

63141

**ESTADO DE LA MASA DE AGUA
SUBTERRÁNEA DE LA MANCHA ORIENTAL
MEDIANTE INDICADORES CUANTITATIVOS
Y CUALITATIVOS.**

AÑO 2006



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



Instituto Geológico
y Minero de España



INFORME	Identificación: H4-004-06
	Fecha: 10-07-2006
TÍTULO: ESTADO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA MANCHA ORIENTAL MEDIANTE INDICADORES CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS.	
PROYECTO: VALORACIÓN NUMÉRICA DEL ESTADO Y EVOLUCIÓN DE LOS ACUÍFEROS. METODOLOGÍA NUMÉRICA PARA DEFINIR LA EVOLUCIÓN DE LOS ACUÍFEROS CON PROBLEMAS INDUCIDOS POR LA EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS. ASPECTOS CUANTITATIVOS Y DE CALIDAD.	
RESUMEN: <p>Se realiza el análisis del estado global de la masa de agua de la Mancha Oriental mediante un seguimiento sistemático del estado cuantitativo y cualitativo de las aguas subterráneas atendiendo a la evolución temporal de las series históricas de piezometría y de diversos parámetros de calidad. Se aplican los indicadores que constituyen los perfiles de Llenado y de Calidad.</p> <p>La masa de agua subterránea 080.029, Mancha Oriental, de amplia extensión superficial y de cierta complejidad hidrogeológica, está constituido por la superposición de diversos niveles acuíferos y sufre un régimen de explotación intenso, razones por las que se ha dividido en los cuatro sectores que constituyen la base para este trabajo. Cada sector diferenciado incluye una selección de piezómetros representativos del acuífero que lo caracteriza y que constituyen su zona de explotación. Para sectorizar la masa de agua subterránea se ha tenido en cuenta tanto la profundidad del piezómetro o sondeo como su situación geográfica (criterio de <i>posición</i>) y se estudia el comportamiento observado en las series históricas de niveles de cada uno (criterio de <i>conexión hidráulica</i>), que muestran evoluciones similares para una misma masa de agua. Se utiliza la media de los piezómetros incluidos en cada sector para poder llevar a cabo la aplicación de ambos perfiles.</p> <p>Los resultados obtenidos por medio del análisis conjunto de los perfiles de Llenado y de Calidad permiten concluir la MAS.- 080.029, Mancha Oriental presenta una situación de disminución continuada de los recursos, hecho que, por el contrario, no parece alterar demasiado la calidad del agua subterránea, definida por unas tendencias estables a largo plazo. Sin embargo, la calidad definida por los índices de calidad y evolución sugiere que se deben tomar medidas para mejorarla y producir una inversión de tendencias, particularmente en el caso de los nitratos en toda la masa de agua subterránea y de los sulfatos en el sector 2, Llanura de Albacete.</p>	
Revisión Nombre: Juan Antonio López Geta Unidad: Hidrogeología y Aguas Subterráneas Fecha:	Autores: José María Pernía Llera (IGME) Alicia Molinero García (IGME) Responsable: José María Pernía Llera

**ESTADO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA
MANCHA ORIENTAL MEDIANTE INDICADORES
CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS**

AÑO 2006

El presente informe titulado “Estado de la masa de agua subterránea de la Mancha Oriental mediante indicadores cuantitativos y cualitativos” forma parte de las actividades del proyecto “*Valoración numérica del estado y evolución de los acuíferos. Metodología numérica para definir la evolución de los acuíferos con problemas inducidos por la explotación de los recursos. Aspectos cuantitativos y de calidad*”.

Director del Proyecto:

José María Pernía Llera.

Autores del informe:

José María Pernía Llera.

Alicia Molinero García.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. SÍNTESIS HIDROGEOLÓGICA DE LA MANCHA ORIENTAL	3
2.1. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LA MANCHA ORIENTAL, UH.- 08.29	6
2.2. MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA MANCHA ORIENTAL, MAS.- 080.029.....	7
2.2.1. Zonificación.....	8
2.2.2. Balance hídrico	10
2.2.3. Calidad de las aguas subterráneas.....	13
3. INDICADORES DEL ESTADO CUANTITIVO.....	15
3.1. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS POR HABITANTE	15
3.2. RECARGA RESPECTO A LAS SALIDAS TOTALES DE AGUA SUBTERRÁNEA	15
3.3. SALIDAS TOTALES RESPECTO A RECURSOS DISPONIBLES DE AGUA SUBTERRÁNEA	16
4. ESTADO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA POR SU PERFIL DE LLENADO Y DE CALIDAD	18
4.1. REDES DE CONTROL	18
4.1.1. Red piezométrica	18
4.1.2. Red de calidad.....	20
4.2. ANÁLISIS PIEZOMÉTRICO	22
4.3. PERFIL DE LLENADO Y PERFIL DE CALIDAD EN LOS DISTINTOS SECTORES	25
4.3.1. Sector 1. Cretácico–Jurásico de Minaya-Casasimarro.....	27
4.3.1.1. Perfil de Llenado (Sector 1).....	27
4.3.1.2. Perfil de Calidad (Sector 1).....	30

4.3.2.	Sector 2. Mioceno de la llanura de Albacete.....	31
4.3.2.1.	Perfil de Llenado (Sector 2).....	31
4.3.2.2.	Perfil de Calidad (Sector 2).....	34
4.3.3.	Sector 3.1. Jurásico de La Gineta-Barrax-La Herrera.....	40
4.3.3.1.	Perfil de Llenado (Sector 3.1).....	40
4.3.3.2.	Perfil de Calidad (Sector 3.1).....	44
4.3.4.	Sector 3.2. Jurásico de Salobral.....	50
4.3.4.1.	Perfil de Llenado (Sector 3.2).....	50
4.3.4.2.	Perfil de Calidad (Sector 3.2).....	53
4.4.	PERFIL DE LLENADO Y PERFIL DE CALIDAD DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA MANCHA ORIENTAL.....	58
4.4.1.	Perfil de Llenado.....	58
4.4.2.	Perfil de Calidad.....	65
5.	CONCLUSIONES.....	75
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	77

1. INTRODUCCIÓN

El establecimiento de índices e indicadores del estado de las aguas subterráneas, tanto en sus aspectos de cantidad como de calidad, es básico para poder evaluar las situaciones presentes y efectuar un seguimiento y control de las aguas subterráneas. Estos indicadores permitirán de una manera más rápida efectuar el seguimiento del estado de las aguas subterráneas o las desviaciones que se produzcan sobre planteamientos tales como la Planificación Hidrológica, Cambio Climático, situaciones de sequía y otros aspectos relacionados.

Desde el punto de vista de su funcionalidad un **indicador** es un instrumento para medir variaciones y posibilitar comparaciones (Pernía y Alonso, 2004). Un **índice** es una expresión numérica adimensional y se obtiene por medio de la combinación de varias variables a las que se les asigna un valor numérico y un factor de ponderación (Pernía y Alonso, 2004). Hablamos de **perfil** cuando se seleccionan varios indicadores con un fin y dan cuenta del estado para un sistema, una política, un problema o un espacio territorial determinado (Pernía y Alonso, 2004).

Los **criterios** más utilizados para la **selección** de un indicador son: que tenga validez científica, representatividad, fiabilidad y relevancia, que sea sensible a los cambios, predictivo, comparable y comprensible, que tenga cobertura geográfica y buena relación coste-eficiencia y por último, que proponga metas a alcanzar comparables con la situación actual.

Los indicadores definen el estado de las aguas subterráneas a través de dos tipos de perfiles: los indicadores de cantidad definen el Perfil de Llenado y los indicadores de calidad definen el Perfil de Calidad. Los primeros representan cambios cuantitativos del agua subterránea, y vienen determinados por las variaciones en los niveles piezométricos, mientras que los segundos se centran en estudiar las variaciones en la calidad del agua y sus características hidroquímicas. Ambos se basan en el tratamiento series históricas de datos, y por lo tanto dependen de la existencia de redes de calidad y cantidad ya establecidas. El análisis y comparación de los perfiles relacionados con la cantidad y la calidad definirá el

Estado global de la masa de agua subterránea, y debe realizarse evitando en lo posible la interpretación separada de ambos conceptos. Su uso continuado y estandarizado en todas las masas de agua permitiría comparar entre sí diversas situaciones presentes en las masas de agua consideradas y un seguimiento y control de todas ellas.

La aplicación de indicadores se ha realizado con anterioridad por Pernía y Corral (2000) para los informes de coyuntura del Ministerio de Medio Ambiente. También se han aplicado por Pernía et al. (2000) en las redes de control de las aguas subterráneas en la Cuenca del Júcar.

El Instituto Geológico y Minero de España en colaboración con el “*Groundwater Indicators Working Group*”, GIWG (UNESCO, IAEA, IAH, UNECE) propuso una serie de indicadores que actualmente se aplican en este estudio. Estos indicadores se han aplicado anteriormente por Pernía y Lambán (2004) para el informe “World Water Development Report” dentro del programa “World Water Assessment Programme” (de próxima publicación). Se publicó una propuesta de indicadores del estado cualitativo y su aplicación al acuífero de Sierra Estepa en el VII Simposio de Hidrogeología en Zaragoza (Lambán y Pernía, 2004) y como continuación se presentó en el VI Simposio del Agua en Andalucía la comunicación “Indicadores e índices sobre el estado cuantitativo de las aguas subterráneas en función del nivel piezométrico. Aplicación al acuífero de la Sierra de Estepa” (Pernía *et al.*, 2005). Ambos basados en el trabajo presentado en el informe previo a este, en el que se describe su aplicación al acuífero de Sierra Estepa: “Indicadores sobre el estado cuantitativo y cualitativo de las aguas subterráneas: Aplicación al acuífero carbonatado de la Sierra de Estepa (Sevilla, España)” (IGME, 2005).

En este informe se presentan indicadores sobre el estado cuantitativo y cualitativo de las aguas subterráneas aplicándolos al acuífero de la Mancha Oriental (Albacete, España).

afluir al río Júcar. El río Valdemembra es el único afluente importante del Júcar que le cede sus aguas dentro del sistema. El canal de trasvase Tajo-Segura atraviesa el Sistema de Norte a Sur en una longitud de 120 km (IGME, 1980).

Al Este y al Sureste está limitado por una barrera de afloramientos diapíricos de arcillas y yesos impermeables del Triásico y al Oeste y Suroeste por una serie de materiales arcillosos. Al Noroeste se ha tomado como límite convencional la divisoria Júcar-Guadiana y, al Norte, el paralelo de los embalses de Alarcón y Contreras; ambos límites son abiertos (IGME, 1989) (Figura 2).

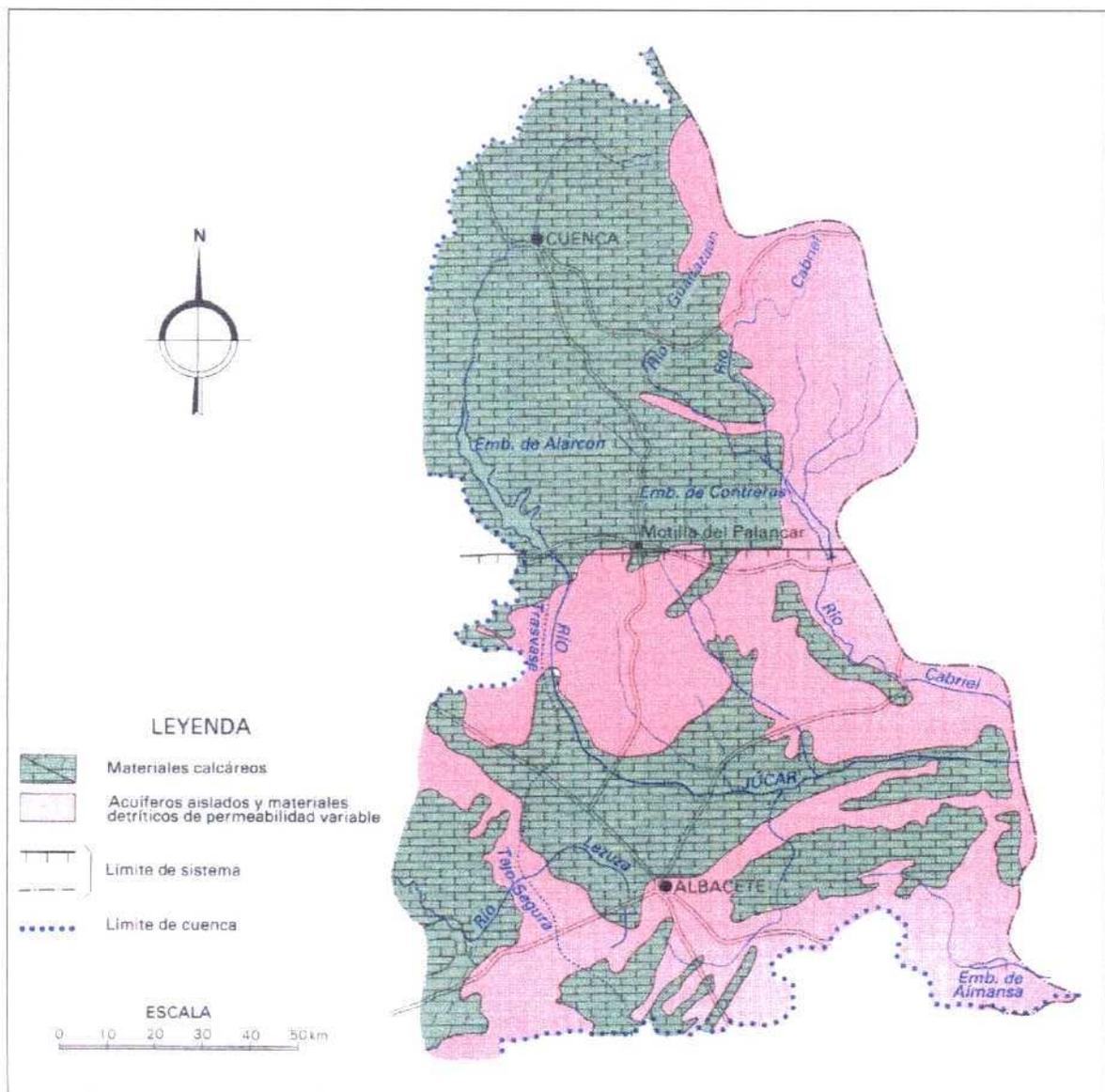


Figura 2. Sistema Acuífero nº 18 de la Cuenca del Júcar. (IGME, 1989)

El Subsistema Acuífero de Albacete constituye una unidad compleja formada por la superposición de varios acuíferos, cuya disposición de techo a muro es la siguiente (Figura 3):

- Acuífero Jurásico (F. CHORRO-COLLERAS). Está formado por dolomías secundarias y calizas de edad Lías-Dogger con una potencia media de 250-350 metros, siendo el más importante y extenso del sector. Generalmente se encuentra confinado, excepto en las partes sur y oeste del sistema, en donde aflora. Sus condiciones hidrogeológicas son muy buenas, ya que se han medido transmisividades de entre 2400 y 12000 m²/día.
- Acuífero Cretácico (F. BENAJAMA). Constituido por un tramo dolomítico de edad Turoniense y otro calizo, de edad Senoniense. Su potencia varía entre 50 metros en la zona occidental a 150 en la septentrional. Está confinado en su mayor parte, aunque en el sector norte aparece como libre, así como también en las sierras de Carcelén y Villaverde. Sus condiciones hidrogeológicas son similares a las de la formación Chorro, aunque la transmisividad es algo menor.
- Acuífero Mioceno (PONTIENSE). Está formado por calizas lacustres de edad Pontiense. Por su localización, en la llanura de Albacete, en la cual se concentra la mayor parte de la demanda hídrica de la unidad, este acuífero, junto con la formación Chorro, presenta una gran importancia desde el punto de vista económico y de desarrollo de la zona, siendo el que sostiene más del 75% de las captaciones existentes. Es un acuífero libre en toda su extensión y alcanza su potencia máxima en el centro de la cuenca, siendo ésta del orden de 150 metros. Su transmisividad oscila entre 1200 y 7000 m²/día.

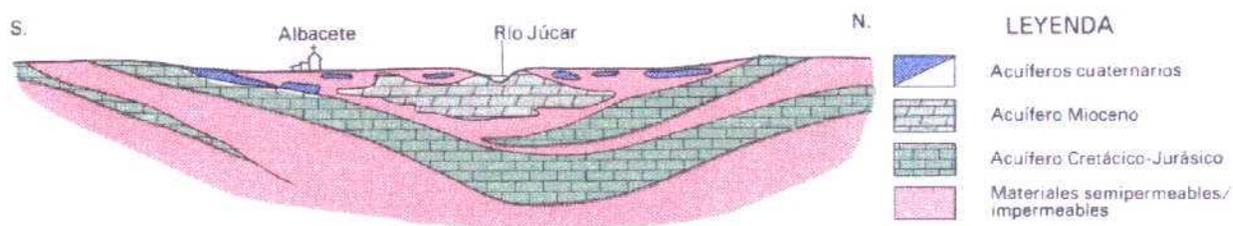


Figura 3. Corte geológico N-S y síntesis de las formaciones acuíferas (IGME, 1989)

El funcionamiento hidrogeológico está condicionado por la presencia de los ríos Júcar y Cabriel que drenan al acuífero multicapa CHORRO-BENEJAMA-PONTIENSE generalmente a través de este último. Entre los tres acuíferos existe una conexión hidráulica que es vertical o lateral según los sectores. Esta conexión está condicionada por el comportamiento del Sistema debido a una serie de fracturas de dirección predominante Suroeste-Noreste combinadas con otras de directriz Este-Oeste, que dan a la zona una disposición típica en “teclas de piano”, y por los cambios laterales de facies y potencias. (IGME, 1980)

La alimentación del Sistema procede de la lluvia, de la infiltración de los ríos Jardín, Quéjola, Lezuza y Cañada del Quintanar que penetran por el Suroeste y desaparecen después de un corto recorrido, y de las entradas subterráneas que se producen por el Norte y Noreste. En la zona Sur sólo está presente el acuífero CHORRO en conexión hidrogeológica con el área de los Llanos. El sentido del flujo subterráneo tiene dirección Sur y el drenaje se realiza por una serie de manantiales en la zona Hellín- Tobarra. Por último, en el Oeste existen una serie de manantiales en la zona Alpera-Ayora, a través de los cuales se realiza el drenaje de los acuíferos cretácicos del Macizo Carcelén. (IGME, 1980).

2.1. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LA MANCHA ORIENTAL, UH.- 08.29

La incorporación de las aguas subterráneas al Dominio Público, establecido en la Ley 29/85, de 2 de agosto de 1985, de Aguas y vigente desde el 1 de enero de 1986, hace necesario compatibilizar la división de los acuíferos con límites administrativos. Nace así, por iniciativa del Servicio Geológico de la Dirección de Obras Hidráulicas, con la colaboración del Instituto Geológico y Minero de España, la delimitación de las unidades hidrogeológicas, que se realiza durante los años 1987 y 1988 (MOPU, 1990). En este contexto, parte del subsistema acuífero de Albacete quedaba enmarcado dentro de la Unidad Hidrogeológica de la Mancha Oriental, UH.- 08.29 (Figura 4).

Los límites de la UH.- 08.29, Mancha Oriental, al Este y Sureste se han establecido a partir de la presencia de los afloramientos diapíricos impermeables del Triásico. Al sur limita la divisoria hidrográfica del Júcar –Segura y al Oeste con la unidad Jardín-Lezuza (UH.- 8.30). Por el Noroeste se ha tomado como límite la divisoria de aguas superficiales Júcar-

Guadiana. No se ha hecho coincidir con la divisoria subterránea debido a que ésta se encuentra fuera del ámbito territorial del Júcar. Por el Norte el límite es abierto y se ha establecido coincidiendo con el paralelo de los embalses de Alarcón y Contreras (Figura 4).

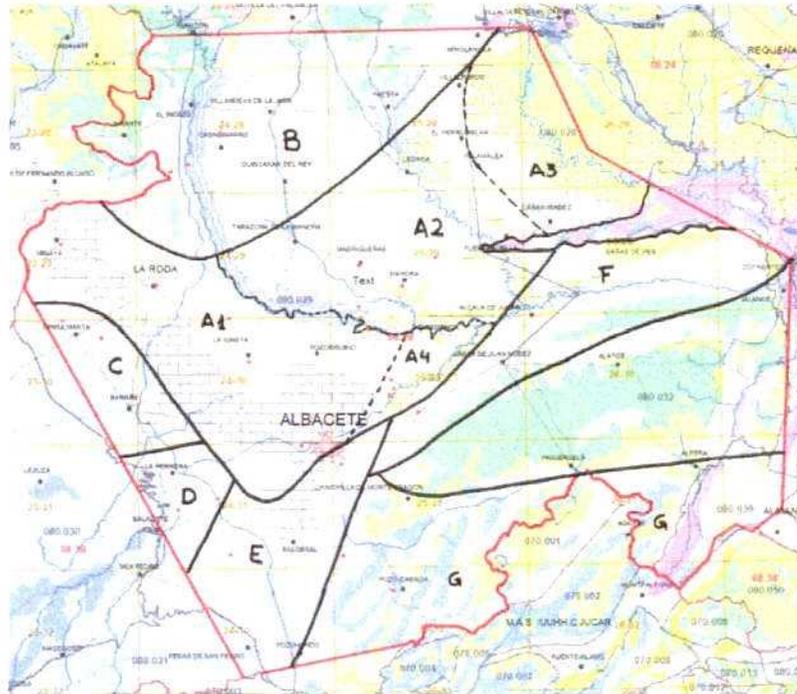


Figura 4. Unidad Hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental y zonas

La UH.- 08.29, la Mancha Oriental, por su gran extensión y diferentes dominios hidrogeológicos se divide en siete zonas (IGME, 1997): zona A, acuífero Ponticense (A1: zona La Gineta, A2: zona Tarazona, A3: zona Cabriel, A4: zona Tinajeros); zona B, acuífero Cretácico Noroeste; zona C, acuífero Jurásico Suroeste; zona D, acuífero Terciario-Cuaternario del Jardín; zona E, acuífero Jurásico Sur; zona F, acuífero Cretácico Este; zona G, acuíferos aislados.

2.2. MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA MANCHA ORIENTAL, MAS.- 080.029

Hasta la fecha de elaboración de este documento el uso oficial de las unidades hidrogeológicas sigue en vigor. Sin embargo, la Directiva Marco del Agua europea define el nuevo concepto de masa de agua subterránea y su transposición obliga a efectuar una nueva distribución de las aguas subterráneas para adaptarlas a este concepto.

En estos momentos la definición de las masas de agua subterránea se ha realizado por los técnicos, sin que exista todavía implantación oficial. No obstante, al ser un documento consensuado y próxima su implantación, se utilizará para este trabajo la nueva definición de masa de agua subterránea.

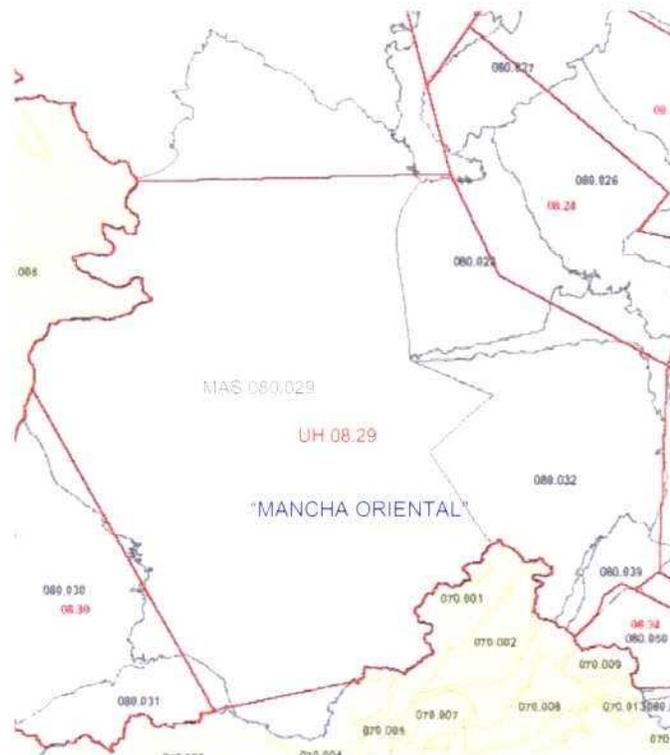


Figura 5. Límites de la UH (en rojo) y definición de la nueva MAS (en gris).

El sistema de la Mancha Oriental ha quedado modificado por los nuevos límites, que corresponden ahora a los marcados por la nueva MAS.- 080.029, Mancha Oriental, en la que se incluye un área situada al norte de la misma y que se considera geológicamente como una continuación de la unidad. Asimismo, se han redefinido los límites de la zona sur y suroeste y se ha excluido un área al este de la unidad con afloramientos cretácicos en la zona de Carcelén y un sector del mioceno, que constituye la cuenca del río Cabriel al noreste (Figura 5). La nueva superficie tiene una extensión de 6289,044 km².

2.2.1. Zonificación

La nueva masa de agua continua teniendo gran extensión, de modo que su geología y comportamiento hidrogeológico hacen necesario el establecimiento de una nueva zonificación, modificada de la anterior. Cada sector diferenciado incluye una selección de

piezómetros representativos del acuífero que lo caracteriza y que constituyen su zona de explotación. Los diferentes sectores se han separado teniendo en cuenta el análisis realizado con las series históricas de niveles de cada piezómetro, tal como se explica en el apartado 4.2 y se aprecia en las Figuras 9 y 10.

Los sectores en los que se ha dividido la MAS.- 080.029 son los siguientes (Figura 6):

- 1: Acuífero conectado del Cretácico-Jurásico de Minaya-Casasimarro, al norte
- 2: Acuífero del Mioceno, enmarcado en la zona central de la llanura de Albacete.
- 3: Acuífero del Jurásico
 - ⇒ 3.1: La Gineta-Barrax-La Herrera, al oeste
 - ⇒ 3.2: Acuífero Jurásico Salobral, al suroeste
- 4: Acuíferos del sureste:
 - ⇒ 4.1: Acuífero del Cretácico de Carcelén
 - ⇒ 4.2: Acuíferos aislados del Jurásico de Pozocañada

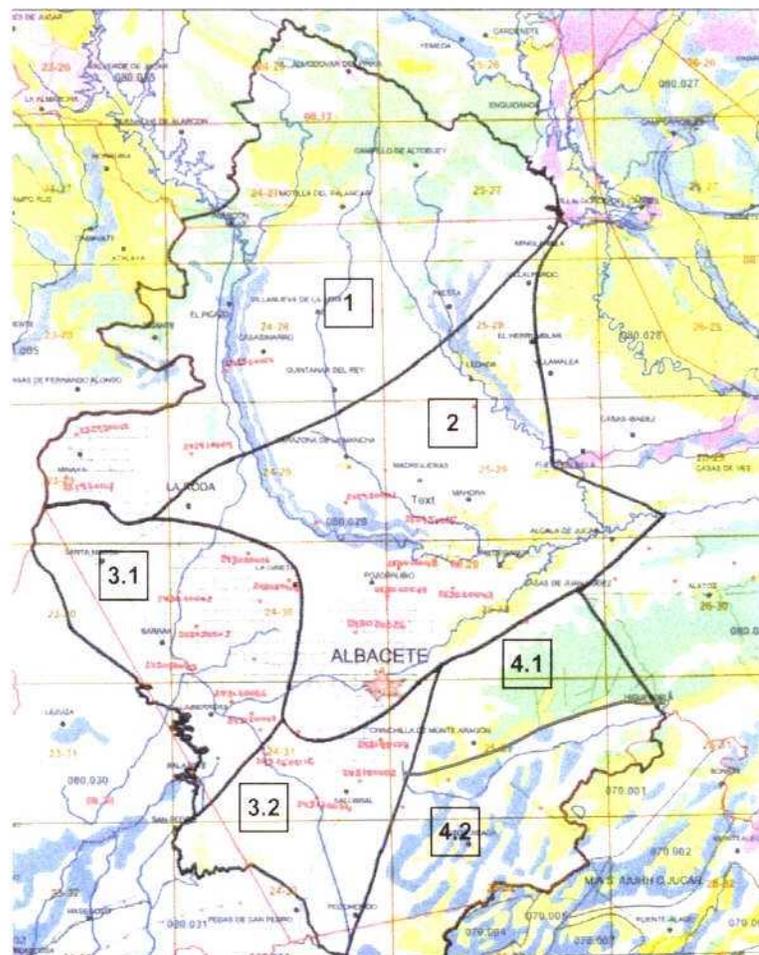


Figura 6. Sectores según acuíferos controlados por los sondeos

Los sectores 1, 2 y 3, se han separado en función de la formación acuífera característica de cada uno de ellos. En el sector 1, no se ha llevado a cabo una diferenciación entre las formaciones acuíferas del Cretácico y Jurásico, debido a su continuidad hidráulica. El sector 2 ha quedado constituido por un potente acuífero Mioceno. El sector 3, perteneciente al acuífero Jurásico, se ha subdividido a su vez en los subsectores 3.1 y 3.2, debido a las diferencias en el régimen de explotación entre ambos, sobre todo en los últimos tiempos, en los que el sector de Salobral presenta los descensos en los niveles piezométricos más acusados de toda la Mancha Oriental, que llegaron a ser de hasta 70 m en 15 años.

Al sureste de la MAS se encuentra una zona de afloramientos Jurásicos que se caracteriza por una tectónica en “teclas de piano” que la divide en bloques a través de fallas o núcleos anticlinales, de forma que provoca interrupciones hidráulicas locales en el acuífero. En estas zonas es frecuente la disminución de potencia de acuífero saturado creando barreras de transmisividad que condicionan saltos de piezometría. Debido a la heterogeneidad que ello conlleva, a la escasa disponibilidad de datos (dos puntos de control), y por ser acuíferos aislados de interés local, no se consideran representativos del sector 4 en su conjunto. Asimismo, englobada en el propio sector 4, se encuentra al norte de la misma, una parte del acuífero cretácico, lo que incrementa aun más la situación de heterogeneidad de la zona. Además en este caso, su interés como acuífero es reducido y no existen sondeos que permitan obtener información sobre los niveles piezométricos.

2.2.2. Balance hídrico

La pluviometría en la MAS.- 080.029, Mancha Oriental, oscila entre menos de 300 mm en la zona sur, hasta los 550 mm de la zona norte. Las variaciones interanuales son grandes, pudiendo ser la precipitación de media en años secos 150 mm y 750 mm en años húmedos (IGME, 1980).

En la Figura 7 se aprecia dicha variabilidad temporal de la precipitación. La línea roja en la figura representa la media de las precipitaciones para el periodo 1975-2004 y tiene un valor de 360 mm/año.

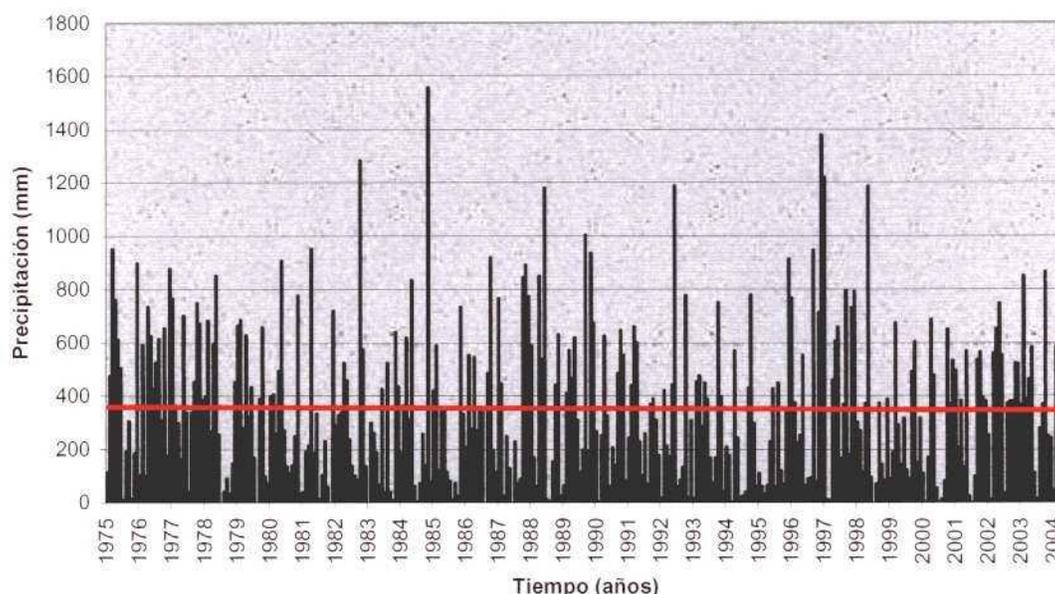


Figura 7. Precipitación anual en la MAS.- 080.029

Los recursos hídricos¹ de la MAS.- 080.029, Mancha Oriental presentan una importante variabilidad espacial y temporal y provienen de una fracción de la precipitación que se infiltra para recargar los acuíferos subyacentes y otra que constituye los aportes a los cursos de agua superficial circundantes.

Las entradas de agua al sistema (Tabla 1) vienen dadas fundamentalmente por la recarga neta media por infiltración de agua de lluvia, por infiltración proveniente de los tramos perdedores del río Júcar, al igual que la que es aportada por los ríos Jardín, Lezuza y Quéjola, que se infiltran completamente en la llanura manchega desde la masa de agua adyacente MAS.- 080.030, Jardín-Lezuza. Además, se tiene en cuenta la recarga al acuífero por medio de transferencias laterales de esa misma masa de agua por el suroeste del sistema (IGME, 2005).

Las descargas naturales del sistema en régimen permanente se limitan únicamente a los tramos finales del río Júcar.

¹ Se entiende por recurso hídrico subterráneo al caudal medio interanual que fluye en régimen natural por la zona saturada del acuífero y que tiene carácter renovable en ciclos climáticos normales.

Tabla 1. Recursos subterráneos (hm³/año) en la MAS.- 080.029

Recursos (hm³/año)		
Recarga anual media por infiltración	Sector 1	88
	Sector 2	40
	Sector 3.1	8
	Sector 3.2	8
Flujo lateral SE (Sector 4)		2
Flujo lateral MAS 080.030		55
Infiltración río Júcar		72
Infiltración ríos Jardín-Lezuza		33
Total		306

La MAS.- 080.029, Mancha Oriental, proporciona agua a 104.000 has de regadío equipadas con modernos sistemas de riego (UCLM, 2004). El predominio de una economía agrícola en la Mancha Oriental tiene como consecuencia un fuerte nivel de extracciones para regadío con una tendencia descendente generalizada de los niveles piezométricos, sobre todo a partir de 1980, que afecta fundamentalmente a los municipios de Salobral, La Herrera, Barrax y La Gineta. A pesar de ello, sector agrario sigue teniendo una importancia capital en la zona, no sólo por el alto porcentaje de población activa en él incluida, sino por las posibilidades de desarrollo.

La principal población abastecida es Albacete con 156.466 habitantes, pero existen numerosas poblaciones pequeñas con una densidad mucho menor que en los municipios como Albacete o La Roda, lo que hace que la distribución en toda la Mancha Oriental sea muy heterogénea. El cómputo total de la población resulta en un valor de 254.721 habitantes (CHJ, 2004), con una densidad de 28,6 hab/km². En la Mancha Oriental el sector industrial tiene un desarrollo poco significativo, por lo que las extracciones para abastecimiento industrial se consideran incluidas dentro de las que se destinan al abastecimiento urbano. Las extracciones anuales de agua por estas actividades ascienden actualmente a 379,92 hm³, de las que 368,97 hm³ son para regadío y 10,95 hm³ para abastecimiento urbano e industrial (CHJ, 2004).

En cuanto a las salidas naturales del sistema, no existe agua drenada a través de manantiales como consecuencia de los bombeos. Las salidas a través del río Júcar en régimen transitorio quedan reducidas a 110 hm³/año (FONT, 2004) en sus últimos tramos antes de dejar la MAS.- 080.029, por lo tanto, las extracciones totales ascienden a 489,92 hm³/año.

2.2.3. Calidad de las aguas subterráneas

Las variaciones en el nivel piezométrico tienen una relación directa en la calidad de las aguas subterráneas, puesto que dichas fluctuaciones producen la disolución de los componentes del suelo incorporándolos al agua subterránea dotándole por ello de unas características hidroquímicas específicas. Asimismo, en mayor o menor grado la zona no saturada puede almacenar contaminantes y su liberación debida a las subidas y bajadas del nivel piezométrico, podría provocar un impacto adverso sobre la calidad del agua.

La calidad natural de las aguas subterráneas se describe a partir de determinados parámetros químicos que definen su facies hidrogeoquímica. Las características de la composición y calidad actual en cada uno de los sectores de la MAS.- 080.029, Mancha Oriental, se han determinado a partir de la información analítica obtenida por medio de muestreos específicos en puntos seleccionados realizados en la última campaña de medición del IGME (Tabla 2).

Tabla 2. Calidad actual en cada uno de los sectores de la Mancha Oriental

	1983	Última campaña (2001)
Sector 1	-	Sulfatada-bicarbonatada cálcica
Sector 2	Sulfatada magnésica	Sulfatada-bicarbonatada cálcico-magnésica
Sector 3.1	Bicarbonatada-sulfatada magnésica	Sulfatada-bicarbonatada cálcico-magnésica
Sector 3.2	Sulfatada magnésica	Bicarbonatada sulfatada cálcico-magnésica

Las aguas características en 1983 eran en su mayoría del tipo sulfatado magnésicas y evolucionaron con el paso del tiempo hasta la actualidad a aguas sulfatadas-bicarbonatadas cálcico-magnésicas (Figura 8).

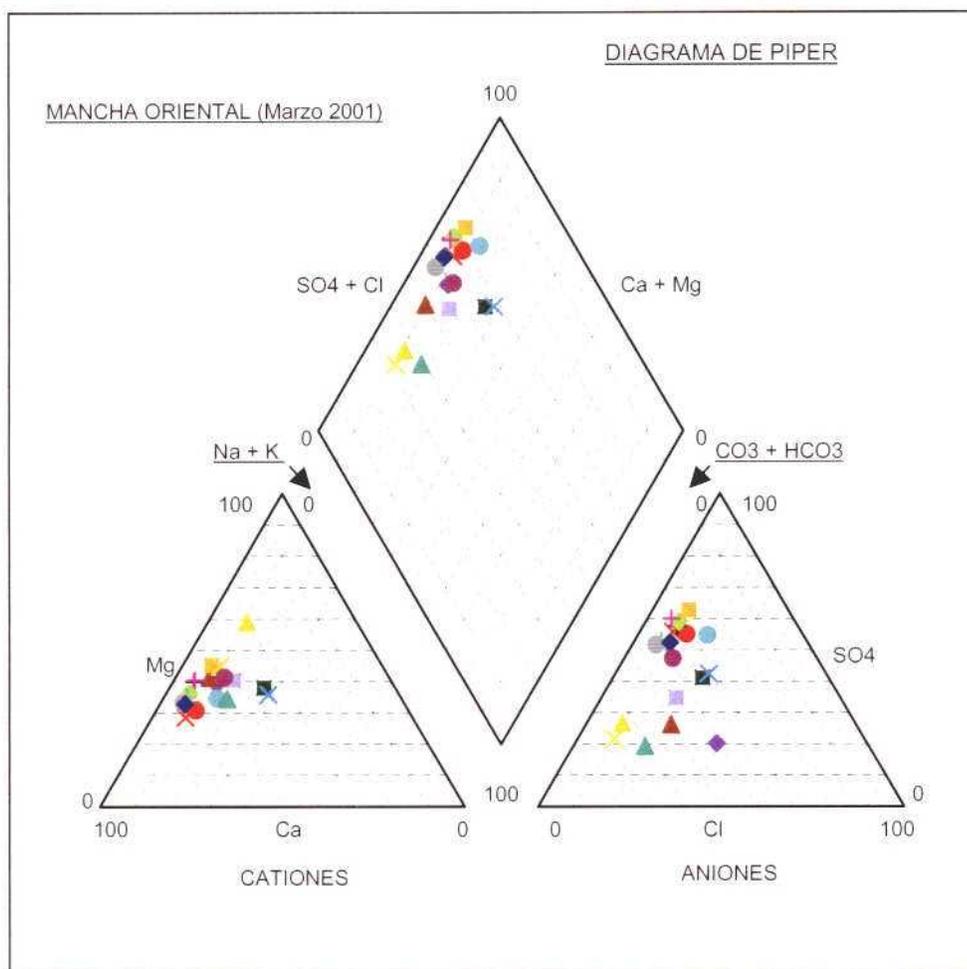


Figura 8. Diagrama de Piper de facies hidroquímicas en la MAS.- 080.029.

Se ha representado en la Figura 8 la calidad para el año 2001, puesto que la red de calidad del IGME se midió con frecuencia semestral hasta el año 2001, momento a partir del cual el seguimiento de las redes pasó a las Confederaciones Hidrográficas, variando la configuración de esta red, por lo que aparecen incompatibilidades y dificultades a la hora de definir la continuidad de las series en todos los parámetros de calidad (apartado 4.1.2).

3. INDICADORES DEL ESTADO CUANTITIVO

3.1. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS POR HABITANTE

El objetivo que se persigue es un análisis del estado del acuífero en su conjunto a través de la aplicación de este indicador, por lo tanto no se ha hecho distinción entre sectores.

$$\frac{\text{Recursos hídricos subterráneos}}{\text{Habitante}} = 1201 \frac{[\text{m}^3/\text{año}]}{[\text{hab}]}$$

Los recursos hídricos subterráneos corresponden a la media del periodo de 1975 a 2004 para los cuatro sectores dentro de la MAS.- 080.029, Mancha Oriental. El valor obtenido es de 306 hm³/año, considerando una precipitación media anual de 360 mm/año. Esta masa de agua subterránea abastece a una población de 254.721 habitantes² (CHJ, 2004).

El valor que se obtiene para este indicador representa que cada habitante en la Mancha Oriental dispone de un recurso hídrico subterráneo de 1201 m³ al año, lo que denota la importancia de este acuífero en cuanto sus recursos y cobra especial relevancia en el desarrollo socioeconómico y ecológico de la zona.

3.2. RECARGA RESPECTO A LAS SALIDAS TOTALES DE AGUA SUBTERRÁNEA

$$\frac{\text{Recarga}}{\text{Salidas totales}} \times 100\% = 62.4$$

En lo que respecta a la recarga, coincide con los recursos hídricos subterráneos y ha quedado establecida como 306 hm³/año, que es la recarga media anual al sistema durante el periodo 1975-2004. Las extracciones totales se refieren por un lado a las realizadas para cubrir el abastecimiento urbano e industrial, por otro a las extracciones para la agricultura y por otro a las

² Se considera como habitantes aquellos que se abastecen directa o indirectamente del acuífero, independientemente de la localización geográfica de los mismos.

salidas naturales del sistema. Las extracciones anuales de agua ascienden actualmente a 489,92 hm³/año, como consecuencia, el valor final obtenido es de 62,4.

A la vista del resultado de este indicador, en el que el equilibrio está en un valor de 100, el uso del agua subterránea en la MAS.- 08029, la Mancha Oriental, está en tal situación que de mantenerse, el acuífero podría verse afectado muy negativamente a largo plazo.

En España se utiliza actualmente un índice que cuantifica la afección de los bombeos a las aguas subterráneas denominado índice de explotación, que relaciona el bombeo y la recarga, $K = \text{Bombeo} / \text{Recarga} = 1,24$; valor que supera el límite de la sobreexplotación, que teóricamente está situado en 0,8.

3.3. SALIDAS TOTALES RESPECTO A RECURSOS DISPONIBLES DE AGUA SUBTERRÁNEA

<u>Salidas totales</u>	x 100%	=	188.79
Recursos disponibles			

Se recuerda que las salidas totales (extracciones más salidas naturales) se han evaluado en 489,92 hm³/año.

Se define como recurso disponible al valor medio interanual de la tasa de recarga total de la masa de agua subterránea, menos el flujo interanual medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica para el agua superficial asociada para evitar cualquier disminución significativa en el estado ecológico de tales aguas, y cualquier daño significativo a los ecosistemas terrestres asociados (Art. 2.27, DMA,2000).

En la actualidad y bajo el marco de los trabajos de implementación de la Directiva Marco Europea en Política de Aguas la Confederación Hidrográfica del Júcar ha hecho una primera determinación del recurso disponible en las masas de agua subterránea pertenecientes a la Cuenca del Júcar, concepto que introduce la Directiva y que incluye una estimación de los caudales que los acuíferos deben suministrar a ríos, manantiales o directamente al mar por requerimientos medioambientales. Dicho recurso disponible tiene un valor de 259,5 hm³/año en la MAS.-

080.029 y ha sido calculado teniendo en cuenta un volumen para las restricciones medioambientales de 49,32 hm³/año (CHJ, 2005). Con estos datos, se obtiene un valor de 189 para este indicador.

Teniendo en cuenta el resultado de este indicador, se puede concluir que junto con el obtenido en el apartado anterior, el recurso hídrico en la Mancha Oriental se encuentra en un estado de agotamiento en relación con los aspectos cuantitativos, debido a que las extracciones anuales superan la cantidad de recursos que serían explotables.

4. ESTADO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA POR SU PERFIL DE LLENADO Y DE CALIDAD

El estado global de la masa de agua subterránea se estudia mediante indicadores cuantitativos y cualitativos. Los indicadores del estado cuantitativo vienen determinados por las variaciones en los niveles piezométricos y constituyen el denominado Perfil de Llenado. Los indicadores del estado cualitativo se centran en estudiar las variaciones en la calidad del agua y sus características hidroquímicas y constituyen el Perfil de Calidad. Ambos se basan en el tratamiento de series históricas de datos, y por lo tanto dependen de la existencia de redes de calidad y cantidad ya establecidas.

4.1. REDES DE CONTROL

Las redes de control piezométrico y de calidad del acuífero de la Mancha Oriental han sido controladas por el Instituto Geológico y Minero de España desde 1974. Actualmente la red de piezometría la componen un total de 42 puntos con una frecuencia de medida mensual y los datos de la red de calidad se obtienen semestralmente de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

4.1.1. Red piezométrica

Se dispone de series históricas de niveles de más de 25 años en 32 piezómetros. Los restantes presentan medidas desde los años 90 y el punto 263020016 desde el año 2000. Para el presente trabajo se han considerado representativos los 21 piezómetros que aparecen en las tablas siguientes ordenados según los sectores definidos en la MAS.- 080.029. Los 21 restantes se han descartado bien porque su serie histórica no es lo suficientemente larga, bien porque se excluye de la nueva definición de MAS, bien porque se encuentra en el sector 4, que no es objeto del estudio, bien porque su evolución histórica presenta errores o anomalías en las medidas o bien porque ésta se considera que no es representativa del acuífero en el que está enmarcado por alguna característica o situación local dada.

De los piezómetros controlados por el IGME en la Mancha Oriental, una selección de 12 han sido incorporados por la Confederación Hidrográfica del Júcar (en adelante CHJ) en su

red de piezometría y constituyen lo que se denomina red básica de piezometría. A estos puntos se les asignó un código oficial por la CHJ y su correspondencia con el código del IGME se muestra en las Tablas 3, 4, 5 y 6.

Tabla 3. Red de piezometría del Cretácico-Jurásico de Minaya-Casasimarro, sector 1.

Nº IGME	Nº CHJ	RED	Serie desde	Profundidad (m)	Acuífero Controlado	Acuífero Atravesado		
						Mioceno	Cretácico	Jurásico
242860014	08.29.033	IGME / CHJ	1974	354	Cretácico		X	
242910009	08.29.055	IGME / CHJ	1974	354	Jurásico		X	X
232930012	08.29.057	IGME / CHJ	1976	129,6	Cretácico	X	X	
232970017	08.29.058	IGME / CHJ	1974	210	Jurásico	X		X

Tabla 4. Red de piezometría del del Mioceno, sector 2

Nº IGME	Nº CHJ	RED	Serie desde	Profundidad (m)	Acuífero Controlado	Acuífero Atravesado		
						Mioceno	Cretácico	Jurásico
253020042	08.29.037	IGME / CHJ	1977	125	Mioceno	X		
243080026	08.29.056	IGME / CHJ	1979	500	Mioceno	X		
253010011	08.29.060	IGME / CHJ	1976	101	Mioceno	X		
253010048		IGME	1989	201,8	Mioceno	X		
242980001	08.29.096	IGME	1979	133,5	Mioceno	X		
252950015		IGME	1974	164	Mioceno	X		

Tabla 5. Red de piezometría del Jurásico de la Gineta-Barrax-La Herrera, sector 3.1

Nº IGME	Nº CHJ	RED	Serie desde	Profundidad (m)	Acuífero Controlado	Acuífero Atravesado		
						Mioceno	Cretácico	Jurásico
243050003	08.29.099	IGME	1972	118	Jurásico	X		X
243050023	08.29.059	IGME / CHJ	1975	150	Jurásico	X		X
243010002	08.29.034	IGME / CHJ	1979	90	Jurásico			X
243020016	08.29.035	IGME	1974	347	Jurásico	X		X
243030019	08.29.098	IGME	1975	334	Jurásico	X		X
243120047		IGME	1973	584	Jurásico	X		X
243120066	08.29.067	IGME	1978	276	Jurásico	X		X

Tabla 6. Red de piezometría del Jurásico de Salobral, sector 3.2

Nº IGME	Nº CHJ	RED	Serie desde	Profundidad (m)	Acuífero Controlado	Acuífero Atravesado		
						Mioceno	Cretácico	Jurásico
243140107		IGME	1979	94	Jurásico			X
243160016		IGME	1977	348	Jurásico	X		X
243170074		IGME	1975	309	Jurásico	X		X
243180002	08.29.036	IGME / CHJ	1971	200	Jurásico	X		X

Cada tabla recoge los piezómetros localizados en cada una de las zonas dentro de la MAS.- 080.029, Mancha Oriental. Las columnas siguientes hacen referencia a la serie histórica, a la profundidad del sondeo, al acuífero que controla y a los acuíferos atravesados.

4.1.2. Red de calidad

La red de calidad del IGME se midió hasta el año 2001 y consistía de 27 puntos de frecuencia semestral. En la Tabla 7 se muestran todos los puntos de calidad existentes que se encuentran dentro del dominio de la MAS.- 080.029 y que dejaron de medirse en marzo de 2001. El resto de los puntos de control hasta llegar al total de puntos de la red de calidad pertenecen a la UH.- 08.29, pero no se encuentran dentro del dominio de la MAS.- 080.029.

Tabla 7. Red de calidad del IGME (hasta 03/2001)

Nº IGME	RED	Sector	Serie desde	Prof (m)	Acuífero Controlado	Acuífero Atravesado			Naturaleza
						Mioceno	Cretácico	Jurásico	
232930020	IGME	1	nov-82	130	Cretácico	X	X		Sondeo
242860014	IGME	1	(sep-74) may-00	354	Cretácico		X		Piezómetro
242950052	IGME	2	sep-87	180	Jurásico	X		X	Sondeo
243020004	IGME	2	may-72	104	Jurásico	X		X	Sondeo
243030003	IGME	2	sep-80	105	Mioceno	X			Pozo sondeo
243140138	IGME	2	jun-80	64	Mioceno	X			Piezómetro
252950005	IGME	2	jul-80	146	Mioceno	X			Sondeo
252950015	IGME	2	(oct-74) oct-98	164	Mioceno	X			Piezómetro
252960012	IGME	2	dic-83	145	Mioceno	X			Sondeo
252970014	IGME	2	oct-88	126,5					Sondeo
253060002	IGME	2	sep-78	116					Sondeo
253060014	IGME	2	oct-88	72					Sondeo
253060022	IGME	2	mar-89	120	Cretácico/ Mioceno	X	X		Sondeo
233030002	IGME	3.1	sep-90	90	Jurásico			X	Piezómetro
233040011	IGME	3.1	may-81	80	Jurásico			X	Sondeo
233080001	IGME	3.1	abr-73	194	Jurásico			X	Sondeo
243120013	IGME	3.2	may-81	61	Mioceno	X			Sondeo
243160053	IGME	3.2	oct-88	130	Jurásico	X		X	Sondeo
253110118	IGME	3.2	sep-78	125	Jurásico			X	Sondeo
253150019	IGME	3.2	mar-00	315	Jurásico			X	Sondeo
253220274	IGME	4.2	mar-89	300	Jurásico			X	Sondeo

Los puntos de control existentes en el **sector 1** son el 232930020 y el 242860014. En el primero de ellos las curvas de los parámetros de calidad reflejan una situación anómala debida posiblemente a medidas erróneas o a una situación específica local. El segundo punto de control se empezó a utilizar en la red de calidad a partir del año 2000 y hasta marzo de 2002, por lo tanto no tiene una serie histórica suficientemente larga.

Como se muestra en la tabla 7, los puntos de control pertenecientes al **sector 2** son numerosos. De los once puntos, solamente 4 son representativos y tienen una serie histórica completa y lo suficientemente larga: 242950052, 243030003, 252950005, 252960012. Además, el punto 243020004 tiene unos valores muy altos de NO_3 con grandes oscilaciones pudiendo representar una situación local, si bien el resto de los parámetros tiene una evolución media y podrían ser utilizados para el análisis. El punto 243140138, aunque tiene una buena serie histórica, no es representativo del acuífero Mioceno, porque la evolución de sus parámetros de calidad presenta grandes desviaciones en relación a todo el resto de puntos de control de dicho acuífero. El punto 252950015, que pertenece también a la red de piezometría, se incorporó a la red de calidad en octubre de 1998 y por lo tanto se midió únicamente dos años y medio. En el punto 253060022 existe mezcla de aguas del acuífero cretácico subyacente y presenta ciertas inconsistencias en las series de calidad, por lo tanto se excluye. El 253060002 y el 253060014 tienen series bastante incompletas y tampoco pueden ser utilizados. El 252970014 tiene una serie histórica corta para la aplicación de los índices.

Los puntos de control dentro del **sector 3.1** son el 233030002, 233040011 y 233080001, pero hay que tener en cuenta que el primero tiene una serie histórica de solo diez años.

En el **sector 3.2** hay cuatro puntos: el 243120013, 243160053, 253110118 y el 253150019, de los que el punto 243160053 tiene una serie que comienza en 1987.

Los puntos de la red de calidad de la Confederación del Júcar, que se encuentran dentro del dominio de la MAS 080.029, se miden desde 2002 hasta ahora y su finalidad es continuar las series históricas de los parámetros medidos por el IGME hasta marzo de 2001 (Tabla 8).

No obstante, ninguno de los actuales puntos de control de la CHJ pertenecía anteriormente a la red de calidad del IGME y ninguno puede ser asimilado para dar continuidad a las series históricas, debido a que los valores medidos difieren de manera significativa. Sin embargo, en el sector 3.1 de la Mancha Oriental existen tres puntos pertenecientes a la red de calidad del IGME (serie histórica hasta 03/2001) y otros dos puntos dentro de la red oficial (serie desde 04/2002 hasta 12/2004), entre los que se ha considerado factible la unión de ambas series, y por consiguiente, el estudio de dicho sector se ha realizado hasta diciembre de 2004. En los restantes sectores es únicamente posible implementar el Perfil de Calidad hasta 2001.

