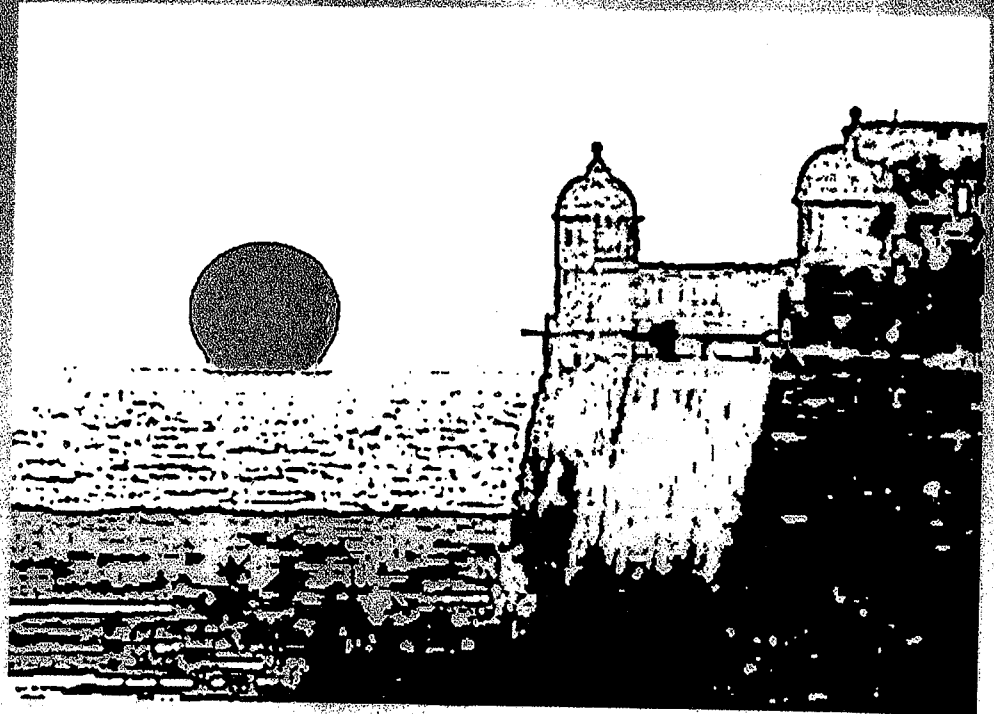


# El Agua en Andalucía Retos y avances en el inicio del milenio

TOMO I



MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD



Instituto Geológico  
y Minero de España

El Agua en Andalucía  
Retos y avances en el inicio del milenio  
J.A. López-Geta, G. Ramos González, R. Fernández Rubio,  
D. Lorca Fernández eds. - Madrid: Instituto Geológico y  
Minero de España, 2012.  
ISBN: 978-84-7840-863-4

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluido fotografías, grabación o por cualquier sistema de almacenar información sin el previo permiso escrito del autor y editores.

---

© INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

www.igme.es  
Nº de registro: 016-0  
ISBN: 978-84-7840-863-4  
Deposito legal: M 32317-2012  
Impreso en España

Es una satisfacción  
nueva monografía  
convocada en la

Hablar de a  
sudores de sus h  
lo bueno y para  
también absoluto  
progreso... El ag  
más imprescindible  
vida y la vida de

Cuando el  
poníamos toda  
trascendencia y  
ninguna Comu  
semejante y, co  
multidisciplinar  
resaltar, que un  
simple recopilación  
muchos que dec  
manera, a los re

Y esto en  
veces preñadas  
y que son recur  
uso racional.

Podríamos  
meditarlas, son  
para legar a los  
hídrica. Todo e  
vida y de insp  
necesaria; que  
solidaridad y d

Cuando r  
hídrico, y segu  
fuentes, hasta  
pendientes de

## ÍNDICE

	Pág.
CONFERENCIA INAUGURAL	1
USO DEL ESPACIO SUBTERRÁNEO Y PROTECCIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Gerardo Ramos González	3
<u>SESIÓN I.- AGUA Y ABASTECIMIENTO URBANO Y SANEAMIENTO</u>	25
Conferencia	
ASA-ANDALUCÍA COMO ASOCIACIÓN INTEGRADORA DE LOS SERVICIOS DEL CICLO URBANO DEL AGUA Jesús Maza Burgos	27
Ponencia	
EXPERIENCIAS EN LAS EMPRESAS GESTORAS DEL CICLO URBANO DEL AGUA EN LA APLICACIÓN DEL CANON DE VERTIDOS AUTONÓMICOS Federico Sánchez Aguilera	31
Ponencia	
REGLAMENTO ANDALUZ DEL SUMINISTRO DOMICILIARIO DE AGUA. PASADO, PRESENTE Y FUTURO José Vicente Colomina Berenguel	39
Ponencia	
CONTROL Y USO EFICIENTE DEL AGUA EN LAS REDES DE ABASTECIMIENTO Andrés García Hernández	59
Comunicaciones libres	
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN UN HUMEDAL PARA EL SECADO DE FANGOS DURANTE SU PUESTA EN MARCHA Carlos Aragón Cruz, Isabel Martín García, Cristina Ávila Martín, Joan Ferrer Serrano, Juan José Salas Rodríguez	67

ASPECTOS HIDRÁULICOS DEL AGUA DE CONSUMO EN HUELVA, ESPAÑA  
Juan Carlos Cerón, María Mercedes López

EFFECTO DE LA PROLONGACIÓN DE LA PERMANENCIA DE DEPURACIÓN PROLONGADA  
Ramón Bouza-De, Rodríguez-García

EL ACUÍFERO DE HUELVA: UN RECURSO HISTÓRICO A EL  
Antonio Jesús García

APLICACIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO URBANO  
Manuel Hódar Cordero, Espinar, Gema Al

EXPLORACIÓN Y APLICACIÓN DE SISTEMAS SUPERFICIALES DE ABASTECIMIENTO EN QUIEBRAJANO  
Francisco Lechuga, López y Martín C

PLAN DE CONTRA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN GRANADA  
Juan Antonio Lucena, Alcaín, Jesús Bea y José Luis García

UNA VISIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DE ABASTECIMIENTO URBANO SUBTERRÁNEO EN HUELVA  
Crisanto Martín López, Quesada, Juan Aragón, Juan de Dios Ollid

EFFECTO DE LA PROLONGACIÓN DE LA PERMANENCIA DE DEPURACIÓN EN EL AGUA DE FÓSFORO EN HUELVA  
Álvaro Real, Ana Aragón

Pág. 1	<p><b>ASPECTOS HIDROGEOQUÍMICOS DE ELEMENTOS TRAZA EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LA CIUDAD DE HUELVA (HUELVA, ESPAÑA)</b>  Juan Carlos Cerón, Ana María Sánchez de la Campa, Jesús de la Rosa, María Mercedes Baltazar Rojas y Juan Pedro Bolívar</p>	79
3  25	<p><b>EFFECTO DE LA PRESENCIA DE HHCB (Galaxolide ®) EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE AIREACIÓN PROLONGADA</b>  Ramón Bouza-Deaño, Manuel López-Sepúlveda y Mauricio Javier Rodríguez-García</p>	91
27	<p><b>EL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE SAN CRISTÓBAL. ABASTECIMIENTO HISTÓRICO A EL PUERTO DE SANTA MARÍA Y CÁDIZ</b>  Antonio Jesús García Guerrero y Alejandro Carreras Costa</p>	99
31	<p><b>APLICACIÓN DE MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO MUNICIPAL DE AGUAS</b>  Manuel Hódar Correa, José Luís García García, Juan Antonio Luque Espinar, Gema Alcaín Martínez y Francisco Serrano Pertíñez</p>	111
39	<p><b>EXPLOTACIÓN CONJUNTA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES EN LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DEL VÍBORAS-QUIEBRAJANO</b>  Francisco Lechuga Arias, Juan de Dios Olid Melero, Javier Ballesteros López y Martín Ochoa Estévez</p>	123
59	<p><b>PLAN DE CONTROL DE CAPTACIONES DE LA PROVINCIA DE GRANADA</b>  Juan Antonio Luque, Juan Carlos Rubio, Crisanto Martín, Gema Alcaín, Jesús Beas, Manuel Hódar, Gerardo Ruiz, M<sup>a</sup> del Mar Villegas y José Luis García</p>	135
67	<p><b>UNA VISIÓN ACTUALIZADA DE LA SITUACIÓN DE LOS ABASTECIMIENTOS URBANOS MEDIANTE EL USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA PROVINCIA DE JAÉN</b>  Crisanto Martín Montañés, Juan Carlos Rubio Campos, Luís Hueso Quesada, Juan Antonio Luque Espinar, Miguel Rosales Peinado y Juan de Dios Olid Melero</p>	147
	<p><b>EFFECTO DE LA AIREACIÓN INTERMITENTE SOBRE LA ELIMINACIÓN DE FÓSFORO EN UN REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL (SBR)</b>  Álvaro Real, Ana María García-Martínez, Juan Ramón Pidre y Carlos Aragón</p>	157

INFLUENCIA DEL RÉGIMEN DE ALIMENTACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE FILTROS INTERMITENTES DE ARENA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Juan José Salas Rodríguez, Ramón Bouza Deaño y Álvaro Real Jiménez	169	Montoya Mayor y AGUA Y PRODUCC PERSPECTIVAS Rodrigo Morillo-V Omaña
<u>SESIÓN II.- AGUA Y PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS</u>	177	<u>SESIÓN III.- AGUA</u>
Conferencia		Conferencia
AGUA Y PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Andrés del Campo García	179	LA ENERGÍA GEO INAGOTABLE BAJ Carlos López Jime
Comunicaciones libres		Comunicaciones l
PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN ESPAÑA Salvador Cárdenas y Ezequiel Revilla	203	PROYECTO RÍO T Sergio Arenas Co Segovia, Ignacio V
REUTILIZACIÓN DE AGUAS INDUSTRIALES DEPURADAS Y REGENARADAS PROCEDENTES DEL PROCESADO DE LA ACEITUNA DE MESA PARA USO AGRÍCOLA EN EL RIEGO DEL OLIVAR Pedro Ismael Cruces Camacho	209	SISTEMA DE TRA MINERO DE COBI Juan Carlos Baqu Daniel Montueng
EL CULTIVO DEL GOLF. LA COSECHA DEL OCIO Marco Martín Cabrero y Ángel Serrano García	221	METABOLISMO I CONTEXTUALIZA COBRE "LAS CRU María Jesús Beltr
PROBLEMÁTICA DE LOS LODOS DE DEPURADORAS Y RESIDUOS DE CULTIVOS ENERGÉTICOS. ENSAYOS DE CODIGESTIÓN DE LODOS CON PELLETS DE COSETAS DE REMOLACHAS PRETRATADAS Rocío Montañés, Rosario Solera y Montserrat Pérez	227	BIOMONITORIZA CON CORBICULA Estefanía Bonnai Casillas, José Mig
EFFECTOS DE LA MODERNIZACIÓN DE REGADÍOS EN EL USO DEL AGUA Y DE LA ENERGÍA EN COMUNIDADES DE REGANTES DE ANDALUCÍA I. Fernández, P. Montesinos, J.A. Rodríguez Díaz, E. Camacho, J. Berbel	235	ASPECTOS HIDR (HUELVA, ESPAÑA Juan Carlos Ceró Teresa Valente y
IMPACTO EN LA DEMANDA DE AGUA COMO CONSECUENCIA DE LA VOLATILIDAD DE LOS MERCADOS AGRARIOS Carlos Gutiérrez-Martín y Julio Berbel Vecino	247	ALGUNOS ASPEC TRATAMIENTO I LA MORA (HUEL Juan Carlos Ceró
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, CLASIFICACIÓN Y VALORACIÓN NUTRITIVA DE LAS AGUAS MINERALES NATURALES ENVASADAS DE ANDALUCÍA Francisco Gutiérrez Reguera, Inmaculada Seijo Delgado, Rocío	259	

