



-7 MAR. 1984

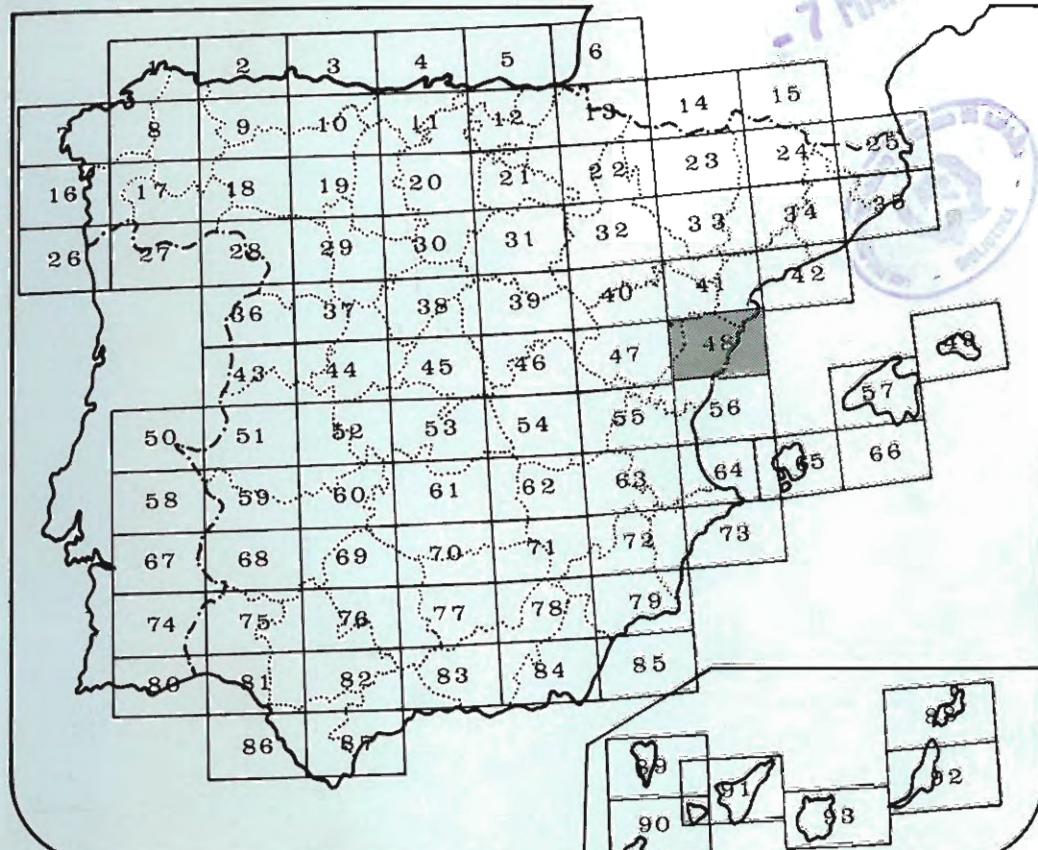


INSTITUTO GEOLOGICO
Y MINERO DE ESPAÑA
RIOS ROSAS, 23 - MADRID-3

II/2-5-4



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA



Mapa
Hidrogeológico
de España
E. 1/200.000

48

VINAROZ



SERVICIO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA



Mapa
Hidrogeológico
de España

E. 1/200.000

VINAROZ

SERVICIO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

INDICE

	pág
1. INTRODUCCION	1
2. CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA	3
3. GEOLOGIA	5
3.1. ESTRATIGRAFIA	5
3.1.1. Paleozoico	5
3.1.2. Triásico	5
3.1.2.1. Buntsandstein	5
3.1.2.2. Muschelkalk	5
3.1.2.3. Keuper	6
3.1.3. Jurásico	6
3.1.4. Tránsito Jurásico-Cretácico	7
3.1.5. Hauteriviense-Barremiense	8
3.1.6. Aptense-Albense medio	9
3.1.7. Albense superior-Turonense	11
3.1.8. Senoniense	11
3.1.9. Paleógeno	11
3.1.10. Neógeno	11
3.1.11. Cuaternario	12
3.2. TECTONICA	13
4. HIDROGEOLOGIA DE LA HOJA	14
4.1. FORMACIONES PERMEABLES E IMPERMEABLES	14
4.1.1. Paleozoico	14
4.1.2. Triásico	15
4.1.3. Jurásico	15

Servicio de Publicaciones - Ministerio de Industria y Energía - Doctor Fleming, 7 - Madrid 16

Depósito Legal M-41942-1983

ISSN 0211-9994

Talleres Gráficos IBERGESA - Crta. de Burgos km 12.200 - Madrid

4.1.4. Tránsito Jurásico-Cretácico	16	5.3. SITUACION ACTUAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA HOJA	37
4.1.5. Cretácico inferior	16	5.3.1. Plana de Vinaroz-Peñíscola	38
4.1.6. Cretácico superior	16	5.3.2. Plana de Oropesa-Torreblanca	39
4.1.7. Terciario-Cuaternario	16	5.3.3. Directrices de actuación en relación con la calidad de las aguas subterráneas	39
4.2. UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	17	6. UTILIZACION ACTUAL DEL AGUA SUBTERRANEA	41
4.2.1. Unidad de Oropesa-Torreblanca	17	7. PROPUESTAS DE ACTUACIONES FUTURAS	44
4.2.1.1. Introducción	17	8. BIBLIOGRAFIA	47
4.2.1.2. Características geométricas	18		
4.2.1.3. Características de los límites	19		
4.2.1.4. Características hidráulicas	20		
4.2.1.5. Funcionamiento hidráulico	20		
4.2.1.6. Balance medio	22		
4.2.2. Unidades de Vinaroz-Peñíscola	23		
4.2.2.1. Introducción	23		
4.2.2.2. Características geométricas	23		
4.2.2.3. Características de los límites	24		
4.2.2.4. Características hidráulicas	26		
4.2.2.5. Funcionamiento hidráulico	27		
4.2.2.6. Balance	29		
4.2.3. Unidad de Mosqueruela	30		
4.2.3.1. Características geométricas y límites de la Unidad	30		
4.2.3.2. Funcionamiento hidráulico	31		
4.2.4. Subunidad del Maestrazgo	32		
4.2.4.1. Características geométricas y límites de la Subunidad	32		
4.2.4.2. Funcionamiento hidráulico	33		
4.2.5. Subunidad de Javalambre	34		
4.2.5.1. Características geométricas y límites de la Subunidad	34		
4.2.5.2. Funcionamiento hidráulico	35		
5. CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS. PROBLEMAS DE CONTAMINACION	35		
5.1. CALIDAD NATURAL	35		
5.2. FUENTES DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	37		

1 INTRODUCCION

Una de las misiones específicas del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) es la realización y publicación de la cartografía hidrogeológica nacional, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 450/1979 de 20 de febrero.

Desde 1970 el IGME viene realizando el estudio sistemático de las características hidrogeológicas de todas las cuencas españolas, determinando la ubicación de los acuíferos, evaluando su grado de explotación, sus características hidrodinámicas, la calidad y contaminación de las aguas subterráneas y estableciendo los valores de sus recursos y reservas, recomendando los esquemas más idóneos para su explotación y protección y sentando las bases para la integración de los recursos hidráulicos subterráneos en el marco de la planificación hidrológica global.

Los resultados de los estudios se vienen publicando por el IGME como informes de síntesis a los que acompaña una cartografía específica de las áreas cubiertas por el estudio correspondiente. La documentación completa que ha permitido la preparación de dichos documentos de síntesis, se reúne y publica en reducido número de ejemplares destinados a consulta.

En base a los datos disponibles recogidos en los estudios de infraestructura y posterior control de los acuíferos, se ha considerado de gran interés para la comunidad científica y para el público en general, la publicación de mapas hidrogeológicos detallados a escala 1/200.000 en forma de hojas correspondientes a la cuadrícula topográfica oficial, en aquellas zonas en las que la información hidrogeológica es más abundante y completa.

El objetivo del mapa es mostrar, al máximo detalle permitido por la escala, las características de yacimiento del agua subterránea y situación de su explotación, calidad química y valores de los parámetros hidrodinámicos.

La cartografía se realiza de acuerdo con las normas establecidas en 1974 por el Grupo de Trabajo de Aguas Subterráneas del Instituto de Hidrología, basadas en las normas UNESCO sobre mapas hidrogeológicos. Los mapas son por lo tanto cotejables y comparables a escala internacional con los producidos en el resto del mundo, y especialmente en los países de la Comunidad Económica Europea.

Los criterios de representación se han orientado de forma que el mapa sea prácticamente autosuficiente; no obstante, se acompaña una breve memoria explicativa que completa la información gráfica.

2 CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA

Pueden considerarse tres tipos de clima en la zona: uno mediterráneo litoral con temperaturas medias de unos 17° C, poca amplitud en las oscilaciones y humedad relativamente alta, con precipitaciones que varían entre unos 400 y 800 mm, máximas pluviométricas en primavera y otoño; otro continental en el interior, con temperaturas medias de unos $10-12^{\circ}$ C y gran amplitud en las oscilaciones tanto diarias como estacionales, la humedad relativa es también alta y la pluviometría media oscila entre valores inferiores a 400 mm y superiores a 900 mm, siendo a veces una parte importante de ésta en forma de nieve; y finalmente la zona intermedia con un clima de transición entre las dos indicadas anteriormente. Todos los valores climáticos están referidos al período 1948-1963.

La evapotranspiración potencial calculada por el método de Thornthwaite está comprendida entre 650 mm en el extremo Noroccidental de la hoja y 950 mm en la Nororiental. El valor medio estimado es de 750 mm.

La evapotranspiración real varía entre valores superiores al 85 por ciento de la precipitación media anual en el litoral a inferiores al 75 por ciento en el interior.

De la red hidrográfica, excepto el río Mijares, que la atraviesa en el sector Suroccidental y su afluente Rambla de la Viuda, el resto son cortos respondiendo todos ellos, a un régimen típicamente mediterráneo de fuertes avenidas y poca duración. En algunos casos (Cenia y Servol) disponen en su tramo alto de caudales continuos debidos a algunos manantiales, aunque rápidamente desaparecen por infiltración en las zonas pliocuaternarias de su curso bajo. Los principales ríos son: Cenia (197 km^2), el Barranco de Vallriguera (59 km^2), Servol (343 km^2), Barranco de Agua Oliva (73 km^2), Cervera (359 km^2), Alcalá (168 km^2), San Miguel (505 km^2), Barranco Fontanelles (7 km^2) y Seco (94 km^2).

Las principales características, a su paso por la hoja, de los ríos más importantes se indican a continuación:

Río Mijares

Ataviesa el sector Suroccidental de la hoja entrando en ella por Alquería y saliendo al Norte de Onda.

La cuenca de este río presenta unas características muy peculiares que hace que no se adapte al régimen típicamente mediterráneo de los ríos de la zona. En su zona alta afloran materiales carbonatados jurásicos, con un

potencial de infiltración muy elevado, que le alimentan considerablemente mediante aportes de agua subterránea, de tal modo que el caudal de base supone aproximadamente el 70 por ciento de la aportación total. Estos aportes se realizan fundamentalmente en el tramo comprendido entre la Venta La Parra y Montanejos. Por el contrario, en el tramo en que atraviesa la hoja la escorrentía superficial es mucho más importante que la subterránea al estar la cuenca ocupada por materiales triásicos de la Sierra del Espadán. El valor medio de la escorrentía total, para el período 1911-1959, es a la entrada de la hoja y en el embalse de Sichar de 240 y 350 hm³/año respectivamente.

Rambla de la Viuda

Este río tiene el cauce colgado respecto al nivel freático regional por lo que su relación con el acuífero es totalmente influente.

Los únicos datos disponibles de escorrentía proceden de las entradas al embalse de M^a Cristina, si bien son cifras por defectos debido a que las pérdidas por infiltración son muy importantes (aproximadamente 25 hm³/año), la aportación media se estima en 65 hm³/año.

Río Cenia

Desde su nacimiento en los Puertos de Beceite, hasta las proximidades de la Cenia, recibe el caudal de numerosas fuentes que drenan los acuíferos calizos de la zona.

Según los datos de la estación núm. 99 (MOPU) situada en el embalse de Ulldecona, la aportación media hasta ese punto es de 30 hm³/año, de los que 18 hm³/año son de escorrentía superficial y 12 hm³/año de escorrentía subterránea.

Desde La Cenia hasta las inmediaciones de S. Rafael del Río su caudal disminuye con rapidez, perdiéndose totalmente en un sumidero existente, en un pequeño afloramiento de calizas aptenses. A partir de ese punto, sólo en las grandes avenidas el río lleva agua.

