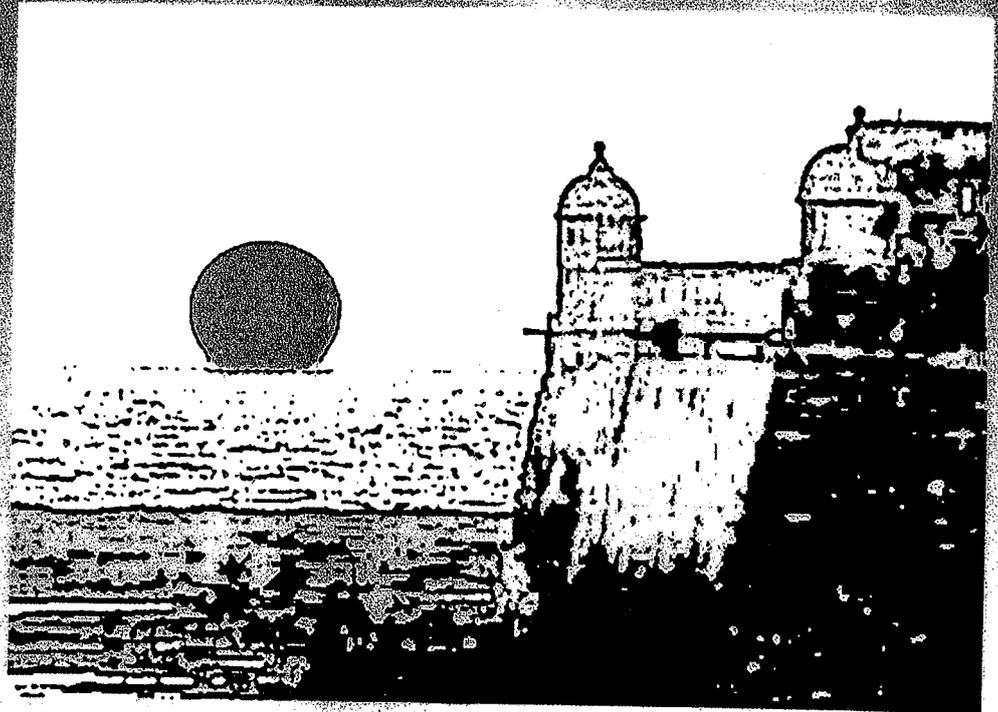


El Agua en Andalucía Retos y avances en el inicio del milenio

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

WEB: www.igmp.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 ACUÍFEROS SUPERFICIALES EN EL 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 DEL 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	ASPECTOS HIDROGEOQUÍMICOS DE ELEMENTOS TRAZA EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LA CIUDAD DE HUELVA (HUELVA, ESPAÑA) Juan Carlos Cerón, Ana María Sánchez de la Campa, Jesús de la Rosa, María Mercedes Baltazar Rojas y Juan Pedro Bolívar	79
3 25	EFECTO DE LA PRESENCIA DE HHCB (Galaxolide ®) EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE AIREACIÓN PROLONGADA Ramón Bouza-Deaño, Manuel López-Sepúlveda y Mauricio Javier Rodríguez-García	91
27	EL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE SAN CRISTÓBAL. ABASTECIMIENTO HISTÓRICO A EL PUERTO DE SANTA MARÍA Y CÁDIZ Antonio Jesús García Guerrero y Alejandro Carreras Costa	99
31	APLICACIÓN DE MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO MUNICIPAL DE AGUAS Manuel Hódar Correa, José Luís García García, Juan Antonio Luque Espinar, Gema Alcaín Martínez y Francisco Serrano Pertíñez	111
39	EXPLOTACIÓN CONJUNTA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES EN LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DEL VÍBORAS-QUIEBRAJANO Francisco Lechuga Arias, Juan de Dios Olid Melero, Javier Ballesteros López y Martín Ochoa Estévez	123
59	PLAN DE CONTROL DE CAPTACIONES DE LA PROVINCIA DE GRANADA Juan Antonio Luque, Juan Carlos Rubio, Crisanto Martín, Gema Alcaín, Jesús Beas, Manuel Hódar, Gerardo Ruiz, M ^a del Mar Villegas y José Luis García	135
67	UNA VISIÓN ACTUALIZADA DE LA SITUACIÓN DE LOS ABASTECIMIENTOS URBANOS MEDIANTE EL USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA PROVINCIA DE JAÉN Crisanto Martín Montañés, Juan Carlos Rubio Campos, Luís Hueso Quesada, Juan Antonio Luque Espinar, Miguel Rosales Peinado y Juan de Dios Olid Melero	147
	EFECTO DE LA AIREACIÓN INTERMITENTE SOBRE LA ELIMINACIÓN DE FÓSFORO EN UN REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL (SBR) Álvaro Real, Ana María García-Martínez, Juan Ramón Pidre y Carlos Aragón	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 Coi 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		
227	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
235	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
247	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
259	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 AGUA 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 <i>LACUS LIGUSTINUS</i> 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 γ-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^a 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^a 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