	Montoya Mayor y Miguel Ternero Rodríguez	
169	AGUA Y PRODUCCIÓN DE AZÚCAR EN ESPAÑA. SITUACIÓN Y PERSPECTIVAS Rodrigo Morillo-Velarde, José Antonio Centeno y José Manuel Omaña	273
177	<u>SESIÓN III.- AGUA, ENERGÍA Y MINAS</u>	283
	Conferencia	
179	LA ENERGÍA GEOTÉRMICA: UN RECURSO ENERGÉTICO INAGOTABLE BAJO NUESTROS PIES Carlos López Jimeno	285
203	Comunicaciones libres	
	PROYECTO RÍO TINTO: GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA Sergio Arenas Corujo, Susana de Elío de Bengy, Daniel Fernández Segovia, Ignacio Vélez Pérez	315
209	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ASOCIADO AL DRENAJE MINERO DE COBRE LAS CRUCES Juan Carlos Baquero Úbeda, Juan Manuel Marti, Jesús Jimenez, Daniel Montuenga y Carlos Jesús Vázquez	327
221	METABOLISMO INTEGRADO DEL AGUA. UN ANÁLISIS CONTEXTUALIZADO DE LOS FLUJOS HÍDRICOS DE LA MINA DE COBRE "LAS CRUCES" (SEVILLA) María Jesús Beltrán y Esther Velázquez	337
227	BIOMONITORIZACIÓN DE METALES DE PROCEDENCIA MINERA CON CORBICULA FLUMINEA Estefanía Bonnail Miguel, Aguasanta M. Sarmiento, T. Ángel del Valls Casillas, José Miguel Nieto Liñán	347
235	ASPECTOS HIDROQUÍMICOS DE LAS AGUAS DEL RÍO COBICA (HUELVA, ESPAÑA) Juan Carlos Cerón, José Antonio Grande, María Luisa de la Torre, Teresa Valente y María Santisteban	357
247	ALGUNOS ASPECTOS HIDROQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL TRATAMIENTO PASIVO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA, CUEVA DE LA MORA (HUELVA, ESPAÑA) Juan Carlos Cerón, Rafael Pérez-López, Julio Castillo, Manuel Olías y	369

José Miguel Nieto			MANANTIA PERSPECTIV
EL AGUA EN EL SECTOR ELÉCTRICO Manuel Doblado Arrayás y Juan José Pacios Fernández	381		Roberto Por Francisco Ja
CONTEXTO GEOLÓGICO Y ESPELEOLÓGICO DE LA CUEVA NAVARRO IV (CANTIL DE LA ARAÑA, MÁLAGA) Rafael Fernández Rubio, David Lorca Fernández, Ángel T. Cruz Rueda y Ana M. Márquez Alcántara	393		LA PROTEC LA EXTRAC Gerardo Ra
CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO Y KARSTOLÓGICO DE LA CUEVA NAVARRO IV (CANTIL DE LA ARAÑA, MÁLAGA) Rafael Fernández Rubio, David Lorca Fernández, Ángel T. Cruz Rueda y Ana M. Márquez Alcántara	405		LOS RECUR Sara Robles
SOBRE LA HIDROQUÍMICA DE CAUCES AFECTADOS POR DRENAJE ÁCIDO DE MINA: LA CUENCA DEL RÍO OLIVARGAS (HUELVA, ESPAÑA) Laura Galván, Juan Carlos Cerón y Manuel Olías	417		VARIACIÓN GRANDE A T (JAÉN) Diego Rojas, Kohfahl, Jav
ESTIMACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE POR DRENAJE ÁCIDO DE MINAS EN LA CUENCA DEL RÍO ODIEL Laura Galván, Manuel Olías, Juan Carlos Cerón y Rubén Fernández de Villarán	427		ESTUDIO PR DE LA FAJA María Santis Teresa Vale
CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE UN EFLUENTE MINERO EN LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA José Antonio Grande, María Luisa de la Torre, Teresa Valente, Juan Carlos Cerón, María Santisteban, José Paulino Fernández, Eva Pérez	439		CONTRASTE ENTRE LOS María Luisa Teresa Vale
VERTIDOS A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PROCEDENTES DE CENTRALES TERMOSOLARES Julio López-Gutiérrez, Miguel Mejías y Samuel Moraleda	449		ESTUDIO DE PROFUNDID DRENAJE ÁC Teresa Vale Paulino Ferr
SISTEMA DE TRATAMIENTO PASIVO PARA DRENAJE ACIDO DE MINA CON ALTAS CONCENTRACIONES METÁLICAS EN LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA Francisco Macías Suárez, Manuel Antonio Caraballo Monge, José Miguel Nieto Liñán y Carlos Ayora Ibáñez	465		SESIÓN IV.- Conferencia
AVES ACUÁTICAS Y HUMEDALES ARTIFICIALES CREADOS EN HUECOS DE EXPLOTACIONES MINERAS Pilar Orche Amaré y Fco. Javier González Márquez	477		CARACTERI ANDALUCES HUMEDALE CAÓTICO SU Bartolomé A
METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE UN	491		Conferencia

381	MANANTIAL MINEROMEDICINAL EN ZONA COSTERA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA FUENTE SANTA Roberto Poncela Poncela, Elzbieta Skupien Balon, Francisco Javier Martín Castro, Mercedes Rodríguez López	
393	LA PROTECCIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO FRENTE A LA EXTRACCIÓN DE GAS NO CONVENCIONAL Gerardo Ramos González	501
405	LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS EN ANDALUCÍA Sara Robles Fernández y José Sánchez Guzmán	513
417	VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL RÍO GRANDE A TRAVÉS DEL DISTRITO MINERO DE LA CAROLINA (JAÉN) Diego Rojas, María del Carmen Hidalgo, José Benavente, Claus Kohfahl, Javier Rey y Julián Martínez	525
427	ESTUDIO PRELIMINAR DE LA AFECCIÓN POR AMD EN EMBALSES DE LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA María Santisteban, Jose Antonio Grande, Maria Luisa de la Torre, Teresa Valente, José Paulino Fernández, Juan Carlos Cerón	535
439	CONTRASTE ESTADÍSTICO DE PARÁMETROS CONTAMINANTES ENTRE LOS RIOS TINTO Y ODIEL María Luisa de la Torre, José Antonio Grande, María Santisteban, Teresa Valente, Juan Carlos Cerón	547
449	ESTUDIO DE LAS VARIACIONES HIDROQUÍMICAS EN PROFUNDIDAD EN UN EMBALSE AFECTADO POR PROCESOS DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA Teresa Valente, Jose Antonio Grande, Maria Luisa de la Torre, José Paulino Fernández, Juan Carlos Cerón, Maria Santisteban	557
465	<u>SESIÓN IV.- AGUA, MEDIOAMBIENTE Y PATRIMONIO</u> Conferencia	567
477	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGELÓGICA DE HUMEDALES ANDALUCES PARA SU ADECUADA GESTIÓN Y PROTECCIÓN. LOS HUMEDALES KÁRSTICOS EVAPORÍTICOS ASOCIADOS AL COMPLEJO CAÓTICO SUBBÉTICO Bartolomé Andreo Navarro	569
491	Conferencia	



<p>LA CALIDAD COMO FACTOR EN LA GESTIÓN DEL PATRIMONIO DEL  <b>AGUA</b>          Ángel Vadillo Pérez</p>	583
<p>Comunicaciones libres</p>	
<p>APLICACIÓN DE LAS TIG AL ESTUDIO DE DON JUAN GAVALA SOBRE          EL PROCESO DE COLMATACIÓN DE UN ESPACIO HISTÓRICO: EL  <b>LACUS LIGUSTINUS</b>          Ángel David Bastos Zarandieta</p>	595
<p>EL AGUA EN EL PATRIMONIO HISTÓRICO: MOLINOS HIDRÁULICOS          EN EL CURSO BAJO DEL RÍO GUADALETE EN LA BAJA EDAD MEDIA          (siglos XIII-XVI)          Jesús Bolaños Rodríguez</p>	605
<p>10 PROPUESTAS PARA EL ESTUARIO DEL GUADALQUIVIR          Juan José Carmona Moreno, Eva Hernández Herrero y Felipe          Fuentelsaz Santos</p>	617
<p>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN "LA PUEBLA DE LOS INFANTES Y          SUS FUENTES": VALOR HISTÓRICO Y ANTROPOLÓGICO          Francisco Carmona Montoro, Concepción Morente Díaz y José          Vargas Fresno</p>	627
<p>EL RECURSO DE LA ETNOGRAFÍA EN LA PUESTA EN VALOR DE          MANANTIALES ANDALUCES: EL CASO DE LAS SIERRAS DE          CAZORLA Y SEGURA CON EL LIBRO <i>LA SIERRA DEL AGUA</i>          Antonio Castillo y David Oya</p>	639
<p>PATRIMONIO HIDRÁULICO ROMANO DEL <i>CONVENTUS</i>  <i>HISPALENSIS</i>. PROPUESTA DE CATALOGACIÓN          María del Mar Castro García</p>	647
<p>PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DEL          IMPACTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES SOBRE LOS ACUÍFEROS          Y LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS          Juan José Durán Valsero y Alfredo García de Domingo</p>	657
<p>MANANTIALES Y FUENTES DE LA PROVINCIA DE CÁDIZ EN EL          CATÁLOGO <i>WWW.CONOCETUSFUENTES.COM</i>          Virginia María Robles-Arenas, Luís Sánchez-Díaz, José María          Fernández-Palacios y Antonio Castillo</p>	667

