empujes y distensiones producidos por las diferentes orogenias que actuaron en la zona (IGME, 1982; IGME, 1987 a, b, y c).

Así, la **mitad septentrional** presenta una estructura tabular con deformaciones muy débiles (propias del Prebético Externo de las Cordilleras Béticas), únicamente afectada por una tectónica rígida. Básicamente, originó un sistema de fracturas de dirección NE-SO, más fre-

cuentas hacia el sur y sudeste y otro, no tan desarrollado, perpendicular al anterior.

Únicamente se distingue una secuencia de suaves anticlinales y sinclinales con las trazas alineadas también en dirección NE-SO visibles en los materiales cretácicos y miocenos del entorno de Montealegre del Castillo.

Por el contrario en la **mitad meridional** de la provincia la complejidad estructural es mayor, dando como resultado importantes acortamientos corticales con estructuras que describen un arco en el que las direcciones de las trazas de las charnelas de los pliegues y de los cabalgamientos son NE-SO (directriz bética) en la parte occidental y giran, en el borde suroccidental de la provincia, a la dirección ONO-ESE, cerrando el arco descrito.

Cronológicamente, se puede decir que, en esta zona del Prebético Interno, los sedimentos posthercénicos hasta los incluidos en el Mioceno Inferior, se encuentran afectados por un plegamiento de dirección variable como se ha mencionado. Previamente a esta fase de plegamiento, se produjo una de cabalgamientos con el deslizamiento de las formaciones mesozoicas entre sí y sobre sedimentos del Terciario Inferior, siendo la superficie de deslizamiento de estos mantos alóctonos las arcillas plásticas del Triásico Superior (*Keuper*). Ambas fases tectónicas se desarrollaron a finales del Oligoceno.

Existe otra etapa de plegamiento con las mismas direcciones anteriores a finales del Mioceno Inferior que lleva asociada la presencia de fallas inversas en los flancos norte de los anticlinales con pequeños desplazamientos. El Mioceno Medio y Superior es postectónico. Se han diferenciado tres fallas de desgarre principales (Socovos-Calasparra, Liétor y Pozohondo) que delimitan dos dominios en los que se observan variaciones en las direcciones de plegamiento alpino antes citadas (Martínez *et al.* 1998).

Al final del Mioceno o durante el Plioceno, la región sufre un fuerte levantamiento, atestiguado por la presencia del Mioceno marino en cotas topográficas muy altas. De esta época o algo posterior, pueden ser los dos sistemas de fracturas que también aparecen en este sector: el primero es el que se encuentra más representado y tiene la misma dirección que las estructuras compresivas descritas. Se supone que la distensión postorogénica hizo funcionar como fallas normales a numerosas fracturas originadas en las fases anteriores. El otro sistema de fallas es octogonal con el primero y se encuentra muy bien desarrollado en la parte suroccidental de la provincia. Parece, al menos en algunos puntos, que corta y desplaza a las fallas antes descritas, por lo que sería posterior en el tiempo.

I.7. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL MEDIO AMBIENTE

Hoy en día términos como Impacto Ambiental, Ecosistema, Biodiversidad, Desarrollo Sostenible no sólo forman parte de la jerga de los investigadores sino que son ampliamente utilizados y difundidos por los medios de comunicación. Esto refleja la preocupación cada vez mayor por parte de los ciudadanos por la conservación del medio ambiente. Según dictaminó en 1987 la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD) perteneciente a la O.N.U., se define el Desarrollo Sostenible como «*aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*». Dicha declaración fue ratificada en la Cumbre de Río de Janeiro de 1992. Viene este dictamen a apoyar la necesidad de la conservación de las aguas subterráneas que presentan, respecto a las aguas superficiales, la desventaja de que una vez contaminadas, su recuperación es muy difícil y costosa. «Las aguas pueden transportar los contaminantes a través del subsuelo a sitios alejados de la fuente donde la flora y la fauna quedan expuestos a ellos, acumulándose en los tejidos animales o en la savia de las plantas entrando así en la cadena trófica y en última instancia afectando a la salud humana» (Arquiaga, 1997). La contaminación de las aguas es objeto de creciente preocupación en España por parte de las distintas administraciones del Estado. En el caso de las aguas subterráneas la preocupación se justifica por la importancia socioeconómica que representa. Las aguas subterráneas en la provincia de Albacete alimentan gran cantidad de ecosistemas asociados a humedales, muchos de los cuáles forman parte de espacios naturales protegidos, como las *Lagunas de Ruidera*, la *Laguna de Pétrola*, los *Salobrales de Cordovilla*, etc. El uso irracional del agua subterránea produce problemas como la sobreexplotación de los acuíferos, afecciones negativas a ríos y manantiales, y la degradación de su calidad, entre otros.

La sobreexplotación de las aguas subterráneas no se lleva a cabo de manera regular debido a los desajustes entre la ubicación de las zonas de demanda y la disponibilidad de recursos hídricos para satisfacerla. Como consecuencia de los bombeos intensivos, de una magnitud que excede la capacidad natural de renovación de los recursos renovables, se originan procesos de sobreexplotación.

Una de las principales características de la hidrología de Albacete respecto a otras provincias, es que el agua subterránea es, en muchas zonas, el único recurso hídrico natural disponible. Las aguas subterráneas abastecen a un gran número de poblaciones e industrias además de su uti-

lización para el riego en un elevado número de hectáreas de cultivo, bien por sí solas o junto con aguas superficiales. En el presente se perciben con intensidad las dificultades para asegurar un aprovechamiento sostenible.

I.7.1. Agentes Contaminantes

Se entiende por contaminación del agua subterránea la alteración –generalmente en sentido negativo– de la calidad natural de la misma, derivada de actividades humanas que la hace inaprovechable para la aplicación útil a la que se destinaba (IGME, 1984; Rebollo, 1998).

Por ello, antes de implantar una instalación que puede dar lugar a productos altamente contaminantes se debe estudiar el lugar más apropiado para ello. Habrá que conocer dónde son menores las posibilidades de contaminación y si estos productos contaminantes pueden afectar a aguas subterráneas que abastecen a poblaciones o alimentan humedales o ríos próximos.

I.7.1.1. Origen de la contaminación del agua subterránea

La contaminación de las aguas subterráneas se debe generalmente a actividades humanas. Según su origen la contaminación de las aguas subterráneas se puede clasificar en urbana, industrial y agrícola (IGME, 1984).

Dentro de la **contaminación urbana** o doméstica tenemos los residuos sólidos urbanos (RSU) o basuras que se depositan en vertederos (no siempre legales). El agua de lluvia que cae sobre ellos y la procedente de la humedad de los propios residuos se infiltra y circula a través de ellos cargándose de contaminantes. Dicho fluido –en forma de residuo líquido– se denomina *lixiviado*. Hay muchos trabajos específicos que calculan el volumen de lixiviados generados en un vertedero (Tremiño *et al.* 1990, 1996). Este tipo de contaminación reviste una especial peligrosidad debido a la toxicidad de los compuestos contenidos en los residuos vertidos. Existen metodologías específicas para la caracterización y selección de emplazamientos de vertederos (p. ej. FEMP, 1999).

Otro tipo de contaminación urbana son las aguas residuales procedentes del alcantarillado, los pozos negros, las fosas sépticas, los pozos abandonados que se utilizan como lugar de vertido, los cementerios, etc.

La **contaminación industrial** es aquella ocasionada por los residuos industriales y mineros (escombreras) que se vierten a través del terreno, las aguas superficiales o subterráneas, bien de forma intencionada, bien de forma accidental (fugas de tanques y conducciones), durante su almacenamiento, manipulación o transporte (Rebollo, 1998). Se caracterizan

por presentar una gran cantidad y variedad de sustancias, en general tóxicas y peligrosas. Estas sustancias pueden ser de naturaleza inorgánica (metales pesados) u orgánica (detergentes, aceites, etc.).

Los hidrocarburos (HC) del petróleo son una de las fuentes más frecuentes de contaminación del suelo y las aguas subterráneas. Las fugas y derrames de los tanques subterráneos de las estaciones de servicio y de otros centros de almacenamiento de combustible hacen que éste sea un problema recurrente en España (Arquiaga, 1997, EPTISA, 1996).

Por último la **contaminación agrícola** es aquella que deriva de las actividades agropecuarias. Ésta es debida fundamentalmente a la aplicación de abonos, fertilizantes, pesticidas, reciclados de riegos, residuos ganaderos (purines), etc. A diferencia de los otros tipos de contaminantes, presentan las siguientes características (IGME, 1984; Rebollo, 1998):

- su peligrosidad, salvo excepciones, es reducida
- por su carácter difuso, sus efectos se extienden sobre zonas más amplias
- aportan al agua elevadas concentraciones de nitratos y, en menor grado, de nitritos, amoníaco, fósforo y potasio.

Su magnitud cada vez es mayor, como ocurre en la provincia de Albacete, donde la puesta en marcha de numerosos regadíos –principalmente en la zona de La Mancha (ver apartado III.8)– ha aumentando progresivamente la degradación de las aguas subterráneas en la zona. Esto ha puesto en peligro numerosos humedales y ecosistemas, como ha ocurrido en las vecinas Tablas de Daimiel.

1.7.1.2. Tipos de contaminación de las aguas subterráneas

La contaminación de las aguas subterráneas se clasifica, según su tipología en: química, biológica y radiactiva.

La contaminación química (Rebollo, 1998) puede ser de tipo orgánico e inorgánico por iones (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , etc.) y compuestos nitrogenados (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), metales pesados (Al, Cu, Zn, Pb, etc.) o compuestos tóxicos (cianuros, pesticidas, detergentes,...).

La contaminación biológica del agua es principalmente provocada por bacterias y virus cuyas fuentes son las aguas fecales y las aguas residuales procedentes de los servicios públicos y los desagües domésticos (Mijailov, 1985).

Los contaminantes radiactivos pueden tener un origen natural o artificial. El primero está determinado por la presencia en las aguas subte-

rráneas de uranio, radio, estroncio, cesio, tritio, etc., y el segundo por la penetración en ellas de elementos radiactivos contenidos en los productos y desechos derivados del proceso de producción de energía nuclear. Son de elevada toxicidad, movilidad y, en algunos casos, persistencia (Mijailov, 1985; Rebollo, 1998).

La contaminación radiactiva en Albacete no parece probable debido a la inexistencia de instalaciones nucleares. Podría darse algún aumento en el contenido de elementos radiactivos –de origen natural– en las aguas próximas a los depósitos detríticos del Triásico o en los de origen volcánico, pero sin llegar a considerarse como una contaminación.

I.7.1.3. Prevención y gestión de la contaminación de las aguas subterráneas

La toma de conciencia por parte de la administración española se ha traducido en la promulgación de una serie de disposiciones legales de distinto rango que configuran el ordenamiento jurídico vigente en materia de aguas. Las aguas subterráneas según la nueva Ley de Aguas, pasan a integrarse en el dominio público hidráulico, asignándose al Estado la responsabilidad de la planificación hidrológica.

Los objetivos mencionados en la Ley en cuanto a la protección contra el deterioro del dominio público hidráulico son los siguientes:

- Conseguir y mantener un adecuado índice de calidad de las aguas
- Impedir la acumulación de compuestos tóxicos o peligrosos en el subsuelo capaces de contaminar las aguas subterráneas
- Evitar cualquier otra contaminación que pueda ser causa de su degradación.

II. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

No se pretende en este capítulo realizar un tratado sobre los Sistemas de Información Geográfica sino, simplemente, dar una breve descripción de lo que son para que el lector pueda entender mejor la metodología utilizada en este trabajo. Los autores remiten a los que quieran profundizar más en los GIS a ediciones más específicas como: Bosque (1992), Bonham-Carter (1994), ESRI (1995), Barredo (1996), Labrandero y Martínez (1998) y otros.

II.1. TERMINOLOGÍA

A pesar de que el mundo de los Sistemas de Información Geográfica parece algo muy especializado y concreto, son tan diversos los profesionales que los utilizan, que no se ha conseguido, hasta el momento, dar una definición que satisfaga a todos los usuarios. Una de las primeras definiciones dadas de un GIS, que puede ser suficiente para nosotros, es la propuesta por Goodchild (1985) como: «un sistema integrado para capturar, almacenar, gestionar, analizar y representar información con respecto a lo concerniente a su carácter geográfico». Por sistema integrado se entiende el soporte físico (*hardware*), el soporte lógico (*software*), los datos, el personal especializado, etc.

Como parte de los Sistemas de Información, en un GIS los datos son almacenados y manejados de forma lógica y consistente (bases de datos), pudiendo el usuario recabar, manipular y analizar esta información también de forma ordenada, siendo los accesos adecuados y limitados.

Empresas privadas, organismos oficiales, universidades, etc. han desarrollado distintas marcas de GIS y, aunque utilicen diferentes soportes

tanto físicos como lógicos, todos ellos se basan en el mismo concepto: almacenar los datos espaciales del mundo real en bases de datos ordenadas en capas que pueden ser manipuladas por herramientas informáticas para interpretar y modelar el mundo real tan bien como sea posible (Struckmeier y Margat, 1995); (Fig. 2.1).

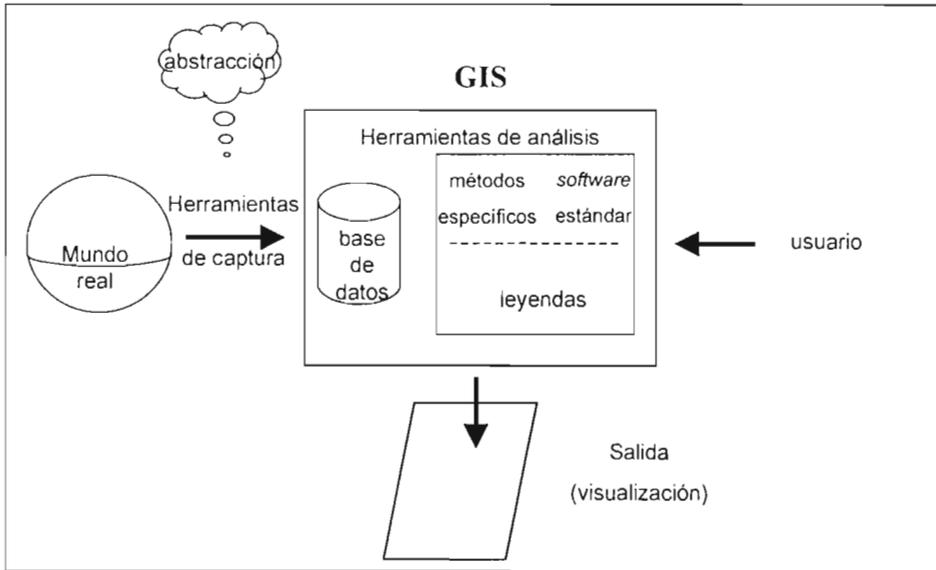


Fig. 2.1. Componentes de un G.I.S. (Modificado de Struckmeier y Margat, 1995; ESRI, 1995).

La organización lógica de la información de acuerdo a un esquema (base de datos digital) se conoce como **modelo de datos**. Ésta debe describir el mundo real de forma útil y revelar información acerca de él. Los **datos** se pueden definir como hechos verificables acerca de ese mundo real. La **información** son datos organizados que revelan pautas y facilitan su búsqueda. Para poder obtener datos espaciales sin dificultad deben estar ordenados, en primer lugar, por atributos espaciales. También, debido a la naturaleza digital de los ordenadores, los campos de datos se deben identificar como objetos espaciales discretos para poder ser tratados de forma digital (Bonham-Carter, 1994).

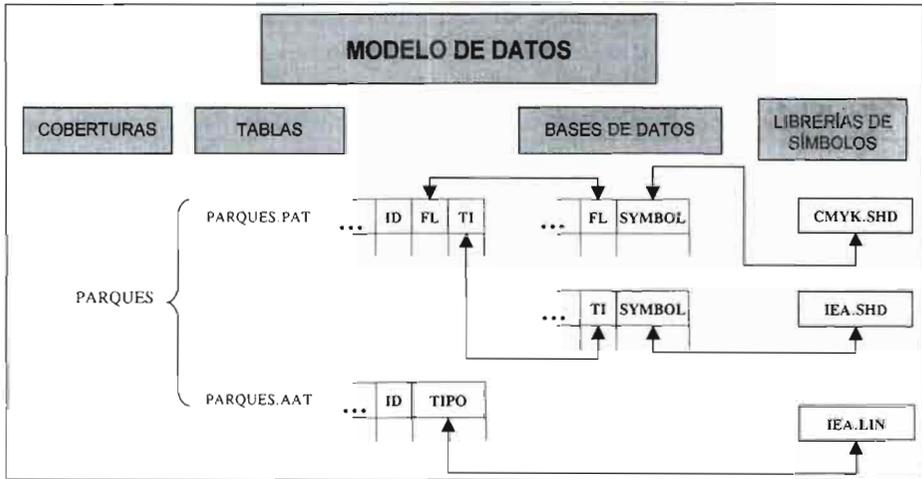


Fig. 2.2. Ejemplo del modelo de datos para los Espacios Naturales de Interés (MRC).

II.1.1. Datos descriptivos

La representación en formato digital de los datos geográficos se lleva a cabo mediante un proceso de geocodificación que determina la localización espacial de cada objeto geográfico y la representación vectorial de la información espacial (Bosque, 1992).

Los **identificadores de localización espacial** permiten a las entidades espaciales relacionarse con algún sistema de coordenadas o con otro elemento por uno o más lenguajes especiales. La secuencia de números es importante para construir listas topológicas. Estas secuencias internas son automáticamente creadas y mantenidas con una serie de comandos. Son únicas para cada elemento, pero no se mantienen fijas necesariamente, pueden cambiar, especialmente cuando una cobertura de mapa es actualizada o corregida.

Los **identificadores de localización nominal** son los típicos nombres o códigos numéricos como los postales, el número de formación geológica en un mapa tipo MAGNA, o números arbitrarios de identificación. Éstos permiten agrupar y, ocasionalmente, enlazar entidades, pero no prescriben la posición de dicha entidad en el espacio a menos que el cruce de referencias se haga con otro conjunto de datos tales como un mapa, el cual nos define específicamente la localización de cada nombre o código numérico involucrado. Los vínculos entre una unidad geográfica representada en un mapa y la tabla que contiene los atributos que definen a dichas unidades se establecen gracias a las relaciones biunívocas de unos apuntadores (Labrandero y Martínez, 1998).

Los **elementos de localización** pueden ser, principalmente, de cuatro tipos:

- *Puntos* son una abstracción de pequeños o grandes eventos, que son representados con una localización simple que define un objeto del mapa cuyos límites o forma son demasiado pequeños para mostrarse como una línea o polígono. Un símbolo o etiqueta normalmente representan una localización puntual. Como ejemplo de elementos puntuales utilizados en este proyecto, tenemos las estaciones meteorológicas, los epicentros de los terremotos, etc.
- *Líneas* son un conjunto de coordenadas ordenadas que se conectan para representar una forma lineal de un objeto del mapa que es demasiado estrecho para ser representado como un área. Aquí tendríamos los ríos, las carreteras y los ferrocarriles, las isolinéas, etc.
- *Polígonos irregulares* son figuras cerradas cuyos límites encierran un área homogénea. Como ejemplo tenemos todas las cartografías temáticas descritas en el presente trabajo (capítulo 3) y que han sido utilizadas en la elaboración del Mapa de Riesgo Medioambiental: los espacios naturales, los acuíferos, formaciones yesíferas, regadíos, etc. Además están aquellos elementos que forman parte de la planimetría, como los límites administrativos, los embalses o las poblaciones.
- *Áreas regulares arbitrarias* tales como celdas (*pixels*) de *grid*. En este tipo de elementos de localización es en el que se incorporan al GIS las imágenes procedentes de satélites o restituciones de vuelo. Este formato se ha utilizado, en este estudio, para el análisis de los datos. Como veremos más adelante, el mapa resultante (MRC) va a ser un mapa de celdas, cada celda llevará asignado un valor de riesgo.

II.1.2. Coordenadas

Los elementos descritos en la superficie terrestre se cartografían en mapas bidimensionales como puntos, líneas y áreas. Para ello se utiliza un sistema de coordenadas x e y (cartesiano) que los sitúa espacialmente. Cada punto se registra como una simple localización « x » e « y » (x_1, y_1). Las líneas (arcos) como una serie de coordenadas ordenadas « x, y » ($x_1, y_1; x_2, y_2$

... x_n, y_n). Las áreas como una serie de coordenadas «x, y» que define arcos que encierran recintos (x_1, y_1 ; x_2, y_2 ... x_n, y_n ; x_1, y_1). La información está normalmente referida a un sistema de referencia (UTM, Geográfico, Lambert...), por lo que queda situada adecuadamente en el espacio. En nuestro proyecto hemos utilizado la proyección *Universal Transversa de Mercator* (UTM) en el huso correspondiente al territorio estudiado, el 30.

II.1.3. Topología

Es la matemática de la relación espacial. En un contexto cartográfico se refiere a la definición y gestión de puntos, líneas y áreas integrados de tal forma que los cambios en un elemento se ajustan automáticamente en todos los elementos relacionados en el GIS. (Garson y Biggs, 1992). La capacidad para crear y almacenar relaciones topológicas tiene una serie de ventajas. La topología almacena los datos de forma más eficiente. Esto permite procesar más datos y hacerlo de forma más rápida. Si existen relaciones topológicas, se pueden realizar análisis tales como modelar el flujo a través de líneas conectadas en una red, combinar polígonos adyacentes que tienen características similares, y superponer elementos geográficos.

Los tres conceptos más importantes de topología son (*Fig. 2.3*):

- Los arcos se conectan unos a otros por nodos (conectividad)
- Los arcos que conectados rodean un área, definen un polígono (definición de área)
- Los arcos tienen dirección y lados izquierdo y derecho (contigüidad).

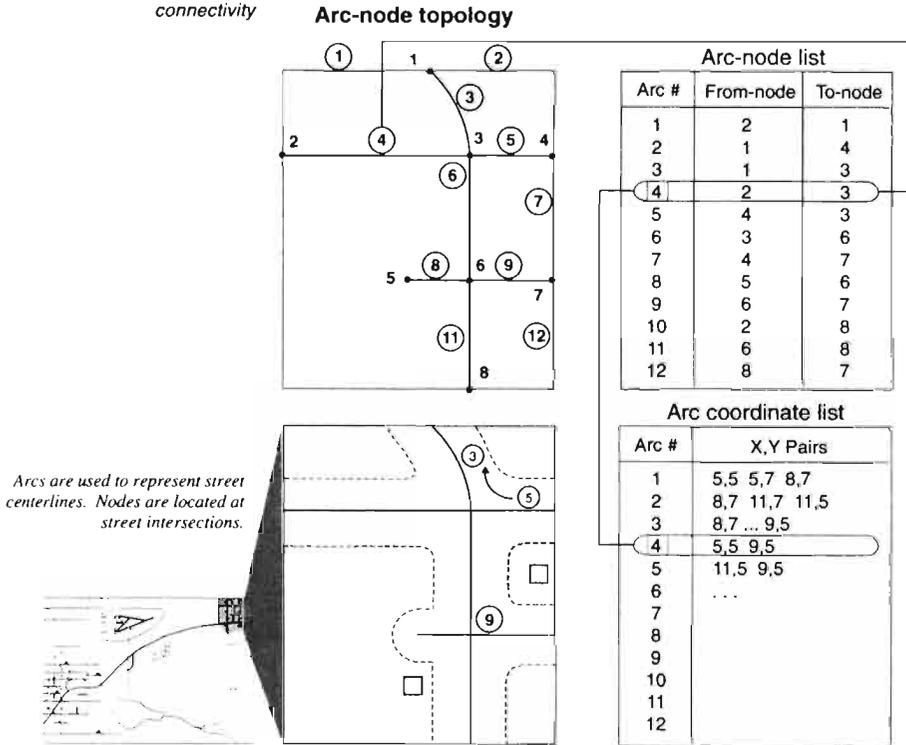


Fig. 2.3. Conceptos topológicos. A. Conectividad: topología arco-nodo. (ESRI, 1995).

Un GIS normalmente representa todos los elementos de una mapa como un conjunto de líneas y puntos y la relación entre líneas conectadas y puntos. Las bases de datos cartográficas definen las áreas de cada polígono, las líneas que lo componen, los polígonos contiguos, la conectividad entre los segmentos de cada arco. Estas relaciones definen la topología. **La topología es el nivel más alto de generalización en el cual los elementos geográficos pueden almacenarse.**

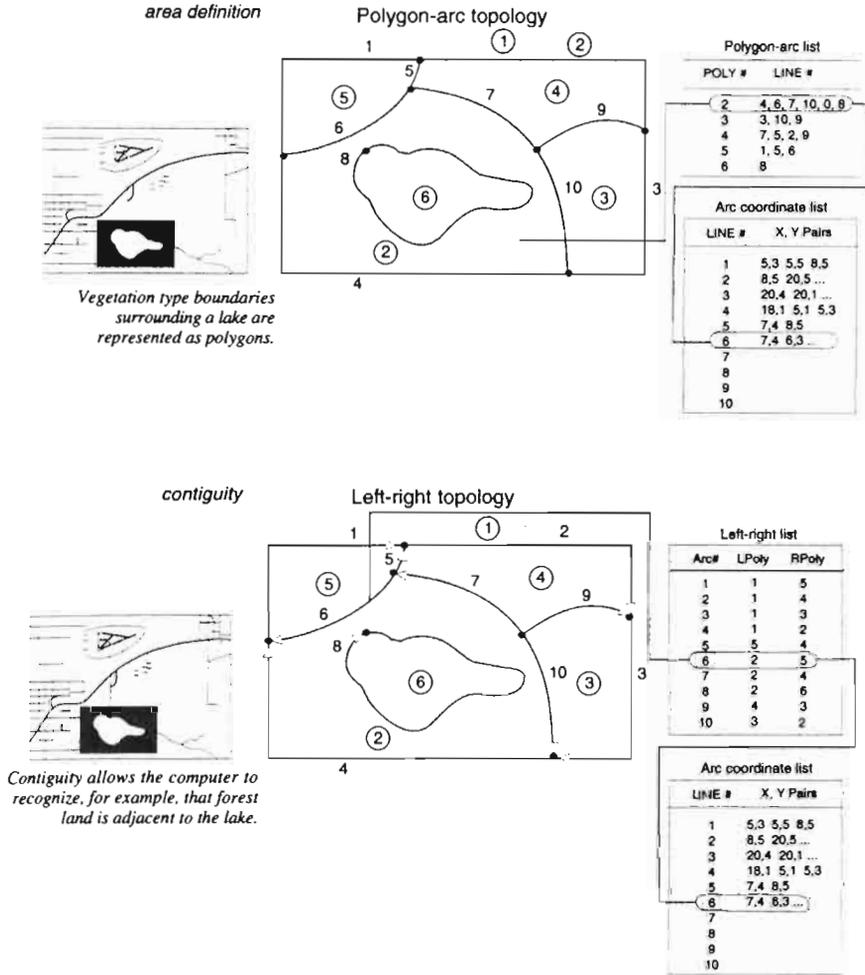


Fig. 2.3. Conceptos topológicos. **B.** Definición de áreas: topología arco polígono. **C.** Contigüidad: topología polígono izquierdo/derecho (ESRI, 1995).

II.1.4. Organización de datos. Coberturas

Los elementos de un mapa son organizados lógicamente en conjuntos de capas o temas de información. Un mapa base se puede organizar en capas tales como pozos, ríos, límites administrativos, suelos, etc. Cada capa se denomina cobertura. Una cobertura se compone de elementos geográficos topológicamente enlazados y sus datos descriptivos almacenados como una mapa automático (ESRI, 1995).

Para los datos descriptivos, un complejo sistema de administración de Bases de Datos relacionales permite crear y administrar fácilmente tablas de georeferencia de datos estadísticos y temáticos incluyendo números reales y enteros, datos, textos y referencias adicionales, tablas relacionadas de datos interpretativos y símbolos gráficos (*Fig. 2.4*). Estos datos son automáticamente enlazados con elementos de mapa en bases de datos posicionales topológicamente estructuradas.

Una cobertura es una representación de datos estructurada con las coordenadas y la topología. Los pares de coordenadas X e Y son usados para identificar la ubicación de los elementos geográficos y los datos topológicos para identificar arcos, nodos y relaciones entre polígonos. La creación de ficheros topológicos es totalmente automática. En un GIS la información se estructura por capas o coberturas, en número ilimitado de manera que sea más manejable. Cada capa puede almacenar información alfanumérica específica en la Base de Datos.

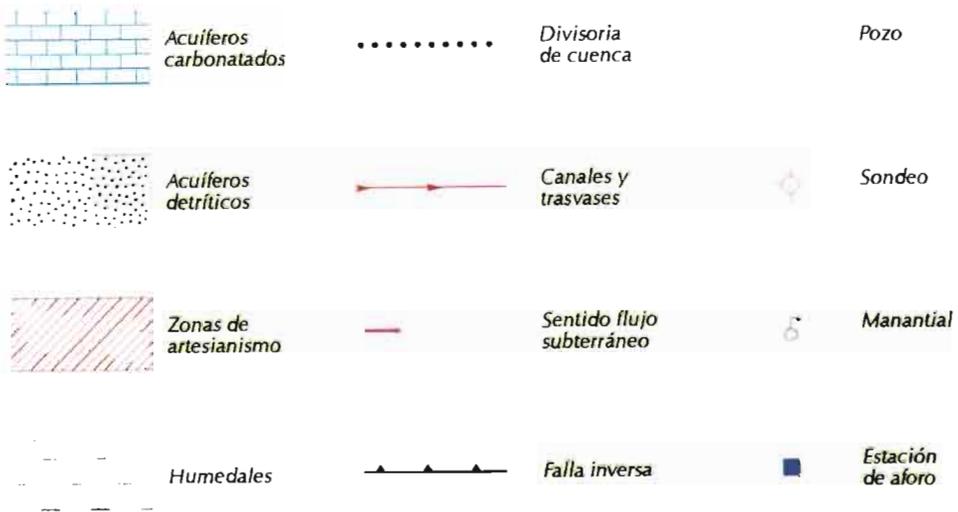


Fig. 2.4. Ejemplos de algunos elementos gráficos que se pueden usar para representar líneas, puntos y tramados. La elección de un tipo de línea, símbolo o tramado se puede escoger como una constante para un conjunto de objetos espaciales, o puede ser variable, dependiendo del valor de uno o más campos de la tabla de atributos. (Símbolos del mapa MAGNA del ITGE).

II.2. GIS VECTORIAL - GIS *RASTER*

Existen dos modelos principales de GIS en cuanto a la forma de almacenar y representar los datos espaciales: el vectorial y el *raster*. A su vez este tipo de estructuras puede subdividirse en otros. En el modelo vectorial la localización de los objetos reales se introduce en un sistema de coordenadas cartesianas x e y . Estos pueden ser puntos, líneas y polígonos. El modelo *raster* utiliza celdas o *pixels* como unidad de localización y representación espacial. Cada *pixel* viene definido por unas características.

II.2.1. Modelo vectorial

El modelo básico es el vector en el que los puntos son representados por pares de coordenadas de dimensión topológica 0, las líneas como una secuencia de pares de coordenadas de dimensión 1 y los polígonos como líneas que forman áreas cerradas de dimensión 2 (Fig. 2.5). En estos últimos el punto inicial y final es el mismo.



Fig. 2.5. Ejemplos del medio físico de objetos espaciales clasificados en función de sus dimensiones espaciales. **A.** Fuentes de contaminación (EE.SS., cementerios, granjas, fosas sépticas, etc.) que se consideran como puntos (0-D) a pequeñas escalas. **B.** Ríos como líneas (1-D). **C.** Zonas de contaminación por nitratos (2-D).

II.2.2. Modelo *raster*

Este modelo utiliza celdas o *pixels* como unidades espaciales (división teselar). Cada capa de celdas *grid* registra un atributo por separado. Las celdas son constantes en tamaño, generalmente, cuadradas y, raramente, rectangulares, hexagonales o triangulares. La situación de una celda se determina a través del número de fila y columna, por lo tanto, las coordenadas espaciales de cada celda no se almacenan de forma explícita ya que el orden de colocación lo hace de forma implícita. La información acerca del número de filas y columnas, más la localización geográfica del origen

se conserva almacenado en cada capa. La resolución espacial de un *raster* es el tamaño de los *pixels*. En el modelo *raster* los puntos se representan por un único *pixel*, y las líneas como una secuencia de *pixels* conectados (Bonham-Carter, 1994).

II.2.3. Comparación entre los dos modelos de datos

El mercado de los GIS ha estado dominado en los últimos años por aquellos sistemas basados en un modelo vectorial, si bien, esta tendencia tiende a equilibrarse en la actualidad. Sin embargo, todos los sistemas son algo híbridos y la distinción se refiere a la forma usada para almacenar la mayor parte de la base de datos (Tomlinson, 1984).