<p>LA INTERVENCIÓN ROMANA SOBRE LOS MEDIOS RIBEREÑOS. APROXIMACIÓN AL ESTERO DE HASTA REGIA (JEREZ DE LA FRONTERA, CÁDIZ) Daniel J. Martín-Arroyo Sánchez</p>	761	<p>María Fariña Ma EL CURSO BAJO NUEVOS ENFOQ José María Sánch Emiliano Mellad Abrio</p>
<p>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</p>	773	<p>ESTUDIO DE LA SUBTERRÁNEAS MARCO DE LA D Begoña Urresti, I</p>
<p>LA DIVULGACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. UN EJEMPLO APLICABLE A ANDALUCÍA Rosa María Mateos, Inmaculada García-Moreno, Concepción González-Casasnovas y Pilar Mateos</p>	785	<p>SESIÓN V.- PLAN Conferencia</p>
<p>MEDIOAMBIENTE, PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA Y CONFLICTOS DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO CASTRIL (GRANADA) Francisco Moral Martos</p>	795	<p>ANÁLISIS DE LA LA POLÍTICA DE SOSTENIBILIDAD Agustín Argüelle</p>
<p>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^a Emilia Jiménez, Almudena de la Losa y Silvino Castaño</p>	807	<p>Comunicaciones LOS BANCOS PÚBLIC LIMITACIONES DE DE AGUA María Jesús Beltr</p>
<p>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</p>	819	<p>ESTADO ACTUAL DE LOS RÍOS (CÁDIZ) Alejandro Carrer Ignacio Rosso Pé</p>
<p>HOMBRE Y AGUA EN LAS MARISMAS DE DOÑANA: USOS Y TRADICIONES. Antonio Rodríguez-Ramírez y Carmen Contreras Romero</p>	829	<p>USO ILEGAL DEL AGUA San José Carmor Francisco Santo</p>
<p>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</p>	839	<p>ESTADO ACTUAL DEL RÍO SERRAN Alejandro Carrer Antonio Romano</p>
<p>PLAN DE RESTAURACIÓN HIDROLÓGICA Y MEJORA AMBIENTAL DEL ARROYO SALADO DE ESPERA (CÁDIZ) José María Sánchez García, Francisco Javier García-Hernanz, José</p>	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 ^a 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
971	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
983	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
995	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
1005	ACTUALIZACIÓN DEL DEBATE DE LAS SEQUÍAS EN ANDALUCÍA Pilar Paneque Salgado	1103
1029	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
1037	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
	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^a 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 (¹⁸O Y ²H) 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 DE LA CARGA DE UN ACUÍFERO KÁRSTICO EN LA SIERRA DE ALBUÑUELAS
Eulogio Pardo-Igúzquiza, Juan Antonio Luque-Espinar, Juan José Durán, Agustín Robledo-Ardila

MODELACIÓN DE UN ACUÍFERO EN LA SIERRA DE ALBUÑUELAS
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 ALBUÑUELAS Y EL CLIMA
Heriberto Juárez, Emiliano

EFECTOS CLIMÁTICOS EN LA RECARGA DE UN ACUÍFERO KÁRSTICO EN LA SIERRA DE ALBUÑUELAS
Juan Antonio Luque-Espinar, Juan José Durán, Agustín Robledo-Ardila

CARTOGRAFÍA DE LA ESTRUCTURACIÓN DE LAS NIEVES EN LA SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA)
Juan Antonio Luque-Espinar, Eulogio Pardo-Igúzquiza, Carolina

ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE UN ACUÍFERO KÁRSTICO EN LA SIERRA DE ALBUÑUELAS
Eulogio Pardo-Igúzquiza, Juan Antonio Luque-Espinar, Juan José Durán, Agustín Robledo-Ardila

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 ^a 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 HIDRODIFUSIÓN DE L. Vega y R

SESION VII- AG

Exposición

EL PAPEL DE LA AGUA INNOVACIÓN Quiroga

Comunicaciones

EL SISTEMA DE LAS AGUAS S. GEOGRAFICA Salvador Rodríguez

CONSERVACIÓN DEL AGUA

AGUAS DE LA SIERRA DE LAS NIEVES

	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 HIDROGEOLÓGICOS 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 ^a 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^a Romero Pareja, Carlos A Aragón Cruz,
José M^a Quiroga Alonso y M^a 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

Juan Carlos Cerón, José Antonio Grande, María Luisa de la Torre, Teresa Valente y María Santisteban.
SIAGA 2012. Cádiz, 1-3 de octubre de 2012
©Instituto Geológico y Minero de España

ASPECTOS HIDROQUÍMICOS DE LAS AGUAS DEL RÍO COBICA (HUELVA, ESPAÑA)

Juan Carlos Cerón⁽¹⁾, José Antonio Grande⁽¹⁾, María Luisa de la Torre⁽¹⁾, Teresa Valente^(1,2) y María Santisteban⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro de Investigación para la Ingeniería en Minería Sostenible (CIPIMS). Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Huelva. Ctra. Palos de la Frontera s/n, 21819, Huelva, ceron@uhu.es

⁽²⁾ ZCIG-R - Centro de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos Geológicos, Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal

RESUMEN

La cuenca del río Cobica se encuentra dentro de la Faja Pirítica Ibérica. Sus dos afluentes, Higuera y Chorrillo muestran signos de contaminación por drenaje ácido de roca (ARD) y drenaje ácido de mina (AMD) asociados al entorno geológico, con importantes yacimientos de sulfuros masivos y explotaciones mineras abandonadas. Los lixiviados proceden principalmente de mina Herrerías, que estuvo activa hasta febrero de 1989, y causan afección por procesos de AMD al río Cobica, que a su vez vierte al embalse del Andévalo, situado aguas abajo. Se caracteriza la hidroquímica de las aguas del río Cobica a partir de las muestras tomadas en su cauce y en las cuales se determinaron pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos y en suspensión, sulfatos y metales. Posteriormente se aplicaron métodos estadísticos para conocer la relación entre variables. Los resultados obtenidos muestran que en el arroyo Higuera predominan procesos de drenaje ácido de roca, con valores medios de pH de 5,6-7,9, conductividad de alrededor de 0,3 mS/cm, sulfatos de 43 mg/L, Fe de 0,3 mg/L, Mn de 0,1 mg/L, y Zn y Cu por debajo del límite de detección, compatibles con medios ARD. Se encuentra una alta correlación entre pH y conductividad, consecuencia del moderado impacto de la carga metálica en la conductividad. En relación con el arroyo Chorrillo, se concluye que, a diferencia del anterior, está afectado por procesos de AMD. Tiene valores medios de pH de 2-3, conductividad de alrededor de 3,3 mS/cm, sulfatos de 1600 mg/L, Fe de 220 mg/L, Mn de 13,5 mg/L, y Zn y Cu tienen valores altos de concentración, típicos de entornos de AMD. Se observa una correlación baja entre pH y conductividad, debida probablemente a que en este intervalo de pH todos los metales están en disolución.