583	<p>APLICACIÓN DE BIOESTIMULANTES ORGÁNICOS OBTENIDOS POR PROCESOS ENZIMÁTICOS COMO TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON <math>\gamma</math>-HEXACLOROCICLOHEXANO: EFECTOS BIOQUÍMICOS</p> <p>Ana María García-Martínez, Ana Isabel Díaz, Bruno Rodríguez-Morgado, Manuel Tejada, Juan Parrado</p>	677
595	<p>EVALUACIÓN Y OPERACIÓN DEL RIEGO DE LAS ZONAS AJARDINADAS DEL PARQUE CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO RABANALES 21, CÓRDOBA</p> <p>María Garrido Lázaro, Fernando de la Casa Reina y José Roldán Cañas</p>	689
605	<p>CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE LA ALFAGUARA (GRANADA) A PARTIR DE SUS RESPUESTAS NATURALES</p> <p>Pablo Jiménez Gavilán, Bartolomé Andreo y Francisco Carrasco</p>	701
617	<p>CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y PROPUESTA DE PROTECCIÓN DE MANANTIALES Y ÁREAS GANADORAS EN CAUCES (LIH) EN LA DDHH DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS ANDALUZAS</p>	713
627	<p>Jorge Jiménez-Sánchez, Juan Carlos Rubio-Campos, Luis Miguel Hueso-Quesada, África De la Hera-Portillo, José M<sup>a</sup> Fernández-Palacios Carmona y Mercedes García-Padilla</p>	
639	<p>CATALOGACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA LA CONSERVACIÓN DE MANANTIALES Y ÁREAS GANADORAS DE CAUCES (LIH) EN ANDALUCÍA (1<sup>a</sup> FASE)</p>	725
647	<p>Jorge Jiménez-Sánchez, Juan Carlos Rubio-Campos, Crisanto Martín-Montañés, Luis Miguel Hueso-Quesada, María Estirado-Oliet, J.M. Fernández-Palacios Carmona y María Isabel Cañizares-García</p>	
657	<p>APROXIMACIÓN A LA HIDROGEOLOGÍA DEL PARQUE NATURAL SIERRA DE ANDÚJAR (JAÉN)</p> <p>Crisanto Martín Montañés, Juan Carlos Rubio Campos, Ricardo Salas Martín, Juan Antonio López Geta, José María Fernández-Palacios Carmona y Mercedes García Padilla</p>	737
667	<p>IMPORTANCIA DE LA CUARCITA ARMORICANA COMO ACUÍFERO EN EL PARQUE NATURAL DE DESPEÑAPERROS</p> <p>Crisanto Martín Montañés, Juan Carlos Rubio Campos, Ricardo Salas Martín, Juan Antonio López Geta, José María Fernández-Palacios Carmona y Juan José Gay Torres</p>	749

LA INTERVENCIÓN ROMANA SOBRE LOS MEDIOS RIBEREÑOS. APROXIMACIÓN AL ESTERO DE HASTA REGIA (JEREZ DE LA FRONTERA, CÁDIZ) Daniel J. Martín-Arroyo Sánchez	761	María Fariña Ma EL CURSO BAJO NUEVOS ENFOQ José María Sánch Emiliano Mellad Abrio
EVALUACIÓN DE LA RECARGA EN MÁRMOLES DE LA SIERRA DE ARACENA (HUELVA): COMPARACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS Sergio Martos-Rosillo, Miguel Rodríguez-Rodríguez, Francisco Moral Martos	773	ESTUDIO DE LA SUBTERRÁNEAS MARCO DE LA D Begoña Urresti, I
LA DIVULGACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. UN EJEMPLO APLICABLE A ANDALUCÍA Rosa María Mateos, Inmaculada García-Moreno, Concepción González-Casasnovas y Pilar Mateos	785	SESIÓN V.- PLAN Conferencia
MEDIOAMBIENTE, PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA Y CONFLICTOS DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO CASTRIL (GRANADA) Francisco Moral Martos	795	ANÁLISIS DE LA LA POLÍTICA DE SOSTENIBILIDAD Agustín Argüelle Comunicaciones
ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS A LA CONTAMINACIÓN POR APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA. ANÁLISIS COMPARATIVO EN UN MODELO EXPERIMENTAL Luis Moreno, M <sup>a</sup> Emilia Jiménez, Almudena de la Losa y Silvino Castaño	807	LOS BANCOS PÚBLICITARIAS Y LIMITACIONES DE AGUA María Jesús Beltr
ELEMENTOS TRAZA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS TINTO Y ODIEL NO AFECTADAS POR DRENAJE ÁCIDO DE MINAS Manuel Olías, Aguasanta Miguel Sarmiento, Raquel Vega, Carlos Ruiz- Cánovas, Laura Galván y José Miguel Nieto	819	ESTADO ACTUAL BORNOS (CÁDIZ) Alejandro Carrer Ignacio Rosso Pé
HOMBRE Y AGUA EN LAS MARISMAS DE DOÑANA: USOS Y TRADICIONES. Antonio Rodríguez-Ramírez y Carmen Contreras Romero	829	USO ILEGAL DEL SUELO José Carmor Valentín Santo
EL PROYECTO <i>CONOCE TUS FUENTES</i> : CUATRO AÑOS DANDO A CONOCER LOS MANANTIALES Y FUENTES DE ANDALUCÍA Luís Sánchez-Díaz, Virginia María Robles-Arenas, Antonio Castillo y José María Fernández-Palacios	839	ESTADO ACTUAL PUERTO SERRAN Alejandro Carrer Antonio Romano
PLAN DE RESTAURACIÓN HIDROLÓGICA Y MEJORA AMBIENTAL DEL ARROYO SALADO DE ESPERA (CÁDIZ) José María Sánchez García, Francisco Javier García-Hernanz, José	849	

	María Fariña Mara, Manuel Curros Criado, Emiliano Mellado Álvarez	
761	EL CURSO BAJO DEL RÍO GUADALETE: DIAGNÓSTICO ACTUAL Y NUEVOS ENFOQUES PARA SU RESTAURACIÓN José María Sánchez García, Francisco Javier García-Hernanz, Emiliano Mellado Álvarez, Luis Linares García) y Antonio Figueroa Abrio	855
773	ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL RÍO GUADALHORCE EN EL MARCO DE LA DIRECTIVA 2006/118/CE Begoña Urresti, Iñaki Vadillo, Ignacio Morell y Francisco Carrasco	863
785		
795	<u>SESIÓN V.- PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA</u> Conferencia	875
807	ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE UNA CUENCA DESDE LA POLÍTICA DE OFERTA HASTA EL LÍMITE DE LA SOSTENIBILIDAD. CASO DEL GUADALQUIVIR Agustín Argüelles	877
	Comunicaciones libres	
819	LOS BANCOS PÚBLICOS DEL AGUA EN ANDALUCÍA. VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL USO DE LOS MERCADOS PARA LA ASIGNACIÓN DE AGUA María Jesús Beltrán	889
829	ESTADO ACTUAL Y ALTERNATIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO A BORNOS (CÁDIZ) Alejandro Carreras Costa, Antonio Jesús García Guerrero y José Ignacio Rosso Pérez	901
839	USO ILEGAL DEL AGUA: DOÑANA COMO CASO DE ESTUDIO Juan José Carmona Moreno, Eva Hernández Herrero y Felipe Fuentelsaz Santos	911
849	ESTADO ACTUAL Y ALTERNATIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO A PUERTO SERRANO (CÁDIZ) Alejandro Carreras Costa, Antonio Jesús García Guerrero y María Dolores Romano Camargo	923

LOS PROGRAMAS DE MEDIDAS EN LOS NUEVOS PLANES HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA Loreto Fernández Ruiz	933
ANÁLISIS DE LAS PERCEPCIONES DE AGRICULTORES Y REGANTES SOBRE MERCADOS DE AGUA EN LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR Giacomo Giannoccaro, Verónica Pedraza y Julio Berbel	945
SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN CONJUNTA DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS EN LA LOMA DE ÚBEDA Juan de Dios Gómez Gómez y Antonio González Ramón	957
APROXIMACIÓN A LA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA RELACIÓN HUMEDAL-ACUÍFERO EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR Africa de la Hera Portillo y José Manuel Murillo Díaz	971
APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA DIRECTIVA DE PROTECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS Y DE PUNTOS DE PARTIDA PARA LA INVERSIÓN DE TENDENCIAS DEL GUADALQUIVIR Jorge Jiménez-Sánchez, Juan Antonio Luque-Espinar y Juan Grima- Olmedo	983
LA GESTIÓN DEL AGUA EN ANDALUCÍA, UN RETO Y UNA OPORTUNIDAD PARA EL DESARROLLO Francisco J. Lechuga Arias, Juan de Dios Olid Melero, Javier Ballesteros López	995
LA SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA EN ANDALUCÍA TRAS LA DIRECTIVA MARCO Juan López Martos, M <sup>a</sup> Teresa Sánchez Martínez, Noelina Rodríguez Ferrero y Manuel Salas Velasco	1005
ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO GUADALQUIVIR COMO BASE PARA LA APLICACIÓN DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA Juan Antonio Luque, Antonio González, Juan Carlos Rubio, Víctor Cifuentes, Agustín Argüelles, Jesús Yesares, Gerardo Ruiz, Crisanto Martín, Sergio Martos, Miguel Martín-Machuca	1029
PROPUESTA DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE LOS ABASTECIMIENTOS DE LA PROVINCIA DE JAÉN Juan Antonio Luque, Crisanto Martín, Juan Carlos Rubio, Juan José	1037

Gay y Miguel

PROTECCIÓN  
DEMARCACIÓN  
Juna Antonio  
Rubio y Fran

PROPUESTA  
ABASTECIMI  
Juan Antonio  
y Jesús Beas

CONTROL DE  
INSTALACION  
Crisanto Mart  
Rubio Campo

PROCESO DE  
IDENTIFICAC  
ACTUACIONE  
DEMARCACIÓ  
Raquel Morale  
Ruiz

ORIGEN Y EV/  
"BALSA DEL S  
María M. Orte

ACTUALIZACI  
Pilar Paneque

ANÁLISIS DE I  
DEL CONSUMO  
Verónica Pedr

EL AGUA SUBT  
APLICACIÓN A  
GUADALQUIVI  
José María Per  
Hernández

REFLEXIONES  
DEPÓSITOS AN  
Luis Rico Bens

	Gay y Miguel Rosales	
933	PROTECCIÓN DE LAS AGUAS DE ABASTECIMIENTO URBANO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR Juan Antonio Luque, Carlos Martínez, Alberto Jiménez, Juan Carlos Rubio y Francisco Carrasco	1047
945	PROPUESTA DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE LOS ABASTECIMIENTOS DE LA PROVINCIA DE GRANADA Juan Antonio Luque, Juan Carlos Rubio, Tomás Peinado, Gema Alcaín y Jesús Beas	1059
957	CONTROL DE EXTRACCIONES Y OPTIMIZACIÓN DE INSTALACIONES EN LOS MUNICIPIOS DE LA PROVINCIA DE JAÉN Crisanto Martín Montañés, Juan Antonio Luque Espinar, Juan Carlos Rubio Campos, Juan José Gay Torres y Juan de Dios Olid Melero	1071
971	PROCESO DE SELECCIÓN DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA E IDENTIFICACIÓN DE ACTUACIONES DE RECARGA: EL CATÁLOGO DE ACTUACIONES DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR Raquel Morales García, Juan Antonio López Geta y Loreto Fernández Ruiz	1081
983	ORIGEN Y EVACUACIÓN DE LAS AGUAS ACUMULADAS EN LA "BALSA DEL SAPO", T.M. EL EJIDO (ALMERÍA) María M. Ortega Carreras, Fernando Rivas Martínez	1093
995	ACTUALIZACIÓN DEL DEBATE DE LAS SEQUÍAS EN ANDALUCÍA Pilar Paneque Salgado	1103
1005	ANÁLISIS DE LOS FACTORES CONDICIONANTES DE LA EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR Verónica Pedraza, Giacomo Giannoccaro y Julio Berbel	1117
1029	EL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA GESTIÓN DE LAS SEQUÍAS. APLICACIÓN A LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR José María Pernía Llera, Silvino Castaño Castaño, José María Ruiz Hernández	1129
1037	REFLEXIONES SOBRE EL DISEÑO DE TANQUES DE TORMENTA Y DEPÓSITOS ANTI-DSU (DESCARGA DE SISTEMAS UNITARIOS) Luis Rico Bensusan	1145