Río Servol

Su caudal es continuo mientras discurre por los llamados Montes de Vallibona, en donde recoge las aportaciones de pequeñas fuentes. Posteriormente al entrar en la Plana de La Cenia-Amposta se infiltra totalmente.

3 GEOLOGIA

Se describe a continuación las características litológicas y estructurales de los materiales que afloran en la Hoja de Vinaroz.

3.1 ESTRATIGRAFIA

3.1.1 Paleozoico

Su representación es muy reducida, aflora solamente en pequeñas extensiones al Sur de Villafames y Puebla de Tornesa.

Está constituido por pizarras arcillosas de color gris verdoso con restos de vegetales carbonizados, areniscas grises y litarenitas gris amarillentas. Todo el conjunto está atravesado por abundantes vetas de cuarzo.

La edad probable es Devónico-Carbonífero.

3.1.2 Triásico

Aflora ampliamente en el límite meridional de la hoja, generalmente ligado al eje de amplios anticlinales de directriz ibérica. Se presenta en facies germánica.

3.1.2.1 BUNTSANDSTEIN

Alcanza su máximo desarrollo en el Desierto de Las Palmas, con una potencia aproximada de 400 m.

El tramo inferior, de unos 200 m de potencia media, está compuesto por una alternancia de argilitas y areniscas de color rojizo y algunos niveles de conglomerados. Las areniscas son ligeramente micáceas y arcillosas.

El tramo medio, con una potencia media estimada de 150 m está constituido por areniscas masivas de tonos rojizos oscuros.

El tramo superior de unos 20-30 m está constituido por argilitas rojas algo arenosas, con mica, y algunos niveles de areniscas rojas micáceas.

3.1.2.2 MUSCHELKALK

El establecimiento de su estratigrafía es difícil, pues casi nunca aparece completo y siempre está fuertemente tectonizado.

En la Depresión de Lucena del Cid se han podido diferenciar los tramos siguientes:

Tramo inferior: Dolomías gris-negruzcas y a veces rojizas, tableadas y en ocasiones en bancos de grosor cercano al metro. La potencia aproximada es de 100 m.

Tramo medio: Margas amarillentas y rojizas, con abundante cantidad de yesos blancos y rojizos. En muchas ocasiones estas margas presentan facies igual a la del Keuper. La potencia es de 40 m.

Tramo superior: Calizas dolomíticas y dolomías negras tableadas, en ocasiones masivas, que se intercalan con tramos de margas y margocalizas de tonalidades amarillentas y rojizas. La potencia aproximada es de 150 m.

3.1.2.3 KEUPER

Está constituido por margas y arcillas de colores amarillentos, rojos, verdosos y gris azulados, con yesos. Aflora extensamente en el límite meridional de la hoja.

La potencia no se puede calcular debido al carácter fundamentalmente extrusivo con que afloran estos materiales.

3.1.3 Jurásico

Aflora ampliamente en Puertos de Beceite, Montes de Vallibona, Sierra de Valdancha, Sierra de Irtá y Sierra de Montsiá.

La distribución de los materiales jurásicos es la siguiente:

Jurásico inferior y medio (Lías-Dogger)

Está constituido por un conjunto de unos 50 m de potencia media vista, integrado por dolomías y carniolas en su parte inferior y por dolomías y calizas dolomíticas en su parte superior.

En la Sierra de Irtá se intercala en su parte media un nivel margoso con braquiópodos y fragmentos de ammonites de edad Toarcense.

En el techo de la formación se observa en algunos sectores una capa ferruginosa oolítica.

En la región de Vistabella, Lucena del Cid y Desierto de Las Palmas, el Jurásico inferior y medio se encuentra parcial o totalmente erosionado y sustituido por una brecha tectónica dolomítica.

Jurásico superior (Malm)

Conjunto esencialmente calizo-dolomítico que se extiende desde el Oxfordiense superior al Portlandiense.

El Oxfordiense superior-Kimmeridgiense inferior, de unos 200 m de potencia media, está constituido por calizas micríticas frecuentemente laminadas con niveles margosos en las juntas. En muchos sectores este tramo está parcialmente dolomitizado. En Argelita y Lucena del Cid su potencia está más reducida, alcanzándose apenas los 100 m.

El Oxfordiense inferior está compuesto por calizas nodulosas, con algunas intercalaciones de margas. La potencia media de este paquete es de 20 m.

El Kimmeridgiense superior presenta variaciones de facies, pues en la región de Albocacer-San Mateo-Sierra de Irtá está constituido por unos 100-150 m de margas y margo-calizas estratificadas en bancos poco potentes y laminares, mientras que en el resto de la región está compuesto por calizas muy ricas en fauna, frecuentemente oolíticas, que contienen algunos niveles con nódulos de sílex. La potencia del tramo varía entre 150 m en la Sierra de Esparraguera y 50 m en Argelita-Lucena del Cid.

El límite Kimmeridgiense superior-Portlandiense está marcado por una formación calcáreo-dolomítica constituida por unos 100-150 m de dolomías, calizas dolomíticas y calizas. El proceso de dolomitización está irregularmente distribuido, predominando en unos sectores las dolomías, mientras que en otros lo hacen las calizas.

En la región de Vistabella, Adzaneta, Lucena del Cid y Desierto de Las Palmas, esta formación se halla erosionada y sólo subsisten localmente algunos metros de dolomías.

3.1.4 Tránsito Jurásico-Cretácico

Se denomina de esta manera a una formación constituida por materiales de edad Portlandiense-Valaginiense, comprendida entre el conjunto calcáreo-dolomítico de límite Kimmeridgiense superior-Portlandiense y las margas y calizas del Hauerivense.

Esta formación está constituida por un tramo inferior calcáreo, un tramo medio calizo margoso y uno superior calizo. La potencia total es máxima en la zona de San Mateo-Salsadella, donde llega a alcanzar unos 300 m; para disminuir tanto al Norte como hacia el Sur y Oeste.

El tramo inferior está constituido por calizas biomicríticas y calizas oolíticas, con una potencia media de 50 metros. En el sector de la Sierra

de Montsiá se encuentran en gran parte dolomitizadas.

El tramo medio, con una potencia variable entre 100 m en Salsadella y 40-50 m en el resto de la hoja, está constituido por calizas biomicríticas alternantes con margas. Este tramo no existe en la Sierra de Montsiá y Puertos de Beceite, allí la serie se compone de un término inferior calizo dolomítico y uno superior calizo.

El tramo superior está representado por calizas biomicríticas generalmente ricas en algas hacia el techo. La potencia es máxima en las inmediaciones de Salsadella, donde llega a alcanzar los 150 m.

La erosión que tuvo lugar al final del Valanginiense, provocó la desaparición total de la serie tránsito Jurásico-Cretácico en la región de Vistabella-Adzaneta-Villafames-Desierto de Las Palmas y en la de Beceite-Aguaviva. En el resto de la hoja se encuentra parcialmente erosionada a excepción de la zona central del Maestrazgo. En Argelita, Lucena del Cid, Villafranca y en las inmediaciones de Beceite, sólo está presente el tramo inferior calizo.

En algunos sectores se observa un hard-ground que separa el Valanginiense del Haueriviense.

3.1.5 Haueriviense-Barremiense

Los materiales de esta edad están bien representados en numerosos sectores de la hoja, y presentan importantes variaciones de facies y potencias.

En la región de San Mateo-Morella-Montes de Vallivona, la potencia de la serie varía entre 400 m en San Mateo y unos 250 m en las proximidades de Morella. En este sector existe una de las series más completas que se han levantado, que consta de:

- Calizas con algunas intercalaciones de margas con gasterópodos (Haueriviense basal). Potencia de 40-60 m.
- Margas con equinodermos y gasterópodos (Haueriviense inferior). Potencia de 40 m.
- Calizas, a veces margosas (Haueriviense superior). Potencia de 15 a 20 m.
- Margas y margocalizas con gasterópodos (Barremiense inferior). Potencia comprendida entre 250 m en San Mateo y 100 m en las inmediaciones de Morella.
- Calizas con algunas intercalaciones margosas (Barremiense superior). Potencia de unos 50 m.

Hacia el S y SO la serie sufre una disminución progresiva de potencia hasta llegar a desaparecer, totalmente erosionada, en la región de Vistabella-Adzaneta-Desierto de Las Palmas. Vuelve a aparecer al Sur y Occidente de esta región, presentando características litológicas diferentes: el Haueriviense-Barremiense inferior se presenta en facies Weald, con una potencia media de 200 m; el Barremiense superior está constituido por unos 70-80 m de calizas con intercalaciones margosas y areniscosas, que en la zona de Chodos-Argelita-Lucena reciben el nombre de calizas negras de Lucena del Cid debido a su coloración.

En el Maestrazgo Septentrional se observa, asimismo, una reducción progresiva de la serie: en la región de la Cenia presenta unos 300 m de potencia, en las inmediaciones de Peñarroya de Tastavín 150 m y desaparece totalmente en las proximidades de Beceite. En el macizo de los Puertos de Beceite se observa un Haueriviense-Barremiense inferior, constituido por margas con algunas intercalaciones de calizas, que al Sur de Frejés-Norte de Cenia alcanzan 200 m de potencia; en el seno de esta formación se encuentran arcillas bauxíticas. El Barremiense superior, que está representado por calizas con intercalaciones margosas, alcanza una potencia de 100 m al Norte de la Cenia.

3.1.6 Aptense-Albense medio

Aptiense inferior (Bedouliense)

Se distingue en él tres tramos:

- Margas con algunos niveles arenosos. En el sector de Morella adquieren colores rojizos y verdosos, siendo denominado "Capas Rojas de Morella" (Bedouliense basal). La potencia es del orden de 30-60 m.
- Calizas micríticas beiges, bien estratificadas en bancos de 0,4 a 1 m de grosor, con algunos niveles de calizas oolíticas. Presenta intercalaciones de margas amarillentas (Bedouliense inferior). La potencia es de unos 60 m.
- Margas y margocalizas amarillentas con plicatulas y equinodermos, y algunos escasos niveles intercalados de caliza micrítica de tonos claros (Bedouliense superior). La potencia es de unos 50 m.

En la zona central del Maestrazgo el Bedouliense muestra una potencia media de 150 m, alcanzando su máximo desarrollo en el sector de Morella.

IIa. Hacia el Sur y Norte decrece progresivamente, reduciéndose a 50 m en la región de Villafranca-Albocacer para desaparecer totalmente en Vistabella-Benafigos.

Aptiense medio (Gargasiense)

Está constituido por un paquete de calizas con Toucasias y norbitolinas que en ciertos sectores presenta fenómenos de dolomitización, especialmente en Peñagolosa y en el Desierto de Las Palmas.

Su máxima potencia la alcanza en el Desierto Las Palmas (300 m), en el resto de la región su potencia es del orden de 150 m.

En el Maestrazgo septentrional la serie disminuye en potencia de Sur a Norte. En la Cenia-Convento de Benifasar está constituida por 100 m de dolomías, decrece posteriormente más al Norte hasta llegar a casi desaparecer en las inmediaciones de Beceite. En Bordón alcanza unos 70-100 m.

Aptiense superior-Albense inferior

Está compuesto por calizas esparcidas beiges, margas y margo-calizas amarillentas, calizas margosas y margas grises, con intercalaciones de areniscas rojas. Su potencia media está comprendida entre 60 y 100 m, aunque presenta variaciones importantes de espesor como las existentes en el sector de Vistabella-Benafigos-Adzaneta donde se reduce a unos 20 m y en las inmediaciones de Villafranca del Cid donde desaparece totalmente.

En el Maestrazgo Septentrional la serie Aptiense-Albense sufre una reducción progresiva de potencia de Sur a Norte, el Gargasiense superior-Albense inferior solo presenta unos 10-20 m de potencia en los Puertos de Beceite; en Bordón está más desarrollado llegando a alcanzar 60 m. En Villarluengo desaparece totalmente.

Albense medio

Está compuesto por arenas, areniscas y arcillas con mica. Su potencia media es de 50 m. En la región de la Jana-Traiguera-Uldecona se intercalan horizontes lignitosos en su seno.

En el Maestrazgo Septentrional las arenas y areniscas tienen potencias comprendidas entre 20 y 40 m. En Bordón y Villarluengo es similar, del orden de 30 m.

3.1.7 Albense Superior-Turonense

Las facies y potencias de los diferentes términos de la serie se mantienen sin cambios importantes en la hoja.

El Albense superior-Vraconiense (100-150 m) está constituido por una alternancia de margas y calizas con exóginas y ostreas.

El Cenomanense (70-100 m), fundamentalmente calizo, presenta un tramo inferior margoso en el macizo de Mosqueruela. En la región de Peñagolosa-Adzaneta está reducido a 20 m de potencia.

El Turonense (100 m) está representado por dolomías y calizas dolomíticas.

