

Capítulo 5

Caracterización hidrogeoquímica

Los resultados mostrados en este capítulo se encuentran en la publicación:
Robles-Arenas VM, Rodríguez R, García C, Candela L
Hydrogeochemical characterization and spatial-temporal evolution of groundwater in a fractured aquifer affected by mining activities (Sierra de Cartagena-La Unión, SE Spain)
(en preparación)



En la Figura 5.1 también se han representado los volúmenes de precipitación registrados en la estación meteorológica situada en el Puerto de Cartagena al SW del área de estudio; no ha sido posible la toma de muestras en esta estación dado que dispone de un medidor automático, y carece de depósito colector. Se puede comprobar que la estación termo-pluviométrica del Algar registró menos eventos lluviosos pero más abundantes que las demás estaciones, especialmente respecto a la estación del Puerto, única estación ubicada en la vertiente Sur. El volumen total obtenido para este periodo, Oct-2003/Abr-2004, es de 510.6 mm para el Algar, 530 mm para Cabo de Palos y 335 mm para la estación del Puerto. Se debe indicar que este periodo pertenece en un año hidrológico con una precipitación superior a la media.

Los datos hidroquímicos medios del agua muestreada en las estaciones del Algar y Cabo de Palos se indican en la Tabla 5.2 y en el Anejo II. La composición de las muestras varía desde clorurada-sódica a bicarbonata-cálcica, las muestras de la estación de Cabo de Palos presentan una mayor concentración en ion cloruro 4-72 mg/L, dada su proximidad al mar y a las salinas; para la estación del Algar la concentración de cloruro oscila ente 2-21 mg/L.

Se ha detectado la presencia de metales en algunas muestras, los valores máximos alcanzados en las muestras recogidas en Cabo de Palos son 20 µg/L de Fe, 40 µg/L de Mn, 10 µg/L de Ni, 150 µg/L de Cu, 140 µg/L de Zn, 40 µg/L de Cd y 30 µg/L de Pb, y para las muestras de la estación del Algar son 10 µg/L de Fe, 40 µg/L de Mn, 10 µg/L de Ni, 70 µg/L de Cu, 60 µg/L Zn, 10 µg/L de Cd y 70 µg/L de Pb. En las muestras del Algar a pesar de presentar en términos generales una mineralización menor que las procedentes de la estación de Cabo de Palos, la concentración de Pb presenta un valor medio mayor, probablemente condicionado por el hecho de encontrarse la estación en un núcleo urbano, donde el origen del Pb puede estar relacionado con el tráfico rodado.

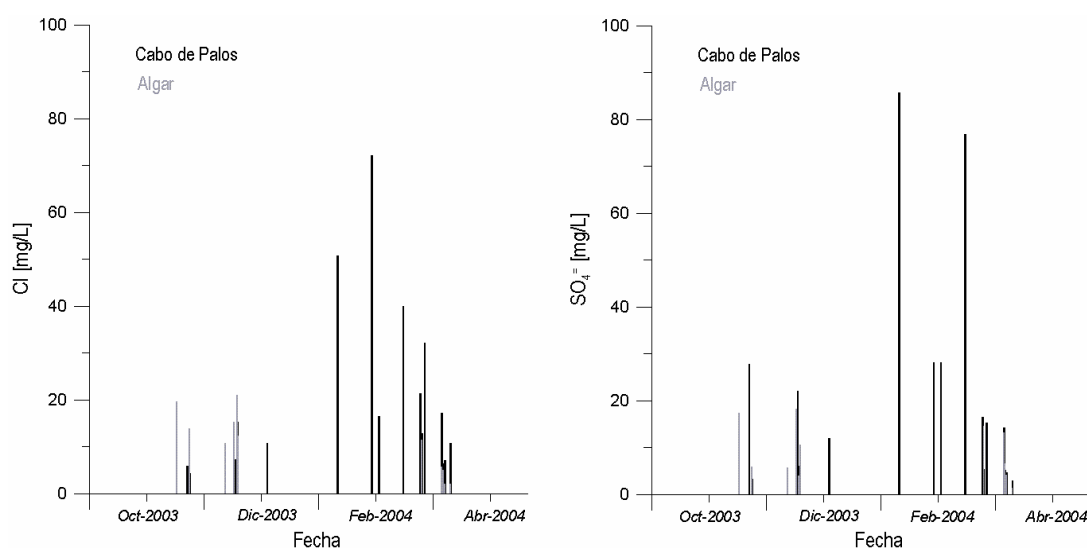


Figura 5.2 Concentración de sulfato y cloruro en los eventos de lluvia muestreados en las estaciones termo-pluviométricas de Cabo de Palos y El Algar

En la Figura 5.2 se puede comprobar como la concentración de sulfato y cloruro es mayor tras un periodo de tiempo sin precipitaciones, y como disminuye la mineralización del agua tras un periodo de precipitaciones más o menos continuo, como sucede a partir del mes de Febrero, ya que la primera precipitación tras un periodo prolongado recoge toda la deposición seca acumulada en el pluviómetro junto con la húmeda correspondiente al evento lluvioso, que a su vez se ha enriquecido en las partículas presentes en la atmósfera, indicando el lavado atmosférico. Este efecto se observa con mayor claridad para las muestras de la estación de Cabo de Palos.