Palabras clave: drenaje ácido de mina y de roca, hidroquímica, metales, río Cobica, Faja Pirítica Ibérica.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Cobica se encuentra situada en el extremo noroeste de la provincia de Huelva (Andalucía) y tiene como principales afluentes a los arroyos Higuera y Chorrito (Figura 1). A su vez, el río Cobica desemboca en el embalse del Andévalo. El régimen hídrico del río está directamente asociado con la distribución de la precipitación y la naturaleza impermeable de las rocas que afloran en su cuenca; este hecho da al río una característica prácticamente torrencial, con grandes crecidas en invierno y flujo de agua casi nulo en ausencia o escasa precipitación (Grande *et al.* 2005).

Geológicamente, la cuenca del río Cobica se encuentra dentro de la Faja Pirítica Ibérica (FPI), situada dentro del Macizo Ibérico (Figura 2). Dentro de este sector, se diferencian al sur, la Zona Surportuguesa (ZSP), al norte la Zona de Ossa Morena (ZOM) y en su zona meridional sedimentos de la cuenca del río Guadalquivir.

La FPI se encuentra en la parte central de la ZSP y tiene alrededor de 230 km de largo por 50 km de ancho. Está formada por rocas ígneas y sedimentarias de edad Paleozoico Superior y contiene yacimientos de pirita y sulfuros polimetálicos, principalmente de Cu, Pb y Zn (Sáez *et al.*, 2010). Dentro de ella se diferencian El Grupo Culm, el Complejo Volcano-Sedimentario y el Grupo Pizarroso Cuarzítico P-Q (Figura 2).

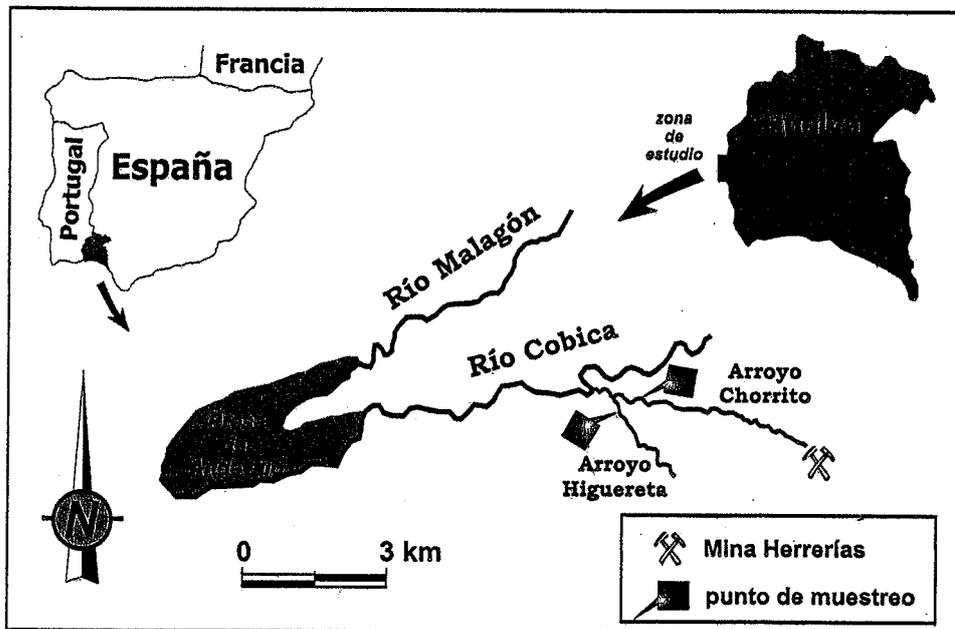


Figura 1. Situación de la zona de estudio.

El Grupo Culm está formado por pizarras, areniscas y conglomerados que muestran características de facies flysch. El Complejo Vulcano-Sedimentario es la unidad más importante desde el punto de vista metalogenético, ya que estratigráficamente los yacimientos de sulfuros masivos y de manganeso se asocian a éste. Su potencia es

irregular, co
constituido
como sulfu
fosilíferas. E
mayoritaria
centimétrica
depósitos d
están consti



Los de
formados p
sido explot
toneladas
Actualment
actividad. D
procesos de
2010), entre

En su
sus lixiviao
vertidos cor
general, de
mineras. M
ambientales
de residuos
del agua. Es
factor deter

El AME
su naturale
remediación

irregular, con espesores de entre 50 y 1000 m, y su edad es Carbonífero inferior. Está constituido por rocas sedimentarias de origen detrítico, vulcanoclástico y químico, tales como sulfuros masivos, jaspes manganesíferos y algunos niveles discontinuos de calizas fosilíferas. El Grupo P-Q tiene un espesor mínimo de 2000 m y es de edad Devónico; está mayoritariamente formado por pizarras oscuras (grises a negras) con intercalaciones centimétricas de areniscas cuarzosas. Por último, en la parte más meridional se tienen depósitos detríticos de la cuenca del río Guadalquivir; son de edad Neógeno superior y están constituidos preferentemente por arenas, gravas, arcillas y calcarenitas.

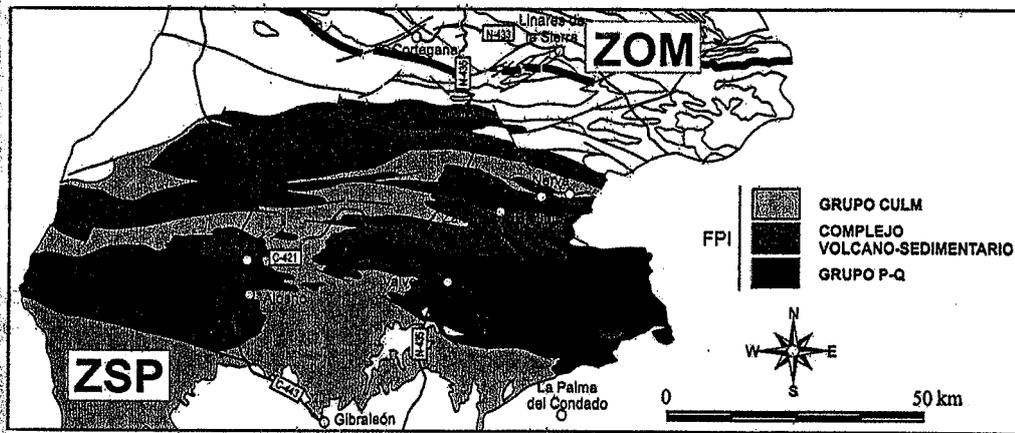


Figura 2. Esquema geológico de la Faja Pirítica Ibérica.

Los depósitos de sulfuros masivos paleozoicos, los más grandes del mundo y formados principalmente por pirita, galena, esfalerita y calcopirita (Sáez *et al.*, (1999) han sido explotados desde hace más de 2000 años, lo que ha generado varios millones de toneladas de depósitos de escoria de diferente composición (Pinedo-Vara, 1963). Actualmente, muchas de las minas han sido abandonadas y otras han mantenido su actividad. De este modo, en la FPI son numerosos los cauces fluviales afectados por procesos de drenaje ácido de roca (ARD) y drenaje ácido de mina (AMD) (Grande *et al.* 2010), entre otros el río Cóbica.

En su cuenca se encuentra la mina Herrerías, actualmente abandonada, y que vierte sus lixiviados contaminantes al arroyo Chorrillo, afluente del río Cóbica (Figura 1). Estos vertidos contaminantes proceden del agua de la mina, de lixiviados de vertederos y, en general, de todos los residuos de pirita dispersa a través de las numerosas operaciones mineras. Mina Herrerías estuvo en explotación hasta febrero 1989, cuando las leyes ambientales en España eran casi inexistentes, por lo que grandes cantidades de todo tipo de residuos se almacenan en el entorno y sin medidas preventivas contra la contaminación del agua. Esto ha dado lugar al desarrollo de efectos de ARD y AMD en el río Cóbica, un factor determinante de la utilización posterior del agua de la presa del Andévalo.

El AMD es uno de los procesos de contaminación del agua más peligrosos debido a su naturaleza, alcance y difícil solución, así como a su alto coste económico de remediación (Azcue, 1999; Younger *et al.*, 2002). Los sulfuros son estables y muy

insolubles en condiciones reductoras. En la naturaleza, la piritita y otros sulfuros asociados permanecen inmóviles en condiciones anóxicas, siendo únicamente removilizados fuera de las zonas mineralizadas en pequeñas cantidades.

La oxidación de sulfuros se produce cuando el mineral es expuesto a la atmósfera. En estas condiciones y ante el aumento de la acidez pasa a sulfatos, a la vez que se liberan hierro, metales y metaloides accesorios (Younger *et al.*, 2002), constituyendo un problema medioambiental mucho mayor. Los ríos afectados por este tipo de contaminación se caracterizan por su acidez, así como por su alta concentración de sulfato y de metales pesados en sus aguas, y por el elevado contenido metálico de sus sedimentos (Lyew y Sheppard, 2001).

2. OBJETIVOS

Para identificar los procesos de drenaje ácido de mina (AMD) y de roca (ARD) en la cuenca del río Cobica, se caracterizan desde el punto de vista hidroquímico las aguas de dos arroyos afluentes, Chorrillo e Higuera. Tiene además interés porque el río Cobica vierte sus aguas en la presa del Andévalo, cuyas aguas se utilizan para suministro público. También se estudia la evolución temporal de las variables que caracterizan la contaminación por AMD y su relación con la evolución de la precipitación.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Se tomaron muestras durante el período de lluvias en los arroyos Chorrillo e Higuera, cuando el agua corría por el cauce. Ambos puntos de muestreo se situaron próximos a la unión de ambos arroyos, cerca de su desembocadura en el río Cobica (Figura 1). En el tiempo de muestreo, el pH y conductividad fueron medidos in situ utilizando un pH-metro Crinson 507 y un conductímetro Crinson 524. Después de las mediciones en campo de pH y conductividad, se tomaron muestras separadas, una para determinar ion sulfato y otra para metales pesados. La muestra para metales fue preservada mediante acidificación con HNO₃ (2%) Suprapur a pH < 2 y se almacenó en frascos de 100 ml de PVC a 4°C, con el fin de mantener los metales en solución durante el transporte al laboratorio. Todas las muestras de agua fueron filtradas con filtros de nylon Millex SLCR 013 (Millipore), con un tamaño entre 0,22 y 0,45 µm.

Todos los reactivos fueron de grado analítico o de calidad Suprapure (Merck, Darmstadt, Alemania). Las soluciones usadas fueron las estándar de Merck, Certificado AA (Merck). En todos los análisis se usó Agua Milli-Q (Millipore, Bedford, MA). Para el análisis de metales se usó un espectrofotómetro de absorción atómica AAnalyst modelo 700 (Perkin-Elmer, Norwalk). El sulfato se determinó con un cromatógrafo iónico DX-120 de Dionex (Sunnyvale, CA, EE.UU.), equipado con una columna analítica (IonPac AS9-HC, 4,250 mm), un detector de conductividad, un inyector automático modelo AS40 y un supresor de columna autogeneradora (ASRS-ULTRA). Los sólidos en suspensión totales y disueltos fueron determinados por gravimetría.

Finalmente
empleando e

4. RESULTADOS

En la tabla 1 se resume este estudio. Los valores en el arroyo Chorrillo son 7,16, alcalinidad 4,46. Con un valor ligero

La media en el arroyo Chorrillo. Se observó una variación de

Media	3,7
Mínimo	0
Máximo	35
Varianza	47,5
Rango	35

Tabla 1. Resumen de los datos en mS/cm; Nivel

Los valores en mg/L; mientras que en el arroyo Higuera. La conductividad en suspensión de

Finalmente se realizó el estudio estadístico de las variables y la matriz de correlación empleando el paquete estadístico Statgraphics Plus para Windows 5.1.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestra el resumen estadístico de las distintas variables utilizadas en este estudio. De este modo, se puede ver que el valor medio de pH en el arroyo Higuiereta es 7,16, alcanzando un mínimo de 5,68 y un máximo de 7,93. Por el contrario, en el arroyo Chorrito el valor medio de pH es de 2,95, con un mínimo de 2,29 y un máximo de 4,46. Con respecto a la varianza, en ambos cauces muestra valores similares, con un valor ligeramente superior en Higuiereta.

La media de la conductividad es en Higuiereta de 0,28 mS/cm y de 3,27 mS/cm en Chorrito. Se observa que la varianza de este último es aproximadamente 400 veces mayor que la de Higuiereta. En cuanto al contenido medio de sulfato, Higuiereta muestra un valor de alrededor de 43 mg/L, mientras que en Chorrito el valor medio es 1583 mg/L, con una variación de cinco veces mayor que la de Higuiereta.

		Arroyo Chorrito									
	P	pH	CE	Nivel	SO ₄	SD	SS	Fe	Mn	Zn	Cu
Media	3,176	2,95	3,271	32,965	1583,14	3291,79	52,588	219,095	13,60	10,32	9,099
Mínimo	0,0	2,29	0,856	26,0	337,5	750,0	10,0	39,5	4,49	4,7	2,6
Máximo	35,0	4,46	5,89	70,0	3453,0	5969,0	128,0	396,3	23,0	18,0	15,0
Varianza	47,709	0,39	1,073	81,850	349121,0	1,228E6	739,138	7514,36	20,46	12,16	8,739
Rango	35,0	2,17	5,034	44,0	3115,5	5219,0	118,0	356,8	18,51	13,3	12,4
		Arroyo Higuiereta									
	P	pH	CE	Nivel	SO ₄	SD	SS	Fe	Mn	Zn	Cu
Media	3,176	7,17	0,288	11,069	42,994	223,651	30,465	0,286	0,03		
Mínimo	0,0	5,68	0,135	7,5	19,07	104,0	0,0	0,0	0,0		
Máximo	35,0	7,93	0,351	30,0	60,3	372,0	150,0	2,817	0,602		
Varianza	47,709	0,47	0,0027	21,471	78,114	4493,57	1873,0	0,249	0,015		
Rango	35,0	2,25	0,216	22,5	41,23	268,0	150,0	2,817	0,602		

Tabla 1. Resumen estadístico de las variables consideradas (P: precipitación en mm; CE: conductividad eléctrica en mS/cm; Nivel: altura del agua en el cauce en cm; SD: sólidos disueltos en mg/L; SS: sólidos en suspensión en mg/L; iones en mg/L).

Los valores medios de sólidos disueltos en Higuiereta (el cauce limpio) son de 223,6 mg/L, mientras que en Chorrito (el flujo ácido) es 3291,8 mg/L. El alto valor alcanzado por la varianza de este parámetro en Chorrito es destacable, 280 veces mayor que el de Higuiereta. Los arroyos Higuiereta y Chorrito muestran un contenido medio de sólidos en suspensión de 30,46 y 52,58 mg/L respectivamente, y el valor de varianza es, en este

caso, dos veces y media mayor en Higuiereta. La concentración media de hierro disuelto en Higuiereta es baja, alrededor de 0,3 mg/L, a diferencia de lo que ocurre en Chorríto, donde llega a 219,1 mg/L; este último valor es unas 800 veces mayor.

La varianza del hierro en el medio ácido (Chorríto) es 25 veces más alta. El manganeso tiene valores medios en Higuiereta de 0,04 mg/L, llegando a 13,6 mg/L en Chorríto; la varianza en este caso también es mayor en el cauce ácido, alrededor de 600 veces más. Finalmente, el resto de los metales (zinc y cobre) muestran una tendencia similar a la del hierro en el cauce ácido, con altos valores medios y una gran variación. En Higuiereta, el zinc y el cobre están por debajo del límite de detección, por lo que no se presentan en este resumen estadístico.

Las tablas 2 y 3 muestran los coeficientes de correlación para cada par de variables determinadas en los dos arroyos. Destaca el hecho de que en ambos cauces la precipitación tiene una alta correlación positiva con el nivel de agua y negativa con la conductividad, siendo esta última superior en Higuiereta que en Chorríto. Con respecto a la conductividad eléctrica, ésta tiene en Higuiereta una correlación negativa elevada con el nivel de agua, mientras que es más moderada en Chorríto; a su vez, es alta y positiva con los sulfatos en ambos arroyos. En el arroyo Chorríto, la conductividad tiene una correlación positiva moderada con los metales (Fe y Mn).

	P	pH	CE	Nivel	SO ₄	SD	SS	Zn	Cu	Fe	Mn
P	1										
pH	0,30	1									
CE	-0,40	0,01	1								
Nivel	0,63	0,47	-0,54	1							
SO ₄ CHA	-0,29	-0,01	0,71	-0,44	1						
SS CHA	-0,47	-0,20	0,78	-0,61	0,75	1					
SD CHA	0,59	0,24	-0,20	0,45	-0,20	-0,21	1				
Zn CHA	-0,35	-0,41	0,56	-0,67	0,46	0,65	-0,15	1			
Cu CHA	-0,41	-0,51	0,64	-0,74	0,64	0,75	-0,34	0,89	1		
Fe CHA	-0,31	-0,20	0,47	-0,39	0,32	0,46	-0,03	0,41	0,39	1	
Mn CHA	-0,32	-0,35	0,56	-0,70	0,50	0,66	-0,21	0,91	0,88	0,31	1

Tabla 2. Coeficientes de correlación de las variables utilizadas (arroyo Chorríto).

En
cursos c
en Higu
los sulf
agua er

De
muestra
asociad
pH, vari
extraorc
proceso

Por
proceso
entre la
fluvial.
negativ
casos, e
iones pe
de gran
cauce c

Tal
del agu
decir, l
simultá
sistema

	P	pH	CE	Nivel	SO ₄	SD	SS	Fe	Mn
P	1								
pH	-0,20	1							
CE	-0,58	0,43	1						
Nivel	0,72	-0,27	-0,87	1					
SO ₄	-0,46	0,50	0,77	-0,66	1				
SD	-0,34	0,34	0,55	-0,38	0,56	1			
SS	0,53	-0,02	-0,42	0,33	-0,26	-0,37	1		
Fe	0,26	-0,38	-0,55	0,48	-0,41	-0,30	0,22	1	
Mn	0,18	0,18	-0,10	0,05	0,03	-0,04	0,30	0,24	1

Tabla 3. Coeficientes de correlación de las variables utilizadas (arroyo Higuiereta).

En cuanto al pH, se puede afirmar que tiene un comportamiento diferente en ambos cursos de agua, ya que esta variable se correlaciona positivamente con la conductividad en Higuiereta, pero no en Chorrillo. En Higuiereta, el pH se correlaciona positivamente con los sulfatos, pero éste no es el caso de Chorrillo. La correlación entre el pH y el nivel de agua en Higuiereta es moderada y negativa, mientras que es positiva en Chorrillo.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el resumen estadístico de las variables muestra la existencia de diferentes respuestas en uno y otro arroyo, y que pueden estar asociadas con fenómenos diferentes. En este sentido, en Chorrillo, los valores medios de pH, varianza, conductividad, sulfato y el contenido de metales muestran un fenómeno de extraordinaria acidificación y disolución de metal en aguas altas, no compatible con procesos de ARD y, en consecuencia, puede estar asociado con procesos de AMD.

Por otra parte, estos valores en Higuiereta pueden estar asociados con la acción de procesos ARD, compatibles con el contexto geológico de la FPI. La matriz de correlación entre las variables permite pensar en la existencia de relaciones causa-efecto en el sistema fluvial. Los coeficientes de correlación entre la precipitación y la conductividad son negativos en ambos cauces, pero muy superior en valor absoluto en Higuiereta. En ambos casos, es evidente que la precipitación provoca una disminución en la concentración de iones por su disolución en agua, y que es más notable en Higuiereta, debido a la ausencia de grandes masas de sulfuros. El mismo fenómeno se puede observar en este mismo cauce cuando se correlaciona la conductividad eléctrica y el nivel del agua.

También en Higuiereta, los valores de pH tienen una correlación negativa con el nivel del agua. Esto se explicaría porque el flujo creciente provoca una disminución del pH; es decir, las precipitaciones hacen que el proceso de acidificación del agua sea casi simultáneo con el aumento del nivel de este arroyo, debido a que no hay vertederos o sistemas mineros que puede retrasar la llegada del agua al cauce.

La ausencia de una correlación entre el pH y la conductividad en Chorrillo es difícil de interpretar. En nuestro caso, la conductividad aparece estrechamente relacionada con el contenido de sulfatos, la presencia de sólidos disueltos y, en menor medida, la carga metálica. En el contexto estudiado, la alta correlación entre pH y conductividad es posible si se admite que el proceso de oxidación de sulfuros genera, por un lado sulfatos (que aumenta la conductividad) y, por otro, iones hidrógeno (que acidifican el agua). Esto puede explicarse teniendo en cuenta que, en los valores de pH registrados (2,29 a 4,46), todos los metales considerados permanecen en solución.