3.1.8 Senoniense

El Senoniense inferior y medio (100 m) está constituido por calizas de tonos gris claros y blanquecinos con abundantes miliolidos. En el macizo de Mosqueruela, la parte inferior del tramo tiene carácter brechoide, mientras que la superior es margosa.

El Senoniense superior (50 m) es fundamentalmente margoso y arcilloso.

3.1.9 Paleogeno

Está representado fundamentalmente en el ángulo Noroccidental de la hoja en la terminación meridional de la cuenca de Sierra Blanca.

La serie está constituida por un potente horizonte de conglomerados, areniscas, arcillas y margas, en la que es imposible toda estratigrafía detallada.

La potencia de esta formación es muy variable, dada su génesis y naturaleza, la máxima podría establecerse en 200-300 m.

Se apoya en discordancia erosiva sobre términos cretácicos. Son sedimentos de arrasamiento típicamente postorogénicos, aunque anteriores a la fase paroxística tangencial de la orogenia Alpina, con la que está implicada tectónicamente.

3.1.10 Neógeno

Mioceno

Se distinguen dos facies: conglomerática y margocaliza-caliza lacustre.

La facies conglomerática está representada por conglomerados, gravas y arenas, con gran heterometría de tamaño y grado de redondeamiento.

La facies caliza-margocaliza (lacustre), se sitúa encima y/o por cambio lateral de facies de los conglomerados. Está constituida por calizas y margocalizas (micritas y dismicritas arcillosas) con algunos niveles de conglomerados.

Plioceno

Está constituido por conglomerados y tobas calcáreas, la relación entre estos términos se efectúa mediante cambios de facies.

3.1.11 Cuaternario

Plio-Cuaternario

Está formado por conglomerados, margas, arcillas y arenas.

Los cantos son calizos, presentando gran heterometría, tanto en tamaño como en grado de redondeamiento.

Terrazas

Formadas por materiales muy mal clasificados, existiendo todos los tamaños intermedios, desde arcillas hasta bloques de más de 50 cm. La naturaleza de los cantos es eminentemente caliza.

Aluvial actual

Están formados por materiales muy mal clasificados, con tamaños variables de arcillas, hasta bloques de más de 50 cm. Los cantos son fundamentalmente calizos.

Cuaternario de playa

Materiales detríticos, eminentemente calizos, con gran heterometría de grano.

Pie de Monte

Alcanzan gran importancia en la hoja. Son potentes acumulaciones de

materiales detríticos, procedentes de una intensa abrasión de los relieves calizos cercanos.

Conos de deyección

Su composición es heterogénea con cantos calizos mal clasificados e importante cantidad de arcilla roja.

Llanuras deltaicas

Dentro de la llanura deltaica (Maldonado, A. y Riba, O. 1971) se distinguen el ambiente fluvial y el palustre. En el primero fundamentalmente se localizan limos y arenas finas depositadas por el río cuando una gran crecida de su caudal permite a éste sobrepasar los diques.

Los ambientes palustres están caracterizados por la existencia de sedimentos orgánicos. Se localiza también ambientes de barras y playas a lo largo de la costa de la llanura deltaica, en especial en los grandes "pontiers" o flechas de Puerto de los Alfaques. Estos últimos como resultado de una activa transferencia de sedimentos a lo largo de la línea de costa del delta, tienden a crecer hacia el O por medio de una continua anexión de barras en sus extremos Occidentales. El resultado final puede ser la tendencia al cierre del Puerto de los Alfaques.

3.2 TECTONICA

Dentro del sistema acúfero estudiado se pueden diferenciar desde el punto de vista tectónico, las siguientes zonas estructurales (Camerot, J., 1974).

- Zona central subtabular.
- Zona septentrional plegada.
- Zona oriental fallada.
- Zona meridional del Triás extrusivo.

La zona central subtabular está caracterizada por amplios anticlinales y sinclinales muy suaves de directriz ibérica y SO-NE. Hacia el Este la fracturación es más intensa, en transición progresiva hacia la zona oriental fallada. Hacia el NO las estructuras se multiplican y aprietan, indicando una transición a la zona septentrional plegada.

En la zona septentrional plegada los pliegues son muy numerosos y

presentan una orientación próxima a E-O. En el sector Noroccidental (Puertos de Beceite) la orientación dominante de las estructuras es N 60° E; numerosos pliegues fallados, generalmente volcados al NO, pasan por laminación de sus flancos a verdaderos cabalgamientos. Las estructuras se suavizan hacia el Sur.

La zona oriental fallada se caracteriza por su fragmentación en grandes compartimentos paralelos, merced a la acción de fallas verticales de orientación catalánide. Los compartimentos hundidos están llenos de materiales terciarios y cuaternarios, mientras que en los levantados afloran materiales mesozoicos. En el sector Sur-Occidental los bloques elevados presentan ligeras ondulaciones de orientación ibérica, que prolongan hacia el SE las estructuras de la zona central subtabular. En el sector Nororiental la dirección de los ejes de los suaves pliegues es NE-SO.

La zona meridional del Trías extrusivo presenta suaves pliegues anticlinales (Vistabella-Lucena del Cid y Argelita-Onda) y sinclinales (Peñagolosa-Useras-Alcora), de directriz ibérica, fragmentados en numerosos compartimentos por fallas verticales de orientación catalánide, fundamentalmente. Esta zona estructural se caracteriza por la tendencia del Muschelkalk y del Keuper a inyectarse en el eje de los anticlinales (Lucena, Villahermosa, Alcalá de la Selva).

4 HIDROGEOLOGIA DE LA HOJA

La Hoja Hidrogeológica 1:200.000 de Vinaroz está situada en su mayor parte en el Sistema Hidrogeológico núm. 55 (Maestrazgo) y el resto, dos pequeños sectores de los ángulos SO y SE, en el Sistema Hidrogeológico núm. 56 (Sierra del Espadán-Plana de Castellón).

A continuación se comentarán de forma sintetizada las principales características hidrogeológicas de las unidades que pertenecen parcial o totalmente a la hoja.

4.1 FORMACIONES PERMEABLES E IMPERMEABLES

4.1.1 Paleozoico

Se puede considerar como prácticamente impermeable.

4.1.2 Triásico

Buntsandstein

Las areniscas pueden presentar permeabilidad alta. Sin embargo, su interés hidrogeológico es muy exiguo por la reducida extensión y condiciones de afloramiento.

Muschelkalk

Al igual que el Buntsandstein, su interés hidrogeológico es escaso, aunque la permeabilidad de las dolomías puede ser alta.

Keuper

Los materiales de esta facies son impermeables y constituyen una barrera a la circulación del agua subterránea.

4.1.3 Jurásico

Constituye el nivel acuífero de mayor importancia dentro del sistema acuífero estudiado, hallándose presente en toda la región excepto en los reducidos sectores de afloramientos triásicos.

El Lías, de permeabilidad elevada por fracturación y carstificación, es el término jurásico de mayor interés hidrogeológico, a excepción de su parte superior margosa.

El Dogger también presenta permeabilidad alta por fracturación y carstificación.

El Oxfordiense superior-Kimmeridgiense inferior presenta permeabilidad variable, pues en los sectores en que está constituido por calizas micríticas tableadas con juntas margosas, su permeabilidad será baja mientras que cuando se presenta constituido por calizas dolomíticas y calizas, su permeabilidad puede ser alta.

El Kimmeridgiense superior es margoso en la zona central del Maestrazgo (Albocácer-San Mateo-Sierra de Irta), mientras que en el resto de la región es calizo. En el primer caso su permeabilidad es baja, mientras que en el segundo es alta por fracturación y carstificación.

El límite Kimmeridgiense-Portlandiense presenta permeabilidad alta por fracturación y carstificación.

4.1.4 Tránsito Jurásico-Cretácico

La permeabilidad de estos materiales es alta por fracturación y carstificación, a excepción del tramo medio margoso, que presenta permeabilidad media-baja.

4.1.5 Cretácico inferior

Puede considerarse en su conjunto como prácticamente impermeable, a excepción del Barremiense superior y Hauteriviense basal (calizo-margoso) que, de permeabilidad baja, pueden dar lugar a algún acuífero local. En la Sierra de Montsiá la serie es fundamentalmente caliza y puede constituir acuífero.

El Bedouliense, de permeabilidad baja, presenta tramos calizos en su parte inferior que pueden presentar permeabilidad media.

Las calizas (en algunos sectores dolomitizadas) del Gargasiense son de permeabilidad alta por fracturación y carstificación. Sin embargo, en el Maestrazgo, la reducida extensión de sus afloramientos y condiciones topográficas de los mismos dificulta las posibilidades de recarga.

En el macizo de Mosqueruela los afloramientos Gargasienses son más extensos y continuos, constituyendo otro nivel acuífero de importancia.

El Gargasiense superior y Albense inferior pueden considerarse como impermeables.

Las arenas y areniscas del Albense medio-superior presentan permeabilidad variable, según la proporción de arcillas que contengan.

4.1.6 Cretácico superior

Su permeabilidad es alta, a excepción del Albense superior-Vraconiense y Senonense superior que presenta permeabilidad baja.

En la mayoría de los afloramientos del Cretácico superior del Maestrazgo sólo están presentes el Albense superior-Vraconiense y el Cenomanense.

Por el contrario, en el macizo de Mosqueruela aparece la serie completa y con grandes extensiones de afloramiento. Ampliamente fracturado y carstificado constituye otro horizonte acuífero de gran importancia.

4.1.7 Terciario-Cuaternario

Los niveles de conglomerados, calizas travertínicas y arenas presentan permeabilidad alta por porosidad.

Las arcillas, limos y margas son prácticamente impermeables.

En las planas litorales se diferencian, desde el punto de vista hidrogeológico, dos formaciones: una superior compuesta por conglomerados, arenas y gravas con baja proporción de arcillas y otra inferior en donde la proporción de arcillas es muy considerable. La permeabilidad de la formación superior es alta por porosidad, mientras que la formación inferior es prácticamente impermeable.

4.2 UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

Dentro de la hoja de Vinaroz se distribuyen parcial o totalmente las siguientes unidades hidrogeológicas:

- Unidad de Oropesa-Torreblanca.
- Unidad de Vinaroz-Peñíscola.
- Subunidad de Javalambre.
- Subunidad del Maestrazgo.
- Unidad de Mosqueruela.

De todas ellas las que presentan actualmente mayor problemática son las costeras de Oropesa-Torreblanca y Vinaroz-Peñíscola, por las fuertes extracciones de agua subterránea que en ellas se realizan.

Por el contrario la subunidad del Maestrazgo, que constituye un embalse de gran potencialidad hidráulica está muy ligeramente explotada, por la tradicional dificultad técnica y económica de su captación.

A continuación se describirán resumidamente las principales características de cada una de estas unidades.

4.2.1 Unidad de Oropesa-Torreblanca

4.2.1.1 INTRODUCCION

La Plana de Oropesa-Torreblanca es asiento de una intensa actividad agrícola cuya demanda hídrica es satisfecha, en su mayor parte, mediante la explotación del acuífero detrítico allí existente en una cuantía que supera ampliamente los recursos disponibles. Ello ha originado la aparición de fenómenos de intrusión salina que constituyen un grave peligro para la integridad del acuífero.

La Plana como su nombre indica se trata de una extensa llanura costera, enmarcada hacia el interior por los relieves montañosos de las estribaciones

orientales del Maestrazgo que se extiende paralela al litoral y en dirección NNE-SSO, con una longitud de 21 km, una anchura comprendida entre 2,5 y 6 km y una superficie de 90 km².

El clima es típicamente mediterráneo, con una temperatura media anual de 16º C y valores extremos de 9º C y 26º C en los meses de enero y agosto respectivamente.

La precipitación media anual es de 400 mm/año.

No existe ningún curso de agua permanente. Unicamente cabe citar el río San Miguel, de 505 km² de cuenca receptora y las ramblas de Ameler y Chinchilla, que únicamente presentan escorrentía inmediatamente después de un régimen de lluvias prolongado.

En ninguno de los casos hay relación biunívoca río-acuífero al situarse los cauces de aquellos muy por encima del nivel piezométrico regional.

4.2.1.2 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

Consiste en un extenso campo de derrame de origen árido, donde se puede distinguir una llanura costera sensiblemente horizontal y una rampa de erosión que se extiende hasta los bordes de los macizos montañosos periféricos, penetrando en ellos, a veces de manera importante.

El origen de la misma es fundamentalmente tectónico con evidentes retoques erosivos. Se trata del relleno de una depresión tectónica litoral ocurrida en diferentes fases: en una primera fase miocena, coincidiendo con el hundimiento de la costa, se produjo la sedimentación de materiales margos-arcillosos; posteriormente y después de un periodo de erosión, se produjo un nuevo relleno, esta vez de fanglomerados y depósitos fluviotorrencales relativamente modernos los cuales constituyen el soporte del acuífero detrítico existente. La litología de éstos, consiste en conglomerados brechoides, heterogéneos y heterométricos, alternantes con lentejones difusos de arenas gruesas, limos y arcillas, encima de los cuales se encuentran depósitos recientes, tales como conos de deyección, coluviones, aluviones de cauces de ramblas, dunas costeras, depósitos de marjales y turberas, estas últimas muy desarrolladas en la zona de Torrenostra.

En conjunto, pues, la secuencia litológica postorogénica es como sigue:

- Margas y arcillas con eventuales intercalaciones conglomeráticas y calizas

Esta formación juega el papel de sustrato impermeable del acuífero de-

trítico y su espesor varía entre 0 m en el límite occidental de la plana y 100 m en un área localizada a cuatro kilómetros al Norte de Oropesa.

- Conglomerados con intercalaciones de gravas, arenas, limos y arcillas, coronados por depósitos detríticos recientes

Estos materiales constituyen el soporte del acuífero detrítico. Su espesor crece paulatinamente hacia la costa, alcanzando una potencia máxima de 85 m en las inmediaciones de la desembocadura del río San Miguel y Chinchilla.

El espesor saturado disminuye de manera apreciable hacia el interior.

La anchura máxima del acuífero se presenta en las inmediaciones del río San Miguel con 6 km. La mínima, a la altura de la marjalería de Torrenostra.

4.2.1.3 CARACTERISTICAS DE LOS LIMITES

Las características en el contorno, íntimamente ligadas a la litología de los materiales con los que entran en contacto, estructura de los mismos y posición del sustrato impermeable en relación con el nivel piezométrico, son los siguientes:

- Límite Septentrional

El acuífero detrítico entra en contacto con materiales acuíferos de la Sierra de Irtá, constituidos fundamentalmente por 130 m de calizas gargasianas, y 230 m de dolomías portlandienses, estas últimas restringidas a la rambla de Ameler. Tanto la estructura de los materiales como su litología es adecuada para que en esta zona se produzcan buena parte de la alimentación lateral a la Plana.

- Límite Occidental

A lo largo de este límite el acuífero detrítico entra en contacto con calizas masivas gargasianas, de espesor creciente hacia el Sur. Unicamente en las inmediaciones del Barranco de Chinchilla y río San Miguel, la comunicación entre esos materiales está impedida al emerger el sustrato impermeable por encima del nivel piezométrico.

En cualquier caso, la estructura patente en los afloramientos mesozoicos del interior no es tan favorable para la alimentación como en el caso

anterior. En ellos los materiales gargasienses se disponen a modo de monoclinales buzantes en dirección NW, opuesta al flujo y con el sustrato impermeable emergiendo localmente por encima del nivel piezométrico en condiciones poco aptas para la circulación.

— Límite Meridional

En esta zona el acuífero mesozoico está constituido igualmente por calizas gargasienses de más de 200 m de potencia, que entran en contacto con los materiales detríticos de la Plana sin que exista más impedimento para la alimentación lateral que los derivados de la escasa área de alimentación de la Sierra de Oropesa y su imposibilidad de recibir recursos provenientes de zonas más interiores, a causa de la barrera hidráulica que suponen los afloramientos triásicos y paleozoicos allí existentes. La alimentación en esta zona es por tal motivo muy restringida.

4.2.1.4 CARACTERISTICAS HIDRAULICAS

Transmisividad

Las transmisividades obtenidas indican valores que oscilan entre 2.500 y 100 m²/día, estando la mayoría de ellos comprendidos entre 1.000 y 300 m²/día.

Las zonas más transmisivas se sitúan en las inmediaciones del río San Miguel, carretera a Cabanes y Sur de Torreblanca ($T = 1.000 \text{ m}^2/\text{día}$).

Las menos transmisivas en las inmediaciones de Oropesa y marjalería de Torrenostra ($T = 250 \text{ m}^2/\text{día}$).

Coeficiente de Almacenamiento

Los valores más frecuentes oscilan entre el 2 y el 12 por ciento, situándose los más altos en las inmediaciones del río San Miguel al Este de Torreblanca, y Barranco de Chinchilla y los inferiores en la marjalería de Torrenostra e inmediaciones de Oropesa.

4.2.1.5 FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

Profundidad del agua subterránea

La profundidad de la capa varía notablemente en función de la topogra-

fía. A lo largo de la Plana se distinguen tres zonas bien diferenciadas: en las inmediaciones del río San Miguel donde se alcanzan rápidamente profundidades superiores a 10 m, la zona central, ocupada por la marjalería, en ella la profundidad es inferior a 1 m, y la zona comprendida entre la marjalería y Oropesa, a 1 km de la costa, donde la capa se sitúa a 5 m de profundidad.

Hacia el interior la superficie piezométrica se sitúa a profundidad creciente debido tanto a la existencia de zonas deprimidas por sobreexplotación (Barranco de Chinchilla y Este de Torreblanca) como a consecuencia de la elevación topográfica, alcanzándose profundidades que oscilan alrededor de 40 m en los bordes calizos.

Movimiento del agua subterránea

La forma de la capa pone, pues, de manifiesto sendas zonas deprimidas por debajo del nivel del mar, separadas a modo de umbral por el área desurgencia que representa la marjalería. Ello hace que la escorrentía se efectúe en dirección NW-SE en la zona central y extremo septentrional de la plana; en dirección N-S hacia la Depresión de Oropesa (no es posible aportes provenientes del Este al ser este límite impermeable), y en dirección W-E y NE-SW hacia la Depresión de Torreblanca.

Las inversiones de flujo son igualmente importantes en las zonas deprimidas aludidas, con entradas de agua del mar según la dirección general SE-NE.

Variaciones del nivel piezométrico

Las oscilaciones estacionales de la piezometría varían entre 0,25 y 0,5 m en las proximidades de la costa; y 1,5 a 2,5 m en los bordes interiores de la plana y en las zonas sobreexplotadas del Barranco de Chinchilla y Este de Torreblanca. Amplitudes superiores, generalmente comprendidas entre 2,5 y 5 m suelen estar relacionadas con el acuífero calizo del borde.

La evolución es descendente en los meses de Junio a Octubre y ascendente entre Noviembre y Mayo.

A escala hiperanual es patente una continuada tendencia descendente de los niveles piezométricos desde que en 1974 se iniciara el control de los mismos. La cuantía de descenso es de 0,5 - 1 m en los bordes de las Sierras de Oropesa y Los Santos; entre 1 y 3 m en los límites con el macizo de Torreblanca y Sierra de Irta; e inferior a 0,5 m en la línea de costa.

Caudales de descarga

Independientemente de la transferencia lateral al mar, y de manera esporádica y localizada a los acuíferos calizos de borde, el principal punto de descarga lo constituye la marjalería de Torrenostra, drenada por un conjunto de cinco acequias que confluyen en la gola del Trenc y por el denominado canal Norte, en la gola de la Guardia Civil.

Los datos de control disponibles indican caudales de emergencias variables entre 120 y 430 l/s, según las diferentes épocas del año, con un caudal medio de 240 l/s. A partir de 1979, el funcionamiento de la marjalería se ha hecho discontinuo, con un caudal medio estimado mediante aforos del orden de 50 l/s.

4.2.1.6 BALANCE MEDIO

El balance hidráulico medio del acuífero detrítico de la Plana de Oropesa-Torreblanca se define en base a los siguientes términos según los resultados obtenidos del modelo matemático realizado para el periodo Octubre 1979 - Septiembre 1980.

Entradas	hm ³ /año
Alimentación lateral de los acuíferos calizos de borde	2,4
Infiltración de los excedentes de regadíos	14,4
Infiltración directa de lluvia	5,1
Total	21,9
Salidas	hm ³ /año
Descarga por emergencia	1,6
Bombeos brutos	18,6
Descarga subterránea al mar	2,1
Total	22,3

4.2.2 Unidad de Vinaroz-Peñíscola

4.2.2.1 INTRODUCCION

La Plana de Vinaroz-Peñíscola es asiento de una intensa actividad agrícola, cuya demanda hídrica se satisface mediante la explotación de los acuíferos detrítico superficial y calizo profundo existentes. La extracción de agua subterránea del acuífero detrítico, en cuantía superior a sus recursos; ha originado el descenso de la superficie piezométrica con la consiguiente aparición de fenómenos de intrusión salina que, constituyen un grave peligro para la integridad del acuífero. Aun cuando en el acuífero calizo no se han detectado, hasta el momento, problemas importantes de intrusión salina, es necesario ejercer una labor de control de su explotación a fin de evitar la contaminación del agua subterránea.

Ocupa una extensión superficial de unos 120 km² y corresponde al área adyacente al Mediterráneo entre las localidades de Peñíscola y Alcanar, en la provincia de Castellón. Al Norte limita con la Sierra de Montsiá, al Sur con las Sierras de Irtá y Valdancha, al Este con el Mar Mediterráneo y al Oeste con la Plana de la Cenia-Tortosa por medio de los afloramientos cretácicos que aparecen entre Calig y Alcanar.

El clima es de tipo mediterráneo litoral, con una temperatura media anual de 17° C y poca amplitud en sus oscilaciones, con valores altos de la relativa. La precipitación media anual es del orden de 500 mm.

Los principales ríos de la plana son: Cenia, Barranco de la Barbiguera, Servol, Barranco de Agua Oliva, Seco y Alcalá; ninguno de ellos presenta curso permanente de agua, permaneciendo en seco durante su recorrido por la plana excepto en épocas de régimen de lluvias prolongado.

4.2.2.2 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

La plana de Vinaroz-Peñíscola consiste en un extenso campo de derrame fluviotorrencial, de origen árido, cuya génesis es fundamentalmente tectónica con evidentes retoques erosivos. Se trata del relleno continental de una depresión tectónica ocurrida en diferentes fases: en una primera fase miocena, coincidiendo con el hundimiento de la costa, se produjo la sedimentación de materiales margosos y arcillosos; posteriormente, y tras un periodo erosivo, un nuevo hundimiento coincidió con nuevos aportes, esta vez de depósitos fluviotorrenciales modernos.

En conjunto, pues, se diferencian tres niveles:

- Formación detrítica superior.
- Formación margoarcillosa intermedia.
- Sustrato calizo profundo.

La formación superior corresponde al acuífero detrítico miocuaternario, que está constituido por arenas, gravas y conglomerados con proporción escasa de arcillas. El espesor oscila entre 0-25 m en la mitad meridional del borde occidental y valores de 100-125 m en las inmediaciones de Vinaroz y sectores nororientales. En las zonas próximas a los bordes del relleno detrítico disminuye, existiendo sectores en los que el espesor saturado es nulo, bien porque desaparece el depósito detrítico, bien porque su muro se encuentra por encima de la superficie piezométrica. La cota del muro desciende desde los bordes hacia la costa, alcanzándose valores superiores a -100 m en el sector septentrional de la plana. Entre el SO de Benicarló y Vinaroz se aprecia una zona alargada a modo de valle y ligeramente paralela al litoral, en la que el muro del acuífero se encuentra más deprimido que en su entorno, alcanzándose valores mínimos de -75 m.

La formación intermedia corresponde al conjunto mioceno, fundamentalmente arcilloso, que separa el acuífero detrítico miocuaternario del sustrato acuífero calizo mesozoico. Está constituida esencialmente por arcillas y margas con escasa proporción de arenas y gravas. El espesor aumenta desde 0 m en los bordes de los macizos circundantes a valores próximos a 250 m en las inmediaciones de Vinaroz; el espesor medio es del orden de 150-200 m.

El sustrato profundo corresponde al acuífero calizo mesozoico, que está constituido por calizas probablemente de edad jurásica en la zona sur de la Plana, y de edad cretácica al norte. La profundidad a que se encuentra esta formación aumenta desde los bordes (25-50 m) hasta las inmediaciones de Vinaroz (350-400 m).

4.2.2.3 CARACTERISTICAS DE LOS LIMITES

La unidad de la Plana de Vinaroz-Peñíscola limita el Norte con la Sierra de Montsiá, al Sur con las Sierras de Irta y Valdancha, al Oeste con la Plana de la Cenia-Tortosa y al Este con el Mediterráneo.

Las características en los límites se encuentran íntimamente ligadas a la litología de los mismos y posición del sustrato impermeable en relación con el nivel piezométrico.

A continuación se relatan, para cada uno de los acuíferos que componen la Plana de Vinaroz-Peñíscola, las características de estos límites.

Acuífero detrítico miocuaternario

– Límite septentrional

Se diferencian dos sectores: en el más cercano a la costa y perpendicular a la misma no existe comunicación hidráulica entre el acuífero y los materiales de borde, al ser la dirección del flujo subterráneo prácticamente paralela al límite de la subunidad. En el otro sector, las calizas cretácicas de la Sierra de Montsiá se ponen lateralmente en contacto con el acuífero detrítico de la Plana, produciéndose alimentación lateral del mismo a partir de las calizas de Montsiá.

– Límite meridional y suroccidental

En los bordes de las Sierras de Irta y Valdancha no existe alimentación a la Plana, pues el acuífero detrítico se encuentra desconectado de los materiales carbonatados de dichos macizos por medio de la formación arcillosa miocena, que se sitúa por encima del nivel piezométrico. En el sector comprendido entre ambas sierras los depósitos detríticos de la Plana contactan con los de la depresión de Santa Magdalena de Pulpis, produciéndose una alimentación lateral muy débil como consecuencia de la reducida dimensión de dicha depresión.

– Límite occidental

En el sector occidental, entre Calig y Alcanar, la Plana de Vinaroz-Peñíscola limita con la de Cenia-Tortosa, constituida esta última por materiales detríticos terciario-cuaternarios de baja permeabilidad. Por esta razón, y a pesar de la amplia extensión superficial de la Plana Cenia-Tortosa, el flujo de agua que aporta lateralmente a la Plana de Vinaroz-Peñíscola debe ser reducido.

Acuífero calizo mesozoico

– Límites septentrional y meridional

Se considera que no existe flujo de agua a través de estos límites, pues en ellos, las curvas isopiezas son aproximadamente perpendiculares a los mismos y por tanto sin posibilidad de entrada o salida de agua.

— Límite occidental

A través de él existe alimentación lateral a la Plana, procedente del resto del acuífero carbonatado mesozoico del Maestrazgo que se sitúa fuera de los límites de la Plana de Vinaroz-Peñíscola.

4.2.2.4 CARACTERISTICAS HIDRAULICAS

Transmisividad

— Acuífero detrítico miocuaternario

Las transmisividades varían entre valores inferiores a $250 \text{ m}^2/\text{día}$, en las zonas de borde de las sierras de Irtá y Montsiá, así como en el sector occidental de la Plana y en las inmediaciones del río Seco, y valores comprendidos entre 500 y $1.200 \text{ m}^2/\text{día}$ en las zonas de mayor espesor saturado, que corresponden a la alineación Sur de Alcanar-Norte de Vinaroz-Suroeste de Benicarló. En la mayor parte de la Plana la transmisividad está comprendida entre 300 y $1.000 \text{ m}^2/\text{día}$.

— Acuífero calizo mesozoico

Los valores de transmisividad, estimados para la realización del modelo del año 1973-1974 a partir de: ensayos de bombeo, características litoestratigráficas y caudales específicos, son los siguientes:

$\text{m}^2/\text{día}$

Calizas jurásicas	4.000
Calizas aptenses	2.000
Calizas del Cretácico inferior	1.000

Coeficiente de almacenamiento

— Acuífero detrítico miocuaternario

El coeficiente de almacenamiento alcanza los máximos valores (entre el 10 y el 15 por ciento) al norte de Vinaroz y entre Benicarló y Peñíscola; los valores mínimos (inferiores al 5 por ciento) se localizan en el sector occidental de la plana y al Sur de Vinaroz; en el resto de la plana están comprendidos entre el 5 y el 10 por ciento.

— Acuífero calizo mesozoico

Se le supone un coeficiente de almacenamiento uniforme de 10^{-3} , que fué el utilizado con éxito en el modelo matemático de 1973-1974.

Drenaje diferido

A través de la formación arcillosa intermedia que se sitúa entre el acuífero detrítico superior y el calizo profundo, se puede establecer comunicación hidráulica entre ambos acuíferos, si bien no se dispone actualmente de suficientes datos que permitan conocer con precisión este fenómeno.

4.2.2.5 FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

Profundidad del agua subterránea

— Acuífero detrítico

La profundidad de la capa aumenta en sentido E a O, como consecuencia de la elevación topográfica de la superficie del terreno; el valor mínimo se alcanza en una estrecha banda litoral de 1-2 km de anchura, en la cual la profundidad es inferior a 10 m, mientras que en el sector del borde occidental las profundidades superan los 50 m. En la mayor parte de la Plana los valores están comprendidos entre 10 y 50 m.

— Acuífero calizo

Al igual que en el acuífero detrítico, la profundidad de capa aumenta desde la zona litoral hacia el borde occidental, con valores muy similares a los del acuífero detrítico, si bien algo inferiores.

Movimiento del agua subterránea

— Acuífero detrítico

El sentido general de circulación de las aguas subterráneas es de NO a SE, excepto en las dos zonas situadas entre Vinaroz y Alcanar y en las proximidades de Benicarló en las cuales el gradiente llega a invertirse hacia el interior, con entradas de agua del mar según la dirección general SE a NO.

— Acuífero calizo

El sentido general de la circulación de las aguas subterráneas es de NO a SE, salvo ligeras modificaciones de carácter local. El gradiente hidráulico medio está comprendido entre el 1 por mil y el 2 por mil.

Variaciones del nivel piezométrico

— Acuífero detrítico

Las variaciones estacionales del nivel oscilan entre 0,25-0,50 m en las proximidades de la costa y 1-2 m en el sector occidental de la Plana. Las amplitudes máximas, ligeramente superiores a 2 m, se presentan en pozos próximos a los bordes, donde el coeficiente de almacenamiento del acuífero es menor.

En general, la evolución es descendente en los meses de Junio a Noviembre y ascendente entre Noviembre y Junio.

Desde que en 1974 se inicia el control piezométrico del acuífero se observa, a escala hiperanual, una clara tendencia descendente de la capa con valores acumulados de 1 m a una distancia de la costa de 0,5-1 km y de 3 m en el sector occidental, a excepción del periodo 1976-1978 en que se observa una importante recuperación de los niveles. Este descenso ha sido producido por la disminución considerable de la pluviosidad y aumento de la extracción de agua, durante dicho periodo de tiempo.

— Acuífero calizo

Las oscilaciones estacionales del nivel son del orden de 2-3 m en la zona en la que se dispone de control, es decir, en los sectores occidental y suroccidental de la Plana.

En general, se observa un ascenso de nivel entre los meses de Noviembre y Junio, y un descenso desde el mes de Junio hasta el de Octubre-Noviembre.

A escala hiperanual, desde el año 1974, la tendencia evolutiva de la capa es netamente descendente, pues se han llegado a alcanzar valores de hasta 6 m de descenso acumulado, a excepción del periodo 1976-1978 en que los niveles experimentaron una acusada recuperación. El descenso tiene por origen las mismas causas indicadas para el acuífero detrítico.

4.2.2.6 BALANCE

A continuación se detalla el balance hidráulico estimado para el periodo Octubre 1979-Septiembre 1980 obtenido a partir de simulación mediante modelo matemático en régimen transitorio, para cada uno de los acuíferos que constituyen la Plana de Vinaroz-Peñaflor.

— Acuífero detrítico

Entradas	hm ³ /año
Alimentación lateral de los acuíferos calizos de borde	10,0
Infiltración de lluvia	0,3
Infiltración de excedentes de riego	17,2
Total	27,5
Salidas	hm ³ /año
Descarga subterránea al mar	0,6
Bombeo bruto	34,5
Alimentación diferida al nivel calizo infrayacente	3,2
Total	38,3

— Acuífero calizo

Entradas	hm ³ /año
Entradas laterales	39,0
Infiltración de lluvia	1,3
Alimentación diferida del acuífero detrítico suprayacente	3,2
Total	43,5

Salidas	hm ³ /año
Descarga subterránea al mar	26,7
Bombeos brutos	15,4
Total	42,1

4.2.3 Unidad de Mosqueruela

Aunque solamente la parte occidental de esta unidad entra dentro de la hoja de Vinaroz, se describirá íntegramente con el fin de facilitar la comprensión de sus características hidrogeológicas.

4.2.3.1 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS Y LIMITES DE LA UNIDAD

La Unidad Hidrogeológica de Mosqueruela ocupa una extensión superficial de unos 2.300 km² y está constituida por materiales de edades comprendidas entre el Haueriviense y el Maestrichtiense.

El límite de esta Unidad viene definido, en el sector occidental, por las margas y arcillas de facies Weald (potencia media 200 m), y por las margas y margocalizas del Haueriviense-Barremiense inferior en el sector oriental (potencia media, 100-200 m).

Estos materiales desconectan hidráulicamente la Unidad de Mosqueruela de la del Javalambre-Maestrazgo. No obstante, en la región de Vistabella del Maestrazgo es probable que exista conexión hidráulica entre ambas, porque las calizas aptenses se ponen directamente en contacto con los materiales carbonatados del Jurásico, al haber sido erosionado el Haueriviense-Barremiense.

Los acuíferos están constituidos por los materiales carbonatados del Gargasiense y por los del Cenomanense-Senonense inferior. La potencia media del Gargasiense es de unos 100 m; el Cenomanense-Senonense inferior, alcanza espesores medios del orden de los 200 m.

Estos dos niveles permeables se encuentran separados por materiales margosos y arenosos, de baja permeabilidad, del Gargasiense Superior-Albense, cuya potencia media es de unos 250-300 m.

Por consiguiente, existen dos niveles acuíferos desconectados entre sí, aunque, en algunos sectores, la existencia de numerosas fracturas con desplazamientos verticales de unos bloques con respecto a otros puede provocar la comunicación hidráulica entre estos niveles permeables y comportarse como un único acuífero.

Las intercalaciones calizas del Haueriviense, Barremiense y Bedoulienense pueden dar lugar a pequeños acuíferos de carácter local.

Son muy escasos los puntos acuíferos representativos que permitan establecer con claridad las características de la superficie piezométrica de esta unidad. A pesar de ello se podría, con cierto rigor para el acuífero del Cretácico Superior (Cenomanense-Senonense inferior), establecer una divi-

soria piezométrica, de tal modo que al Norte de la misma la circulación subterránea del agua se dirigiría hacia el Norte, oscilando la cota del nivel del agua entre unos 1.500 y 1.000 m. Al Sur de la divisoria, el sentido de la circulación del agua sería hacia el SE, variando la cota de la superficie piezométrica comprendidos entre 1.500 y 900 m. En la región meridional, la circulación subterránea del agua se produciría hacia el SE, con cotas para la superficie piezométrica que descenderían desde unos 1.500 a 400 m, en el extremo Sur-Oriental.

4.2.3.2 FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

Como ya se ha expuesto en el epígrafe anterior, dentro de la Unidad de Mosqueruela se pueden diferenciar dos acuíferos: el constituido por el Cretácico medio (Gargasiense) y el constituido por el Cretácico superior (Cenomanense-Senonense inferior).

Aunque ambos se encuentran separados por materiales poco permeables del Gargasiense superior-Albense, es probable que en algunos sectores, como en el caso de la región situada al sur de Villafranca del Cid, se produzca comunicación hidráulica entre ambos como consecuencia de la existencia de numerosas fracturas que, al producir desplazamientos verticales de bloques, ponen en contacto ambos acuíferos.

La alimentación de la unidad proviene de la infiltración del agua de lluvia en sus 2.300 km² de superficie aflorante. Su cuantía se ha estimado para el periodo 1948-1963 en 200 hm³/año de valor medio.

La descarga se produce del modo siguiente:

- Cuenca del río Guadalupe: a través del manantial de Pitarque (30 hm³/año) y de otros diseminados a lo largo del cauce del río (30 hm³/año).

- Río Villahermosa: a través de los manantiales de Cimorreta, Galet, Tosca y Estrecho (3 hm³/año).

- Por manantiales dispersos por la Unidad, la descarga media global es de 5 hm³/año, siendo los más importantes los de Fuente Lozana, los Caños, Huertas, Nacimiento del río Cantavieja y Nacimiento del río Mijares.

- Por alimentación diferida a los materiales carbonatados del Jurásico de la Subunidad del Maestrazgo, en el amplio sector que inscribe a Vistabella del Maestrazgo. En dicho sector las calizas aptenses se ponen prácticamente en contacto con los materiales de Jurásico al haber sido erosionado el Haueriviense-Barremiense o tener poco espesor. La cuantía de esta salida se estima del orden de 120 hm³/año.

4.2.4 Subunidad del Maestrazgo

Está prácticamente integrada en la hoja, excepto un reducido sector de su parte septentrional

4.2.4.1 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS Y LIMITES DE LA SUBUNIDAD

La Subunidad Hidrogeológica del Maestrazgo ocupa una extensión superficial de 6.600 km² y está constituida por materiales de edades comprendidas entre el Paleozoico y el Cuaternario.