PROBLEMAS HIDROGEOLÓGICOS EN EMBALSES. CASOS DE ESTUDIO EN ANDALUCÍA Verónica Ruiz-Ortiz, Santiago García-López, Manuel Olías, José Luis Molina	1157	Igúzquiza, Ma Chica-Rivas
ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD Y EL ANÁLISIS DE PRESIONES EN LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA CUENCA DEL RÍO GUADALHORCE (MÁLAGA, ESPAÑA) Damián Sánchez-García y Francisco Carrasco	1169	VARIACIONES AGUAS SUBTE FRONTERA (U Carmen Corad Diana Álvarez-
EVOLUCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALETE Y BARBATE EN EL MARCO DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA José Luis Torreblanca Sojo, Damián Sánchez García, Isaac Pérez Ramos, Manuel López Rodríguez e Ildefonso Ortega Calderón	1181	ANÁLISIS MOF TRIDIMENSIOI Juan José Durá Lopera, Jesús C Juan Antonio L Carolina Guard
<u>SESIÓN VI.- AGUA, INVESTIGACIÓN Y DIFUSIÓN</u>	1195	MÉTODOS PAR PARCELA Y CU. A.J. Espejo-Pérr K-Vanderlinde
Conferencia		INVENTARIO D LA MASA DE AC (GRANADA) Begoña García I Isanta Amela, Ig Antonio Jesús G
PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES EN HIDROGEOLOGÍA Y AGUAS SUBTERRÁNEAS DURANTE LOS PRÓXIMOS AÑOS José Manuel Murillo Díaz	1197	GEOMETRÍA Y I LA MASA DE AG (GRANADA) Begoña García P Miverio Casas R Beatriz López R
Conferencia		CONTENIDO ISO LA CUENCA BAJ, Santiago García- Francisco Montero,
AGUA, EDUCACIÓN Y SOCIEDAD Agustín Cuello Gijón	1233	COMPARACIÓN I DE CARGA EN EL DE LA SIERRA DI Carolina Guardío Galdán, Cristina
Comunicaciones libres		
REGULACIÓN DEL ACUIFERO DE ARROYOMOLINOS PARA EL ABASTECIMIENTO A ZAHARA DE LA SIERRA, EL GASTOR Y PUERTO SERRANO (CÁDIZ) Alejandro Carreras Costa y Antonio Jesús García Guerrero	1247	
ANÁLISIS ESPACIAL DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN POR NITRATOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO DE LA VEGA DE GRANADA Y SUS IMPLICACIONES SANITARIAS Mario Chica-Olmo, Juan Antonio Luque-Espinar, Eulogio Pardo-	1259	

- 1157 Igúzquiza, M<sup>a</sup> José García-Soldado, Victor Rodríguez-Galiano, Lucía  
Cruca-Rivas
- VARIACIONES ESTACIONALES DE TENSIOACTIVOS SINTÉTICOS EN  
AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LOS ACUÍFEROS DE JEREZ DE LA  
FRONTERA (UH 05.56) Y ALUVIAL DEL GUADALETE (UH 05.55) 1269  
Carmen Corada-Fernández, Nivis Torres-Fuentes, Lucila Candela,  
Diana Álvarez-Muñoz y Eduardo González-Mazo
- 1181 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE REDES KÁRSTICAS  
TRIDIMENSIONALES EN LA SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA) 1277  
Juan José Durán, Rogelio Ferrer, Manuel Guerrero-Sánchez, Jorge  
Lopera, Jesús Cuenca, Jorge Romo-Villalba, Eulogio Pardo-Igúzquiza,  
Juan Antonio Luque-Espinar, Pedro Agustín Robledo-Ardila,  
Carolina Guardiola-Albert, Sergio Martos-Rosillo y Antonio Pedrera
- MÉTODOS PARA EVALUAR LA HUMEDAD DEL SUELO A ESCALA DE  
PARCELA Y CUENCA 1287  
A.J. Espejo-Pérez, A. Pedrera, G. Martínez, J.V. Giráldez,  
K. Vanderlinden, M.L. Prados, C. Guardiola-Albert
- 1195 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA Y ANÁLISIS PIEZOMÉTRICO DE  
LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 051.512 GUADIX-MARQUESADO  
(GRANADA) 1297  
Begoña García Pardo, Mónica López Martín, Silverio Casas Ruiz, Nuria  
Isanta Amela, Ignacio Caballero Rivas, Beatriz López Rodríguez y  
Antonio Jesús García Guerrero
- 1233 GEOMETRÍA Y FUNCIONAMIENTO DEL SECTOR OCCIDENTAL DE  
LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 051.511. SIERRA DE BAZA  
(GRANADA) 1307  
Begoña García Pardo, Mónica López Martín, Antonio Pineda Velasco,  
Silverio Casas Ruiz, Nuria Isanta Amela, Ignacio Caballero Rivas,  
Beatriz López Rodríguez y Antonio Jesús García Guerrero
- 1247 CONTENIDO ISOTÓPICO (<sup>18</sup>O Y <sup>2</sup>H) EN ACUÍFEROS DETRÍTICOS DE  
LA CUENCA BAJA DEL GUADALETE (PROVINCIA DE CÁDIZ) 1319  
Santiago García-López, José Luis Molina González, María Jesús  
Blanco Montero, Juan Pablo Saavedra Lyng y Verónica Ruiz Ortiz
- 1259 COMPARACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA  
RECARGA EN EL SECTOR OCCIDENTAL DEL ACUÍFERO KÁRSTICO  
DE LA SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA) 1331  
Carolina Guardiola-Albert, Sergio Martos-Rosillo, Pablo Jiménez-  
Gavilán, Cristina Liñán Baena, Eulogio Pardo-Igúzquiza, Rocío



Cerezuela, David Pulido, Juan Antonio Luque-Espinar, Juan José Durán Valsero y Pedro Agustín Robledo-Ardila

ESTUDIO DE LOS FLUJOS TURBULENTOS A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA CON MODFLOW CFP EN DOS ACUÍFEROS KÁRSTICOS ANDALUCES

Carolina Guardiola-Albert, Sergio Martos-Rosillo, Eulogio Pardo-Igúzquiza, Juan Antonio Luque-Espinar, Juan José Durán, y Pedro Agustín Robledo-Ardila

1347

ALGUNAS APORTACIONES AL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DEL TRÍAS SUBBÉTICO

Carlos Herrera

1361

EL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE ALBUÑUELAS. UNA REVISIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Carlos Herrera

1373

LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA COMO FORMA DE DAR A CONOCER LA HIDROGEOLOGÍA A LA SOCIEDAD. LA GUÍA DIDÁCTICA DE LOS ACUÍFEROS DEL PARQUE NATURAL DE LA SIERRA NORTE DE SEVILLA Y LA COLECCIÓN LOS ITINERARIOS DEL AGUA EN LA PROVINCIA DE SEVILLA

Juan Antonio López-Geta, Sergio Martos-Rosillo, Miguel Martín-Machuca, Carlos Mediavilla, Agustín Cosano, José Luis Girón y Macías Guerrero

1385

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LAS MASAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE ANDALUCÍA

Juan Antonio López-Geta, Juan Carlos Rubio, Carlos Mediavilla, María Estirado, Julia Espina, Mercedes García-Padilla, José Sánchez-Guzmán, Ana Rebollo

1397

PROPUESTA DE UN PLAN ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Juan Antonio López-Geta, Juan Carlos Rubio, Carlos Mediavilla, María Estirado, Julia Espina, Mercedes García-Padilla, María Isabel Cañizares, José Sánchez-Guzmán, Ana Rebollo

1409

USO DE IMÁGENES RADAR EN LA ESTIMACIÓN DE PATRONES DE VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA LLUVIA EN LA SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA)

J.A. Luque, E. Pardo-Igúzquiza, C. Guardiola-Albert, S. Martos-Rosillo, J. J. Durán, C. y P. A. Robledo-Ardila

1421

RESPUESTA HIDROGEOLÓGICA DEL ROSARIO (ALBUÑUELAS), PROVINCIA DE SEVILLA, EN CONDICIONES CLIMÁTICAS  
Matías Mudarra Navarro

ESTIMACIÓN DEL ACUÍFERO KÁRSTICO DE LA SIERRA DE ALBUÑUELAS (SEVILLA)  
Eulogio Pardo-Igúzquiza, Juan Antonio Luque-Espinar, Juan José Durán, Agustín Robledo-Ardila

MODELACIÓN DE UN ACUÍFERO KÁRSTICO EN LA SIERRA DE ALBUÑUELAS (SEVILLA)  
Enrico Hamann;

PROPUESTA DE UN PLAN ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS  
Jorge Jiménez-Sáenz, Fernando Chacón, Espina-Argüello,

RELACIONES ENTRE LA RECARGA DEL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE ALBUÑUELAS Y EL CLIMA  
Heriberto Juárez, Emiliano

EFECTOS CLIMÁTICOS EN LA RECARGA DE LOS ACUÍFEROS KÁRSTICOS A PARTIR DE LA PRECIPITACIÓN EN LA SIERRA DE ALBUÑUELAS (SEVILLA)  
Juan Antonio Luque-Espinar, Juan José Durán, Agustín Robledo-Ardila

CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS NIEVES EN LA SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA)  
Juan Antonio Luque-Espinar, Eulogio Pardo-Igúzquiza, Juan José Durán y Carolina

ESTIMACIÓN DEL ACUÍFERO KÁRSTICO DE LA SIERRA DE ALBUÑUELAS (SEVILLA) A PARTIR DE DATOS GEOLÓGICOS Y METEOROLÓGICOS  
Sergio Martos-Rosillo