Tabla 5.1 Características hidroquímicas de las muestras de agua de lluvia recogidas en el periodo comprendido entre Octubre de 2003 y Abril de 2004 en las estaciones pluviométricas del Algar y Cabo de Palos. Se muestran las determinaciones realizadas en las muestras de agua recogidas en dos bidones ubicados en ambas vertientes de la Sierra de Cartagena-La Unión para la cuantificación de la deposición total atmosférica durante un año

	Estación: Cabo de Palos		Estación: Algar		Bidón Sur	Bidón Norte
	Med. Arit.	D.T.	Med. Arit.	D.T.		
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	178	197	84	33	106	180
pH	7.0	0.4	6.8	0.4	7.3	8
TAC (mg/L de CO_3Ca)	45	67	13	7	22	33
DUR (mg/L de CO_3Ca)	26	23	21	10	37	60
TSD (mg/L)	137	152	23	19	80	120
CO_3H^- (mg/L)	20	69	15	8.6	27	40
SO_4^{2-} (mg/L)	21	22	9.8	5.9	12	24
Cl^- (mg/L)	18	17	13	6.3	10	15
Na^+ (mg/L)	8.6	8.5	5.2	3.1	4.3	8.2
K^+ (mg/L)	4.1	8.3	0.4	0.2	0.9	0.8
Ca^{2+} (mg/L)	6.6	6.3	4.8	2.6	13	19
Mg^{2+} (mg/L)	2.6	2.8	2.2	1.8	1.6	3.1

Med. Arit.: media aritmética D.T.: desviación típica

El enriquecimiento o empobrecimiento en determinados elementos que durante su transporte sufren masas de aire y las nubes, que posteriormente darán lugar a la precipitación, puede ser evaluado a partir de un factor de fraccionamiento. Este factor de fraccionamiento se calcula a partir del cociente de la relación de cada elemento con el ion cloruro en el agua de precipitación y el agua de mar ($F_{\text{Na}} = (\text{Na}/\text{Cl})_{\text{luzvia}} / (\text{Na}/\text{Cl})_{\text{mar}}$). La precipitación de las zonas próximas a la costa debe tener una concentración similar a la del agua de mar aunque mas diluida (Appelo y Postma 1993).

Para el área de estudio se comprueba que el agua de lluvia sufre un enriquecimiento en todos los iones analizados con respecto a las relaciones en el agua de mar, con la excepción de las muestras donde se registraron concentraciones mínimas en las que se tiende a mantener la proporción del agua de mar (Tabla 5.2). El aumento relativo más evidente corresponde a la concentración de bicarbonato, especialmente en la estación del Algar, y el enriquecimiento en sulfato, de mayor entidad en la estación de Cabo de Palos. El Ca aumenta de forma semejante en ambas estaciones. Los valores obtenidos indican que, aunque se trate de precipitaciones muy próximas a la línea de costa, el agua de precipitación

ha captado y arrastrado materia particulada de la atmósfera, se ha enriquecido en determinados elementos, especialmente en CO_3H^- , Ca^{2+} y SO_4^- , presentes en la superficie del terreno del área de estudio.

Tabla 5.2 Rango de variación de los factores de fraccionamiento para el agua de precipitación de cada estación con respecto al agua de mar. Se ha tomado una concentración media del agua del mar Mediterráneo (Custodio y Llamas 1983)

Estación		Fraccionamiento ($F_x = (X/Cl)_{\text{lluvia}} / (X/Cl)_{\text{mar}}$ en meq/L)				
		$F_{\text{CO}_3\text{H}^-}$	$F_{\text{SO}_4^-}$	F_{K^+}	$F_{\text{Ca}^{2+}}$	$F_{\text{Mg}^{2+}}$
Cabo de Palos	máximo	890	35	23	117	11
	mínimo	114	2	1	4	1
El Algar	máximo	2070	17	6	118	5
	mínimo	64	1	1	9	1

En los bidones emplazados en Septiembre de 2005, como se explica en el capítulo 3, se ha obtenido tanto la deposición seca como la húmeda producida durante un año. En la Tabla 5.1 se muestran los resultados de los análisis del agua acumulada en los bidones, ubicados en cada vertiente de la Sierra de Cartagena-La Unión. La facies es bicarbonatada cálcica y la mineralización en algunos casos es superior a la media calculada para los eventos muestreados en las estaciones termo-pluviométricas, especialmente respecto a las concentraciones determinadas en el bidón Norte. En ambos bidones se ha obtenido una concentración de ion calcio muy superior al doble de la concentración media de los eventos lluviosos. La concentración de metales es: 0.0001 mg/L de Ni para ambos bidones, 0.004-0.005 mg/L de Cu, 0.02-0.05 mg/L de Zn, 0.0004-0.0003 mg/L de Cd y 0.001-0.0006 mg/L de Pb respectivamente en el bidón Norte y el bidón Sur.

Para conocer el aporte por deposición seca y húmeda de un determinado elemento se calcula la deposición total de una determinada sustancia mediante la expresión:

$$A = C \cdot \frac{1}{S} \cdot V$$

Donde:

A, es la deposición total (mg/m^2)

C, la concentración de la sustancia (mg/L)

S, la superficie del colector (m^2)

V, es el volumen de precipitación recogido (L)