El límite septentrional viene definido por los materiales detríticos de la Cuenca del Ebro. El límite occidental lo constituye la alineación de afloramientos triásicos que se extienden desde Alcora hasta el SO de Alíaga que posiblemente desconcretan hidráulicamente esta subunidad de la del Javalambre; entre Villahermosa del Río y Alcalá de la Selva, este límite es hipotético, pues no aflora el Keuper. El límite meridional está constituido por los materiales paleozoicos y triásicos, que se extienden desde las inmediaciones de Benicasim hasta el sur de Villafamés. El límite oriental viene definido por los sedimentos detríticos terciario-cuaternarios, que constituyen las Planas litorales de Oropesa-Torreblanca y Vinaroz-Peñíscola.

Los materiales que constituyen acuífero son las calizas y dolomías del Jurásico, tránsito Jurásico-Cretácico y Gargasiense. Las intercalaciones calizas del Haueriviense, Barremiense y Bedouliense pueden constituir pequeños acuíferos de carácter local.

Existen, por consiguiente, dos niveles acuíferos importantes en el Maestrazgo: uno superior de edad Gargasiense, que presenta una potencia media del orden de los 150 m, y uno inferior de edad Jurásico-Cretácico basal, que presenta una potencia media del orden de los 600-700 m.

Ambos niveles se encuentran separados por materiales fundamentalmente margosos del Haueriviense-Bedouliense, que adquieren un espesor medio de unos 200-400 m.

Las posibilidades de almacenamiento de agua en el acuífero Gargasiense no son elevadas debido a la reducida extensión de los afloramientos del mismo. Por esta razón, el acuífero que realmente presenta interés en la Subunidad del Maestrazgo es el constituido por los materiales carbonatados del Jurásico-Cretácico basal. Los niveles margosos intercalados en el seno del mismo no es probable que independicen diversos acuíferos, pues el plegamiento e intensa fracturación provocaría la conexión hidráulica entre los diferentes tramos carbonatados.

El muro impermeable de la Subunidad Hidrogeológica del Maestrazgo está formado por las margas y arcillas triásicas.

De igual modo que en el caso anterior no existen prácticamente puntos de agua que sean representativos del nivel regional. Los escasos sondeos que han llegado a este nivel se sitúan en las proximidades de la costa y ponen en evidencia que el gradiente de la superficie piezométrica es del orden del 3-5 por mil, ésto, que es lógico si se considera la gran potencia de los materiales permeables de la Subunidad, hace que la profundidad del agua sea muy elevada a pocos kilómetros del litoral como consecuencia de la topografía y dificulta enormemente su investigación y explotación, ya que sólo a distancias de la costa de 15 km, Valle de Benlloch-Canent Lo Roig, la profundidad mínima del nivel saturado está comprendida entre 350 y 400 m.

4.2.4.2 FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

La alimentación de la Subunidad estimada en 600 hm³/año, procede de la infiltración del agua de lluvia y de los posibles aportes laterales de la Subunidad del Javalambre y de la Unidad de Mosqueruela.

La descarga se produce por:

– Cuenca del río Guadalupe: 10 hm³/año en el tramo del cauce del río Guadalupe, comprendido entre Montoro y Santolea.

5 hm³/año al río Bordón, aportados fundamentalmente por las fuentes del Focimo y Ermita de la Virgen (100 l/s).

– Cuenca del río Bergantes: 19 hm³/año: Parte importante de esta aportación se produce por la Font Calent (250 l/s).

– Cuenca del río Matarraña: la descarga se efectúa a través de los cauces de los ríos Tastavins (19 hm³/año), Pena (7 hm³/año) y Matarraña (15 hm³/año).

Parte importante de la descarga de este último río se efectúa por el Manantial de Matarraña (250 l/s).

– Río Algás y Canaleta: 19 hm³/año.

– Río Cenia. Desde su nacimiento en los Puertos de Beceite hasta las proximidades de la Cenia, recibe aportaciones de numerosos manantiales (Rosegador: 25 l/s; San Pedro: 20 l/s, etc.), que junto con el drenaje a través del cauce del río, supone una aportación total de unos 12 hm³/año.

A partir de la Cenia el caudal disminuye rápidamente, hasta terminar por infiltrarse totalmente.

- Río de Lucena: La descarga es de $1 \text{ hm}^3/\text{año}$, que proviene esencialmente del manantial que origina dicho río (25 l/s).
- Alimentación lateral a la Plana de Oropesa-Torreblanca: $2,4 \text{ hm}^3/\text{año}$.
- Alimentación lateral a la Plana de Vinaroz-Peñíscola: $50 \text{ hm}^3/\text{año}$.
- Alimentación de la Plana Cenia-Tortosa: $120 \text{ hm}^3/\text{año}$.
- Descarga al mar a través de la Sierra de Irtá: $240 \text{ hm}^3/\text{año}$. Parte importante de esta descarga se concentra en los manantiales de Alcocebre (1.500 l/s), Badúm (2.500 l/s) y Prat de Peñíscola (1.500 l/s).
- Descarga al mar a través de la Sierra de Montsiá: $45 \text{ hm}^3/\text{año}$. Parte de esta descarga se observa en varios manantiales de la costa entre San Carlos de la Rápita y Alcanar.

4.2.5 Subunidad de Javalambre

En la hoja sólo ocupa un pequeño sector situado en el ángulo suroccidental, pero para la mejor comprensión de sus características hidrogeológicas se describirá íntegramente.

4.2.5.1 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS Y LIMITES DE LA SUBUNIDAD

La Subunidad Hidrogeológica de Javalambre tiene una extensión superficial de 2.400 km^2 y está compuesta fundamentalmente por materiales de edad correspondiente al Jurásico.

El acuífero lo constituyen las calizas y dolomías del Jurásico, en especial el Jurásico Inferior y Medio. La potencia de estos materiales es de unos 500-700 m. Aunque existen tramos margosos de baja permeabilidad, intercalados en la serie jurásica, los plegamientos e importante fracturación pueden hacer posible la comunicación hidráulica entre todos los materiales, de modo que a escala global se puede considerar como un sólo acuífero.

En el sector occidental, entre Arcos de Salinas y Camarena de la Sierra,

parece existir una barrera a la circulación de las aguas subterráneas formada por materiales del Keuper. Se independiza, de este modo, un pequeño sector acuífero, cuyo drenaje tiene lugar en las inmediaciones de Santa Cruz de Moya.

El muro impermeable de la Subunidad de Javalambre lo constituyen los materiales margosos del Keuper.

A pesar de no ser numerosos los puntos acuíferos representativos, se podría establecer una divisoria piezométrica principal aproximadamente N-S, de tal modo que en la región oriental, la circulación subterránea del agua se produciría hacia el S y SE, mientras que en la occidental la cota de la superficie piezométrica descendería desde unos 1.200 m en el sector septentrional hasta valores cercanos al nivel del mar en el sector oriental.

En la región occidental estos valores oscilarían entre unos 1.200 m en el sector centro-septentrional y unos 700 m en el extremo sur-occidental de la Subunidad.

4.2.5.2 FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

La alimentación de la Subunidad procede fundamentalmente de la infiltración del agua de lluvia. Se estima en $225 \text{ hm}^3/\text{año}$.

La descarga se produce del modo siguiente:

- Cuenca del río Alfambra ($15 \text{ hm}^3/\text{año}$): el acuífero es drenado a través del cauce del río y por numerosos manantiales (Badillo, Cañada, Regayo y otros de menor importancia).
- Cuenca del río Mijares ($140 \text{ hm}^3/\text{año}$): la descarga principal tiene lugar por los manantiales de la Escaleruela, Babor, Mas Royo y otros de menor importancia (Montanejos, Nogueras, Parral, Ignacios y Pozo Negro, Cañizarejos y Hocino), así como por la descarga del acuífero a través del cauce del río Mijares.
- Alimentación a la Plana de Castellón ($70 \text{ hm}^3/\text{año}$).

5 CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS. PROBLEMAS DE CONTAMINACION.

5.1 CALIDAD NATURAL

Las características químicas de las aguas subterráneas están relacionadas con las de los materiales que las albergan.

De este modo las aguas de la Unidad de Mosqueruela son de facies

bicarbonatada magnésica, las de las Subunidades de Javalambre y Maestrazgo bicarbonatadas cárnicas y las de Oropesa-Torreblanca y Vinaroz-Peñaíscola bicarbonatadas cárnicas, evolucionando en las proximidades del litoral, hacia cloruradas sódicas.

No obstante, hay que indicar que la calidad de estas aguas actualmente está degradada, en áreas concretas, por fenómenos de intrusión marina, y por efecto de las prácticas agrícolas.

La clasificación de las aguas, en función de los iones principales, para las distintas unidades hidrogeológicas se indica en el cuadro adjunto. En él también se señalan los intervalos de variación de los parámetros utilizados como indicadores de calidad.

SITUACION GENERAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

SISTEMA DEL MAESTRAZGO

Unidad de Mosqueruela	Bicarbonatada-Magnésica	$200 < RS < 600$ $100 < CO_3H < 300$
Subunidad de Javalambre	Bicarbonatada-Cárctica	$5 < Cl < 50$
Subunidad de Maestrazgo	Bicarbonatada-Cárctica	$NO_3^- < 30$
Unidad de Vinaroz-Peñaíscola	Bicarbonatada-Cárctica	$200 < RS < 4.000$ $150 < CO_3H < 250$ $20 < Cl < 3.000$
	Clorurada-Sódica	$NO_3^- < 100$
Unidad de Oropesa-Torreblanca	Bicarbonatada-Cárctica	$600 < RS < 4.500$ $200 < CO_3H^- < 400$ $150 < Cl < 2.000$
	Clorurada-Sódica	$NO_3H^- < 100$

Como resumen se puede decir que las aguas subterráneas, en general, son de buena calidad para cualquier uso, excepto en ciertos sectores de las Planas donde la calidad natural ha sido alterada por las actividades humanas que de forma intensiva, han sido realizadas fuera de una gestión planificadora.

5.2 FUENTES DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Los cambios en la calidad son motivados, bien sea por la introducción de elementos químicos o microbiológicos en el subsuelo, debido a la actividad humana, bien sea por procesos de alteración del equilibrio hidrodinámico de los acuíferos costeros-intrusión salina, o por mezcla con aguas superficiales degradadas.

Estos procesos debidos a diferentes fuentes de contaminación son:

- Contaminación doméstica y urbana: transferencia a las aguas subterráneas de materia orgánica y de elementos patógenos.
- Contaminación agrícola: tiene su origen en el uso y abuso de fertilizantes y pesticidas, así como en la salinidad del agua introducida por el riego. Afecta normalmente a grandes áreas de los acuíferos sobre los que hay cultivos agrícolas.
- Contaminación industrial: caracterizada por la gran variedad de productos químicos orgánicos e inorgánicos introducidos directa e indirectamente en el terreno. La alteración de la calidad se produce generalmente en zonas localizadas.
- Contaminación por agua del mar: aumento de sales, en especial de cloruro sódico. Este tipo de contaminación está directamente relacionada con el régimen de explotación de los acuíferos litorales y causado por un aumento no controlado y excesivo de las extracciones.

5.3 SITUACION ACTUAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA HOJA

La calidad actual del agua subterránea está alterada casi exclusivamente en los acuíferos de las Planas costeras. En ellas se realizan en mayor o menor grado todas las prácticas contaminantes indicadas anteriormente, en el resto de los acuíferos del interior la calidad natural no está alterada significativamente, por lo que esta situación es particularmente preocu-

pante si se tiene en cuenta que en las Planas se concentra la mayoría de las demandas.

La intrusión salina constituye actualmente un grave peligro; existen extensas áreas donde el contenido generalmente del ión Cl^- , supera los 700 ppm (partes por millón o miligramos por litro) admitidos como techo recomendable para el riego de los cítricos. Estas zonas (Benicasim, Oropesa, Gabanes, Torreblanca, Benicarló y Vinaroz) son indicativas de un proceso difícilmente reversible, que de no controlarse condicionaría las actividades agrícolas, abastecidas fundamentalmente por las explotaciones de los acuíferos de las Planas litorales.

De otro lado, la degradación por prácticas agrícolas está muy desarrollada por el empleo de pesticidas, plaguicidas y abonos en cantidades cada vez más creciente y posiblemente siguiendo técnicas no siempre idóneas. Esto contribuye a la aparición en el agua subterránea de compuestos orgánicos e inorgánicos de fósforo, potasio y nitrógeno.

Otros aspectos contaminantes dignos de tener en cuenta, aunque menos importantes por el momento, son los debidos a la eliminación de aguas residuales urbanas e industriales no tratadas mediante el riego de pequeñas áreas próximas a algunos centros urbanos; el vertido en cauces públicos, y la inyección en pozos negros. Cualquiera de estos sistemas puede producir en un plazo próximo la alteración de la calidad natural de las aguas subterráneas, ya que dichos vertidos en la mayor parte de los casos, no han sufrido un proceso adecuado de depuración y se incorporan con toda su carga contaminante a los acuíferos.