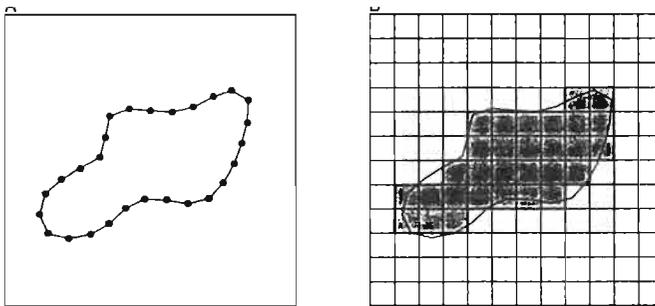


FIG. 2-3. A. Boundary representation of an area objects in a vector model. B. Spatial enumeration of the same area object in a raster model.

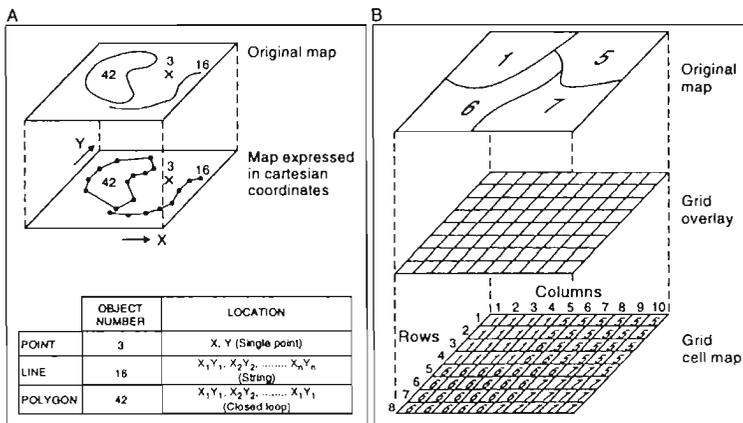


Fig. 2.6. A. Representación del límite de un objeto areal en el modelo vectorial. B. Mismo objeto en el modelo raster. C. Representación digital de objetos espaciales sobre un mapa en el modelo vectorial (modelo tipo spaghetti). D. Enumeración espacial de un objeto areal en el modelo raster (Bonham-Carter, 1994).

Una de las ventajas del modelo *raster* es que los datos espaciales de diferentes tipos se pueden superponer sin la necesidad de complejos cálculos geométricos requeridos en la superposición de diferentes mapas del modelo vectorial. Sin embargo, la cantidad de espacio necesaria para almacenar la información es mucho mayor (Fig. 2.6).

La precisión en el modelo *raster* a la hora de representar puntos es algo deficiente, ya que el *pixel* suele ser bidimensional y, por tanto, mayor que un punto (dimensión 0). Lo mismo ocurre en algunos casos con las líneas, por ejemplo, en los mapas geológicos para representar unidades estratigráficas poco potentes como fallas, diques.

II.3. FUNCIONES DE UN GIS

Las funciones que incluye un GIS son (Fig. 2.7):

- 1) Captación de datos
- 2) Análisis de datos
- 3) Gestión de la información
- 4) Conversión y salidas gráficas

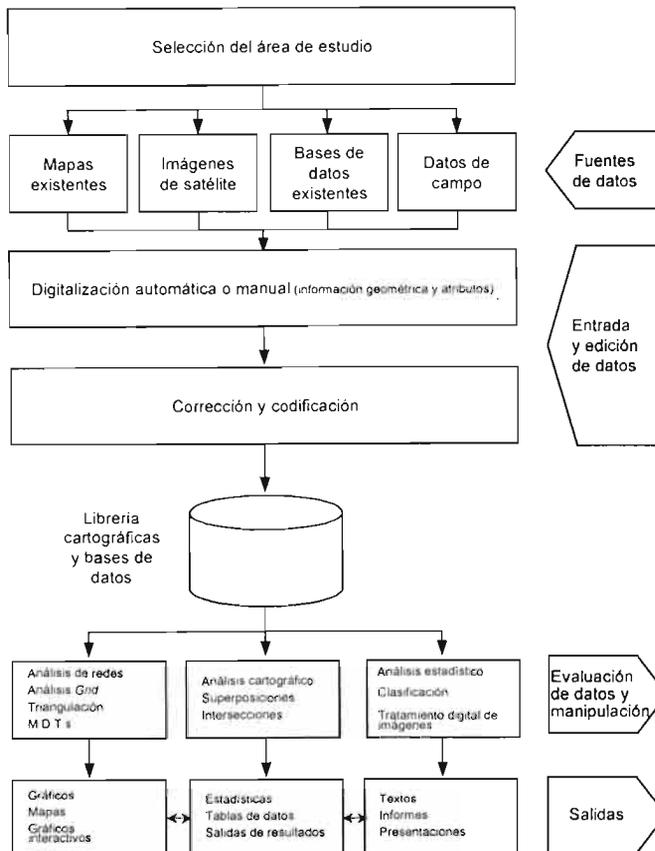


Fig. 2.7. Funciones de un G.I.S. (Modificado de Schaller, 1985).

II.3.1. Captación de datos

La entrada de datos constituye, generalmente, el primer paso en el desarrollo de un proyecto GIS. Suele ser también la más costosa y, normalmente, la más importante, ya que la calidad del resultado final dependerá de la calidad de los datos de partida. Es en esta fase cuando tiene lugar la transformación de los datos reales a formato digital.

Los datos pueden ser introducidos mediante la digitalización, la teledetección, el *scanner*, fotogrametría, taquimetría, GPS, la introducción de coordenadas geográficas y la introducción de datos procedentes de otros formatos (p.ej. ficheros CAD, diferentes marcas comerciales de GIS, etc.).

Se incluye también en esta fase, la edición gráfica de los datos para las correcciones de errores, creación de la topología, codificación de elementos cartográficos, georreferenciación, etc.

En nuestro estudio hemos realizado diferentes métodos de captación de datos debido a su distinto origen. Por ejemplo, utilizando el listado de epicentros de terremotos (Rodríguez, 1995) hemos creado un fichero ASCII que ha sido, posteriormente, integrado en el GIS, una vez transformadas sus coordenadas geográficas (origen meridiano de Greenwich) a la proyección UTM (huso 30). Las unidades hidrogeológicas del Júcar fueron importadas de fichero en formato *.dgn*; la cobertura de yesos fue creada mediante la digitalización de los mapas geológicos MAGNA (1:200.000), etc.

II.3.2. Análisis de datos

Los análisis geográficos nos permite estudiar procesos del mundo real mediante el desarrollo y aplicación de modelos. Dichos modelos ilustran las tendencias en los datos geográficos, al hacer disponible nueva información. Un GIS consigue este proceso con las herramientas disponibles que se pueden combinar en secuencias significativas para desarrollar nuevos modelos. Estos modelos pueden revelar relaciones nuevas o relaciones no identificadas previamente, dentro y entre el conjunto de datos, aumentando nuestro conocimiento del mundo real (ESRI, 1995).

El análisis es el proceso para obtener resultados a partir de los datos. En los GIS se suelen conseguir de forma visual. También se puede conseguir medidas, operaciones estadísticas, ajuste de modelos de valores de datos, etc. El análisis espacial en sentido GIS significa simplemente el análisis de datos espaciales (Bonham-Carter, 1994).

Los análisis espaciales en un GIS incluyen la generación de *buffers*, la manipulación de datos, la superposición, intersección, unión y separa-

ción de coberturas, la modelación, etc. A continuación exponemos unos pocos ejemplos de la función de análisis.

Un *buffer* es un polígono que encierra el área que se encuentra dentro de una distancia específica desde un punto, línea o polígono. Por lo tanto tenemos *buffers* de puntos, *buffers* de líneas o corredores y *buffers* de polígonos. El término *buffer* es sinónimo de dilatar o expandir. Las áreas que encierran estos *buffers* se denominan «áreas de proximidad». El propósito de la «dilatación» es, normalmente, crear mapas que muestren la proximidad a un elemento seleccionado. Por ejemplo para delimitar los perímetros de protección a pozos (elementos puntuales). Conocer la distancia a determinadas lineaciones geológicas o fallas (elementos lineales) puede ser significativo para modelar algunos tipos de depósitos minerales. Por último, los *buffers* de polígonos pueden darnos información sobre la proximidad (por ejemplo, a núcleos urbanos). Esta utilidad ha sido muy empleada en nuestro estudio: para definir las distancias a los ríos (dominio público hidráulico), a los espacios naturales y a los terrenos corrosivos, como se describe más adelante en los apartados correspondientes.

Un ejemplo de superposición de coberturas es la «identificación» de elementos, que permite relacionar: puntos con polígonos, líneas con polígonos y polígonos con polígonos. Por ejemplo si queremos conocer en qué municipios (polígonos) han ocurrido terremotos (puntos), a qué cuenca hidrográfica (polígonos) pertenece un determinado río (líneas), o que Unidades Hidrogeológicas (polígonos) se encuentran dentro de un Parque Natural (polígonos).

Otro ejemplo de análisis de datos es la generalización, reclasificación o extracción a partir de los datos que cumplan alguna condición o condiciones para obtener otro tipo de mapas. Por ejemplo, partiendo de un mapa geológico podemos obtener un mapa geocronológico (Paleozoico, Mesozoico, y Cenozoico) a través de un campo que contenga la edad de las formaciones. Podemos obtener un mapa litológico a través de un campo que nos describa la litología y a partir de éste obtener un mapa hidrogeológico a partir de un campo que nos describe la permeabilidad de las rocas en cada litología.

También son análisis de proximidad la generación de polígonos de Thiesen, que definen áreas de influencia alrededor de un conjunto de puntos.

El análisis de datos es una de las principales herramientas de los GIS, a la que a menudo se hace referencia al definirlos como «modelos cartográficos». Puede ser definido como la extracción de hechos significativos registrados en un conjunto de datos; el análisis espacial de datos, por

lo tanto, significa la extracción de información útil de los datos que se distribuyen espacialmente. **El análisis de datos espaciales es el proceso de búsqueda de pautas y asociaciones sobre los mapas que ayudan a caracterizar, entender y predecir fenómenos espaciales.** La implementación de modelos es un ingrediente clave de esta actividad en la que también forman parte el muestreo, la estadística y la visualización. (Bonham-Carter, 1994).

II.3.3. Gestión de datos

Como ya se adelantó en la introducción, un GIS es un gestor de bases de datos (*Data Base Management Systems - DBMS*) de datos de carácter geográfico. Está construido sobre una base de datos dual: datos de localización geográfica y atributos añadidos a estos datos de situación a través de un modelo relacional.

Gracias a la gestión de datos podemos manejar un gran conjunto de información geográfica o cartográfica. Estas operaciones de gestión se refieren a la manera de almacenar y recuperar esta información de una forma rápida y en el formato requerido (de manera continua espacialmente), lo que obliga normalmente a que la información se organice en una base de datos. Desde este punto de vista, un GIS debe ser un sistema capaz de gestionar una base de datos territorial que, aunque dividida físicamente a efectos de almacenamiento, el usuario la gestione como si realmente fuese continua espacialmente.

De esta manera, se pueden realizar los procesos de análisis antes mencionados sin perder la información almacenada en la base de datos. También se pueden generar diferentes tipos de mapas en función del tipo de atributo que queramos representar. Por ejemplo en el presente estudio, con la cobertura de puntos que representa los epicentros de terremotos se han generado, a partir de dos campos distintos (MAGNITUD e INTENSIDAD) de la base de datos (ver ANEJO I), dos mapas diferentes (3.3.2 y 3.3.3).

Los gestores de bases de datos son sistemas que manejan cualquier tipo de información digital. Algunos de ellos subyacen en las entrañas de cualquier GIS, y muchos GIS comerciales están enlazados de forma explícita a un gestor específico (p. ej. ARC —> INFO).

II.3.4. Conversión y salidas gráficas

Los resultados de los análisis geográficos se pueden representar por mapas, listados o ambos. Un mapa es la mejor herramienta para represen-

tar relaciones geográficas, mientras que un listado o informe es más adecuado para resumir datos tabulares y documentar cualquier valor. Los mapas y los listados nos permiten exteriorizar los datos contenidos en las base de datos (ESRI, 1995).

Una vez establecido el diseño del mapa (tamaño, escalas, etc.) se puede empezar con la creación de éstos a través del GIS, generando ficheros gráficos que se puedan «plotear» por un trazador o *plotter*.

II.4. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

Un Modelo Digital del Terreno (MDT o DTM) es «una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua» (Felicísimo, 1994:18). Normalmente, los datos se almacenan en formato matricial (*raster*). Cada elemento de un MDT se corresponde con un nodo de una celdilla o *grid* imaginario. Este *grid* se define por un identificador de sus esquinas (generalmente la inferior izquierda), la distancia entre nodos igual en la X que en la Y, el número de nodos en ambas direcciones y su orientación (Bonham-Carter, 1994).

El ejemplo más habitual de un MDT es el de los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE o DEM), que representan la altimetría y que, erróneamente, se identifican con aquéllos. Los MDT pueden describir cualquier variable mientras ésta sea continua como la pendiente, la piezometría, la pluviometría, etc. Un MDE es también un ejemplo de un modelo simbólico de la superficie real del terreno. Las celdas de un *grid* son los objetos espaciales, cuyos valores son simbolizados por números en el fichero de datos. A partir de los MDE pueden obtenerse otros modelos digitales del terreno como las pendientes, orientaciones, curvatura y rugosidad. A estos modelos se les denomina «modelos derivados». Éstos son muy útiles en los estudios geomorfológicos, ya que describen objetivamente la superficie del terreno y, en combinación con cartografías temáticas son especialmente eficaces para la elaboración de mapas de aptitudes (Menéndez, *et al.* 1996; Ojeda y Márquez, 1997), estudios del paisaje (Labrandero y Martínez, 1998) y proyectos de planificación hidrológica (Zhang, Campbell Y Haralick, 1990; Fernández *et al.* 1997; Boned y Valladolid, 1998).

En la figura 2.8 vemos un ejemplo de modelos digitales del terreno que abarcan toda la provincia de Albacete. En el primer cuadro aparece una representación gráfica del MDE, donde las zonas más elevadas están reflejadas en blanco y las más bajas en negro. Este modelo se ha obtenido

mediante la interpolación de los valores de cota de las curvas de nivel (formato vectorial) del mapa topográfico. La conversión a un MDE (formato *raster*) se realiza mediante la localización de los puntos de intersección entre filas y columnas, obteniéndose el valor de la altitud a partir de la estimación de los datos vectoriales más próximos (Felicísimo, 1994).

Los otros tres cuadrados son modelos derivados del primero. El segundo es un modelo digital que refleja el relieve en función de una reflectancia aparente ya que la simulación de la posición solar no es real: azimut de 60° y altura del sol sobre el horizonte de 45° con una exageración doble de la altitud. En el tercer cuadro se representa la pendiente del terreno con una distribución de frecuencias en la que destaca el predominio de la llanura como también se refleja en el cuadro siguiente, el modelo digital de orientaciones, en el que las numerosas zonas en blanco indican zonas llanas sin orientación. Otro dato que puede extraerse de este último cuadro es el predominio de las orientaciones al norte sobre el resto, lo que en cierta forma refleja las direcciones de las principales estructuras tectónicas que atraviesan la provincia.

A partir de un MDE se puede obtener también redes de drenaje, direcciones de flujo superficial, cuencas vertientes, realizar análisis de visibilidad (muy útiles en proyectos de impacto ambiental), obtener vistas 3D, etc.

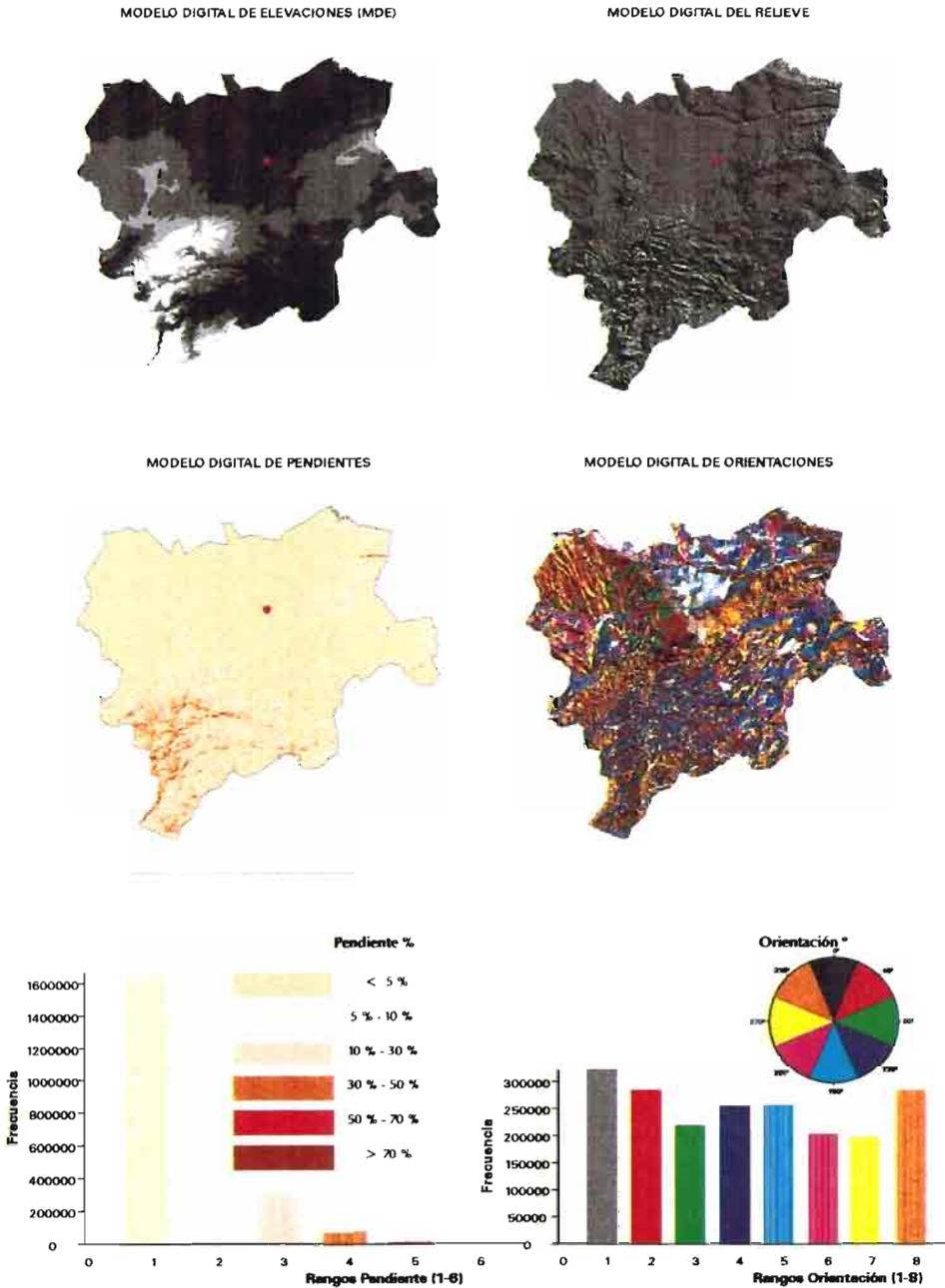


Fig. 2.8. Modelos Digitales del Terreno.

III. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

La elección de las variables para cualquier tipo de estudio medioambiental, bien sea de caracterización del uso del suelo, bien de impacto ambiental, es una tarea difícil que ocupa una gran parte del tiempo del proyecto. Depende de la disponibilidad y calidad de los datos necesarios. No se trata de «cuantos más datos mejor», ya que esto podría hacer el proyecto inabordable o llevar a unos resultados confusos o poco prácticos. Los datos deben, por tanto, ser limitados, medibles y comparables unos con otros. A este tipo de datos se les denomina también **indicadores**.

III.1. HIDROGEOLOGÍA. Permeabilidad del terreno (A)*

La permeabilidad de un material, también conocida como conductividad hidráulica, expresa la facilidad que éste presenta para que el agua circule por su interior. Si el agua se mueve a través de poros, se dice que el material es permeable por porosidad; si circula a través de fisuras o conductos kársticos, se dice que es permeable por fisuración o por disolución, respectivamente. La permeabilidad de un medio frente a un fluido determinado depende tanto de las características del medio como de las propiedades del fluido en cuestión (Rebollo, 1998).

En nuestro caso, podemos pensar en lixiviados de vertederos (VRSU), gasolina vertida desde tanques de combustibles, aceites de zonas industriales o simplemente aguas contaminadas procedentes de vertidos urbanos, industriales o de las prácticas agropecuarias. El tipo de fluido puede ser también introducido en el análisis como un factor intrínseco a la instalación contaminante y ser valorado en función de su poder contaminante (EPTISA, 1996).

* Redactado por L. F. Turrión.

Dependiendo del comportamiento del medio frente a las aguas subterráneas, éste se puede clasificar como: acuífero, acuífugo, acuícluido o acuitardo. Un **acuífero** es una formación geológica que almacena y permite la circulación del agua subterránea. El material ha de ser pues poroso y permeable como, por ejemplo, unas arenas, unas gravas o unas calizas karstificadas (fig.3.1) (Rebollo, 1998).

La permeabilidad del terreno sobre el que se asienta una eventual fuente de contaminación constituye un factor fundamental para definir la capacidad de transporte del contaminante. Asimismo, también está relacionada, aunque más indirectamente, con la capacidad de atenuación del medio (EPTISA, 1997).

En el Reglamento de la Administración Pública del Agua se definen las **unidades hidrogeológicas** como «*uno o varios acuíferos agrupados a efectos de conseguir una racional y eficaz administración del agua...*» A continuación se describen las unidades hidrogeológicas de la provincia agrupadas en función de la cuenca hidrográfica a la que pertenecen. En el mapa nº 3.1.1 se puede ver cartografiadas todas las unidades.

III.1.1. Unidades Hidrogeológicas del Guadiana

A esta cuenca pertenecen dos unidades hidrogeológicas parcialmente incluidas en la provincia de Albacete en su sector occidental y que son *Mancha Occidental* y *Campo de Montiel*. Ambas unidades son básicamente de tipo calizo con permeabilidad por fisuración y karstificación y sus aguas son bicarbonatadas y sulfatadas cálcico-magnésicas.

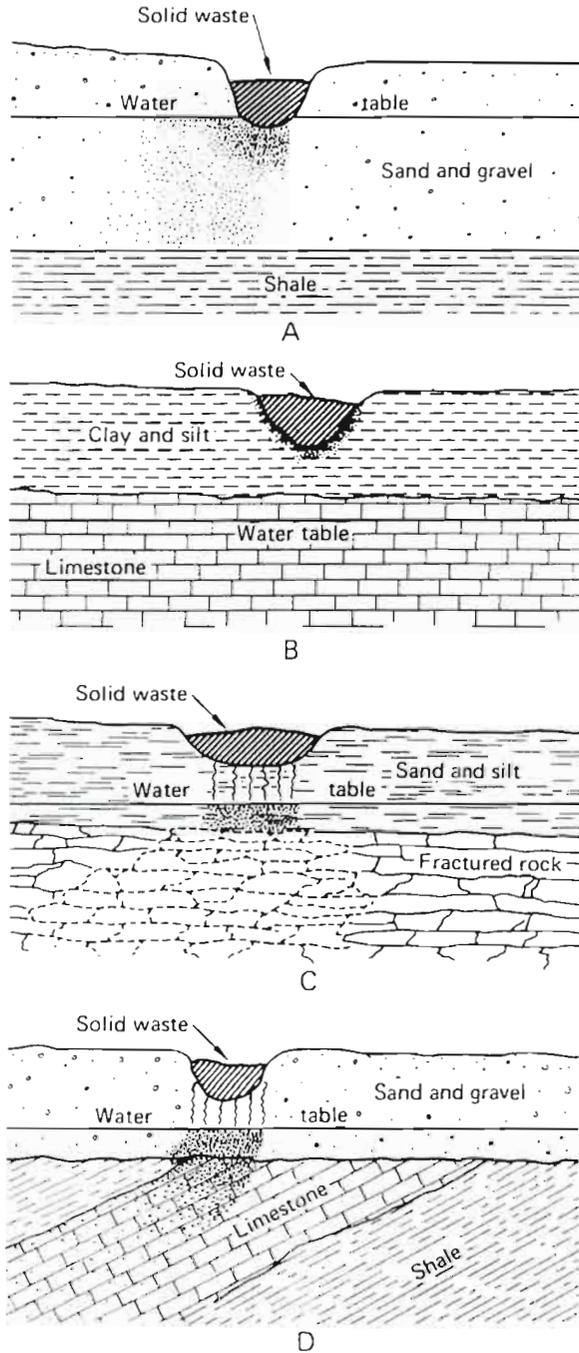


Fig. 3.1. Desarrollo del enclave de contaminación en distintos medios: (A) materiales permeables; (B) materiales muy poco permeables; (C) rocas fisuradas; (D) formación con buzamiento manifiesto (Tank, 1983).

III.1.1.1. U.H. 04.04. Mancha Occidental

Se localiza íntegramente en la cuenca del Guadiana, ocupando una superficie de unos 5000 km² distribuidos en un 80% en la provincia de Ciudad Real y el resto entre Albacete y Cuenca. Junto con la unidad de la Mancha Oriental, que se describirá más adelante, forma un único conjunto hidrogeológico por lo que la división adoptada es convencional y coincide con las divisorias de las cuencas del Júcar y Guadiana.

En la mitad oeste de esta unidad y sobre los materiales Paleozoico, se depositaron arcillas, margas y yesos del Mioceno Inferior y Medio que son semipermeables. Aquí están ausentes todas las series mesozoicas que sí se encuentran hacia el este de la unidad, en donde están formadas por calizas y dolomías con intercalaciones de paquetes semipermeables margosos y detríticos. Estos depósitos están recubiertos por los sedimentos semipermeables miocenos antes referidos (IGME, 1985)

Por encima, la serie estratigráfica culmina con calizas del Mioceno Superior-Plioceno cubiertas parcialmente en la zona de borde por sedimentos Pliocuaternarios arenoso y arcillosos. Las calizas miocenas funcionan como un acuífero libre en conexión hidráulica con los ríos, mientras que las del Jurásico y Cretácico como un acuífero multicapa semiconfinado por los materiales semipermeables de techo, cuyas aguas pasan al primero, mediante flujo ascendente a través de fracturas o de este semipermeable que los separa.

Las entradas del sistema son del orden de los 340 hm³/año, procedentes en su mayoría de la infiltración del agua de lluvia (260 hm³/año), unos 60 hm³/año tienen su origen en la transferencia subterránea de otros acuíferos y 20 hm³/año de infiltración de los excedentes de regadío (MMA, 1995b).

Las salidas, unos 580 hm³, se producen por los bombeos existiendo, por tanto, un déficit o sobreexplotación de 240 hm³/año (MOPTMA-MINER, 1994). Dicho déficit representa, por sí solo, la tercera parte del déficit anual del total de las unidades hidrogeológicas del territorio nacional. Tal desequilibrio se inició a finales de la década de los setenta y continúa en el momento actual. Consecuencia indeseable de esto es la desaparición de los *Ojos del Guadiana*, al descender la superficie piezométrica del acuífero por debajo de la cota de salida de las surgencias. El *Parque Nacional de las Tablas de Daimiel*, está salvándose de su desecación gracias a los aportes suplementarios de unos 60 hm³/año procedentes del trasvase Tajo-Segura.

La calidad del agua es variable, con valores de dureza comprendidos entre 25 y 40° F. Las facies más abundantes son las bicarbonatadas y

sulfatadas cálcico-magnésicas y con valores de conductividad más frecuentes comprendidos entre los 400 y 800 $\mu\Omega/\text{cm}$ (IGME, 1985)

III.1.1.2. U.H. 04.06. Campo de Montiel

Se extiende por la cuenca del Guadiana y, en pequeña proporción, por la del Guadalquivir, ocupando una superficie aflorante de alta permeabilidad de 2.700 km² que se encuentran, mitad en la provincia de Ciudad Real y mitad en la de Albacete. La base impermeable está formada por arcillas, margas y yesos del Triásico sobre la que se asientan las series carbonatadas (calizas y dolomías) del Jurásico que constituyen el acuífero principal; ya que el Cretácico, que sólo aflora en los bordes norte y noroeste presenta, en general, un único tramo basal arcilloso-arenoso cementado. El sistema de fracturas (N140E) y pliegues de la cobertura mesozoica, y los procesos diapíricos debido a los materiales triásicos han condicionado el sentido del flujo subterráneo, la transmisividad y el espesor del acuífero existiendo una relación clara entre carstificación y fracturación que condiciona el sistema lagunar de Ruidera (Rincón, Montero y Vegas, 1996).

Hacia el norte, la formación productiva se encuentra conectada hidrodinámicamente con la unidad anterior (04.04), donde aparece cubierta por sedimentos terciarios que le confieren un carácter de acuífero semi-confinado; de tal forma, que los bombeos sobre la Mancha Occidental en su sector suroriental extraen agua de la U.H. del Campo de Montiel.

Las entradas al sistema proceden de la infiltración de la lluvia útil y son del orden de los 126 hm³. Las salidas se distribuyen en extracciones por bombeo (35 hm³) y por flujo subterráneo, a la Mancha Occidental (40 hm³). Las reservas subterráneas de la unidad se han estimado en 3.000 hm³.

Los bombeos en esta unidad están afectando al *Parque Natural de las Lagunas de Ruidera* (apartado III.4.1) alcanzando la cabecera del río Jabalón, que se seca en los veranos impidiendo el riego tradicional de su vega. Desde junio de 1989 existe una declaración de sobreexplotación para este acuífero con el fin de poder regular las extracciones de agua (MMA, 1995b).

III.1.2. Unidades Hidrogeológicas del Júcar

Se describirán a continuación las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Júcar que se encuentran representadas en la provincia destacando, por su importancia y mayor significación, las dos primeras ya que las dos últimas, son de pequeña entidad, o se encuentran escasamente

representadas por coincidir sus bordes hidrogeológicos con los bordes limítrofes provinciales.

III.1.2.1. U.H. 08.29. Mancha Oriental

Esta unidad se sitúa en el extremo este de la llanura manchega y es la más importante de la provincia ocupando el 40% de la misma en su zona centro y nororiental.

La formación acuífera se apoya sobre yesos y margas impermeables del Mesozoico inferior (Triásico) y está constituida por calizas y dolomías marinas del Jurásico y Cretácico, separadas por estratos semipermeables margosos y detríticos de origen continental. Sobre ellas se depositaron arcillas margas y yesos del Mioceno Inferior y Medio que son semipermeables-impermeables. El acuífero superior está formado por calizas de edad Mioceno Superior y Plioceno que, en los sectores de borde, están cubiertas por un conjunto Pliocuaternalio detrítico.

Estas calizas funcionan como un acuífero libre en conexión hidráulica con los ríos, mientras que las del Jurásico y Cretácico lo hacen como un acuífero multicapa semiconfinado por los materiales semipermeables del techo, cuyas aguas pasan al primero, mediante un flujo ascendente, a través de fracturas o del semipermeable que los separa (IGME, 1985).

La alimentación del conjunto procede de la lluvia útil infiltrada sobre las calizas del Mioceno-Plioceno (310 hm³/año), de la que se filtra desde los cauces de los ríos Jardín, Quéjola, Lezuza y Cañada de Quintanar (315 hm³/año). También de la percolación de excedentes de riego (10 hm³/año) y transferencia de otras unidades hidrogeológicas (15 hm³/año).

Las salidas de esta unidad se producen, fundamentalmente, por drenaje a los ríos Júcar y Cabriel, por extracciones subterráneas para regadíos y para usos urbano e industriales, estimándose un 50% correspondiente a los drenajes y el otro 50% a los bombeos. Se han calculado unas reservas del acuífero del orden de los 20.000 hm³.

El incremento en los últimos años del volumen de extracciones se traduce en un descenso de las aportaciones por drenaje a los ríos indicados. La explotación del acuífero conlleva asimismo el descenso de las reservas del sistema, por lo que presenta problemas de sobreexplotación local. El carácter concentrado de las extracciones ha dado lugar a considerar como campo de pozos la zona de los *Llanos de Albacete* (MMA, 1995c).

Los recursos de la unidad presentan problemas de calidad para el abastecimiento humano y elevadas concentraciones de nitritos en algunas zonas. Son aguas frecuentemente duras (35 a 65° F), algunas extremada-

mente duras (más de 65° F) y, en pocos casos, de una dureza media (12 a 35° F). En cuanto a las facies son fundamentalmente bicarbonatadas cálcico-magnésicas y, en ocasiones, especialmente hacia el sur, también sulfatadas. Las conductividades varían en general entre 500 y 1400 $\mu\Omega/\text{cm}$, lo que indica una mineralización notable (IGME, 1985).

III.1.2.2. U.H. 08.30. Jardín - Lezuza

Esta unidad se encuentra en el límite oeste de la anterior, cuenta con 1.050 km² de superficie aflorante de alta permeabilidad y está constituida por formaciones acuíferas del Jurásico. La alimentación por infiltración de lluvia y cauces asciende a 53 hm³/año (ITGE, 1988a) y las salidas se realizan por el drenaje a lo largo de los cursos fluviales de los ríos Jardín, Quéjola y Lezuza. Las extracciones por bombeos, destinadas a abastecimiento urbano y pequeños regadíos, son de escasa importancia.

III.1.2.3. U.H. 08.34 / 07.01. Sierra Oliva

Se encuentra en el extremo oriental, a caballo entre las cuencas del Júcar y Segura. Tiene en la provincia una extensión aproximada de 250 km² de los 325 km² totales. Presenta una superficie aflorante de alta permeabilidad de 220 km² y está constituida por formaciones acuíferas Jurásicas. La infiltración por agua de lluvia es de unos 3 hm³/año y la descarga de la unidad se produce casi en su totalidad por bombeo que son del orden de los 2,5 hm³/año.

III.1.2.4. U.H. 08.24. Utiel - Requena

Aparece escasamente representada en la provincia, en una extensión de apenas 2 km² y en su borde más nororiental. Está formada por materiales del Mioceno y Cuaternarios ocupando la *Plana de Utiel*.

III.1.2.5. U.H. 08.28. Caroch Sur

Ubicada al nordeste de la localidad de Almansa, incluye una extensión provincial de aproximadamente 100 km² de los 751 km² totales. Está formada por sedimentos Jurásicos, Cretácicos y Cuaternarios. El sistema se alimenta por infiltración del agua de lluvia en 140 hm³ y en 5 hm³ del retorno de regadíos. Las descargas son recogidas por manantiales que aportan agua a los ríos Escalona, Sellent y Albaida; y los bombeos para regadío y usos urbanos son del orden de 37 hm³. Presenta problemas de contaminación por nitratos.

III.1.2.6. U.H. 08.33. Almansa

Al sur de la anterior se abre un pasillo noroeste-sureste en el que, en su parte septentrional, se encuentra la localidad que le da el nombre. Se trata de una unidad de escasa extensión y casi toda incluida en la provincia de Albacete, a la que pertenecen unos 70 km² de los 80 km² totales. Las formaciones acuíferas son miocenas y cuaternarias y no se dispone de datos adicionales sobre ellas.

III.1.2.7. U.H. 08.36. Yecla – Villena - Benejama

Está representada en la provincia por escasos 10 km² al este de la localidad de Caudete, en el extremo más oriental de la provincia. La unidad, constituida de materiales variados, presenta problemas de sobreexplotación por los bombeos concentrados en el campo de pozos del Alto Vinalopó y estimados en 32 hm³/año, que superan las entradas naturales de la unidad cifradas en 25 hm³/año totales entre infiltración del agua de lluvia y los retornos de riego (5 hm³/año).

III.1.3. Unidades Hidrogeológicas del Guadalquivir

Es la cuenca hidrográfica con menor extensión superficial representada dentro de la provincia. Únicamente unos 600 km² tienen interés hidrogeológico y están encuadrados en las cabeceras de dos unidades hidrogeológicas en el dominio geográfico de la *Sierra de Alcaraz*. De noroeste a sureste son *Sierra de Cazorla* y *Quesada-Castril*, esta última representada únicamente por unos 40 km². Ambas unidades son de tipo carbonatado –formadas por calizas y dolomías mesozoicas– que presentan permeabilidades por fisuración y carstificación.

La primera (U.H.05.01) tiene una recarga anual de 320 hm³ y una extracciones de apenas 3 hm³/año. En la segunda (U.H.05.02), la recarga es de 130 hm³ y los bombeos se han estimado en 0.6 hm³/año (MMA, 1985a).

III.1.4 Unidades Hidrogeológicas del Segura

A esta cuenca hidrográfica pertenecen 17 unidades hidrogeológicas incluidas, en todo o en parte, en la mitad sur y sudeste de la provincia de Albacete. A continuación se describen brevemente.

III.1.4.1. U.H.07.53. Alcadozo

Se encuentra en el límite norte de la cuenca del Segura incluyendo

parte de la *Sierra de Alcaraz*. Tiene una superficie de 530,5 km² y está formada por dolomías y calizas del Jurásico Medio (Dogger). En su parte occidental se estrecha y describe un arco definido por fallas y pliegues que van cambiando de orientación, y por un afloramiento Triásico por el sur que actúa como límite impermeable.

Los recursos renovables anuales son de 9 hm³, íntegramente procedentes de la pluviometría, que se drenan por manantiales y cauces, ya que los bombeos son de tan sólo 0,3 hm³/año.

III.1.4.2. U.H. 07.03. Boquerón

Se circunscribe a los términos municipales de Liétor, Hellín y Tobarra, y está formada por dolomías microcristalinas del Jurásico Medio como en la U.H. anterior. Éstas se encuentran cubiertas por un semipermeable del Jurásico Superior (Malm) de calizas nodulosas y margas. Recientemente se han descrito tres acuíferos cuyos datos más significativos aparecen en el cuadro 3.1.

III.1.4.3. U.H. 07.55. Corral - Rubio

Se ha definido entre las localidades de Bonete, Corral-Rubio y Pétrola, con una superficie de 187,5 km² de calizas cretácicas. Los recursos anuales de la unidad son de 9,15 hm³, de los que 5 hm³ proceden de la transferencia subterránea de otros acuíferos y el resto de la lluvia útil y de la infiltración desde los cauces.

Las salidas por bombeo son de 4,5 hm³/año y, aunque el acuífero se encuentra en equilibrio, al ir aumentando éstos en los últimos años, han provocado la disminución de la superficie de la Laguna de Pétrola y de la del resto de los humedales de la zona. Otras salidas que se producen por transferencia subterránea, están cifradas en 4,65 hm³/año.

III.1.4.4. U.H. 07.02. Sinclinal de la Higuera

Afecta a los términos municipales de Fuente-Álamo, Montealegre del Castillo, Corral-Rubio, Bonete y Chinchilla de Monte Aragón. Tiene una superficie de 265 km² y está formada por calizas y dolomías karstificadas con intercalaciones impermeables de margocalizas y margas siendo el conjunto de edad Jurásico - Cretácico Inferior.

El tramo más productivo está compuesto por 200-300 m de dolomías del Dogger que se encuentra cautivo en casi toda la unidad, por lo que la infiltración directa del agua de lluvia es de tan sólo 2 hm³/año no encon-

Acuífero	Superficie (km ²)	Infiltración Lluvia (hm ³)	Retornos Riego (hm ³)	Aportaciones laterales de otros acuíferos (hm ³)	Total Entradas	Salidas por manantiales (hm ³)	Bombeos (hm ³)	Transferencia a otros acuíferos (hm ³)	Total Salidas
BUHOS	159,7	2	0,4	5,7	8,1	0	6,9	1,2	8,1
UMBRÍA	89,4	1	0,1	2,2	3,3	0	2,3	1	3,3
EL BOQUERÓN	69,5	1,6	0	2,4	4	3,38	0,62	0	4
Total	318,6	4,6	0,5	10,3	15,4	3,38	9,82	2,2	15,4

Cuadro 3.1. Parámetros hidrogeológicos de los acuíferos principales de la U.H. 07.03 Boquerón.

trándose manantiales como zona de descarga. Las salidas se producen por bombeos (9 hm³/año) que están explotando las reservas del acuífero (1 hm³/año) estimadas en 2000 hm³. Las aguas son sulfatobicarbonatadas cálcico-magnésicas (1995d).

III.1.4.5. U.H. 07.01/08.34. Sierra de la Oliva

Esta unidad ya se describió dentro de las pertenecientes a la cuenca del Júcar (ver apartado III.1.2.3).

III.1.4.6. U.H. 07.16. Tobarra - Tedera

Está integrado por tres sectores: nororiental (Pinilla), central (Tedera) y otro suroriental (Tobarra). En los tres la roca acuífera está formada por 300-350 m de dolomías del Dogger actuando el Jurásico Inferior (Lias) arcilloso de impermeable de base.

El flujo subterráneo general de la unidad es de norte a sur y la superficie piezométrica se sitúa por encima de los 742 m.s.n.m. en el compartimento de Pinilla y hasta los 572 m.s.n.m. al suroeste de Tobarra (en la localidad de Sierra).

El primero de ellos tiene una superficie de 50 km² sobre los que se filtran al año 0.5 hm³ procedentes de la lluvia útil. Las entradas laterales de otros acuíferos oscilan entre 15 y 20 hm³, mientras que los retornos de regadío apenas alcanzan 0.1 hm³. En volumen las salidas totales son similares a las entradas, de las que corresponden a bombeos 5 hm³ y el resto a transferencias laterales a la subunidad que se describe a continuación. La salinidad aumenta desde el norte, con facies bicarbonatada, hacia el sur donde son sulfatadas.

La denominada Tedera, tiene una superficie de 60 km². La infiltración de lluvia es de 0.7 hm³; 3.4 hm³ proceden del retorno de regadíos y de 10 a 15 hm³ de entradas laterales subterráneas del compartimento de Pinilla.

En cuanto a las salidas del sistema, se establecen de tres maneras: por manantiales (2.3 hm³) –con evolución descendente de caudales a lo largo de los años–; bombeos (11.3 hm³); y salidas laterales hacia el acuífero sur cifradas en 5 hm³. La salinidad de las aguas tiende a ser elevada, en general superior a 1 g/l, y son del tipo sulfatadas cálcico-magnésicas, con moderado a elevado peligro de salinización del suelo.

El flujo subterráneo es hacia el sudoeste, es decir, hacia el compartimento Tobarra, dificultando el tránsito entre uno y otro por la presencia, en el límite occidental entre ambos, de afloramientos del Triásico de Las

Chozas. Esto se manifiesta en un salto en la piezometría al pasar desde esta a la otra subunidad de Tobarra. Las cotas de los niveles piezométricos oscilan entre 680 m y 660 m (gradiente de 2/1000).

Por último, el compartimento Tobarra tiene una superficie de 31 km² de afloramientos permeables en los que se infiltran 0,6 hm³ de lluvia útil y 1 hm³ de retorno de regadíos. Las aportaciones laterales subterráneas se estiman en 5 hm³. La descarga del acuífero se produce por manantiales (6,3 hm³) y por bombeos (1,2 hm³) y la calidad química de sus aguas es similar a las del sistema anterior (ITGE, 1988b).

III.1.4.7. U.H. 07.49. Conejeros - Albatana

Las rocas acuíferas principales son dolomías del Dogger con un impermeable de base arcilloso y afloran en una superficie de 160 km². El flujo subterráneo se establece de norte a sur y está muy condicionado por la geometría del acuífero.

La infiltración de lluvia es de unos 1,5 hm³ y los retornos de regadíos se han estimado en 1,9 hm³. El sistema se encuentra en desequilibrio, ya que los bombeos son de 3,6 hm³ anuales y las descargas en los manantiales de Albatana y Santa Quiteria es de 0,8 hm³/año.

En el sector norte, las aguas son bicarbonatadas cálcico-magnésicas, mientras que, en la mitad sur, éstas son sulfatadas cálcico-magnésicas.

El flujo subterráneo se establece hacia el sudeste en la mitad norte. Aquí, la superficie piezométrica pasa de 684 m.s.n.m. a 665 m.s.n.m. Posteriormente y, bordeando unos afloramientos impermeables del Jurásico Inferior que estrechan la sección de paso del acuífero y aumentan su gradiente hidráulico, la dirección del agua gira hacia el sudoeste, llegando a la zona de descarga –en las proximidades de Albatana– a una cota de 600 m.s.n.m. (ITGE, 1988b).

III.1.4.8. U.H. 07.38. Ontur

Tiene una superficie de 153,5 km² repartida entre Murcia y Albacete. Los recursos naturales de la unidad, procedentes de la infiltración de la lluvia útil, son del orden de las salidas por bombeo (0,78 hm³/año) y la calidad química del agua está influenciada por el sustrato salino del Triásico. Hasta la fecha no existen estudios hidrogeológicos de detalle sobre esta unidad.

III.1.4.9. U.H. 07.18. Pino

La roca acuífera principal está formada por 300 m de dolomías del

Dogger con un impermeable de base y lateral arcilloso. Ocasionalmente, como en la rambla de Tobarra, el Pliocuatnario detrítico hace de vehículo superficial entre rocas carbonatadas a uno y otro lado de la rambla.

Las extracciones se concentran en el sector sur, hacia la única salida conocida del acuífero que es un sondeo surgente (nº 25337007) con caudal medio de 60 l/s y emergiendo a una cota de 498 m.s.n.m.

La superficie del acuífero es de 45 km². En él se infiltran por agua de lluvia unos 0,5 hm³, y de la rambla de Tobarra y de regadíos un total de 2 hm³. El agua es del tipo sulfatada cálcica y sulfatada-clorurada cálcico-sódica (ITGE, 1988b).

III.1.4.10. U.H. 07.04. Pliegues Jurásicos

Esta unidad ocupa una superficie de unos 1.000 km² en los términos municipales de Riópar, Paterna de Madera, Molinicos, Bogarra, Elche de la Sierra, Liétor y Alcadozo. En ella se han definido 23 acuíferos de los que 22 se encuentran íntegramente en la provincia. Los más significativos son: Cabezallera (140 km²), Mingogil-Villarones (250 km²), Gallego (130 km²) y Gallinero-Mohedas (64 km²).

Las rocas acuíferas principales son de tipo carbonatado del Dogger. De menor interés son las dolomías del resto del Jurásico. El impermeable de base lo constituye las arcillas del Triásico y, en ciertos sectores, el Lias.

Las entradas totales de la unidad se distribuyen de la siguiente manera: 73,63 hm³/año corresponden a la infiltración pluviométrica, los retornos de riego aportan 6 hm³/año, las infiltraciones desde los cauces son de 1,05 hm³/año y los embalses aportan 15 hm³/año. La unidad se drena casi totalmente a los cauces de los ríos y los manantiales, ya que las extracciones de agua bombeada apenas llegan a los 0,2 hm³/año.

Las aguas son, generalmente, bicarbonatadas y, en menor medida, sulfatadas, cálcico-magnésicas y con un contenido bajo en sólidos disueltos comprendido entre 0,4 y 0,7 g/l (ITGE, 1988b).

III.1.4.11. U.H. 07.34. Cuchillos - Cabras

Tiene cinco acuíferos que son: Agra - Cabras, Candil, Minateda, Acembuchal y Casas de Losa.

Agra – Cabras

Las rocas acuíferas son de tipo carbonatadas de edad Jurásico Medio y Cretácico Superior separadas por tramos impermeables pero conectados lateralmente por efecto de la tectónica.

La superficie del acuífero es de 100 km² en la que se infiltran 2 hm³ procedentes del agua de lluvia y otra cantidad similar de los retornos de riego. Las descargas fundamentales se producen a través de los manantiales (3 hm³) y en menor proporción por bombeos (1 hm³).

Candil

Tiene una potencia de unos 400 m de dolomías y calizas jurásicas y una superficie de 62 km² en la que se filtra 1 hm³. Las descargas se producen a través del manantial de Azaraque, que no es potable por el gran contenido en sales, y en dos puntos de bombeo cuyo volumen conjunto es poco significativo. Con uno de ellos se abastece a la población de Cancarix.

Minateda

Pequeño acuífero de calcarenitas miocenas de 15 km² de superficie, con algo menos de 0,5 hm³/año de recursos renovables que se drenan, casi totalmente, en el manantial El Azud con alto contenido en sales.

Acembuchal

De 2,25 km² y también formado como el anterior por calcarenitas, tiene unos recursos de menos de medio hm³ que salían a través del manantial Pozico la Ra hasta que lo secó el bombeo del único sondeo de la zona.

Casas de Losa

Depresión de 23 km² de extensión ubicada entre Minateda y Agramón y las estribaciones occidentales de la Sierra del Candil rellena de materiales cuaternarios con 0,5 hm³/año de recursos renovables. La descarga se realiza a través de los manantiales ubicados a lo largo del cauce de la rambla de Tobarra y sus aguas no son aptas para el consumo (ITGE, 1988b).

III.1.4.12. U.H. 07.06. El Molar

Se encuentra al sur de la provincia ocupando parte del término municipal de Hellín con una superficie de 288 km². Se trata de una unidad compleja ya que intervienen gran número de acuíferos carbonatados agrupados en tres zonas: acuíferos del Jurásico, acuíferos del Cretácico Superior (Horst: Las Minas-La Dehesilla) y acuíferos del Mioceno y Cretácico Superior.

La alimentación de la unidad procede de la lluvia útil (3 hm^3), entradas laterales subterráneas ($0,2 \text{ hm}^3$) y de la infiltración de aguas superficiales del Segura $7,5 \text{ hm}^3$. Las salidas se producen fundamentalmente por bombeos (10 hm^3) y por surgencias de manantiales de 3 hm^3 ; por lo que se está produciendo una explotación de las reservas (MMA, 1988).

III.1.4.13. U.H. 07.36. Calar del Mundo

Se encuentra a caballo entre las provincias de Jaén y Albacete (Siles, Riópar, Yeste y Molinicos) y tiene una superficie de 140 km^2 . Se trata de un acuífero del Cretácico libre y de tipo kárstico (foto 2) cuyo impermeable de base es la facies Utrillas y lateralmente el Triásico.

No presenta extracciones por bombeo por lo que las salidas se producen únicamente por manantiales y son de $14,5 \text{ hm}^3$ igual que los recursos. Las aguas son bicarbonatadas cálcico-magnésicas.

III.1.4.14. U.H. 07.14. Segura - Madera

Compuesta básicamente por sedimentos carbonatados del Cretácico y con 223 km^2 de extensión, consta de 26 acuíferos de los que 9 se encuentran dentro de la provincia. De estos, los más importantes son: La Mora ($58,3 \text{ km}^2$), Rala-Herrada ($21,2 \text{ km}^2$), Tinjarra ($24,4 \text{ km}^2$), Horadada ($15,7 \text{ km}^2$) y Cujón ($20,3 \text{ km}^2$).

Los recursos de la unidad son de $37,57 \text{ hm}^3$ procedentes de la infiltración del agua de lluvia que se descargan en manantiales y en los cauces de los ríos. Las aguas son bicarbonatadas cálcico-magnésicas (MMA, 1998).

III.1.4.15. U.H. 07.07. Fuente Segura - Fuensanta

Situada en el sudoeste provincial cuenta con una superficie de algo más de 1000 km^2 y, dentro de ella, se han definido 17 acuíferos, siendo los más importantes: Fuente Segura-Río Frío (625 km^2), Loma del Sapillo (92 km^2), Gontar (99 km^2) y Humoso-Juan Quílez (75 km^2). En general estos acuíferos están formados por sedimentos cretácicos al norte, y cretácicos y miocenos en el sur.

Las entradas del conjunto de la unidad se han cifrado en $107 \text{ hm}^3/\text{año}$ que son drenados a ríos y manantiales, ya que los bombeos son insignificantes (MMA, 1995d).

III.1.4.16. U.H. 07.19. Taibilla

Cuenta con una superficie de 80 km² perteneciente al Dominio Subbético y ubicada en los términos municipales de Nerpio y Moratalla. La serie abarca desde el Triásico hasta el Cretácico Inferior, conformando el acuífero las dolomías y calizas del Lias con una potencia de 200-350 m. Éste es libre en casi toda su superficie y se encuentra colgado, ya que la Sierra del Taibilla es una isla tectónica cabalgada sobre el Prebético.

Las aportaciones proceden en su totalidad de la lluvia útil cifrada en 10 hm³ y, al no haber bombeos, la descarga se produce íntegramente por manantiales. Las surgencias de los manantiales en las proximidades de Nerpio se encuentran a 1.150 m.s.n.m., el flujo se establece en sentido S-N y SO-NE y las descargas se producen en los límites septentrional y occidental (MOPT, 1988).

III.1.4.17. U.H. 07.37. Anticlinal de Socovos

Emplazada entre las provincias de Murcia y Albacete (Letur, Férez, Socovos, Yeste y Nerpio), tiene una superficie de 700 km² y está formada por una superposición de calizas, calcarenitas, dolomías y calizas de edad Jurásico Superior (Malm) - Mioceno.

En ella se han definido cuatro acuíferos que son Molata, Capilla, Algaidón y Anticlinal de Socovos. Se encuentran los cuatro en equilibrio, constituyendo las surgencias por manantiales la totalidad de las salidas de estos acuíferos. El último de ellos, es el más importante ya que tiene una extensión de 634 km² y unos recursos de 46 hm³/año. Es el único que presenta extracciones por bombeo, cifradas en 1,4 hm³/año.

III.2. CLIMATOLOGÍA. Pluviometría (B)

El clima de Albacete depende de su posición latitudinal que la incluye en el dominio de los climas mediterráneos con los que comparte la estacionalidad de las temperaturas, inviernos fríos y veranos cálidos, la sequía estival y la irregularidad de las precipitaciones anuales. Por su latitud, es una zona de transición entre las zonas templadas y las tropicales. Durante el invierno tiene: períodos de lluvia relacionados con las borrascas atlánticas y el frente polar que los acompaña y; períodos secos y fríos asociados a la circulación de tipo meridiano, norte - sur, que canaliza hasta nuestras latitudes el viento frío y seco de las altas latitudes polares. En verano, el clima presenta los rasgos típicos del continente africano, ya que

el anticiclón de las Azores se desplaza hacia el norte y es la causa de la prolongada sequía estival y de las olas de calor provocadas por la llegada de masas cálidas del norte de África (JCLM, 1991).

La situación en el interior de la península reduce la influencia del Atlántico y Mediterráneo. El resultado es un fuerte contraste térmico estacional, con inviernos extremadamente fríos y veranos muy cálidos y unos totales pluviométricos bajos debido a que los flujos perturbados llegan muy debilitados por su recorrido continental antes de alcanzar nuestra zona. (JCLM, 1991). Tanto la precipitación como la temperatura varían espacialmente en función del esquema general de circulación atmosférica y de un conjunto de factores locales de entre los cuáles los más importantes son: la orografía, la acción del viento en superficie, la pendiente y la orientación del terreno (Álvarez, 1998).

El clima de un lugar se define sobre unos valores medios de temperatura y precipitación, obtenidos mediante las series de datos de varios años. (30 es el número recomendado por la Organización Meteorológica Mundial). El estudio de estas variables nos permite abordar los aspectos claves del clima como son: la caracterización de zonas climáticas en función del régimen y distribución espacial de ambos elementos; su explicación causal, relacionando los factores geográficos y atmosféricos; y la interrelación con otros aspectos del medio geográfico, bien naturales (procesos erosivos) bien como recursos y limitantes de la actividad humana.

El clima, y en especial la precipitación, es uno de los factores condicionantes de la cantidad de agua que se infiltra a través del subsuelo y, por lo tanto, del total de contaminantes que pueden llegar a los acuíferos.

III.2.1. Los Elementos Climáticos

III.2.1.1. Puntos de Control

Para el estudio de los datos climáticos se han utilizado las estaciones que están dentro de nuestra zona de estudio así como aquellas que por su proximidad geográfica afectan en el cálculo (tabla 3.2). Las estaciones están clasificadas según su tipo, pudiendo ser:

T: Termométrica.

P: Pluviométrica.

TP: Termopluviométrica

C : Completa

El código de la estación (campo COD_MET) es la una clave única para cada estación. Las dos primeras cifras indican la cuenca hidrográfica

COD_MET	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	COTA (m)	TIPO	P MEDIA	T MEDIA
04028	FUENLLANA	912	T		13,5
04029	ALHAMBRA	862	P	536,9	
04088	VARA DEL REY	824	P	548,3	
04090	SAN CLEMENTE	722	P	490,8	
04091	VILLARROBLEDO (I.L.)	730	TP	442,9	13,8
04092	LAS PEDRODERAS	704	TP	432,8	13,7
04096	MUNERA (Conf. Hidrog. del Guadiana)	930	T		14,0
04096	MUNERA	930	P	446,2	
04097	SOCUELLAMOS	674	T		13,7
04103	TOMELLOSO	662	T		14,9
05173	SILES	826	TP	821,2	15,2
05184	POVEDILLA	875	P	496,9	
05189	VILLANUEVA DE LA FUENTE	1005	P	569,0	
05191	BIENSERVIDA	893	P	754,0	
05192	VILLARRODRIGO	872	P	664,8	
05194	PUEBLA DEL PRINCIPE	930	P	410,5	
07054	SALTO DE MILLER	709	TP	617,1	13,3
07056	SANTIAGO DE LA ESPADA	1328	TP	764,8	11,8
07058	GONTAR	914	TP		14,4
07059	ARGUELLITE	980	TP	854,0	14,9
07061	YESTE (Conf. Hidrog. del Segura)	900	TP	550,7	12,9
07062	SILES ACEBEAS	1320	TP	1176,9	10,9
07065	MOLINICOS	823	TP	478,1	14,5
07066	EMBALSE DE LA FUENSANTA	680	TP	344,5	14,1
07068	NERPIO	1082	T		13,0
07077	ELCHE DE LA SIERRA	630	TP	388,4	16,2
07080	BENZAR	899	P	517,4	
07081	SOCOVS	750	TP	403,9	15,1
07083	EMBALSE DEL CENAJO	360	TP	366,3	15,8
07085	FABRICAS DE RIOPAR (C. H. Segura)	1000	TP	779,6	13,6
07088	PATERNA DEL MADERA (C. H. Segura)	1133	TP	809,5	
07091	HIJAR	617	TP	391,7	14,5
07092	LIETOR (Conf. Hidrog. del Segura)	641	TP	411,5	16,6
07094	EMBALSE DE TALAVE	550	TP	310,3	16,6
07096	HELLÍN I L	560	TP	346,7	15,1
07097	HELLÍN (Campo de Demostración)	550	TP	346,3	15,4
07099	ALCADOZO	924	P	439,0	
07102	ONTUR (Grupo Escolar)	670	P	336,9	
07109	EMBALSE DE CAMARILLAS	397	TP		16,9
07110	MORATALLA (Cobatillas)	600	P	344,9	
07111	MORATALLA (El Chopillo)	420	TP	319,0	15,7
07113	MORATALLA CAMPO DE SAN JUAN	1150	P	427,3	
07116	CALASPARRA C F ESTACIÓN	390	T		15,9
07129	EMBALSE ALFONSO XIII	312	TP	268,5	16,1
07131	CIEZA LOS ALMADENES	200	T		16,5
07138	JUMILLA ESTACIÓN VITICOLA	510	P	302,4	
07138	JUMILLA I L	505	TP	301,5	14,9
07145	CIEZA (Conf. Hidrog. del Segura)	188	TP	285,1	16,6
07275	YECLA (Conf. Hidrog. del Segura)	605	TP	327,5	15,2
08007	VILLENA	505	TP	375,8	
08144	LEZUZA	912	P	478,8	
08150	CASAS DE BENITEZ	751	P	485,7	
08152	LA RODA	717	P	404,1	
08161	VILLAGARCÍA DEL LLANO	740	P	503,5	
08163	MADRIGUERAS	687	P	450,8	
08171	CASAS DE LAZARO	943	P	503,8	
08173	POZUELO	847	P	439,6	
08175	ALBACETE LOS LLANOS	704	C	377,3	13,3
08177	CHINCHILLA DE MONTE ARAGÓN	986	TP	396,0	12,9
08179	HIGUERUELA	1039	P	426,8	
08184	INIESTA H S	868	P	458,5	
08194	AYORA LAHUNDE	960	TP		13,5
08197	JARAFUEL - EL CAMPILLO	700	P	554,4	
08271	ENGUERA LA MATEA	865	P	571,4	
08289	LA FONT DE LA FIGUERA	565	P	481,1	
08313	REQUENA	692	TP	464,2	14,0

Cuadro 3.2. Estaciones del I.N.M. utilizadas en el estudio.

en la que está ubicada (mapa 3.7.1): **04** = Guadiana; **05** = Guadalquivir; **07** = Segura; **08** = Júcar), y las tres restantes el número de estación dentro de su cuenca.

La metodología utilizada para el cálculo de la distribución espacial, tanto de la precipitación (P_MEDIA) como de la temperatura (T_MEDIA), ha sido la siguiente:

- Selección de estaciones (puntos).
- Interpolación entre los valores de las estaciones
- Cruce de resultados con el polígono que delimita la provincia de Albacete discretizado por cuencas hidrográficas.

Para la interpolación se ha utilizado el módulo RASTER del GIS ARC/INFO[®] y el método escogido ha sido el inverso de la distancia al cuadrado (*IDW*). La distribución de las variables de precipitación y temperatura se obtiene en función de la media ponderada de los valores medidos en la que los pesos son proporcionales al inverso de la distancia entre la estación meteorológica y el punto que se quiere calcular. La interpolación del valor central es:

$$V = \frac{\sum_i^N \frac{P_i}{D_i}}{\sum_i^N \frac{1}{D_i^b}}$$

V = Precipitación ó Temperatura

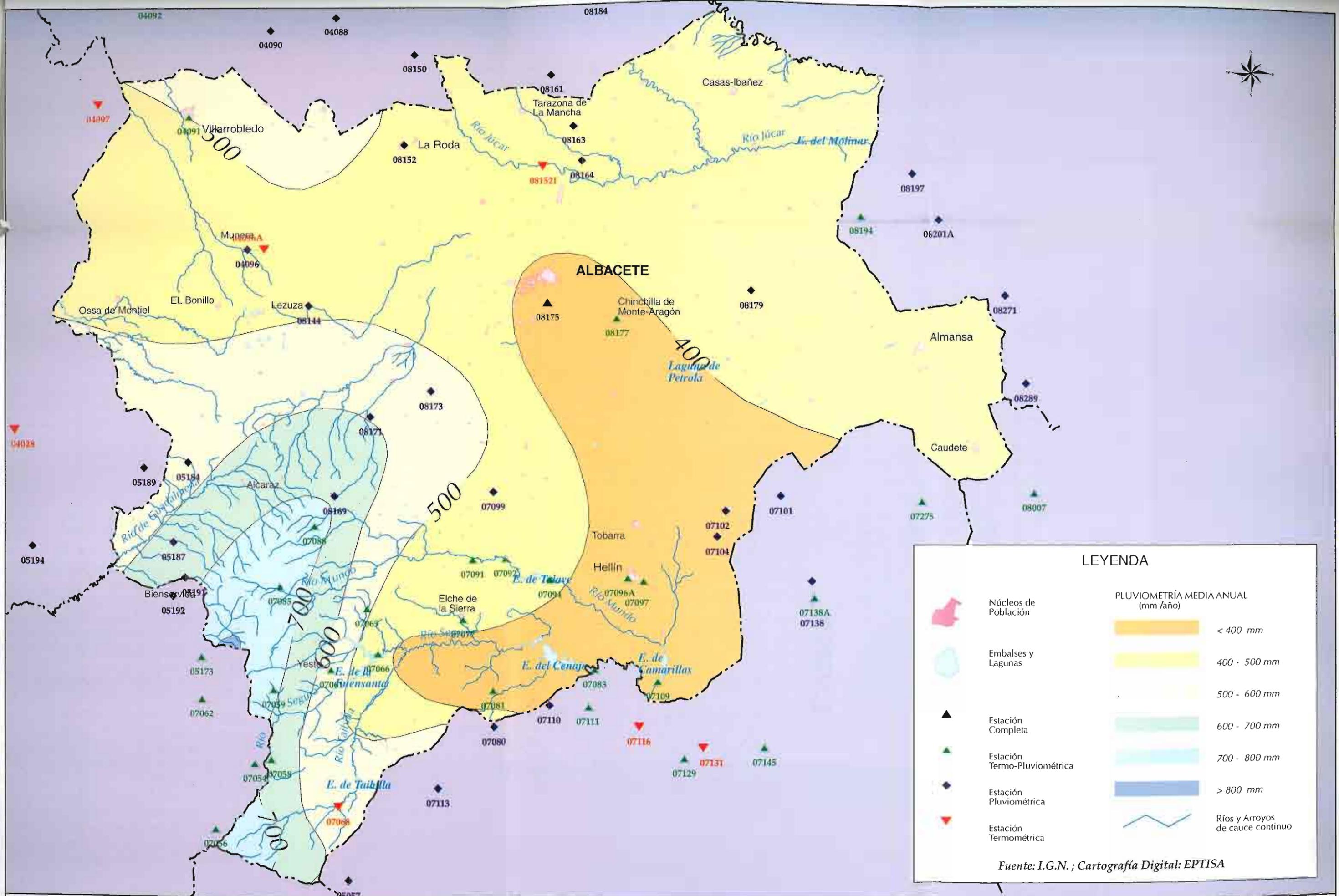
N = Número de estaciones más cercanas utilizadas para obtener el valor en el punto

b = Exponente positivo que pondera las distancias. En nuestro caso 2.

Con este método obtenemos una superficie continua, por lo que los valores medios sobre la cuenca se calculan según expresiones del tipo:

$$\bar{V} = \frac{\int V \cdot dx dy}{\int_s dx dy}$$

Siendo **V** una función de coordenadas espaciales (Álvarez, 1998).



III.2.1.2. Precipitación

La precipitación se produce al condensarse parte del vapor de agua contenido en el aire. Tal condensación tiene lugar cuando el aire se eleva y se enfría. La cantidad de agua recogida en un lugar depende del contenido de vapor de agua de la masa de agua, pero también de que existan las condiciones favorables para la elevación y enfriamiento. La distribución espacial de las precipitaciones en Albacete, así como los regímenes estacionales o mensuales dependen de estos factores productores de precipitación (mapa 3.2.1).

La distribución espacial reflejada en el *Mapa de Isoyetas* nos permite apreciar las diferencias espaciales que aparecen dentro de la provincia, con áreas cuya precipitación está entre 200 y 300 mm (años secos) frente a otras en las que se superan los 800 mm. La mayor parte de la provincia tiene una precipitación muy baja (alrededor de 400 mm), llegando a valores extremos en la *Sierra de Alcaraz*, situada al sudoeste de la provincia y cuyo vértice es la divisoria de aguas superficiales que divide las cuencas del Segura y Guadalquivir. La zona de menor precipitación se podría definir por el triángulo formado por Albacete, Elche de la Sierra y Caudete en donde las precipitaciones medias anuales están por debajo de los 400 mm. En la mitad superior de la provincia, los valores de precipitación oscilan entre 400 y 500 mm. El trazado de las isoyetas sigue a grandes rasgos la disposición del relieve siendo, por tanto, el factor altitudinal clave a la distribución de los totales pluviométricos, de tal modo que donde aparece una elevación del terreno las precipitaciones son superiores a las de las zonas contiguas más bajas.

En la tabla 3.3, podemos observar como al aumentar la altitud, aumenta la precipitación. La nube de puntos obtenida se puede ajustar a una recta de tipo lineal cuya ecuación es $Y = 0,5368X + 73,341$, donde Y es el valor de la precipitación obtenida y X es la cota de un punto cualquiera.

Tabla 3.3 - Relación Precipitación-Altitud

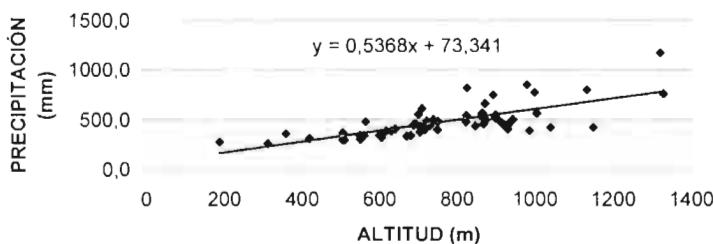


Tabla 3.3. Relación Precipitación-Altitud.

Hay que tener en cuenta que no sólo podemos considerar la altura como un factor explicativo, ya que según observamos en el mapa de isoyetas, en las proximidades a núcleos montañosos aparecen áreas de escasa pluviometría, lo cual es debido a que están en zona de sotavento, situándose a barlovento las áreas de mayor precipitación pues ahí se produce la elevación de la masa de aire húmedo y la posterior precipitación. Del cruce de la malla de precipitaciones con las cuencas hidrográficas que entran dentro de nuestra zona de estudio obtenemos los siguientes resultados (tabla 3.4):

CUENCA	MIN_PRE	MAX_PRE	MEAN_PRE
JÚCAR	352,8309	775,1198	451,4795
GUADIANA	442,9095	564,4888	487,1794
SEGURA	310,3201	853,9766	455,4367
GUADALQUIVIR	497,0392	834,6198	673,5656

Tabla 3.4. Precipitaciones máximas, mínimas y medias por cuencas hidrográficas.

III.2.1.3. Temperatura

A diferencia de las precipitaciones, los regímenes térmicos presentan una gran uniformidad en toda la provincia, con un máximo estival, generalmente centrado en julio y un mínimo que se localiza en enero o febrero. Sin embargo el relieve, de nuevo, actúa como factor de diferenciación espacial provocando el descenso paulatino de las temperaturas a medida que aumenta la altura a la que se encuentran localizados los observatorios.

En la *Sierra de Alcaraz*, con valles abiertos al sudoeste y protegidos de los vientos fríos del norte por el propio sistema montañoso, las temperaturas son relativamente altas en enero (mayor o igual a 5 grados) y son la causa de que en la parte baja, y en situación similar de apertura de los vientos del sudoeste y al abrigo respecto a los del norte, se registren las temperaturas invernales más altas de Albacete (mayor de 8 grados). El resto de la provincia presenta temperaturas invernales entre 4 y 6 grados, sin que las diferencias altitudinales parezcan influir de manera significativa. Esto es debido a que durante esta época la persistencia de anticiclones favorece el

enfriamiento por radiación y el aire frío y denso se acumula en las zonas más bajas dando lugar a frecuentes inversiones térmicas. Es en alturas superiores a 1000 m donde las temperaturas inician un descenso progresivo.

En verano, las temperaturas más elevadas ocupan la parte norte de la provincia y el valle del río Mundo cuyos valores medios anuales superan los 26 grados. En el resto de la provincia, las temperaturas medias máximas estivales, que se presentan en el mes de julio, están entre 24 y 26 grados, excepto en la *Sierra de Alcaraz*, *Sierra de la Cabras* y la *Cuerda de la Doblona* donde las temperaturas medias del mes de julio, influenciadas por el relieve, no superan los 24 grados.

Como consecuencia de todo ello, se produce una fuerte amplitud térmica debido a que la mayor parte de la provincia está por debajo de los 800 m, siendo a partir de esta altitud donde el descenso térmico se manifiesta de forma acusada (JCLM, 1986 y 1991).

III.3. SISMOLOGÍA. Peligrosidad sísmica (C)*

Antes de pasar a describir esta variable, cabe hacer una diferenciación entre dos conceptos: Sismología y Sismotectónica.

La *Sismología* es la parte de la geología que trata de los terremotos o sismos. Éstos son causados por rupturas de las tensiones elásticas, acumuladas por la fricción entre bloques de la corteza terrestre. Dichas rupturas en el interior de la Tierra producen una serie de ondas vibratorias que pueden llegar a la superficie terrestre con diversa fuerza, siendo detectadas por unos instrumentos llamados sismógrafos.

Por su parte, la *Sismotectónica* es la relación entre la actividad sísmica, reflejo de la tectónica activa, y la geología superficial. Su finalidad es establecer un nexo entre ésta y los procesos constructivos.

Los terremotos están ligados a la actividad neotectónica, la cual es responsable de la movilidad de ciertas discontinuidades mecánicas de la corteza: las fallas activas. Éstas participan de un esquema geodinámico coherente a escala del globo (Tectónica de Placas). Los sismos suelen localizarse en los límites entre placas, cuyas zonas de borde están en constante reajuste.

Un sismo se caracteriza por cuatro parámetros:

- *Foco o hipocentro*: corresponde a la región del interior de la

* Redactado por M. Pertierra.

Tierra donde se produce la ruptura de los bloques corticales en fricción.

- *Epicentro*: es la proyección en la superficie de la Tierra del foco sísmico. (Udías, 1971).
- *Magnitud*: mide en ergios la energía emitida por el cataclismo interno que ocurre en el foco sísmico. Generalmente, se define en función de la escala de RICHTER, la cual se divide en nueve grados logarítmicos, expresados en números árabes, en cifras de enteros y decimales.

Puesto que un terremoto sólo tiene una magnitud, en los efectos sísmicos conviene tener en cuenta una serie de factores como son la atenuación vertical o profundidad del foco, la atenuación horizontal o distancia de una localidad al epicentro, y la compacidad del terreno (las rocas atenúan las vibraciones, mientras que los terrenos arenosos o fangosos las amplifican).

- *Intensidad*: define cómo se ha registrado un sismo en un determinado lugar, más o menos cercano al epicentro. Se expresa en números romanos, comprendidos entre el I y el XII. En ocasiones, cuando la intensidad oscila, ésta se representa mediante dos números unidos por un guión. Por ejemplo, III-IV indicaría que la intensidad varía entre ambos valores, situándose en torno a los “tres y medio”.

Este parámetro no es mensurable por ningún instrumento. Se gradúa por medio de una serie de escalas de carácter internacional como son la Mercalli Modificada o la MSK, rigiendo esta última como oficial en España. Al contrario que en el caso de la magnitud, un sismo puede tener tantas intensidades como puntos habitados lo hayan sentido. Éstas varían desde la intensidad máxima (mayor cercanía al epicentro), hasta las mínimas apreciables, situándose la *zona asísmica* más allá del umbral de percepción, es decir, donde no se ha sentido nada.

En resumen, la intensidad está íntimamente relacionada con la magnitud y la profundidad en que se localiza el epicentro.

III.3.1. Tipos de Sismicidad

La sismicidad de un territorio está relacionada con la frecuencia de terremotos percibidos y la magnitud de sus epicentros.

Desde finales del siglo XIX se han ido instalando en España unos instrumentos que registran las ondas sísmicas, y a los que se conoce como

sismógrafos. Actualmente hay treinta y siete estaciones de campo (una de ellas en Vianos, Albacete) que envían los datos registrados de forma instantánea a un Centro Receptor de Datos (C.R.D.) instalado en el Servicio Nacional de Sismología (S.N.S.) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), en Madrid. Además, en Santa Cruz de Tenerife existe otro Centro Receptor de Datos.

Con la instalación de estas estaciones puede dividirse la historia sísmica del país en dos etapas: histórica e instrumental.

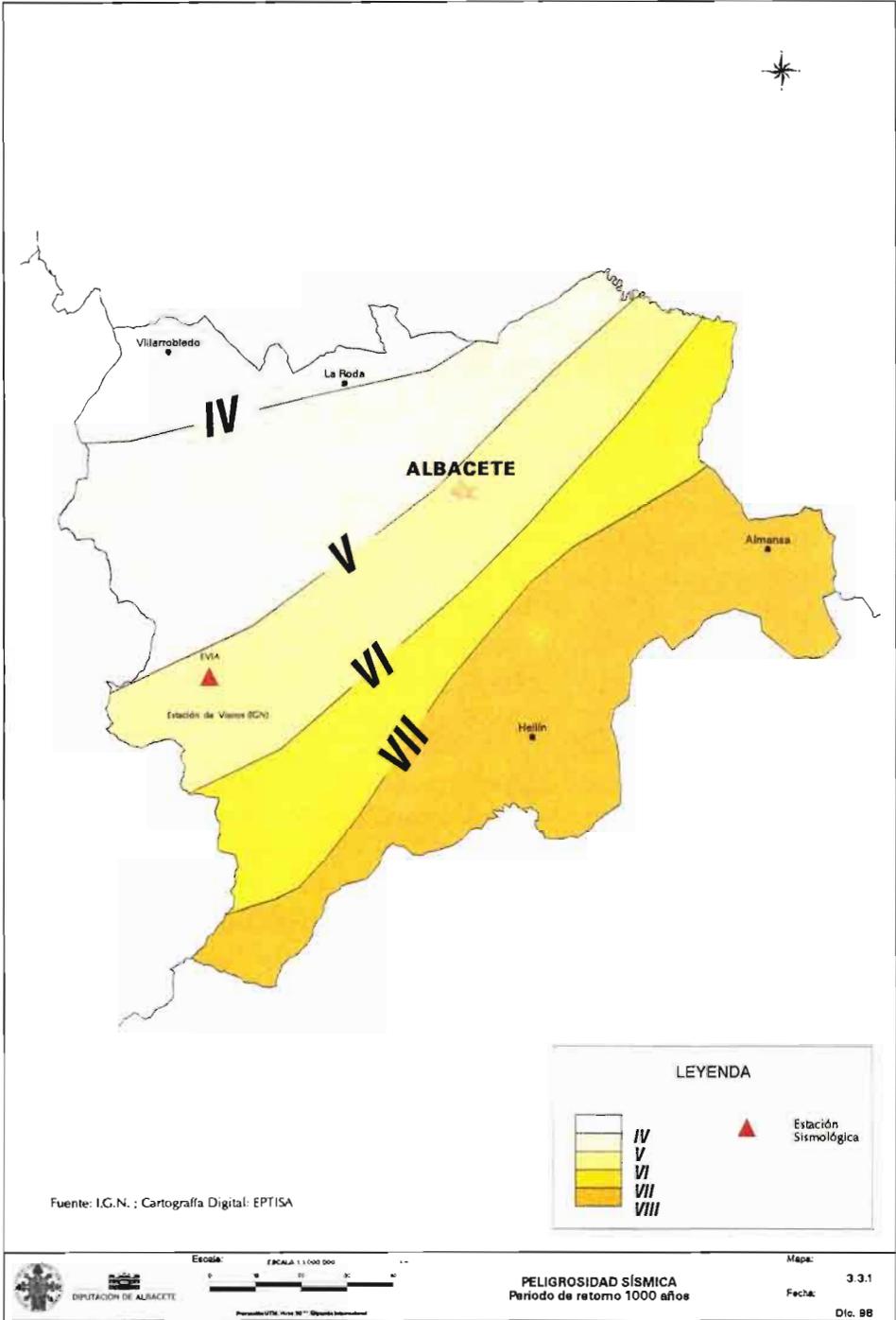
Para el conocimiento de los sismos ocurridos en la *era histórica* es necesario el uso de métodos históricos, como son la consulta de archivos, libros, folletos, periódicos, etc., los cuáles proporcionan una información relativamente completa sobre los terremotos en los pasados siglos. Por ello, la información histórica resulta de escaso valor a la hora de determinar el tiempo de recurrencia y poder estimar los valores de magnitud e intensidad de los eventos importantes. Además, estas últimas están influenciadas por los efectos terrestres, tales como variaciones en la atenuación y convergencia de la energía sísmica, que pueden producir intensidades y magnitudes anormalmente altas o bajas.

Asimismo, en los documentos históricos los epicentros suelen coincidir con los núcleos de población, con lo que se desplazan a esas zonas terremotos cuyo epicentro se originó en zonas menos pobladas. Por todo ello, la validez de este tipo de sismicidad a la hora de confeccionar un modelo sismotectónico es bastante limitada. En lo que se refiere a la provincia de Albacete, hay registrados datos históricos desde septiembre de 1831, tal es el caso del *núcleo* de Caudete.

Por su parte, los terremotos ocurridos durante la *era instrumental* se catalogan mediante las aportaciones técnicas de los sismólogos, que interpretan la lectura de los sismogramas, incluyendo la situación epicentral con "error", la profundidad con "error", la magnitud y la intensidad. Su validez, a la hora de establecer relaciones sismotectónicas, resulta proporcional a la precisión en la localización de los sismos, la cual es variable y en ocasiones presenta "errores" de más de 10 km.

Aunque, la llamada era instrumental no se consolida hasta 1965, fecha en la que ya existe una abundante red de sismógrafos, en tierras albacetenses se registran sismos desde el 9 de agosto de 1943, concretamente en el núcleo de Casas-Ibáñez, el cual presentó una magnitud de 3,9 y una intensidad V, en la escala MSK.

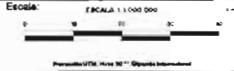
Estos últimos treinta años de historia sísmica permiten definir a Albacete como una provincia de sismicidad media-baja, tanto desde el punto de vista temporal, como de su magnitud.



Fuente: I.G.N. ; Cartografía Digital: EPTISA

LEYENDA

	IV V VI VII VIII		Estación Sismológica
--	------------------------------	--	----------------------



PELIGROSIDAD SÍSMICA
Período de retorno 1000 años

Mapa: 3.3.1
Fecha: Dic. 98

A partir de los datos de F. Rodríguez (1995) de sismos acaecidos en la provincia y los *núcleos* (pequeño territorio en el que pueden concentrarse distintos epicentros) o *comarcas* (condiciones similares a un núcleo, pero afectando a una mayor extensión superficial) en que éstos tuvieron lugar, se puede establecer la siguiente relación (tabla 3.5):

NÚCLEO/COMARCA	TIPO DE SISMO
Núcleo de Caudete	1 histórico y 10 instrumentales
Núcleo de Hellín	1 histórico y 15 instrumentales (6 inducidos por el embalse de Camarillas)
Gran comarca de las Sierras	19 instrumentales
Comarca Mancha occidental-Campo de Montiel	10 instrumentales (2 sin magnitud instrumental)
Comarca central albaceteña	1 histórico y 4 instrumentales
Núcleo de Hoya-Gonzalo y Pétrola	3 instrumentales
Núcleo de Casas-Ibáñez	2 instrumentales
Núcleo de Almansa	1 histórico

Tabla 3.5. Núcleos y comarcas establecidos en Albacete en función de su sismicidad.

Por otro lado, en función del lugar de origen o causa de los terremotos, puede establecerse la siguiente clasificación sobre la sismicidad:

- *Sismicidad autóctona*: corresponde a los sismos acaecidos dentro de un territorio concreto. Por ejemplo, los registrados en la provincia de Albacete que han sido reflejados en la tabla anterior.
- *Sismicidad alóctona*: corresponde a la percepción de terremotos que tienen su epicentro fuera del territorio albacetense, pero que por su magnitud han logrado afectarlo. El más reciente ejemplo lo tenemos en el terremoto ocurrido en febrero del presente año (1999) en la localidad murciana de Mula, el cual se dejó sentir en la población de Hellín.
- *Sismicidad inducida*: abarca a aquellos terremotos que han sido provocados de forma no deliberada por algunas de las obras del hombre (Buforn y Udías, 1982). Se trata por tanto de "terremotos artificiales" y, básicamente su formación tiene lugar con la construcción de embalses.

La provincia de Albacete es una de las pocas del territorio nacional en que se observa este fenómeno. En concreto como consecuencia de la construcción del embalse de Camarillas, una presa de 36 m de altura, al alcanzar el agua la cota 23 m, se originaron una serie de sismos. Asimismo, esta presa presenta otra singularidad, pues quizás sea el único caso de sis-

micidad inducida por un embalse con una altura tan pequeña en la columna de agua. (Rodríguez, 1995).

III.3.2. Geografía Sismológica de Albacete

Los mecanismos focales de numerosos sismos acontecidos desde la dorsal centroatlántica hasta la Península Ibérica han sido estudiados por Udías, López Arroyo y Mezcua (1976), con el fin de establecer la naturaleza de los esfuerzos que los motivan. Dichos autores concluyen que la zona comprendida entre las Islas Azores y la Península constituye el sector de interacción entre las placas africana, euroasiática y americana, por lo que se produce:

- Una extensión de corteza oceánica en la dorsal centroatlántica
- Una falla de desgarre con movimiento dextrógiro desde Azores a Gibraltar, que se convierte en varias fallas inversas con presiones horizontales en dirección N-S en el Golfo de Cádiz.
- Una zona de tensiones en la litosfera con adelgazamiento de la corteza en el mar de Alborán, que presiona la zona de las Béticas contra el bloque estable de la Península.

El sistema de fallas del Guadalquivir separa perfectamente la región meridional de la central pero, a partir de la Sierra de Alcaraz, los pliegues de las cadenas meridionales penetran en la Meseta y enmascaran este límite antes tan neto (Rey, 1935).

La provincia de Albacete presenta síntomas de inestabilidad reciente. Esto es debido a la situación de focos que radican en los mantos inferiores de los pliegues avanzados de la Cordillera Penibética, sumamente dislocados y con fallas sin consolidar. Por ello, esta provincia se incluye en la IV subdivisión de la *Región Sísmica Bética*. (Rey, 1935). En líneas generales, comprende las comarcas de las Sierras de Segura, Alcaraz, Lomas de Chinchilla y Llanos de Albacete. En esta zona quedan los últimos cabalgamientos de los pliegues penibéticos sobre el núcleo herciniano de la Meseta.

Alfaro, Cabra y Soria (1991) en su estudio sobre el borde sudoeste de la Meseta proponen una zonación basada en las particularidades de los terremotos y su coincidencia con unidades geológicas homogéneas desde el punto de vista neotectónico. De las cuatro zonas propuestas, tres incluyen parte del territorio albacetense: Sierra de Taibilla-Sierra de Alcaraz, Prebético de Moratalla-Hellín y Meseta Ibérica, todas ellas interrelacionadas.

- En el área de la Sierra de Taibilla – Sierra de Alcaraz los movimientos neotectónicos tienen lugar durante el Mioceno superior, continuando durante el Plioceno y Cuaternario. Están relacionados con fallas dextrales de dirección ESE-ONO que cortan la estructura del arco.
- En el prebético de Moratalla - Hellín el modelo neotectónico es similar al anterior pero con una actividad sísmica más acusada. Los epicentros están dispersos y supuestamente relacionados con pequeñas fallas que limitan áreas de subsidencia y levantamiento. Estos movimientos están asociados con el accidente de Hellín (NNO-SSE), situado al este del área y con una importante sismicidad en sus alrededores.
- En la zona de la Meseta Ibérica la sismicidad es dispersa y de baja magnitud. Las direcciones de las estructuras neotectónicas son NE-SO y NO-SE. Las relaciones entre terremotos y estructuras no son evidentes ya que éstas están muy difuminadas. Sin embargo, parece existir una asociación entre los epicentros y algunos accidentes de actividad reciente como son: Alcaraz-Albacete (NE-SO), río Lezuza (NE-SO) y Cerro de Santo Domingo (SE-NO).

Al norte de las cadenas montañosas penibéticas aparecen algunos focos no muy activos ni potentes, pero sí bien definidos. Éstos se encuentran en la zona de cabalgamiento de las capas plegadas alpínicamente sobre el pilar de la Meseta (Chinchilla de Monte-Aragón, Ossa de Montiel y La Roda). Los terremotos ocurridos en esta cordillera son de tipo orogénico, efecto del desencadenamiento de las tensiones acumuladas por las violentas reacciones producidas sobre el ante-país (Rey, 1944).

En resumen, la alineación del Sistema Bético en clara dirección NE-SO y su cruce con fallas propias del Sistema Ibérico de dirección N-S da origen, en la provincia de Albacete, a las tierras de transición entre la actividad sísmica de las Béticas (núcleos de Hellín, Caudete y puntos aislados de la Sierra de Alcaraz) y la pequeña inestabilidad, que llega hasta la asismicidad en la Meseta central. Además, los epicentros marcados con precisión en la provincia de Albacete, nos definen cuál es la frontera tectónica de las regiones meridional y central (Rodríguez, 1995).

No obstante, un hecho a tener en cuenta a la hora de relacionar el mapa de distribución de epicentros con el tectónico, es el relativo al error que puede cometerse al asociar una cierta sismicidad a un accidente o una región tectónica determinada. Por ello, conviene establecer que una aso-

ciación falla-terremoto se basa en un número estadísticamente significativo de datos, no pudiendo alcanzarse precisiones mayores que las que posean las determinaciones epicentrales.

III.3.3. Peligrosidad Sísmica

La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del Mapa de Peligrosidad Sísmica para un Período de Retorno de 500 años. Este mapa fue elaborado por el Servicio Nacional de Sismología, publicado en el “*Atlas Nacional de España*” (IGN, 1992). Además, dicho mapa suministra –para cada punto del territorio y expresada con relación al valor de la gravedad– la *aceleración sísmica básica*, a_b , un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno, y los valores del coeficiente de contribución K. (fig. 3.3).

Por otro lado, para determinar la evaluación de la peligrosidad sísmica se utilizan dos métodos:

- El *determinístico*, basado en la máxima intensidad alcanzada.
- El *probabilístico*, basado en el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo. Tomando como base este método se desarrolló la Norma de Construcción Sismorresistente NCS-94 (IGN, 1994) (tabla 3.6).

Asimismo, en el mapa de peligrosidad sísmica se representa la distribución de la máxima intensidad sísmica esperable (en escala MSK). Los valores de la escala MSK representados están comprendidos entre IV y X.

MUNICIPIOS	a_b/g
Alatoz	0,04
Albatana	0,06
Alcaozo	0,04
Almansa	0,06
Alpera	0,06
Ayna	0,05
Bonete	0,06
Carcelén	0,04
Caudete	0,06
Corral-Rubio	0,06
Elche de la Sierra	0,06
Ferez	0,06
Fuente-Álamo	0,06
Hellín	0,06

MUNICIPIOS	a_b/g
Higueruela	0,05
Hoya-Gonzalo	0,04
Letur	0,06
Liétor	0,05
Molinicos	0,04
Montealegre del Castillo	0,06
Nerpio	0,05
Ontur	0,06
Pétrola	0,05
Pozohondo	0,04
Socovos	0,06
Tobarra	0,06
Yeste	0,04

Tabla 3.6. Valores de la aceleración sísmica básica iguales o superiores a 0,04 g que figuran la norma (NCS-94).

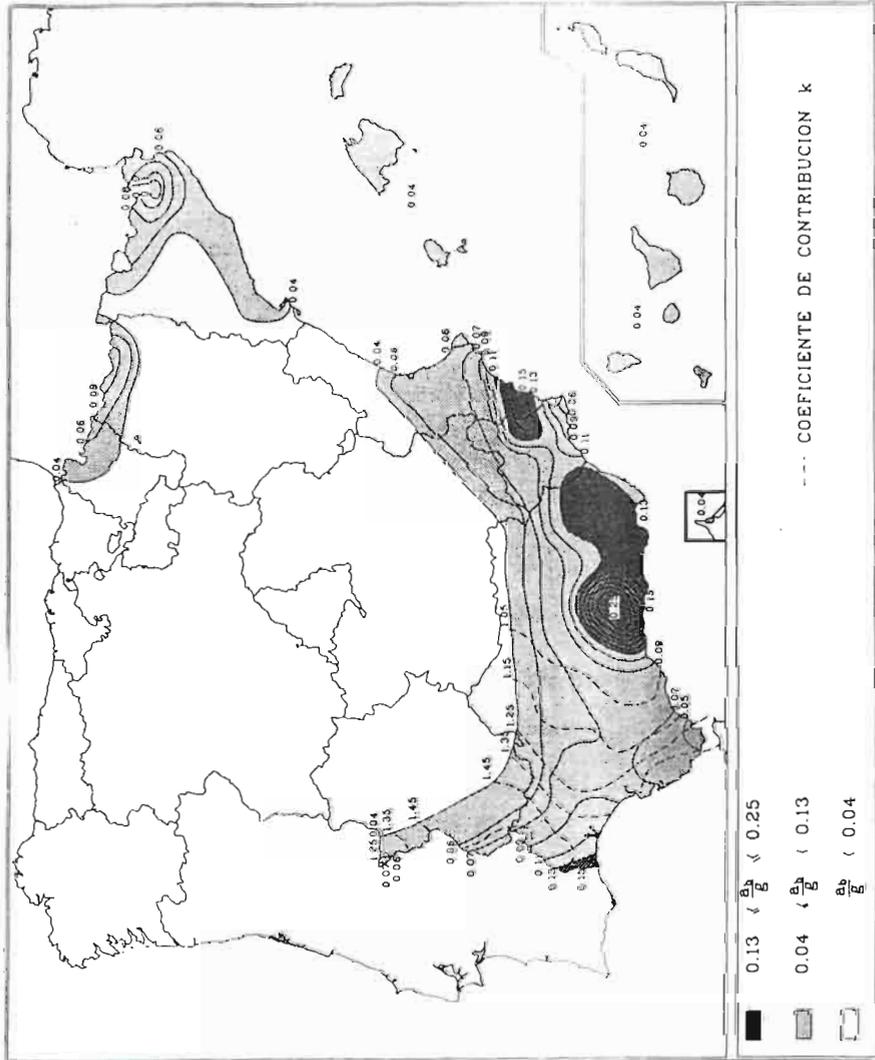


Fig. 3.3. Mapa de aceleración sísmica básica para T=500 años (I.G.N., 1994).

Por todo ello, a la hora de realizar una construcción, conviene tener en cuenta el *espectro elástico de respuesta para movimientos horizontales*, especialmente en aquellas que se realicen en la zona más meridional. Dicho parámetro se encuentra definido por la siguiente fórmula:

$$T_i = \frac{0,215 K (5C - 1)}{a(T_0)}$$

donde:

- **T:** período considerado en segundos
- **C:** coeficiente de suelo. Depende de las características del terreno existente en los primeros treinta metros de profundidad bajo las estructuras urbanísticas.
- **K:** coeficiente de contribución. Tiene en cuenta la influencia en la peligrosidad sísmica de cada punto de los distintos tipos de terremotos considerados en el cálculo de la misma.

Por otro lado, la peligrosidad sísmica se encuentra definida por dos parámetros principales:

- La intensidad histórica máxima alcanzada por los terremotos en la de provincia de Albacete fue de VI (escala MSK), aunque desde 1918 hasta la actualidad, la intensidad más habitual en lo que se refiere a los grandes sismos es de III (escala MSK) (mapa 3.3.2).
- La periodicidad existente en la formación de sismos, fundamentalmente al sur de la franja SO-NE de dicha provincia (mapa 3.3.3). El último, aunque alóctono, se midió en febrero de 1999 en la localidad de Hellín dando una magnitud de 5.2.

Además, de acuerdo con lo establecido por la Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes del IGN (1994), conviene destacar que los factores inherentes al terreno también afectan de forma importante a la peligrosidad sísmica. Éstos pueden englobarse como:

⇒ **Litología:**

- Las rocas compactas, suelos cementados o granulares muy densos, presentan una velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales de cizalla $V_s > 750$ m/s.

- Los terrenos granulares o cohesivos de compacidad media a dura, situados sobre el nivel freático, se caracterizan por una velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla $750 \text{ m/s} \geq V_s > 400 \text{ m/s}$.
- Los suelos granulares sueltos o medios y los suelos cohesivos medios a blandos, presentan una velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla $V_s \leq 400 \text{ m/s}$.

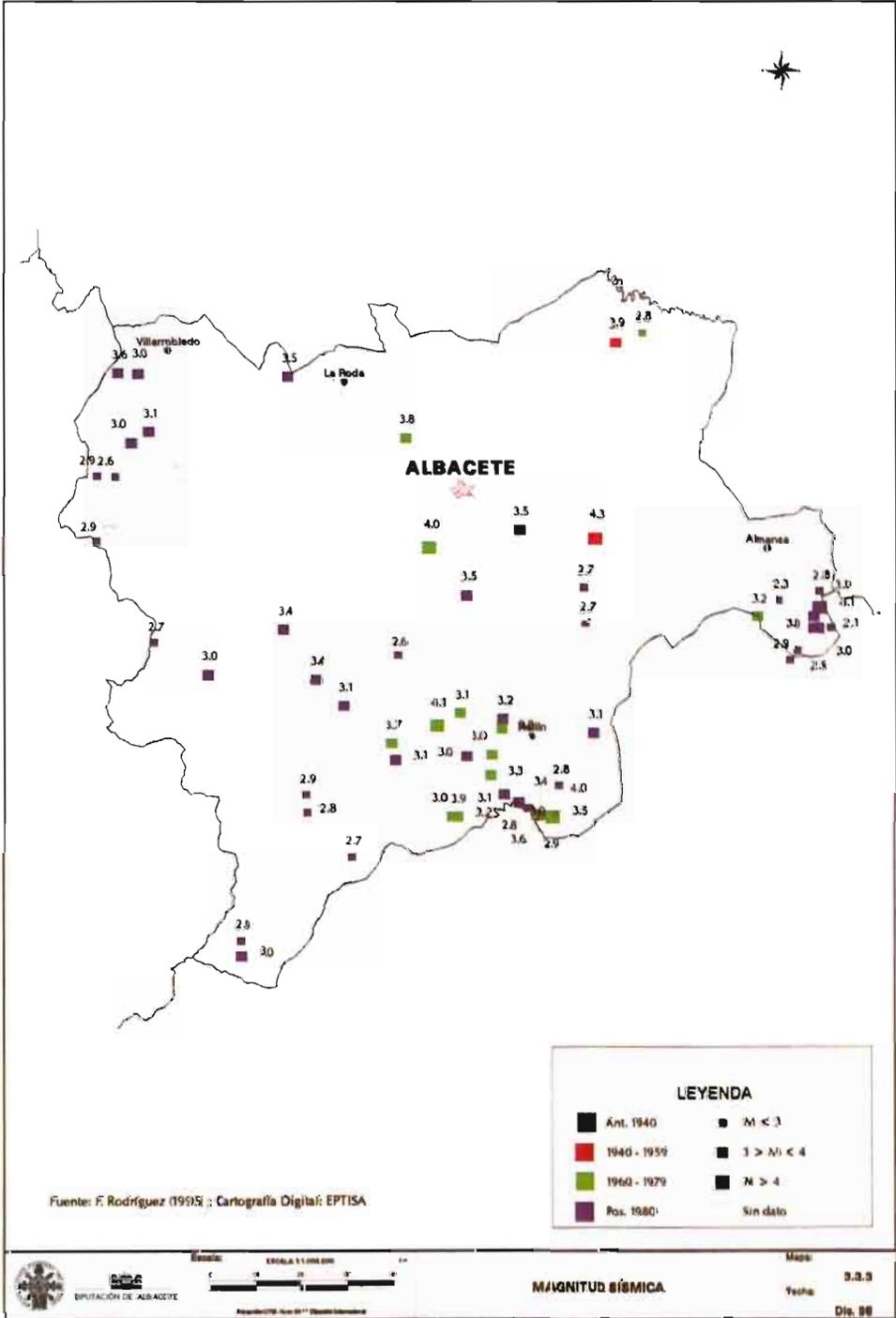
⇒ **Hidrología:** el grado de peligrosidad sísmica aumenta con:

- La proximidad a la superficie de los niveles piezométricos.
- Ante un elevado grado geotérmico. Su control puede llevarse a cabo con una serie de medidas, como son: la temperatura del agua de manantiales térmicos, la temperatura en sondeos, el gradiente geotérmico medio en sondeos y el flujo térmico.

Un claro ejemplo de esto, dentro de la provincia de Albacete, lo localizamos en Socovos, donde un sondeo petrolífero evidenció el alto gradiente geotérmico allí existente. Sin embargo, en la vecina región de Murcia, donde el accidente de Socovos se extiende hasta Cieza con dirección ESE a E-O, no se apreció ninguna anomalía geotérmica. (ITGE, 1993).

- La conexión espacial de las discontinuidades existentes también favorece el incremento de peligrosidad.





III.4. ESPACIOS NATURALES. Zonas Sensibles (D)*

Albacete es una región diversa y rica en espacios naturales relativamente bien conservados. La mayoría de ellos son paisajes donde la acción del agua es el agente fundamental junto a sus características geológicas. Así, encontramos las *Lagunas de Ruidera*, cuyo origen se encuentra en la surgencia de las aguas que forma un importante sistema fluvio-lacustre en calizas porosas. También relacionados con fenómenos cársticos, la provincia posee importantes ejemplos de formaciones geomorfológicas espectaculares, como *El Calar del Mundo*, *Las Hoces del Río Cabriel*, y *El Cañón del Júcar*; o de lagunas y charcas, como *El Bonillo*. Otros tipos de paisaje de gran importancia, en los que el agua también es el gran agente formador, son las áreas endorréicas, siendo de destacar la *Laguna Salada de Pétrola* y los criptohumedales como los *Salobrales de Cordovilla*.

III.4.1. Lagunas de Ruidera

Este complejo lagunar ubicado en el Campo de Montiel, constituye una importante zona húmeda situada a caballo entre la provincia de Albacete y Ciudad Real. En Albacete afecta al término municipal de Ossa de Montiel.

Está constituido por unas 15 lagunas y charcas unidas entre sí por arroyos y cascadas que discurren a lo largo de 25 km. Son el drenaje natural de una buena parte del acuífero del *Campo de Montiel*. Cuando las aguas afloran a la superficie, el bicarbonato cálcico que han incorporado durante la infiltración subterránea, forma precipitados calizos, denominados tobas. Se forman así potentes diques naturales, cayendo el agua en cascadas que unen unas lagunas con otras. Esta singularidad geomorfológica otorga al espacio un gran valor paisajístico, al que hay que sumar una flora y una fauna acuática de gran importancia.

Las comunidades vegetales de su entorno son típicamente meseteñas. El árbol dominante en las laderas y zonas altas es la encina, que convive con la sabina albar; allí donde la formación arbórea ha desaparecido es sustituida por coscojares, retamares,... En los fondos de los valles y márgenes aparecen árboles de ribera, como olmos y álamos blancos. En el área inmediata de las lagunas la vegetación es la propia de zonas húmedas, los cañaverales, espadañales y masarriegos son comunidades permanentes de los remansos y corrientes lentas.

* Redactado por B. Vila.

Una gran población de aves acuáticas –aquí se produce las máximas concentraciones de porrón moñudo de la región– comparte el espacio con el aguilucho lagunero y rapaces nocturnas. La gran extensión de la superficie acuática da cobijo a barbos, bogas,... La focha común anida en tierra firme y casi todos los años el somormujo lavanco realiza su espectacular parada nupcial.

El 31 de octubre de 1933 fue declarado Sitio Natural de Interés Nacional, el primer espacio natural de la actual Castilla - La Mancha; posteriormente, con la ley 15/75 se reclasificó como Parque Natural (Real Decreto 2610/1979 de 13 de julio de 1979). Ambos textos legales contaban con un gran fallo, la indefinición de los límites. En aquel tiempo, la administración le correspondía al ICONA, pero a partir del 19 de noviembre de 1984 con el traspaso de funciones y servicios del Estado en materia de conservación de la naturaleza, le corresponde a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. El 13 de marzo de 1990, en cumplimiento de lo establecido en la Ley 4/1989, el Consejo de Gobierno de la Junta reclasificó por el Decreto 34/1990 las Lagunas de Ruidera estableciendo los límites y superficie (3.772 ha) que tiene en la actualidad. Además, en el ámbito internacional está declarado como Espacio Natural protegido de importancia internacional (Convenio RAMSAR).

Las lagunas se han visto afectadas por los problemas del descenso de los niveles de agua del acuífero del que se alimentan y el deterioro de la calidad de sus aguas. Al objeto de corregir esta situación, se ha instrumentado un programa agroambiental, amparado en el Reglamento (CEE) 2078/92, para disminuir las extracciones por riego y recuperar los niveles iniciales (Martín-Herrero, 1995).

A lo largo de su historia una desproporcionada presión turística y un desorden urbanístico, frenado a duras penas, han causado un daño casi irreversible. La afluencia masiva de visitantes en los días de verano, convierte el Parque en una playa muy concurrida, que dejan las orillas llenas de basura (JCLM, 1991).

III.4.2. El Calar del Mundo



Foto 2. Nacimiento del río Mundo. Cueva de los Chorros. (Foto: L. S. Alajont).

La *Sierra de Alcaraz*, situada al sudoeste de la provincia de Albacete, es una extensa sierra calcárea cuajada de manantiales y cavidades que forman un paisaje geológico único e irrepetible. En ella la sabina rastrera se instala por encima de los 1600 m, en mezcla con el pino salgareño que llega hasta los 1800 m. Mientras, en los niveles inferiores se mezcla con el pino resinero y acaba siendo sustituido por él. En pleno corazón de la Sierra, merece una especial atención el *Macizo del Calar del Mundo*, impresionante sistema kárstico de 55 km² de superficie (Vallejo y Cocero, 1997), compuesto por más de 960 dolinas, 294 surgencias de agua y más de 60 cuevas y simas.

La cavidad de mayores dimensiones es la denominada *Cueva de los Chorros*, con más de 10 km, lo que la convierte en uno de los mayores complejos de la Península Ibérica. En la cueva tiene su nacimiento el río Mundo (foto 2), afluente del Segura, que aflora al exterior en medio de un anfiteatro rocoso de casi 200 m de altura y cae en cascada 80 metros. Al pie de la cascada pueden observarse un gran número de formaciones tobáceas.

Las condiciones de humedad propician una variada vegetación: masas de pinos y quercíneas entremezcladas con bosquetes de arces, tejos, majuelos y un rico sotobosque de rosáceas y cistáceas. Abundan las especies endémicas, de las sierras de Alcaraz y Segura, lo que otorga a este lugar una excepcional importancia para la conservación de la biodiversidad.

En cuanto a la fauna, merecen especial interés la cabra montés, el jabalí y el gato montés. La estructura de los farallones calizos facilita la presencia de abundantes rapaces.

III.4.3. Las Hoces del Río Cabriel

Se encuentran en *La Manchuela*, comarca natural compartida entre las provincias de Cuenca y Albacete. Situada en el extremo oriental de la gran llanura esteparia que ocupa Castilla-La Mancha. En ella las aguas del río Cabriel han labrado durante milenios un profundo surco sobre el macizo rocoso formado por estratos calizos y dolomíticos colocados en posición subhorizontal. La erosión ha ido conformando profundos meandros encajados, escarpes y farallones rocosos que llegan a tener hasta 100 m de desnivel.

Su hábitat contrasta de una forma espectacular con la monotonía de las llanuras manchegas. En una pequeña superficie hay una gran diversidad de hábitats. Así, en los cortados de las Hoces conviven con los pinares

de pino carrasco con un sotobosque de coscoja, enebro y romero; el bosque en galería del río Cabriel con choperas de álamo blanco y saucedas, acompañadas de cañaverales, juncales y carrizales; y los aluviones arenosos de las ramblas.

La fauna destaca por su diversidad. Se pueden encontrar nutrias, jabalíes, cabra montés, zorros, ginetas, comadrejas, gato montés y varias especies de murciélagos. En cuanto a las aves predominan las rupícolas como el águila perdicera, el águila real, el halcón peregrino y el búho real. Todo ello conforma un conjunto de elevado valor natural.

La zona está declarada como Reserva Natural, con una extensión de 1.662,45 ha, pero comprende sólo terrenos pertenecientes a la provincia de Cuenca.

III.4.4. La Hoz del Júcar

Se localiza como el anterior en la comarca de *La Manchuela*, al noreste de la provincia de Albacete. Aquí, el río Júcar fluye con un trazado muy sinuoso, entre campos de labor, bosques y roquedales, pudiéndose ver uno de los paisajes más bonitos de la región a su paso por Alcalá del Júcar.

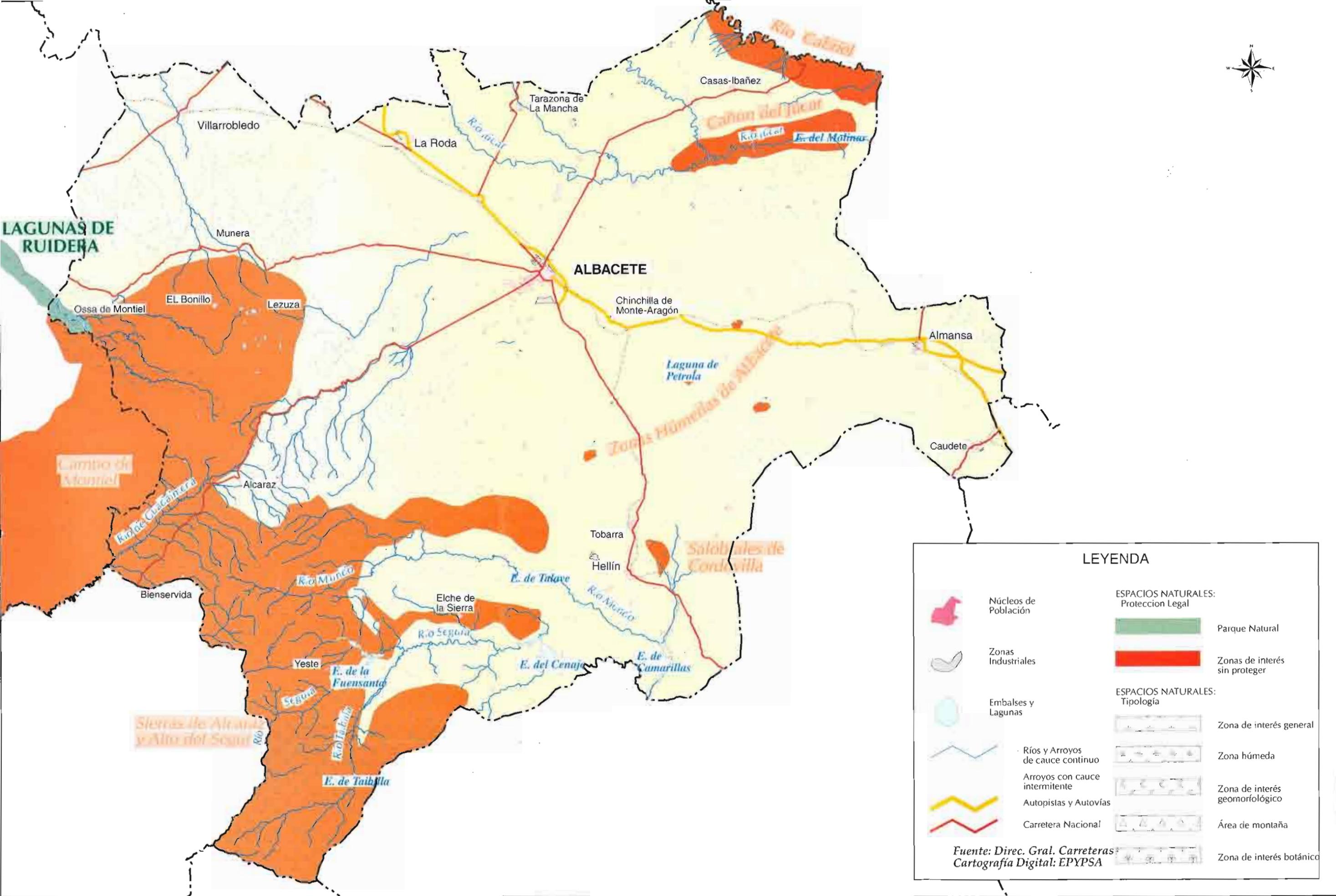
El protagonista es el río que a lo largo de los años ha ido esculpiendo meandros encajados, con paredes verticales cuyo desnivel llega a los 150 m. En ellos destacan los estratos calizos neógenos dispuestos de modo horizontal y que afloran en las paredes.

La vegetación más importante son los bosques de ribera compuestos por álamos y chopos cuyo colorido y esplendor contrasta con las laderas desnudas. En los farallones se instala una rica fauna rupícola como halcones peregrinos, cernícalos, cuervos....

III.4.5. Otras áreas de interés

Al inicio se hablaba de lagunas de origen kárstico. Estas áreas tienen importancia por su vegetación, limnología y paisaje. Se pueden destacar dentro de la provincia que nos ocupa la zona de la *Laguna de los Ojos de Villaverde*, en la que está incluida la *Laguna del Bonillo*, y la zona de la *Laguna del Arquillo*.

Se han mencionado humedales de origen endorréico, donde se conjuga el papel de la tectónica y la existencia de un nivel piezométrico somero. Se forman por la presencia de una zona deprimida en la que se acumulan las aguas en la época de lluvias. Después, en el verano, con las altas temperaturas su volumen va reduciéndose por evaporación, hasta llegar



muchos años a desecarse completamente, quedando entonces el área de la laguna con una capa blanca de las sales precipitadas.

En Albacete hay que mencionar por su importancia la *Laguna Salada de Pétrola* y los criptohumedales, donde el agua, que procede de flujos subterráneos, llega cargada de sales solubles de muy diversa naturaleza según los terrenos que hayan recorrido. Los humedales más famosos de este tipo en la Comunidad de Castilla-La Mancha son los *Salobrales de Cordovilla*, con una flora especialista en terrenos salinos, que cuenta con endemismos merecedores de gran protección.

En estas cuatro zonas y en el humedal de la *Laguna de Alboraj*, la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, por orden de 12 de junio de 1996, ha iniciado un Plan de Ordenación de los Recursos Naturales, estando sometidas temporalmente al régimen de Protección Preventiva. Sólo la *Laguna Salada de Pétrola* contaba ya con una cierta protección, al ser declarada Refugio de Fauna por el Decreto 105/91 de 23 de julio. Esta figura deriva de la Ley 2/93, de 15 de julio, de Caza de Castilla-La Mancha para zonas húmedas con el fin de proteger la avifauna que las utiliza (caza prohibida). En Albacete, con igual figura de protección se encuentra la *Laguna de los Patos*, por el Decreto 65/88 de 17 de mayo.

De los párrafos anteriores se deduce que la provincia de Albacete cuenta con una gran variedad de espacios naturales, muchos de ellos sin una figura jurídica que los proteja aunque parece que en la actualidad se está avanzando al respecto y hay en elaboración un buen número de Planes de Ordenación de los Recursos Naturales.

Esta preocupación por proteger y mejorar el entorno natural está también presente en el marco de la Comunidad Europea. En la actualidad se está desarrollando la Directiva Hábitats, de 22 de julio de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestre, de la que son responsables cada uno de los Estados miembros. Se basa en la creación progresiva de una red ecológica de Zonas de Especial Conservación (Red Natura 2000) y en el establecimiento de un régimen de protección y conducta común. Para ello, cada Estado debía elaborar una lista nacional de lugares (1992-1995), de ellos la Comisión debía designar las Zonas de Importancia Comunitaria (1995-1998) y a partir de ahí los Estados deben adoptar las medidas necesarias para evitar el deterioro de las mismas. De esta forma para el año 2004 cada miembro debe de haber designado como Zonas de Especial Conservación los territorios incluidos en los ZICs e incluir nuevos que considere necesarios (Varios, 1994). Es de esperar que todos los espacios naturales de los que hemos estado hablando en este apartado queden incluidos en la Red Natura 2000.

III.5. ARCILLAS. Peligrosidad por expansividad de terreno (E)

Se conocen como arcillas las rocas detríticas no consolidadas formadas por granos muy finos de aspecto terroso. Tienen la capacidad de retener el agua entre sus poros, no permitiendo que ésta circule a través de ella, de ahí su propiedad de impermeables. Esto también las hace ser un material muy plástico lo que da lugar a cambios en su volumen, plegamientos y roturas en el terreno. Todo ello produce el desgaste y el sometimiento a esfuerzos de las instalaciones que se encuentran en estos terrenos. El desencadenante de estos fenómenos será, por lo tanto, los cambios de humedad, que dependerán de las características climáticas de la zona. En función de la mineralogía de las arcillas estos fenómenos van a ser más o menos acusados.

Los daños causados por este fenómeno son muy importantes y afectan a edificios, redes de comunicación, infraestructuras subterráneas, instalaciones industriales, etc., lo que da lugar a cuantiosas pérdidas económicas. Los cambios de volumen de los suelos arcillosos pueden ser de tipo local debidos a descompresión (suelos no consolidados) o a modificaciones estructurales de algunos minerales (anhidrita) La nominación de expansivas a las arcillas que sufren estos fenómenos se debe a la capacidad de hinchamiento de las mismas, pero también, aunque de forma menos frecuente, se puede dar una pérdida de volumen (Salinas, 1987).

La presencia de algunos minerales de carácter no expansivos, como las sales cálcicas, dentro de las arcillas puede atenuar, en gran medida, la inestabilidad de los suelos (Salinas, 1987).

Una primera observación a la geología de la provincia de Albacete, manifiesta la escasez en las mismas de materiales arcillosos, expansivos o no expansivos. La provincia de Albacete está formada, esencialmente, por materiales sedimentarios mesozoicos, terciarios y cuaternarios. Dentro de estos materiales, los depósitos arcillosos más importantes se reconocen dentro de las formaciones triásicas y terciarias. En general, las arcillas del Triásico presentan intercalaciones de yesos y sales independientemente de que correspondan a las facies *Buntsandstein* o *Keuper* como ya veremos en el siguiente apartado. La potencia y composición de las formaciones arcillosas es sumamente variable a lo largo de la provincia.

Las arcillas correspondientes a los niveles triásicos inferiores afloran intercaladas en los términos arenosos de las facies *Buntsandstein* y también formando un último tramo de dichas facies. Alcanzan hasta los 100 metros de potencia y están constituidas por arcillas de colores abigarrados con frecuentes bancos de yesos y margas arcillosas. La mayor o

menor proporción de carbonato en estas facies puede hacer variar notablemente su grado de expansividad, incluso dentro de la misma formación.

Las facies *Keuper*, bien representadas en una banda de dirección E-O en la zona de Casas Ibáñez (noreste de Albacete), donde su potencia supera los 800 metros. Esta formación presenta variaciones notables de unas zonas a otras y así, mientras que en Casas Ibáñez está formada por areniscas, margas abigarradas y yesos blancos, en la zona de Elche de la Sierra presenta intercalaciones (SSO) de materiales detríticos gruesos, y su espesor no supera los 200 m. Es en esta banda de Casas Ibáñez donde el riesgo por presencia de arcillas expansivas resulta mayor.

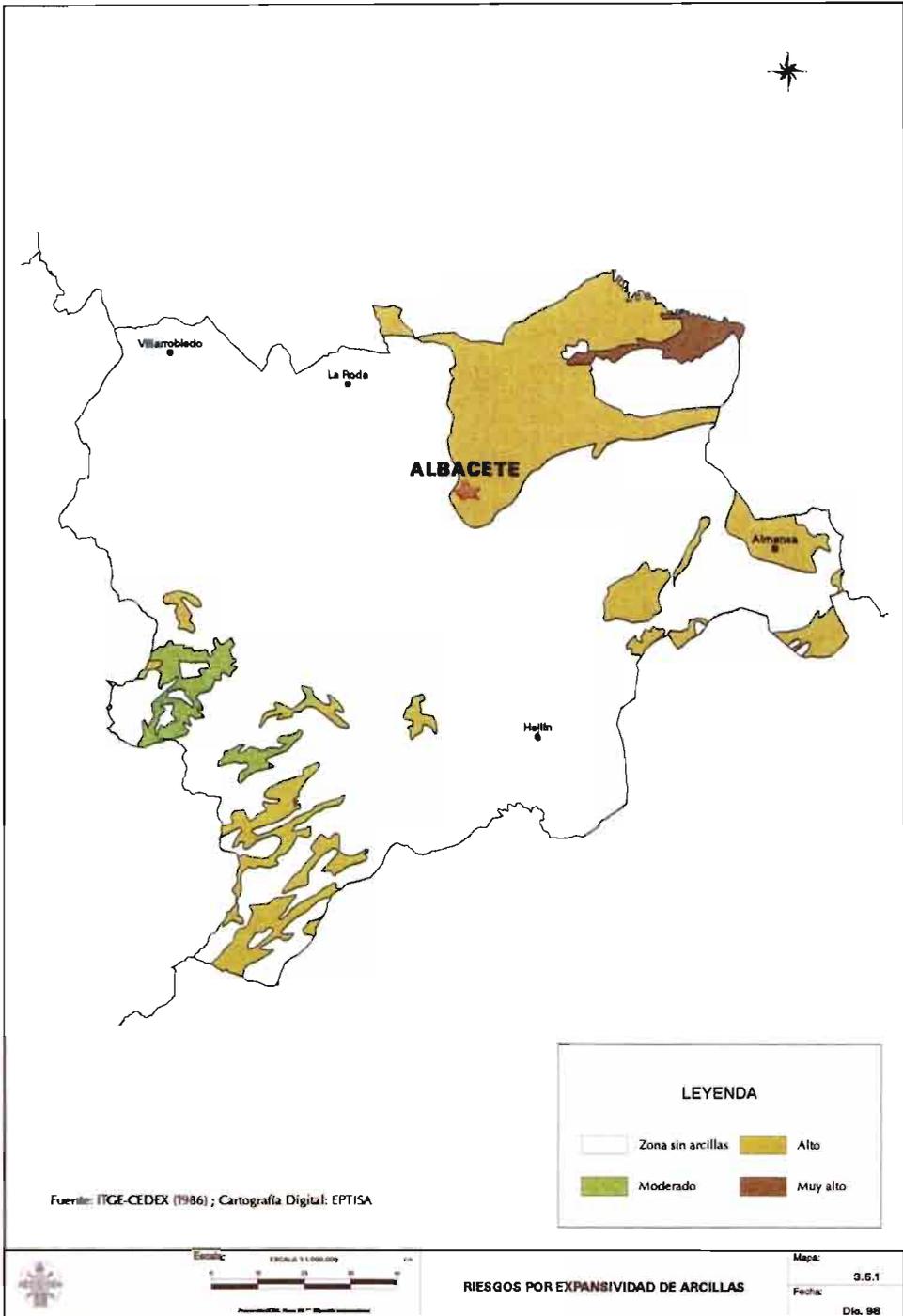
La zona de Alcaraz, de riesgo moderado, corresponde a los niveles arcillosos intercalados en las facies gruesas del *Buntsandstein* o a techo de éstas (foto 1). El Triásico en esta zona se encuadra dentro del Trías Hespérico, caracterizado por la ausencia de las barras carbonatadas del *Muschelkalk*, por lo que la diferenciación entre *Buntsandstein* y *Keuper* no es clara.

No se dispone de datos que avalen la mineralogía de las arcillas, no obstante, en un trabajo reciente sobre las arcillas de los sedimentos pérmicos y triásicos del SE de la Cordillera Ibérica (Alonso-Azcárate *et al.*, 1997) se muestra como la mineralogía de los depósitos triásicos es muy variada e incluye dos asociaciones fundamentales:

- 1) illita ± caolinita ± pirofilita
- 2) illita ± clorita ± vermiculita ± interestratificados

La segunda asociación es la que incluye más minerales expansivos.

Las zonas de riesgo alto, al norte de Albacete, alrededores de Almansa y zona sur de la provincia, están condicionadas por la presencia de arcillas y margas con intercalaciones de calizas. Estas formaciones son más recientes (Neógeno) y aparecen formando planicies relativamente amplias —en Albacete— o bien alineadas según una dirección NE-SO.



III.6. YESOS. Terrenos corrosivos (F)*

Se entiende por corrosión la destrucción de un material por causas distintas a las acciones mecánicas (fatiga, erosión). Entre ellas se incluyen las de naturaleza química. Uno de los medios naturales más corrosivos es el agua con sales fundidas y los sulfatos. También los terrenos yesíferos pueden dar lugar a deformaciones del terreno, ya sea por halocinesis (diapiro de Hellín), ya por disolución, lo que da lugar a procesos corrosivos combinados con acciones mecánicas (proceso de corrosión de un material sometido a esfuerzo).

Si se estudia la geología de la provincia de Albacete se puede observar la escasez en la misma de yesos ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Los depósitos yesíferos más importantes se reconocen dentro de las formaciones triásicas y terciarias. En general, los yesos triásicos aparecen intercaladas en arcillas y margas que corresponden fundamentalmente a las facies *Keuper* y, en menor grado, a las facies *Buntsandstein*.

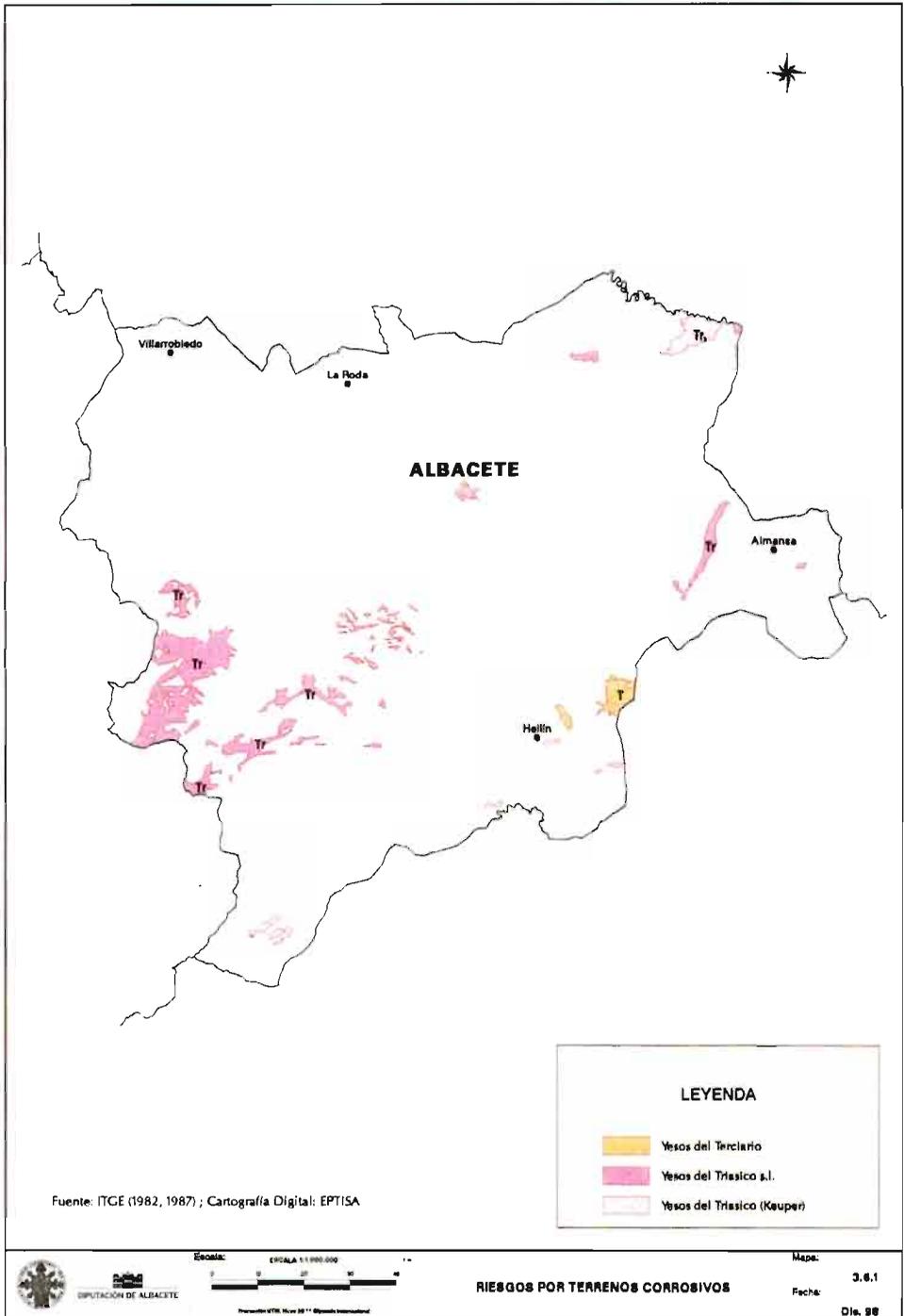
Las facies *Buntsandstein* están compuestas por unas alternancias de areniscas, arcillas y yesos. El último tramo, de hasta 100 metros de potencia, está constituido por arcillas con frecuentes bancos de yesos y margas arcillosos. Existen importantes afloramientos en las márgenes de los ríos Cabriel y Júcar. En la zona de Alcaraz-Río Mundo, discordante sobre las cuarcitas y pizarras, aparecen materiales fundamentalmente arenosos con frecuentes intercalaciones margosas, arcillosas y de yesos más frecuentes hacia techo (foto 1) (IGME, 1987c).

Las facies *Keuper* se presentan con amplios afloramientos en la zona de Casas de Ibáñez, donde su potencia supera los 800 metros. Incluye grandes bancos de yesos blancos con espesores totales estimados entre 15 y 20 metros, como máximo. Normalmente, los yesos predominan en los niveles más altos. Las variaciones son destacables pero, en general, se observa una disminución hacia el este en el contenido de areniscas y un aumento en la proporción de sales (IGME, 1987b).

En el sector Alpera-Montealegre del Castillo, la intervención de las formaciones arcillo-yesíferas de Triásico ha favorecido la formación de un diapiro alargado, de grandes dimensiones y marcada direccionalidad (Villar-Galicia, 1989).

En cuanto a la geoquímica, los estudios de sulfatos triásicos se encuentran con la limitación de que no se conserva el yeso original (primario), debiéndose practicar todos los análisis sobre las fases diagenéticas

* Redactado por J. M. de Ramón.



(yeso secundario). Los datos obtenidos confirman el origen marino de las aguas que dieron lugar a la precipitación de estos sulfatos.

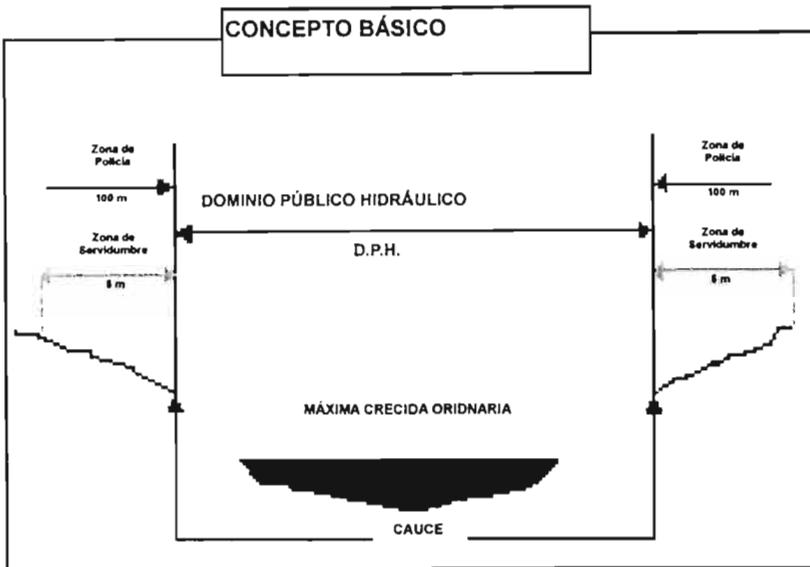
Los materiales del Terciario con presencia de yesos aparecen al este de Tobarra, en el sudeste de la provincia, en el límite con Murcia. Se trata de una formación muy potente del Mioceno Superior depositada, en su mayor parte, en ambiente lacustre y otras veces en ambiente fluvial. Es muy probable que su depósito pudiera llegar hasta el Plioceno. La facies lacustre, predominantemente carbonatada, presenta calizas tableadas y margas, a veces con yesos y azufre y calizas en bancos. Forman lo que antiguamente se denominaban como «*facies pontienses*» *s.l.* Presenta cambios de facies laterales y verticales con las facies fluviales (IGME, 1982).

III.7. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL. Distancia al D.P.H. (G)

Según la Ley de Aguas de 1985, «*constituyen el dominio público hidráulico entre otros bienes, los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas y los lechos de lagos, lagunas y embalses superficiales, en cauces públicos*». Según dicha Ley, se pueden separar diferentes zonas asociadas a dicho dominio público hidráulico (MMA, 1985):

- **Alvéolo o cauce natural** de una corriente continua o discontinua, es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias.
- **Ribera** es cada una de las franjas laterales situadas dentro del cauce natural, por encima del nivel de aguas bajas.
- **Márgenes** son los terrenos de propiedad privada, que limitan con los cauces, por encima de los mismos.
- **Zonas de policía** son las constituidas por franjas laterales de cien metros de anchura a cada lado, contados a partir de la línea que delimita el cauce, en las que se condiciona el uso del suelo y las actividades que en él se desarrollen.
- **Zona de servidumbre** es la franja situada lindante con el cauce, dentro de la zona de policía, con ancho de cinco metros, que se reserva para usos de vigilancia, pesca y salvamento.

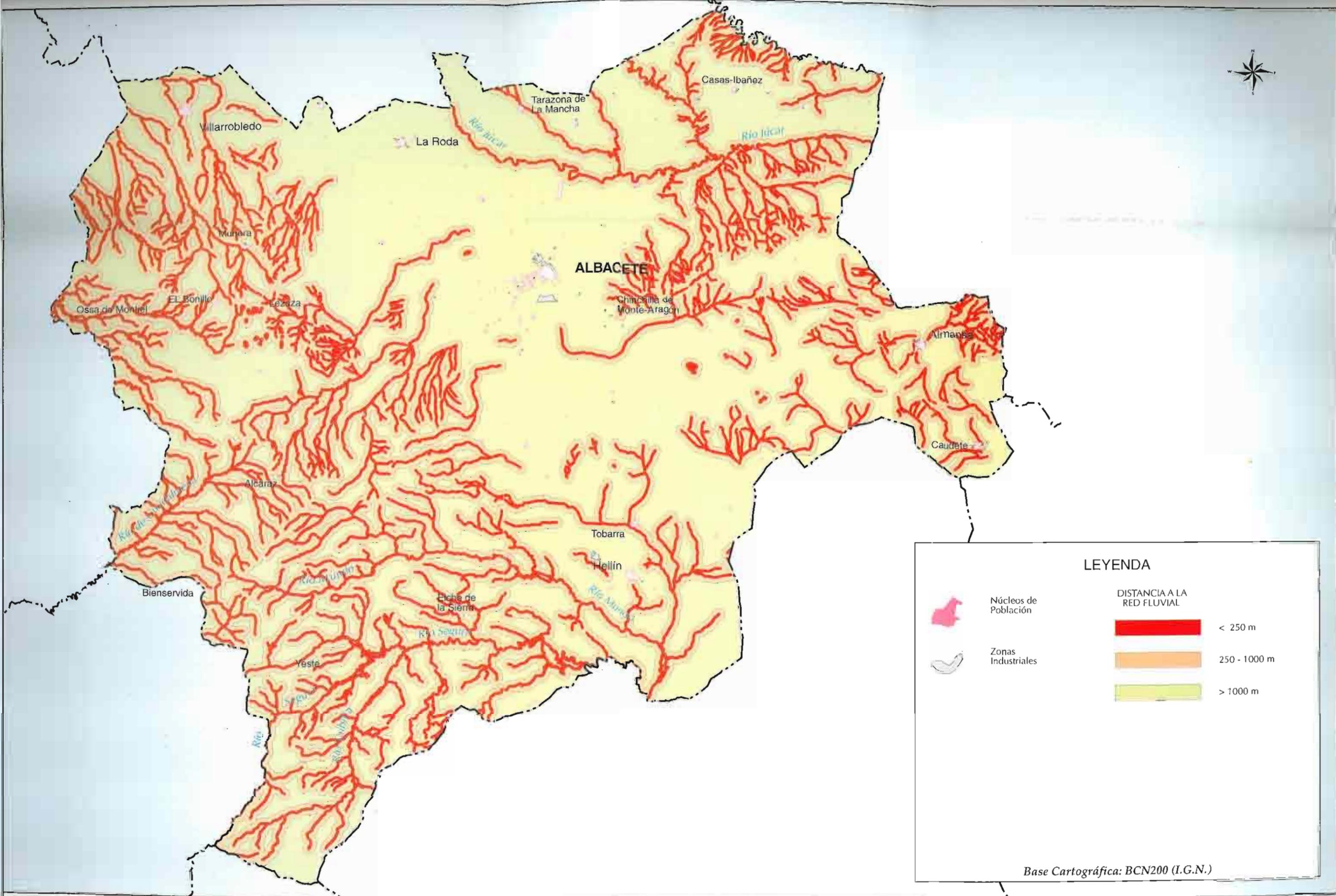
Con estas delimitaciones lo que pretende la Ley es la protección de los caudales y calidades de las aguas que forman parte de los ríos, los arroyos, las aguas pluviales, etc. y que corren por sus cauces naturales, con el fin de conservar el medio ambiente y garantizar un uso racional de las aguas.



Las condiciones climáticas y geológicas de la mayor parte de la provincia de Albacete no propician la existencia de cursos importantes de aguas superficiales. En las zonas llanas manchegas, los cauces existentes no producen caudales continuos de agua, salvo en algunos torrentes como consecuencia de salidas localizadas del drenaje de algunos acuíferos. En otros casos, los pequeños arroyos originados por manantiales, mantienen caudales en los tramos superiores que son aprovechados localmente o se reinfiltran posteriormente en el terreno. Sólo en la parte sur de la provincia debido a la mayor pluviometría (ver ap. III.2.1.2) y a una topografía más elevada los recursos superficiales son más continuos.

Aunque las aportaciones naturales superficiales son, en algunas zonas, elevadas (Júcar, Cabriel, Segura, Mundo...), la irregularidad espacio-temporal hace que su disponibilidad sea difícil y costosa. Por ello, los acuíferos que se encuentran, en mayor o menor potencialidad, a lo largo de toda la provincia, constituyen una importante aportación en las disponibilidades de agua.

Los ríos de la provincia de Albacete se reparten en las cuatro cuencas hidrográficas diferentes: Guadiana, Guadalquivir, Júcar y Segura (mapa 3.7.1 y tabla 3.7).



CUENCA HIDROGRÁFICA	SUPERFICIE (correspondientes a la provincia de Albacete en km²)	Porcentaje (%)
Guadiana (04)	1.923,44	12,90
Guadalquivir (05)	753,36	5,05
Segura (07)	5.063,43	33,95
Júcar (08)	7.175,71	48,10

Tabla 3.7. Superficie en km² de las cuencas hidrográficas dentro de la provincia de Albacete.

III.7.1. Las cuencas atlánticas

La cuenca del Guadiana ocupa casi el 13% de la provincia de Albacete. El Guadiana es un río de bajo caudal (26 m³/s en el pantano del Cíjara) debido a su escasa alimentación en cabecera y a que sus afluentes no aportan caudal suficiente para engrosar el volumen de sus aguas.

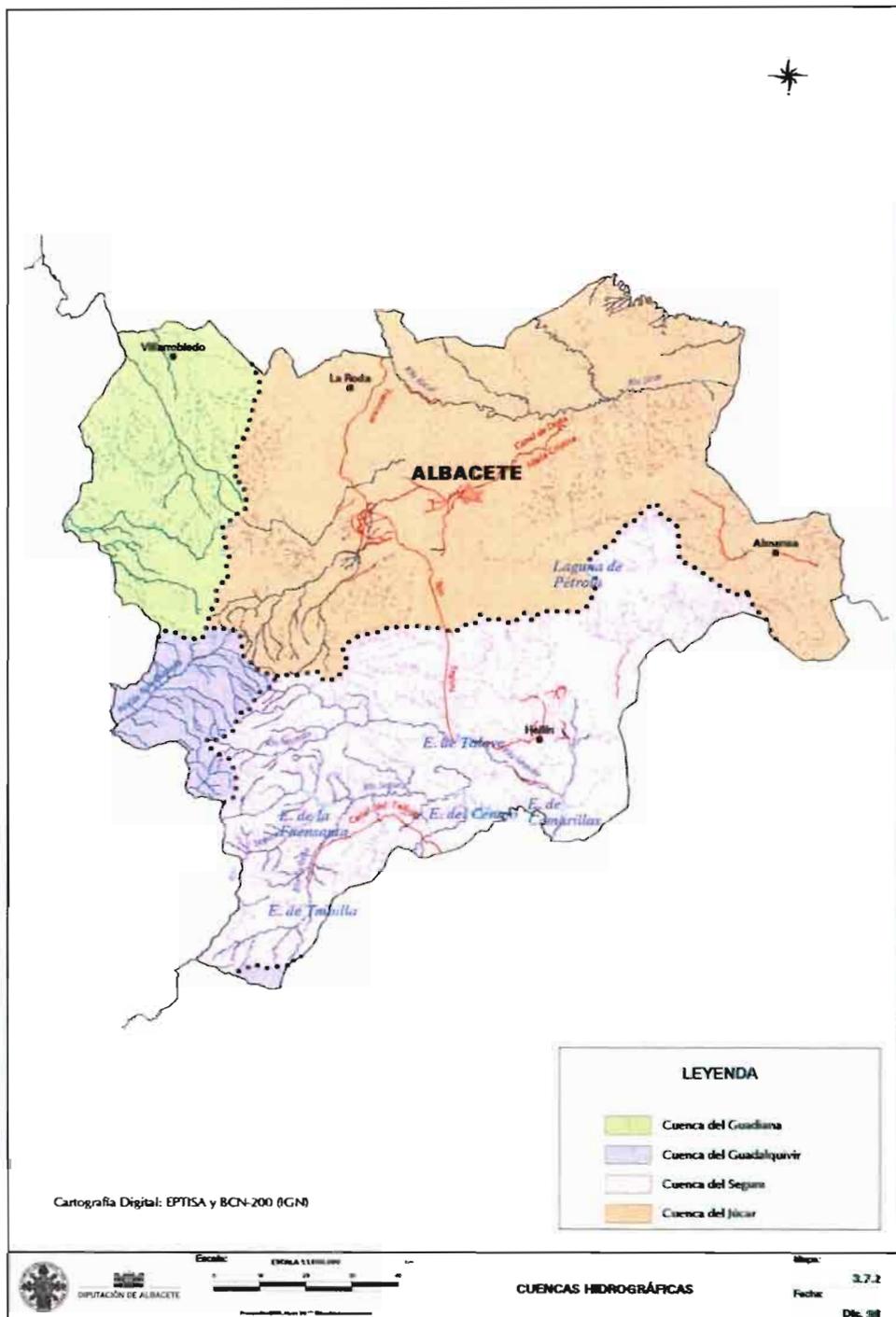
Tradicionalmente se ha considerado que el Guadiana nace en los manantiales de Pinilla, en el *Campo de Montiel*, y después de formar parte de las *Lagunas de Ruidera*, continúa su recorrido por la llanura manchega donde el río se oculta, circula subterráneamente y más adelante en los *Ojos del Guadiana* cerca de Daimiel, vuelve a nacer. En la actualidad se piensa que el alto Guadiana en parte se infiltra en el subsuelo, en parte se evapora y se utiliza en regadíos, y lo poco que queda va a parar al Záncara, mientras que el Guadiana de los Ojos es un conjunto de manantiales procedentes del acuífero que aflora en esta zona, al igual que sucede en las Tablas de Daimiel.

La cuenca del Guadalquivir apenas ocupa el 5% de la provincia. En él nacen los ríos Guadalimar y Guadalmena cuyos cauces desembocan en la margen derecha del río Guadalquivir, ya fuera de la provincia. Estos ríos tienen un bajo caudal y una gran irregularidad anual.

III.7.2. Las cuencas mediterráneas

Las cuencas del Júcar y Segura son las que ocupan una mayor extensión dentro de la provincia de Albacete y, por lo tanto, las más importantes.

La cuenca del Júcar abarca gran parte de la provincia de Albacete (casi el 50%). El río Júcar, que nace en el cerro de San Felipe, tras atravesar la provincia de Cuenca, entra en Albacete en dirección N-S, en la que cambia su dirección a O-E recorriendo el norte de la provincia, donde se



encaja buscando el nivel de base de Mediterráneo, en calizas terciarias en las que forma el cañón de Alcalá del río Júcar (ver ap. III.4.4).

El Júcar es un río de gran caudal (33 m³/s antes de la confluencia con el río Cabriel) debido a la abundante alimentación de cabecera procedente de las precipitaciones de la serranía de Cuenca. Es de régimen pluvio-nival en su tramo alto, que va pasando a pluvio-mediterráneo a medida que se acerca a su desembocadura.

La cuenca del Segura que ocupa unos 5.000 km² se extiende por la zona sur de la provincia, en la que el río discurre con una dirección O-E recogiendo las aguas de las *Sierras de Alcaraz* y *Calar del Mundo* de donde proceden los afluentes de la margen izquierda, el Mundo y el Tus y de las *Sierras de las Cabras* y *de Taibilla* donde nace el afluente de la margen derecha el Taibilla.

III.8. REGADÍOS. Distancia a zonas extractivas (H)*

III.8.1 División Hidráulica del territorio

La división hidráulica del territorio, actualmente aplicada por los Organismos responsables de la gestión hidráulica, se basa en las cuencas hidrográficas (mapa 3.7.1) y, dentro de éstas, en las *Unidades de Gestión Hidráulica*. Sobre ellas el Plan Nacional de Regadíos (PNR, 1997) introduce el concepto de *Área de Riego*, que subdivide completamente las unidades de gestión, como el entorno territorial en el que la tipología general de los riegos contenidos se puede considerar uniforme.

El PNR establece los siguientes tipos de área:

1. Grandes zonas de toma superficial y gestión unificada.
2. Áreas de regadíos de tomas superficiales independientes.
3. Áreas de regadíos de acuíferos en campos de pozos.
4. Áreas de regadío con aguas de origen mixto.
5. Subcuencas o subsistemas con regadíos combinados.

Las áreas de regadíos que el PNR distingue en la provincia de Albacete, están incluidas en 4 cuencas hidrográficas, Guadiana, Guadalquivir, Segura y Júcar (tabla 3.8).

* Redactado por M. V. Valladolid.

CUENCA	DENOMINACIÓN DEL ÁREA	PROVINCIAS
Guadiana	Acuífero 04.04	Albacete, Cuenca y Ciudad Real
Guadiana	Zona regable de Peñarroya	Ciudad Real y Albacete
Guadiana	Acuífero 04.06	Ciudad Real y Albacete
Guadalquivir	Rio Beas-Guadalimar alto	Albacete
Guadalquivir	Cuenca del Guadalmena	Albacete y C. Real
Segura	UHG 07.20 Segura	Albacete
Segura	Resto Hellín	Albacete
Segura	Regadíos aguas arriba de Talave	Albacete
Segura	Vega del río Mundo entre Talave y Camarillas	Albacete
Segura	Zona Regable de Hellín	Albacete
Segura	Sierra del Segura	Albacete
Segura	Regadíos aguas arriba de Taibilla	Albacete
Segura	Regadíos aguas arriba de Cenajo	Albacete
Segura	Regadíos Vega Alta primer tramo	Albacete
Segura	Zona regable de Tobarra	Albacete
Júcar	Acuífero 08.30	Albacete
Júcar	Zona regable de Los Llanos de Albacete	Albacete
Júcar	Acuífero 08.29	Albacete y Cuenca
Júcar	Zona regable de Almansa	Albacete
Júcar	Ayora-El Mugrón	Albacete
Júcar	Alto Vinalopo	Albacete

Tabla 3.8. Áreas de riego, cuencas a las que pertenecen y provincias.

III.8.2. Regadíos Existentes

A continuación se muestra la información sobre la superficie regable y regada en el territorio objeto de estudio (tabla 3.9).

Se define como *superficie regable* toda aquella que, siendo dominada por el sistema, se encuentra equipada para el riego y podría regar en próximas campañas, independientemente de la existencia de posibles causas de abandonos reversibles.

Se define como *superficie regada* la superficie media de riego en años hidrológicamente normales y la abandonada como aquella que, por causas técnicas, estructuras o coyunturales resolubles, no se ha regado en las últimas campañas.

Además de la tabla anterior (3.9), se añade otra (tabla 3.10) que trata de reflejar la desagregación de la superficie regable según el nivel de gestión del agua, incluyendo los siguientes conceptos.

- Denominación del área.
- Superficie regable (en hectáreas) en la que el agua es gestionada por comunidades de regantes, agrupaciones ó sociedades de riego de primer orden.

- Superficie regable del área (en Has.) administrada por gestores individuales, sin el uso común del agua ni de las infraestructuras de toma y regulación con otros propietarios.
- Superficie total regable en el área, coincidente con la expuesta anteriormente.

DENOMINACIÓN DEL ÁREA	REGABLE	REGADA	ABANDONADA
Acuífero 04.04. (Albacete, Cuenca y C. Real).	142475	121724	20751
Zona regable de Peñarroya. (C. Real y Albacete)	6986	4500	2486
Acuífero 04.06.(C. Real y Albacete)	6467	5544	923
Río Beas-Guadalimar Alto. (Albacete)	458	458	0
Cuenca del Guadalmena. (Albacete y C. Real)	2803	2751	52
UHG 07.20 Segura. (Albacete)	6257	5560	697
Resto Hellín. (Albacete)	518	518	0
Regadíos aguas arriba de Talave. (Albacete)	611	611	0
Vega del río Mundo entre Talave y Camarillas. (Albacete)	634	634	0
Zona Regable de Hellín. (Albacete)	4355	4355	0
Sierra del Segura. (Albacete)	235	235	0
Regadíos aguas arriba de Taibilla. (Albacete)	140	140	0
Regadíos aguas arriba de Cenajo. (Albacete)	1380	1130	250
Regadíos Vega Alta primer tramo. (Albacete)	20	20	0
Zona regable de Tobarra. (Albacete)	1980	1980	0
Acuífero 08.30. (Albacete)	3880	3697	183
Zona regable de Los Llanos de Albacete. (Albacete)	6036	5423	613
Acuífero 08.29. (Albacete y Cuenca)	79374	72896	6478
Zona regable de Almansa. (Albacete)	410	410	0
Ayora-El Mugrón. (Albacete)	1806	1419	387
Alto Vinalopo. (Albacete)	1250	1027	223

Tabla 3.9. Áreas de riego con la superficie regable, la regada y la que, en la actualidad, es objeto de abandono, todas ellas en ha.

DENOMINACIÓN DEL ÁREA	REGABLE EN COLECTIVOS ORGANIZADOS	REGABLE EN COLECTIVOS NO ORGANIZADOS	REGABLE DE GESTIÓN INDIVIDUAL	TOTAL SUPERFICIE REGABLE
Acuífero 04.04	117837	0	24642	142475
Zona regable de Peñarroya	0	6986	0	6986
Acuífero 04.06	0	3640	2827	6467
Río Beas-Guadalimar alto	0	458	0	458
Cuenca del Guadalmena	0	2510	293	2803
UHG 07.20 Segura	0	1705	4552	6257
Resto Hellín	0	0	518	518
Regadíos aguas arriba de Talave	0	0	611	611
Vega del río Mundo entre Talave y Camarillas	0	514	120	634
Zona Regable de Hellín	0	4005	350	4355
Sierra del Segura	0	235	0	235
Regadíos aguas arriba de Taibilla	0	140	0	140
Regadíos aguas arriba de Cenajo	0	1308	72	1380
Regadíos Vega Alta primer tramo	0	0	20	20
Zona regable de Tobarra	0	1980	0	1980
Acuífero 08.30	0	1723	2157	3880
Zona regable de Los Llanos de Albacete	0	6036	0	6036
Acuífero 08.29	54883	0	24491	79374
Zona regable de Almansa	0	410	0	410
Ayora-El Mugrón	0	1379	427	1806
Alto Vinalopo	0	300	950	1250

Tabla. 3.10. Áreas de riego (en ha) con la superficie regable por colectivos.

Conviene resaltar que en Castilla-La Mancha, el 64% del origen del agua para riego es subterránea y que gran parte de estos regadíos están organizados en Comunidades de Regantes, pero realmente no tienen ninguna infraestructura en común y, por tanto, podrían considerarse regadíos privados.

III.8.3. Tipificación de los regadíos existentes

La tipificación se basa en la diferenciación según tres características básicas: el origen del agua, el tipo de aplicación del riego y la clasificación agroclimática de Papadakis, asociada con el tipo de invierno definido por el mismo autor.

A pesar de la aparente simplicidad de esta tipificación, es necesario este grado mínimo de diversificación para la vinculación de efectos y comportamientos, que pueden derivar en resultados significativamente diferenciados a un mismo grado de planificación.

En ocasiones se produce la mezcla de aguas con más de un origen, especialmente en casos como el apoyo temporal a riegos superficiales deficientes con aguas subterráneas o en aquellos casos de aguas procedentes de retornos, depuración o desalinización, que casi siempre apoyan a aguas superficiales o subterráneas escasas (mapa 3.7.2).

Se dan casos en los que, dentro de una misma zona regable, se dan diferentes métodos de aplicación del agua en parcela. Con un criterio similar al aplicado para la tipificación del origen del agua, dada la necesidad de encuadrar y tipificar los regadíos, se ha optado por atribuir cada unidad al método de riego que resulta mayoritario respecto a la superficie media regada, aplicando un concepto similar para el conjunto del área.

DENOMINACIÓN DEL ÁREA	SUPERFICIE REGABLE	ORIGEN DEL AGUA	TIPO DE APLICACIÓN	TIPO CLIMÁTICO GLOBAL	TIPO DE INVIERNO
Acuífero 04.04	142475	Subterr.	Aspersión	Mediterráneo Subtropical	Avena Cálido
Zona regable de Peñarroya	6986	Superf.	Gravedad	Mediterráneo Continental	Avena Fresco
Acuífero 04.06	6467	Subterr.	Aspersión	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
Río Beas-Guadalimar alto	458	Superf.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
Cuenca del Guadalmena	2803	Superf.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
UHG 07.20 Segura	6257	Subterr.	Aspersión	Mediterráneo Templado	Avena Cálido
Resto Hellín	518	Superf.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Cálido
Regadíos aguas arriba de Talave	611	Superf.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
Vega del río Mundo entre Talave y Camarillas	634	Superf.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Cálido
Zona regable de Hellín	4355	Superf.	Gravedad	Mediterráneo Semiárido Continental	Avena Cálido
Sierra del Segura	235	Superf.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
DENOMINACIÓN DEL ÁREA	SUPERFICIE REGABLE	ORIGEN DEL AGUA	TIPO DE APLICACIÓN	TIPO CLIMÁTICO GLOBAL	TIPO DE INVIERNO
Regadíos aguas arriba de Taibilla	140	Superf.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Cálido
Regadíos aguas arriba de Cenajo	1380	Subterr.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
Regadíos Vega Alta primer tramo	20	Superf.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Cálido
Zona regable de Tobarra	1980	Subterr.	Gravedad	Mediterráneo Semiárido Continental	Avena Cálido
Acuífero 08.30	3880	Subterr.	Aspersión	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
Zona regable de los Llanos de Albacete	6036	Subterr.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
Acuífero 08.29	79374	Subterr.	Aspersión	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
Zona regable de Almansa	410	Subterr.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
Ayora-El Mugerón	1806	Subterr.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Fresco
Alto Vinalopo	1250	Subterr.	Gravedad	Mediterráneo Templado	Avena Cálido

Tabla 3.11. Tipificación de los regadíos.

III.8.4. Superficies con problemas de suelo y drenaje

Dentro de esta área de estudio se ha definido el porcentaje de superficie regable que presenta singularidades edafológicas o morfológicas y que pueden constituir un condicionante para el desarrollo de cultivos o la aplicación de las prácticas de riego. Estas singularidades pueden ser debidas a problemas de salinidad y de drenaje.

El resultado de este análisis ha sido que solamente la unidad hidrogeológica 08.30 (perteneciente a la cuenca del Júcar) presenta problemas de drenaje, un 2,30% de superficie con respecto a la superficie total rega-

ble. Esto supone aproximadamente unas 90 has de superficie regable (mapa 3.8.2).

Respecto a problemas de salinización no se destacan en la zona.

III.8.5. Calidad del agua de riego

La identificación de la calidad de las aguas aplicadas para el riego se ha dividido según que sea su origen superficial ó subterráneo.

En el caso del origen superficial se han aplicado los datos procedentes de la red SAICA y COCA del Ministerio de Medio Ambiente, a través del SAR y la conductividad aportada y aplicando los criterios de *Riverside*, donde las clasificaciones C1S1 y C2S2 como aceptables y el resto malas.

En el caso de las aguas subterráneas se han utilizado las informaciones de redes analíticas cuando ha sido posible y los datos aportados en campo, procedentes del PNR, con criterios similares de división en buena, aceptable y mala.

En ambos casos, para llegar a definir si la calidad global de las aguas empleadas para riego en el área es buena, aceptable ó mala, se ha tomado la acepción atribuida a la mayor proporción de superficie regable dentro de esta. Dado que se persigue la calidad global del agua de riego en el área, no se han diferenciado los regadíos colectivos de los individuales, ponderando el conjunto de todos ellos.

DENOMINACIÓN DEL ÁREA	CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL	CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA
Acuífero 04.04	Aceptable	Aceptable
Zona regable de Peñarroya	Buena	
Acuífero 04.06	Aceptable	Buena
Río Beas-Guadalimar alto	Buena	
Cuenca del Guadalmena		
UHG 07.20 Segura	Aceptable	Buena
Resto Hellín	Aceptable	
Regadíos aguas arriba de Talave	Aceptable	
Vega del río Mundo entre Talave y Camarillas	Aceptable	
Zona regable de Hellín	Aceptable	Buena
Sierra del Segura	Buena	
Regadíos aguas arriba de Taibilla	Aceptable	
Regadíos aguas arriba de Cenajo	Aceptable	Buena
Regadíos Vega Alta primer tramo	Aceptable	
Zona regable de Tobarra	Buena	
Acuífero 08.30	Buena	Buena
Zona regable de los Llanos de Albacete		Buena
Acuífero 08.29	Buena	Buena
Zona regable de Almansa		Buena
Ayora-El Mugrón	Buena	Buena
Alto Vinalopo		Buena

Tabla 3.12. Calidad del agua de riego.

Del análisis de la tabla 3.12 y con los datos disponibles no se deduce la existencia de ningún problema relacionado con la calidad de aguas para el conjunto de la superficie estudiada.

III.8.6. Orientación técnico-económica de las explotaciones

Como último datos para permitir una aproximación a la caracterización de áreas, se incluye la tipología mayoritaria, proporcional a las superficies cultivadas en regadío, que se da en cuanto a la orientación agrícola existentes en las explotaciones bajo riego.

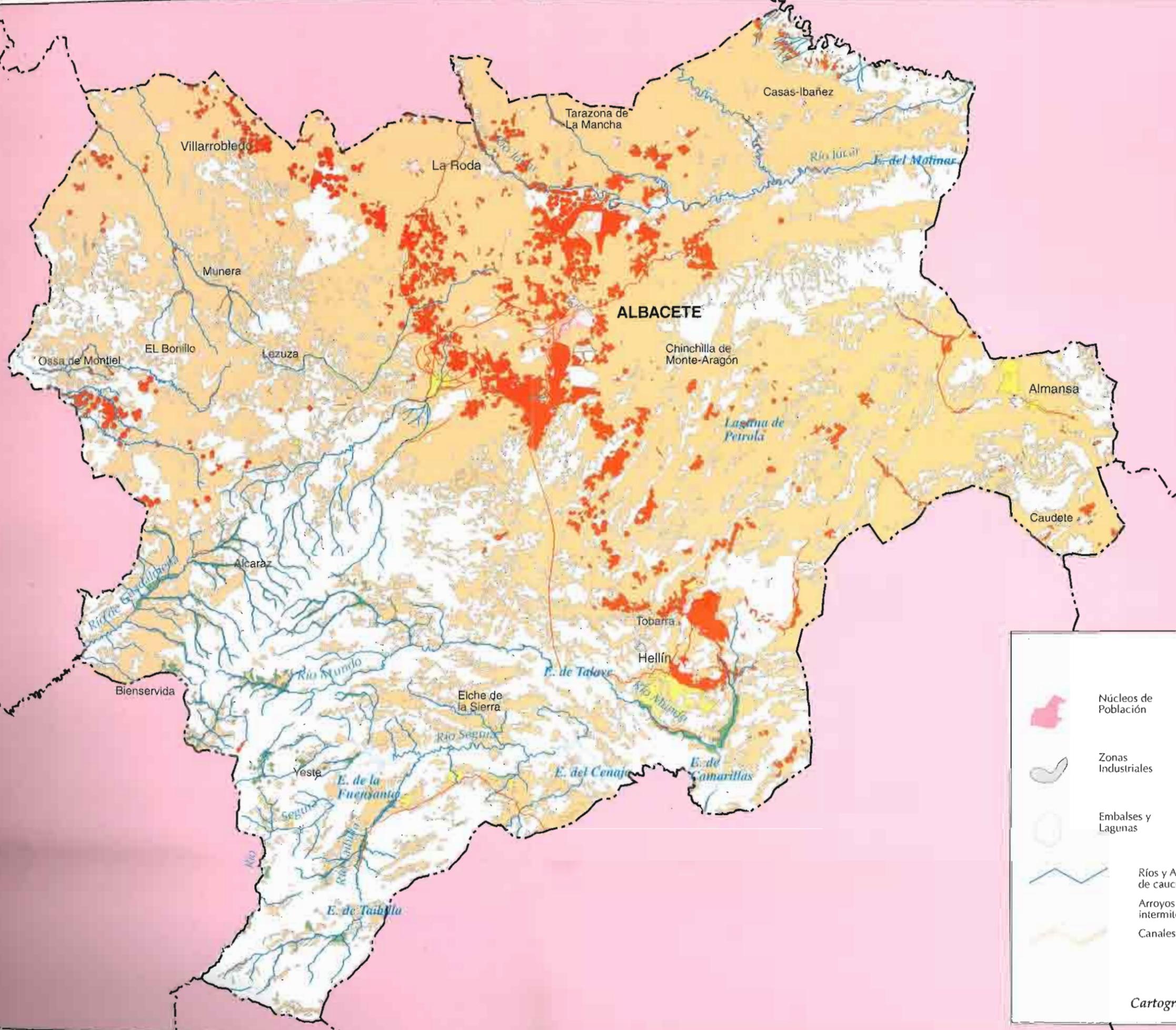
La tabla (3.13) tiene una estructura similar a los anteriores, e incluye la denominación del área y la orientación técnico-económica de cada una.

De la interpretación de esta tabla (3.13) se deduce que existe un predominio de los cereales en las áreas de riego, pero al analizar más detalladamente la superficie de cada área se deduce que efectivamente los cereales ocupan algo más de un tercio de la superficie regada, pero los cultivos generales ocupan casi otro tercio, y la horticultura y los viñedos se presentan en gran parte del resto de la superficie.

DENOMINACIÓN DEL ÁREA	TIPO DE ORIENTACIÓN - TÉCNICO ECONÓMICA	
	COLECTIVOS	INDIVIDUALES
Acuífero 04.04	Viticultura	Cereales
Zona regable de Peñarroya	Cereales	
Acuífero 04.06	Cereales	Cereales
Río Beas-Guadalimar alto	Olivicultura	
Cuenca del Guadalmena	Cultivos Generales	Horticultura
UHG 07.20 Segura	Cereales	Cereales
Resto Hellín		
Regadíos aguas arriba de Talave		Cereales
Vega del río Mundo entre Talave y Camarillas	Cereales	Cereales
Zona regable de Hellín	Frutales y Cítricos	Cereales
Sierra del Segura	Olivicultura	
Regadíos aguas arriba de Taibilla	Olivicultura	
Regadíos aguas arriba de Cenajo	Olivicultura	Cereales
Regadíos Vega Alta primer tramo		Cereales
Zona regable de Tobarra	Cultivos Generales	
Acuífero 08.30	Cereales	Cereales
Zona regable de los Llanos de Albacete	Cereales	
Acuífero 08.29	Cereales	Cereales
Zona regable de Almansa	Cereales	
Ayora-El Mugrón	Cereales	Cereales
Alto Vinalopo	Cereales	Cereales

Tabla 3.13. Orientación técnico-económica de los regadíos.