1347	ESTABILIDAD HIDRODINÁMICA DEL MANANTIAL DE VILLANUEVA DE CÁDIZ (ACUÍFERO DE LAS SIERRAS DE CAMAROS Y DEL DE LA PROVINCIA DE MÁLAGA) BAJO DIFERENTES CONDICIONES ESTACIONALES Pablo Mudarra Martínez, Pablo Jiménez Gavilán y Bartolomé Andreo Carrero	1431
1361	ESTABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LA RECARGA EN EL ACUÍFERO KÁRSTICO DE SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA) Eulogio Pardo-Igúzquiza, Sergio Martos-Rosillo, Juan Antonio Luque-Espinar, Juan José Durán, Carolina Guardiola-Albert y Pedro Agustín Robledo-Ardila	1445
1373	MODELACIÓN DE LA EVOLUCIÓN HIDROQUÍMICA DE SALMUERAS EN ACUÍFEROS DEBAJO DE UN PLAYA LAKE Harico Hamann; Vincent Post; Henning Prommer, Claus Kohfahl	1457
1385	PROPUESTA DE ITINERARIOS HIDROGEOLOGICOS EN EL PARQUE NATURAL DE LA SIERRA DE BAZA Jorge Jiménez-Sánchez, Juan Carlos Rubio-Campos, Francisca Fernández-Chacón, José M <sup>a</sup> Fernández-Palacios Carmona, Julia Espina-Argüello, Antonio Castillo-Martín y José Benavente-Herrera	1465
1397	RELACIÓN AGUAS SUPERFICIALES-AGUAS SUBTERRÁNEAS Y RECARGA DEL ACUÍFERO DE LOS SOTOS, DOÑANA, ESPAÑA Iker Juárez, Emilio Custodio, Marisol Manzano y Horacio Higuera	1479
1409	CICLOS CLIMÁTICOS EN LA SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA) INFERIDOS A PARTIR DEL ANÁLISIS ESPECTRAL DE SERIES DE PRECIPITACIÓN Juan Antonio Luque, Eulogio Pardo-Igúzquiza, Sergio Martos-Rosillo, Juan José Durán, Carolina Guardiola-Albert, y Pedro Agustín Robledo-Ardila	1491
1421	CARTOGRAFÍA GEOESTADÍSTICA DE LA DENSIDAD DE FRACTURACIÓN DEL MACIZO KÁRSTICO DE SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA) Juan Antonio Luque, Antonio Pedrera, Sergio Martos-Rosillo, Eulogio Pardo-Igúzquiza, Juan José Durán, Pedro Agustín Robledo- Ardila y Carolina Guardiola-Albert	1501
	LOS ACUÍFEROS DE LA SIERRA DE ESTEPA Y EL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. CUATRO DÉCADAS DE SERVICIO TÉCNICO E INVESTIGACIÓN HIDROGEOLOGICA Sergio Martos-Rosillo, Miguel Martín Machuca, Diego Martín Sosa y	1511

Juan Antonio López-Geta

COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS GEOESTADÍSTICAS PARA LA ESTIMACIÓN AUTOMÁTICA DE LLUVIA (SIERRA DE LAS NIEVES, MÁLAGA)

1525

Eulogio Pardo-Igúzquiza, Carolina Guardiola-Albert, Juan José Durán, Juan Antonio Luque-Espinar, Pedro Agustín Robledo-Ardila y Sergio Martos-Rosillo

METODOLOGÍA DE MONTE CARLO PARA EVALUAR LA INCERTIDUMBRE DE LA RECARGA (SIERRA DE LAS NIEVES, MÁLAGA)

1535

Eulogio Pardo-Igúzquiza, Juan Antonio Luque-Espinar, Sergio Martos-Rosillo, Pedro Agustín Robledo-Ardila, Juan José Durán, y Carolina Guardiola-Albert

MICROGRAVIMETRÍA RELATIVA 4D PARA ESTUDIO DE LA RECARGA EN EL KARST SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA)

1545

Juan Luis Plata Torres

CONSIDERACIONES SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL ALTO ALMANZORA (ALMERÍA)

1557

Antonio Pulido Bosch, Salvador España y Ángela Vallejos

EMPLEO DE OZONO PARA LA DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO CLOFÍBRICO

1569

María José Quero Pastor, Asunción Acevedo Merino, Álvaro Valenzuela Romero, José María Quiroga Alonso

DOLINAS RELLENAS DE SEDIMENTO EN LA SIERRA DE LAS NIEVES (PROVINCIA DE MÁLAGA) Y SU INTERPRETACIÓN MEDIANTE PERFILES DE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS

1575

Pedro Agustín Robledo Ardila, Eulogio Pardo-Igúzquiza, Juan José Durán Valsero, Luis Jordá Bordehore, Carolina Guardiola-Albert, Sergio Martos-Rosillo y Juan Antonio Luque-Espinar

ANÁLISIS MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE DEL PAPEL DE LA NIEVE EN LA RECARGA DE ACUÍFEROS KÁRSTICOS MONTAÑOSOS (SIERRA DE LAS NIEVES, MÁLAGA, ESPAÑA)

1587

Pedro Agustín Robledo Ardila, Eulogio Pardo-Igúzquiza, Juan José Durán Valsero, Víctor Rodríguez Galiano, Carolina Guardiola-Albert, Sergio Martos-Rosillo, Juan Antonio Luque-Espinar

RESPUESTA HIDRODINÁMICA E HIDROQUÍMICA DEL ACUÍFERO DE LA VEGA DE GRANADA EN EL ENTORNO DE UNA CHOPERA

1599

REGADA CON Virginia María Sánchez-Díaz, García-Reyes,

CARTOGRAFÍA CAMPO, GEOL LAS NIEVES (M Víctor Rodríguez Mario Chica-Ol Albert, Sergio M

EL ANÁLISIS DE INTERPRETACIÓN DE POSADAS-A Francisco Javier Antonio Luque

LOS ATLAS HIDROGRÁFICOS DE LA PENÍNSULA IBERICA Vega y R

SESION VII- AG

Conferencia

EL PAPEL DE LA AGUA EN LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Quiroga

Comunicaciones

EL SISTEMA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA) Carran Salvador Rodríguez

LA RECARGA DE ACUÍFEROS KÁRSTICOS MONTAÑOSOS (SIERRA DE LAS NIEVES, MÁLAGA, ESPAÑA) Rodríguez

LA RECARGA DE ACUÍFEROS KÁRSTICOS MONTAÑOSOS (SIERRA DE LAS NIEVES, MÁLAGA, ESPAÑA) Rodríguez

	REGADA CON AGUAS RESIDUALES URBANAS DEPURADAS Virginia María Robles-Arenas, Diego Rojas, Iacopo Benedetti, Lufs Sanchez-Díaz, Antonio Molina-Díaz, José Robles, Juan Francisco García-Reyes, Antonio Castillo, José Benavente	
1525	CARTOGRAFÍA DEL EPIKARST INTEGRANDO INFORMACIÓN DE CAMPO, GEOLOGÍA E IMÁGENES DE SATÉLITE: CASO DE SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA) Víctor Rodríguez-Galiano, Eulogio Pardo-Igúzquiza, Juan José Durán, Mario Chica-Olmo, Juan Antonio Luque-Espinar, Carolina Guardiola- Albert, Sergio Martos-Rosillo y Pedro Agustín Robledo-Ardila	1611
1535	EL ANÁLISIS DE LA GEOLOGÍA DE SUBSUELO EN LA INTERPRETACIÓN DE ACUÍFEROS PROFUNDOS. EL PALEODELTA DE POSADAS-ALMODÓVAR (CUENCA DEL GUADALQUIVIR) Francisco Javier Roldán, Tomás Peinado, Antonio Pedrera y Juan Antonio Luque	1621
1545	LOS ATLAS HIDROGEOLOGÍCOS COMO HERRAMIENTAS DE DIFUSIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Leticia Vega y Raquel Morales	1633
1557	<u>SESIÓN VII.- AGUA DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA</u>	1643
	Conferencia	
1569	EL PAPEL DE LA REUTILIZACIÓN EN LA GESTIÓN DEL RECURSO AGUA: INNOVACIÓN Y DESARROLLO José M <sup>a</sup> Quiroga Alonso	1645
	Comunicaciones libres	
1575	BROCAL: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR Jerónimo Carranza Carranza, Cándido Brieva Romero, Marta Copado García, Salvador Bello Lucena, Angelina González-Nicolás Chicote, Martín Rodríguez Ladrón de Guevara	1659
1587	REGENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEPURADAS CON TECNOLOGÍA DE LAGUNAJE MEDIANTE FILTROS INTERMITENTES DE ARENA Manuel Enrique López, Juan José Salas, José María Quiroga	1669
1599	REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES REGENERADAS CON FILTROS INTERMITENTES DE ARENA PARA EL RIEGO DE	1677

LECHUGA ROMANA (*LACTUCA SATIVA*)

Manuel Enrique López, Juan José Salas, José María Quiroga

APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN LOS  
PROYECTOS DE COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO DESDE  
ANDALUCÍA. EL CASO DE BOUADIL (MAKNÉS-TAFILALET,  
MARRUECOS)

1685

Crisanto Martín Montañés, Javier Reina Ortega, Alessandro Marsali,  
Aída Muñoz Maqueda, Elísabet Arrese Arruarte, Gabriel Pérez  
Martínez y Libertad Gómez Vialás

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN  
ADAPTATIVA PARA EL VERTIDO DE SALMUERA: PROYECTO  
ASDECO (SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL DEL VERTIDO  
DE DESALADORAS)

1697

Rafael Molina Sánchez, José María Hernández Torres y  
José María Cortés

INFLUENCIA DEL DIGESTATO ANAEROBIO TERMOFÍLICO SOBRE  
LA PRODUCCIÓN DE FANGOS EN UN SISTEMAS DE LODOS ACTIVOS  
CONVENCIONAL

1711

Pablo M<sup>a</sup> Romero Pareja, Carlos A Aragón Cruz,  
José M<sup>a</sup> Quiroga Alonso y M<sup>a</sup> Dolores Coello Oviedo

APLICACIÓN DE LA CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS EN LA INDUSTRIA AVÍCOLA

1723

Inmaculada Seijo Delgado, Reyes Real Mayoral, Rocío Montoya  
Mayor, Daniel Trigo García y Miguel Ternero Rodríguez

CONFERENCIA DE CLAUSURA

1735

LA DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA SIERRA DE  
GRAZALEMA. JUAN GAVALA Y EL INTERÉS POR EL ESTUDIO DE LAS  
MONTAÑAS

1737

Emilio Martín Gutiérrez

M. Santisteban, J.A. Grande, M.L. de la Torre, T. Valente, J.P. Fernández, J.C. Cerón. *SIAGA 2012*  
Cádiz, 1-3 de octubre de 2012  
©Instituto Geológico y Minero de España

---

## ESTUDIO PRELIMINAR DE LA AFECCIÓN POR AMD EN EMBALSES DE LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA

María Santisteban<sup>(1)</sup>, Jose Antonio Grande<sup>(1)</sup>, María Luisa de la Torre<sup>(1)</sup>, Teresa Valente<sup>(1,2)</sup>, José Paulino Fernández<sup>(3)</sup>, Juan Carlos Cerón<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Centro de Investigación para la Ingeniería en Minería Sostenible. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Huelva. Ctra. Palos de la Frontera. s/n. 21819. Palos de la Frontera. Huelva. Spain.

<sup>(2)</sup> Centro de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos, Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga. Portugal.

<sup>(3)</sup> Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres. c/ Gonzalo Gutiérrez Quirós, s/n. 33600. Mieres. Spain.