Con este cálculo se obtiene que la deposición total anual de ion cloruro oscila entre $1.37 \text{ g}/\text{m}^2$ (bidón Sur) y $1.5 \text{ g}/\text{m}^2$ (bidón Norte). También se ha calculado la deposición total de sulfato, por ser un ion representativo de la contaminación en zonas mineras de sulfuros (Gray 1996, Heikkinen et al. 2002), y varía entre $1.58\text{-}2.33 \text{ g}/\text{m}^2$. Se alcanza un valor más elevado que en el caso del ion cloruro, aunque en el

agua de mar su concentración es aproximadamente siete veces mayor que la de sulfato, en este caso se observa claramente que el agua almacenada en los bidones se ha enriquecido relativamente en sulfato respecto al cloruro, llegando a ser la concentración de sulfato 1.5 veces mayor que la de cloruro. El enriquecimiento se debe al aporte de la deposición húmeda, ya que las partículas de vapor toman gases y partículas de polvo desde su formación hasta su precipitación, y por la deposición seca, mayoritariamente, debido al transporte eólico de la fracción fina del material existente en el terreno, donde cabe destacar la presencia de importantes acumulaciones de residuos mineros. Estas acumulaciones se caracterizan por presentar minerales de azufre, sobre ellas se pueden desarrollar eflorescencias salinas, ricas en sulfatos, fácilmente erosionables. La facies del agua es bicarbonatada cálcica, también se ha estimado la deposición total anual del ion bicarbonato que oscila entre 3.6-3.96 g/m². Este enriquecimiento se debe a que los materiales carbonatados son los más abundantes en la superficie natural del terreno.

5.1.2 Escorrentía superficial

Entre Octubre de 2003 y Abril de 2004 sólo se produjo escorrentía superficial durante 5 eventos lluviosos, de los registrados en la tres estaciones pluviométricas más próximas a la Sierra de Cartagena-La Unión. En estos cinco eventos se superaron los 30 mm de precipitación en las tres estaciones. Se dispone de información hidroquímica de escorrentía superficial de uno de estos eventos, se trata de 6 muestras recogidas en tres puntos en la vertiente Norte y otros tres en la vertiente Sur, en distintos puntos del cauce de las ramblas del Beal y Gorguel (García 2004; Fig. 5.3, Anejo II).



Figura 5.3 Muestreo del agua de escorrentía superficial en la rambla de Portman

El análisis de estas muestras indica una alta concentración de sulfato, el alto contenido de total de sólidos disueltos y una elevada conductividad eléctrica. El pH es ácido y existen concentraciones considerables de algunos metales (Zn, Fe) como muestra la Tabla 5.3. La mitad de las muestras presentan una facies hidroquímica sulfatada-magnésica y el resto sulfatada-cálcica. Las muestras de la vertiente N presentan

los valores más bajos de pH [2.6-3.2] y mayores concentraciones en los metales Fe, Ni, Cd y Pb, mientras que las muestras de la vertiente S muestran mayores concentraciones de Mn, Zn y Sr.

Tabla 5.3 Características hidroquímicas de las muestras de escorrentía superficial recogidas en Octubre de 2003 (García 2004). Med. Arit.: media aritmética D.T.: desviación típica

	Vertiente Norte (3 muestras)		Vertiente Sur (3 muestras)	
	Med. Arit.	D.T.	Med. Arit.	D.T.
CE ($\mu\text{S/cm}$)	5013	1913	5264	1576
pH	3	0.35	4.2	1.30
TAC (mg/L de CO_3Ca)	-	0	5.7	9.87
DUR (mg/L de CO_3Ca)	2414	448	2232	1725
TSD (mg/L)	5607	2826	6388	2632
CO_3H^- (mg/L)	-	0	7.0	12
SO_4^- (mg/L)	5000	2728	5050	2468
Cl^- (mg/L)	76	16	131	83
NO_3^- (mg/L)	10	5.88	4.1	5.58
Na^+ (mg/L)	36	6.24	67	54
K^+ (mg/L)	1	0.81	2.6	2.83
Ca^{2+} (mg/L)	477	18	440	47
Mg^{2+} (mg/L)	297	119	417	175
B (mg/L)	0.3	0.11	0.2	0.05
Fe total (mg/L)	1.9	0.52	1.2	1.00
Mn (mg/L)	62	10	113	78
Ni (mg/L)	0.8	0.65	0.4	0.53
Zn (mg/L)	60	40	73	56
Cd (mg/L)	1.5	1.26	-	1.17
Pb (mg/L)	0.6	0.33	0.4	0.24
Sr (mg/L)	1	1.14	1.7	1.36

5.1.3 Cortas mineras

En el área de estudio se excavaron 12 cortas mineras (Tabla 4.1), y tres de ellas presentan un lago interior (open-pit lake). Se han muestreado los dos lagos de mayor entidad, correspondientes a la corta Brunita y a la corta los Blancos II (Fig. 5.4, 5.5). Las muestras se han recogido en la orilla de cada lago. Existe un tercer lago en el interior de la corta Gloria, aunque no se ha considerado para el estudio hidroquímico por su escasa entidad y carácter efímero.

Las muestras se clasifican de acuerdo a los componentes mayoritarios como sulfatado-magnésicas, están altamente mineralizadas y presentan pH ácido. En la Tabla 5.4 se observan los resultados de los análisis de las muestras de ambos lagos.



Figura 5.4 Lago desarrollado en la corta Los Blancos II

Tabla 5.4 Características hidroquímicas del agua recogida en los lagos desarrollados en dos cortas mineras y en la mina Agrupa Vicenta. Concentración media de los 105 pozos mineros muestreados

	Lagos		Pozos mineros	Mina	
	Brunita	Los Blancos II	Med. Arit.	D.T.	Agrupa Vicenta
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	10390	9110	5081	3610	33700
pH	2.53	3.03	6.3	1.6	2.15
TAC (CO_3Ca mg/L)	0	0	184	160	0
DUR (CO_3Ca mg/L)	8034	6150	2557	2294	19289
TSD (mg/L)	12850	11936	5395	5675	94675
CO_3H^- (mg/L)	0	0	225	195	0
SO_4^{2-} (mg/L)	9516	9650	3067	4816	79360
Cl^- (mg/L)	593	263	757	942	1258
NO_3^- (mg/L)	9.43	2.08	8.80	18	907
Na^+ (mg/L)	390	162	373	327	105
K^+ (mg/L)	10	4.62	24.10	37	4.7
Ca^{2+} (mg/L)	449	508	354	180	103
Mg^{2+} (mg/L)	1678	1185	396	500	4621
NH_4^+ (mg/L)	0	0	0.9	4.48	0.02
B (mg/L)	0.6	0.28	0.5	0.66	nd
Fe total (mg/L)	72	0	19.3	128	nd
Mn (mg/L)	85	93	26.2	72	nd
Ni (mg/L)	0.70	1.05	0.3	1.07	nd
Zn (mg/L)	160	582	152	571	nd
Cd (mg/L)	0.16	0.96	2.50	1.91	nd
Pb (mg/L)	0.17	0.77	0.10	0.36	nd
Sr (mg/L)	4.32	4.01	2.44	1.9	nd

Med. Arit.: media aritmética D.T.: desviación típica (nd) no disponible

5.1.4 Pozos mineros

En la Tabla 5.4 y Anejo II se muestran las características hidroquímicas de las muestras procedentes de los pozos mineros, donde se puede comprobar la gran variabilidad existente en las concentraciones de los componentes mayoritarios y metales. Esto es debido a la evolución que puede sufrir el agua durante su infiltración y flujo subterráneo, dada la alta heterogeneidad del medio y las distintas condiciones hidroquímicas e hidrodinámicas existentes. En estas muestras se ha analizado el agua existente en los pozos, ya que por razones técnicas en ninguno de los casos se pudo realizar un bombeo previo.

Tampoco ha sido viable tomar la muestra a una profundidad determinada de la columna de agua, dada la imposibilidad de lanzar el emisario que cierra el toma-muestras por la cruceta que hay que colocar en la boca del pozo, debido al gran diámetro del mismo (Fig. 3.2). En la Tabla 5.4 también se han incluido los datos del agua recogida en la mina Agrupa Vicenta (Fig. 5.6), caracterizada por tener una facies hidroquímica sulfata-magnésica, con un contenido muy elevado de sulfato próximo a los 80 g/L, una conductividad eléctrica de casi 34 mS/cm y pH=2.

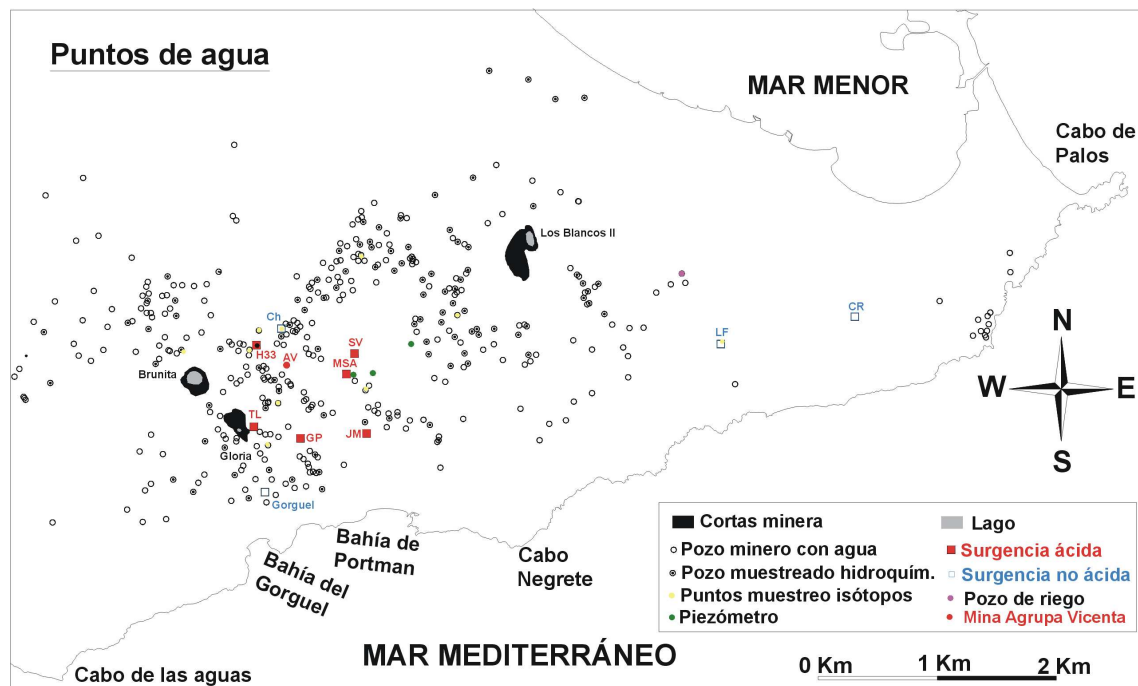


Figura 5.5 Situación de los puntos de agua inventariados en el área de estudio; pozos, surgencias, lagos, piezómetros y un pozo de riego. Lagos: Brunita, Gloria y Los Blancos II. Surgencias ácidas: TL, Túnel Lilian; H33, Horno Ctra. del 33; GP, galería Portman; MSA, Molienda Semiautógena; SV, San Valentín; JM, Túnel José Maestre. Surgencias no ácidas: Ch, El Chorrillo; LF, La Fuente; CR, Calzada Romana; Gorguel

La principal facies hidroquímica del agua muestreada en los pozos mineros es sulfatado-magnésica para un 18 % de las muestras, sulfatada-(magnésico cálcica) en el 15 %, otro 15 % responde a una facies sulfatada-(cálcico magnésica), un 8 % a clorurada-sódica, y el resto responde a una combinación de los componentes mayoritarios como lo indica la Figura 5.7.

El contenido en metales de las muestras de los pozos mineros muestra un amplio rango de valores, como se ha indicado previamente, debido a la gran heterogeneidad del medio y de las condiciones existentes; por ejemplo el pH varía entre 1.9-7.8. El metal mas detectado es el Mn, su concentración aparece bajo los límites de detección en sólo 11 de las 105 muestras analizadas, y alcanza un valor máximo de 436 mg/L, el segundo metal mas representado es el Zn, que alcanza una concentración de 4090 mg/L.



Figura 5.6 Galerías de la Mina Agrupa Vicenta (Foto de García 2004)

Sólo en 12 muestras están presentes todos los metales analizados. Estos pozos se localizan en el entorno de las cortas mineras. En el documento IGME (1996) se indica que la concentración de metales en las muestras procedentes de pozos mineros ubicados en la mitad occidental de la Sierra de Cartagena-La Unión se encuentran bajos los límites de detección para el Hg, Se y Sb, mientras que las concentraciones máximas alcanzadas por distintos metales son las siguientes: 1560 mg/l de Fe, 300 mg/l de Mn, 2322 mg/L de Zn, 1.1 mg/L de As, 3.64 mg/L de Cd, 0.14 mg/L de Cr, 2 ,g/L de Pb y 170 mg/L de Al (Anejo II).

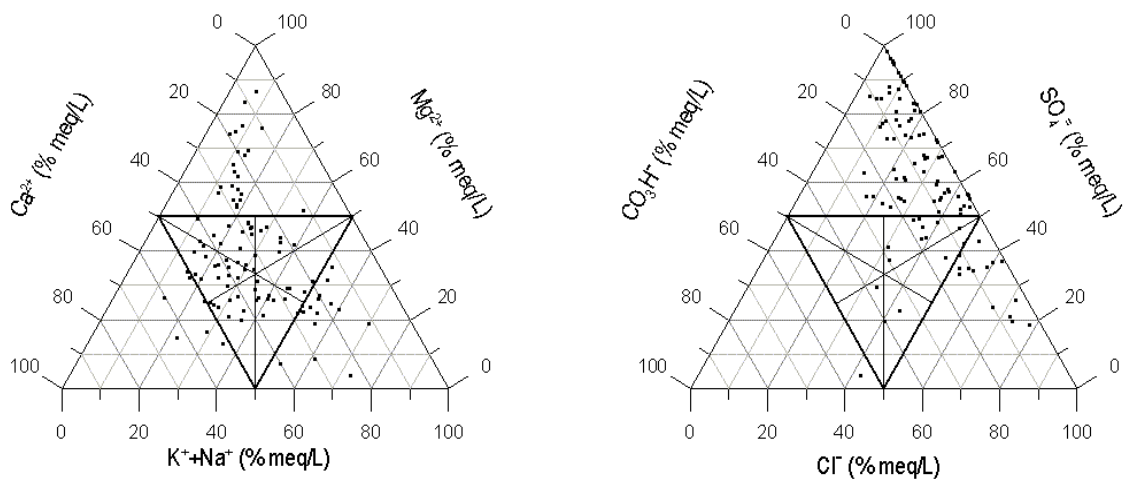


Figura 5.7 Facies hidroquímicas de las muestras de agua recogidas en pozos mineros

5.1.5 Surgencias

5.1.5.a Surgencias ácidas

Las surgencias ácidas se caracterizan por una alta conductividad eléctrica, dureza y total de sólidos disueltos (Tabla 5.5; Anejo II). La facies hidroquímica es sulfatada-magnésica o sulfatada-(magnésico cálcica), y los metales mas representados son el Zn, Mn y Fe. Su situación se observa en la Figura 5.5.

5.1.5.b Surgencias no ácidas

En la Tabla 5.5 y Anejo II se muestran los resultados de los análisis de las muestras procedentes de los manantiales La Fuente y el Chorrillo, (los más visitados por los habitantes de los alrededores), donde se consume y recoge agua para su consumo posterior asiduamente. La localización del resto de surgencias se puede observar en la Figura 5.5.

Tabla 5.5 Características hidroquímicas de las surgencias muestreadas. MSA: Molienda Semiautógena. R.D. 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano

	Surgencias ácidas				Surgencias no ácidas		R.D. 140/2003
	San Valentín	MSA	Portman	Lilian	La Fuente	Chorrillo	
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	7360	6580	5010	9010	791	2040	2500
pH	4.73	3.71	5.67	2.30	7.59	7.67	6.5-9.5
TAC (CO_3Ca mg/L)	0	0	17	0	189	325	
DUR (CO_3Ca mg/L)	6038	4018	3530	4163	224	441	
TSD (mg/L)	7168	6385	5864	12429	593	1588	
CO_3H^- (mg/L)	16.02	26	20	0	230	397	
SO_4^{2-} (mg/L)	6805	5215	4234	10736	68	428	250
Cl^- (mg/L)	313	354	227	131	122	290	250
NO_3^- (mg/L)	0	0	0	9.11	4.24	0.94	50
Na^+ (mg/L)	181	164	129	44	85	300	200
K^+ (mg/L)	7.54	5.62	6.30	1.13	2.27	1.59	12
Ca^{2+} (mg/L)	372	401	449	139	36	108	100
Mg^{2+} (mg/L)	1240	732	584	926	32	41	50
NH_4^+ (mg/L)	<0,04	<0,04	0.08	0	0.01	0	0.5
B (mg/L)	0.78	1.08	0.26	1.49	0.16	0.43	0.1*
Fe total (mg/L)	35	535	0.01	2.97	0	0.01	0.200
Mn (mg/L)	282	139	203	392	0.03	0.02	0.05
Ni (mg/L)	nd	nd	nd	1.08	nd	nd	0.05**
Zn (mg/L)	171	278	nd	838	nd	nd	0.1*
Cd (mg/L)	0.38	0.56	nd	2.27	nd	nd	0.005**
Pb (mg/L)	<0,10	1.36	nd	1.08	nd	nd	0.05**
Sr (mg/L)	nd	nd	nd	0.33	nd	nd	

(nd) no disponible (*) Nivel guía y (**) concentración máxima admisible por el R.D. 1138/1990

5.1.6 Otros puntos de agua

En la Tabla 5.6 y en el Anejo II se muestran los datos hidroquímicos disponibles de otros puntos de agua, correspondientes a tres piezómetros y una captación de agua para riego. Su ubicación se muestra en la Figura 5.5.

5.1.6a Piezómetros

La única información disponible son sus datos hidroquímicos (Tabla 5.6; Anejo II) y longitud de un modo aproximado, comprendida entre 50-150 m. La facies hidroquímica aniónica del agua muestreada es clorurada y sulfatada, y la catiónica magnésico-sódica y magnésico-cálcica. El pH es ligeramente ácido y la concentración de metales no es tan elevada como en algunos pozos mineros (Tablas 5.4 y 5.6).

5.1.6b Pozo para riego

Este pozo fue muestreado en Junio de 2004 tras treinta minutos de bombeo. Como se observa la conductividad eléctrica y total de sólidos disueltos son elevados y su facies es clorurada-sódica. El riesgo de salinización que tiene la aplicación de este agua para un suelo se calcula en el último apartado de este capítulo (5.4 Evaluación de la calidad del agua muestreada).

Tabla 5.6 Características hidroquímicas del agua muestreada en tres piezómetros y un pozo para riego

	Piezómetros		Pozo de riego	
	P-1	P-2	P-3	CN
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	14640	2260	4570	5320
pH	6.6	5.4	5.9	7.3
TAC (CO_3Ca mg/L)	0	0	0	170
DUR (CO_3Ca mg/L)	7509	983	3237	1448
TSD (mg/L)	12844	1787	4028	3874
CO_3H^- (mg/L)	636	20	51	207
SO_4^- (mg/L)	4612	610	2822	967
Cl^- (mg/L)	3969	513	400	1257
NO_3^- (mg/L)	0	0	0	159
Na^+ (mg/L)	1860	183	223	780
K^+ (mg/L)	36	7.2	6.9	18
Ca^{2+} (mg/L)	1107	196	618	272
Mg^{2+} (mg/L)	1152	119	411	186
NH_4^+ (mg/L)	0.5	6	<0,04	0.01
B (mg/L)	0.5	0.06	0.14	0.7
Fe total (mg/L)	0.2	0.01	0.05	0.3
Mn (mg/L)	5.5	1.3	26	0
Cu (mg/L)	<0,052	<0,052	<0,052	nd
Zn (mg/L)	0.1	0.07	32	nd
Cd (mg/L)	<0,018	<0,018	0.02	nd
Pb (mg/L)	<0,10	<0,10	<0,10	nd
As (mg/L)	0.003	0.002	0.003	nd

(nd) no disponible

5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este apartado se comentará la relación entre los distintos tipos de agua muestreada y los procesos geoquímicos producidos en el medio para dar lugar a las concentraciones alcanzadas.

5.2.1 Análisis de los componentes mayoritarios

Las características medias del agua de lluvia son pH entorno a 7 y conductividad eléctrica alrededor de 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 5.1), con facies hidroquímicas de clorurada-sódica a bicarbonadada-cálcica. A partir de

la piezometría presentada en el capítulo 4 (Fig. 4.4) se ha comprobado que la recarga del acuífero procede de la infiltración del agua de lluvia, por lo que sus características serán la base de partida para estudiar los cambios hidroquímicos producidos una vez que entra en contacto con el terreno.

Tal como se definió en el capítulo 1 (estado del arte), se utilizará la denominación de agua de mina referida a todo el agua existente en un suelo minero, incluyendo el agua que pueda estar presente en las acumulaciones de residuos minero-metalúrgicos, y/o que fluya desde la zona minera hasta las masas de agua adyacentes, ya sean cauces, humedales, lagos, acuíferos y océanos (Kroll et al. 2002). Por consiguiente, en agua de mina se incluyen todas las muestras recogidas en surgencias ácidas, pozos, lagos y de escorrentía superficial, y se caracteriza por presentar altos contenidos de SO_4^- , Mg^{2+} , Mn, total de sólidos disueltos y conductividad eléctrica. En las muestras de agua de mina no se ha incluido la muestra de la surgencia no ácida La Fuente, por tratarse de agua con una circulación rápida y flujo subsuperficial, que no llega a interactuar ni con la mineralización de sulfuro "in situ" ni con los residuos de las actividades mineras. El manantial del Chorrillo también presenta una circulación rápida, pero muestra enriquecimiento en sulfato y manganeso.

El contenido de componentes mayoritarios en orden decreciente en meq/L es $\text{SO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$ para los pozos mineros y surgencias, $\text{SO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^-$ para las muestras de escorrentía y lagos y $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ para agua de lluvia y surgencias no ácidas. El orden de abundancia de los cationes mayoritarios en meq/L es $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ para todas las muestras, a excepción de la escorrentía superficial donde la concentración de Ca^{2+} es superior a la de Mg^{2+} debido al predominio de material carbonatado cálcico en la superficie del terreno. El agua de lluvia y de surgencias no ácidas presenta el siguiente orden de abundancia $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$.

En la Figura 5.8 se puede observar el incremento producido del contenido en TSD, CE, SO_4^- y Cl^- a partir del agua de lluvia hacia el agua de mina. El incremento de la mineralización es producido por la interacción agua-roca, incluyendo la oxidación y posterior disolución de los productos de oxidación generados sobre la mineralización "in situ" y en las acumulaciones de residuos mineros. El sulfato procede principalmente de la mineralización, ya se encuentre "in situ" o en las acumulaciones de residuos mineros; pues en el área de estudio no existen evaporitas que puedan aportar sulfato y cloruro. Los cationes mayoritarios proceden de la interacción del agua infiltrada con los distintos materiales geológicos presentes en el substrato rocoso, como la interacción con silicatos (mica, serpentina, feldespato...), carbonatos y demás litologías existentes. El incremento en la concentración del ion cloruro puede tener varias causas, entre ellas la reconcentración por evaporación, la disolución del cloro precipitado en el terreno por evaporación del agua de precipitación y aportado por la deposición seca, por el aerosol

marino y por vertidos, ya que uno de los mayores lavaderos de mineral (Lavadero Roberto II), activo en los últimos años de la minería se empleaba agua de mar. Los residuos de este lavadero se depositaron en la corta Tomasa.

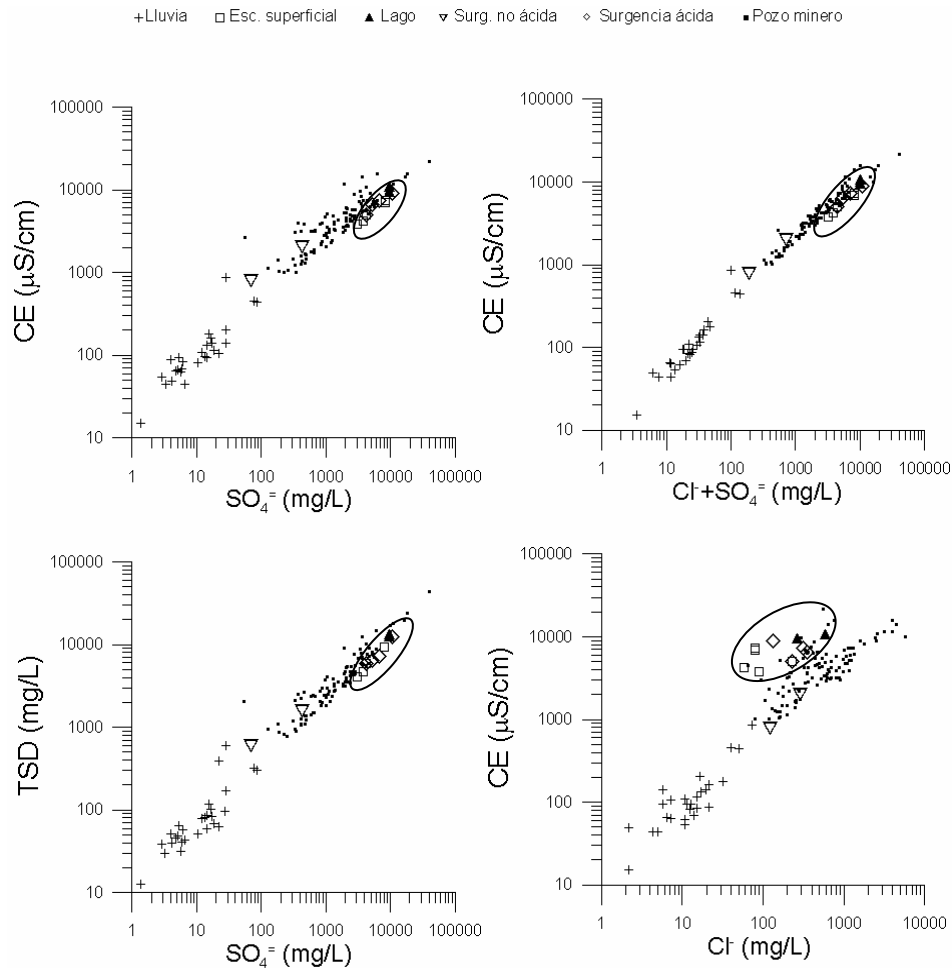


Figura 5.8 Relación entre diversos componentes hidroquímicos para las muestras de agua recogidas en el área de estudio. Las elipses destacan la ubicación de las muestras de escorrentía, surgencias ácidas y lagos

El agua de escorrentía alcanza elevadas concentraciones de sulfato (8130 mg/L de valor máximo) y de ciertos metales, (120 mg/L de Zn, 1.3 mg/L de Ni, 2.4 de Cd y 70 mg/L de Mn), debido principalmente a la disolución eflorescencias salinas presentes en las balsas de residuos y zonas afectadas por eventos anteriores de escurrimientos superficial, muy solubles generadas por la evaporación del agua de mina altamente mineralizada. A este proceso se suman la erosión y transporte en suspensión de los ocreos presentes en los lechos de los drenajes ácidos y el transporte del material erosionado de las propias acumulaciones de residuos y del terreno natural.

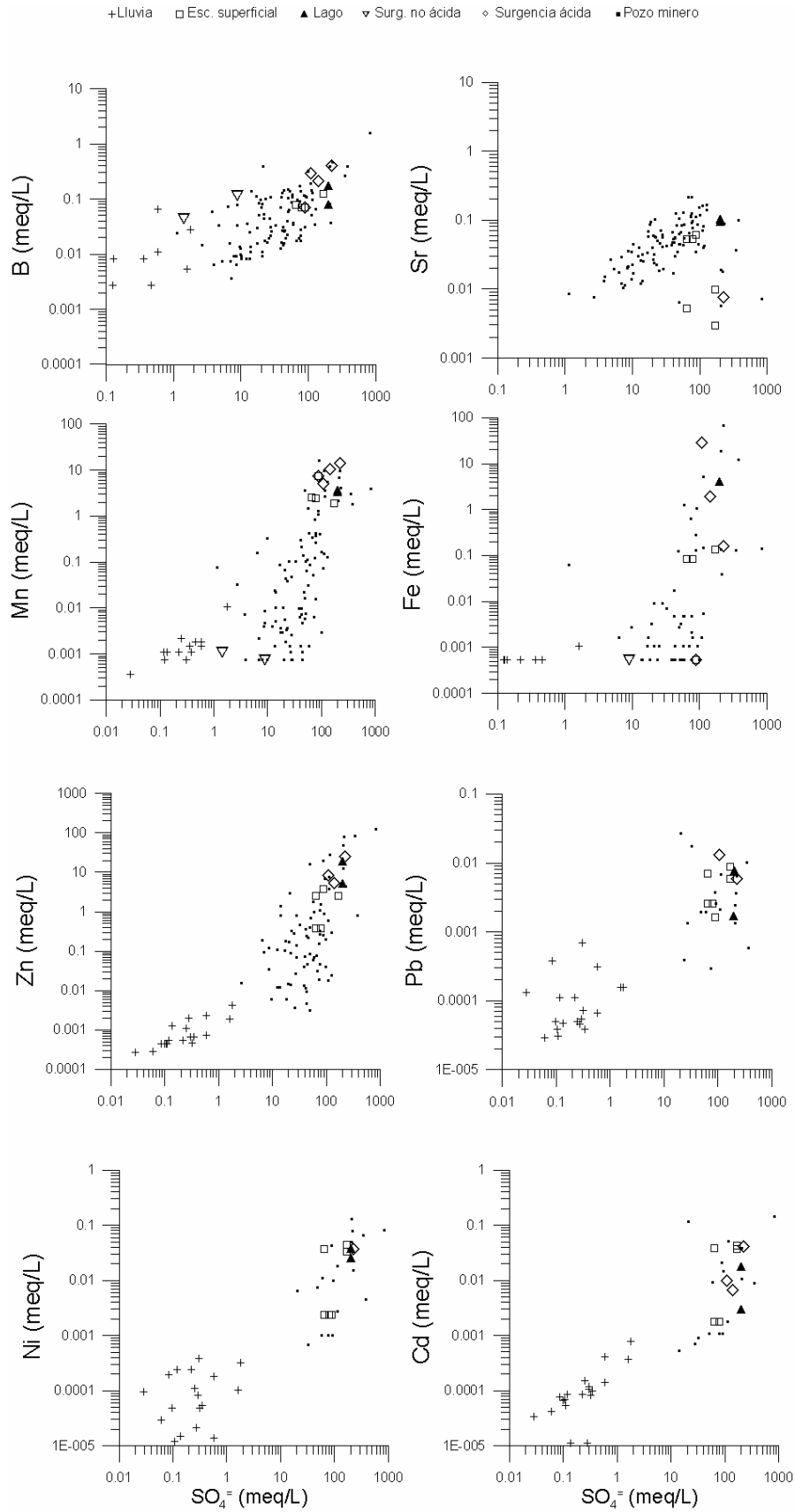


Figura 5.9 Concentración de B y metales en las diferentes muestras de agua analizadas frente a la concentración de sulfato

En la Figura 5.8 se observa como las muestras procedentes de escorrentía superficial y de surgencias ácidas presentan una tendencia lineal, a excepción del gráfico Cl vs. CE, indicativo de su gran enriquecimiento en sulfato, por ello su elevada conductividad con respecto a muestras de pozos con igual contenido en ion Cl. En estas muestras ha predominado el enriquecimiento en sulfato sobre el enriquecimiento en cloruro. Son muestras resultado de un flujo rápido por zonas donde se ha favorecido la interacción con la mineralización, en el caso de la escorrentía es evidente la existencia de un flujo rápido superficial que entra en contacto con las acumulaciones de residuos, y en las surgencias ácidas es consecuencia de la circulación a través de zonas preferenciales de flujo, como son las galerías mineras.

En las muestras procedentes de las cortas mineras también se produce un mayor enriquecimiento en sulfato respecto al cloruro. El agua presente en los lagos es una mezcla de agua de escorrentía, subterránea y de precipitación directa, sometida a evaporación directa y afectada por la oxidación de la mineralización. La elevada concentración registrada se explica por corresponder a muestras tomadas en la orilla de los lagos, zona en la que se produce la fluctuación del nivel freático, donde se favorece la oxidación de los sulfuros, además de ser agua expuesta en lámina de agua libre a procesos de evaporación. