

63081

**NOTA TÉCNICA SOBRE LAS ALTERNATIVAS DE
UBICACIÓN DE SONDEOS DE CAPTACIÓN DE
AGUA DE MAR PARA LA ALIMENTACIÓN DE UNA
PLANTA DESALADORA Y EVALUACIÓN DE LAS
OPCIONES DE VERTIDO DE LA SALMUERA DE
RECHAZO EN LA PLANA DE OROPESA
(CASTELLÓN)**

Madrid, 2 de marzo de 2006



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



Instituto Geológico
y Minero de España



INFORME	Identificación: H8.003.06
	Fecha: 02-03-2006
TÍTULO Nota técnica sobre las alternativas de ubicación de sondeos de captación de agua de mar para la alimentación de una planta desaladora y evaluación de las opciones de vertido de la salmuera de rechazo en la Plana de Oropesa (Castellón).	
PROYECTO Asistencia técnica a la empresa estatal ACUAMED, S.A.	
RESUMEN <p>El objetivo de la nota técnica es hacer una valoración técnica de distintas alternativas planteadas por la empresa estatal ACUAMED, S.A., para la captación de agua de mar para desalar en el entorno de la localidad de Oropesa de Mar (Castellón).</p> <p>En origen se plantearon dos alternativas de captación: toma directa desde el mar, y bombeo en sondeos próximos a la costa. Igualmente se plantearon dos alternativas de gestión de la salmuera de rechazo: vertido a cauces superficiales, y vertido a mar abierto.</p> <p>Tras analizar la información disponible, se llegó a la conclusión de que de manera preliminar se puede aplicar la alternativa de captación de agua salada mediante sondeos perforados en el acuífero pliocuaternario de la Plana de Oropesa, como la más favorable ya que permite la obtención de recursos de mejor calidad, siempre que vaya contrastada con la campaña de investigación hidrogeológica y geofísica propuesta en la nota técnica.</p> <p>Como alternativa de gestión de la salmuera de rechazo se propone evitar el vertido al cauce superficial de la rambla de Chinchilla, siendo preferible el vertido al mar siempre que las condiciones del medio marino lo permitan. Se propone una nueva alternativa que consiste en la inyección profunda de la salmuera en el acuífero mesozoico subyacente.</p>	
Revisión Nombre: Juan Antonio López Geta Unidad: Hidrogeología y Aguas Subterráneas Fecha: 03/03/2006	Autores: Miguel Mejías Moreno Julio López Gutiérrez Juan Antonio López Geta Responsable: Julio López Gutiérrez

**NOTA TÉCNICA SOBRE LAS ALTERNATIVAS DE
UBICACIÓN DE SONDEOS DE CAPTACIÓN DE
AGUA DE MAR PARA LA ALIMENTACIÓN DE UNA
PLANTA DESALADORA Y EVALUACIÓN DE LAS
OPCIONES DE VERTIDO DE LA SALMUERA DE
RECHAZO EN LA PLANA DE OROPESA
(CASTELLÓN)**

Madrid, 2 de marzo de 2006



ÍNDICE

	Pág.
Equipo de trabajo.....	2
1. OBJETIVO DE LA NOTA TÉCNICA.....	3
2. ANTECEDENTES.....	3
3. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS.....	4
4. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PRESENTADAS POR ACUAMED SOBRE LA UBICACIÓN DE SONDEOS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE MAR	5
4.1. ALTERNATIVA A: BATERÍA DE SONDEOS COSTEROS EN PRIMERA LÍNEA DE PLAYA AL SUR DE LA DESEMBOCADURA DE LA RAMBLA DE CHINCHILLA.....	6
4.2. ALTERNATIVA B: BATERÍA DE SONDEOS COSTEROS EN PRIMERA LÍNEA DE PLAYA EN LA ZONA SUR DE CABANES.....	8
5. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE ELIMINACIÓN DE LA SALMUERA DE RECHAZO DE LA PLANTA DESALADORA	10
5.1. VALORACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE VERTIDO EN LA RAMBLA DE CHINCHILLA.....	10
5.2. PROPUESTA DE UNA NUEVA ALTERNATIVA DE GESTIÓN DE LA SALMUERA DE RECHAZO.....	12
5.3. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE ELIMINACIÓN DE LA SALMUERA DE RECHAZO.....	12
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	12
7. ANEXO FOTOGRÁFICO.....	16



EQUIPO DE TRABAJO

La presente nota técnica ha sido elaborada por el **INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA** interviniendo en su realización el siguiente equipo de trabajo:

Julio López Gutiérrez (Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Madrid)

Miguel Mejías Moreno (Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Madrid)

Juan Antonio López Geta (Director de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Madrid).

Coordinación y Supervisión



1. OBJETIVO DE LA NOTA TÉCNICA

La presente nota técnica se realiza a petición de ACUAMED, S.A., y al amparo del Contrato de Asistencia Técnica suscrito por esta Sociedad con el IGME. El objetivo de la misma es evaluar las diferentes propuestas para la ubicación de una batería de sondeos para la captación de agua de mar en Oropesa de Mar, capaz de suministrar el caudal requerido por una planta desaladora de nueva construcción y las posibles opciones de gestión de la salmuera de rechazo procedente del proceso de desalación.

Como documentación básica que recoge las diferentes alternativas, la empresa ACUAMED ha facilitado al IGME los siguientes documentos:

- Memoria resumen del proyecto informativo de la desaladora de Oropesa del Mar y obras complementarias (Castellón).
- Estudio geológico de la zona.

Se efectuará una valoración experta de las propuestas mencionadas, analizando las alternativas y su relación con las características geológicas e hidrogeológicas del medio físico, en función de la documentación disponible y la experiencia y conocimiento hidrogeológico del IGME en la zona.

En concreto, se desarrollará un apartado relativo a las características geológicas e hidrogeológicas de las dos zonas propuestas para ubicar la batería de sondeos de captación de agua de mar: sector de la Ribera de Cabanes, próximo a la rambla de Mañes, y del sector al norte de Oropesa, en las proximidades del barranco de Chinchilla; y otro apartado relativo al análisis de las alternativas de vertido de la salmuera de rechazo de la planta desaladora recogidas en la mencionada documentación.

2. ANTECEDENTES

Las zonas de actuación propuestas para la ubicación de la batería de sondeos de captación, planta desaladora y área o punto de vertido se encuentran situadas en la unidad hidrogeológica 08.11, Plana de Oropesa-Torreblanca, que con una superficie del orden de 105 km², se engloba en el Sistema Acuífero Javalambre-Maestrazgo quedando además integrada dentro del Sistema de Explotación Cenía-Maestrazgo, en la provincia de Castellón. La Unidad se encuentra en contacto hidráulico con la unidad hidrogeológica 08.07, El Maestrazgo.



El IGME viene realizando trabajos de investigación e infraestructura en esta zona desde los años 70, tanto en proyectos propios del Organismo, como en proyectos realizados en colaboración con otras entidades de la Administración Estatal, Autonómica y Local, especialmente con la Diputación Provincial de Castellón.

En la zona de interés, y en sus proximidades, existen diversos estudios hidrogeológicos entre los que cabe destacar los trabajos realizados por el IGME a través del proyecto PIAS y el informe "Estudio hidrogeológico del Maestrazgo" (IGME, 1989) que recopila y sintetiza los anteriores, así como el proyecto: "Garantías de abastecimiento con aguas subterráneas a núcleos urbanos de la Plana de Castellón. Análisis y propuestas de actuación (ITGE-DPC, 1998)".

Desde el año 2003 el IGME está desarrollando el proyecto "Investigación sobre el comportamiento hidrogeológico de formaciones acuíferas profundas. Aplicación a la Unidad Hidrogeológica 08.07 (El Maestrazgo). Desarrollo metodológico", en el que, como primer resultado, se ha elaborado en abril de 2005 el "Informe preliminar de recopilación y síntesis de la información" que recoge toda la información geológica e hidrogeológica existente en la zona del Maestrazgo, así como los primeros resultados de las actividades técnicas y de investigación llevadas a cabo.

Asimismo, se ha consultado la Base de Datos Aguas XXI del IGME y diversos trabajos de campo que se están llevando a cabo en el proyecto mencionado en el párrafo anterior y de los que se dispone de resultados parciales.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS

Las actuaciones previstas tienen como objetivo, según se indica en la documentación entregada por ACUAMED, S.A., garantizar el abastecimiento hídrico de las urbanizaciones existentes y futuras en los términos municipales de Oropesa del Mar y Cabanes, así como mejorar la calidad del agua de abastecimiento a la población de Benicasim, mediante la construcción de una planta desaladora para cuya ubicación se plantean que en una primera fase, horizonte año 2010, la planta desaladora aporte un caudal de 65.000 m³ /día y en una segunda fase, horizonte año 2020, 130.000 m³ /día, lo que implica una captación de unos 145.000 m³ /día (52,03 hm³/año) durante la primera fase y 290.000 m³ /día (105,85 hm³/año) durante la segunda.

De manera muy resumida, las alternativas previstas en la zona, descritas en la documentación aportada por ACUAMED, se pueden sintetizar en:

1. Ubicación de una planta desaladora. Para esta actividad se plantean dos alternativas:



- a) Desaladora de Oropesa Norte. Situada en el término municipal de Oropesa del Mar, junto a la nueva EDAR, con captación de agua de mar mediante una batería de sondeos localizados en la zona de playa, al sur de la desembocadura de la rambla de Chinchilla.
- b) Desaladora de Cabanes. Ubicada en el Sector Torre de la Sal, en el término municipal de Cabanes, al sur del Prat de Cabanes-Torreblanca, con captación de agua de mar mediante sondeos situados en la playa del Mojón, entre los términos municipales de Oropesa del Mar y Cabanes.

En ambos casos el objetivo es obtener los caudales requeridos sin provocar efectos de intrusión salina o afección a captaciones del entorno. Para ello, lo que se pretende es captar agua de mar por debajo de la interfase agua dulce – agua salada.

Se contempla la posibilidad de una toma abierta de agua de mar si no se pudiese alcanzar el caudal necesario por medio de sondeos.

2. Eliminación de la salmuera de rechazo. De acuerdo con la documentación aportada por ACUAMED se estima un caudal de vertido en la primera fase de 78.000 m³/día (28,47 hm³/a) y en la segunda de 156.000 m³/día (56,94 hm³/a).

Las alternativas de vertido propuestas son:

- a) Desagüe de la salmuera al mar en la zona de la desembocadura de la rambla de Chinchilla; para el caso de ubicar la desaladora en Oropesa Norte.
- b) Distribución del vertido directo a lo largo de la línea de costa, aprovechando la zona de rompientes; aplicable a los dos posibles casos de ubicación de la planta desaladora.
- c) Diseño de un emisario submarino. También para las dos posibilidades de ubicación.

4. ANÁLISIS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS PRESENTADAS POR ACUAMED, EN RELACIÓN CON LA UBICACIÓN DE SONDEOS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE MAR

A continuación se hace un análisis geológico e hidrogeológico de las dos emplazamientos propuestos por ACUAMED, para la captación de agua de mar a través de sondeos, así como una valoración técnica de cada alternativa.



4.1. ALTERNATIVA A: BATERÍA DE SONDEOS COSTEROS EN PRIMERA LÍNEA DE PLAYA AL SUR DE LA DESEMBOCADURA DE LA RAMBLA DE CHINCHILLA.

Descripción

La zona propuesta para perforar la batería de sondeos se encuentra ubicada en el límite sur de la unidad hidrogeológica 08.11, Plana de Oropesa-Torreblanca. Los materiales aflorantes corresponden a depósitos cuaternarios de playa suprayacentes a materiales de tipo aluvión, también de edad Cuaternario. Geológicamente la Plana de Oropesa-Torreblanca está constituida por materiales de relleno de edad Pliocuaternalio, con espesores en torno a 80 m en la zona de interés.

La columna litoestratigráfica sintética de esta zona se puede determinar básicamente a partir de los 3 sondeos realizados para evaluar las posibilidades de captación de agua de mar para su utilización en el complejo balneario de Marina d'Or y de algunos sondeos (302440030, 302440031) relativamente próximos, 4 a 5 km, descritos en la base de Datos Aguas del IGME; si bien las características tectónicas del entorno hacen difícilmente extrapolable la continuidad de las formaciones mesozoicas captadas en áreas más occidentales a la zona propuesta.

De este modo la columna sintética muestra, de techo a muro, un tramo de 82 m (0-82 m) de gravas, arenas y arcillas en facies continental de edad Pliocuaternalio, le siguen 46 m (82-128 m) de limos y arcillas en facies litoral proximal o lacustre del Oligoceno-Mioceno, 38 m (128-166 m) de intercalaciones de areniscas y calizas en facies litoral de la misma edad y, finalmente, de 166 a 204 m calizas, dolomías y arcillas en facies marina. Este último tramo podría englobar formaciones carbonatadas cretácicas a partir de aproximadamente 192 m de profundidad, correspondientes a litologías del Aptiense-Barremiense que afloran al oeste de la zona propuesta y cuyo grado de karstificación resulta muy variable. Estos materiales, junto con algún nivel de calizas del Dogger, captado en el sondeo 302440030, presentan un valor de transmisividad de unos 90 m²/día.

Con respecto a las características hidráulicas de los materiales pliocuaternalios y oligomiocenos descritos, en función de los resultados recogidos en la documentación aportada por ACUAMED, a partir de los ensayos de bombeo llevados a cabo en los sondeos "Marina d'Or", se pueden establecer las consideraciones siguientes:

- Los materiales con mejores condiciones hidráulicas corresponden al tramo superior del acuífero pliocuaternalio, hasta una profundidad aproximada de 36 m, con un valor de transmisividad entre 1.250 y 33.000 m²/d.
- El tramo inferior del acuífero pliocuaternalio, de 40 a 80 m de profundidad, tiene una transmisividad entre 300 y 800 m²/d.

- El rendimiento hidráulico de la facies marina del acuífero Oligoceno-Mioceno, aislado de los demás niveles, es bajo, con una transmisividad en torno a $57 \text{ m}^2/\text{d}$.
- El aprovechamiento conjunto de las facies litoral y marina del acuífero oligoceno-mioceno presenta una transmisividad de 300 a $1.140 \text{ m}^2/\text{d}$, muy similar a la del tramo inferior del acuífero pliocuaternario, pudiendo calificarse como de transmisividad media-alta.

Consideraciones a la alternativa A

De acuerdo con los datos expuestos anteriormente, las mejores características hidráulicas para la captación de agua de mar se producen en el conjunto del acuífero pliocuaternario. Los datos preliminares de transmisividad obtenidos en los sondeos de Marina d'Or, permiten suponer que se pueden obtener caudales de 100 L/s, o incluso superiores con descensos moderados.

Otra opción es la captación conjunta de la mitad inferior del acuífero pliocuaternario y los materiales del oligoceno-mioceno en sus diferentes facies. Éstos aportarían de una manera individual cada sondeo entre 50 y 100 L/s, dependiendo de sus afecciones mutuas y parámetros hidráulicos, lo que supone la perforación, para la primera fase, de una batería de sondeos entre 18 y 34 pozos de captación, que supondría el doble para la segunda fase.

En ambas opciones el objetivo es la captación de agua de mar bombeando por debajo de la interfase agua dulce – agua de mar, con el fin de conseguir una composición constante del agua a desalar, así como evitar cualquier afección a captaciones del entorno. Con este fin se debe plantear una serie de estudios, que se proponen a continuación.

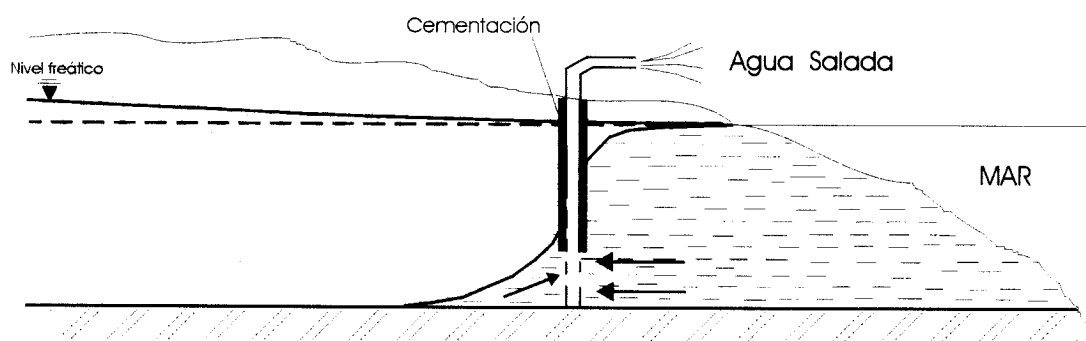


Figura 1. Esquema de captación de agua salada mediante bombeo en un acuífero libre costero. La idea consiste en bombear exclusivamente bajo la interfase, con el objeto de minimizar la entrada de agua dulce del acuífero y evitar la intrusión marina. El agua obtenida tiene una composición constante, prácticamente la del agua de mar, y una calidad excelente para los fines previstos, ya que se somete a un filtrado natural.



Estudios propuestos

Cualquiera de las opciones contempladas en la alternativa A, tanto la captación del acuífero pliocuaternario como la captación conjunta del Pliocuaternario y el Oligoceno-Mioceno, precisa la realización de sondeos de reconocimiento, así como piezómetros de observación, y pruebas de bombeo a caudal constante y caudales escalonados, que permitan determinar los parámetros hidráulicos del acuífero, los caudales de explotación, y el radio de influencia de las captaciones y del campo de pozos. Se precisa asimismo la testificación geofísica de los sondeos de investigación que permita el correcto diseño de los pozos de explotación, así como la posición de la interfase, ya que con vista a evitar la inducción de intrusión salina en el acuífero pliocuaternario, es necesario que el bombeo se produzca por debajo de la interfase, debiéndose cementar el tramo de acuífero sobre la interfase. Se considera necesario, además, la realización de una campaña geofísica de superficie con el objeto de conocer la posición areal de la interfase, a lo largo del tramo de costa donde se pretende actuar.

Los detalles sobre las características de los sondeos de investigación y la investigación geofísica se muestran en el apartado final de conclusiones y recomendaciones.

4.2. ALTERNATIVA B: BATERÍA DE SONDEOS COSTEROS EN PRIMERA LÍNEA DE PLAYA, EN LA ZONA SUR DE CABANES.

Descripción

La zona propuesta para perforar la batería de sondeos se encuentra ubicada en la mitad sur de la Plana de Oropesa-Torreblanca, próxima al límite sur del Prat de Cabanes.

Tanto los materiales aflorantes como la secuencia litoestratigráfica son muy similares a la descrita para la alternativa A.

La columna litoestratigráfica sintética se puede determinar en base al sondeo referido como número de inventario 55 en el estudio geológico aportado por ACUAMED, que corresponde con un sondeo de inyección para el vertido de aguas residuales procedentes de una pequeña planta de tratamiento de agua por ósmosis inversa, situado en el término municipal de Cabanes y en base a los sondeos con número de inventario 312410013 y 312410005 de la Base de Datos Aguas del IGME, situados respectivamente a unos 0,5 km al este del sondeo mencionado como número de inventario 55, y a unos 1,5 km al oeste de la zona marcada como alternativa B.

La columna sintética, de techo a muro, se inicia con unos 50-60 m de gravas, arenas y arcillas con conglomerados a muro, correspondientes a depósitos continentales de



edad Pliocuaternaria, suprayacentes a depósitos del Oligoceno-Mioceno, que se distribuyen en facies lagunar, litoral y marina. La facies lagunar se dispone entre los 60 m y 80 m de profundidad y está constituida por arcillas, limos, margas y arenas calcáreas con niveles de gravas; por debajo, entre 80 y 166 m se sitúa la facies litoral constituida por arenas calcáreas, calizas y margas con algunos niveles de gravas y, desde el metro 166 hasta 248 m, de profundidad, final del sondeo número 55, aparecen calizas fisuradas que en su tramo final, a partir del metro 198, podrían corresponder a depósitos de edad Cretácica.

Se pueden individualizar por tanto dos acuíferos, uno superior correspondiente a los materiales pliocuaternarios y otro inferior formado por las arenas calcáreas y calizas en facies litoral y marina que se encuentra confinado por las arcillas, limos y margas del oligoceno-mioceno en facies lacustre.

En la documentación aportada por ACUAMED no se hace referencia a los parámetros hidráulicos de estos acuíferos.

Consideraciones a la alternativa B

Desde el punto de vista del objetivo de este estudio, el acuífero de mayor interés sería el inferior. En la documentación consultada aparece una referencia de rendimiento hidráulico en el punto acuífero 312410013, captando 8 m de materiales detríticos correspondientes al Oligoceno-Mioceno en facies litoral, de 147 a 155 m de profundidad, y 10 m de calizas en facies marina, de 167 a 177 m de profundidad; el valor de transmisividad es de unos 70 m²/d. Otra posible referencia es la del punto 312910005, que no llega a atravesar el acuífero oligoceno-mioceno en facies marina y que se consideró con resultado negativo a efectos de su aprovechamiento.

A partir de la información disponible se puede efectuar las siguientes consideraciones:

- Existe, en general, menor conocimiento de la geología e hidrogeología en la zona denominada alternativa B.
- Con la información disponible actualmente se observan unas características hidráulicas menos favorables que las determinadas en la alternativa A. Los niveles explotables del acuífero profundo, que es el que presenta mayor interés, se sitúan a profundidades en torno a los 150 m, con valores de transmisividad que podrían clasificarse como bajos. En concreto la facies litoral parece tener peores características hidráulicas que en la alternativa A.
- El carácter confinado del acuífero inferior en la zona de alternativa B favorecería el mantenimiento de una composición química estable del agua a desalar.



Propuesta

Al igual que en el caso de la alternativa A, cualquier actuación en la zona situada al sur de Cabanes, precisa un plan de estudio similar al descrito en la zona de la rambla de Chinchilla, es decir, perforación de sondeos de reconocimiento y piezómetros de observación, realización de ensayos de bombeo, a caudal constante y bombeos escalonados, testificación geofísica en los sondeos y campañas geofísicas de superficie. La principal diferencia entre ambas zonas estriba en que al ser menor el grado de conocimiento previo de la alternativa B, se precisa posiblemente un mayor número de sondeos de reconocimiento, aunque la metodología es similar. Una descripción más detallada de los trabajos propuestos se hace en el último apartado de este informe.

5. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE ELIMINACIÓN DE LA SALMUERA DE RECHAZO DE LA PLANTA DESALADORA.

En el epígrafe correspondiente de esta nota técnica a la descripción de las actuaciones previstas, se enumeran las alternativas para el vertido de la salmuera de rechazo de la planta desaladora, propuestas por ACUAMED. Estas alternativas consisten para el caso de la desaladora de Oropesa en:

- Vertido a la rambla de Chinchilla.
- Emisario submarino.
- Vertido al mar en zona de rompientes.

Para el caso de la desaladora de Cabanes, solo se contempla la eliminación mediante emisario submarino y el vertido al mar en zona de rompientes.

De éstas posibilidades se van a analizar aquellas que pueden suponer una afección a la calidad de las aguas subterráneas, ya que el diseño y ubicación de emisarios submarinos para el vertido al mar o el desagüe directo en rompientes a lo largo de la línea de costa no produce afección a las aguas subterráneas, debiendo valorarse por otros especialistas las posibles afecciones al medio natural marino. Por lo tanto solo se valora la posibilidad de vertido a la rambla de Chinchilla, en el caso de la desaladora de Oropesa, y se hace una nueva propuesta de gestión de la salmuera tanto para el caso de Oropesa como para el de Cabanes

5.1. VALORACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE VERTIDO EN LA RAMBLA DE CHINCHILLA EN LA ZONA SITUADA AL NORTE DE OROPESA DE MAR.

En el caso de ubicar la planta desaladora en Oropesa Norte, una de las alternativas propuestas por ACUAMED es realizar el desagüe de la salmuera de rechazo en la zona de la desembocadura de la rambla de Chinchilla, lo que supone un caudal de



vertido, durante la primera fase, de unos 78.000 m³/día (28,47 hm³/año) y en la segunda fase de unos 156.000 m³/día (56,94 hm³/año).

Sobre esta propuesta, cabe mencionar como antecedente, que en la misma zona propuesta existe una autorización de vertido, para un caudal de unos 4,38 hm³/año, del efluente generado en el balneario de la urbanización Marina d'Or, para verter agua de mar, tras su utilización en el mencionado balneario, en un punto ubicado a unos 250 m de la línea de costa, en el entorno del embarcadero.

De las conclusiones obtenidas en el informe emitido el 2 de mayo de 2001 por el IGME, según lo establecido en la Ley de Aguas, en relación con el vertido mencionado y de la documentación consultada para la elaboración de esta nota técnica se pueden exponer las siguientes conclusiones:

- En la desembocadura de la rambla de Chinchilla existe una barra litoral que cierra la misma, y que desconecta el cauce y el mar, excepto en épocas de fuertes lluvias, cuando se produce una incisión natural en la misma. Por este motivo la mayor parte del año, y en condiciones naturales, la desembocadura se encuentra cerrada, por lo que cualquier vertido que se realice en la rambla debe llevar implícito la eliminación periódica de la barra con el fin de evitar que el embalsamiento incremente la carga hidráulica y en consecuencia se infiltre el efluente hacia el acuífero.
- A la altura de la zona urbanizada de Marina d'Or, el cauce de la rambla se encuentra excavado por debajo de la cota 0 m s.n.m., ya que se inició la construcción de un embarcadero. Por este motivo el agua que existe de manera permanente en la zona de la desembocadura procede del drenaje del propio acuífero. En concreto, el contenido en cloruros del agua del embarcadero (11.000 mg/L) indica que se trata de un agua salobre que corresponde a la zona de mezcla agua de mar - agua dulce del acuífero. De acuerdo con los datos de los piezómetros existentes en el entorno del embarcadero, la zona de mezcla se encuentra aproximadamente a una profundidad de 1,75 m.
- En la zona se produce un flujo de agua subterránea desde el interior hacia la costa, con una gradiente hidráulico del 0,17 ‰.
- El vertido de una salmuera, en un medio con mezcla de agua marina y agua de mejor calidad procedente del acuífero provocará una estratificación en el agua de la desembocadura, como consecuencia de la diferencia de salinidad y densidad, disponiéndose el agua más cargada en sales en el fondo, de manera que se producirá un incremento de la carga hidráulica y en el gradiente por la diferencia de salinidad, favoreciendo la infiltración de agua cargada en sales hacia el medio menos salino; afectando de este modo a la calidad de las aguas subterráneas. Este hecho, unido a que la captación de agua de mar a través de pozos puede provocar un cierto abatimiento de la superficie freática del acuífero, provocaría la infiltración de la salmuera hacia el acuífero en el entorno de la zona de captación, lo que implicaría un



alto riesgo de que parte de la salmuera fuera captada por los propios sondeos de explotación.

5.2. PROPUESTA DE UNA NUEVA ALTERNATIVA DE GESTIÓN DE LA SALMUERA DE RECHAZO.

Otra posibilidad de eliminación, no contemplada en la documentación aportada por ACUAMED y aplicable a los dos posibles emplazamientos de la planta desaladora, es la inyección de la salmuera de rechazo mediante sondeos, en niveles acuíferos más profundos que en los que se planifica la toma de agua de mar. En función del grado de karstificación y sus parámetros hidráulicos esta inyección podría realizarse en niveles saturados en agua de mar de calizas y dolomías mesozoicas. Esta alternativa precisa de un estudio hidrogeológico detallado que permita asegurar la inyección de los volúmenes de salmuera mencionados. Por este motivo, si se contempla esta posibilidad, sería necesario incrementar la profundidad de investigación, tanto de la perforación mecánica como de la geofísica, hasta alcanzar los referidos materiales carbonatados mesozoicos.

5.3. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE ELIMINACIÓN DE LA SALMUERA DE RECHAZO.

De acuerdo con los datos expuestos, la opción de vertido en la rambla de Chinchilla muestra ser la más desaconsejable, debido principalmente a dos motivos:

- Alto riesgo de afección a la calidad de las aguas subterráneas del acuífero pliocuaternario superior. En caso de afección se pueden ver afectados los propios pozos de explotación que se consideran en la alternativa A.
- Necesidad de un acondicionamiento continuo de la desembocadura, que precisa la eliminación de la barra litoral que la cierra periódicamente.

En este caso y por estos motivos se cree conveniente optar por la eliminación mediante vertido al mar, siempre que se asegure la inocuidad del mismo al medio natural marino, o bien considerar la alternativa propuesta de eliminación mediante inyección profunda.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La documentación aportada por ACUAMED, la información consultada y la experiencia y conocimiento del IGME en la zona de actuación propuesta permiten establecer las siguientes conclusiones en relación con las alternativas para captación de agua de mar y las posibilidades de eliminación de la salmuera de rechazo formuladas por ACUAMED en relación con el proyecto informativo de la desaladora de Oropesa del Mar (Castellón) y obras complementarias:

1.- El estado del conocimiento previo y la infraestructura hidrogeológica existente en la zona propuesta, mitad meridional de la Unidad Hidrogeológica 08.11 Plana de Oropesa-Torreblanca, indican la presencia de una formación geológica, cuyos parámetros hidráulicos permitan seleccionar de forma directa una alternativa para la captación de agua de mar, pero para ello es necesario la realización de un estudio adicional que permita conocer los parámetros hidráulicos y la geometría de los materiales a través de los cuales se pretende extraer agua de mar, así como la posición de la interfase y el correcto diseño de los pozos de explotación. Los trabajos que se contemplan consisten en la perforación de sondeos de reconocimiento y piezómetros de observación, pruebas de bombeo, testificación geofísica en pozos y campañas de geofísica de superficie.

2.- Se considera que el número de sondeos de reconocimiento que deben ser perforados es de dos en cada una de las alternativas propuestas, más dos piezómetros de observación a una distancia de unos 50 m desde cada sondeo de investigación. El objeto de estos últimos es poder interpretar de manera óptima los descensos provocados durante los ensayos de bombeo que se realicen. De este modo, se incrementa de dos a cuatro el número de sondeos de reconocimiento a realizar con respecto a la documentación aportada por ACUAMED, así como cuatro piezómetros que no se consideraban con anterioridad.

3.- Los sondeos de reconocimiento deberían alcanzar una profundidad entre 200 y 300 m, de manera que se investiguen también las características hidrogeológicas de los niveles carbonatados mesozoicos, tanto para evaluar sus posibilidades para incrementar la extracción de agua de mar en cada sondeo de explotación individualizado, como para conocer sus características hidráulicas ante el posible planteamiento de un sistema de inyección profunda de la salmuera de rechazo en estos niveles.

4.- En cada uno de los sondeos de reconocimiento se deben realizar dos ensayos de bombeo, uno a caudal constante, con observación de descensos y recuperación tanto en el pozo de bombeo como en los piezómetros de observación, y un ensayo de bombeo escalonado, con al menos cuatro escalones de caudal. De este modo se obtendrán los parámetros hidráulicos de los materiales, el radio de influencia de los



bombeos, y se podrán evaluar los descensos reales para seleccionar el caudal óptimo de explotación.

5.- En la información remitida por ACUAMED, se evalúa una extracción individual de 100 L/s en cada sondeo, implicando el tramo inferior del pliocuaternario y el acuífero Oligoceno-Mioceno en sus distintas facies. Este límite parece demasiado optimista en virtud de las características hidráulicas de las formaciones y de la afección entre pozos, pudiéndose considerar como más probables valores individualizadas entre los 50 y 100 L/s.

6.- Sí parece probable la obtención de caudales de 100 L/s, en el acuífero pliocuaternario, en conjunto, aunque esta opción precisa una evaluación de los efectos que dicho bombeo puede provocar en captaciones próximas, y sobre la interfase. De manera preliminar, la afección puede ser mínima si se confirman valores elevados de transmisividad, si se dispone de suficiente espesor de acuífero saturado con agua de mar y si se diseñan correctamente los sondeos de explotación en lo que respecta a la ubicación de los tramos ranurados y posición de la bomba (Figura 1).

7.- La zona propuesta como alternativa A para la ubicación de la batería de sondeos de extracción, proximidad del barranco de Chinchilla, cuenta con más información hidrogeológica previa que la alternativa B, sector próximo a la rambla de Mañes, debido sobre todo a la existencia de sondeos de captación de agua de mar para el balneario de la urbanización de Marina d'Or. En el sector A las características hidrogeológicas de los materiales parecen mejores que en el sector B, en el que además los niveles de interés se encontrarían a una profundidad algo mayor que en la alternativa A. No obstante, no resulta posible realizar una recomendación definitiva sin contar antes con la información de pruebas de bombeo propuestas.

8.- En la documentación aportada se plantea también la realización de 5 sondeos geofísicos mediante el método de resonancia magnética nuclear (RMN) de superficie en cada una de las zonas propuestas. Se prevé un sondeo de este tipo, con objetivos paramétricos, junto a cada sondeo mecánico de investigación, y otros cuatro sondeos, dos al norte y otros dos al sur del sondeo mecánico. Al aplicar este método de investigación hay que tener en cuenta al menos dos aspectos:

- La RMN no discrimina entre agua dulce y salada, por lo que no aportará información relativa a la profundidad de la interfase.
- La profundidad de investigación es aproximadamente igual a la longitud del lado del bucle de antena empleado. En este sentido hay dos posibilidades de investigación: dispositivo cuadrado y bucle en ocho. El dispositivo cuadrado, tiene una longitud de lado del bucle de 150 m y, por tanto, profundidad de investigación igual o menor a ese valor. Teniendo en cuenta además que en la secuencia estándar de inversión la potencia de cada capa de resultado de la inversión va siendo mayor con la profundidad, para un valor de 150 m la última capa



discriminada tendría una potencia de unos 40 m, se podría obtener, por tanto, escasa información. Este dispositivo cuadrado con lado de 150 m se puede emplear en zonas en que exista poco ruido, considerando como tal la presencia de actividades antrópicas. La otra alternativa, para zonas con alto nivel de ruido, es la utilización de un bucle en ocho, con lado de 75 m y por tanto, con ese mismo límite de investigación. A esto hay que unir que la salinidad de las aguas hace que el terreno sea muy conductor, y los terrenos muy conductores no favorecen la penetración del método de RMN.

Una alternativa de prospección geofísica a la propuesta en la documentación remitida consistiría, en primer lugar, en la testificación en pozo con sondas de: resistividad de la formación, gamma natural, temperatura y conductividad del fluido. Una vez obtenida esta información se aplicaría geofísica de superficie. En ésta, dada la salinidad del agua, los métodos eléctricos y magnéticos pueden presentar ciertos problemas, por lo que podría emplearse sísmica de reflexión somera, con costes similares o inferiores a la RMN, mediante la realización de un perfil con una amplitud en torno a 1 km desde cada uno de los sondeos de investigación. Igualmente se puede aplicar la técnica de polarización inducida para obtener la posición de la interfase agua dulce – agua de mar a lo largo de los tramos de costa seleccionados, ya que permite distinguir las bajas resistividades debidas a la presencia de agua salada de aquellas debidas a la presencia de arcillas, que es la principal limitación a la aplicación de los métodos eléctricos y electromagnéticos clásicos.

Con la combinación de estos métodos se podría realizar un perfil en las proximidades de los sondeos de investigación que aportaría información sobre la permeabilidad relativa de las formaciones, las zonas de aportes de agua, la conductividad del fluido y la identificación de las facies correspondientes a materiales carbonatados.

9.- En relación con las alternativas de gestión de la salmuera de rechazo, se desaconseja expresamente la posibilidad de verter en la desembocadura de la rambla de Chinchilla, ya que los considerables volúmenes a verter, con salinidad muy superior a la del agua de mar, la presencia de una barra litoral que cierra la desembocadura de la rambla la mayor parte del año, y la existencia de una mezcla de agua marina y dulce proveniente del drenaje del acuífero cuaternario produciría una estratificación del agua como consecuencia de la diferencia de salinidad y densidad, dando lugar, al menos en determinadas ocasiones en función de los niveles relativos, a un incremento de la carga hidráulica que favorecería la infiltración de agua muy cargada en sales hacia el acuífero subyacente, en la zona de vertido, y en tal caso existiría un alto riesgo de afección a los propios pozos de captación establecidos en la presente actuación. Por lo tanto se aconseja la eliminación de la salmuera mediante su vertido al mar, siempre que las condiciones del medio marino sean favorables, o considerar la posibilidad de inyección profunda en el acuífero carbonatado mesozoico, si los resultados de una investigación *ex profeso* indicasen que tanto los valores de transmisividad como su grado de conexión con el mar permitiese la eliminación de los caudales requeridos.

7. ANEXO FOTOGRÁFICO



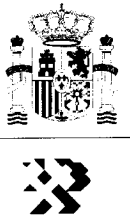
Fotografía 1. Estado de la desembocadura de la rambla de Chinchilla en octubre de 2001. Obsérvese la existencia de una barra litoral que cierra la salida al mar.



Fotografía 2. Desembocadura de la rambla de Chinchilla en 2005. El vertido de agua de mar de Marina d'Or exige la eliminación periódica de la barra litoral con el fin permitir la salida hacia el mar.



Fotografía 3. Embarcadero de Marina d'Or en el cauce de la rambla de Chinchilla. El agua que ocupa el cauce procede del drenaje del acuífero pliocuaternario de la Plana de Oropesa, como consecuencia de la excavación artificial del lecho por debajo del nivel freático.



LOS AUTORES DE LA NOTA TÉCNICA

Fdo.: Miguel Mejías Moreno

Fdo.: Julio López Gutiérrez

VºBº

Fdo.: Juan Antonio López Geta