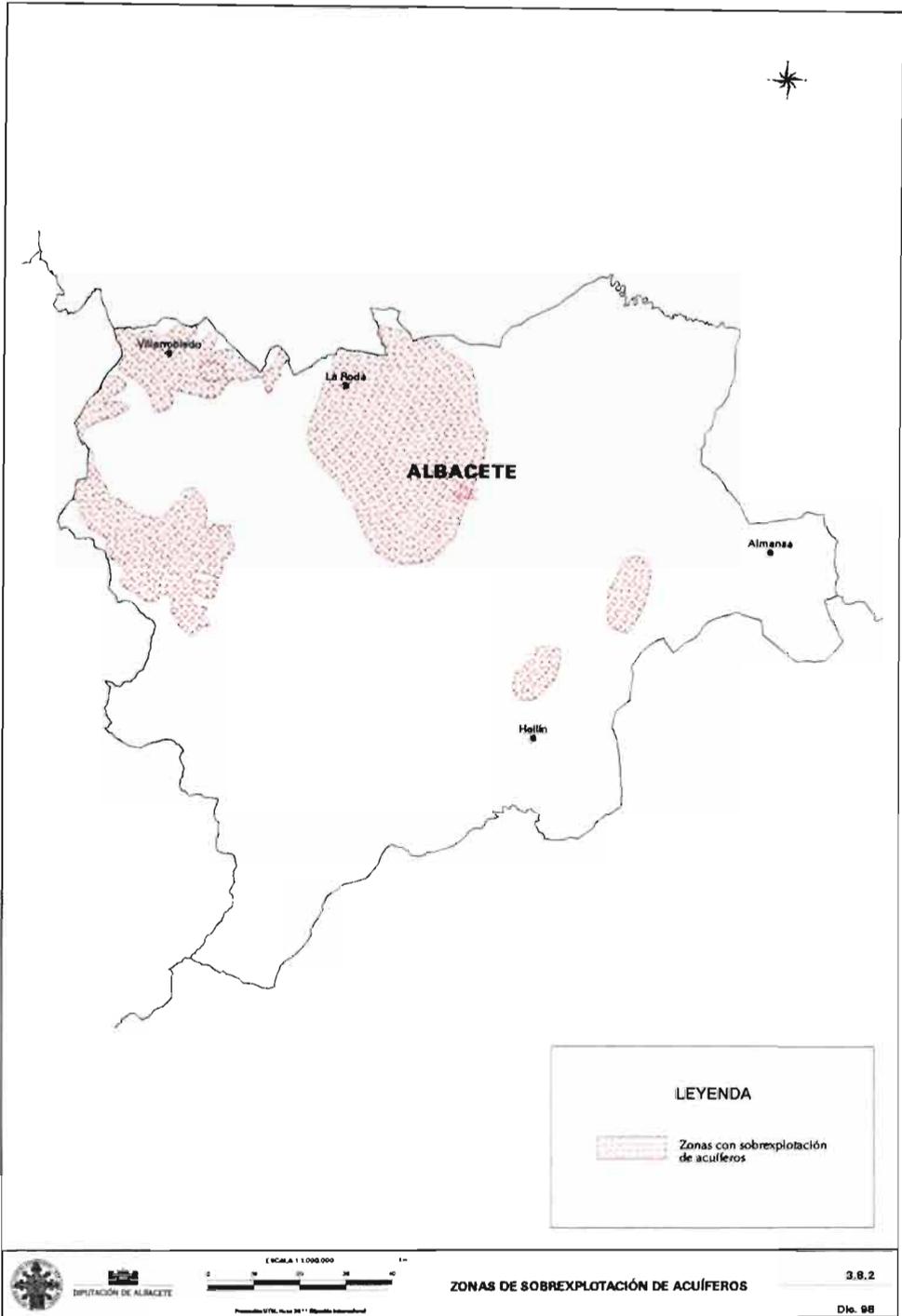
Dentro de la superficie ocupada por los cereales, la cebada se presenta en más de un 55%, el maíz entre el 25 y el 30%, y el trigo en el entorno del 13%. De los cultivos incluidos en la tipología de cultivos generales, el girasol ocupa la mayor parte de la superficie. Más del 60% de la superficie ocupada por hortalizas corresponden a melón, ajo y cebolla, citado por orden decreciente de ocupación. Casi toda la superficie regada de viñedo de la Albacete se encuentra concentrada en la unidad hidrogeológica 04.04.



LEYENDA

	Núcleos de Población		Cultivos en secano
	Zonas Industriales	CULTIVOS EN REGADÍO	
	Embalses y Lagunas		Riegos con aguas superficiales
	Ríos y Arroyos de cauce continuo		Riegos con aguas subterráneas
	Arroyos con cauce intermitente		Riegos con aguas subterráneas y superficiales
	Canales		

Cartografía Digital: CORINE (I.G.N.)



DIPUTACIÓN DE ALBACETE



ESCALA 1:1.000.000

ZONAS DE SOBREEXPLORACIÓN DE ACUÍFEROS

3.8.2

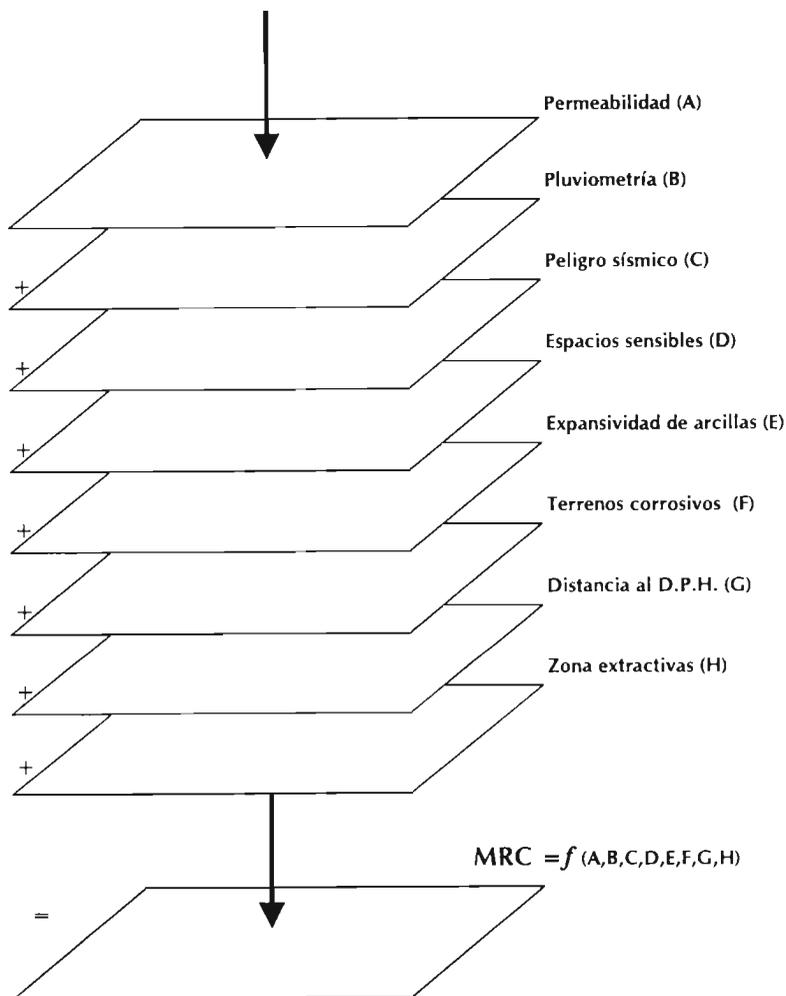
Dic. 98

IV. ELABORACIÓN DEL MAPA DE RIESGO MEDIOAMBIENTAL

Una vez realizada la descripción de las variables utilizadas en el estudio, éstas han sido introducidas en el GIS a través de distintos métodos de captura (ver apartado II.3.1), codificadas, analizadas y almacenadas en bases de datos y representadas en un conjunto de mapas expuestos en el capítulo anterior.

La calidad de un punto del territorio se puede obtener mediante la yuxtaposición de la calidad de todos los recursos que coinciden en él, agrupándose la información temática que se tiene de ese punto en un sólo mapa mediante la simple técnica de superponer la cartografía de los distintos factores. (MOPT, 1992).

Mapa resultante = f (dos o más mapas de entrada)



El resultado de la combinación de todos los parámetros medioambientales inventariados es un esquema en el que se muestra la distribución geográfica de usos preferenciales para actividades potencialmente contaminantes del suelo. En él se señala el carácter principal, secundario o excluyente para dichas actividades (mapa 4.1).

Para obtener el Mapa de Riesgo Medioambiental Combinado (MRC) ha sido necesario: 1) el establecimiento de unidades cartografiadas descritas en el capítulo anterior; 2) división de cada una de estas unidades en tres rangos, en función del riesgo medioambiental que representan; 3) asignación de un valor, entre 0 y 2, a cada uno de estos rangos, entendiéndose 0 como el riesgo mínimo y 2 como el máximo; 4) ponderación de cada unidad en relación con su importancia, pudiendo adoptar los valores 1, 2 ó 3; y 5) superposición de los índices obtenidos en los pasos anteriores.

Como ya se comentó en el capítulo 1.2 de Metodología, este estudio está basado en proyectos similares llevado a cabo por EPTISA (1996, 1977) para toda España. Hemos mantenido para la mayoría de los factores la misma valoración y ponderación, de forma que esta metodología se pueda aplicar a otras provincias. Por ello, algunos de estos factores no abarcan todo el rango de valores que hemos señalado. Por ejemplo en el peligro sísmico sólo toma valores 0 ó 1, quedando la valoración 2 reservada para aquellas zonas de España donde la peligrosidad es más alta (MSK = VIII, IX, X). De igual manera ocurre con la pluviometría anual.

IV.1. INVENTARIO

Las decisiones clave en la realización de un inventario se refieren a la elección de elementos y a la definición del nivel adecuado de prospección. La realización del inventario debe tener en cuenta que la última etapa de la fase de inventario es la cartografía de cada uno de los elementos del medio considerados, es decir, la creación de un soporte gráfico de información adecuado a los niveles de detalle seguidos en el análisis. El producto final del inventario es una información tabulada, cartografía temática o cualquier otra forma que permita utilizar los datos y tratarlos de la forma más adecuada, para llegar al objetivo final de clasificación del medio físico. En general, la inventariación del medio debe conducir a una expresión gráfica de los datos que permitan una visualización instantánea global, así como una percepción más profunda que facilite el análisis de los datos y su comparación, así como la verificación de los criterios de base y

la generalización de los resultados. Esta transcripción gráfica asegura la posibilidad de obtención de consecuencias, tales como similitudes o diferencias; sin embargo es conveniente asegurar la máxima eficacia visual de la representación, así como una organización eficiente, incluso en gráficos distintos, para facilitar las deducciones (MOPT, 1992).

IV.2. CARTOGRAFÍA

La cartografía es una importante rama del amplio conjunto de los gráficos que manipula, analiza y representa, de manera extraordinariamente eficiente ideas, formas y relaciones que se producen tanto en el plano como en el espacio. En sentido amplio, la cartografía incluye cualquier actividad basada en la generación y uso de mapas. Abarca múltiples técnicas aplicadas a la reducción y simplificación de las características espaciales de áreas amplias con el objeto de hacerlas observables, dotándolas de la forma y características propias de un mapa.

La cartografía está orientada a los efectos de gestión, regulación y ordenación del territorio. En particular, tiene por finalidad orientar en los procesos de toma de decisiones que afectan a los usos del suelo, tanto públicos como privados.

Como sucede con toda cartografía en general, la escala es función muy determinada por la cantidad de los datos utilizados o la fiabilidad de los recintos resultantes.

IV.3. VALORACIÓN Y PONDERACIÓN DE LOS FACTORES

El Mapa de Riesgo Medioambiental Combinado se ha obtenido mediante la valoración y ponderación de los ocho factores siguientes, cuyo resumen se refleja en el cuadro IV.1:

IV.3.1. Permeabilidad (A)

La fuente de información principal utilizada para la valoración de este factor ha sido el «*Inventario de recursos de agua subterránea en España*» (DGOH-CEE, 1993). En el se encuentran cartografiados los afloramientos permeables diferenciándose, por su litología, acuíferos detríticos, carbonatados y volcánicos, quedando el resto como zonas impermeables o como acuíferos de interés local. Dentro de la provincia de Albacete

sólo se distinguen los dos primeros tipos de acuíferos, puesto que los depósitos de naturaleza volcánica (zona de Hellín) tienen muy poca entidad para tener tal consideración.

Como datos auxiliares se ha utilizado la cartografía de la delimitación de las Unidades Hidrogeológicas definida en los Planes Hidrológicos de Cuenca (MMA, 1995d; MOPU, 1988) y la profundidad del agua subterránea (piezometría) (ITGE, 1985).

Para la valoración de este factor, se han establecido los siguiente rangos cualitativos:

- permeabilidad alta: acuíferos carbonatados (por fisuración) (valor = 2)
- permeabilidad media: acuíferos detríticos (por porosidad) (valor = 1)
- permeabilidad baja: impermeable o acuíferos de interés local (valor = 0)

Se ha considerado este factor como preponderante en el establecimiento de un índice para valorar el efecto de una hipotética fuga (ponderación = 3).

IV.3.2. Pluviometría (B)

Debido a que no existen datos generalizados sobre la distribución espacial de la infiltración del agua de lluvia, que sería el parámetro ideal para valorar la capacidad de movilización de un contaminante en el subsuelo, se considerará la distribución de la pluviometría anual sobre España como el factor a valorar.

La información utilizada ha sido el mapa de pluviometría media anual para España elaborado por el Instituto Meteorológico Nacional (IGN, 1993) que se incluye en el «*Atlas Nacional de España*» (IGN, 1993) y también el «*Inventario de recursos de agua subterránea en España*» E. 1:1.000.000 (DGOH-CEE, 1993).

Para la valoración de este factor, se han establecido los siguiente rangos de precipitación:

- precipitación anual superior a 1400 l/m² (valor = 2)
- precipitación comprendida entre 1400 y 600 l/m² (valor = 1)
- precipitación inferior a 600 l/m² (valor = 0)

Como ya se dijo anteriormente, no hay valores de pluviometría media anual por encima de los 1400 l/m² en la provincia de Albacete, aunque sí se da en otras provincias españolas, como en el norte, en la parte

occidental del Sistema Central e incluso en el sur de Andalucía (Sierra de Grazalema, Cádiz).

IV.3.3. Peligrosidad Sísmica (C)

Se ha considerado este factor por la relación existente entre la probabilidad de que se produzcan movimientos sísmicos y el previsible deterioro o rotura de los depósitos o conducciones de las hipotéticas instalaciones. Estos eventos suelen ser raros en España y cuando se producen no suelen tener un fuerte poder destructivo. Debido a la escasa probabilidad de daños, hemos asignado a esta variable una ponderación baja (1).

La zonificación de España, atendiendo al peligro sísmico, se ha obtenido del Mapa de Peligrosidad Sísmica elaborado por el Servicio Nacional de Sismología y publicado en el «*Atlas Nacional de España*», editado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 1992).

En este mapa se representa la distribución, a escala nacional, de la máxima intensidad sísmica esperable (en escala MSK) para un período de retorno de 1.000 años. Los valores de la escala MSK representados están comprendidos entre el IV y el X para toda España y entre IV y VIII para Albacete.

Los tres rangos que se han distinguido para la valoración de este factor han sido los siguientes:

- peligro alto: VIII, IX y X de la escala M.S.K. (valor=2)
- peligro medio: VI y VII de la escala M.S.K. (valor=1)
- peligro bajo: IV y V de la escala M.S.K. (valor=0)

IV.3.4. Situación respecto a zonas sensibles (D)

La consideración de este factor atiende a la situación de las instalaciones con respecto a una serie de zonas en las que el impacto medioambiental de un vertido contaminante puede ser especialmente grave.

Debido a la indudable importancia de este factor se le ha otorgado la ponderación más alta (3).

Se considerarán como zonas sensibles (valoración = 2) las siguientes:

- áreas ecológicas protegidas o de interés,
- zonas urbanas,
- zonas industriales.

Se ha dado valoración igual a 1 a aquellas áreas del territorio próximas (distancia < 1 km) a dichas zonas. La parte del territorio situada a más de esa distancia tendrá valoración igual a 0.

La información utilizada para la valoración de este factor procederá de diversas fuentes:

- ◊ Para la delimitación de interés ecológico, del «*Atlas de espacios naturales y de interés para el trazado de las carreteras del Estado*», de la Dirección General de Carreteras (MOPTMA, 1993).
- ◊ Para la delimitación de las zonas urbanas e industriales, de los resultados del Proyecto CORINE-Land Cover para España del CNIG (IGN), también incluidos en el «*Inventario de recursos de agua subterránea en España*». E. 1:1.000.000 (MOPTMA-CEE, 1993).

IV.3.5. Riesgo por presencia de arcillas expansivas (E)

Los procesos de aumento y pérdida de volumen de algunos tipos de arcillas provocados por las variaciones en el grado de humedad del suelo tienen una cierta importancia (ponderación = 1) sobre la posibilidad de que se produzcan roturas en depósitos o conducciones debido a las tensiones adicionales que soportarán por esta causa.

La información cartográfica a utilizar para la valoración de este factor será el «*Mapa predictor de riesgos de arcillas expansivas en España a escala 1:1.000.000*» (Ayala *et al.*, 1986), elaborado conjuntamente por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

En este mapa se distinguen una serie de zonas arcillosas, asignándoseles su correspondiente riesgo de expansividad:

- arcillas no expansivas o dispersas en matriz no arcillosa (riesgo nulo o bajo),
- arcillas expansivas subordinadas o emplazadas en zonas climáticas sin déficit anual de humedad (riesgo bajo a moderado),
- arcillas expansivas localmente predominantes y emplazadas en zonas climáticas con déficit anual de humedad (riesgo moderado a alto),
- arcillas expansivas predominantes o zonas donde se han presentado problemas de expansividad (riesgo alto o muy alto).

Desde el punto de vista de atender a la información realmente necesaria para efectuar la valoración de este factor en cada instalación contaminante, se han agrupado los rangos anteriores en dos, aplicando el valor 1 para los dos primeros (riesgo nulo a moderado) y el valor 2 a los dos siguientes (riesgo de moderado a muy alto), quedando el valor 0 para zonas donde no hay arcillas.

IV.3.6 Situación respecto a terrenos corrosivos (F)

Este factor hace referencia a la posibilidad de que el agua subterránea esté en contacto con terrenos yesíferos o salinos que la conviertan en corrosiva frente a las instalaciones que estén en contacto con el mismo, y, de esta forma, contribuir a aumentar la posibilidad de que se produzcan fugas de algún agente contaminante.

A este factor se le ha asignado una ponderación baja (1) para el cálculo del índice.

La información cartográfica utilizada para valorar este factor ha sido digitalizada a partir de las cuatro hojas geológicas 1:200.000 del mapa MAGNA (ITGE 1982, 1987a, 1987b y 1987c).

Para la valoración de este factor en cada posible instalación se han utilizado los siguientes rangos:

- instalaciones situadas sobre terrenos yesíferos
(valor = 2)
- instalaciones situadas a menos de 1 km de dichos terrenos
(valor = 1)
- instalaciones situadas a más de 1 km de terrenos con yesos
(valor = 0)

IV.3.7 Situación respecto al D.P.H. (G)

Este factor evalúa las posibilidades de que la fuga de un contaminante alcance una corriente de agua superficial, un lago o un embalse, en función de la distancia de la fuente de contaminación a los mismos.

Se ha considerado que este factor tiene una importancia media en la valoración del riesgo (ponderación = 2).

La información cartográfica sobre la situación de las corrientes de agua se ha obtenido de la red hidrográfica que comercializa el CNIG (IGN) como BCN-200 y que también se recoge en el *«Inventario de recursos de agua subterránea en España»*.

- instalaciones situadas a menos de 250 m del D.P.H. (valor = 2)
- instalaciones situadas entre 250 y 1000 m del D.P.H. (valor = 1)
- instalaciones situadas a más de 1000 m del D.P.H. (valor = 0)

IV.3.8. Situación respecto a zonas extractivas (H)

Con la consideración de este factor se pretende valorar la posibilidad de que una contaminación provocada por una instalación pueda afectar negativamente a algún aprovechamiento de aguas subterráneas.

Dado que el inventario de aprovechamientos subterráneos no es exhaustivo, ni siquiera homogéneo por la diversidad de cuencas hidrográficas a las que pertenece el territorio de Albacete, se ha considerado sólo aquellas zonas que son regadas total o parcialmente con aguas subterráneas. Según esto, por la forma en que se ha valorado este factor, que es parcialmente indirecta e incompleto, se le ha aplicado una ponderación baja (1).

La información utilizada procede también del CORINE-Land Cover del CNIG y que también aparece en el «*Inventario de recursos de agua subterránea en España*».

- instalaciones situadas dentro de zonas regadas con aguas subterráneas (valor = 2)
- instalaciones situadas a menos de 1000 m (valor = 1)
- instalaciones situadas a más de 1000 m (valor = 0)

FACTORES		VALORACIÓN DE LOS FACTORES			
		ponderación	rangos	valor	valor máximo
A	Permeabilidad del terreno	3	alta	2	6
			media	1	
			baja	0	
B	Pluviometría	2	> 1400	2	4
			600-1400	1	
			< 600	0	
C	Peligrosidad sísmica	1	alto	2	2
			medio	1	
			bajo	0	
D	Situación respecto a zonas sensibles	3	dentro	2	6
			< 1000 m	1	
			fuera	0	
E	Riesgo por expansividad de arcillas	1	alto	2	2
			bajo	1	
			nulo	0	
F	Situación respecto a terrenos corrosivos	1	dentro	2	2
			< 1000 m	1	
			fuera	0	
G	Distancia al D.P.H.	2	< 250 m	2	4
			250-1000	1	
			> 1000 m	0	
H	zonas de extracción de aguas subterráneas	1	dentro	2	2
			< 1000 m	1	
			fuera	0	

Cuadro 4.1. Valoración y ponderación de los factores empleados en la realización del MRC (EPTISA, 1997).

IV.4. Obtención del Índice de Riesgo

El índice de riesgo combinado se obtiene mediante la suma ponderada de los valores de cada factor según la siguiente expresión:

$$MRC = \sum_{i=A}^H V_i * P_i$$

De la aplicación de esta fórmula a la valoración de los factores reflejada en el cuadro 4.1, se puede calcular que el valor máximo posible para cada celda resultante del análisis puede ser **28** y el mínimo **0**. Como ya se comentó en párrafos anteriores, esta metodología está pensada para aplicarla a todo el territorio español y que existían variables que no alcanzaban su valor máximo en la provincia de Albacete, como son, la pluviometría y la peligrosidad sísmica. Por ello el valor máximo posible alcanzable para la provincia es de **25**.

Este valor máximo posible no se ha alcanzado en ningún punto del territorio estudiado, siendo **23** el valor máximo obtenido. La media resultante de los 1.491.535 valores calculados ha sido 7,8. Del análisis del gráfico de frecuencias acumuladas se obtiene que el 90% de dichas celdas tienen un valor menor de 15.

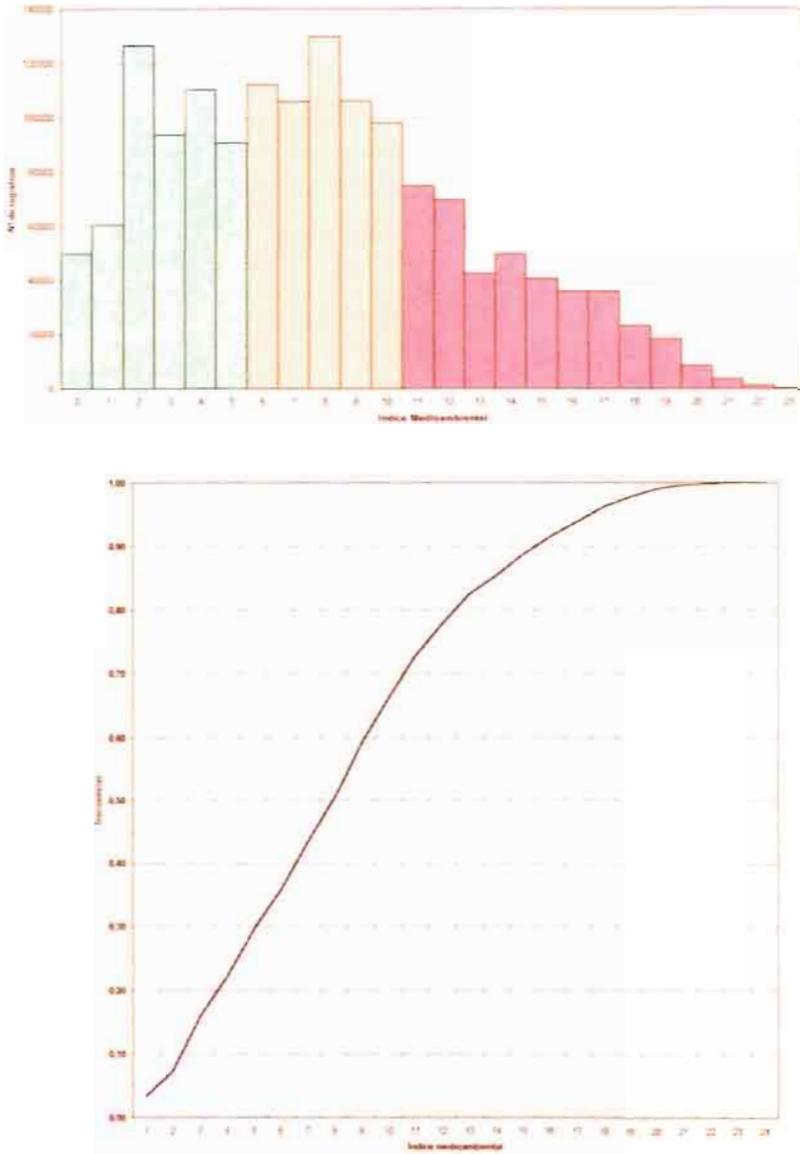


Fig. 4.2. (A) Histograma de los índices obtenidos para el MRC. (B) Gráfico de frecuencias acumuladas para dichos índices.

El mapa de zonas de riesgo es un instrumento para valorar las consecuencias medioambientales que produciría un eventual vertido contaminante en una hipotética instalación situada sobre un territorio determinado. Las consecuencias se contemplan desde un doble punto de vista:

- la capacidad que tiene el terreno para transportar la contaminación,
- el impacto negativo que produciría la contaminación sobre sus receptores.

El estudio trata de reflejar las zonas en las que, sin contar factores antrópicos, es **más probable** que se pueda producir un episodio contaminante y, a la vez, en caso de producirse, el deterioro medioambiental que se provocaría en el entorno tendría consecuencias **más negativas** por afectar a zonas sensibles, acuíferos, etc...

El Mapa de Riesgo Medioambiental Combinado no sólo nos alerta para ubicar instalaciones futuras contaminantes, sino que también podemos superponerle instalaciones ya construidas y ver cuáles son las que presentan un mayor riesgo potencial de causar daños medioambientales. Esta información van adquiriendo cada vez más importancia, ya que la Legislación sobre el Medio Ambiente es cada vez más restrictiva y las sanciones cada vez más cuantiosas, todo ello sin contar el elevado coste de los trabajos de remediación de suelos y aguas.

IV.5. Herramientas para el análisis de Mapas

Para la generación del mapa MRC se ha utilizado el módulo *grid*, integrado en el GIS ARC/INFO[®], para el cálculo de los índices de riesgo MRC. Este módulo es un geoprocesador *raster* o de celdas que representa el espacio dividido en unidades discretas, describe de forma correcta superficies continuas y permite el análisis y la operación con las mismas. En realidad un *grid* es similar a una cobertura ARC/INFO[®] en el que los datos pertenecientes a las distintas materias se almacenan en celdas separadas. Cada *grid* tiene una tabla asociada (VAT) que se almacena en la base de datos relacional INFO[®]. El VAT es similar a las tablas de atributos poligonales (PAT) de las coberturas.

El modelo de datos *grid* permite la utilización de datos tanto discretos como continuos. En nuestro caso, los parámetros empleados representan los dos tipos de datos, aunque aquellos de tipo continuo –por ejemplo la pluviometría– han tenido que ser discretizados para poder combi-

narlos. El resultado será, por lo tanto, en forma de datos discretos. Al ser el *grid* un modelo posicional, sus capacidades de análisis permiten ejecutar tareas de modelización cartográfica que no podrían realizarse con otras tecnologías geográficas.

La realización del mapa MRC se ha estructurado en las fases siguientes:

a) Creación de los *grid* a partir de las coberturas poligonales

A través de las utilidades del SIG ARC/INFO[®] podemos transformar una cobertura en un *grid*. Esta utilidad convierte los datos asociados con los elementos (en este caso polígonos) de la cobertura al formato en celdas. Esta conversión se realiza de forma que a cada celda del *grid* se le asigna un valor de acuerdo con el polígono que se le superpondría. En aquellas celdas con más de un valor posible (por ejemplo, si contiene dos o más polígonos), primara el valor de aquel polígono que tenga una mayor área dentro. Aunque también se puede seleccionar uno o varios polígonos y asignarles a su valor un factor de peso de forma que tengan preferencia aunque su superficie sea menor. En nuestro caso hemos seguido el procedimiento normal, es decir, el primero.

El campo a partir del cual se asigna el valor de la celda en el *grid* se ha nominado, en este proyecto, como VALOR, el cual se encuentra asociado a todas las coberturas (bien dentro del fichero .PAT o de la tabla asociada .LUT). El tamaño de cada celda o resolución escogido ha sido de 100 X 100 m, es decir, 1 hectárea. El resultado de esta «*teselación*» de coberturas ha sido un *grid* de 1711 columnas por 1564 filas, lo que da un total de 2.676.004 celdas, de las cuáles 1.491.535 se encuentran dentro de la provincia de Albacete, es decir tienen un valor. El resto de celdas quedan asignadas como *NO DATA* (sin dato).

Este paso genera de forma automática, en aquellos *grid* que representan datos de tipo discreto, una tabla de atributos (.VAT) similar al fichero .PAT de las coberturas vectoriales. El primer campo de la tabla es VALUE que almacena el valor asignado a cada zona. Un segundo campo –COUNT– indica el número total de celdas que contienen cada valor.

b) Operación con los *grid*

El cálculo del índice MRC se obtiene a partir de la suma ponderada del valor de cada celda de los ocho *grid* aplicando la fórmula (1) El resultado es un nuevo *grid* obtenido mediante una función de tipo local. Es decir, el valor de las celdas de salida tiene en cuenta los valores

de la celda o celdas de entrada que se encuentran en una misma localización y no influye en su resultado el valor de las celdas adyacentes. Con el resultado obtenido podemos conocer la calidad de cada punto (celda) del territorio.