### RESUMEN

El presente trabajo es un estudio preliminar englobado dentro del proyecto "Cuantificación de la carga metálica y de sulfatos aportada por procesos de drenaje ácido de mina a embalses en la Faja Pirítica Ibérica: Modelización del proceso y determinación de velocidades de colmatación" (CGL2010-21268-C02) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, y que se centra en la caracterización hidroquímica de los principales aportes por drenaje ácido de mina (AMD) a los embalses de la Faja Pirítica Ibérica (SW de España), mediante la determinación del origen y estudio de las variaciones temporales de los aportes, así como modelización del proceso. Con este trabajo se pretende llevar a cabo la caracterización físico-química preliminar de las aguas de los embalses al final de la estación seca, como base de posteriores trabajos de modelización a la luz de los resultados obtenidos en las siguientes campañas de muestreo y análisis en los puntos de control. Para ello, se diseñó una red de muestreo consistente en una toma de muestras de agua quincenal, durante el año hidrológico 2011-2012, en una totalidad de 22 embalses, en los "puntos cola" y "puntos cauce", procediendo simultáneamente al análisis en laboratorio de las muestras, mediante el empleo de diferentes técnicas analíticas.

**Palabras clave:** Agua contaminada, drenaje ácido de mina, Faja Pirítica Ibérica, embalse.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la literatura medioambiental, se suele distinguir entre dos procesos distintos de contaminación del agua provocada por la oxidación de los sulfuros: un proceso natural geoquímico de pautas temporales, usuales en la geología, y las masivas cantidades de efluentes generados en los procesos de explotación minera, llamando ARD (Acid Rock Drainage) al primero y AMD (Acid Mine Drainage) al segundo (Sáinz *et al.*, 2003).

El drenaje ácido de mina (AMD) es uno de los principales problemas hidrogeológicos y geoquímicos derivados de la intrusión de la humanidad en la Geosfera (Banks *et al.*, 1997; Dold and Fontboté, 2002), afectando a muchos países con una intensa historia minera y/o actual (Wang, 2010).

El AMD es el principal problema al que tienen que enfrentarse las explotaciones mineras, no sólo por sus efectos ecológicos, sino porque una vez aparecido es virtualmente imposible dar marcha atrás, ya que con la tecnología actual, cuesta millones de dólares su tratamiento y puede continuar a lo largo de muchos siglos (EMCBC, 1996).

Con 5.000 años de historia minera y más de 130 minas abiertas en diferentes épocas, la Faja Pirítica Ibérica es, sin lugar a dudas, la región más explotada en y una de las provincias metalogenéticas de mayor relevancia mundial.

En la actualidad, la mayoría de las instalaciones mineras de la zona se encuentran inactivas y las labores han sido abandonadas, de forma que se puede encontrar un enjambre de antiguas explotaciones mineras, cuyos residuos yacen esparcidos por todo el terreno, en la mayoría de las ocasiones sin control alguno, y provocando un fuerte impacto ambiental tanto en el paisaje como en las aguas y sedimentos. Las emergencias de las aguas interiores que salen por los socavones, los lixiviados de las escombreras, montañas de cenizas, balsas, canales y teleras, y las escorrentías de lavados alcanzan los arroyos más próximos, llegando al curso principal del río Tinto y del río Odiel a través de un entramado de afluentes y subafluentes, lo que produce la contaminación de éstos.

## 2. MARCO DE ESTUDIO

En Andalucía, los principales problemas de contaminación por metales pesados en general, en las aguas de los ríos, embalses y pozos están asociados con el drenaje ácido de mina, y se deben a la presencia en esta Comunidad de la Faja Pirítica Ibérica, situada en la Provincia de Huelva y Sevilla. La intensa actividad minera, superficial y subterránea en esta zona metalogenética, ha dejado, en las cuencas de los ríos Onubenses un legado de 150 minas abandonadas, con sus pozos, socavones y cortas, sus innumerables kilómetros de túneles y sus 200 millones de m<sup>3</sup> de residuos dispersos en 70 escombreras y 14 balsas mineras

constituy  
sediment

La zo  
el suros  
una tota  
cuencas  
cuencas

P1  
P2  
P3  
P4  
P5  
P6  
P7  
P8  
P9  
P10

## 3. OBJET

La So  
existenci  
pública y  
ubicat  
pone la  
afatos.

Con l  
extenso  
receptor  
una da  
propio  
número  
sement  
del medi  
2005

constituyendo todos ellos, focos contaminantes que afectan a las aguas y sedimentos de estos ríos y de la zona litoral de influencia (Sáinz *et al.*, 2004).

La zona de estudio en la que se centra este trabajo de investigación se sitúa en el suroeste de la Península Ibérica, entre las provincias de Huelva y Sevilla, abarcando una totalidad de 22 embalses repartidos a lo largo de toda la provincia entre las cuencas hidrográficas de los ríos Tinto y Odiel, mayormente afectadas, así como las cuencas del Chanza y Guadiamar (Figura 1).

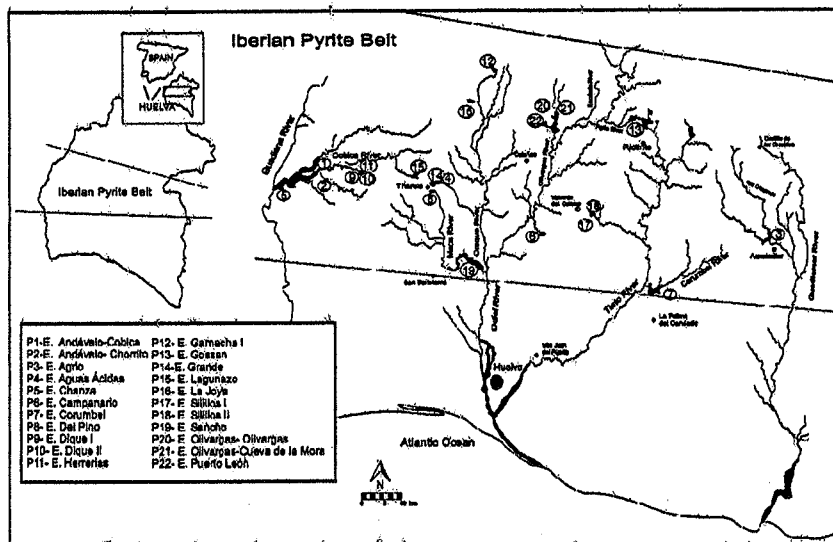


Figura 1. Mapa de localización de embalses en la Faja Pirítica Ibérica.

### 3. OBJETIVOS

La Sociedad Española de Presas y Embalses (SEPREM) reconoce oficialmente la existencia de unas 30 presas y embalses en la Faja Pirítica Ibérica, de titularidad pública y privada, de uso agrícola, industrial o urbano. Muchos de estos embalses se ubican en cauces afectados por procesos de drenaje ácido de mina, lo que supone la llegada a las presas, de agua con bajo pH y elevada carga metálica y de sulfatos.

Con la llegada de los aportes de aguas de mina al embalse se producirá un ascenso brusco de pH en las aguas ácidas ante el gran volumen de la cuenca receptora, este ascenso de pH se traducirá en una violenta reducción de la capacidad de disolución en las aguas de mezcla que provocará la precipitación, en el propio embalse, de la mayor parte de la carga metálica transportada por el cauce minero. En cualquier caso, los precipitados metálicos se acumularán en forma de sedimento en el lecho de la presa quedando siempre sujeta a las variaciones de pH del medio, lo cual puede llevar a la colmatación del medio sedimentario (Grande *et al.*, 2005).



Este problema es de especial relevancia si se tiene en cuenta que actualmente existen embalses a los que descargan diferentes cauces contaminados por AMD y que se convierten por ello en potenciales causantes de problemas de salud pública, si estos contaminantes llegan al consumo. Es de vital importancia conocer y determinar el alcance del problema y proponer medidas correctoras.

Con el presente estudio se pretende llevar a cabo la caracterización físico-química preliminar de las aguas de los embalses al final de la estación seca, como base de posteriores trabajos de modelización, a la luz de los resultados obtenidos en las siguientes campañas de muestreo y análisis en los puntos de control.

#### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Tras definirse el objetivo a alcanzar, se realizó una exhaustiva revisión de antecedentes, tanto de los procesos relacionados con el drenaje ácido de mina, como de las técnicas y métodos de adquisición de datos, procediéndose a la actualización de las cartografías existentes con el fin de delimitar la zona de estudio. A continuación, se diseñó la red de muestreo.

##### 4.1. Diseño de la red de muestreo

Una vez delimitada la zona de estudio y conocidas las relaciones hídricas, referidas tanto a cauces naturales como a aportes de lixiviados mineros, se procedió a determinar los puntos en los que se tomarían las muestras de agua. Se seleccionaron en las colas de entrada afectadas por AMD dos puntos de muestreo, uno de ellos aguas arriba inmediatamente por encima del límite de crecida máximo de la presa que denominaremos "punto cauce" y un segundo punto, aguas abajo del anterior que quede cubierto por las aguas en época de medida que notaremos como "punto cola".

Para el presente trabajo, se ha llevado a cabo el tratamiento de la masa de datos correspondiente a los puntos colas de la primera semana de muestreo del año hidrológico, coincidiendo con el final del periodo seco y que corresponde a los días 3, 4 y 5 de Octubre del 2011.

##### 4.2. Muestreo y tratamiento de las muestras

In situ, se llevó a cabo la determinación de pH, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales, mediante el uso de un equipo multiparamétrico portátil (CrisonMM40), mientras que en laboratorio se midieron las concentraciones de metales y sulfatos.

Tras las mediciones en campo, en cada punto se tomaron dos muestras de agua en botes de polietileno esterilizados, una para la determinación de sulfatos y otra, para la determinación de metales pesados, a la que se añadió ácido nítrico hasta conseguir un  $\text{pH} < 2$  a fin de evitar la precipitación de los metales durante el

transporte hasta el laboratorio, que se efectuó en botes de P.V.C. de 100 mL y 200 mL, respectivamente, en un refrigerador portátil a 4°C.

En el laboratorio, las muestras de agua fueron filtradas con filtros de Nitrato de Celulosa de 0,45 micras (Sartorius 11406-47-ACN) con la ayuda de un quitasato de vidrio conectado a una bomba de vacío, para acelerar el flujo. Las muestras de agua ya filtradas fueron almacenadas en botes de polietileno herméticamente cerrados en un frigorífico a una temperatura de entre 1 y 4°C. Para la determinación de la concentración de sulfatos se empleó un fotómetro de la casa comercial Macherey-Nagel (Fotómetro FP-11).

El equipo empleado para la realización de los análisis de los metales fue un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer AAS (AAAnalyst modelo 800) equipado con un horno de grafito y un atomizador de llama de aire-acetileno. La introducción de las muestras se llevó a cabo utilizando el inyector automático Perkin-Elmer (modelo AS800). Las lámparas de cátodo hueco (HDL y LDL) se utilizaron como fuentes de radiación (Perkin-Elmer LuminaTM).