Tabla 8. Red de calidad de la CHJ (desde 03/2001)

n° CHJ	Sector	Serie desde	Prof (m)	Acuífero Controlado	Acuífero Atravesado			Naturaleza
					Mioceno	Cretácico	Jurásico	
08.29.107	1	2002	230	Cretácico / Jurásico		X	X	Sondeo
08.29.109	1	2002	210	Jurásico	X	X	X	Sondeo
08.29.110	2	2002	105	Mioceno	X			Sondeo
08.29.111	2	2002	180	Mioceno	X			Sondeo
08.29.112	2	2002	366	Cretácico	X	X		Sondeo
08.29.114	2	2002	90	Mioceno	X			Sondeo
08.29.115	2	2002	149	Mioceno	X			Sondeo
08.29.116	2	2002	73,5	Mioceno	X			Sondeo
08.29.118	2	2002	140	Mioceno	X			Sondeo
08.29.113	3.1	2002	196	Jurásico			X	Sondeo
08.29.119	3.1	2002	236,4	Jurásico	X		X	Sondeo
08.29.117	3.2	2002	229	Jurásico	X		X	Sondeo

4.2. ANÁLISIS PIEZOMÉTRICO

Se representan todos los piezómetros en los que existen datos periódicos de series históricas de niveles en la MAS.- 080.029, Mancha Oriental. Se comparan estos datos de piezometría con la precipitación y posteriormente se lleva a cabo un análisis del Perfil de Llenado de cada sector individualmente con los piezómetros representativos en cada uno de ellos.

La representación de los datos piezométricos (Figura 9) indica inicialmente una evolución similar en los puntos de control comprendidos entre el rango de valores de 600 a 700 msnm. En líneas generales, se observa un paulatino y constante descenso (2 m/año de media) de los niveles hasta el año 1997, año a partir del cual se observa un intento de estabilización de niveles, que durante 2000-2002 se ve perturbado por un fuerte descenso, llegando en algunos casos hasta los 10 m en un mismo año. A partir de 2003 se refleja de nuevo una recuperación de niveles. Si se observa con más detalle pueden agruparse las evoluciones piezométricas según los acuíferos a los que representan y también según el régimen de explotación, lo que daría lugar a la división en los diferentes sectores establecidos en este trabajo.

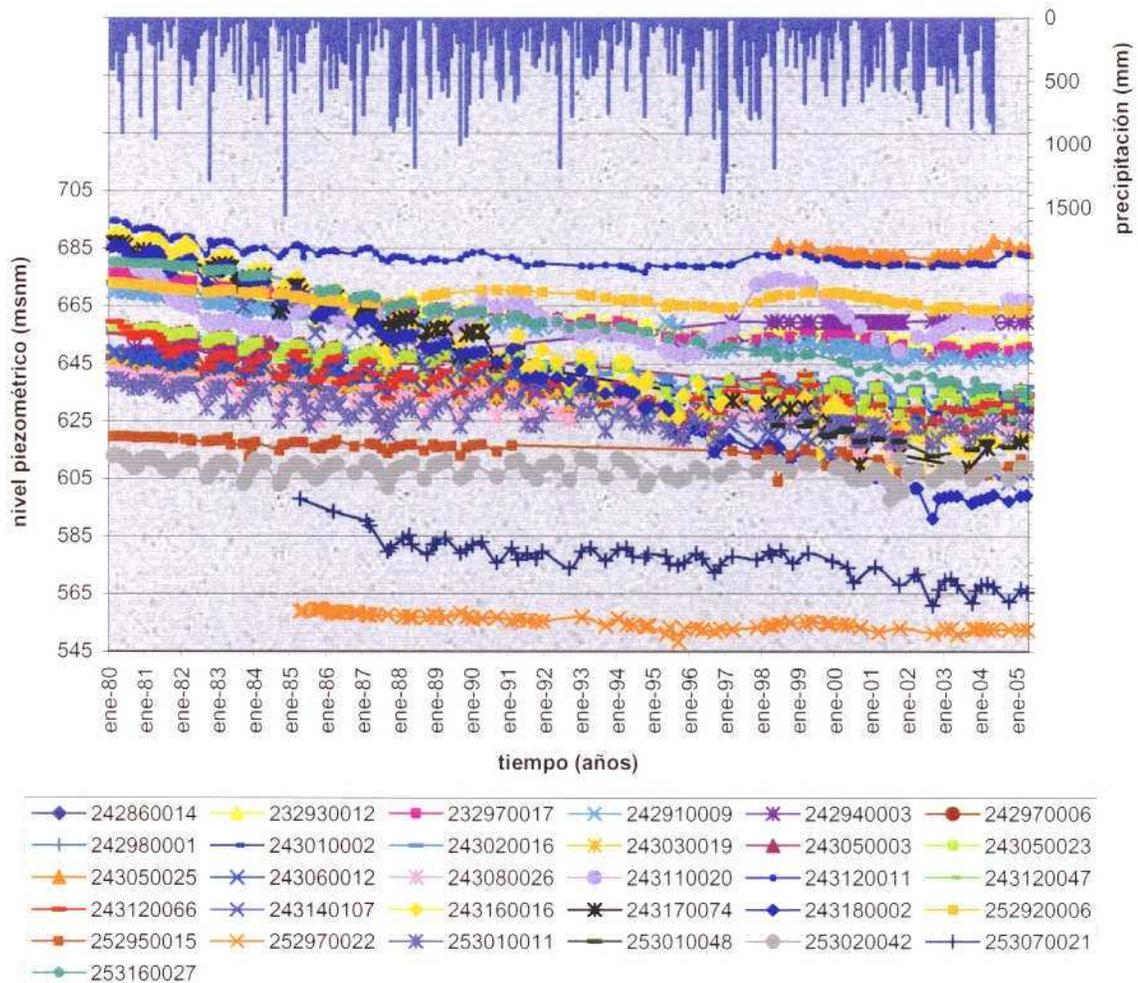


Figura 9. Cotas piezométricas correspondientes al periodo 1980-2005.

Al comparar estos datos con la precipitación no se observa una correlación inmediata si no que se aprecia una evolución independiente de los niveles piezométricos y de los episodios de lluvia, lo que implica por lo tanto, una alta capacidad de amortiguamiento del sistema. Esto indicaría que el comportamiento hidrodinámico del sistema, además de ser complejo por la distribución espacial de sus acuíferos y por la magnitud de éstos, está muy influenciado por el régimen de explotación en el área.

Para llevar a cabo un correcto análisis de la información histórica de los puntos de control representados en la Figura 9, se realiza la restitución de series de datos, eliminando datos anómalos y tomando solo aquellos puntos de control representativos, siguiendo los criterios y los parámetros que definen la estructura geológica del acuífero y su comportamiento hidrogeológico.

Así, la división de sectores se ha realizado en función del acuífero que representan los puntos incluidos en cada uno (Figura 10).

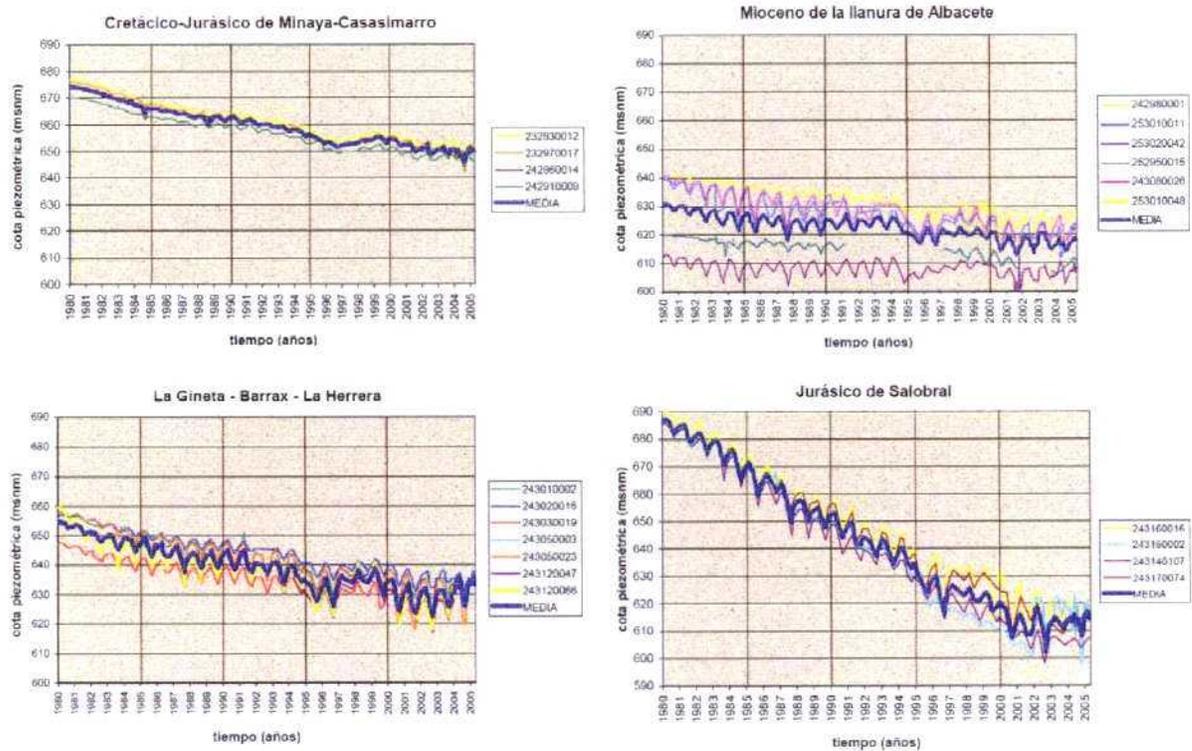


Figura 10. Separación de las cotas piezométricas por sectores.

Se tiene en cuenta tanto la profundidad del piezómetro o sondeo como su situación geográfica (criterio de *posición*) y se estudia el comportamiento observado en las series históricas de niveles de cada uno (criterio de *conexión hidráulica*), que muestran evoluciones similares para una misma masa de agua. Por consiguiente, el sector 1, Minaya-Casasimarro, se ha separado considerando ambos criterios, de manera que debido a la continuidad hidráulica existente entre los acuíferos Jurásico y Cretácico en él, se ha optado por no hacer una diferenciación en sectores distintos, a pesar de que la posición de sus puntos de control implicaba la división de ambos. El sector 2, Llanura de Albacete, queda definido a través de la similitud en las evoluciones de los piezómetros incluidos en él, por un potente acuífero de edad Mioceno. El sector 3, perteneciente al acuífero Jurásico, se subdivide a su vez, según el régimen de explotación, en los subsectores 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, y 3.2, Salobral, entre los que existe una gran diferencia en la evolución de niveles, dando lugar finalmente a la zonificación expuesta en el apartado 2.2.1. Así por ejemplo, el piezómetro 243180002, en el acuífero Jurásico, refleja extraordinariamente la situación de fuerte explotación por bombeos del área sur de la Mancha Oriental, en el sector de Salobral.

4.3. PERFIL DE LLENADO Y PERFIL DE CALIDAD EN LOS DISTINTOS SECTORES

El análisis de estado de la masa de agua subterránea seguido en cada uno de los sectores de la Mancha Oriental se basa en la aplicación de los índices e indicadores que en conjunto integran el **Perfil de Llenado** y el **Perfil de Calidad**.

Ambos Perfiles están formados por los siguientes índices e indicadores:

- Evoluciones gráficas de niveles o parámetros
- Tendencias a largo y medio plazo
- Índices de llenado, de calidad y evolución de calidad
- Representaciones gráficas de los índices
- Representaciones cartográficas de los índices

El Perfil de Llenado está formado por un conjunto de índices numéricos e indicadores gráficos y se obtiene en función de las variaciones piezométricas que se producen a lo largo

del tiempo en una masa de agua subterránea. El Perfil de Calidad se calcula mediante el análisis de las series históricas de los parámetros químicos de interés que se incluyan en el perfil y que en este estudio son conductividad eléctrica, NO_3^- y $\text{SO}_4^{=}$. La selección de estos parámetros ha venido motivada por la obligatoriedad de cumplir con los controles impuestos por la Directiva Marco del Agua y con las indicaciones de la propuesta de Directiva sobre la protección de las aguas subterráneas de la contaminación. Las medidas que se obtienen de la red de calidad son datos tomados semestralmente, por lo que se dispone de dos medidas al año. Con esta consideración, el Perfil de Calidad se referirá al perfil en primavera o en otoño.

Cuando ya se posee toda la información de los índices e indicadores de cada uno de los sectores se lleva a cabo una representación cartográfica de la situación de llenado y de los índices de calidad, los cuales indican espacialmente el estado en los distintos acuíferos o sectores. Aunque estas cartografías formen parte de ambos Perfiles, no se muestran en el presente apartado, donde se describen tanto del Perfil de Llenado como del Perfil de Calidad de cada sector por separado, dado que su objetivo principal es la comparación entre masas de agua diferentes o partes diferenciadas de una misma masa y por lo tanto, debe hacerse el análisis cartográfico de todos los sectores al mismo tiempo, razón por la cual se incluye en el apartado 4.4, donde se expone la situación de toda la masa de agua en su conjunto.

El análisis de los datos y el cálculo posterior de los índices se centrará principalmente en la media aritmética de los puntos de control en cada sector, puesto que han sido previamente seleccionados los que son representativos de los distintos sectores, habiendo eliminado los que representan una situación singular o de interés local en el acuífero. También se han eliminado los datos anómalos puntuales de las series históricas de piezometría y de calidad. De acuerdo con esto, en las figuras posteriores sobre la evolución gráfica de series, se representa además la media de los puntos de control característicos de cada uno de los cuatro sectores anteriormente definidos para la evaluación de la MAS 080.029, Mancha Oriental. Por la similitud en el comportamiento de las series en los puntos de control, se considera que la media aritmética es adecuada en este caso, siendo, además, uno de los estadísticos más robustos.

4.3.1. Sector I. Cretácico-Jurásico de Minaya-Casasimarro

4.3.1.1. Perfil de Llenado (Sector I)

a) Evolución gráfica de los niveles piezométricos

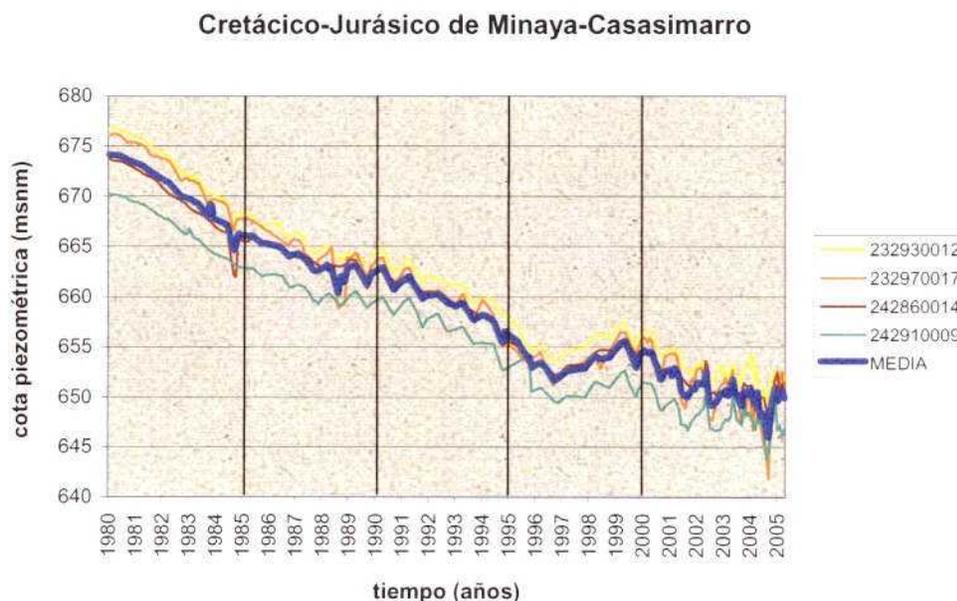


Figura 11. Sector I. Niveles piezométricos (1980-2005)

La evolución gráfica de los niveles piezométricos desde el año 1980 (Figura 11), indica una evolución similar en los cuatro puntos de control representativos de este sector, lo que apunta a que el funcionamiento hidrodinámico tiene un comportamiento único y representa una continuidad hidráulica entre los acuíferos del Cretácico y Jurásico (los puntos 232930012 y 242860014 pertenecen al acuífero Cretácico y los puntos 232970017 y 242910009 pertenecen al Jurásico) para el sector I de la MAS.- 080.029, Mancha Oriental y por lo tanto pone de relieve la correcta diferenciación de este sector en la zonificación definida. Además, continuando con lo expuesto anteriormente, todos los piezómetros en el sector I muestran una evolución generalizada descendente. Se observa la existencia de tres periodos diferenciados: 1980-1997, cuando el descenso es continuado, pero sin grandes oscilaciones; 1997-1999, con una recuperación de niveles de tres metros y por último, 2000-2005, periodo de descensos en el que los bombeos son más acusados.

b) Tendencias a largo y medio plazo

Se ha aplicado una regresión lineal para los periodos 2000-2005 (cinco años) y 1990-2005 (quince años) (Figura 12), y se han calculado las pendientes de las respectivas rectas de ajuste, lo que nos da la tendencia. Los valores obtenidos para cada una de ellas son $-0,0675$ y $-0,0694$ respectivamente. Ello indica que independientemente del periodo considerado la tendencia es similar a largo y medio plazo para este sector.



Figura 12. Sector I. Tendencia del nivel piezométrico en los últimos 15 y 5 años.

El gráfico indica la evolución en metros con respecto una referencia en el tiempo, que sería abril de 1990. En dicho punto de referencia temporal se establece un valor 0 para la cota piezométrica y se observa la diferencia de nivel sufrida a lo largo del tiempo, que para el caso de este sector, refleja un descenso de hasta 17 m con respecto a abril de 1990 en los meses estivales del año 2004. El descenso de nivel actual se sitúa en 13 m por debajo del nivel de referencia de 1990.

c) Evolución anual entre máximos y mínimos históricos e índice de llenado

El análisis de la situación actual se realiza mediante la representación de la evolución anual entre máximos y mínimos históricos, teniendo en cuenta los datos correspondientes tanto al último año de control (2004/2005) como a la última campaña realizada en abril de 2005. A partir del gráfico representado en la Figura 13 se calcula el índice que expresa la

situación piezométrica actual, es decir, el índice de llenado en una serie histórica de 15 años, N_{15} , para el mes de abril de 2005, que en este caso es 0, lo que representa el 0% de llenado en este sector.

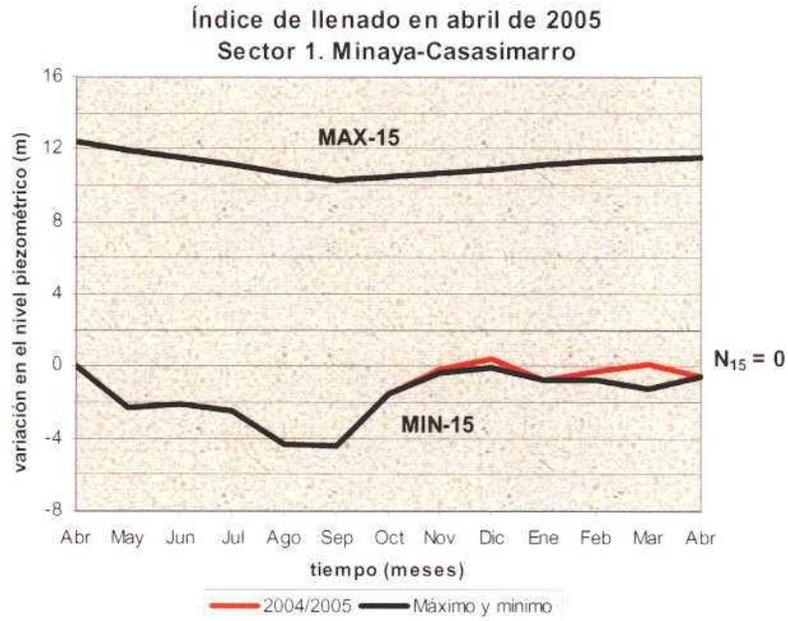


Figura 13. Sector 1. Representación de la evolución actual entre máximos y mínimos históricos.

En la Figura 13 se observa como en el sector del Cretácico-Jurásico de Minaya-Casasimarro los valores medidos en el último año son muy bajos, incluso llegándose a mínimos históricos de los últimos 15 años en los primeros meses, donde a partir del mes de octubre, se aprecia una recuperación ligera. En cualquier caso, los valores medidos en este año están siempre muy próximos al mínimo histórico, lo cual indica que están muy por debajo de los valores que serían deseables, sin excepción en ningún mes.

En la Figura 14 se representa la evolución del resultado del cálculo de los índices de llenado a lo largo de los últimos 10 años para este sector. Vemos como los valores calculados para este índice se encuentran siempre muy próximos a cero, a excepción del periodo comprendido entre finales de 1997 y el verano del año 2000, en el que este índice alcanza su máximo del 20% de llenado en abril 1999. No obstante, éste es un valor bajo.

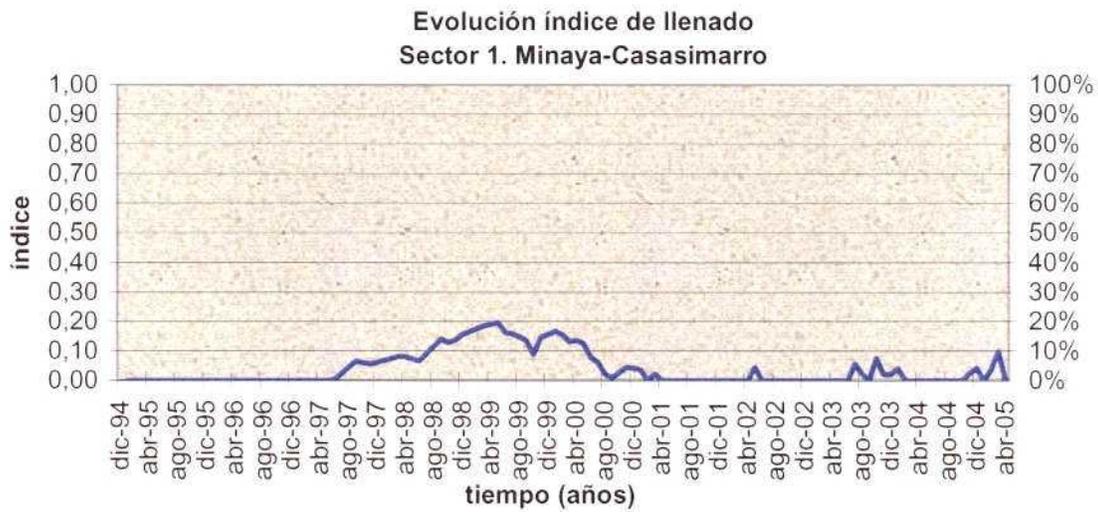


Figura 14. Sector 1. Evolución histórica del índice de llenado

4.3.1.2. Perfil de Calidad (Sector 1)

Ninguna de las curvas de los parámetros de calidad representa una situación razonable en los dos únicos puntos de control del IGME (serie histórica hasta marzo de 2002) en este sector de la Mancha Oriental. Los repetidos picos de máximos y mínimos, existentes en uno de ellos, se producen de manera exagerada y no realista, que puede ser debido bien a medidas erróneas o a una situación específica local. El segundo punto de control pertenece a su vez a la red de control de piezometría y se empezó a utilizar en la red de calidad a partir del año 2000 y hasta marzo de 2002, por lo tanto no ofrece una serie histórica que pueda servir a este estudio. En consecuencia, el sector 1 carece de datos para la aplicación de índices e indicadores de calidad en los puntos de control de la red de calidad del IGME.

Se ha apuntado en el apartado 4.1.2 que la serie del IGME en este sector no podía ser continuada por la actual red de control oficial, pero si consideramos solamente esta última (serie desde abril de 2002 hasta octubre de 2004), puede darse el valor de los índices de calidad en este sector para octubre de 2004, que serían 0,26; 0,26 y 0,38 para la conductividad eléctrica, sulfatos y nitratos respectivamente. De todos los indicadores e índices que forman el Perfil de Calidad, las series históricas no son suficientemente largas como para hablar de evoluciones o tendencias, ni tampoco de índices de evolución de calidad, para los que sería necesario tener un mínimo de 15 años de medidas. En el futuro, a través del

mantenimiento correcto de la actual red oficial podrá ser posible el desarrollo de estos indicadores en el sector 1 de la MAS.- 080.029, Mancha Oriental.

4.3.2. Sector 2. Mioceno de la llanura de Albacete

4.3.2.1. Perfil de Llenado (Sector 2)

a) Evolución gráfica de los niveles piezométricos

Para el acuífero correspondiente al Mioceno, el gráfico de evolución de niveles desde 1980 se muestra en la Figura 15.

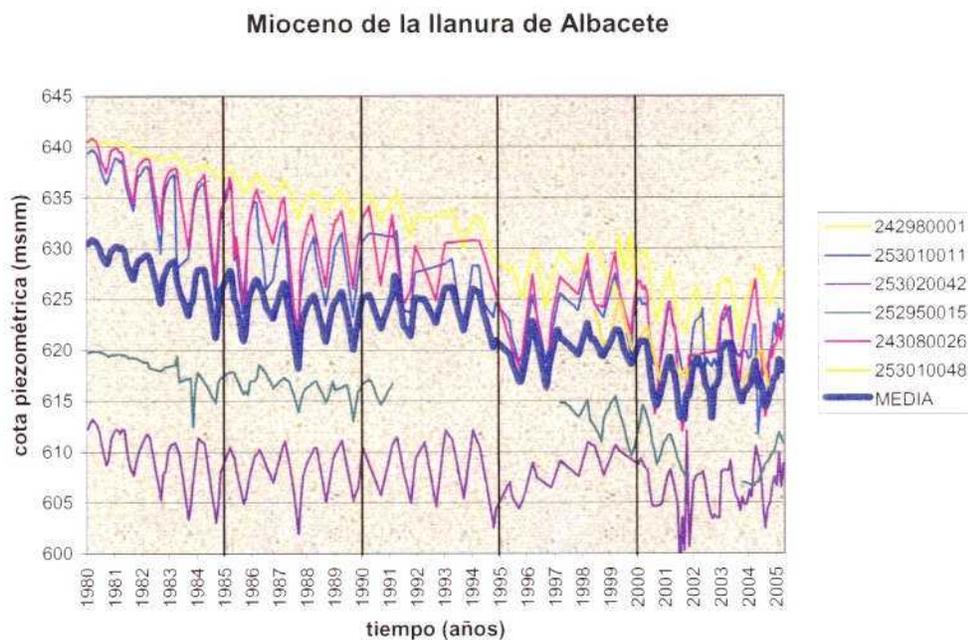


Figura 15. Sector 2. Niveles piezométricos (1980-2005)

El gráfico muestra una mayor variabilidad en cuanto a los valores absolutos de las cotas en todos los piezómetros incluidos en él, pero por otro lado se aprecia claramente una evolución similar en todos ellos, donde las subidas y bajadas del nivel se producen simultáneamente.

La discontinuidad en la línea de evolución de uno de los piezómetros (línea verde del gráfico) se debe a que el piezómetro 252950015 carece de medidas desde el año 1991 hasta el año 1997 y desde el año 2002 hasta el año 2004. La curva característica de este sector, es

decir, la curva que representa la media de los piezómetros, sigue una pauta descendente, aunque en los últimos cinco años se observa una interrupción en este comportamiento, recuperando cada año el nivel tras los descensos sufridos. A lo largo de los últimos veinticinco años el descenso total producido ha sido de 12 metros.

b) Tendencias a largo y medio plazo

Para el caso del acuífero Mioceno, la regresión lineal aplicada para los últimos quince y cinco años (1990-2005 y 2000-2005) (Figura 16), muestra unas pendientes de sendas rectas de ajuste de 0 y $-0,05$ respectivamente, lo cual indica que la tendencia general es descendente, aunque en los últimos cinco años se estabilizan los niveles.

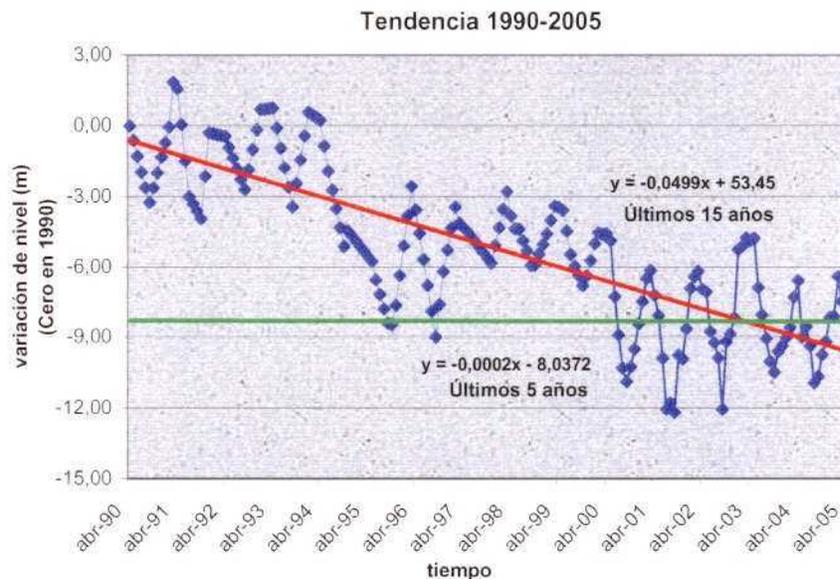


Figura 16. Sector 2. Tendencia del nivel piezométrico en los últimos 15 y 5 años.

El gráfico del indicador de tendencia expresa la evolución en metros con respecto una referencia en el tiempo, situada en abril de 1990, y donde a la cota piezométrica se le asigna el valor de 0. La diferencia de nivel sufrida a lo largo del tiempo con respecto a dicha referencia adquiere un valor mínimo de -12 m (correspondientes a los meses de septiembre de 2002 y septiembre de 2003) y en abril de 2005 el descenso de nivel producido con respecto a abril de 1990 es de 6 m.

c) Evolución anual entre máximos y mínimos históricos e índice de llenado

La representación de la evolución anual entre máximos y mínimos históricos teniendo en cuenta los datos correspondientes tanto al último año de control (2004/2005) como a la última campaña realizada en abril de 2005 da lugar a la representación gráfica de la Figura 17, en la que se aprecia como los niveles están próximos a los valores mínimos históricos de los últimos 15 años, alcanzando dichos mínimos únicamente en los meses de marzo y mayo.

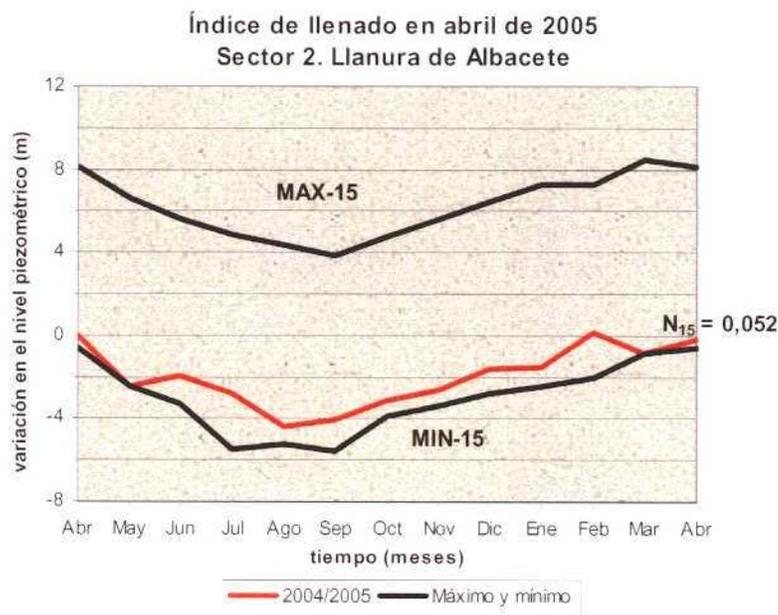


Figura 17. Sector 2. Representación de la evolución actual entre máximos y mínimos históricos

A partir del gráfico representado en la Figura 17 se ha calculado el índice de llenado, N_{15} , para el mes de abril de 2005, que adquiere un valor de 0,052 para el acuífero del Mioceno, lo que representa que la situación piezométrica actual es de 5% de llenado para este sector.

En la Figura 18 se representa la evolución del resultado del cálculo de los índices de llenado a lo largo de los últimos 10 años para este sector. En este caso, el valor medio de la evolución del índice resulta en un 12% del llenado histórico tomando como referencia series de 15 años. Existen tres puntos máximos que llegan a representar el 40% de llenado de su evolución histórica (sep-97 = 44%, sep-98 = 43% y may-03 = 41%), y un periodo mínimo de 0% que comienza en junio de 2000 y termina en septiembre de 2001.

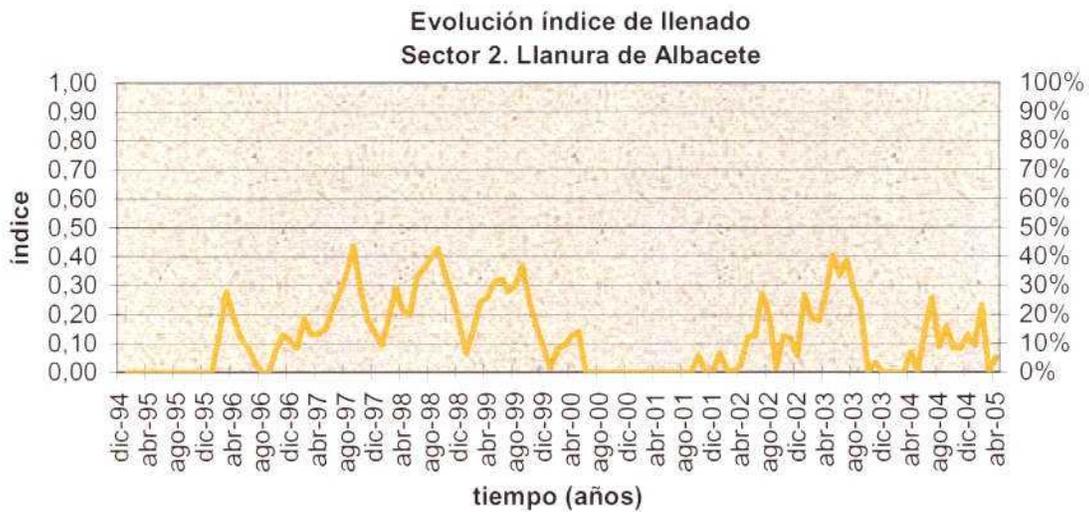


Figura 18. Sector 2. Evolución histórica del índice de llenado.

4.3.2.2. Perfil de Calidad (Sector 2)

Se ha indicado en el apartado 4.1.2, sobre la red de calidad, que dada la red de puntos de control del IGME y su desconexión con los puntos de la actual red oficial en este sector, no puede hacerse un análisis continuo de las distintas series paramétricas hasta 2005. Por lo tanto el análisis del Perfil de Calidad que se presenta a continuación incluye la aplicación de los indicadores hasta el momento en que se dejó de tomar medidas por parte del IGME en su red de calidad y que se prolongó sólo hasta marzo de 2001.

a) Evolución gráfica de los parámetros

En las Figuras 19, 20 y 21 se representa la evolución temporal de los parámetros anteriormente seleccionados (apartado 4.3). Salvo algunas excepciones, la evolución en todos los puntos de control presenta un paralelismo aparente. Lo más significativo, coincidiendo con lo esperado, es que las concentraciones se mantienen aproximadamente en los mismos niveles para todos los parámetros. La media refleja valores entre 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la conductividad eléctrica, 225 mg/L y 300 mg/L para los sulfatos y entre 20 mg/L y 30 mg/L para los nitratos. En el caso de la conductividad eléctrica el máximo se alcanza por un brusco aumento en la concentración en otoño de 1995, que se deba posiblemente a la sequía ocurrida durante ese mismo año.

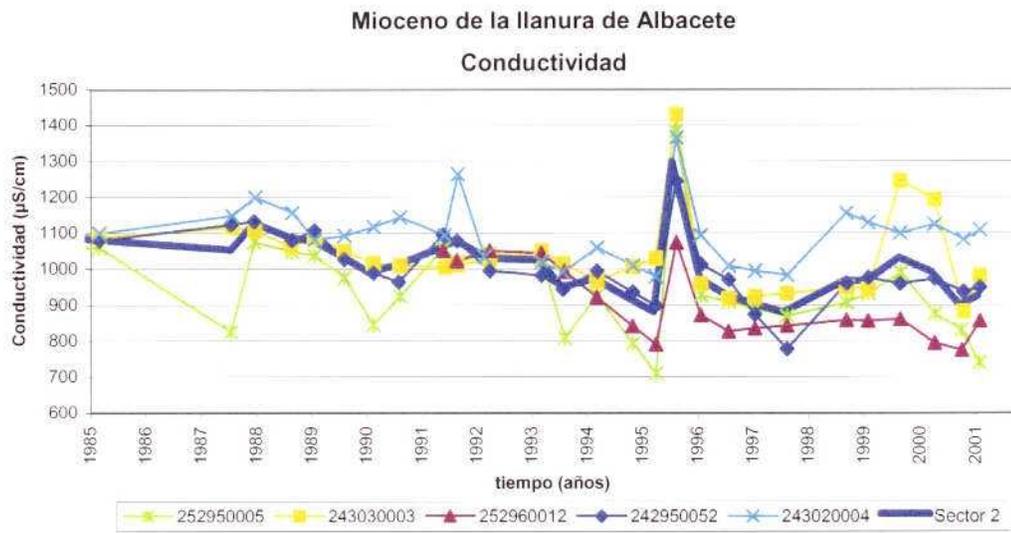


Figura 19. Sector 2. Evolución histórica de la conductividad eléctrica.

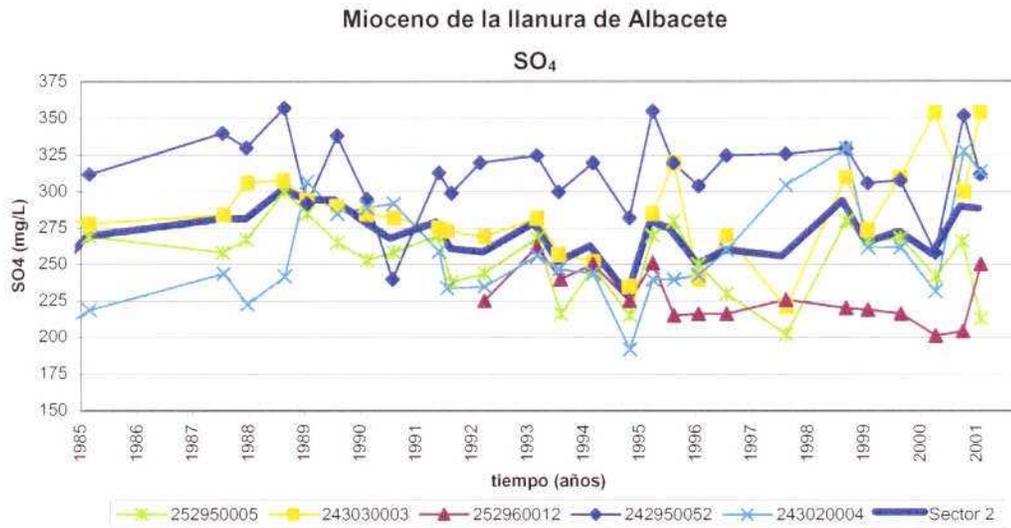


Figura 20. Sector 2. Evolución histórica de los sulfatos.

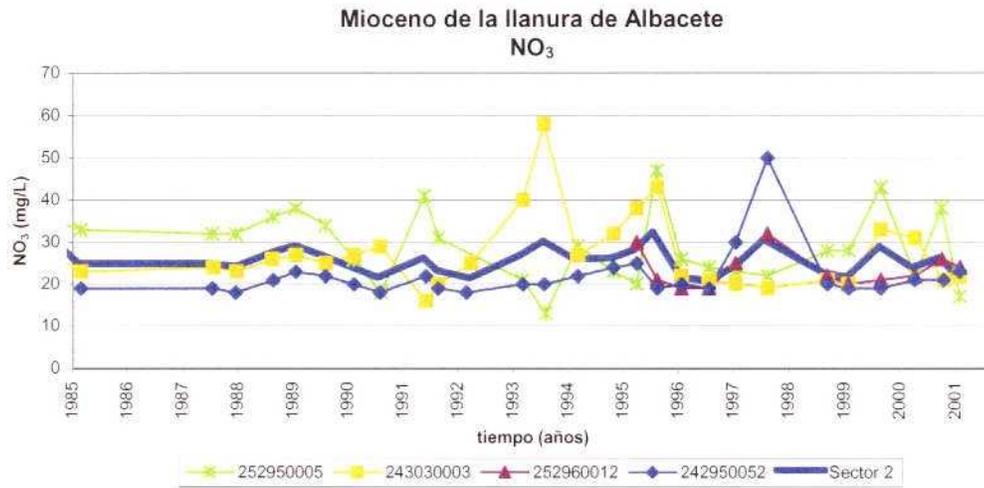


Figura 21. Sector 2. Evolución histórica de los nitratos.

b) Tendencias a largo y medio plazo

Las tendencias a largo plazo de la conductividad y de los sulfatos indican un ligero descenso en las concentraciones, mientras que los nitratos se mantienen estables a lo largo de todo el periodo (Figuras 22, 23 y 24). Los valores de las rectas de ajuste de cada uno de los parámetros obtenidas a largo plazo son de -0,028, -0,002 y 0 para la conductividad eléctrica, sulfatos y nitratos respectivamente. Por otro lado, en los últimos cinco años, el sector Mioceno de la llanura de Albacete se caracteriza por unas tendencias ascendentes de los tres parámetros con unas pendientes de +0,013 para la conductividad eléctrica, +0,016 para los sulfatos y +0,001 para los nitratos.

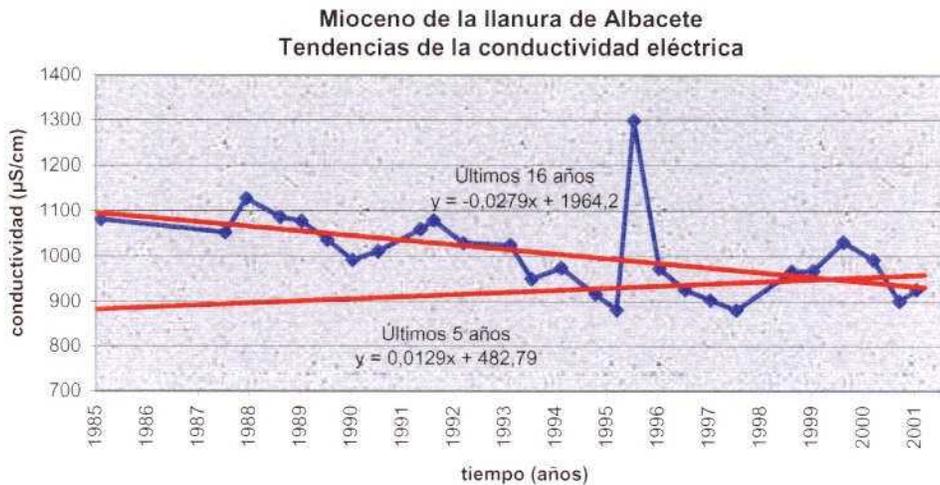


Figura 22. Sector 2. Tendencias de la conductividad

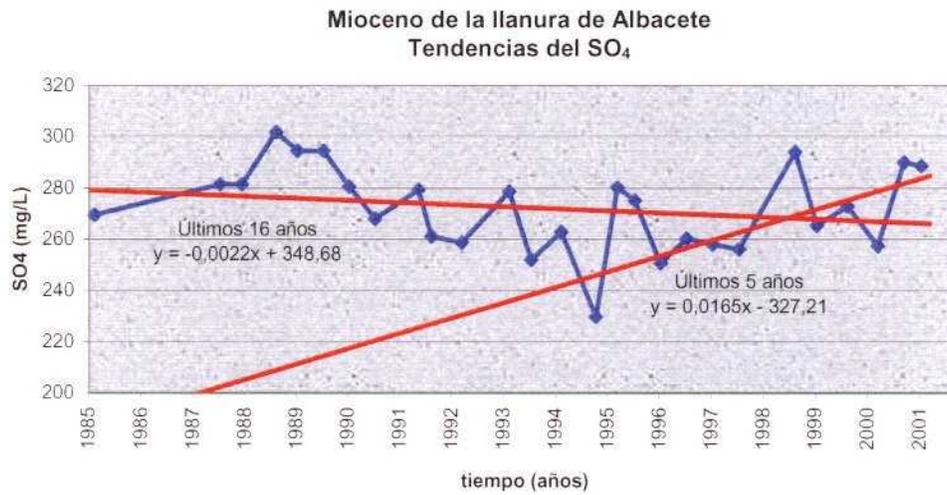


Figura 23. Sector 2. Tendencias de los sulfatos.

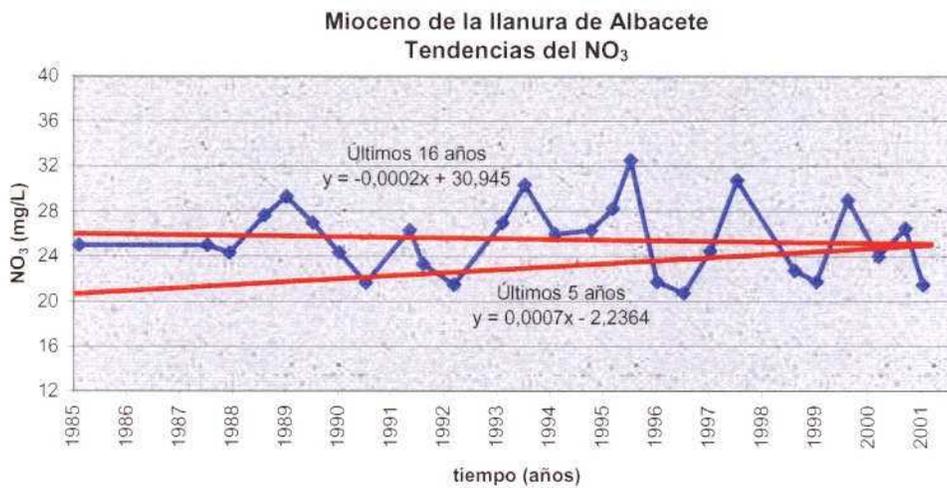


Figura 24. Sector 2. Tendencias de los nitratos

c) Índice de calidad

Para su cálculo se aplica la fórmula del índice, $IC_p = \frac{[P]}{V_L}$ (Pernía y Lambán, 2004).

Este índice describe como se encuentra la masa de agua en relación a los valores límites impuestos en la legislación (V_L , valores fijados por la Directiva 98/93/CE y su transposición RD 140/2003, conductividad eléctrica: 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; SO_4^- : 250 mg/L y NO_3^- : 50 mg/L), siendo [P] la concentración del parámetro de interés. La interpretación de los índices obtenidos sería:

- IC_p > 1 Calidad no utilizable o mal estado químico.
- IC_p = 1. Calidad con concentraciones en el valor límite o umbral.
- IC_p = 0,5 Calidad con concentraciones medias de las del límite requerido.
- IC_p = N Calidad que se obtiene cuando su concentración es la del estado natural.

Los valores calculados para el índice de calidad en el sector 2, Mioceno de la llanura de Albacete, en marzo de 2001 (índice de primavera) se incluyen en la Tabla 9:

Tabla 9. Sector 2. Valores del índice de calidad en marzo de 2001.

Parámetro	Índice de calidad	
Conductividad eléctrica	0,37	37 %
Sulfatos	1,15	115 %
Nitratos	0,43	43 %

La “Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la protección de las aguas subterráneas de la contaminación”, señala como punto de partida de la inversión de tendencias al aumento significativas el momento en el cual la concentración del contaminante alcance el 75% de los valores paramétricos de las normas de calidad y de los valores umbral. Por consiguiente, el índice de calidad es necesario para la determinación del este punto e informa sobre el riesgo y tipo de contaminación con respecto al uso del agua o el estado químico de un determinada masa de agua.

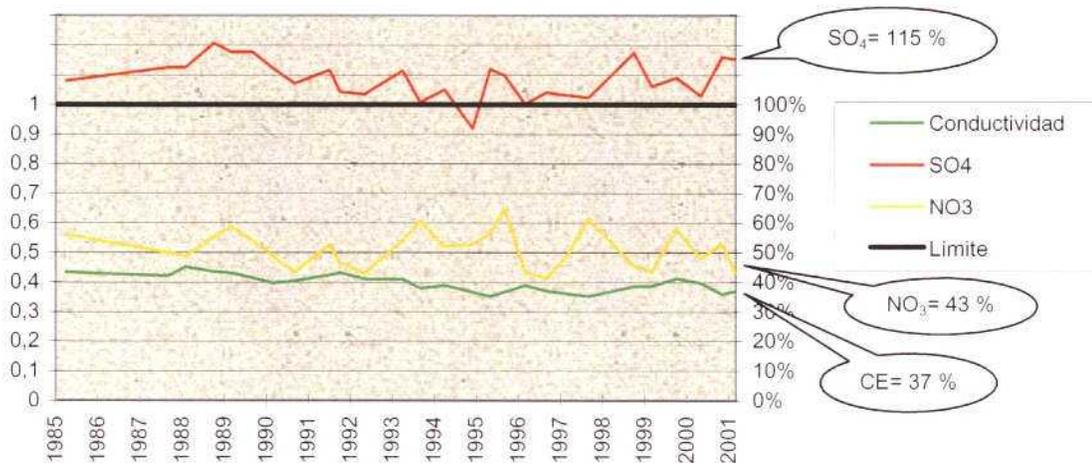


Figura 25. Sector 2. Evolución del índice de calidad

Los valores obtenidos a lo largo de los últimos 16 años se representan en la Figura 25, de la que se extraen las siguientes conclusiones para el sector 2 de la Mancha Oriental: a) la conductividad eléctrica es la que presenta los valores más bajos del índice; b) tanto la conductividad eléctrica como los nitratos indican una calidad con concentraciones alrededor de los valores medios del límite requerido y además no alcanzan en ningún momento el punto de inversión de tendencias (75%); c) los sulfatos se encuentran, salvo en diciembre de 1994, por encima del valor límite durante todo periodo, lo que indica una calidad de mal estado químico, sobrepasando actualmente el punto en el cual debería iniciarse una inversión de tendencias (la última medida tomada en marzo de 2001 representa un 115 %).

d) *Índice de evolución de calidad*

Este índice (Pernía y Lambán, 2004), $IE_p = \frac{[P] - [V_N]}{[P_{MAX}] - [V_N]}$, representa el cociente entre la diferencia de la concentración actual del parámetro, [P] y el valor o fondo natural [V_N] para dicho parámetro (mientras no se defina, se considera para este trabajo como el valor mínimo histórico de la media de las series), y la diferencia entre la concentración máxima del parámetro durante el periodo de control [P_{MAX}] y el valor o fondo natural para dicho parámetro. El índice de evolución permite evaluar el estado actual en comparación con el periodo histórico de la siguiente manera:

$IE_p = 1$	Concentración igual al valor máximo durante el periodo de control.
$0 < IE_p < 1$	Concentración entre el valor natural o mínimo y el máximo del periodo de control.
$IE_p = 0$	Concentración igual al fondo natural o concentración mínima del parámetro en el periodo de control.

Los valores calculados para el índice de evolución de calidad en el sector 2, Mioceno de la llanura de Albacete, en marzo de 2001 son los que se incluyen en la Tabla 10, y nos indican que en este momento la conductividad eléctrica se encuentra a un 18% de los valores de oscilación histórica y los sulfatos y nitratos a un 90% y 9% respectivamente:

Tabla 10. Sector 2. Valores del índice de evolución de calidad en marzo de 2001.

Parámetro	Índice de calidad	
Conductividad eléctrica	0,18	18 %
Sulfatos	0,9	90 %
Nitratos	0,09	9 %

La representación gráfica de los resultados de la aplicación de este índice en los últimos 6 años para el sector 2, Mioceno de la llanura de Albacete, se muestra en la Figura 26. Las fuertes oscilaciones se deben a la diferencia entre el índice calculado para los meses de primavera y el índice calculado para los meses de otoño, lo que muestra el efecto de la estacionalidad.

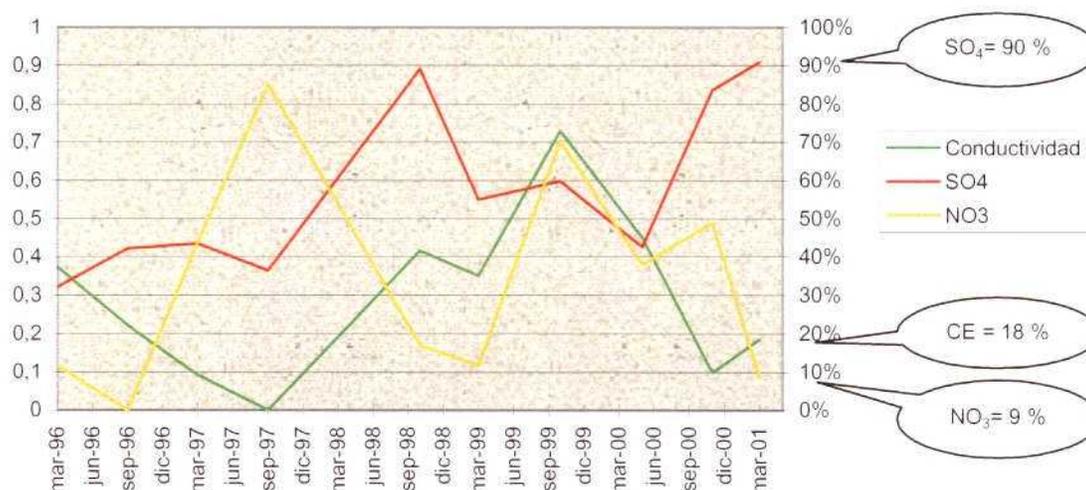


Figura 26. Sector 2. Variación del índice de evolución de calidad

4.3.3. Sector 3.1. Jurásico de La Gineta-Barrax-La Herrera

4.3.3.1. Perfil de Llenado (Sector 3.1)

a) Evolución gráfica de los niveles piezométricos

La evolución similar en los numerosos puntos de control representativos de este sector apunta a que el funcionamiento hidrodinámico tiene un comportamiento único. No se observan claramente periodos diferenciados con grandes cambios en la evolución de los

niveles piezométricos. Aunque, por otro lado, la zona de acuífero Jurásico de La Gineta-Barrax-La Herrera, se caracteriza por un ritmo de explotaciones alto, en el que a partir del año 1983, como puede verse en la Figura 27, se agudiza el efecto de los bombeos. Sin duda, se observa igualmente, como a partir del año 2003 se produce un ligero cambio en el comportamiento, cuando se aprecia una subida en los niveles piezométricos, recuperando valores que existían en el año 1998.

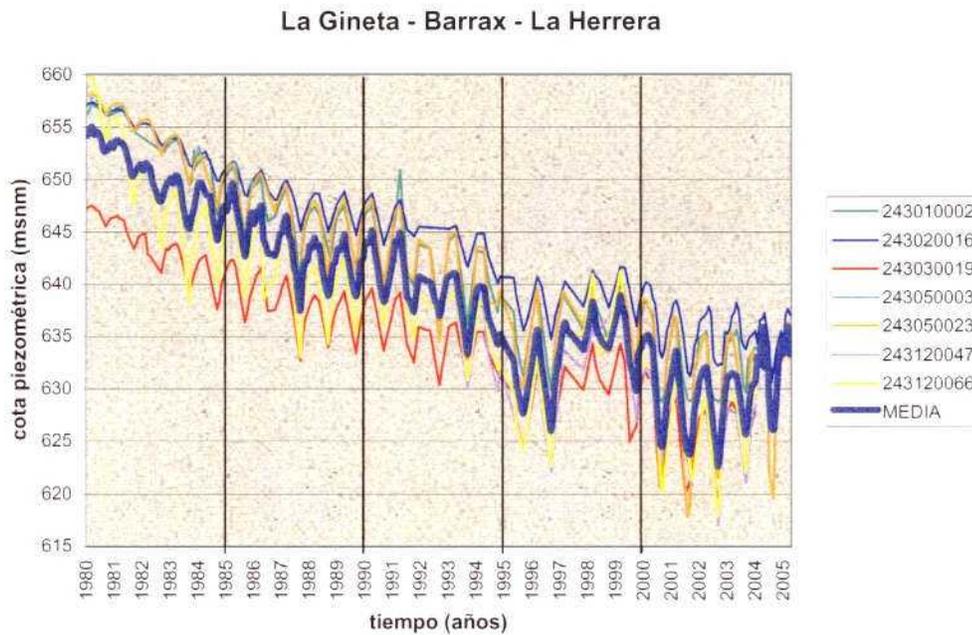


Figura 27. Sector 3.1. Niveles piezométricos (1980-2005)

b) Tendencias a largo y medio plazo

En cuanto a la tendencia, como en los sectores anteriores, se ha aplicado una regresión lineal para los últimos quince y cinco años (Figura 28), obteniéndose una pendiente para la recta de ajuste comprendida entre -0,067 y +0,056 respectivamente. La tendencia negativa para los niveles a largo plazo y positiva en los últimos cinco años, indica una clara recuperación de los niveles con el tiempo, a medio plazo.

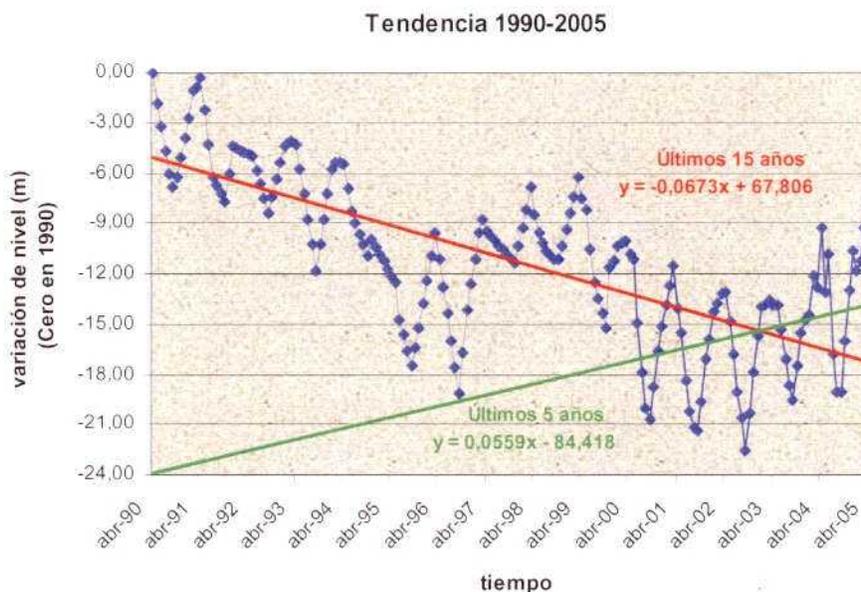


Figura 28. Sector 3.1. Tendencia del nivel piezométrico en los últimos 15 y 5 años.

Como en los dos sectores anteriores, el gráfico del indicador de tendencia expresa la evolución en metros con respecto una referencia en el tiempo, situada en abril de 1990, y donde a la cota piezométrica se le asigna el valor de 0. La diferencia de nivel sufrida a lo largo del tiempo con respecto a dicha referencia adquiere un valor mínimo de -22 m (correspondiente al mes de septiembre de 2002) y en abril de 2005 el descenso de nivel producido con respecto a abril de 1990 es de 12 m.

c) Evolución anual entre máximos y mínimos históricos e índice de llenado

En el sector 3.1, la comparación entre el mínimo y máximo de los últimos 15 años para los valores correspondientes al año 2004/2005, a la vista de la Figura 29, indica una situación actual, que dentro de encontrarse en niveles bajos, es relativamente buena, ya que ningún mes representa un mínimo histórico y los que más cerca se encuentran de los mínimos están dos metros por encima. Cabe destacar, los meses de junio, febrero y marzo como los mejores del periodo actual, con una situación de llenado casi igual a la media del periodo histórico. Con todo ello, la curva refleja fielmente la pauta seguida por los máximos y mínimos del periodo en el que está enmarcada.

El índice de llenado, N_{15} , calculado con los niveles de los últimos 15 años a partir de los datos mostrados en el gráfico de la figura toma un valor de 0,16 para el sector 3.1 de la MAS.-080.029, lo cual indica que su estado actual es de un 16% de llenado.

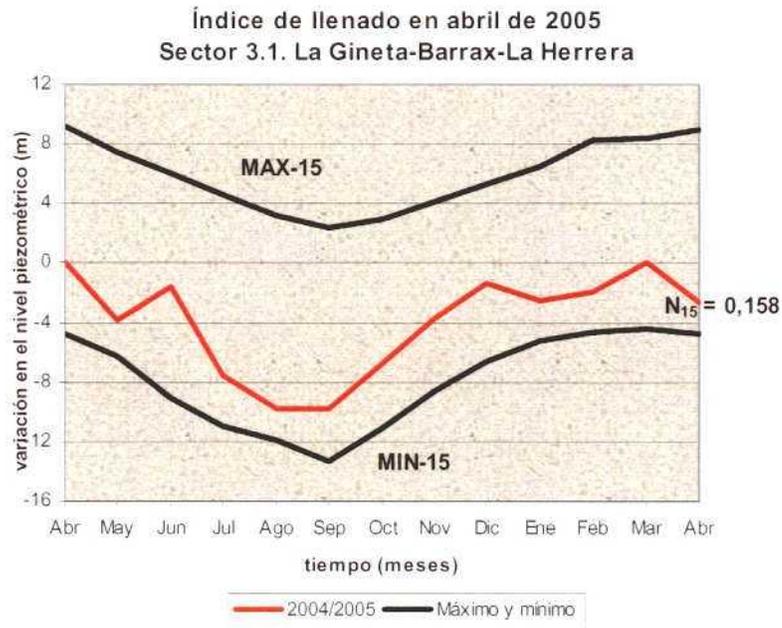


Figura 29. Sector 3.1. Representación de la evolución actual entre máximos y mínimos históricos.

En la Figura 30 se representa la evolución del resultado del cálculo de los índices de llenado a lo largo de los últimos 10 años para este sector.



Figura 30. Sector 3.1. Evolución histórica del índice de llenado.

El periodo comprendido entre finales de 1996 y el verano del año 2000, como también los meses sucesivos desde 2003 hasta abril de 2005 representan los mayores valores del índice, que alcanza su máximo del 50% de llenado histórico en mayo de 2004.

4.3.3.2. Perfil de Calidad (Sector 3.1)

a) Evolución gráfica de los parámetros

En el sector 3.1 de la Mancha Oriental existen tres puntos pertenecientes a la red de calidad del IGME (serie histórica hasta 03/2001) y otros dos puntos dentro de la red oficial (serie desde 04/2002 hasta 12/2004), diferenciados en las gráficas de las Figuras 31, 32 y 33 mediante el prefijo CA. Se ha considerado factible la unión de ambas series únicamente en este sector, razón por la cual se realiza el análisis hasta 2005.

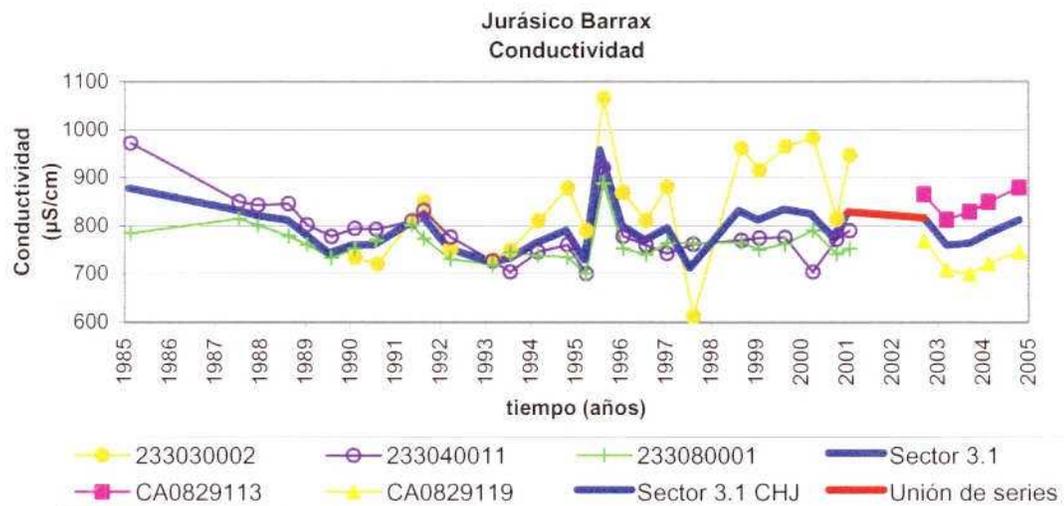


Figura 31. Sector 3.1. Evolución histórica de la conductividad eléctrica.

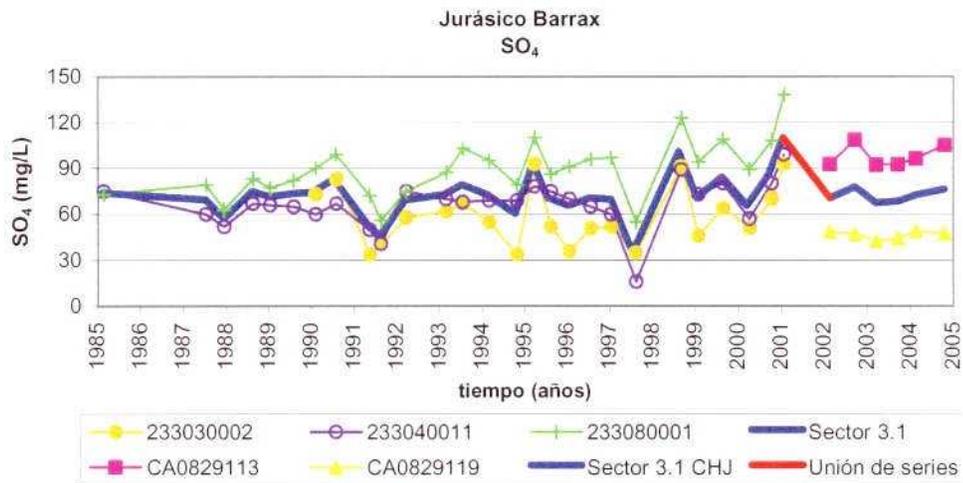


Figura 32. Sector 3.1. Evolución histórica de los sulfatos.

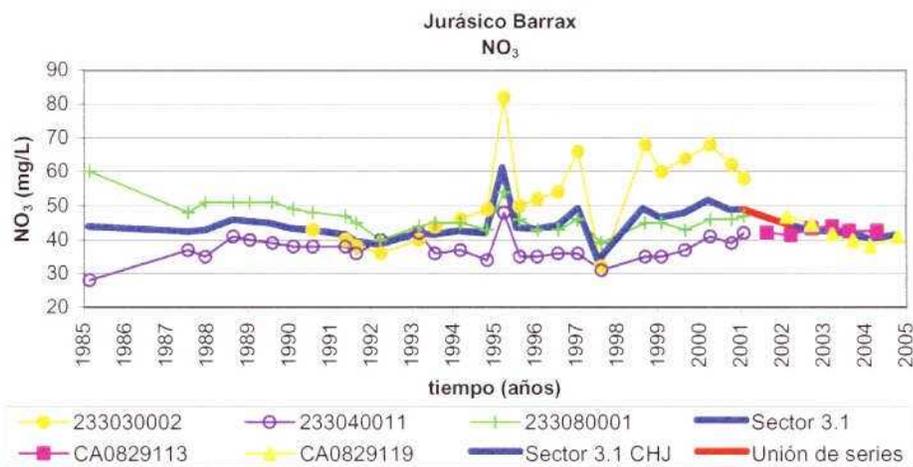


Figura 33. Sector 3.1. Evolución histórica de los nitratos.

A la vista de las Figuras 31, 32 y 33 las concentraciones de los tres parámetros permanecen en general estables durante todo el periodo a pesar de las fuertes oscilaciones en las evoluciones de los parámetros que estudian la calidad. La media refleja valores entre 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la conductividad eléctrica, 35 mg/L y 100 mg/L para los sulfatos y entre 35 mg/L y 60 mg/L para los nitratos. El paralelismo en la evolución de las series es significativo, coincidiendo los máximos de primavera de 1995 y otoño de 1998 y el mínimo de otoño de 1997 en los tres parámetros.

b) Tendencias a largo y medio plazo

En el sector 3.1 de la Mancha Oriental los tres parámetros experimentan pendientes muy suaves a largo plazo (Figuras 34, 35 y 36). En los últimos veinte años ha habido una suave tendencia al aumento en el sulfato y el nitrato y disminución de la conductividad eléctrica, sin embargo los valores de las pendientes están muy próximos a cero, por lo que el comportamiento de los tres parámetros se considera estable. En los últimos cinco años han cambiado las tendencias del sulfato y del nitrato, de forma que en la actualidad ambas están experimentando descensos. Por otro lado, no habido variación en el signo de la pendiente representada para la conductividad eléctrica, parámetro que sigue descendiendo, aunque de manera más pronunciada en los últimos años. Los valores de las rectas de ajuste calculadas a largo plazo de cada uno de los parámetros son de -0,0008, +0,0014 y +0,0002 para la conductividad eléctrica, sulfatos y nitratos respectivamente. Por otro lado las pendientes en los últimos cinco años toman los valores de -0,016 para la conductividad eléctrica, -0,0082 para los sulfatos y -0,0065 para los nitratos.

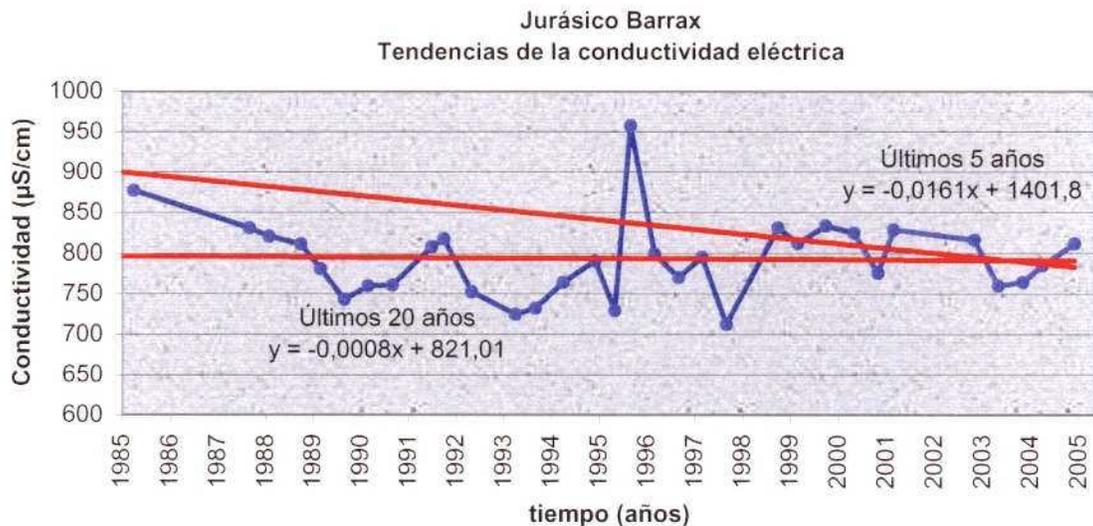


Figura 34. Sector 3.1. Tendencias de la conductividad eléctrica.

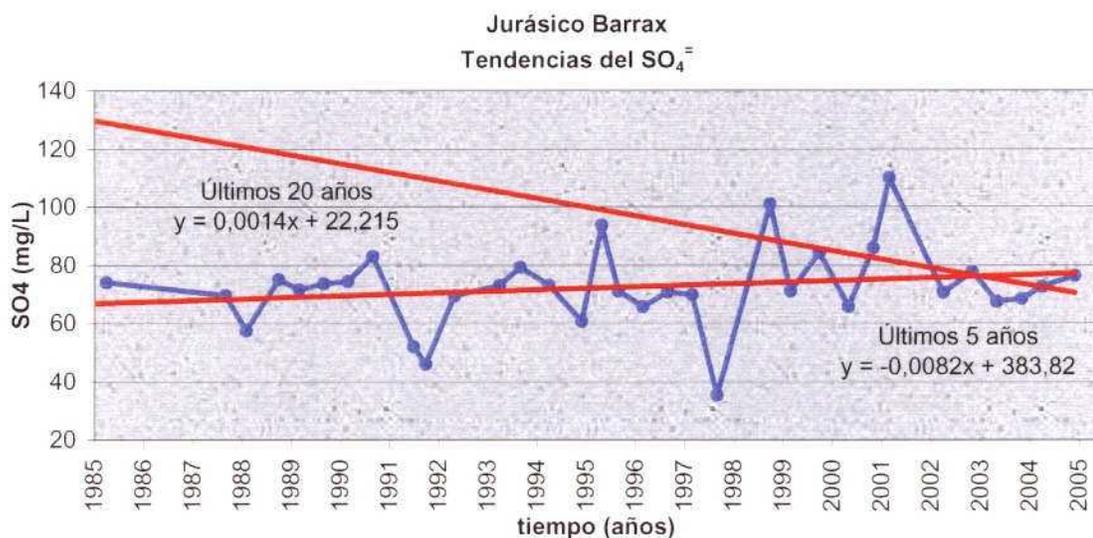


Figura 35. Sector 3.1. Tendencias de los sulfatos.

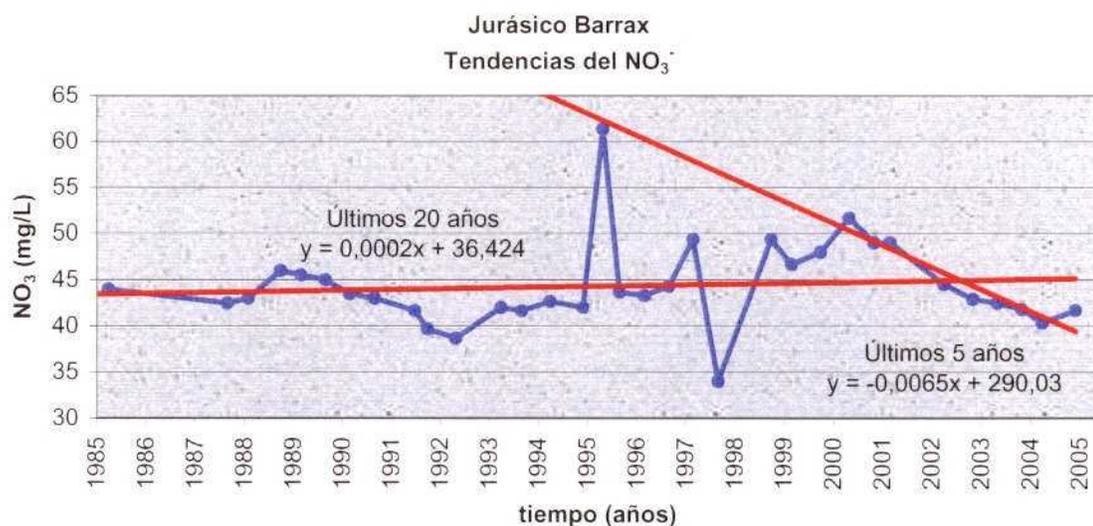


Figura 36. Sector 3.1. Tendencias de los nitratos.

c) Índice de calidad

Los valores calculados para el índice de calidad (ver apartado 4.3.2.2) en el sector 3.1, Jurásico de La Gineta-Barrax-La Herrera, en marzo de 2001 (índice de primavera), indican un 33%, 31% y 83% del límite de la calidad requerida por la legislación para la conductividad eléctrica, los nitratos y los sulfatos respectivamente (Tabla 11).

Tabla 11. Sector 3.1. Valores del índice de calidad en marzo de 2001.

Parámetro	Índice de calidad	
Conductividad eléctrica	0,33	33 %
Sulfatos	0,31	31 %
Nitratos	0,83	83 %

La Figura 37 muestra la evolución del índice de calidad en los últimos 20 años, donde se observa que el nitrato supera y llega al valor de 1 en varios momentos, lo que indicaría que los niveles de nitrato están por encima del máximo fijado por la legislación, y pone de manifiesto un riesgo de contaminación con una afección elevada. Además debe observarse que, a excepción de los años 1997 y 2002, el nitrato está siempre por encima del 75 % del valor límite o umbral fijado en el RD 140/2003 para los nitratos y por lo tanto debería considerarse el momento actual como punto de partida de la inversión de tendencias. Los otros dos parámetros se encuentran en una calidad buena o aceptable a lo largo del periodo histórico, que indican una afección, en general, leve.

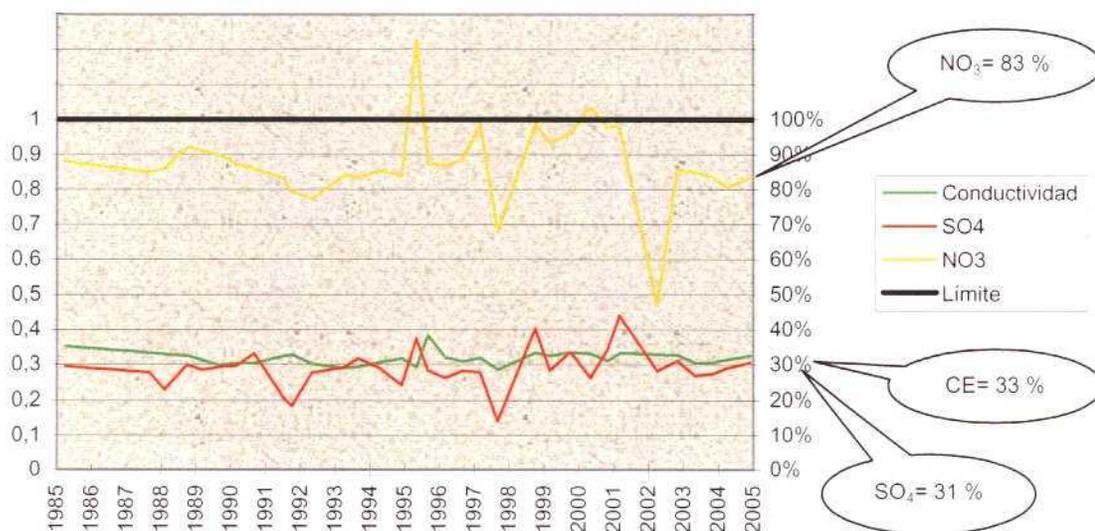


Figura 37. Sector 3.1. Evolución del índice de calidad

d) Índice de evolución de calidad

Los valores calculados para el índice de evolución de calidad en el sector 3.1, Jurásico de La Gineta-Barrax-La Herrera, (ver apartado 4.3.2.2, índice de evolución de calidad en el sector 2), en marzo de 2001 son los que se incluyen en la Tabla 12 y nos indican que en este momento la conductividad eléctrica se encuentra a un 82% de los valores de oscilación histórica y los sulfatos y nitratos a un 62% y 50% respectivamente:

Tabla 12. Sector 3.1. Valores del índice de evolución de calidad en marzo de 2001.

Parámetro	Índice de calidad	
Conductividad eléctrica	0,82	82 %
Sulfatos	0,62	62 %
Nitratos	0,5	50 %

En la Figura 38 se representan los valores del índice de evolución para los tres parámetros en los últimos 6 años en este sector. Los picos observados a lo largo del periodo indican la estacionalidad en el valor calculado para el índice en los meses de otoño, que generalmente es mayor que el calculado para los meses de primavera en este sector. La serie histórica tomada como periodo de control incluye los valores medidos desde enero de 1985 hasta diciembre de 2004 para las tres series.

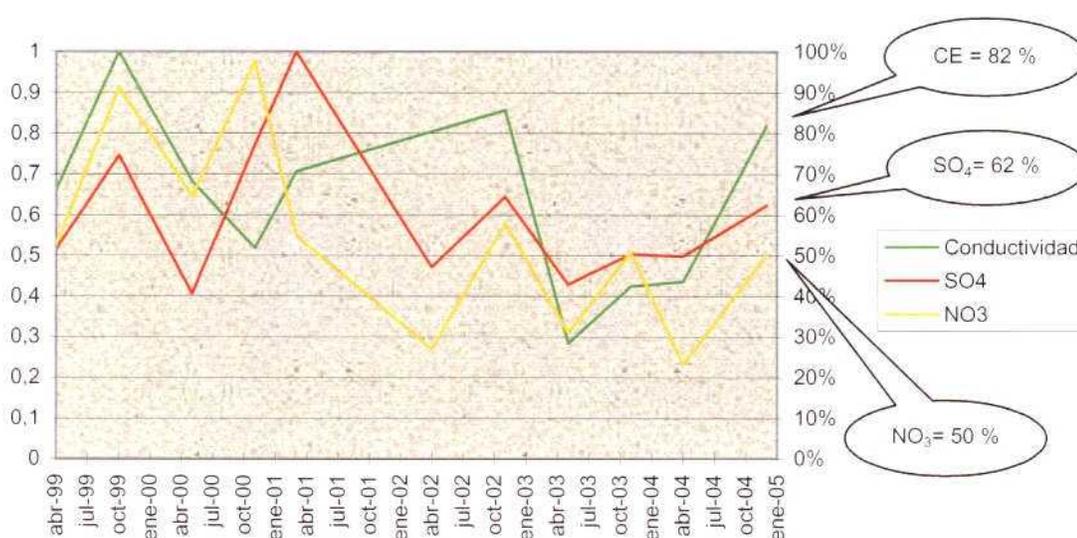


Figura 38. Sector 3.1. Variación del índice de evolución de calidad

4.3.4. Sector 3.2. Jurásico de Salobral

4.3.4.1. Perfil de Llenado (Sector 3.2)

a) Evolución gráfica de los niveles piezométricos

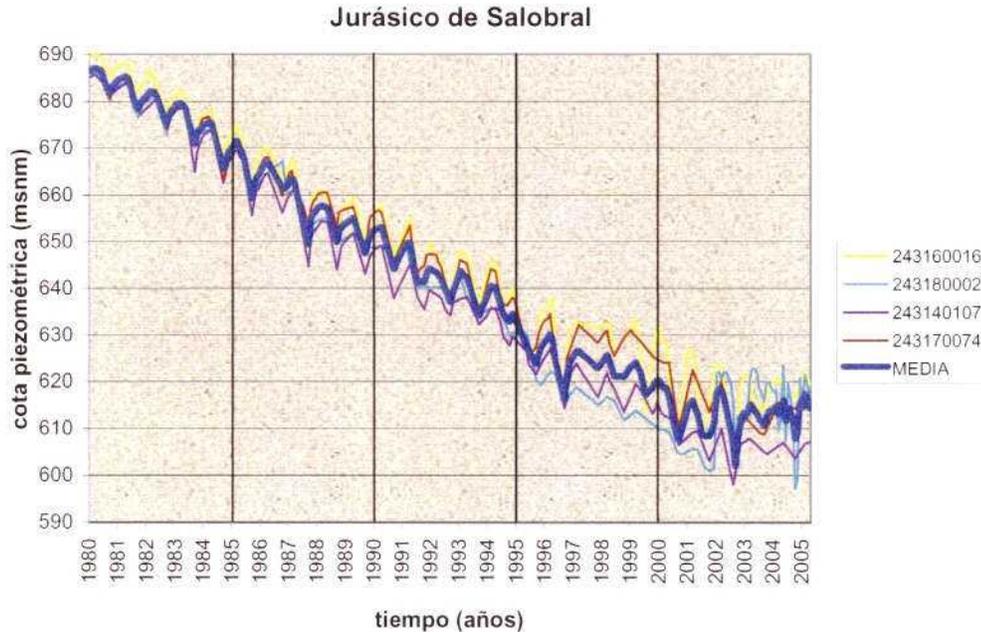


Figura 39. Sector 3.2. Niveles piezométricos (1980-2005)

Como puede observarse en la Figura 39, el descenso sufrido en los niveles es importante para el acuífero jurásico del sector de Salobral. A lo largo de los últimos 25 años se ha producido un descenso continuado de los niveles piezométricos con una acusada influencia de los bombeos, hasta llegar a un máximo de 80 metros. No obstante, hay que señalar la rápida recuperación de niveles y relativa estabilización de los mismos a partir del año 2000. En este sector también la evolución similar en sus piezómetros muestra que el funcionamiento hidrodinámico tiene un comportamiento único para el acuífero jurásico.

b) Tendencias a largo y medio plazo

En cuanto a la tendencia del acuífero Jurásico en el sector 3.2, la regresión lineal aplicada para los periodos 2000-2005 y 1990-2005, da lugar a unas pendientes de las rectas de ajuste de +0,02 para los últimos 5 años y de -0,22 para los últimos 15, lo cual indica una tendencia descendente generalizada para el periodo completo. Por otro lado, a medio plazo

hay una tendencia a la estabilización de niveles, mostrando una pendiente ligeramente positiva. Ambas situaciones se muestran gráficamente bien definidas en la Figura 40.

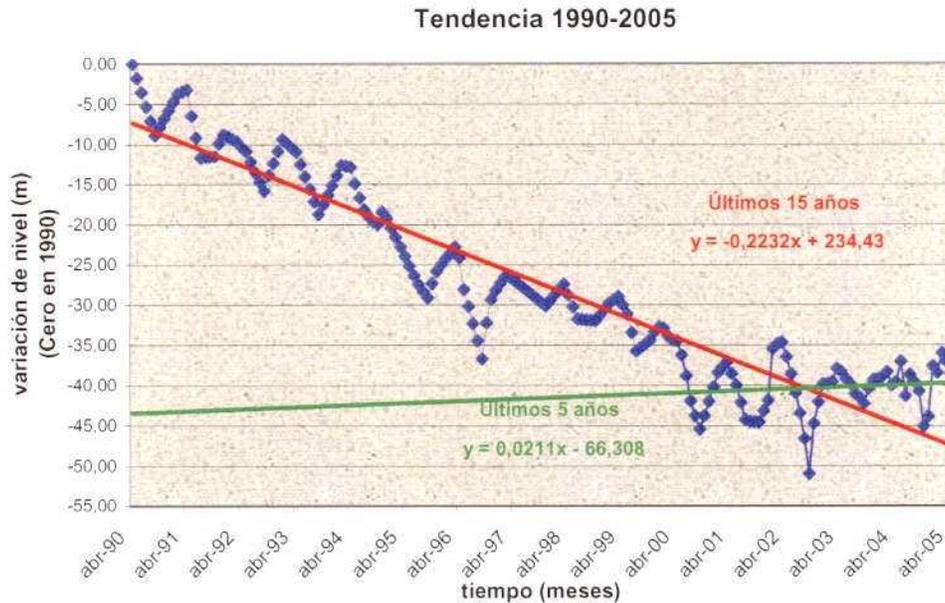


Figura 40. Sector 3.2. Tendencia del nivel piezométrico en los últimos 15 y 5 años.

Una vez más, cabe indicar que la representación gráfica de la tendencia viene dada por la evolución en metros con respecto a la referencia de abril de 1990, donde a la cota piezométrica se le asigna el valor de 0. La diferencia de nivel sufrida a lo largo del tiempo con respecto a dicha referencia adquiere un valor mínimo de -52 m (correspondiente al mes de septiembre de 2002) y en abril de 2005 el descenso de nivel producido con respecto a abril de 1990 es de 38 m.

Lo más importante de la Figura 40 es que se observa un claro cambio en la tendencia en los últimos cinco años, en los que se tiende a estabilizar los niveles del acuífero, que durante tantos años han ido en progresivo descenso. Este es el sector que presenta las tendencias más acusadas.

e) Evolución anual entre máximos y mínimos históricos e índice de llenado

Para el sector del Jurásico de Salobral, 3.2, se aprecia en la Figura 41 una situación crítica próxima al mínimo histórico, donde los valores medidos en octubre, noviembre y casi el valor de junio coinciden con los valores mínimos registrados hasta el momento y además se

encuentran aproximadamente a 15 m por debajo de la media del periodo histórico de 1990-2005. Es importante señalar la gran desviación entre los valores de los máximos y mínimos históricos, que alcanza su máximo en el mes de septiembre con 42 metros de diferencia.

El índice de llenado, N_{15} , aplicado al periodo 1990-2005 y calculado a partir de los datos mostrados en el gráfico de la figura toma un valor de 0,03 para el sector 3.2 de la MAS.-080.029, lo cual indica que su estado actual es de un 3% de llenado.

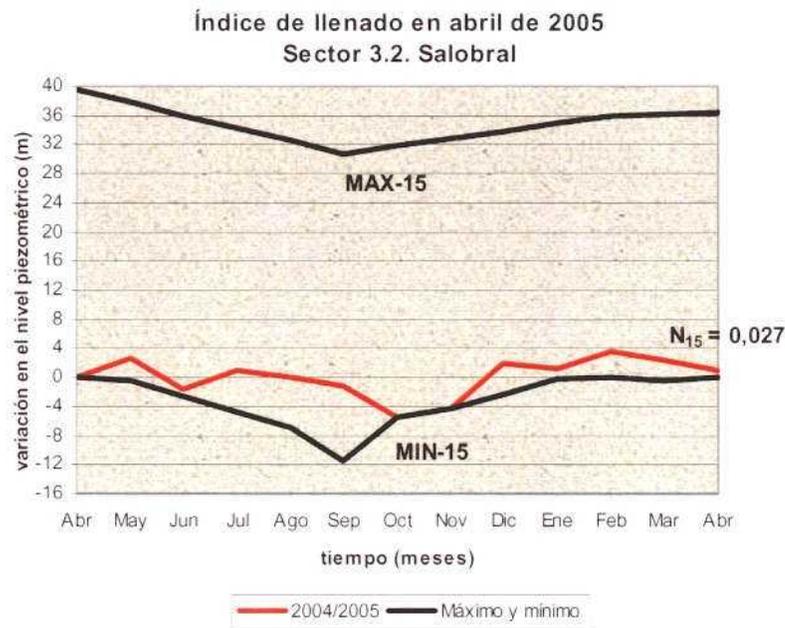


Figura 41. Sector 3.2. Representación de la evolución actual entre máximos y mínimos históricos.

En la Figura 42 se representa la evolución del resultado del cálculo de los índices de llenado a lo largo de los últimos 10 años para este sector. Vemos como los valores calculados para este índice se encuentran siempre muy próximos a cero y que a partir de enero de 2002 empieza a remontar de manera muy leve, pero esta situación no se sostiene durante mucho tiempo, ya que a finales de ese año vuelve igualmente a valores de cero y de nuevo a partir de abril de 2003 y hasta 2005 experimenta subidas y descensos rápidos, pero sin superar en ningún caso el valor del 20% del llenado histórico, lo cual indica, dentro de la escasez que caracteriza a este sector, unas condiciones no tan malas en el estado cuantitativo para los últimos años de este periodo.

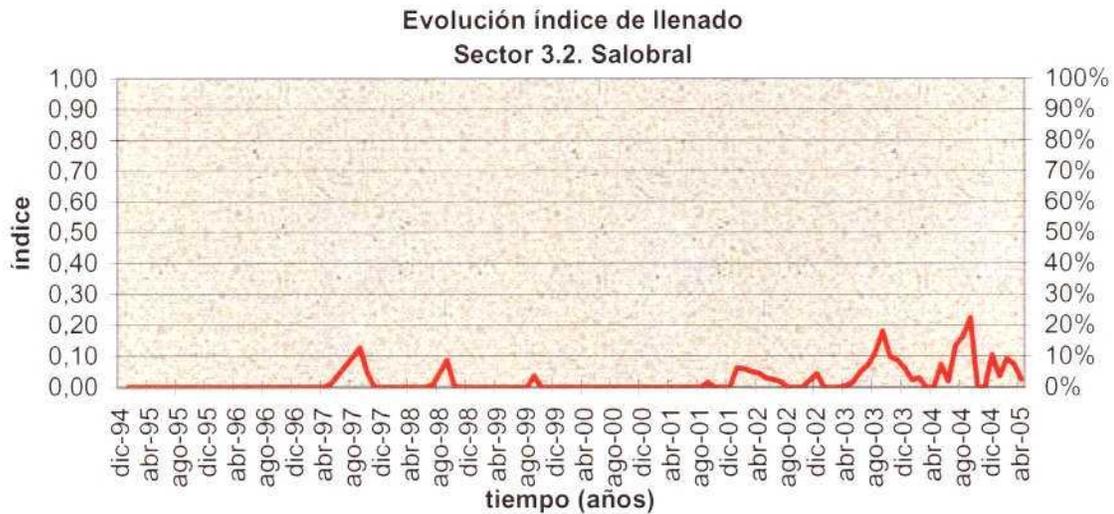


Figura 42. Sector 3.2. Evolución histórica del índice de llenado.

4.3.4.2. Perfil de Calidad (Sector 3.2)

a) Evolución gráfica de los parámetros

En las Figuras 43, 44 y 45 se representa la evolución temporal de los tres parámetros. Para los parámetros conductividad eléctrica y sulfatos la evolución en todos los puntos de control presenta un paralelismo con la media final obtenida para este sector. En el caso de los nitratos este paralelismo no se observa en todos los puntos, en los que las evoluciones no siguen una pauta común. A pesar de esto, las concentraciones se mantienen aproximadamente en los mismos niveles para todos los parámetros. La media refleja valores entre 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la conductividad eléctrica, 100 mg/L y 150 mg/L para los sulfatos, a excepción de un punto en otoño de 1997, en el que suben hasta 300 mg/L y entre 20 mg/L y 30 mg/L para los nitratos.

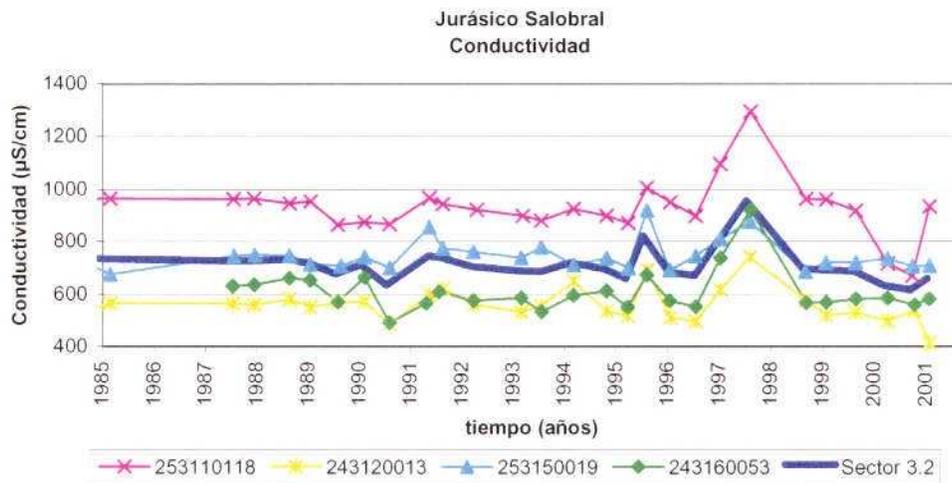


Figura 43. Sector 3.2. Evolución histórica de la conductividad eléctrica.

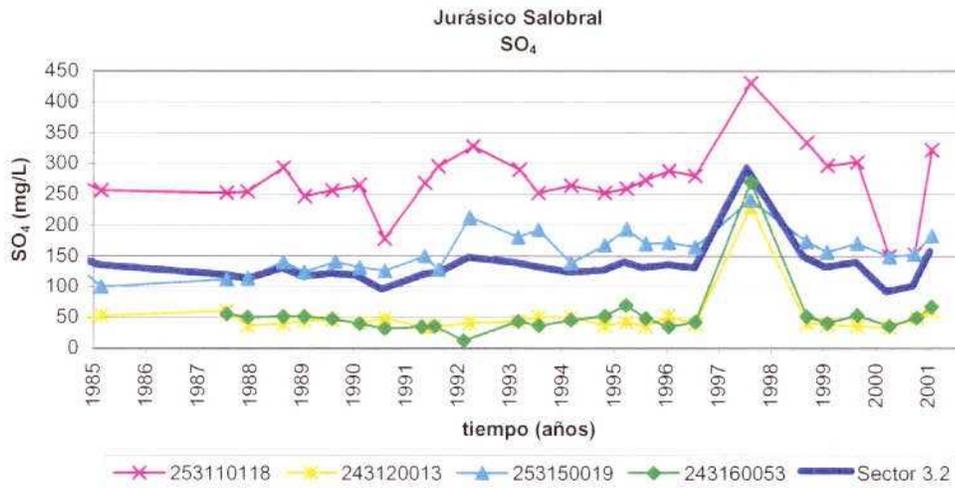


Figura 44. Sector 3.2. Evolución histórica de los sulfatos.

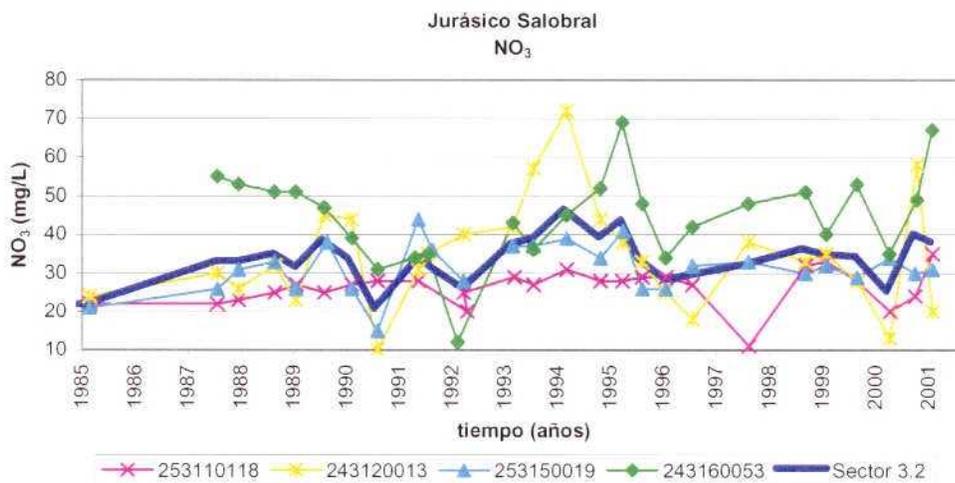


Figura 45. Sector 3.2. Evolución histórica de los nitratos.

b) Tendencias a largo y medio plazo

Las tendencias a largo plazo de los sulfatos y los nitratos indican un progresivo aumento en las concentraciones, mientras que la conductividad tiende a descender, aunque de forma leve, a lo largo del periodo de control (Figuras 46, 47 y 48). Los valores de las rectas de ajuste obtenidas a largo plazo para cada uno de los parámetros son de -0,0046, +0,0061 y +0,0009 para la conductividad eléctrica, sulfatos y nitratos respectivamente. Por otro lado, en los últimos cinco años, este sector se caracteriza por unas tendencias descendentes para la conductividad eléctrica y sulfatos, con unas pendientes de -0,0718 y -0,0356 respectivamente y tendencia ascendente para los nitratos, con una pendiente de +0,0039.

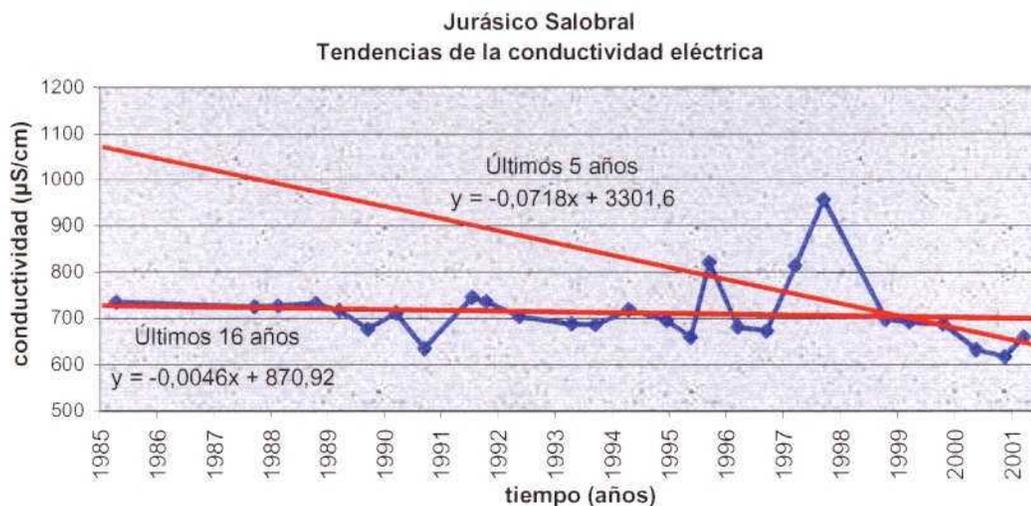


Figura 46. Sector 3.2. Tendencias de la conductividad eléctrica.

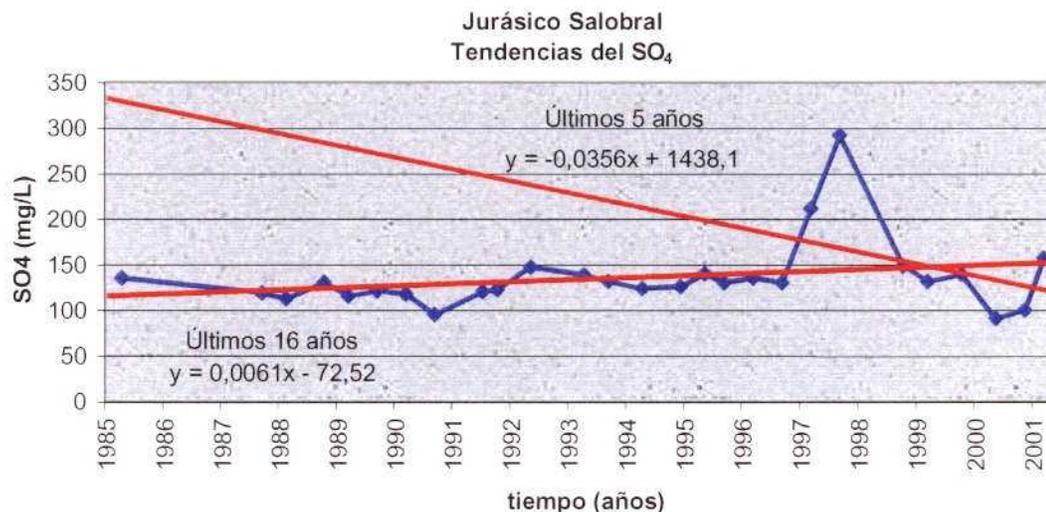


Figura 47. Sector 3.2. Tendencias de los sulfatos.

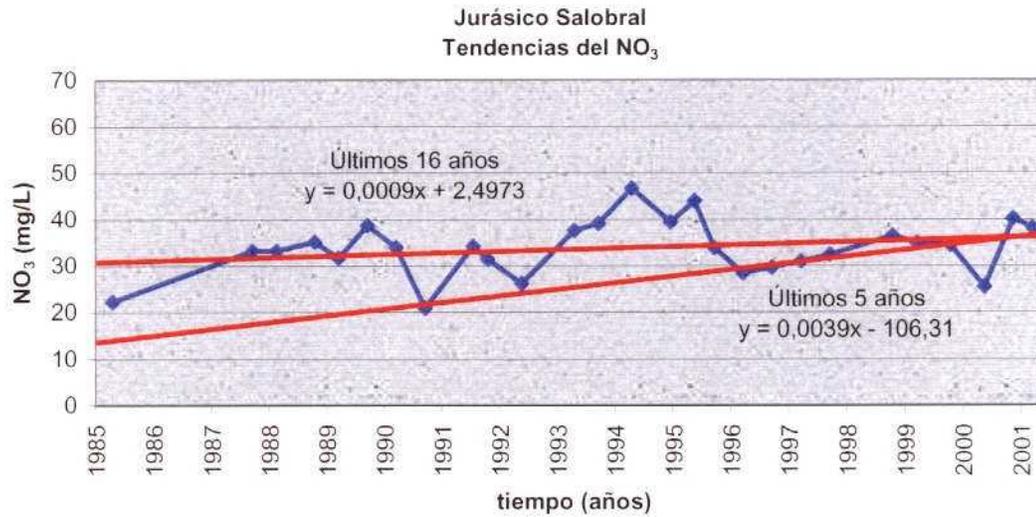


Figura 48. Sector 3.2. Tendencias de los nitratos.

c) Índice de calidad

Mediante la aplicación de la fórmula del índice, $IC_p = \frac{[P]}{V_L}$, descrita anteriormente en el apartado 4.3.2.2, se obtienen los valores de la Tabla 13 para este índice en el sector 3.2, Salobral, a marzo de 2001 (índice de primavera). Los resultados indican un 33%, 31% y 83% del límite de la calidad requerida por la legislación para la conductividad eléctrica, los nitratos y los sulfatos respectivamente.

Tabla 13. Sector 3.2. Valores del índice de calidad en marzo de 2001.

Parámetro	Índice de calidad	
Conductividad eléctrica	0,26	26 %
Sulfatos	0,63	63 %
Nitratos	0,77	77 %

En la Figura 49, se observa al representar los resultados calculados para el periodo de control comprendido entre los años 1985 y 2001, que los tres parámetros se encuentran por debajo del límite exigido, a excepción de los sulfatos en otoño de 1997, que lo superan puntualmente. Además de este punto en los sulfatos, sólo los nitratos superan varias veces el

punto de inversión de tendencias del 75%. La conductividad eléctrica indica una calidad con concentraciones por debajo de los valores medios del límite requerido, situándose la mayor parte del tiempo en valores alrededor del 30%.

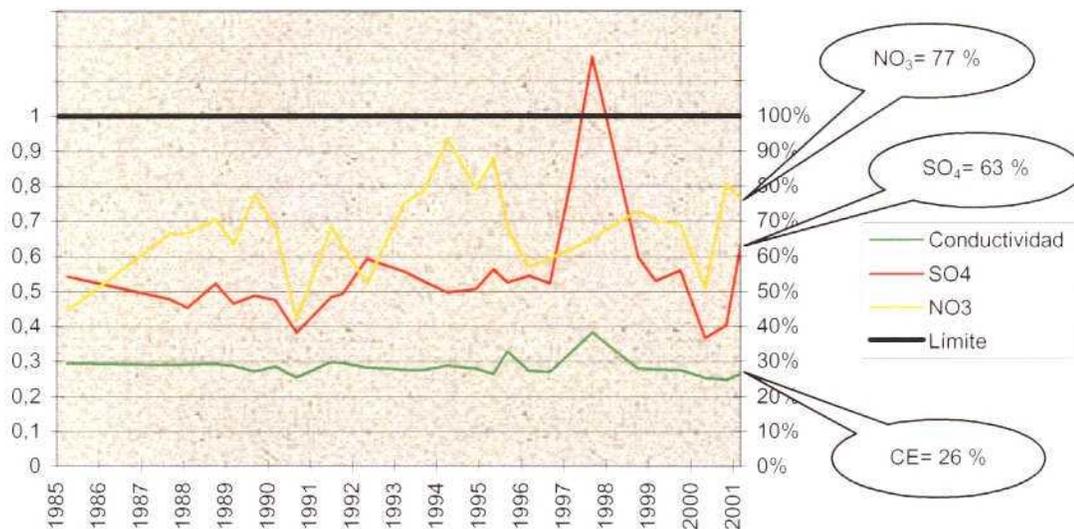


Figura 49. Sector 3.2. Evolución del índice de calidad.

d) Índice de evolución de calidad

El resultado de la aplicación del índice de evolución de calidad (ver apartado 4.3.2.2) a este sector en marzo de 2001 (índice de primavera), es de 0,21, 0,59 y 0,67 para la conductividad eléctrica, sulfatos y nitratos respectivamente, que representan un 21% y un 59% y un 67% de los valores de oscilación históricos. Los valores calculados se muestran en la Tabla 14:

Tabla 14. Sector 3.1. Valores del índice de evolución de calidad en marzo de 2001.

Parámetro	Índice de calidad	
Conductividad eléctrica	0,21	21 %
Sulfatos	0,59	59 %
Nitratos	0,67	67 %

En la Figura 50 se representan los valores del índice de evolución para los tres parámetros durante los últimos 6 años. Los picos observados a lo largo del periodo vuelven a

mostrar en este sector la estacionalidad en el valor calculado para el índice en los meses de otoño y los meses de primavera.

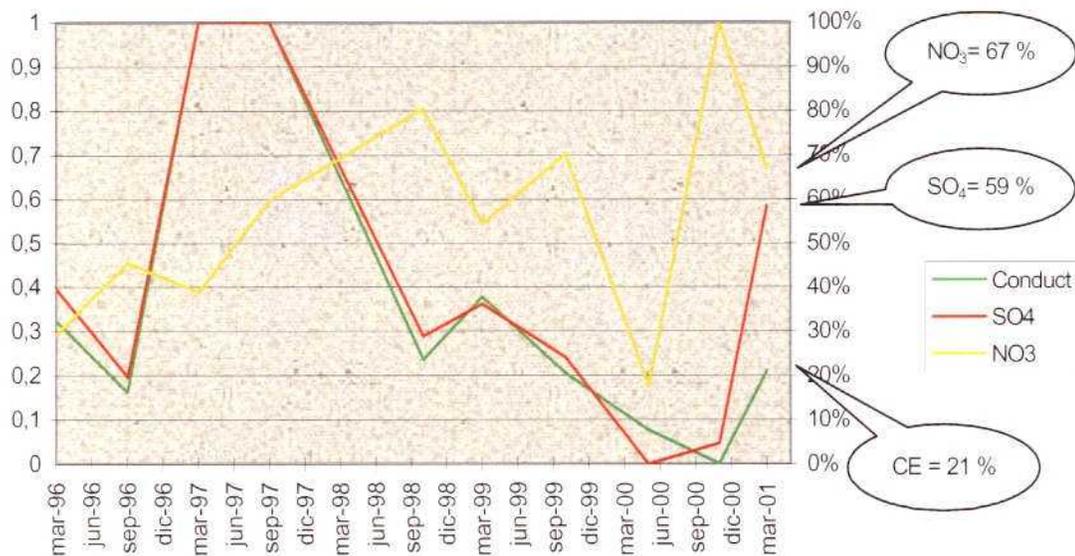


Figura 50. Sector 3.2. Variación del índice de evolución de calidad.