5.3.1 Plana de Vinaroz-Peñíscola

El fenómeno de contaminación más importante, es sin lugar a dudas, la intrusión salina. Además, hay que hacer constar que existe un aumento general de los nitratos, rebasándose en muchos casos los 25 ppm recomendados, y los 50 ppm fijados como máximos tolerables por el Código Alimentario Español (CAE); presencia de nitritos y amoniaco, valores de DQO (Demanda Química de Oxígeno) variables y de metales pesados en cantidades pequeñas dentro de los límites autorizados por el CAE.

Los fenómenos de intrusión se localizan fundamentalmente en las áreas de Benicarló y Vinaroz, llegando a alcanzar valores de 3.000 ppm de Cl^- .

La presencia de nitratos, en evolución creciente, cuyas concentraciones sobrepasan los límites del CAE, y los contenidos detectados de nitritos y amoniaco, en proporciones pequeñas pero generalizadas en toda la Plana,

son indicativos de la incidencia de las actividades humanas realizadas en su superficie, especialmente la agricultura intensiva.

Por último cabe destacar la incorporación, por contaminación industrial, de metales pesados, aunque por el momento no reviste especial importancia por presentarse estos elementos en concentraciones muy pequeñas, dentro de los límites tolerados por el CAE. Esta incorporación, en el caso de aumentar, podría ser otro motivo más para la inadecuación del agua subterránea de esta Plana, en usos domésticos.

5.3.2 Plana de Oropesa-Torreblanca

El problema es similar, existe un aumento progresivo de los cloruros y nitratos, y aparecen, de forma generalizada aunque en cantidades inferiores a las indicadas por el CAE, indicios de nitritos, amoniaco y presencia de metales pesados.

Aquí también el problema actual más importante, al considerar los aspectos cualitativos y cuantitativos, es sin lugar a dudas el incremento de cloruros como consecuencia de un avance del agua del mar tierra adentro. Este se ha puesto de manifiesto, con especial intensidad, en las áreas de Oropesa-Cabanes y Torreblanca en las que el agua subterránea presenta concentraciones del ión Cl^- de hasta 2.000 ppm.

En esta Plana también se ha observado un aumento creciente de los nitratos, y la presencia casi generalizada de nitritos, amoniaco, materia orgánica y metales pesados, como consecuencia de las actividades urbanas, agrícolas e industriales.

5.3.3 Directrices de actuación en relación con la calidad de las aguas subterráneas

Una gestión adecuada de preservación y mantenimiento de la calidad de las aguas subterráneas para que sean utilizables en sus diferentes aplicaciones, deberá tener en cuenta los siguientes condicionamientos:

— La gran importancia de los recursos de los acuíferos de las dos Planas de Vinaroz y Oropesa.

— La realidad ineludible, por condicionamientos geográficos, topográficos y de recursos, de que el mayor desarrollo socioeconómico provincial se realiza en la actualidad y deberá seguramente continuar haciéndose en el futuro, en las referidas Planas. Ello comporta, en particular, la existencia

de una fuerte contaminación progresiva de origen agrícola que llevará a inutilizar, en un horizonte más o menos próximo, los niveles superiores de sus acuíferos para fines de abastecimiento humano.

Ambos condicionantes señalan las directrices en que deberían apoyarse las actuaciones que se emprendan en relación con la calidad de los acuíferos costeros, y que deberían ser:

— Una sustitución paulatina de las captaciones que se realizan actualmente en los niveles superiores de los embalses subterráneos costeros para abastecimiento humano, por otros más profundos que capten niveles mejor protegidos, con menor contenido de nitratos y materia orgánica, preferentemente en los niveles calizos subyacentes de las unidades calizas que lo marginan.

— Un sistema de control efectivo que, con la finalidad de garantizar la calidad y cantidad necesarias para este uso noble del agua en el presente y en el futuro, vigile el cumplimiento correcto de los dos puntos importantes siguientes:

1) Cementación de toda la parte superior en los sondeos de abastecimiento que capten las aguas del acuífero inferior, garantizando la calidad del abastecimiento y preservándola del contacto con la del acuífero superior.

2) Reservar el agua del acuífero inferior exclusivamente para abastecimientos urbanos.

— Una gestión cuantitativa de los recursos tal que optimice las extracciones compatibles, con el mantenimiento de la calidad para usos agrícolas, en relación con la intrusión salina. En primer término habrá que reducir los bombeos en las zonas críticas compensando estas disminuciones con aportaciones nuevas de zonas adecuadas en los propios acuíferos o de otras unidades cercanas.

— Una consideración del aporte potencial disponible que representan las aguas residuales urbanas, convenientemente tratadas, para el regadío, con el doble aprovechamiento de un importante caudal de agua así como de su beneficioso contenido en fertilizantes naturales, ambos desperdiciados en la actualidad; una tercera ventaja de esta práctica consistiría en que el excedente de agua en el regadío, al infiltrarse en el terreno recibiendo la última depuración natural del mismo, actuaría como una recarga suplementaria del acuífero superior, sin efectos por lo tanto sobre los abastecimientos urbanos, contribuyendo a frenar la intrusión marina.

— La protección decidida y enérgica de la calidad de los acuíferos calizos interiores de la hoja, ya que constituyen la reserva en el futuro para el abastecimiento doméstico.

6. UTILIZACION ACTUAL DEL AGUA SUBTERRANEA

El agua subterránea se utiliza fundamentalmente para usos agrícolas y urbanos.

Se riegan actualmente 15.450 ha con agua subterránea, que se distribuyen del modo siguiente: Plana de San Carlos-Amposta (Hoja 1:50.000 de Alcanar) 600 ha (4 por ciento); Plana de Vinaroz-Peñíscola 7.895 ha (51 por ciento); Plana de Oropesa-Torreblanca 4.410 ha (28 por ciento); y Plana de Castellón (Hoja 1:50.000 de Villafamés) 2.545 ha (17 por ciento).

Los regadíos con agua subterránea se distribuyen del modo siguiente:

Huerta	4.967 ha (32 por ciento)
Cítrico	8.086 ha (52 por ciento)
Frutales	2.397 ha (16 por ciento)

El agua utilizada proviene fundamentalmente de bombeos directos de los acuíferos. El volumen medio de agua subterránea utilizada en este fin es de 99,5 hm³/año, distribuido del modo siguiente: 4,2 hm³/año en la Plana de San Carlos-Amposta (Hoja 1:50.000 de Alcanar); 50 hm³/año en la de la Plana de Vinaroz-Peñíscola (35 hm³/año en el acuífero detrítico y 15 hm³/año en el calizo); 26 hm³/año en la Plana de Oropesa-Torreblanca (18,6 hm³/año en el acuífero detrítico y 7,7 hm³/año en los bordes calizos de la unidad); y 19 hm³/año en la Plana de Castellón (Hoja 1:50.000 de Villafamés).

El abastecimiento urbano e industrial se hace casi exclusivamente con agua subterránea en la totalidad de los 84 municipios de la hoja. Estos municipios tienen una población total de hecho de 202.189 habitantes que en verano asciende a 485.413 habitantes. La extracción anual para atender a esta población se ha estimado mediante encuesta directa en 18 hm³/año. La distribución de extracciones por hoja 1:50.000 se indica en el cuadro adjunto.

De lo indicado anteriormente y de los cuadros resúmenes incluidos se deben resaltar los aspectos siguientes:

— Se utilizan en la hoja 118 hm³/año de agua subterránea equivalente a un caudal continuo de 3.750 l/s. De este volumen el 84 por ciento se destina a usos agrícolas y el 16 por ciento restante a urbanos e industriales dependientes de la red municipal.

— Se riegan actualmente 15.450 ha con agua subterránea y 4.450 ha con aguas superficiales (4.000 ha en la Plana de San Carlos-Amposta y 550 en la de Castellón), lo que supone un volumen estimado de 99,5 hm³/año y 100,7 hm³/año respectivamente.

— Existen numerosos núcleos urbanos que están insuficientemente abastecidos.

*NUMERO DE HABITANTES Y EXTRACCIONES ANUALES
PARA ABASTECIMIENTO URBANO
EN LA HOJA DE VINAROZ 1:200.000*

Hoja Topográfica 1: 50.000	Nº Municipios	Nº habitantes		Dotación anual media (l/hab/día)	Extracción anual (hm ³ /año)
		De hecho	Verano		
ALCANAR	1	9.960	40.000	366	2,00
ULLDECONA	11	26.306	36.388	216	2,21
VINAROZ	8	44.321	138.915	245	5,38
ALCALA DE CHIVERT	2	9.011	38.000	296	1,50
VILLAFAMES	8	64.690	150.056	115	3,09
CUEVAS DE VINROMA	9	10.778	14.405	147	0,61
ALBLOCACER	7	7.448	12.697	96	0,35
MORELLA	3	3.849	5.350	233	0,34
ALCORA	15	14.390	28.012	214	1,30
VILLAHERMOSA	5	2.257	3.642	240	0,22
MOSQUERUELA	3	4.568	11.698	310	0,65
FORCALL	12	4.621	6.250	216	0,39
	84	202.189	485.413		18,14

REGADIOS EXISTENTES EN HOJA VINAROZ 1:200.000

Denominación	Superficie total (ha)	Regadío aguas subterráneas				Regadío aguas superficiales (ha)	Vol. utilizado a subterráneas (hm ³ /año)	Vol. utilizado a superficiales (hm ³ /año)
		Huerta	Cítricos	Frutales	Huerta			
Plana de S. Carlos-Amposta	4.600	300	150	150	2.400	—	4,2	96,0
Hoja Alcanar 1:50.000	7.896	3.644	3.989	262	—	—	—	—
Plana Vinaroz-Peñíscola							34,5	—
Plana Oropesa-Torreblanca	4.410	648	1.802	1.960	—	—	—	—
							15,4	—
Plana Castellón	3.095	25	1.545	25	150	—	—	—
Hoja Villaramej 1:50.000	350*	600*				400	19,0	4,7
	20.000	4.967	8.086	2.397	1.750	2.400	400	99,5
								100,7

* Tradicionalmente regadíos con agua superficial del Pantano M^a Cristina, en el último quinquenio son regados con aguas subterráneas.

7. PROPUESTAS DE ACTUACIONES FUTURAS

La gestión de los recursos subterráneos de la hoja deben perseguir, esencialmente, los siguientes objetivos:

- De una parte, hacer compatible la actual utilización que se hace de los embalses subterráneos, con la calidad apropiada para los usos a que van destinadas las aguas que de ellos se obtienen.
- De otra, satisfacer las necesidades urbanas e industriales, así como incrementar los regadíos existentes, desarrollando nuevas áreas de riego en aquellas zonas donde existen demandas potenciales con posibilidades de atenderlas.

A) Mantenimiento de la calidad del agua

Usos Agrícolas

Se refiere a las Planas Costeras, fundamentalmente al problema que plantea la intrusión del agua del mar, ocasionado precisamente por las extracciones que se realizan en ellas. Se proponen las siguientes acciones:

– En la Plana de Vinaroz-Peñíscola

En las zonas de Vinaroz y Benicarló, donde se observa una presencia elevada de cloruros, sustitución de los actuales sondeos para abastecimiento humano que bombean agua del acuífero detrítico superficial, por otras captaciones más profundas que alcancen la Subunidad Maestrazgo caliza infrayacente, todavía excedentaria, cuyos recursos se pierden en el mar. Dichos sondeos tendrían una correcta ejecución que garantizase la imposibilidad de conexión hidráulica entre los dos acuíferos, a través de ellos.

Paralelamente a esta acción, aportación de recursos obtenidos en el borde Norte de la Sierra de Irtá, donde se drena anualmente al mar del orden de 240 hm³/año.

– En la plana de Oropesa-Torreblanca

En el acuífero de esta Plana existe una intrusión marina generalizada, como consecuencia de la sobreexplotación a que está sometido todo el em-

balse subterráneo, sobreexplotación que se ha estimado en un valor medio de 10 hm³/año.

La actuación que se propone consistiría en reducir del orden del 60 por ciento los caudales actuales de explotación del acuífero, especialmente en las áreas donde la intrusión presenta caracteres más acusados —zonas de Oropesa, Cabanes y Torreblanca— y sustitución de estos caudales por volúmenes captados en el borde Sur del Macizo de Irtá, que deberían ascender a unos 15 hm³/año.

– Área de Benicasim (Borde Norte de la Plana de Castellón)

Se recomienda utilizar en invierno los sobrantes de la Fuente del Molino para recargar el acuífero, utilizando las captaciones existentes, con lo que se elevará la superficie piezométrica de la zona y consecuentemente se frenará la intrusión salina. Alternativamente, previa la regulación de la citada fuente, bombeo en ella durante la época de demanda transportando los caudales al área en cuestión, al mismo tiempo que se disminuyen las extracciones de la zona en la misma medida que los volúmenes aportados.

Usos Urbanos

A medio plazo los acuíferos superficiales de las Planas tendrán que destinarse, prácticamente en exclusiva, a satisfacer demandas agrícolas —dado el creciente contenido en nitrato de sus aguas por acción de las prácticas agrícolas— y por consiguiente ser sustituidas las actuales fuentes de suministro por otras procedentes de los acuíferos calizos más profundos o situados en los Sistemas Acuíferos del interior.

Para retardar al máximo esta perspectiva se recomienda:

- a) Una labor de asesoramiento a los Municipios de las Planas para que el vertido de residuos sólidos y líquidos, se realice mediante vertederos controlados, u otros procedimientos técnicos adecuados.
- b) Exigencia a la industria de la depuración adecuada de sus efluentes.
- c) Establecer perímetros de protección de las captaciones destinadas al uso humano, de forma que se proteja la calidad de sus aguas de prácticas contaminantes.
- d) Revisión de las captaciones de dudosas características técnicas en relación con su protección.

B) Abastecimientos urbanos e incrementos de los regadíos.

Abastecimientos domésticos-industriales

La hoja de Vinaroz abarca un gran subsistema acuífero; esta circunstancia posibilita, en principio, que en muchos casos los problemas planteados en este campo, puedan ser solucionados a partir de las aguas subterráneas, precisamente aprovechando esta característica que es su extensión espacial.

Incremento de los regadíos

La demanda potencial de regadíos se centra fundamentalmente en las Planas interiores de la Provincia, Valles de San Mateo-Cuevas de Vinromá.

Simultáneamente a ello, por debajo de estas áreas, circula una parte del flujo subterráneo del Sistema del Maestrazgo, 240 hm³/año, que se pierde a través de la Sierra de Irtá.

Coincidan, pues, en este caso el interés económico agrícola, con el posible aprovechamiento de recursos subterráneos.

No obstante, y desgraciadamente, la profundidad a que se encuentra el nivel del agua y el régimen de circulación kárstica, dificulta su captación, por lo que se propone intensificar los estudios y las acciones técnicas encaminadas a captar y explotar estos recursos subterráneos actualmente no utilizados.

Para hacer posible las acciones propuestas es necesario:

- Mantener la red de control mensual piezométrico, así como de la calidad, existentes en las Planas Costeras.
- Mantener al día el inventario de los puntos acuíferos y el de volúmenes extraídos, especialmente en las áreas con problemas de intrusión marina.
- Realizar estudios técnicos de detalle para:

La regulación hiperanual del río Mijares a partir del embalse subterráneo de la Unidad jurásica del Javalambre del Sistema del Maestrazgo.

La captación de los recursos subterráneos en los bordes Norte y Sur de la Sierra de Irtá.

El regadío de las Planas interiores a partir de los excedentes subterráneos del Sistema del Maestrazgo.

La resolución de los problemas locales para abastecimiento de los pueblos del interior.

- Realizar urgentemente el estudio relativo a las aguas residuales urbanas de la zona, para conocer las posibilidades reales de este recurso local, actualmente desaprovechado, en cuanto a su caudal y potencial fertilizante.

8 BIBLIOGRAFIA

IGME (1970). Mapa geológico de España. Escala 1:200.000. Hoja núm. 48. Vinaroz.

IGME (1972). Informe hidrológico de la Cuenca del Júcar.

IGME (1972). Informe hidrogeológico preliminar de la Plana de Oropesa-Torreblanca.

IGME (1972). Informe hidrogeológico preliminar de la Plana de Vinaroz-Peñafríscola.

IGME (1972). Nota sobre el desarrollo del modelo hidrogeológico de la Plana de Castellón.

OBIS SALINAS, J.A., CANEROT, J. (1972). Memoria y Hoja Geológica núm. 593 (Cuevas de Vinromá), Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (segunda serie). IGME.

ESNAOLA GOMER, J.M., TORRES PEREPIDALGO, T. (1972). Memoria y Hoja Geológica núm. 617 (Faro de Oropesa). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (segunda serie). IGME.

ESNAOLA GOMER, J.M., MARTIN FERNANDEZ, M. (1972). Memoria y Hoja Geológica núm. 594 (Alcalá de Chivert), Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (segunda serie). IGME.

LEYVA, F., MARTIN, L., CANEROT, J. (1972). Memoria y Hoja Geológica núm. 546 (Ulldemona). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (segunda serie). IGME.

MARTIN, M., CANEROT, J. y OBIS, A. (1972). Memoria y Hoja Geológica núm. 615 (Alcora). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (segunda serie). IGME.

OBIS SALINAS, A., CANEROT, J. (1972). Memoria y Hoja Geológica núm. 616 (Villafamés). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (segunda serie). IGME.

MARTIN GARCIA, L., LEYVA GARCIA, F., CANEROT, J. (1972). Memoria y Hoja Geológica núm. 517-517 bis (Vinaroz). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (segunda serie). IGME.

ESNAOLA, J.M.; CANEROT, J. (1972): Memoria y Hoja Geológica núm. 570 (Alcocacer), Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (Segunda serie). IGME.

LEYVA CABALLERO, F.; MARTIN GARCIA, L.; CANEROT, J. (1972): Memoria y Hoja Geológica núm. 547 (Alcanar), Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (Segunda serie), IGME.

MARTIN, L.; LEYVA, F.; CANEROT, J. (1972): Memoria y Hoja Geológica núm. 545 (Morella), Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (Segunda serie), IGME.

IGME (1974): "Modelo matemático de la Plana de Castellón. Informe preliminar".

IGME (1974): "Programa de geofísica en la zona de Vinaroz".

IGME (1974): "Informe hidrogeológico de la Plana de Oropesa-Torreblanca".

IGME (1974): "Modelo matemático de la Plana de Castellón".

IGME (1974): "Nota sobre la hidrogeología del Maestrazgo".

CANEROT, J. (1974): *Recherches géologiques aux confins des chaînes Iberiques et Catalane (Espagne)*.

IGME (1975): "Síntesis hidrogeológica del Maestrazgo".

IGME (1975): "Informe de los trabajos realizados para el modelo hidrogeológico de la Plana de Vinaroz-Peñíscola".

IGME (1975): "Modelo hidrogeológico del acuífero de la Plana de Oropesa-Torreblanca".

IGME (1975): "Modelo hidrogeológico del acuífero bicapa de la Plana de Vinaroz-Peñíscola".

IGME (1975): "Abastecimiento a pueblos con agua subterránea de la Provincia de Castellón (Oropesa del Mar y Peñíscola)".

IGME (1976): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento de agua al pueblo de Oropesa del Mar".

IGME (1976): "Hojas de vertidos de: Uldecona, Villafamés-Faro de Oropesa, Alcalá de Chisver y Alcanar".

NAVARRO VAZQUEZ, D.; CRESPO TAMARANO, A.; PEREZ CASTAÑO, A.; CANEROT, J. (1977): Memoria y Hoja Geológica núm. 544 (Farcoll), Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (Segunda serie), IGME.

IGME (1977): "Interpretación de los resultados del primer muestreo de la Red General de Control de Contaminación en la Plana de Vinaroz-Peñíscola".

IGME (1977): "Interpretación de los resultados del primer muestreo de la Red General de Control de Contaminación en la Plana de Oropesa-Torreblanca".

CANEROT, J.; PIGUATE GARDA (1977): "Memoria y Hoja Geológica núm. 569 (Mosqueruela), Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (Segunda serie), IGME.

IGME (1977): "Informe de los resultados obtenidos en el primer muestreo en la Red General de Control de Contaminación en el sistema 56 (Sierra de Espadán y Plana de Castellón)".

IGME (1977): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento a Morella".

IGME (1977): "Campaña de geofísica en la Sierra de Irta".

IGME (1977): "Campaña de geofísica en el extremo septentrional de la Plana de Vinaroz-Peñíscola (zona de Alcanar)".

IGME (1977): "Campaña de geofísica en el extremo meridional de la Plana de Oropesa-Torreblanca".

IGME (1977): "Campaña de geofísica en el extremo septentrional de la Plana de la Cenia-Tortosa".

IGME (1977): "Hoja de vertidos de residuos sólidos urbanos de Vinaroz".

IGME (1977): "Los recursos hidráulicos de la Cuenca Media y Baja del Júcar. Su utilización actual y desarrollo".

IGME (1978): "Calidad de las aguas subterráneas en el Sistema núm. 56. Sierra de Espadán y Plana de Castellón".

IGME (1978): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento a Cincortores (Castellón)".

IGME (1978): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento a Portel de Morella (Castellón)".

IGME (1978): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento a Villanueva de Alcolea (Castellón)".

IGME (1978): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento a Torre Endomenech (Castellón)".

IGME (1978): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento a San Mateo (Castellón)".

IGME (1978): "Memoria hidrogeológica para IRYDA en la provincia de Castellón (control de sondeos)".

TRELL, A.; CANEROT, J.; MARTIN M. (1979): Memoria y Hoja Geológica núm. 592 (Villahermosa del Río), Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (Segunda serie), IGME.

IGME (1979): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento a la localidad de El Toro (Castellón)".

IGME (1979): "Estudio de nuevas alternativas de abastecimiento para el Valle de San Mateo (Castellón)".

IGME (1980): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento a la localidad de Albocácer (Castellón)".

IGME (1980): "Síntesis hidrogeológica de la provincia de Castellón"

IGME (1980): "Informe sobre la red de control piezométrico del Sistema Acuífero núm. 56. Proposición de una nueva red".

IGME (1980): "Análisis de la situación y reestructuración de la Red de Control piezométrico del Sistema 55".

IGME (1980): "Control de la calidad de las aguas subterráneas Red de control de intrusión marina del Sistema núm. 55".

IGME (1980): "Red de control de intrusión marina en el Sistema 56".

IGME (1980): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento a la localidad de Cati (Castellón)".

IGME (1980): "Estudio de la situación actual de los abastecimientos urbanos de la provincia de Castellón".

IGME (1980): "Actividades del IGME en relación con la calidad de las aguas subterráneas y su control en la provincia de Castellón".

IGME (1980): "Síntesis hidrogeológica del Sistema 55. Geología e Hidrogeología".

IGME (1980): "Informe de actualización del inventario de puntos acuíferos del Proyecto de conservación y Gestión de los Recursos Hídricos subterráneos de la C. Media y Baja del Júcar en la provincia de Castellón".

IGME (1980): "Síntesis hidrogeológica del Sistema 56. Geología e Hidrogeología".

IGME (1980): "Calidad química del agua subterránea en la provincia de Castellón".

IGME (1980): "Mapas de orientación de vertido de residuos sólidos urbanos en las hojas de: Morella, Mosqueruela y Albocacer".

IGME (1981): "Informe sobre el proyecto de implantación de una explotación de turba en las proximidades del estanque de Almenara

IGME (1981): "Estudio hidrogeológico para el análisis de posibilidades de mejorar la regulación al esquema hidráulico de la cuenca de los embalses subterráneos existentes en su tramo alto".

IGME (1981): "Proyecto de investigación hidrogeológica de la provincia de Castellón. Abastecimiento con aguas subterráneas a las poblaciones de: Morella, San Mateo, Tirig, Torre Endomenech y Benloch".

IGME (1981): "Análisis de posibilidades para la regulación de la descarga subterránea de los acuíferos del Maestrazgo a través de la Sierra de Irtá. Posibilidades de utilización en las planas litorales de Oropesa-Torreblanca y Vinaroz-Peñíscola".

IGME (1981): "Análisis detallado del estado actual de los acuíferos costeros del litoral levantino. Posibilidades para la optimización de su gestión".

IGME (1982): "Estudio hidrogeológico para abastecimiento de agua a la Plana (Castellón)".

IGME (1982): "Informe hidrogeológico sobre la posible afección a las aguas subterráneas, de la Plana de Oropesa-Torreblanca, por la implantación de una explotación de Turba".

IGME (1982): "Proyecto de investigación hidrogeológica para abastecimiento a seis poblaciones de la provincia de Castellón: Oropesa-Torreblanca, Villanueva de Alcolea, Sierra de Engarcerán, Viver, La Jana y Cueva Santa de Altura".

IGME (1982): "Modelo conceptual de la Plana de Vinaroz-Peñíscola".

IGME (1982): "Modelo conceptual de la Plana de Oropesa-Torreblanca".

IGME (1982): "Modelo conceptual de la Plana de Castellón-Sagunto".

IGME (1982): "Consideraciones sobre los sondeos realizados por el IGME en la provincia de Castellón durante el año 1982".

IGME (1982): "Estudio de los acuíferos costeros de la provincia de Castellón. Proposiciones para la optimización de la gestión integral de sus recursos hidráulicos".

IGME (1982): "Estado actual de los acuíferos costeros del mediterráneo español".