## 5. TRATAMIENTO GRAFICO-ESTADÍSTICO

La masa de datos procedente de las analíticas de las aguas, así como de los parámetros medidos en campo, ha sido sometida a un estudio gráfico-estadístico mediante el paquete informático STATGRAPHICS Centurión XVI.I.

## 6. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra el sumario estadístico de los parámetros analizados para todos los embalses en la primera semana del muestreo total. Antes de las primeras precipitaciones, el pH medio toma un valor de 5,35, siendo el valor mínimo de 2,78 y el máximo de 7,32. La conductividad eléctrica presenta un valor medio de 988,31  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un máximo de 2520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un mínimo de 136,30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El mayor valor de concentración de sólidos disueltos totales medido ha sido de 4820 ppm, mientras que el mínimo ha sido de 87,20 ppm. Los embalses presentan una media de 646,53 ppm de sólidos disueltos totales.

En cuanto a los sulfatos analizados, la media es de 287,86 ppm, alcanzando un máximo de 3808 ppm y un mínimo de 0,00 ppm (estableciéndose como límite inferior de detección 20 mg/L).

Las concentraciones medias de los metales analizados varían según el siguiente orden: Fe (21,91 ppm) > Zn (8,76 ppm) > Mn (6,49 ppm) > Cu (1,06 ppm) > Al (0,36 ppm) > Pb (0,23 ppm) > Co (0,23 ppm) > Ni (0,15 ppm) > Cd (0,08 ppm) > As (0,006 ppm) > Sb (0,004 ppm). En estos metales, encontramos que los valores máximos y mínimos son respectivamente: Fe (420 ppm y 0,01 ppm); Cu (7,9 ppm y 0,00 ppm); Zn (136,96 ppm y 0,00); Mn (58,86 ppm y 0,01 ppm); Cd (0,643 ppm y

0,05 ppm); Ni (2,04 ppm y 0,00 ppm); Co (2,67 ppm y 0,00 ppm); As (0,011 ppm y 0,00 ppm); Sb (0,025 ppm y 0,00 ppm); Pb (0,989 ppm y 0,00 ppm) y Al (0,97 ppm y 0,00 ppm).

En general, se observa un elevado valor de la varianza, tanto en los parámetros físico-químicos medidos, como en las concentraciones de los metales y sulfatos analizados, a excepción del As y Sb. A destacar los valores de: Conductividad (3500760) > TSD (143108) > SO42- (658464) > Fe (7944,59) > Zn (878,15) > Mn (287,83). El resto de parámetros presentan también varianzas significativas, aunque sus valores son menores: Tª (5,81) > Cu (5,19) > pH (1,78) > Co (0,43) > Ni (0,24) > Al (0,10) > Pb (0,04) > Cd (0,02).

	Recuento	Promedio	Desv. Estándar	Coef. Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandar	Curtosis Estandar
pH	22,00	5,35	1,33	0,25	2,78	7,32	4,54	-1,61	-0,45
T	22,00	26,99	2,41	0,09	22,80	31,60	8,80	0,58	0,04
Cond (µs/cm)	22,00	988,31	1871,03	1,89	136,30	7520,00	7383,70	5,50	7,51
TDS (ppm)	22,00	646,53	1196,28	1,85	87,20	4820,00	4732,80	5,48	7,48
Fe (ppm)	22,00	21,92	89,13	4,07	0,01	420,00	420,00	8,91	20,82
Cu (ppm)	22,00	1,06	2,28	2,14	0,00	7,90	7,90	4,61	4,51
Zn (ppm)	22,00	8,77	29,63	3,38	0,00	136,96	136,96	8,15	17,97
Mn (ppm)	22,00	6,49	16,97	2,61	0,01	58,86	58,85	5,66	7,32
Cd (ppm)	22,00	0,09	0,13	1,48	0,05	0,64	0,60	8,68	20,03
Ni (ppm)	22,00	0,15	0,49	3,15	0,00	2,04	2,04	6,60	11,28
Co (ppm)	22,00	0,23	0,65	2,86	0,00	2,67	2,67	5,98	9,42
As (ppm)	22,00	0,01	0,00	0,32	0,00	0,01	0,01	0,30	0,22
Sb (ppm)	22,00	0,00	0,01	1,59	0,00	0,02	0,02	5,31	7,99
Pb (ppm)	22,00	0,23	0,19	0,84	0,00	0,99	0,99	5,60	10,98
Al (ppm)	22,00	0,36	0,31	0,85	0,00	0,97	0,97	0,93	1,06
SO42- (ppm)	22,00	287,86	811,46	2,82	0,00	3808,00	3808,00	8,19	18,20

Tabla 1. Resumen estadístico de los parámetros físico-químicos analizados y elementos analizados.

Para el estudio de los resultados obtenidos de los análisis realizados, se ha tomado como referencia la Directiva Europea 98/83/CE, la cual fija los estándares de calidad para las aguas de consumo humano que deben cumplir los países pertenecientes a la Unión Europea (Tabla 2). En las tablas 3 y 4 quedan recogidos los valores de los parámetros físico-químicos analizados, así como de los metales y sulfatos medidos.

Parámetro	Valor paramétrico
Antimonio (Sb)	0,005 mg/l
Arsénico (As)	0,01 mg/l
Aluminio (Al)	0,2 mg/l
Cadmio (Cd)	0,005 mg/l
Cobre (Cu)	2 mg/l
Hierro (Fe)	0,2 mg/l
Manganeso (Mn)	0,05 mg/l
Níquel (Ni)	0,02 mg/l
Plomo (Pb)	0,01 mg/l
Conductividad	2500 µs/cm a 20° C
Sulfatos	250 ppm

Tabla 2. Estándares europeos de calidad del agua potable (Directiva europea 98/83/CE)

Se observa que existe un total de catorce embalses con un  $\text{pH} < 6$ : Embalse Puerto León ( $\text{pH}$ : 5,92) > Corumbel ( $\text{pH}$ : 5,86) > Silillos I ( $\text{pH}$ : 5,71) > Garnacha ( $\text{pH}$ : 5,69) > Silillos II (5,58) > Agrio ( $\text{pH}$ : 5,56) > Andévalo-Chorrito ( $\text{pH}$ : 5,55) > Grande ( $\text{pH}$ : 5,20) > Olivargas ( $\text{pH}$ : 4,80) > Del Pino ( $\text{pH}$ : 3,43) > Sancho ( $\text{pH}$ : 3,41) > Cueva de la Mora ( $\text{pH}$ : 3,10) > Aguas Ácidas ( $\text{pH}$ : 3,05) > Gossan ( $\text{pH}$ : 2,78). El valor más ácido encontrado se corresponde con el Embalse de Gossan, con un  $\text{pH}$  de 2,78, mientras que el resto de embalses presentan valores de  $\text{pH} > 6$ . Cabe señalar que el Embalse de Gossan se trata de una presa de residuos procedentes de la planta de tratamiento mineralúrgico de Riotinto.

En cuanto a los valores de conductividad, se puede ver como sólo tres de los embalses muestreados superan el límite establecido por la normativa ( $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ): Embalses de Aguas Ácidas ( $7520 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Cueva de la Mora ( $5330 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Gossan ( $2720 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Las conductividades medidas en el resto de los embalses fueron: Olivargas ( $792 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Herrerías ( $670 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Grande ( $560 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Sancho > ( $505 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Andévalo-Cobica ( $364 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Lagunazo ( $358 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Andévalo-Chorrito ( $353 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Dique II ( $285 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Agrio ( $207,00 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Garnacha ( $180,00 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Dique I ( $162,50 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Silillos I ( $159,80 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Campanario ( $157,70 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Silillos II ( $154,00 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > Puerto León ( $153,20 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) > La Joya ( $136,30 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Puntos	Embalses	pH	T	Cond ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TSD (ppm)
1	Andévalo-Cobica	6,15	24,80	364	231
2	Andévalo-Chorrito	5,55	26,40	353	226
3	Agrio	5,56	27,70	207	133
4	Aguas Ácidas	3,05	25,40	7520	4820
5	Chanza	6,26	24,30	504	323
6	Campanario	6,21	25,80	158	101
7	Corumbel	5,86	27,60	309	198
8	Del Pino	3,43	26,20	343	219
9	Dique I	6,51	32,60	163	104
10	Dique II	6,76	30,90	285	183
11	Herrerías	7,32	28,00	670	426
12	Garnacha	5,69	25,30	180	115
13	Gossan	2,78	27,30	2720	1740
14	Grande	5,20	28,20	560	358
15	Lagunazo	6,26	27,30	358	229
16	La Joya	6,52	22,30	136	87
17	Silillos I	5,71	22,80	160	102
18	Silillos II	5,58	22,80	154	98
19	Sancho	3,41	29,10	505	324
20	Olivargas	4,80	27,20	792	507
21	Cueva de la Mora	3,10	26,00	5330	3420
22	Puerto León	5,92	27,40	153	98

Tabla 3. Parámetros físico-químicos medidos.

Si se observan los valores de sólidos disueltos totales, se encuentra que los mayores valores registrados corresponden a los embalses Aguas Ácidas > Cueva de la Mora > Gossan (al igual que ocurre con la conductividad), con valores máximos

de 4820 ppm, 3420 ppm y 1740 ppm, respectivamente. Los valores de TSD para el resto de embalses fueron: Olivargas (507 ppm) > Chanza (504,00 ppm) > Herrerías (426,00 ppm) > Grande (358,00 ppm) > Sancho (324,00 ppm) > Andévalo-Cobica (231,00 ppm) > Lagunazo (229,00 ppm) > Andévalo-Chorrito (226,00 ppm) > Del Pino (219,00 ppm) > Corumbel (197,50 ppm) > Dique II (182,80 ppm) > Agrio (133,30 ppm) > Garnacha (115,30 ppm) > Dique I (104,30 ppm) > Silillos I (102,20 ppm) > Campanario (100,80 ppm) > Silillos II (98,30) > Puerto León (98,00 ppm) > La Joya (87,20 ppm).

En los siguientes diagramas (Figuras 2 y 3) se puede observar como la conductividad y los TSD guardan relación entre sí para todos los embalses, destacando los embalses de Aguas Ácidas, Gossan y Cueva de la Mora, por sus mayores valores.

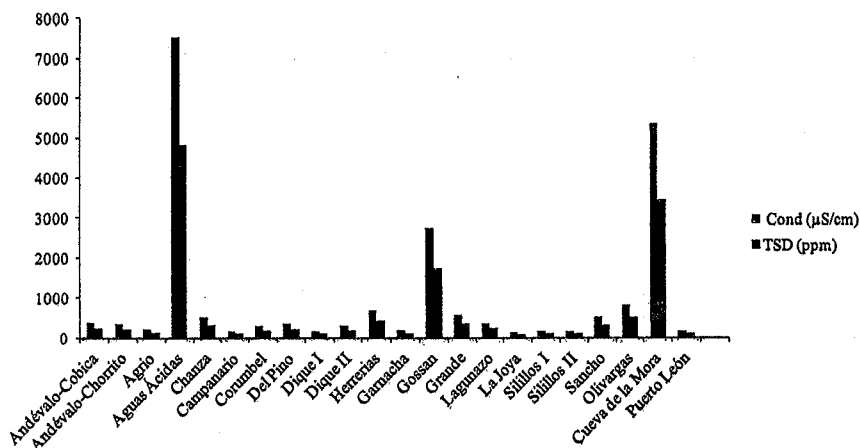


Figura 2. Representación gráfica de los valores de conductividad y TSD medidos en todos los embalses.

