

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

Congreso hispano-luso sobre las aguas subterráneas en el Segundo Ciclo de Planificación Hidrológica

28 - 30 de noviembre de 2016 - Madrid



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Portugués

Patrocinan:



Colaboran:



FUNDACIÓN CENTRO INTERNACIONAL
DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA



Grupo Español de la AIH

Luis Martínez Cortina y Pedro Martínez Santos (editores)

Las aguas subterráneas y la planificación hidrológica

Ponencias y comunicaciones presentadas al Congreso Hispano-Luso sobre
"Las aguas subterráneas en el segundo ciclo de planificación hidrológica"
Madrid, 28–30 de noviembre de 2016

Autor:

*Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo
Español*

Editores:

*Luis Martínez Cortina
Pedro Martínez Santos*

Asistente editorial:

José Manuel Nieto López

© 2016 Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Español

Gran Capitán s/n, 08034 – Barcelona

Edición digital, noviembre de 2016. Edición electrónica: www.aih-ge.org

ISBN: 978-84-938046-5-7

Portada: Captaciones de agua subterránea en el acuífero aluvial del Bajo Guadalhorce
(Provincia de Málaga)

Índice de contenidos

Presentación	17
Ponencias del Congreso.....	19
 <i>Tema 1. Caracterización de las aguas subterráneas</i>	
Evolución en la delimitación y caracterización de las masas de agua subterránea en España desde la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua	
<i>Loreto Fernández</i>	<i>21</i>
A evolução da cartografia hidrogeológica em Portugal	
<i>Renata Santos y Ana Paula Pereira</i>	<i>37</i>
 <i>Tema 2. Presiones e impactos en las masas de agua subterránea. Vinculación con los programas de control y seguimiento</i>	
Águas subterrâneas em Portugal no 2º ciclo dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica	
<i>Ana Rita Lopes</i>	<i>39</i>
Contaminantes emergentes en aguas subterráneas: origen, presencia y aspectos normativos	
<i>Lucila Candela</i>	<i>41</i>
 <i>Tema 3. Definición y determinación del estado químico y cuantitativo de las masas de agua subterránea</i>	
El estado químico y cuantitativo en las masas de agua subterránea: retos y tareas pendientes	
<i>Josep Fraile, Xavier Carreras, Teresa Garrido y Núria Micola</i>	<i>49</i>
 <i>Tema 4. Zonas protegidas. Caracterización, protección y gestión</i>	
Zonas protegidas: caraterização, proteção e gestão	
<i>António Chambel</i>	<i>63</i>

Tema 5. Papel de las aguas subterráneas en la gestión y satisfacción de las demandas y en la gestión de las sequías

Seguimiento del control y la gestión de la demanda del agua subterránea en el Alto Guadiana	
<i>Alberto Fernández Lop</i>	65
El papel de las aguas subterráneas en la satisfacción de demandas y en la gestión de sequías en la demarcación hidrográfica del Júcar	
<i>Teodoro Estrela y Arancha Fidalgo</i>	77

Tema 6. Gobernanza de aguas subterráneas

Caracterização territorial e institucional das “massas de água subterrânea” em Portugal. Uma proposta para a sua atualização sistemática	
<i>José Paulo Monteiro y Ricardo Martins</i>	91

Tema 7. Aspectos económicos relacionados con el uso de aguas subterráneas

¿Cuánto cuesta mejorar la calidad ambiental de las aguas subterráneas en España?	
<i>Daniel Cabello, Alberto del Villar y Josefina Maestu</i>	113

Ponencia de clausura

Las aguas subterráneas en el segundo ciclo de planificación en España: avances y retos de futuro	
<i>Luis Martínez Cortina, Víctor Arqued y Javier Ruza</i>	123

Comunicaciones libres..... 145

Repercusiones de una atención tardía al conocimiento hidrogeológico en la gestión de los acuíferos costeros del sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías (Almería, España)	
<i>P. Domínguez; P.A. Franqueza y M.A. Fernández</i>	147
La estimación de la recarga natural al acuífero del norte de Gran Canaria: comparación de diferentes metodologías	
<i>M.C. Cabrera; F. de Paoli; G. Naranjo; T. Cruz-Fuentes; M.P. Hernández-Quesada; E. Estévez; L.F. Martín y E. Custodio</i>	155
Evaluación de recursos hídricos y balance hidrogeológico en acuíferos karsticos de montaña. Caso de la Sierra de Grazalema (Cádiz, España)	
<i>J.F. Martín Rodríguez; D. Sánchez García; M. Mudarra; B. Andreo; M. López Rodríguez y M.R. Navas</i>	163