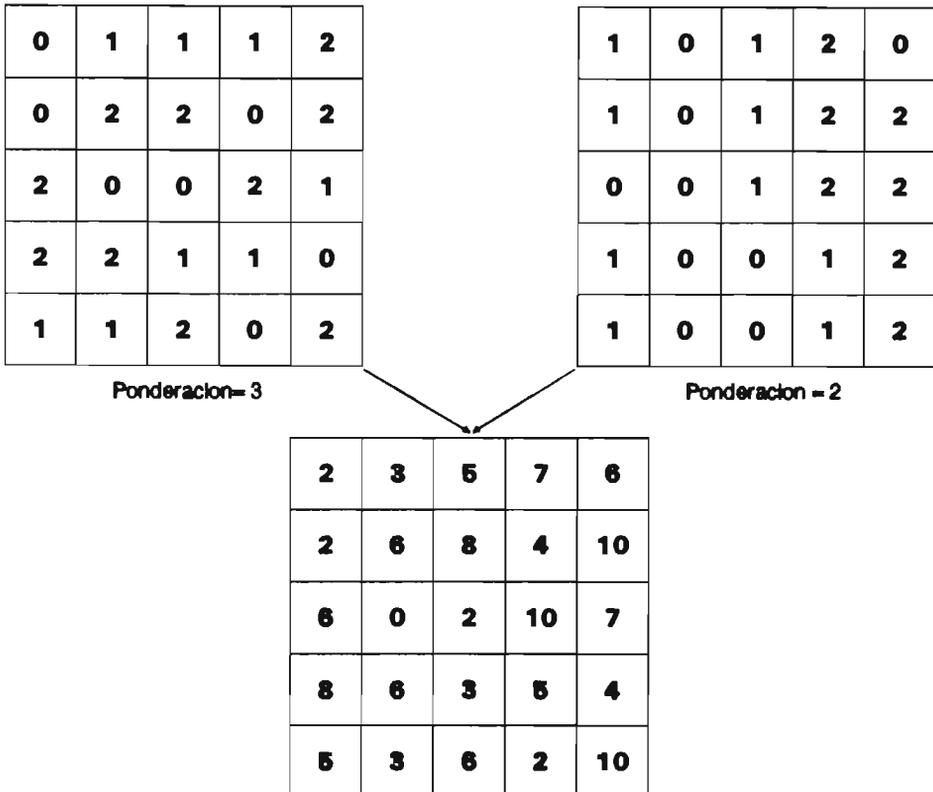
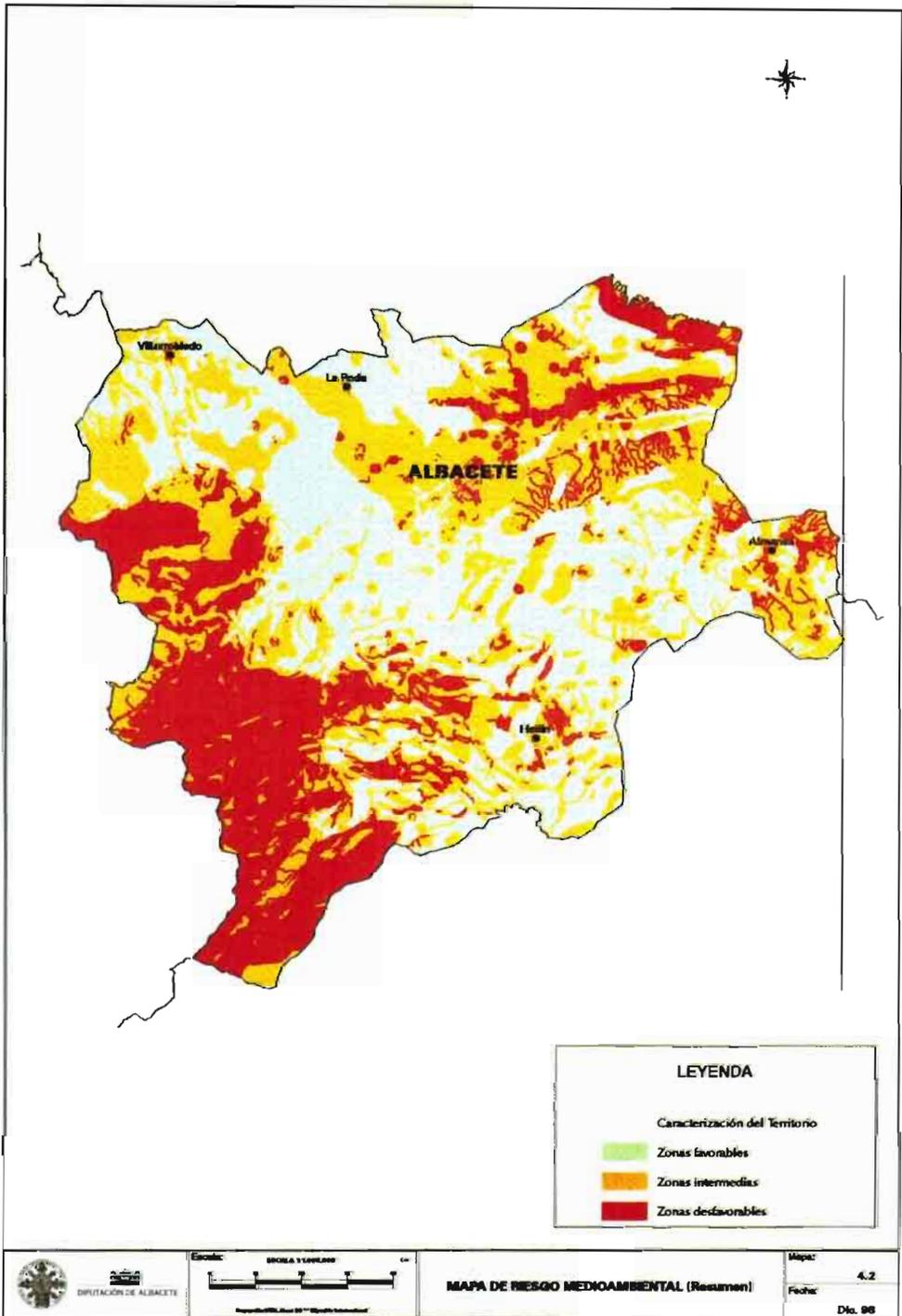


Fig. 4.3. Ejemplo de operaciones (suma y ponderación) con los grid.

Los mapas de tipo prescriptivo tienen que ser fácilmente legibles para el planificador o el político, por lo que normalmente se utilizan los colores tipo «semáforo», es decir, el rojo, para aquellas zonas más vulnerables y, por lo tanto, menos apropiadas para la instalación de industrias contaminantes, y los verdes para las más apropiadas. Como ya se comentó anteriormente, esto no es óbice para que en estas últimas zonas no se realicen trabajos de más detalle a escalas más reducidas.

Según esto, en el mapa resumen se han agrupado los 24 valores obtenidos en tres rangos o zonas. Esta zonificación se ha realizado en función de los percentiles 25 y 75:

- Zonas desfavorables: se consideran como tales aquellas zonas cuyo índice de riesgo es mayor o igual a 11
- Zonas favorables: corresponden a aquellas zonas cuyo índice de riesgo es menor o igual a 5.
- Zonas intermedias: son aquellas zonas cuyo índice de riesgo se encuentra entre los dos anteriores (6-10).



V. CONCLUSIONES

El agua subterránea es un bien escaso sometido a multitud de agresiones (sobreexplotación, contaminación...). Tiene un importante valor paisajístico y ecológico como soporte clave de muchos ecosistemas tales como los humedales, tan abundantes en la provincia de Albacete. La prevención es necesaria para protegerla de los efectos nocivos, especialmente en regiones semiáridas como la estudiada, donde la existencia de muchos parajes naturales depende del mantenimiento de flujo de descarga acuífera.

En este proyecto se han estudiado ocho parámetros de medio físico relacionados con la contaminación de las aguas y los ecosistemas albacetenses. Estos parámetros han sido cartografiados, valorados y ponderados. Posteriormente se han integrado con el fin de obtener un nuevo mapa que refleje el riesgo medioambiental del territorio ante la posible fuga de agentes contaminantes en el subsuelo.

El mapa obtenido tiene valores entre 0 y 23, los cuáles se han agrupado en tres rangos (favorable, intermedio y desfavorable), lo que permite obtener una visión más rápida de dicho riesgo. Estos rangos se distribuyen geográficamente de la siguiente forma:

- *Zonas favorables*: se distribuyen en una dirección noroeste-sudeste, formando un triángulo cuyos vértices estarían en las poblaciones de Villarrobledo, Hellín y Almansa.
- *Zonas desfavorables*: las zonas de mayor riesgo se encuentran en la zona nordeste de la provincia (ríos Cabriel y Júcar), al oeste (Lagunas de Ruidera, Campo de Montiel); y, especialmente, al sudoeste, en las sierras de Alcaraz y Segura.
- *Zonas intermedias*: queda comprendida aquí el resto de la provincia.

Aunque estos resultados puedan ser, *a priori*, previsibles con un conocimiento previo del terreno –zonas montañosas más vulnerables que las llanas– no siempre es así. En nuestro caso observamos zonas más o menos llanas con índices de riesgo altos, como puede ser el área del *Parque Natural de las Lagunas de Ruidera*, o riesgos medios como las áreas con importantes extracciones de aguas subterráneas para uso urbano y agrícola, dentro del triángulo antes citado.

Cabe decir que los resultados obtenidos sólo sirven para establecer prioridades, siendo necesario para proyectos concretos, cumplimentarlos con otro tipo de estudios (bióticos, socioeconómicos, culturales, etc.) y con datos más detallados y precisos.

Al igual que para este proyecto, la participación de grupos multidisciplinarios de expertos es necesaria en cualquier estudio del medio físico, tanto en el ámbito regional como en el local, y sobre todo en aquellos estudios orientados hacia la preservación de los espacios naturales.

Como se ha visto en este estudio, los *GIS* suponen una herramienta muy útil en la ordenación del territorio ya que facilitan la toma de decisiones, posibilitando la adopción de medidas que reduzcan los riesgos potenciales de contaminación. También permiten agilizar la respuesta por parte de la Administración frente a situaciones que comprometen el desarrollo sostenible.

Y si bien es cierto, como se ha dicho muchas ocasiones, que el coste de los datos digitales ha frenado en numerosas ocasiones el desarrollo de los *GIS*, ya se dispone en nuestro país de numerosos datos que permiten, por lo menos a una escala provincial o comarcal, realizar estudios sobre planificación y ordenación del territorio.

VI. BIBLIOGRAFÍA

ALBERT BELTRÁN, J.F. (1979): El mapa español de flujos caloríficos. Intento de correlación entre anomalías geotérmicas y estructura cortical. *Bol. Geol. y Min.* **10** (1): 36-48. Madrid.

ALFARO J.A.; CABRA, P. y SORIA, J.M. (1991): Neotectonics and associated Seismicity in the Southeastern border of the Meseta Ibérica and its Connection with the Betic Ranges. (*En Mezcuá, J. Y Udías, A. Ed.: Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Maghrebian Region*). Publicación I.G.N. Serie Monografía **8**: 283-299.

ALLER, R.; BENNETT, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.I. y HACKETT, G. (1987): *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potencial Using Hydrogeologic Settings*. USEPA, Ada, OK, EPA/600/2-87-035, 445 pp.

ALONSO-AZCÁRATE, J.; ARCHE, A.; BARRENECHEA, J.F.; LÓPEZ-GÓMEZ, J.; LUQUE F.J. y RODAS, M. (1997): Palaeo-geographic significance of clay mineral assemblages in the Permian and Triassic of the SE Iberian Ranges, eastern Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **136**: 309-330.

ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, J. (1998): *Modelación de la distribución espacial de precipitaciones*. Apuntes del Master de Hidrología General y Aplicada (no publicados). CEDEX.

ARQUIAGA, C. (1997): Investigación y recuperación de suelos contaminados. *Química e Industria (Quibal)*, **44** (6): 401-406.

AYALA, F.J.; FERRER, M. OTEO, C. y SALINAS, J.L. (1986): *Mapa predictor de riesgos por expansividad de arcillas en España a escala 1:1.000.000*. Serie Geología Ambiental, IGME y CEDEX, 64 pp. y 1 mapa. Madrid.

BARREDO, J.I. (1996): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Ed. RA-MA. 264 pp. Madrid.

BONED, M. y VALLADOLID, M^a V. (1998): *Modelo digital del terreno de la Cuenca del Duero*. 1^{er}. Congreso Nacional de Información Geográfica. Edición en CD-ROM. 6-8 Octubre, 1998 Valladolid.

BONHAM-CARTER, G.F. (1994): *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Ed. Pergamon. Vol. 13, 398 p. Ontario.

BOSQUE SENDRA, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*. Ed. Rialp, S.A. 451 pp. Madrid.

BUFORN, E. y UDÍAS, A. (1982): Sismicidad inducida por grandes presas en España *Rev. Geofísica*. **38**: 45-53.

EPTISA (1996): *Análisis de los riesgos medioambientales de las EE.SS. de CEPSA. Península e Islas Baleares*. Inédito. 36 pp. y 8 Anexos.

EPTISA (1997): *Elaboración de un mapa 1:1000000 de riesgo medioambiental combinado (MRC) para las aguas subterráneas en España*. Informe para el ITGE inédito. 21 pp.

ESRI (1995): *Understandig GIS. The Arc/info method*. Rev. 7. Environmental Systems Research Institute. Redlands, CA.

FELICÍSIMO, A.M. (1994): *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Ed. Pentalfa. 222 p. Oviedo.

FEMP (1999): *Guía de vertederos*. Federación Española de Municipios y Provincias. Ed. Grupo-EP. 338 pp. Madrid.

FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, F.J.; MENÉNDEZ DUARTE, R. y MARQUÍNEZ, J. (1997): Aplicación de un Sistema de Información Geográfica en la cartografía temática y clasificación geomorfológica de los sistemas fluviales en Asturias. *Rev. Soc. Geol. España*. **10** (1-2): 117-130.

FRESNO, F.; LAÍN, L.; MULAS, J.; RÍOS, S.; SÁEZ, T. y ALA-FONT, L.S. (1997): *Methodology for Preparing a Constructive Capability Map in a Sector of the Aragonese Pyrenees from Geotechnical an Natural Hazard Maps*. 2nd Congress on Regional Geological Cartogrphy and Information Systems. pp. 200-204. June 16-20th, 1997. Proceedings. Barcelona.

GARSON G.D. y BIGGS, R.S. (1992): *Analytic mapping ang Geographic Databases*. (Sage University Papers series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-087). 90 p. Newbury Park.

GÓMEZ FERNÁNDEZ, F. (1996): *Desarrollo de una metodología para el análisis del riesgo volcánico en el marco de un sistema de infor-*

mación geográfica. Tesis Doctoral inédita. Univ. Complutense de Madrid y Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 255 pp. Madrid.

GOODCHILD, M.F. (1985): *Geographic Information Systems in Undergraduate Geography: A Contemporary Dilemma*. *The Operational Geographer*, **8**: 34-38.

IGN (1992): «Geofísica». (En: *Atlas Nacional de España*). Sección **II**. Grupo 8. 20 pp.

IGN (1993): «Hidrología». (En: *Atlas Nacional de España*). Sección **II**. Grupo 10. 32 pp.

IGN (1994): *Norma de construcción sismorresistente (Parte general y Edificación) NCS-94*. Comisión permanente de normas sismorresistentes. Dir. Gral. del Instituto Geográfico Nacional. s/p.

IGME (1980): *Mapa geotécnico para la ordenación territorial y urbana de Granada*. Escala 1:25.000 Memoria. 76 pp.

IGME (1982): *Mapa geológico de España a escala 1:200.000, Hoja núm. 72, Elche*. Mapa y Memoria. 31 pp.

IGME (1984): *Protección de las aguas subterráneas en los abastecimientos urbanos*. Ministerio de Industria y Energía. 12 pp.

IGME (1985): *Síntesis hidrogeológica de Castilla-La Mancha*. Colección Informe. Ministerio de Industria y Energía y Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. 107 pp.

IGME (1987a): *Mapa geológico de España a escala 1:200.000, Hoja núm. 62, Tomelloso*. Mapa y Memoria. 19 pp.

IGME (1987b): *Mapa geológico de España a escala 1:200.000, Hoja núm. 63, Albacete-Onteniente*. Mapa y Memoria. 23 pp.

IGME (1987c): *Mapa geológico de España a escala 1:200.000, Hoja núm. 71, Villacarrillo*. Mapa y Memoria. 27 pp.

ITGE (1988a): *Estudio de la unidad hidrogeológica de Pliegues Jurásicos entre los embalses de Talave, Cenajo y Camarillas (Albacete)*. Tomo I. Memoria.

ITGE (1988b): *Estudio hidrogeológico de los sistemas acuíferos situados al NE de Hellín (Albacete) dentro de la cuenca del Segura*.

ITGE (1993): *Mapa neotectónico, sismotectónico y de actividad de fallas de la Región de Murcia*. (Escala 1:200.000 y 1:100.000). ITGE y CARM. 99 pp. Madrid.

JCLM (1986): *Atlas de Castilla-La Mancha*. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Consejería de Educación y Cultura. 125 pp. Toledo.

JCLM (1991): *Guía de los espacios naturales de Castilla-La Mancha*. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Servicio de Publicaciones. 709 pp. Toledo.

LABRANDERO, J.L. y MARTÍNEZ-VEGA, J. (1998): Sistemas de Información Geográfica en la planificación ambiental de áreas de montaña. *Colec. Estudios Ambientales*: **1**. C.S.I.C.-Instituto de Economía y Geografía. 136 pp.

MAPA (1998): *Plan Nacional de Regadíos*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

MARTÍN-HERRERO, J. (1995): La protección de los espacios naturales y la vida silvestre en Castilla-La Mancha. *Montes*, **39**: 22-30.

MARTÍN-VELÁZQUEZ, S.; VICENTE, G. de; RODRÍGUEZ PASCUA, M.A. y CALVO, J.P. (1998): Análisis dinámico del Sistema de desgarres NO-SE del Prebético de Albacete. *Rev. Soc. Geol. España* **11** (3-4): 369-382.

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, M^a.L. y MUÑOZ-JIMÉNEZ, J. (1998): Ensayo de aplicación de la metodología de reconocimiento de territorios a través de un SIG: los sistemas territoriales de un sector de la Cuenca Alta del Jarama. *Topografía y Cartografía*. **15** (86): 2-19. Madrid.

MENÉNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, S. y MARQUÍNEZ, J. (1996): Gestión de la cartografía geológica y geomorfológica en un SIG y sus aplicaciones a la cartografía de suelos para usos forestales. *Geogaceta*, **20** (5): 1215-1218.

MIJAILOV, L. (1985): *Hidrogeología*. Ed. Mir. (Traducción al español (1988)). 286 pp. Moscú.

MMA (1995a): *Plan Hidrológico del Guadalquivir*. Memoria. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Ministerio de Medio Ambiente.

MMA (1995b): *Plan Hidrológico del Guadiana*. Memoria. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Ministerio de Medio Ambiente.

MMA (1995c): *Plan Hidrológico del Júcar*. Documento nº 1: Memoria. Confederación Hidrográfica del Júcar. Ministerio de Medio Ambiente. Octubre.

MMA (1995d): *Plan Hidrológico del Segura*. Memoria. Tomo II. Confederación Hidrográfica del Segura

MMA (1997): *La delimitación del dominio público hidráulico y de sus zonas inundables. El proyecto LINDE*. Dir. Gral. De Obras Públicas y Calidad de la Aguas. EPTISA. 68 pp. 3 Anejos.

MMA (1998): *Programa de ordenación de acuíferos sobreexplotados/salinizados. Formulación de estudios y actuaciones*. Ministerio de Medio Ambiente. Serie Monografías.

MOPT (1988): *Plan Hidrológico de la cuenca del Segura*. Dirección General de Obras Hidráulicas. Documentación Básica, Aguas Subterráneas. Inventario de Recursos Hidráulicos, Anexo 7, Vol. 1-3.

MOPT (1992): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología*. Serie Monografías. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 809 pp.

MOPTMA (1993): *Atlas de espacios naturales y recursos naturales de interés para el trazado de las carreteras del Estado*. Serie monografías. Dirección Gral. de Carreteras. EPYPSA. 152 pp.

MOPTMA-Comisión Europea (1993): *Inventario de recursos de agua subterránea en España. 1.ª fase: Coberturas temáticas*. (Contrato nº B4-3040/92/8347).

MOPTMA-MINER (1994): *Libro blanco de las aguas subterráneas*. Serie Monografías. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.

MOPU (1990): Unidades hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares. Síntesis de sus características y mapa a escala 1:1.000.000. *Bol. Informaciones y Estudios*, n.º 52. Servicio Geológico de la D.G.O.H.

MULAS, J.; FRESNO, F. y ALAFONT, L.S. (1997): *Cartografía de peligrosidad por movimientos de ladera a escala 1:25.000 en un sector del Pirineo de Huesca*. IV Simposio Nac. sobre taludes y laderas inestables. Granada 11-14 de Nov. 1997. 27-38.

MUNUERA, J.M. (1968): *El mapa de zonas sísmicas generalizadas de la Península Ibérica*. I.G.N. pp. 1-50. Madrid.

OJEDA-ZÚJAR, J.; MÁRQUEZ-PÉREZ, J. (1997): Modelo digital de elevaciones (MDE) para la caracterización altimétrica de espacios marismenos: Las marismas de Odiel (Huelva, España). *Rev. Soc. Geol. España* 10 (1-2): 147-161.

REBOLLO, L.F. (1998): *Hidrogeología*. Apuntes para la licenciatura en Ciencias Ambientales (no publicados). Universidad de Alcalá de Henares.

REY-PASTOR, A. (1935): *Sismicidad de las regiones litorales españolas del Mediterráneo. I. Región Bética y Subbética*. Barcelona.

RINCÓN, P.J.; MONTERO, E. y VEGAS, R. (1996): Condicionantes estructurales de la Unidad Hidrogeológica del Campo de Montiel (provs. de Ciudad Real y Albacete). *Geogaceta*, 20 (6): 1274-1276. Madrid.

RÍOS, S. et al. (1996): *Estudio del medio físico y de sus riesgos naturales en un sector del Pirineo Central*. CEE-ITGE-DGA., 9 vol. (inédito). Zaragoza.

RODRÍGUEZ-PASCUA, M.A. (1997): Paleosismicidad en emplazamientos nucleares. Estudio en relación con el cálculo de la peligrosidad

sísmica *Consejo de Seguridad Nuclear Colección: Otros Documentos* ref. ODB-03.01. 286 pp.

RODRÍGUEZ de la TORRE, F. (1995): Los terremotos en la provincia de Albacete. *Cuad. Albacetenses*, **1**: 1-47. Albacete.

SALINAS RODRÍGUEZ, J.L. (1987): Riesgos ligados a arcillas expansivas. (En Ayala, F.J.; Durán, J.J y Peinado, T. *Coord.: Riesgos Geológicos*). ITGE. Serie Geología Ambiental. 295-304. Madrid.

SÁNCHEZ SÁNCHEZ, J. (1982): *Geografía de Albacete*. Instituto de Estudios Albacetenses. Albacete.

STRUCKMEIER, W.F. y MARGAT, J. (1995): Hydrogeological Maps. A guide and standard legend. *Internacional Association of Hydrogeologists*. Vol. **17**, 177 pp.

TOMLINSON, R.F. (1984): Geographic information systems -the new frontier. Keynote paper Int. Symp. on Spatial Data Handling, Zurich. *The Operational Geographer*, **5**: 31-36.

TREMIÑO, J.; ADARVE, M.J. y REBOLLO, F. (1990): Un sistema de análisis e integración cartográfica medioambiental destinado a la caracterización de la capacidad del territorio para acoger vertederos de residuos sólidos urbanos. *Geolis*, **4** (1-2): 108-125. Lisboa.

TREMIÑO, J.; PIVIDAL, A.J.; VILLARROYA, F.; GÓMEZ, M.T. y CENTENO, J. de D. (1996): Caracterización del territorio para la instalación de VRSU: metodología aplicada a las aguas subterráneas. *Geogaceta*, **20** (6): 1315-1317. Madrid.

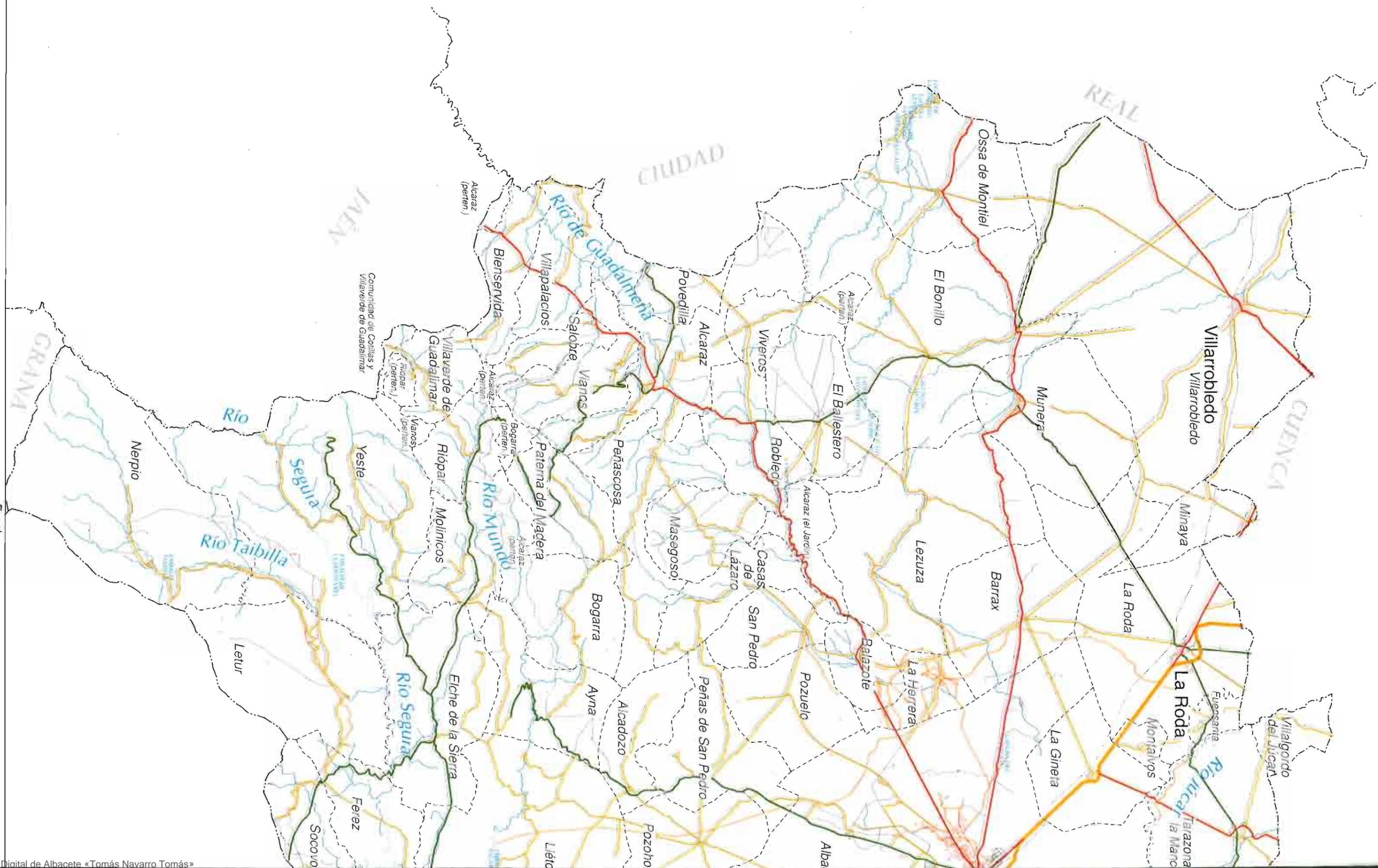
UDÍAS, A.; LÓPEZ-ARROYO, A. y MEZCUA, J. (1976): Seismotectonics of Azores- Alborán region. *Tectonophysis*, **31**: 259-289.

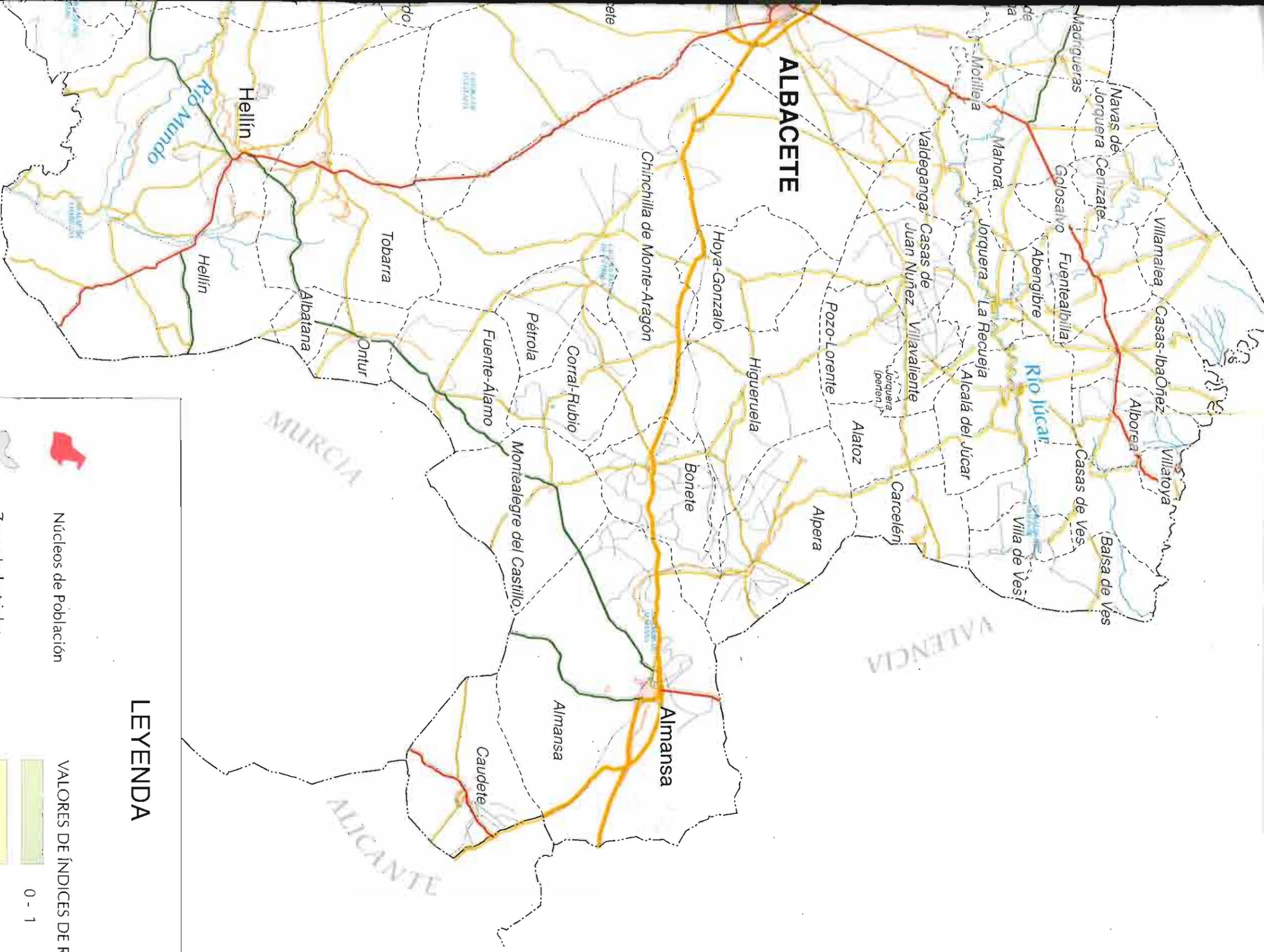
VALLEJO, M. y COCERO, A. (1997): *El patrimonio geomorfológico de la Comunidad de Castilla-La Mancha: inventario de puntos de interés*. III Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico. Julio, 1997. pp. 91-95. Girona.

VARIOS (1994): Especial directiva habitat. *Ecosistemas*, **9-10**: 9-65.

VILLAR GALICIA, M. (1989): El Triásico del sector Alpera-Montealegre del Castillo (Albacete). *Inst. de Estud. Albacetenses de la Excma. Diputación de Albacete*. Serie I, n.º **47**. 190 pp. Albacete.

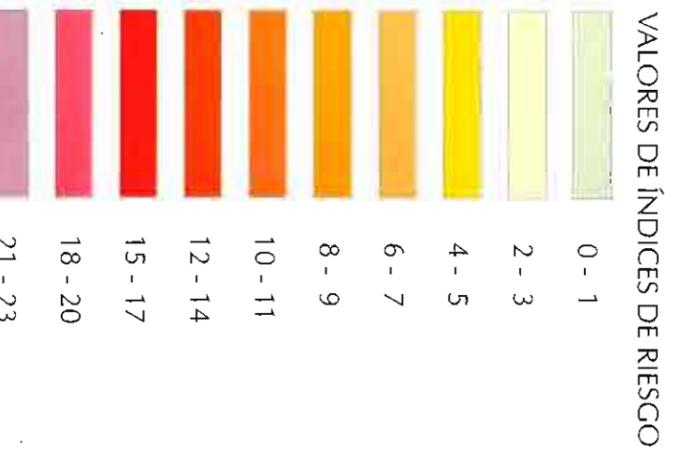
ZHANG, M.C.; CAMPBELL, J.B. y HARALICK, R.M. (1990): Automatic Delineation of Drainage Basins within Digital Elevation Data using the Topographic Primal Sketch. *Mathematical Geology* **22** (2): 189-209. New York.





LEYENDA

-  Núcleos de Población
-  Zonas Industriales
-  Embalses y Lagunas
-  Límite Autonómico
-  Límite Provincial
-  Límite Municipal
-  Autopistas y Autovías
-  Carretera Nacional
-  Carretera Comarcal



Base Cartográfica: BCN200 (I.G.N.)

Km 40

Autores:
Luis Sebastián Alafont
Luis Navarro Villanueva

MAPA DE RIESGO MEDIOAMBIENTAL COMBINADO

Mapa:

41



DIPUTACIÓN DE ALBACETE