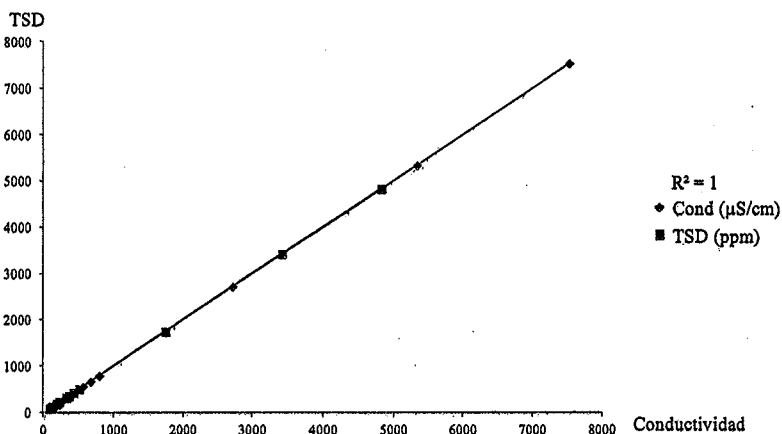


Figura 3. Representación gráfica de los valores de conductividad y TSD medidos en todos los embalses.

Para las concentraciones de los metales, se observa que un 83% de los embalses muestreados excede la norma para la concentración de hierro, el resto no superan dicho valor: Chanza (0,115 ppm) > Dique I (0,103 ppm) > Puerto León (0,014 ppm) > Herrerías (0,005 ppm).

Un 65% exceden la concentración permitida para el aluminio, quedando por debajo del límite los embalse: Andévalo-Cobica (0.148 ppm) > Gossan (0.106 ppm) > Aguas Ácidas (0.084 ppm) > Campanario (0.012 ppm) > Dique II (0.036 ppm) > Corumbel (0.003 ppm) > Puerto León (0.035 ppm) > Silillos II (0.026 ppm).

Un 22% de los embalses no exceden la normativa para el manganeso: Silillos II (0.09 ppm) > Dique II (0.048 ppm) > Lagunazo (0.032 ppm) > Garnacha (0.011 ppm) > La Joya (0.0063 ppm).

Todos los embalses presentan valores de Cd por encima de la normativa y un 95% lo hace para el plomo, siendo el embalse Andévalo-Cobica el único en el que no ocurre.

Para el Ni, cuatro de los embalses superan la concentración permitida: Aguas Ácidas (2,036 ppm) > Cueva de la Mora (1,162 ppm) > Gossan (0,126 ppm) > Andévalo-Chorrito (0,026 ppm).

Puntos	Embalses	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Al (ppm)	SO4 <sup>2-</sup> (ppm)
1	Andévalo-Cobica	0,67	0,22	0,06	0,32	0,08	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,15	130,00
2	Andévalo-Chorrito	0,81	0,44	0,49	1,36	0,06	0,03	0,00	0,01	0,00	0,06	0,28	140,00
3	Agrio	0,62	0,24	0,00	0,07	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,19	0,74	39,00
4	Aguas Ácidas	420,00	7,90	35,24	58,86	0,12	2,04	2,67	0,01	0,00	0,14	0,08	3808,00
5	Chanza	0,12	0,00	0,00	0,13	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,31	0,32	34,00
6	Campanario	1,25	0,00	0,00	0,42	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,35	0,01	126,00
7	Corumbel	0,26	0,00	0,22	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	<20
8	Del Pino	0,10	0,62	0,63	0,94	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29	157,00
9	Dique I	0,10	0,01	0,00	0,09	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,18	0,97	<20
10	Dique II	0,76	0,00	0,76	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,04	<20
11	Herrerías	0,01	0,01	0,00	5,39	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,15	47,00
12	Garnacha	0,54	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,80	85,00
13	Gossan	28,58	4,70	10,64	10,33	0,10	0,12	0,84	0,01	0,00	0,06	0,11	936,00
14	Grande	0,92	0,28	0,35	2,45	0,05	0,02	0,00	0,00	0,01	0,23	0,52	194,00
15	Lagunazo	8,07	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,01	0,02	0,30	0,71	103,00
16	La Joya	1,79	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,25	0,59	<20
17	Silillos I	3,37	0,57	0,42	0,30	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,15	0,83	26,00
18	Silillos II	0,21	0,01	0,03	0,09	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,29	0,03	<20
19	Sancho	0,86	0,24	2,91	1,69	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,33	0,35	196,00
20	Olivargas	3,72	1,26	1,57	2,14	0,05	0,01	0,00	0,01	0,00	0,23	0,38	312,00
21	Cueva de la Mora	9,44	6,82	136,96	57,92	0,64	1,16	1,52	0,00	0,00	0,99	0,61	<20
22	Puerto León	0,01	0,01	2,61	0,17	0,05	0,00	0,00	0,01	0,02	0,11	0,04	<20

Tabla 4. Concentraciones de metales y sulfatos analizados.

Sólo tres embalses presentan concentraciones superiores al límite establecido para el Cu: Aguas Ácidas (7,9 ppm), Gossan (4,7 ppm) y Cueva de la Mora (6,8 ppm), mientras que para el antimonio también tres de los embalses superan la concentración límite: Dique I (0,006 ppm), Herrerías (0,006 ppm) y Grande (0,006 ppm).

Para el As, sólo un embalse presenta concentraciones superiores al límite establecido por la normativa: Aguas ácidas (0,011 ppm).

Para los sulfatos, sólo tres de los embalses superan dicho límite: Aguas Ácidas (3808 ppm) > Gossan (936 ppm) > Olivargas (312 ppm). El Embalse Corumbel, Dique I, Dique II, La Joya, Silillos II, Cueva de la Mora y Puerto León presentan una concentración < 20 ppm. El resto de embalses presentan los siguientes valores: Olivargas: 312,00 ppm > Sancho: 196,00 ppm > Grande: 194,00 ppm > Del Pino: 157,00 ppm > Andévalo-Chorrito: 140,00 ppm > Andévalo-Cobica: 130,00 ppm > Campanario: 126,00 ppm > Lagunazo: 103,00 ppm > Garnacha: 85,00 ppm > Herrerías: 47,00 ppm > Agrio: 39,00 ppm > Chanza: 34,00 ppm > Silillos I: 26,00 ppm.

## 7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Del estudio preliminar de la caracterización hidroquímica de los embalses de la Faja Pirítica Ibérica, se desprende que en periodo seco, previo a la caída de las primeras lluvias, un número importante de los embalses presentan un pH ácido <6, característico de la contaminación por drenaje ácido de mina, en concreto catorce de los veintidós embalses estudiados, siendo el pH medio de todos los embalses ligeramente ácido, alcanzándose un valor mínimo muy ácido, correspondiente al embalse de Gossan y un valor máximo próximo a la neutralidad, correspondiente al Embalse Herrerías, en el que descargan las aguas residuales de Puebla de Guzmán.

Cabe destacar que estos embalses, que presentan un valor de pH ácido, además presentan altos valores de conductividad y TSD, así como elevadas concentraciones de metales y sulfatos, encontrándose éstos por encima de los valores permitidos en la Directiva Europea 98/83/CE, siendo característicos de aguas contaminadas por drenaje ácido de mina.

En las figuras 2 y 3, se comprueba como en soluciones acuosas la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad. La relación entre conductividad y sólidos disueltos se expresa, dependiendo de las aplicaciones, con una buena aproximación por la siguiente igualdad:

$$" 1,4 \mu S/cm = 1 ppm \text{ o } 2 \mu S/cm = 1 ppm (mg/l \text{ de } CaCO_3) "$$

Los altos valores de varianza encontrados son interpretados como consecuencia de la gran heterogeneidad y dispersión geográfica de los embalses estudiados, perteneciendo cada uno de ellos a cuencas hidrográficas diferentes, cada una de ellas con características particulares, estando sometidos por consiguiente a la llegada de aportes contaminados por diferentes paragénesis minerales y con muy distintos niveles de afección controlados esencialmente por los aportes limpios que provocan dilución.

Las concentraciones de metales comparadas con los valores mínimos de los estándares de calidad para la aguas de consumo humano (Directiva Europea 98/83/CE) nos indican que para el Cd, el 100% de los embalses superan los valores límites establecidos; el 95% de los embalses superan la normativa para el Pb; para el Fe un 83% no son aptos; el 78% de los embalses superan la normativa para el Mn y un 65% lo hacen para el Al. En el caso del Ni, cuatro de los embalses superan la concentración permitida, mientras que tres de ellos superan la normativa para el Cu y Sb. Para las concentraciones de As sólo uno de los embalses no es apto.

En cuanto a las concentraciones de sulfatos, sólo tres de los embalses superan límite marcado por la directiva.

De este modo, cabe concluir que catorce de los veintidós embalses estudiados presentan valores típicos de afección por drenaje ácido de mina, existiendo variaciones entre ellos, destacando los embalses de Aguas ácidas, Gossan y Cueva de la Mora, por presentar los mayores valores tanto de los parámetros físico-químicos medidos como en las concentraciones de metales y sulfatos.

### Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado dentro por el Ministerio de Ciencia e Innovación con el proyecto CGL2010-21268-C02-01.

### REFERENCIAS

- Banks, D, Younger, P,L.; Arnesen, R,T.; Iversen, E,R.; Banks, S,B, (1997): Mine water chemistry: The good, the bad and the ugly. *Environmental Geology* 32 (3):pp, 157-174.
- Dold, B.; Fontboté, L, (2002): A mineralogical and geochemical study of element mobility in sulfide mine tailings of Fe oxide Cu-Au deposits from Punta del Cobre Belt, northern Chile. *Chemical Geology* 189, pp, 135-163.
- EMCBC (1996): The perpetual pollution machine, *Acide mine drainage*, B,C, Mining Control, Canada, pp 1-6, *Environment International* 29 (1): pp, 51-59.
- Grande, J.A.; Beltrán, R.; Sáinz, A.; Santos, J.C.; de la Torre, M.L.; Borrego, J, (2005). Acid mine drainage and acid rock drainage processes in the environment of Herrerías Mine (Iberian Pyrite Belt, Huelva-Spain) and impact on the Andevalo Dam. *Environmental Geology* 47 (2):pp, 185-196.
- Sainz, A.; Grande, J,A.; de la Torre, M,L;(2003). Odiel River, acid mine drainage and current characterisation by means of univariate analysis, *Environ, Int*, 29, 51- 59.
- Sáinz, A.; Grande, J,A.; de la Torre, M,L, (2004): Characterisation of heavy metal discharge into the ria of Huelva, *Environment international*, 20: 557-566.