Efectos sobre la planificación hidrológica de los procesos de acumulación/fusión de nieve y su incidencia en el régimen de caudales de estiaje ante escenarios de cambio climático: el caso del Alto Tajo y la cabecera del Guadiela	
<i>J. Mora; I. Menéndez Pidal y E. Sanz Pérez</i>	<i>171</i>
Potencial de la técnica InSAR para estudiar la evolución espacio temporal de la deformación y los niveles piezométricos en el acuífero terciario detrítico de Madrid	
<i>P. Ezquerro; M. Béjar-Pizarro; G. Herrera; R. Tomás; C. Guardiola-Albert; J.M^a Ruiz Hernández; J.A. Fernández Merodo; M. Marchamalo y R. Martínez Marín</i>	<i>179</i>
Variabilidad espacio/temporal de las masas de aguas superficiales dependientes de las aguas subterráneas en áreas semiáridas. El caso del río Andarax (Almería)	
<i>F. Navarro; F. Sánchez Martos; J. Gisbert; L. Molina y J.P. Rigol.....</i>	<i>187</i>
Recurso natural o recarga en la gestión del sistema acuífero Almonte-Marismas (Doñana) según la revisión del Plan Hidrológico (2016-2021) de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir	
<i>C. Guardiola-Albert; C. Mediavilla; H. Aguilera; N. Fernández Naranjo; F. Ruiz Bermudo y N. García Bravo.....</i>	<i>193</i>
Estimación de la recarga mediante la modelación numérica del balance de agua en el suelo en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Huesca, España)	
<i>J. Jódar; L.J. Lambán y E. Custodio</i>	<i>201</i>
Evaluación de los recursos hídricos y de los efectos del cambio climático en las aguas subterráneas en el municipio de Abegondo (Galicia)	
<i>J. Samper; B. Pisani; A. Naves; L. Montenegro; A. Mon; J. Fernández Águila; R. Arias; R. Piñeiro; M. Velo y C. Ameijenda.....</i>	<i>209</i>
Análisis paramétrico y numérico de las oscilaciones piezométricas en acuíferos libres y su relevancia para la estimación de la recarga a partir de datos piezométricos	
<i>J. Fernández Águila; J. Samper; B. Pisani y A. Naves</i>	<i>219</i>
Modelo numérico del acuífero Plana de Valencia Sur (Valencia-España). Determinación de su comportamiento hidrodinámico en situación de estrés hídrico y valoración medioambiental	
<i>B.J. Ballesteros y J.O. Navarro</i>	<i>227</i>
Criterios de actuación por presiones e impactos de subproductos agropecuarios y residuos industriales en “Zonas hidrogeológicas de influencia” (ZHIN)	
<i>F.J. García Mariana.....</i>	<i>237</i>
Evolución de las redes de control del estado de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Duero. Parte española	
<i>E. Rodríguez Jiménez</i>	<i>245</i>

Distribución de nitratos e incertidumbre espacial asociada – Caso de estudio del acuífero del Páramo de Cuéllar, España <i>L. Alonso; M.T. Albuquerque; R. Martínez Alegría; I. M. Antunes y J. Taboada</i>	251
Identificación de factores geológicos que controlan la distribución de arsénico y otros elementos traza asociados en las masas de agua del sur de la cuenca del Duero (Proyecto HidroGeoTox) <i>E. Giménez Forcada; A. Fernández Fernández; M. García Rodríguez; D. Gómez Ortiz; C. Kohfahl; M.T. López Bahut; M.C. Moro; M.C. Rey; S. Timón; M. Vega y P. Smedley</i>	259
Avaliação da vulnerabilidade espacial na água subterrânea <i>I.M. Antunes; M.T. Albuquerque y M.F. Seco</i>	269
El antiinflamatorio naproxeno: sorción, biodegradación y tratamiento a través de materiales reactivos <i>V. Martínez-Hernández; M. Leal; R. Meffe; I. de Bustamante y J. Lillo</i>	277
Estudio de contaminantes emergentes en acuíferos detríticos de la cuenca hidrográfica del río Guadalhorce (Málaga) <i>I. Vadillo; L. Candela; P. Jiménez Gavilán; B. Urresti y C. Corada</i>	283
Interpretación de los resultados del estudio sobre la presencia y evolución de antibióticos en las aguas subterráneas del Baix Fluvià (Alt Empordà, Girona) en el contexto de la planificación hidrológica <i>J. Mas Pla; M. Boy Roura; A. Menció; L. Portell; D. Brusi; M. Villagrasa; M. Petrovic; M. Gros; I. Lekunberri; M. Fillol y C.M. Borrego</i>	289
IMPRESS: analisis de presiones e impactos en las masas de agua del Distrito de Cuenca Fluvial de Catalunya <i>N. Micola; X. Carreras; T. Garrido y J. Fraile</i>	297
Determinación del estado químico de una masa de agua subterránea mediante la elaboración de intervalos estadísticos. Aplicación a la plana de Vinaroz <i>J. Grima</i>	311
Generación de colapsos asociados a la explotación de aguas subterráneas en un acuífero kárstico de Cantabria <i>M. Meléndez; T. Bros; M.T. Martínez-Antón; J.M. Pardo; J. Mulas; J. Remondo y J. Bonachea</i>	319
Recursos hídricos y abastecimiento humano. Protección y su integración en la ordenación del territorio. Aspectos normativos y metodológicos <i>A. Jiménez Madrid; C. Martínez Navarrete; F. Carrasco y P. Jiménez Fernández</i>	327
Estudio hidrogeológico, vulnerabilidad y protección de las captaciones de los suministros rurales en Abegondo (A Coruña) <i>J. Samper; A. Naves; B. Pisani; L. Montenegro; A. Mon; J. Fernández Águila; R. Arias; R. Piñeiro; M. Velo y C. Ameijenda</i>	335

Caracterização de charcos temporários mediterrânicos como ecossistemas dependentes de águas subterrâneas na costa oeste do Alentejo	
<i>N. Salvador y J.P. Monteiro</i>	345
Definição dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas nos planos de bacia do sul de Portugal	
<i>A. Chambel y J.P. Monteiro</i>	353
Seguimiento mediante teledetección de la superficie inundada y la vegetación de las lagunas del Parque Nacional de Doñana entre 1983/84 y 2014/15	
<i>V.J. Cifuentes; R. Escudero; J. Castaños y M.P. Porcel</i>	361
Caracterización hidroquímica de las salinas litorales de Santa Pola, La Mata y Torrevieja (provincia de Alicante)	
<i>J.M. Fornés; A. de la Hera; R. Morales; A. de la Losa; J.M. Murillo; J.J. Durán; J.M. Soria; J.E. Tent-Manclús; J.A. Hernández Bravo y M. Fernández Mejuto</i>	365
Aspectos normativos de los aprovechamientos geotérmicos someros. La experiencia del acuífero urbano de Zaragoza	
<i>E.A. Garrido; A. García-Gil; C. Arrazola; O. Escayola; J. San Román; F. Delgado; J.A. Sánchez Navarro; E. Vázquez y F.J. Elorza</i>	373
Aproximación al abastecimiento poblacional de las urbanizaciones en la parte española de la demarcación hidrográfica del Tajo	
<i>M. Martínez Parra</i>	381
Indicadores para una operación eficiente en la explotación de aguas subterráneas. Caso del sistema de abastecimiento de la Comunidad de Madrid	
<i>E. Sánchez Sánchez y S. Gómez Gálvez</i>	391
Análisis preliminar de diferentes índices de sequía en el marco de la planificación hidrológica. El caso del sistema de explotación de la Costa del Sol occidental	
<i>J. Martín Arias; M. Argamasilla; B. Andreo y P. Martínez Santos</i>	399
Experiencias piloto en depuración y reutilización mediante filtros verdes intensivos	
<i>A. Pérez Barbón; M. Tortuero; J. Lillo e I. de Bustamante</i>	407
Análisis de situación en la metodología de evaluación del estado de las aguas subterráneas y requerimientos futuros dentro del programa de trabajo 2016-2018 en la estrategia común europea de implementación de la Directiva Marco del Agua	
<i>I. Gimeno y B. Muñoz</i>	415
Trabajos en aguas subterráneas para la elaboración de los planes hidrológicos de cuatro demarcaciones turcas de acuerdo a los requerimientos de la Directiva Marco del Agua	
<i>C. Macías; R. Martínez Gamo; E.R. Crespo; M.C. Martín Moro J. Martínez Cuevas y M.J. Minaya</i>	423
30 años de la Ley de Aguas y 15 años de la Directiva Marco del Agua europea. Lecciones aprendidas en cuanto al conocimiento y gobernanza de las aguas subterráneas	
<i>J.M. Fornés; A. de la Hera; M.R. Llamas y E. Custodio</i>	429

Un paso importante en la gestión de las aguas subterráneas en España: la constitución de la asociación de usuarios de aguas subterráneas del acuífero detrítico de Madrid <i>G. Ariño; J. Codina; J.M. Fornés; J.A. López Geta; M.R. Llamas; J.L. Molina; M. Sastre y F. Villarroya</i>	435
Técnica de remediación in situ de un suelo y un acuífero contaminado. Caso de estudio en el aluvial del Jarama <i>V. Rodríguez; E. Montero; F. Villarroya; A. Santos y A. Romero</i>	443
Efecto de una recarga artificial utilizando los efluentes de la edar en el acuífero costero río Verde (Almuñécar, Granada) <i>M.L. Calvache</i>	451
Valorização das águas subterrâneas da bacia hidrográfica da ribeira do poço das patas (Porto, Portugal): otimização da gestão integrada dos recursos “água e território” <i>R. Santos; A.P. Pereira; M.T. Teles y L. Borges</i>	459
Dificultades para la aplicación de los planes de gestión de sequías en aguas privadas subterráneas no inscritas en el catálogo de aguas privadas <i>M. Martínez Martínez</i>	471
Reutilización de aguas regeneradas en el marco de la planificación hidrológica <i>V. Martínez Hernández</i>	479
Costo de la desalobración de aguas subterráneas con pequeñas plantas desalobradoras ($\leq 2200 \text{ m}^3 / \text{día}$) y su uso en el Campo de Cartagena <i>J.O. Aparicio; L. Candela y O. Alfranca</i>	487
Pósteres/resúmenes	495
Modelización Geológica 3D como apoyo a la planificación hidrológica: masas de agua subterránea de la demarcación de Melilla <i>A. Ruiz Constán; C. Marín; J.C. Rubio; J. Facenda; C. Martín Montañés; J. Jiménez Sánchez; J. Galindo; F.J. Martínez Moreno y A. Pedrera</i>	497
Variabilidad espacio/temporal de las masas de aguas superficiales dependientes de las aguas subterráneas en áreas semiáridas. El caso del río Andarax (Almería) <i>F. Navarro; F. Sánchez Martos; J. Gisbert; L. Molina y J.P. Rigol</i>	499
Redefinición de la red de control de aguas subterráneas en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Júcar en el segundo ciclo de planificación hidrológica <i>C. Montoro; T. Alabadí y M. Mañá</i>	501
Modelización hidrológica diaria en la laguna de Santa Olalla (manto eólico de Doñana). Periodo: enero 2015 a marzo 2016 <i>A. Fernández Ayuso; M. Rodríguez Rodríguez; F. Moral y J. Benavente</i>	503