Se puede observar también en Chorrillo una baja correlación entre Fe y los metales Zn y Cu. En muchos ambientes fluviales los oxi-hidróxidos de hierro tienen una gran influencia en el comportamiento y la distribución de los metales pesados, ya que, debido a su gran área superficial, son muy eficientes eliminadores de iones metálicos y, por lo tanto, ejercen un fuerte control sobre la concentración y la migración de estos elementos en aguas naturales.

Esto puede ser debido a que los óxidos de Fe empiezan a precipitar con valores de pH que van desde 3 hasta 4,5, mientras que el resto de los metales permanecen en fase de disolución. En este medio, el pH se mantiene en valores muy bajos, por lo que solamente los óxidos de Fe, y no el resto de los metales, se incorporan en las fases de partículas. Muchos de ellos forman costras ferruginosas y acumulaciones de color amarillento como hematites, que generalmente se sitúan en la orilla de los canales fluviales. Esto también explicaría la correlación negativa de Mn, Cu y Zn con los sólidos disueltos en las muestras de Chorrillo, lo que indica que estos metales permanecen asociados a la fase disuelta y no a la fase particulada.

En la figura 3 se puede ver la evolución en el tiempo (para un intervalo de 80 días) de algunas de las variables consideradas. Así, la precipitación muestra la existencia de episodios de lluvia, con máximos en los días 2, 19, 47 y 70. El nivel del agua, medido en los dos arroyos y condicionado principalmente por la evolución de la precipitación en las cuencas, muestra comportamientos muy similares en ambos, con gran aumento del nivel en los días 47 y 70. El ascenso de nivel es rápido en ambos; sin embargo, en Higuera el flujo original se recupera en el tiempo de forma casi inmediata, mientras que en Chorrillo la recuperación es más suave.

La evolución del pH es diferente en las cuencas del río Chorrillo (ácido) e Higuera (limpio). En el primero, partiendo de valores cercanos a pH 3,5, éste se mantiene en torno a estos valores con pequeñas oscilaciones hasta el día 19, cuando se produce una notable disminución de los valores de pH cercanos a 2, permaneciendo allí hasta el final del periodo de muestreo, con la excepción de dos subidas inmediatas a pH 3,5 en los días 47 y 70. En Higuera se tiene una evolución diferente: a partir de valores de alrededor de pH 6, sigue siendo prácticamente constante hasta el día 20, cuando aumenta alrededor de pH 7 hasta el final de la serie, con la excepción de dos descensos en los días 47 y 68.

La evolución temporal de la concentración de sulfato es similar en ambas cuencas, estando lógicamente afectada por una mayor concentración en Chorrillo. Finalmente, el contenido de hierro evoluciona de forma diferente de acuerdo con el arroyo considerado,

con variaciones :
otro arroyo
corresponde
Chorrillo.

Chorrito es difícil de relacionar con el aumento de la precipitación, ya que la carga de sulfatos (que quedan en el agua) en los días 2,29 a 4,46.

Fe y los metales pesados tienen una gran movilidad ya que, debido a su naturaleza catiónica y, por lo tanto, a estos elementos.

Los valores de pH permanecen en fase de estancamiento, por lo que en las fases de inundación de los canales con los sólidos que permanecen.

En los días 0 a 80 de la existencia de agua, medido en precipitación en el aumento del nivel, en Higuera y que en Chorrito.

En Higuera y Chorrito se mantiene en torno a 5,5 hasta el final de los días 47 y 68, alrededor de 5,5 y 5,5.

En ambas cuencas. Finalmente, el río considerado.

con variaciones mayores e irregulares en Chorrito, mientras que en Higuera las variaciones son mucho más discretas y los máximos y mínimos no coinciden con los del otro arroyo. Para estos dos iones, se puede observar que los aumentos de pH se corresponden con la disminución de sus concentraciones, y que son más destacados en Chorrito.

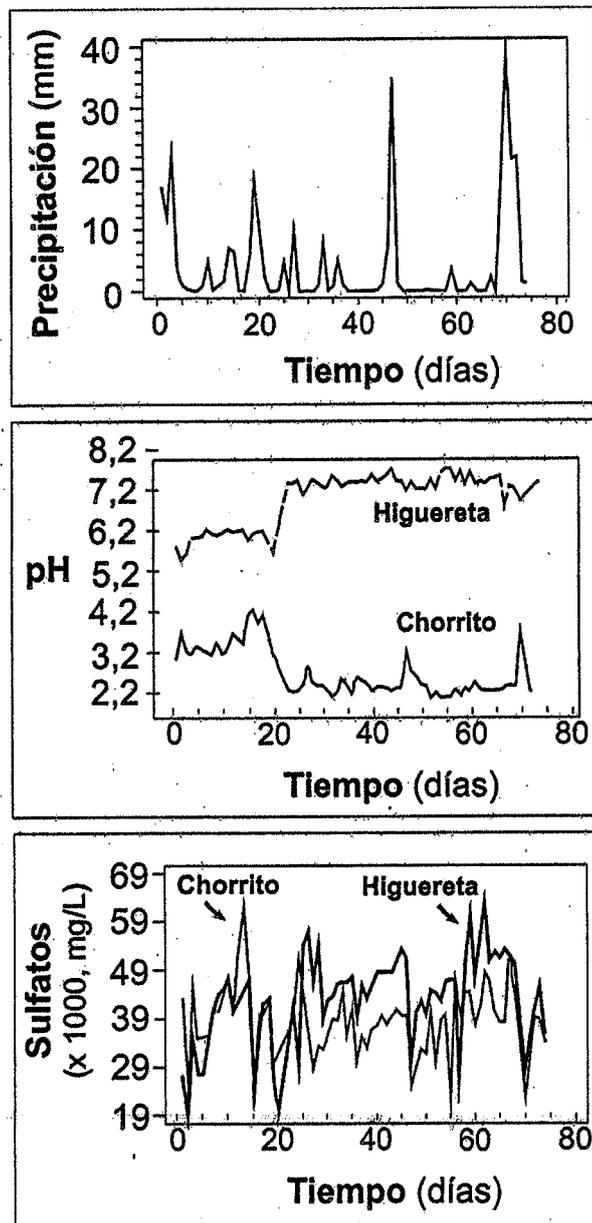


Figura 3. Evolución temporal de algunas de las variables estudiadas.