4.4. PERFIL DE LLENADO Y PERFIL DE CALIDAD DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA MANCHA ORIENTAL

4.4.1. Perfil de Llenado

a) Evolución gráfica

Una representación conjunta que plasme la **evolución gráfica de los niveles piezométricos** de los cuatro sectores permite compararlos entre sí.

En la Figura 51 se observa claramente la influencia de un régimen de explotación intenso en todos los sectores de la Mancha Oriental sin excepción. No obstante, se pone de manifiesto como el sector 1, Minaya-Casasimarro presenta una evolución más lenta, a pesar de que como en todos los demás sectores de la MAS.- 080.029, Mancha Oriental, sus niveles también tienden a descender con el tiempo. Los sectores 2, Llanura de Albacete, 3.1, La

Gineta-Barrax-La Herrera y 3.2, Salobral, presentan una acusada evolución en picos distribuidos de forma que las subidas y bajadas las experimentan de forma simultánea. Por su parte el sector 3.2 es el que sufre un mayor descenso a lo largo de los 15 años representados.

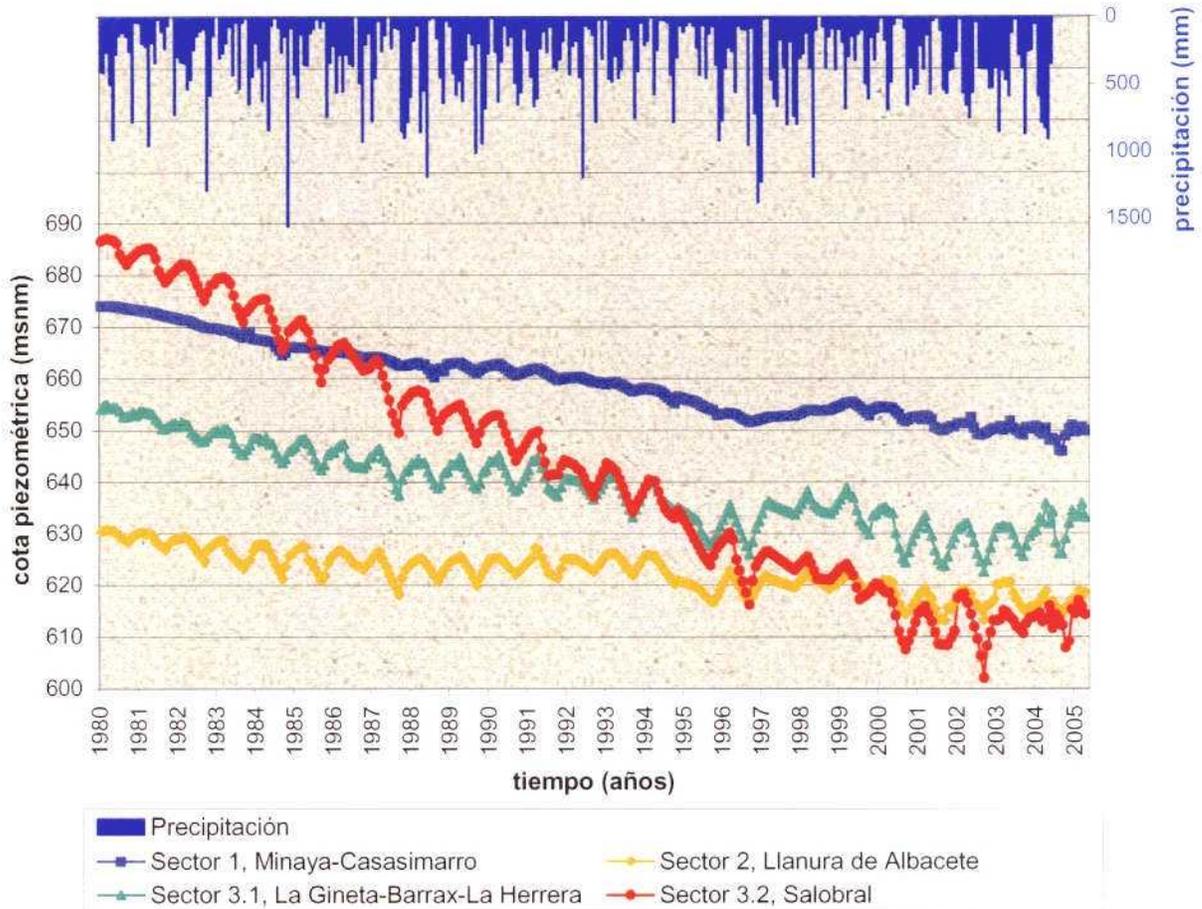


Figura 51. Evoluciones históricas de piezometría en los cuatro sectores.

Una vez más, si comparamos las evoluciones piezométricas conjuntamente con la precipitación, se observa que la influencia de la precipitación en ellas no se diferencia. Esto es claramente visible si se centra la atención en noviembre de 1984 y diciembre de 1996/enero de 1997, cuando los episodios de lluvias fueron los máximos registrados en el periodo histórico considerado. La evolución de los niveles piezométricos de los acuíferos de la MAS-080.029, no manifiesta dichos episodios de lluvia. Se considera que dichas evoluciones piezométricas responden a secuencias en el ritmo de explotación de estos acuíferos por bombeos.

b) *Tendencias a largo y medio plazo*

En cuanto a la **tendencia** se han representado conjuntamente las rectas de ajuste obtenidas anteriormente por separado para cada uno de los sectores (Figuras 12, 16, 28 y 40), lo que permite también compararlos. La Figura 52 muestra las tendencias de los últimos 15 años y la Figura 53, las tendencias a medio plazo, es decir, de los últimos 5 años.

Lo primero que llama la atención al comparar las pendientes a largo plazo representadas en la Figura 52, es que se observa que todas ellas tienen una tendencia descendente, pero con la diferencia de que los tres primeros sectores, Minaya-Casasimarro, La Llanura de Albacete y La Gineta-Barrax-La Herrera, siguen una evolución casi paralela entre ellos y el sector 3.2, Salobral, desciende muy rápidamente.

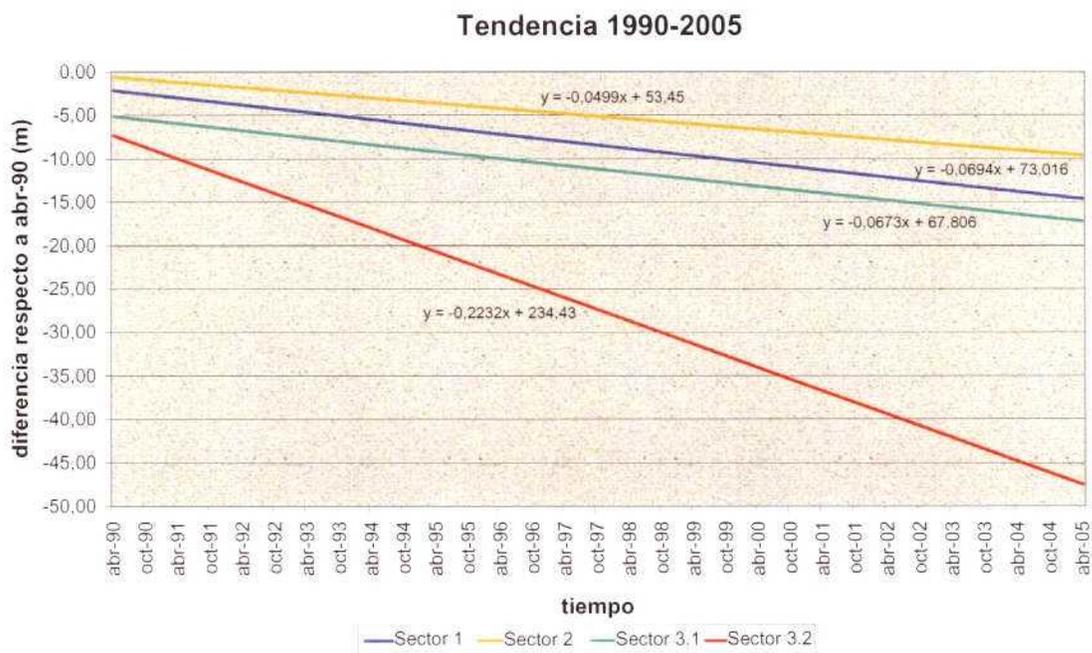


Figura 52. Tendencias de los cuatro sectores de la MAS.- 080.029 en los últimos 15 años

A partir del año 2000 se observa en general en todos los sectores cierta estabilidad en la evolución de niveles, al haber un balance entre las subidas de nivel y las bajadas, aún si bien con unos picos máximos y mínimos muy pronunciados (Figura 51). Es lo que provoca que la tendencia a corto plazo sea menos negativa o incluso positiva (Figura 53).

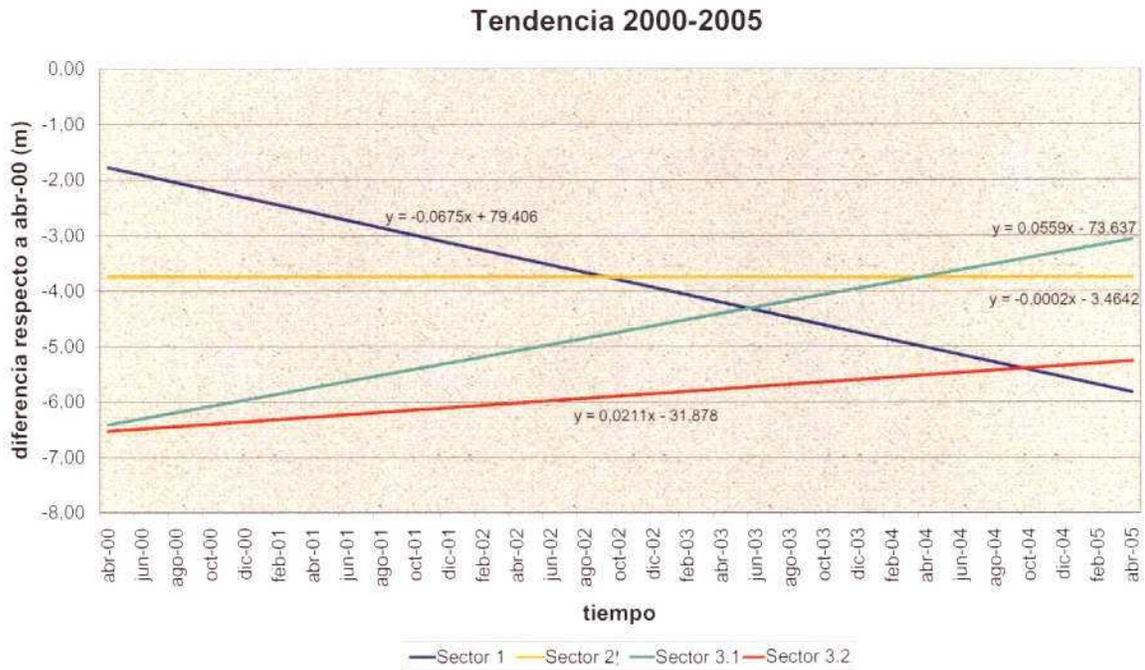


Figura 53. Tendencias de los cuatro sectores de la MAS.- 080.029 en los últimos 5 años

En la Tabla 15 se recogen los valores para las pendientes de las respectivas rectas de ajuste para ambos periodos:

Tabla 15. Valores de las tendencias de los cuatro sectores de la MAS 080.029

Nombre	Últimos 15 años (1990 – 2005)	Últimos 5 años (2000 – 2005)
S.1 - Minaya-Casasimarro	-0,069	-0,068
S.2 - Llanura de Albacete	-0,05	-0,0002
S.3.1 - La Gineta-Barrax-La Herrera	-0,067	+0,056
S.3.2 - Salobral	-0,223	+0,021

En los últimos quince años ha habido un progresivo descenso de los niveles piezométricos, lo que se traduce en pendientes negativas para todos los sectores (Figura 52). Esta tendencia no parece que pueda invertirse a medio plazo (Figura 53), sobre todo si se centra la atención en el sector 3.2, Salobral, cuya pendiente de -0,22 es la más acentuada. Los tres sectores restantes experimentan pendientes muy similares que van desde -0,05 hasta -0,07 y que estarían relacionadas con un régimen de explotaciones menos severos. Por otro lado, las pendientes positivas de los sectores 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, y 3.2, Salobral, y

menos negativas de los sectores 1, Minaya-Casasimarro, y 2, Llanura de Albacete, en los últimos cinco años en comparación con el periodo más largo de 15 años indican una ligera tendencia a la recuperación. El sector 1, Minaya-Casasimarro, presenta una variación mínima de la pendiente en los periodos considerados.

c) *Evolución anual entre máximos y mínimos históricos*

En cuanto a la **representación de la evolución anual entre máximos y mínimos históricos** se han tenido en cuenta los datos correspondientes al último año de control (2004/2005) y se han representado los valores medidos dicho año entre los valores máximos y mínimos históricos correspondientes al periodo 1990-2005 (Figuras 13, 17, 29 y 41). En general los cuatro gráficos presentan evoluciones similares, ya que se trata de distintas partes de una misma masa de agua subterránea, donde los máximos históricos se sitúan en abril y mayo y los mínimos durante los meses de verano. El que presenta una situación actual más positiva es el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera. Por su parte, el sector 1, Minaya-Casasimarro es el que presenta unas cotas piezométricas más altas y el que presenta una variación mayor en los niveles es el sector 3.2, Salobral.

d) *Índice de llenado*

Los **índices de llenado** aplicados al periodo 1990-2005 y calculados a partir de los datos mostrados en los gráficos de las Figuras 13, 17, 29 y 41 dan los valores recogidos en la Tabla 16. El valor máximo para este índice es 1 y el mínimo 0. A pesar de que en todos los sectores el índice se encuentra muy cerca del valor mínimo, la última medida tomada, en abril de 2005, indica que el sector 3.1 del acuífero de la Mancha Oriental es el que se encuentra en mejores condiciones, estando en un 16% de llenado de su evolución histórica.

Tabla 16. Valores del índice de llenado para la MAS 080.029

Sector	Índice de llenado	
S.1 - Minaya-Casasimarro	0	0%
S.2 - Llanura de Albacete	0,052	5,2%
S.3.1 - La Gineta-Barrax-La Herrera	0,158	15,8%
S.3.2 - Salobral	0,027	2,7%

En la Figura 54 se representa la evolución del resultado del cálculo de los índices de llenado de los últimos 10 años para la masa de agua subterránea 080.029.- Mancha Oriental. Las evoluciones de este índice en todos los sectores indican, además del mínimo histórico por sequía del año 1995, otro mínimo histórico entre julio de 2000 y abril de 2002. En los cinco primeros años las evoluciones más parecidas son las del sector 2, Llanura de Albacete y el 3.1, La Gineta- Barrax- La Herrera. A partir de 2002 todas las evoluciones difieren un poco más y marcan los máximos y los mínimos con cierto retardo unas respecto a otras.

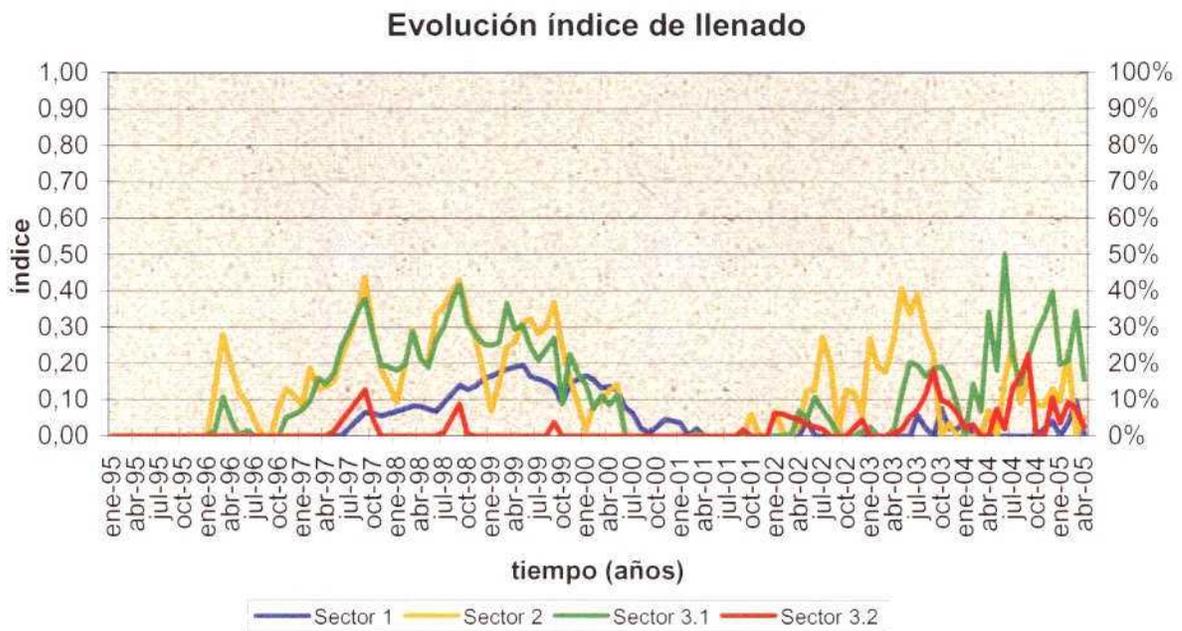


Figura 54. Evolución histórica del índice de llenado en todos los sectores.

e) *Representaciones cartográficas de la variación de llenado anual y del índice de llenado*

Finalmente se lleva a cabo una representación cartográfica del estado del acuífero en relación al llenado, la cual indica espacialmente su estado en los distintos acuíferos o sectores. Su objetivo primordial es la comparación entre masas de agua diferentes o entre sectores de una misma masa.

En la Mancha Oriental se han realizado dos tipos de cartografía, uno de la variación del llenado de los acuíferos, comparando la situación entre dos años y otra de la situación de llenado, comparando sus valores históricos. Se realizan mediante un mapa de todos los sectores de la MAS 080.029, Mancha Oriental, en los que se indica espacialmente, por medio de una escala de colores, la situación de llenado de cada uno de ellos, ofreciendo información intuitiva del estado cuantitativo global de la MAS de dos formas diferentes.

La representación cartográfica de la variación del llenado anual de la masa de agua subterránea con respecto a la existente el mismo mes del año anterior, se representa con el color verde cuando existe mayor llenado, rojo cuando es menor llenado y amarillo cuando existe una situación estable. Esta situación estable se considera cuando existe una variación de $\pm 0,25$ m en el nivel piezométrico.

El índice de llenado se representa con los colores que corresponden a los intervalos de valores obtenidos y que se indican a continuación:

$N_h=1$	Mayor nivel del periodo histórico	Azul
$0,5 < N_h < 1$	Recuperación del nivel	Verde
$N_h=0,5$	Valor medio del periodo histórico	Verde
$0,3 \leq N_h < 0,5$	Acuífero o área con explotación fuerte	Amarillo
$0,15 \leq N_h < 0,3$	Acuífero o área con explotación intensiva	Naranja
$0 < N_h < 0,15$	Acuífero con riesgo de sobreexplotación	Rojo
$N_h=0$	Menor nivel del periodo histórico	Rojo

Los valores obtenidos para la representación cartográfica se muestran en la Tabla 17:

Tabla 17. Valores para las representaciones cartográficas en abril de 2005.

Sector	Variación en 2005 con respecto a 2004 (m)	Índice de llenado
S. 1 - Minaya-Casasimarro	-0,52	0
S. 2 - Llanura de Albacete	-0,16	0,052
S. 3.1 - La Gineta-Barrax-La Herrera	-2,63	0,158
S. 3.2 - Salobral	+1	0,027

La representación cartográfica de la variación de llenado anual se muestra en la Figura 55.a y la representación de los valores del índice de llenado en la 55.b.

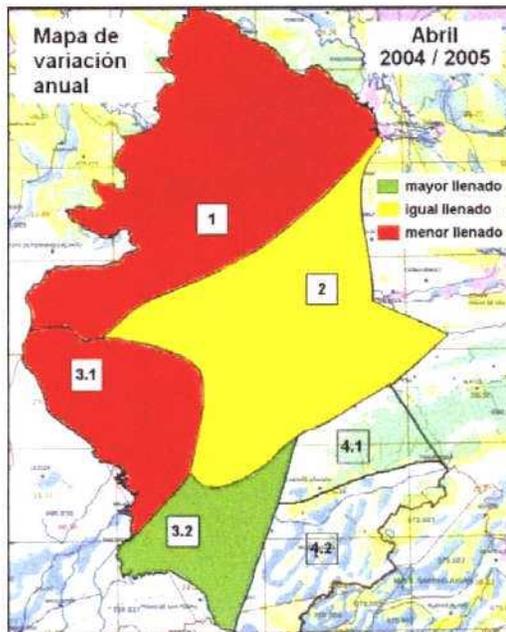


Figura 55. a) variación de llenado anual entre abril de 2004-y 2005.

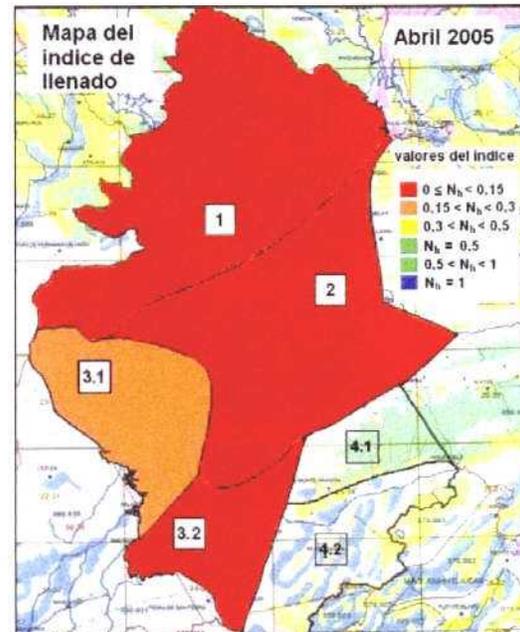


Figura 55. b) valores del índice de llenado en abril de 2005.

4.4.2. Perfil de Calidad

a) *Evolución gráfica*

Una representación conjunta de la **evolución gráfica de los diferentes parámetros** de los tres sectores en los que disponemos de información (sector 2, Llanura de Albacete, sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera y sector 3.2, Salobral) a lo largo del periodo de control permite compararlos entre sí. Las Figuras 56, 57 y 58 muestran la evolución de cada uno de los parámetros en los tres sectores.

La conductividad eléctrica (Figura 56) tiene una buena correlación en las evoluciones de los tres sectores, a excepción del periodo comprendido entre septiembre de 1996 y octubre de 1998, en el que la conductividad eléctrica del sector 3.2, Salobral, evoluciona

independientemente de los otros dos sectores, cuya explicación habría de buscarse en un estudio de detalle. Los valores de conductividad más altos corresponden al sector 2, Llanura de Albacete, con un máximo en 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, le sigue el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, con valores medios de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y por último el sector 3.2, Salobral, que alcanza valores mínimos de menos de 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

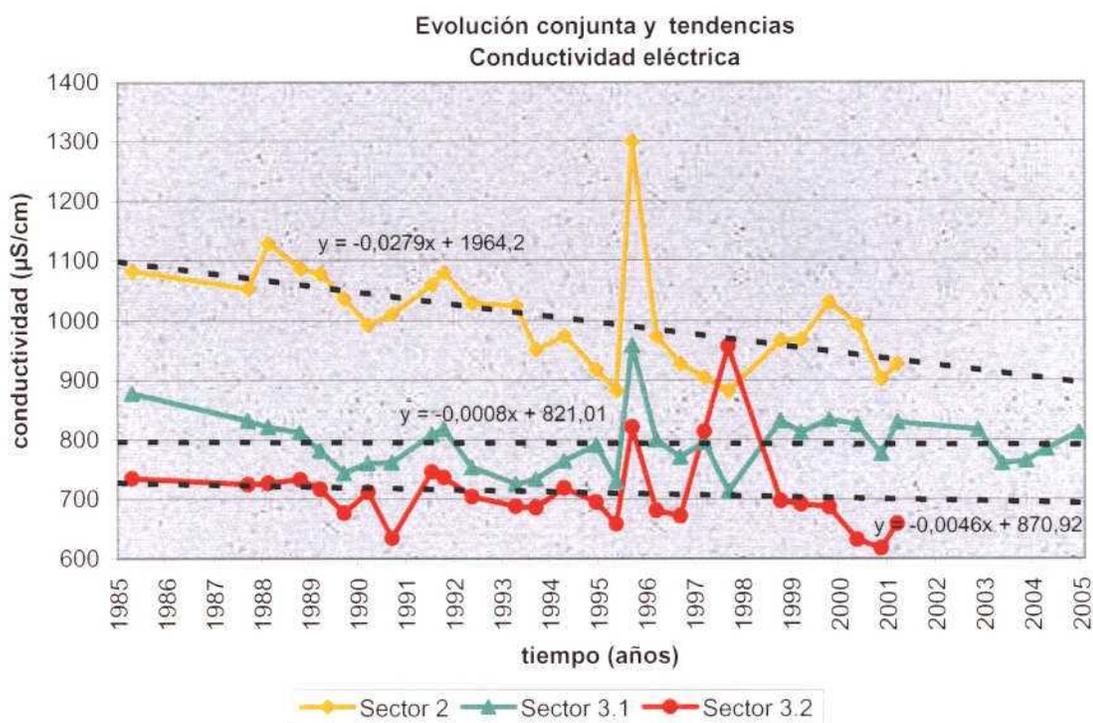


Figura 56. Evolución y tendencias de la conductividad eléctrica a largo plazo en tres sectores de la MAS.- 080.029

Nuevamente, durante el lapso de tiempo comprendido entre septiembre de 1996 y octubre de 1998, existe un pico de concentración de sulfatos en el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, (Figura 57) concordante con el encontrado para la conductividad eléctrica y cuya explicación también debería buscarse en un estudio de detalle.

No obstante, sin tener en cuenta esta situación, la media de los sulfatos en este sector se encuentra entre una concentración de 100 y 150 mg/L. En el sector 2, Llanura de Albacete, cuya concentración de sulfatos es la máxima de la MAS.- 080.029, Mancha Oriental, a lo

largo de todo el periodo histórico, la concentración alcanza el intervalo de los 250-300 mg/L. El intervalo menor de concentración de sulfatos se encuentra en el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, con una concentración de 50-100 mg/L.

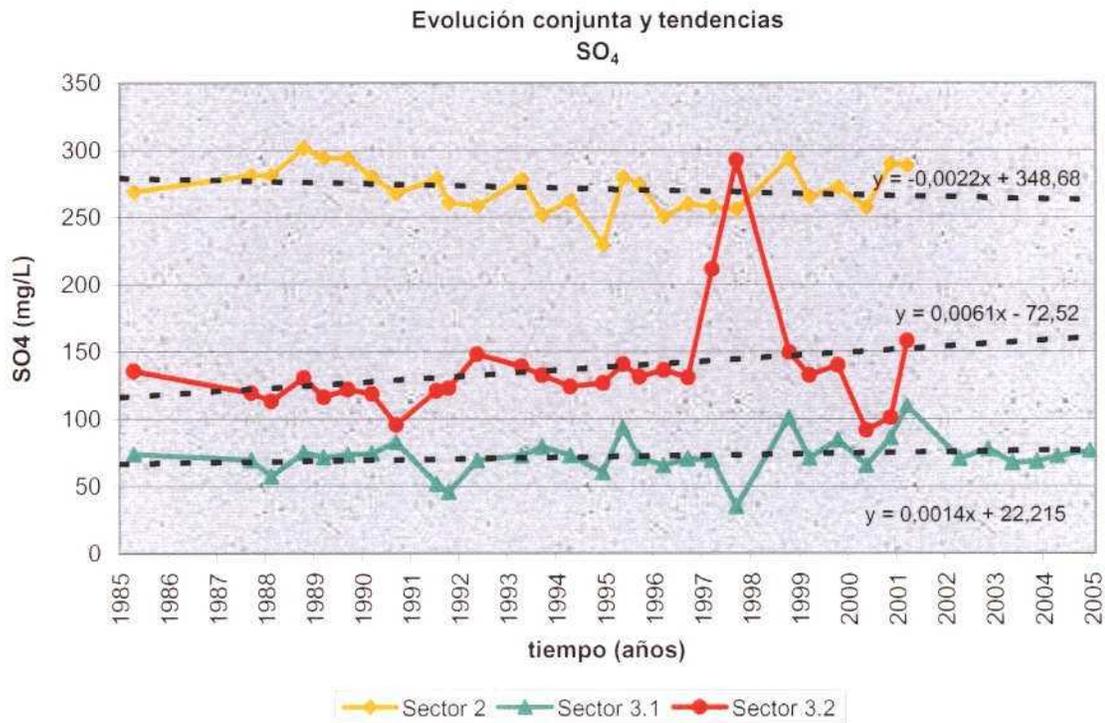


Figura 57. Evolución y tendencias de los sulfatos a largo plazo en tres sectores de la MAS.- 080.029

Si nos fijamos en los sectores del Jurásico, 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, y 3.2, Salobral, vemos que la relación entre los sulfatos y la conductividad eléctrica (Figuras 56 y 57) no es del todo dependiente: los sulfatos están presentes en mayor medida en el sector 3.2, Salobral, y la conductividad, sin embargo, no es proporcionalmente tan alta como en el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, lo cual indica que el resto de iones implicados en la conductividad eléctrica tienen mayor presencia e influencia en este último sector. Lo mismo ocurre en el sector 2, Llanura de Albacete, mientras la conductividad eléctrica evoluciona descendiendo con el tiempo, los sulfatos en dicho sector se mantienen en unos niveles de concentración similares durante todo el periodo histórico.

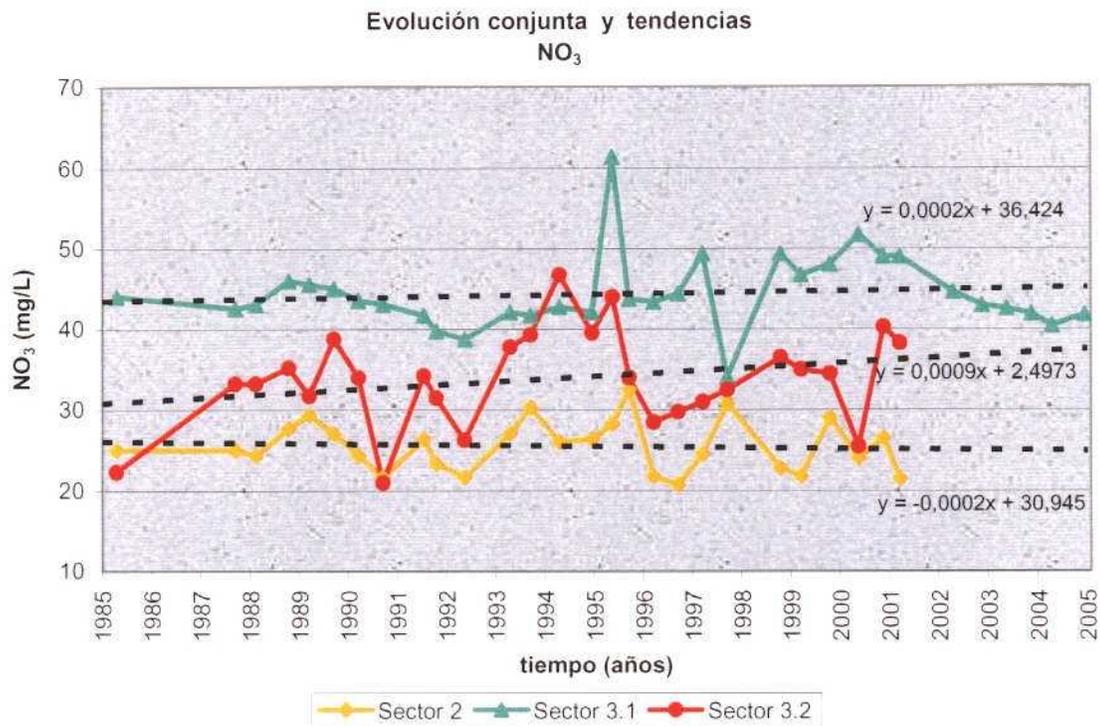


Figura 58. Evolución y tendencias de los nitratos a largo plazo en tres sectores de la MAS.- 080.029

El mayor aporte de nitratos al acuífero se produce en el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, (Figura 58) y como resultado el agua subterránea en este sector presenta unas concentraciones del orden de 40 – 50 mg/L. Las concentraciones de nitratos en el sector 3.2, Salobral, experimentan las oscilaciones más fuertes, teniendo un máximo cerca de los 50 mg/L y un mínimo en 20 mg/L. El sector Mioceno de la llanura de Albacete es el más alejado de la zonas de mayor aprovechamiento agrícola de la Mancha Oriental, razón suficiente para que las concentraciones sean mínimas en este sector.

b) *Tendencias a largo y medio plazo*

La representación conjunta de las **tendencias a largo plazo** se muestra en las Figuras 56, 57 y 58, sobre la evolución de los parámetros, donde se han incluido además las tendencias de cada parámetro para los tres sectores. Por otro lado, se han representado las **tendencias a medio plazo** en la Figura 59 .

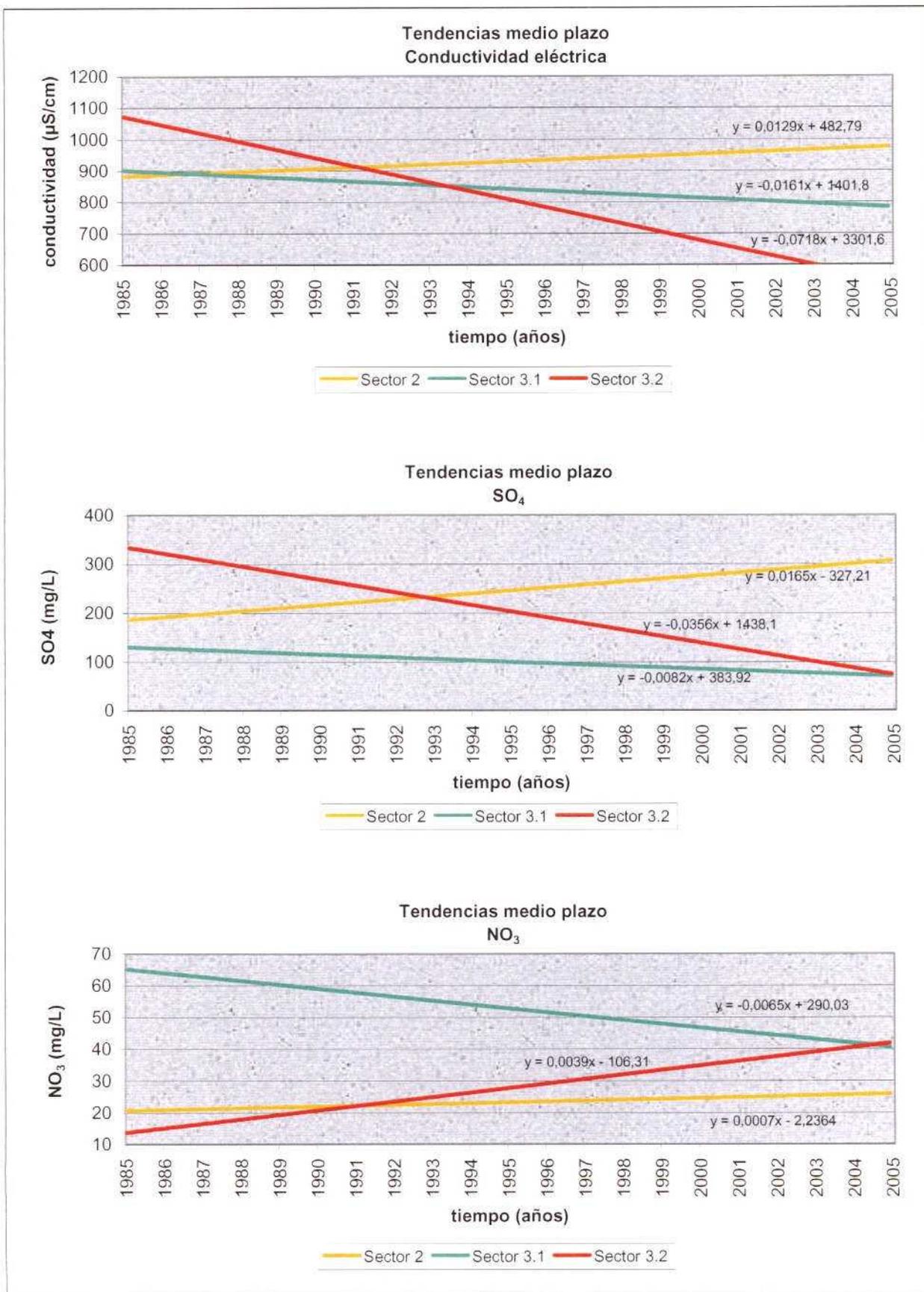


Figura 59. Tendencias a medio plazo de tres sectores de la MAS.- 080.029.

A largo plazo, por lo general la tendencia de la conductividad es descendente, aunque de una forma más acusada en el sector 2, Llanura de Albacete (Figura 56). Tanto los sulfatos como los nitratos desarrollan una tendencia ascendente, excepto en el sector 2, que descienden ambos parámetros, aunque lo hacen de manera suave (Figuras 57 y 58). Ambos sectores jurásicos, sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, y 3.2, Salobral, tienen un comportamiento de tendencia paralela en los tres parámetros a lo largo de la serie histórica.

A medio plazo, la variabilidad en las tendencias es más acusada (Figura 59). Además, es importante destacar que la tendencia del sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, no es directamente comparable, debido a que el periodo de años considerado para hacer la tendencia es diferente (sección 4.3.3).

El sector 3.2, Salobral, es el que se caracteriza por las tendencias más fuertes, de manera que la conductividad eléctrica y los sulfatos tienden a descender, pero se produce un empeoramiento progresivo en cuanto a los nitratos, cuya tendencia tiende al alza (Figura 59). El sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, sin embargo ofrece resultados mejores, caracterizándolo tendencias en disminución para los tres parámetros. En el sector Mioceno de la llanura de Albacete, las tendencias a medio plazo tanto para la conductividad eléctrica como para los sulfatos y nitratos van en aumento, aunque en el caso de los nitratos se puede considerar que los últimos 5 años (hasta marzo de 2001) tiene una evolución de tendencia estable.

La Tabla 18 muestra de manera numérica lo hasta aquí expuesto sobre las tendencias en los tres sectores:

Tabla 18. Valores de las tendencias de parámetros de calidad en tres sectores de la MAS 080.029

Sector \ Parámetro	CE		SO ₄ ⁻		NO ₃ ⁻	
	Largo plazo	Medio plazo	Largo plazo	Medio plazo	Largo plazo	Medio plazo
S. 2 - Llanura de Albacete	-0,0279	+0,0129	-0,0022	+0,0165	-0,0002	+0,0007
S. 3.1 - La Gineta-Barrax-La Herrera	-0,0008	-0,0161	+0,0014	-0,0082	+0,0002	-0,0065
S. 3.2 - Salobral	-0,0046	-0,0718	+0,0061	-0,0365	+0,0009	+0,0039

c) *Índice de calidad*

La Tabla 19 permite una comparación directa del **índice de calidad** del momento actual (marzo de 2001) en los tres sectores. En dicha tabla, se exponen los datos de los índices para el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, que se obtienen para diciembre de 2004, debido a que, como se ha mencionado en el apartado 4.1.2, los valores de las medidas históricas de calidad permiten la unión de la actual red oficial de calidad y de la red anterior del IGME únicamente en este sector. Por esta razón el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, carece en esta fecha de posibilidad de comparación con los otros tres sectores.

El índice de calidad de la conductividad presenta un rango de valores pequeño entre sectores, estando los tres sectores en torno a un 30% del valor límite (Tabla 19). Para el caso de los sulfatos y nitratos el rango es mucho mayor, siendo el sector 2, Llanura de Albacete, el que presenta el porcentaje del valor límite máximo para los sulfatos y mínimo para los nitratos (115 % y 43% respectivamente). El porcentaje mínimo de sulfatos lo presenta el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, con 44%, valor que mejora incluso para 2004 en el mismo sector, que llega hasta 31%. Por otro lado, es el sector que presenta una situación peor de calidad en concentración de nitratos, con un 98% del valor límite permitido por la legislación.

Tabla 19. Valores de los índices de situación calidad en tres sectores de la MAS 080.029

Sector \ Parámetro	Índice de situación		
	CE	SO ₄ ⁼	NO ₃ ⁻
S. 2 - Llanura de Albacete (mar/01)	0,37	1,15	0,43
S. 3.1 - La Gineta-Barrax-La Herrera (mar/01)	0,33	0,44	0,98
S. 3.1 - La Gineta-Barrax-La Herrera (dic/04)	0,33	0,31	0,83
S. 3.2 - Salobral (mar/01)	0,26	0,63	0,77

d) *Índice de evolución de calidad*

El **índice de evolución** de calidad indica que los mejores valores de sus respectivas situaciones históricas son para el sector 2, Llanura de Albacete, en conductividad eléctrica (18%) y nitratos (9%) y para el 3.2 en sulfatos (59%), aunque éste último es muy alto (Tabla 20). Los peores valores los toman, el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, para la conductividad eléctrica (71%) y sulfatos (100%) y el sector 3.2, Salobral, para los nitratos (67%).

También se muestran en la Tabla 20 los valores del índice de evolución de calidad para los tres parámetros en el sector 3.1, La Gineta-Barrax-La Herrera, en diciembre de 2004, no siendo posible el cálculo de los índices de evolución en los otros sectores en esta misma fecha, por la razón expuesta ya en la letra c) de este mismo apartado.

Tabla 20. Valores de los índices de evolución de calidad en tres sectores de la MAS 080.029

Sector \ Parámetro		Índice de evolución		
		CE	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
S. 2 - Llanura de Albacete (mar/01)		0,18	0,9	0,09
S. 3.1 - La Gineta-Barrax-La Herrera (mar/01)		0,71	1	0,55
S. 3.1 - La Gineta-Barrax-La Herrera (dic/04)		0,82	0,62	0,5
S. 3.2 - Salobral (mar/01)		0,21	0,59	0,67

e) *Representaciones cartográficas del índice de evolución de calidad y del índice de calidad.*

Se realizaría, al igual que para el índice de llenado, un mapa con todos los sectores de la masa de agua subterránea 080.029, Mancha Oriental, indicando espacialmente, por medio de una escala de colores, la estado de calidad de la masa de agua subterránea según los tres

parámetros (conductividad eléctrica, sulfatos y nitratos) a través de los valores de ambos índices obtenidos para cada uno de estos parámetros en la actualidad.

Dichos mapas consisten en las **representaciones cartográficas** del índice de **calidad** (Figura 60) y del índice de **evolución de calidad** (Figura 61) para todos los sectores de la masa de agua subterránea 080.029, Mancha Oriental y ofrece información inmediata e intuitiva del estado cualitativo global de la MAS.

Según esto, la escala de valores del **índice de calidad** se representa con la escala de colores siguiente:

$IC_p > 1$	Calidad no utilizable o mal estado químico.	Rojo
$1 \geq IC_p > 0,75$	Calidad con concentración superior al punto de inversión de tendencia.	Naranja
$0,75 > IC_p > 0,5$	Calidad con concentración por encima de la mitad del valor límite.	Amarillo
$0,5 > IC_p > 0,3$	Calidad con concentración inferior a la mitad del valor límite.	Verde
$0,3 > IC_p \geq 0$	Calidad con concentraciones bajas, buen estado químico.	Azul

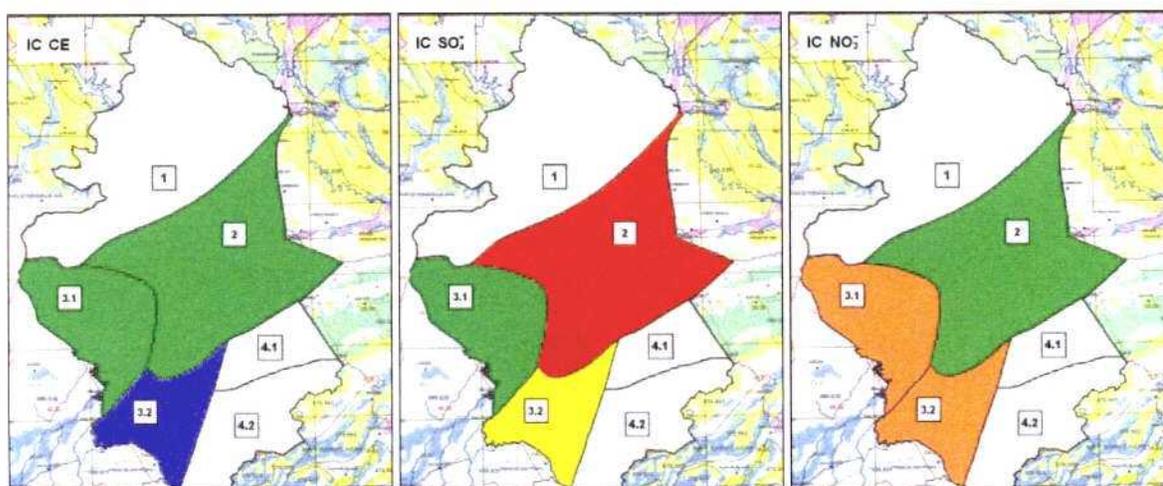


Figura 60. Mapas de los índices de calidad para la Conductividad Eléctrica, SO_4 y NO_3 (mar/01)

La escala de colores para el **índice de evolución de calidad** se expone a continuación:

$IE_p = 1$	Máximo histórico.	Rojo
$1 \geq IE_p > 0,5$	Concentración entre el valor medio y el máximo del periodo histórico.	Amarillo
$0,5 > IC_p > 0,3$	Concentración entre el valor natural o mínimo y el valor medio del periodo histórico.	Verde
$0,3 > IC_p \geq 0$	Mínimo histórico	Azul

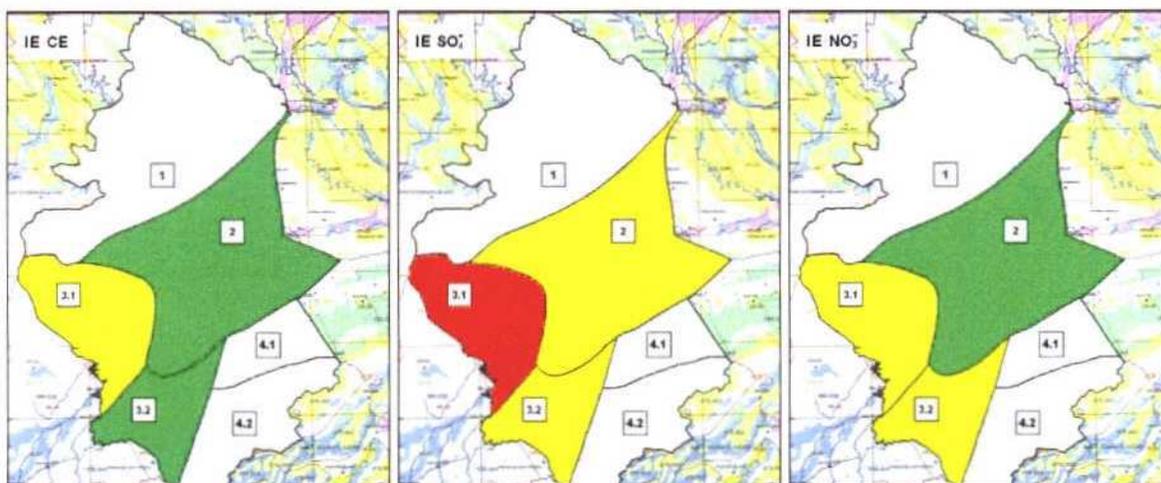


Figura 61. Mapas de los índices de evolución de calidad para la Conductividad Eléctrica, SO_4^- y NO_3 (mar/01).

5. CONCLUSIONES

La utilización de indicadores gráficos permiten analizar el estado cuantitativo y cualitativo de una masa de agua subterránea de una manera sencilla y permiten también el cálculo de índices numéricos que cuantifican la situación actual en cuanto al llenado y diversos parámetros químicos para hacer un posterior seguimiento cuantitativo y cualitativo de las evoluciones en situaciones futuras. Se realiza un análisis conjunto del estado cuantitativo y cualitativo mediante la aplicación de dos perfiles simultáneamente en el mismo estudio: Perfil de Llenado y Perfil de Calidad.

El Perfil de Llenado y el Perfil de Calidad los integran los siguientes componentes:

- Evoluciones gráficas de niveles o parámetros
- Tendencias a medio y largo plazo
- Índices de llenado, calidad y evolución de calidad
- Representaciones gráficas de los índices
- Representaciones cartográficas de los índices

Los resultados obtenidos por medio del análisis del Perfil de Llenado permiten concluir que la MAS 080.029, Mancha Oriental presenta una situación de disminución continuada de los recursos disponibles. Se refleja claramente en las evoluciones piezométricas una respuesta en los cuatro sectores a la influencia de los bombeos en mayor o menor medida según el ritmo de explotación en la zona (Figura 51). Las tendencias nos hablan también de un progresivo descenso de los niveles piezométricos en los últimos quince años, aunque la tendencia a corto plazo sea menos negativa o incluso positiva en algún sector (Figuras 52 y 53). Los índices de llenado para todos ellos indican que en la actualidad tienen valores próximos a los mínimos históricos, aunque presentan una cierta estabilidad, con unos índices entre 0 y 0,16.

Del mismo modo, los resultados obtenidos por medio del análisis del perfil de Calidad permiten concluir que las evoluciones de la conductividad eléctrica, los sulfatos y los nitratos se mantienen en general dentro de unos intervalos de concentración estables en cada uno de los sectores (Figuras 56, 57 y 58). Las tendencias a largo plazo hablan de cierta estabilidad en

todos los parámetros, observándose más variabilidad a medio plazo. En general, las tendencias a medio plazo son descendentes, a excepción del sector 2, Llanura de Albacete, en el que suben para los tres parámetros.

A pesar de la tendencia descendente generalizada en los últimos años, estos valores de calidad no son los adecuados al aplicar la Directiva Marco del Agua y se debe hacer un esfuerzo por mejorar las concentraciones en los tres parámetros para que esta masa de agua subterránea pueda tener una buena calidad química y ecológica.

Ateniéndonos a la Propuesta de Directiva sobre la protección de las aguas subterráneas de la contaminación de la Comisión Europea, que señala que cuando los valores del índice de calidad están por encima del 75 % de los valores umbrales establecidos por la legislación, se deben iniciar las actuaciones necesarias para invertir las tendencias y se observa que los índices de calidad para la conductividad están, en los tres sectores, por debajo de este punto de inversión de tendencias. Sin embargo, para el caso de los sulfatos este punto es superado de manera notable en el sector 2, Llanura de Albacete, cuyo porcentaje (115%) indica que el valor está incluso por encima del valor umbral o norma de calidad; en los dos sectores restantes los sulfatos no superan dicho punto. En cuanto a los nitratos es en ambos sectores jurásicos donde debe hacerse un esfuerzo por invertir las tendencias, debido a que sus índices de calidad exceden del 75 % de los valores umbral. Los índices de evolución son altos en general y debe tenderse hacia situaciones históricas más favorables, descendiendo en la medida de lo posible el valor de este índice para todos los parámetros en la MAS.- 080.029, Mancha Oriental.

Los resultados obtenidos por medio del análisis conjunto de los perfiles de Llenado y de Calidad permiten concluir la MAS.- 080.029, Mancha Oriental presenta una situación de disminución continuada de los recursos (Figura 51), hecho que, por el contrario, no parece alterar demasiado la calidad del agua subterránea, definida por unas tendencias estables a largo plazo. Sin embargo, como se ha mencionado más arriba, la calidad definida por los índices de situación y evolución sugiere que se deben tomar medidas para mejorarla y producir una inversión de tendencias, particularmente en el caso de los nitratos en toda la masa de agua subterránea y de los sulfatos en el sector 2, Llanura de Albacete.

6. BIBLIOGRAFÍA

- CAMA C-LM-IGME (1997). Evolución de la piezometría y la calidad del agua en la unidad hidrogeológica 08.29. Mancha Oriental.
- Comisión de la Unión Europea (2003). Propuesta de directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la protección de las aguas subterráneas de la contaminación, 21 p.
- CHJ (2004). Bases de datos en www.chj.es. Medio administrativo. Tabla municipios.
- CHJ (2004). La sustitución de bombeos en el acuífero de la Mancha Oriental. Aspectos hidrogeológicos.
- CHJ (2004). Seguimiento general del Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar. Documento Síntesis.
- CHJ (2005). Informe sobre los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua.
- De la Orden, J.A (2005). Modelo matemático de flujo de la unidad hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental, Informe IGME, 62 p.
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial L 327 de 22.12.2000
- Font, V. (2004). Colaboración en el desarrollo y aplicación de un modelo matemático distribuido de flujo subterráneo de la unidad hidrogeológica 08.29. Mancha Oriental, en las provincias de Albacete, Cuenca y Valencia. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Valencia.
- Fernández, J. A.; García de la Noceda, C.; González, L.A.; García, D.; Quintana, J.L.; Serrano, P.; Calderay, M.; Enrique, G.; López, D. (1980). El sistema hidrogeológico de Albacete (Mancha Oriental): sus recursos en aguas subterráneas, utilización actual y posibilidades futuras.
- Groundwater Indicators Working Group (2004). Development of groundwater indicators for second edition of the World Water Development Report. Third Version (Draft). Paris, 17 p.

ITGE (1989). Las aguas subterráneas en España. Estudio Síntesis. 419-424.

Lambán, L.J.; Pernía, J.M. (2004). Propuesta de indicadores sobre el estado cualitativo de las aguas subterráneas: aplicación al acuífero de Sierra de Estepa. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos XXVI, Zaragoza, 337-347.

Ley 29/85, de 2 de agosto de 1985, de Aguas.

MIMAM (1999 y 2000). Informe de Coyuntura de Ministerio de Medio Ambiente. Publicación mensual. I.S.S.N.:1139-7950.

MOPU (1990). Unidades hidrogeológicas de la España peninsular e islas Baleares. Síntesis de sus características y mapa a escala 1:1.000.000. Informaciones y estudios nº 52. Servicio Geológico.

Pernía, J.M.; Alonso, B. (2004). Análisis de los índices e indicadores utilizados para definir el estado de los acuíferos, Informe IGME, 50 p.

Pernía, J.M.; Lambán, L.J. (2004). Groundwater Indicators in Sierra Estepa (Seville, Spain). The United Nations World Water Development Report. (WWDR II), 7 p.

Pernía, J.M.; Lambán, L.J. (2004). Indicadores sobre el estado cuantitativo y cualitativo de las aguas subterráneas: Aplicación al acuífero carbonatado de la Sierra de Estepa (Sevilla, España), Informe IGME, 41 p.

Pernía, J.M.; Lambán, L.J.; Molinero, A. (2005). Indicadores e índices sobre el estado cuantitativo de las aguas subterráneas en función del nivel piezométrico. Aplicación al acuífero de la Sierra de Estepa. VI Simposio del Agua en Andalucía, Sevilla, 843-853.

Real Decreto Legislativo 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE número 45, de 21 de febrero: 7228-7245.