La optimización energética en las aguas subterráneas <i>E. Sánchez Sánchez y J. Henche</i>	505
Proyecto de estudio y detección de contaminantes emergentes en cuatro cuencas antropizadas del sur de España <i>I. Vadillo; S. Ballester; P. Jiménez Gavilán; J.L. Aranda; J. Benavente y B. Urresti.....</i>	507
Modelo de parámetros agregados precipitación-escorrentía de las subcuencas media y alta del río Pas (Cantabria, España) <i>J. G. Heredia y M. L. Meléndez</i>	509
Índice de autores.....	511

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS SALINAS LITORALES DE SANTA POLA, LA MATA Y TORREVIEJA (PROVINCIA DE ALICANTE)

Juan María FORNÉS AZCOITI*, África DE LA HERA PORTILLO*, Raquel MORALES GARCÍA*, Almudena DE LA LOSA ROMÁN*, José Manuel MURILLO DÍAZ*, Juan José DURÁN VALSERO*, Jesús Miguel SORIA MINGORANCE*, José Enrique TENT-MANCLÚS, Juan Antonio HERNÁNDEZ BRAVO*** y Miguel FERNÁNDEZ MEJUTO*****

(*) Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid. España
jm.fornes@igme.es; a.delahera@igme.es; r.morales@igme.es; a.delalosa@igme.es;
jm.murillo@igme.es; jj.duran@igme.es

(**) Universidad de Alicante. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente.
Apartado de Correos, 99. 03080 Alicante. España
jesus.soria@ua.es; je.tent@ua.es

(***) Diputación Provincial de Alicante. Av. de la Estación, 6, 03005 Alicante. España
jhernand@diputacionalicante.es; mfmejuto@diputacionalicante.es

RESUMEN

Las salinas litorales de la provincia de Alicante son unos ecosistemas singulares cuya morfología ha sido modificada por el hombre para facilitar la explotación salinera. En este artículo se van a estudiar las salinas de Santa Pola, de La Mata y de Torrevieja, que pueden considerarse las más importantes de la provincia alicantina al estar declaradas como *Parque Natural*. De cada una de ellas se realiza un análisis descriptivo de las características geológicas de su entorno, de su funcionamiento hídrico, así como de la hidroquímica de sus aguas en distintas estaciones, desde otoño de 2011 a otoño de 2012; se han analizado los iones mayoritarios, el pH y la conductividad eléctrica. En el periodo de tiempo al que nos referimos, no se ha apreciado una tendencia paralela en la variación de la composición química de sus aguas en función de las distintas estaciones consideradas.

Palabras clave: *Alicante, hidroquímica, humedales, salinas litorales.*

INTRODUCCIÓN

Los humedales constituyen los ecosistemas de mayor valor ecológico de la Comunidad Valenciana: cerca de la mitad de los espacios naturales declarados son humedales. Se trata de una de las Comunidades Autónomas españolas que cuenta con mayor número de zonas húmedas de importancia internacional incluidas en la Lista Ramsar. El Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana publicado por la Generalitat, incluye 48 humedales que

ocupan una superficie de 44.862 ha, de los que 20 se ubican en la provincia alicantina y suman 14.282 ha de superficie, prácticamente un tercio del total de la superficie de humedales catalogados en el conjunto autonómico. En este trabajo se van a caracterizar las salinas litorales de Santa Pola, de La Mata y de Torrevieja, tanto desde el punto de vista geológico, como hidrodinámico e hidroquímico. Se trata por tanto, de un análisis descriptivo que puede ayudar a caracterizar mejor el funcionamiento hídrico de estos singulares ecosistemas.