5. CONCLUSIONES

Para este sector de la red fluvial del río Cobica se tienen dos cauces con distinto comportamiento: el arroyo Higuera, con procesos de ARD y el arroyo Chorrito con procesos de AMD.

En Higuera, la media de valores de pH oscila desde 5,6 hasta 7,9. Se tienen valores medios de conductividad de alrededor de 0,3 ms/cm, Fe de 0,3 mg/L, Mn de 0,1 mg/L y sulfatos de 43 mg/L. Los metales Zn y Cu están por debajo del límite de detección, compatible con ambientes ARD. Se observa una alta correlación entre pH y conductividad, como consecuencia del moderado impacto de la carga de metales en la conductividad. La precipitación causa un proceso de acidificación casi inmediato debido al lavado de los afloramientos superficiales de sulfuro, y que se estima puede tener lugar durante 3 días, y en ausencia de vertidos de residuos y trabajos mineros que pueden retrasar la llegada de agua al cauce.

En Chorrito, claramente distinto al anterior, los valores medios de pH no llegan a 3, con mínimos cercanos a 2. La conductividad está cerca de 3,3 mS/m y la varianza es de 400

veces mayor que en medios ARD (Higuera). El contenido medio de Fe está cerca de 220 mg/L (800 veces mayor), el Mn supera los 13,5 mg/L y los sulfatos alcanzan los 1600 mg/L (37 veces mayor que en ARD). Zn y Cu tienen altas concentraciones, compatibles con entornos de AMD. En contraste con el comportamiento observado en un entorno de ARD y para lo que cabría esperar, no hay una correlación entre el pH y conductividad, probablemente porque en el intervalo de pH de este agua, prácticamente todos los metales están en disolución.

La precipitación provoca al principio un aumento del pH, debido a la inicial dilución de las aguas de los cauces sin una sustancial entrada de iones. Desde el día tercero se produce una disminución en el pH, que se corresponde con la descarga de agua de los vertederos de residuos y los trabajos de minería en mina Herrerías, y se estima que dura 15 días. Se puede esperar que con la llegada de agua del entorno de la mina al resto de la cuenca tenga lugar el aumento brusco del pH, dada la gran extensión de la cuenca vertiente. Este aumento de pH se traducirá en una reducción significativa de la capacidad de disolución del agua de mezcla, lo que hará que la carga metálica transportada precipite. En cualquier caso, la carga de metales y de sulfatos se acumulará en la cuenca, los cuales siempre estarán sujetos a las variaciones de pH del medio, condicionando así la composición química del agua y de los sedimentos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España, Proyectos REN2002-01897/HID y CGL2010-21268-C02-01, y por la Junta de Andalucía, Proyecto RNM-6570.

REFERENCIAS

- Azcue, J.M. (1998) 135 p.
- Grande, J.A., E. Acuña, J. Herrero, J. Herrera: *Environmetrics*
- Grande, J.A., J. Acuña, J. Herrero: *hydrochemical and geochemical characteristics of the generated acid mine drainage*
- Lyew, D. y Sheppard: *acid mine drainage*
- Pinedo-Vara, I.: *Madrid, España*
- Sáez, R., Pascual, R.: *sedimentación de sulfuros*
- Sáez, R., Moreno, R.: *Drainage de sulfuros*
- Younger, P.L.: *Pollution*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azcue, J.M. (1999). *Environmental Impacts of Mining Activities*. Springer Verlag, Berlín, 135 p.
- Grande, J.A., Beltrán, R., Sániz, A., Santos, J.C., de la Torre, M.L. y 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: 185-196.
- Grande, J.A., de la Torre, M.L., Cerón, J.C., Beltrán, R. y Gómez, T. (2010): Overall hydrochemical characterization of the Iberian Pyrite Belt. Main acid mine drainage-generating sources (Huelva, SW Spain). *Journal of Hydrology*, 390: 123-130.
- Lyew, D. y Sheppard, J. (2001): Use of conductivity to monitor the treatment of acid mine drainage by sulphate-reducing bacteria. *Water Research*, 35(8): 2081-2086.
- Pinedo-Vara, I. (1963): *Piritas de Huelva. Su historia, minería y aprovechamiento*. Summa, Madrid, 1003 p.
- Sáez, R., Pascual, E., Toscano, M. y Almodóvar, G. (1999): The Iberian type of volcano-sedimentary massive sulphide deposits. *Mineralium Deposita*, 34: 549-570.
- Sáez, R., Moreno, C., González, F. y Almodóvar, G. (2010): Black shales and massive sulfides: causal or casual relationships? Insights from Rammelsberg, Tharsis, and Draa Sfar. *Mineralium Deposita*, DOI 10.1007/S00126-010-0311-X, 1-30.
- Younger, P.L., Steen, Banwart, S.A. y Hedin, R.S. (2002): *Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation*. Kluwer Academic Publishers, London, 442 p.