SALINAS DE SANTA POLA

El Parque Natural Salinas de Santa Pola ocupa una superficie de 2.497 ha (Figura 1) y se encuentra sobre sedimentos constituidos por tres tipos de litologías (IGME, 1978): arcillas orgánicas depositadas en el propio humedal; depósitos arenosos relacionados con los sistemas dunares y de playas; y limos aluviales asociados tanto a la llanura de inundación del río Segura como a las partes distales del abanico del Vinalopó, cuyo ápice se localiza en la Sierra del Tabayal. Bajo estos depósitos cuaternarios, se sitúan unos materiales de relleno plio-pleistocenos. El registro estratigráfico más antiguo pertenece al Mioceno Superior (Figura 2).



Figura 1. Salinas de Santa Pola (15 de mayo de 2012).

Los aportes hídricos que alimentan este humedal proceden de dos orígenes (DURÁN, et al., 2005): directamente desde el mar mediante entrada de agua marina hacia las salinas; y desde los acuíferos adyacentes mediante la transferencia directa de recursos subterráneos hacia las lagunas situadas en las márgenes de las explotaciones salineras, procedentes del Campo de Elche. El sistema hidrogeológico está representado por un acuífero multicapa, integrado por un acuífero libre superficial, y otros más profundos confinados (RODRÍGUEZ ESTRELLA, et al., 1992). La recarga de este acuífero multicapa se produce por la infiltración de agua de lluvia, de los excedentes de riego, pérdidas de acequias, y por transferencia de los acuíferos laterales próximos, tanto de forma difusa como mediante canalizaciones. Las pérdidas de agua del humedal se deben básicamente a la evapotranspiración, mientras que las del acuífero se efectúan a través de bombeos y por drenajes hacia los azarbes y cursos superficiales (DURÁN, et al., 2005). La circulación subterránea del sistema acuífero se realiza con un claro gradiente hacia el este, es decir, hacia las salinas y hacia el Mar Mediterráneo (IGME, 1985a).

Actualmente, y como consecuencia de la explotación existente, el régimen de funcionamiento de las Salinas de Santa Pola es prácticamente artificial, con drenes para evitar la entrada de escorrentía y con entradas reguladas de agua de mar. Existen azarbes procedentes de la Vega Baja que atraviesan las salinas, para conseguir desembocar en el mar, pero

desconectadas de estas. Por tanto, se puede decir que las Salinas de Santa Pola dependen casi exclusivamente del aporte de agua del mar. Los aportes de aguas subterráneas, procedentes del Campo de Elche, según el mapa de isopiezas elaborado por RODRÍGUEZ ESTRELLA, et al. (1992), influyen poco en su conservación.

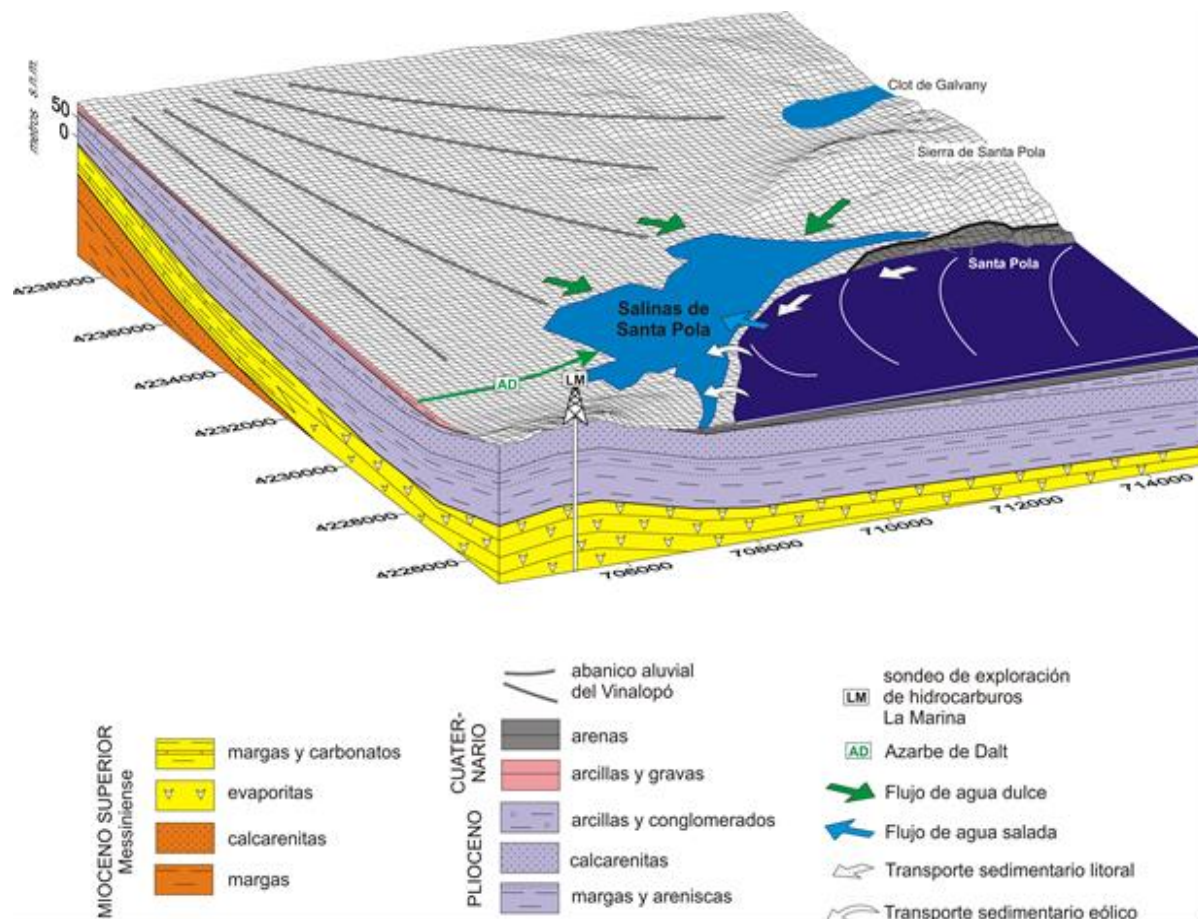


Figura 2. Modelo geológico simplificado de las Salinas de Santa Pola.

Para caracterizar la hidroquímica de sus aguas, se han tomado cinco muestras de agua desde otoño del año 2011 hasta otoño de 2012, una por cada estación del año (Tabla 1). Todas las muestras de agua son cloruradas sódicas, debido a las entradas reguladas de agua de mar. Como se apuntaba anteriormente, la influencia de la escorrentía superficial y subterránea apenas es significativa. En DURÁN et al. (2005) se recoge el análisis de una muestra de agua tomada en primavera de 2002 que presenta una conductividad eléctrica de 13.664 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir, unas cinco veces inferior a la registrada en este trabajo diez años después, también en primavera. Aunque se trata de una única muestra de agua, parece que las concentraciones salinas van aumentando con el tiempo. Quizá, las pérdidas de agua de la salina por evapotranspiración hayan sido muy altas en estos diez últimos años, aumentando así la concentración de las sales.

Estación	Toma de muestra	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Na	Mg	Ca	K	pH	CE
Otoño 2011	29.XI.2011	6.174	3.330	126	73	3.860	494	438	106	7,28	22.560
Invierno 2012	21.II.2012	20.100	5.340	55	0	12.150	1.500	1.000	317	8,09	64.600
Primavera 2012	15.V.2012	24.000	3.180	90	0	12.578	1.700	550	574	8,18	72.650
Verano 2012	7.VIII.2012	23.100	3.160	92	0	12.356	1.560	550	600	8,35	75.000
Otoño 2012	30.X.2012	22.500	3.000	100	0	12.763	1.700	500	579	8,23	75.050

Tabla 1. Resultados de los análisis químicos (concentraciones en mg/L; CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$).

SALINAS DE LA MATA Y TORREVIEJA

Las Salinas de La Mata y de Torrevieja se sitúan al sur de la provincia de Alicante. Están comunicadas con el mar a través de canales por los cuales entra el agua marina por gravedad ya que se encuentran por debajo del nivel del mar. Las dos lagunas están separadas entre sí por una pequeña elevación correspondiente al anticlinal de El Chaparral. Se encuentran unidas artificialmente a través de un canal, conformando una unidad de explotación salinera, en la que la Salina de La Mata (700 ha) actúa como depósito calentador, mientras que en la de Torrevieja (1400 ha) se produce la precipitación y, por tanto, la cosecha de sal (DURÁN, et al., 2005) (Figura 3). Esta segunda se encuentra compartimentada en varias zonas, de manera que la explotación de sal se realiza en uno de los cuerpos de agua. Para evitar la entrada de agua de escorrentía con menor salinidad, se ha construido un canal perimetral alrededor de esta laguna (DIPUTACIÓN DE ALICANTE, 2007).



Figura 3. Parque Natural de las Salinas de La Mata-Torrevieja.

Ambas lagunas se emplazan sobre materiales cuaternarios recientes, constituidos por un conjunto de arcillas negras consideradas como el relleno sedimentario de las propias lagunas. Hacia la costa se produce un cambio lateral de facies a sedimentos arenosos, propios de playas y dunas. Hacia el sector occidental, cambian lateralmente a limos rojos depositados en las partes distales de los abanicos aluviales procedentes de los relieves circundantes (IGME, 1977). Bajo estos depósitos, aparecen otros limos rojos con intercalaciones de limos negros que pasan lateralmente hacia la costa a calcarenitas y calizas oolíticas del Tirreniense (IGME, 1977), asociadas a cordones litorales que cerraban la antigua albufera y cuyos resaltes morfológicos serían, en parte, los responsables de la formación de estas lagunas (DURÁN, et al., 2005). Estos materiales cuaternarios se apoyan sobre un conjunto plioceno de conglomerados y arenas, calcarenitas y margas, de techo a muro, y estos a su vez sobre calcarenitas y margas marinas del Mioceno Superior (Figura 4).

Los aportes hídricos tienen diferentes orígenes (DURÁN, et al., 2005). Parte proceden directamente del mar; otros provienen directamente de la conducción de salmueras que conectan estas salinas con el diapiro del Cabezo de la Sal, situado en la localidad de Pinoso; la Salina de Torrevieja se alimenta principalmente de la salmuera procedente de este diapiro.

Existe también una alimentación subterránea procedente del acuífero de Santa Pola que rodea las lagunas. Por necesidades de la explotación salinera, no existe actualmente, sobre todo en el caso de la Salina de Torrevieja, alimentación por escorrentía superficial. La recarga del acuífero principal (arenas y conglomerados del techo del Plioceno), se realiza por la infiltración directa de la lluvia y, lateralmente, mediante las conexiones hidráulicas existentes con los acuíferos del Mioceno. La salida de agua subterránea se produce mediante bombeos, que llegan a provocar una explotación excesiva del acuífero (IGME, 1985b).

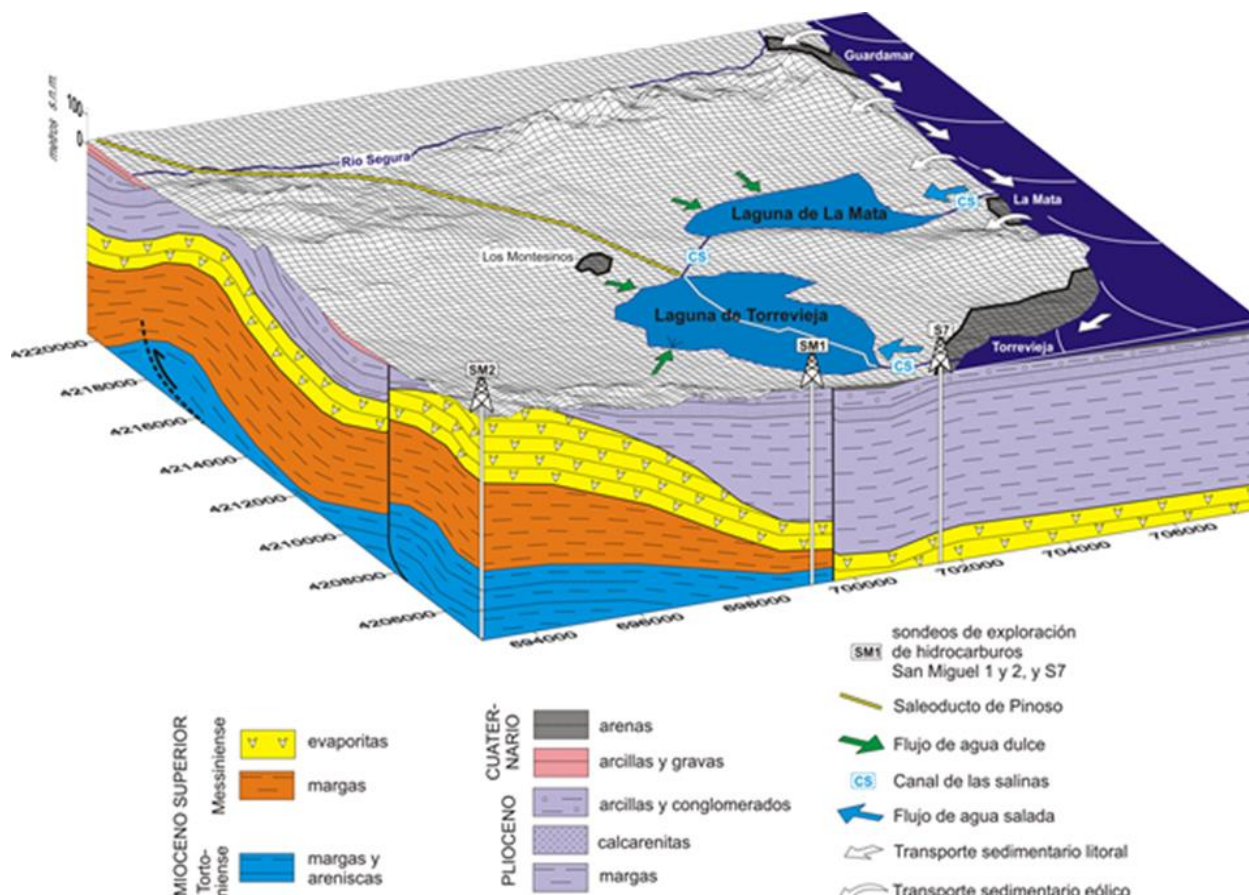


Figura 4. Modelo geológico simplificado de las Salinas de La Mata-Torrevieja.

Salina de La Mata

Se han tomado cinco muestras de agua desde otoño de 2011 hasta otoño de 2012, una por cada estación del año (Tabla 2). Todas las muestras de agua son cloruradas sódicas, debido a la entrada directa del agua marina mediante canales. Las concentraciones salinas de la Salina de La Mata están relacionadas con la entrada directa del agua de mar mediante canales. En DURÁN et al. (2005) se recoge el análisis de una muestra de agua tomada en primavera de 2002 que presenta una conductividad eléctrica de 169.634 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir, una vez y media inferior a la registrada en este estudio diez años después, también en primavera.

Estación	Toma de muestra	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Na	Mg	Ca	K	pH	CE
Otoño 2011	29.XI.2011	79.080	11.498	10	15	45.122	6.428	1.248	2.224	8,19	236.600
Invierno 2012	22.II.2011	82.000	12.500	4	0	49.752	5.500	1.100	2.168	8,09	237.200
Primavera 2012	15.V.2012	93.000	10.400	70	0	54.970	6.500	1.240	290	8,1	269.400
Verano 2012	8.VIII.2012	43.000	5.220	110	0	24.392	3.200	720	1.238	8,15	130.000
Otoño 2012	30.X.2012	83.000	11.000	100	0	48.838	5.900	1.100	2.436	8,14	250.800

Tabla 2. Resultados de los análisis químicos (concentraciones en mg/L; CE en $\mu\text{S/cm}$).

Salina de Torrevieja

Se han tomado cuatro muestras de agua desde invierno de 2012 hasta otoño de 2012, una por cada estación del año (Tabla 3). Todas las muestras de agua son cloruradas sódicas. Se trata de las salinas cuyas aguas presentan la conductividad eléctrica más elevada de todas las que existen en la provincia de Alicante (entre 318.600 y 587.200 $\mu\text{S/cm}$). En DURÁN et al. (2005) se recoge el análisis de una muestra de agua tomada en primavera de 2002 que presenta una conductividad eléctrica de 465.867 $\mu\text{S/cm}$, es decir, 1,08 veces inferior a la registrada en este trabajo diez años después, también en primavera.

Estación	Toma de muestra	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Na	Mg	Ca	K	pH	CE
Invierno 2012	22.II.2011	226.000	36.000	20	0	128.340	19.600	700	11.220	7,43	576.090
Primavera 2012	15.V.2012	199.800	23.400	70	0	110.555	17.600	620	7.930	7,48	504.495
Verano 2012	8.VIII.2012	135.000	11.900	90	0	78.840	7.300	1.170	4.155	8,09	318.600
Otoño 2012	30.X.2012	193.000	10.500	100	0	122.980	5.800	600	4.950	7,63	587.200

Tabla 3. Resultados de los análisis químicos (concentraciones en mg/L; CE en $\mu\text{S/cm}$).

CONCLUSIONES

Se han caracterizado las salinas litorales de Santa Pola, de La Mata y de Torrevieja, tanto desde el punto de vista geológico como hidrodinámico e hidroquímico. En ellas la influencia marina es fundamental para explicar la composición clorurada sódica de sus aguas, si bien la Salina de Torrevieja se alimenta principalmente de la salmuera procedente del diapiro de Pinoso. Debido al carácter comercial de las salinas, se puede afirmar que su funcionamiento hidrodinámico es prácticamente artificial, y la influencia de las aguas subterráneas se puede calificar de poco significativa. No existe una tendencia clara en la evolución hidroquímica de las aguas de las salinas en función de la estación del año estudiada, desde el otoño de 2011 hasta el otoño de 2012. Sin embargo, los análisis químicos que se han obtenido en las muestras de agua tomadas en la primavera de 2012, reflejan concentraciones salinas superiores a las registradas diez años antes, también en primavera: la Salina de Santa Pola tenía una conductividad eléctrica en primavera de 2002 unas cinco veces inferior a la registrada en este trabajo diez años después. Lo mismo se aprecia, aunque en menor proporción, con las Salinas de La Mata y Torrevieja. La Salina de Torrevieja es la que presenta la conductividad eléctrica más elevada de todas las que existen en la provincia de Alicante, probablemente debido a los aportes externos de aguas hipersalinas procedentes del diapiro de Pinoso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIPUTACIÓN DE ALICANTE (2007). *Mapa del Agua. Provincia de Alicante*. 2ª Edición. Memoria (78 pp) + mapa escala 1:150.000.

- DURÁN, J.J.; GARCÍA DE DOMINGO, A.; LÓPEZ-GETA, J.A.; ROBLEDO, P.A. y SORIA, J.M. (2005). *Humedales del Mediterráneo español: modelos geológicos e hidrogeológicos*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, N° 3. Madrid. 160 pp.
- IGME (1977). *Mapa Geológico a escala 1:50.000, n° 935 (Torrevieja)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 19 pp.
- IGME (1978). *Mapa Geológico a escala 1:50.000, n° 914 (Guardamar del Segura)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 18 pp.
- IGME (1985a). *Mapa hidrogeológico a escala 1:200.000, n° 72 (Elche)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 25 pp.
- IGME (1985b). *Mapa hidrogeológico a escala 1:200.000, n° 79 (Murcia)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 14 pp.
- RODRÍGUEZ ESTRELLA, T.; LÓPEZ LIMIA, B. y MORA CUENCA, V. (1992). *Existencia de un neokarst cuaternario en las proximidades del aeropuerto de Alicante*. V Simposio de Hidrogeología. Alicante. 207-229.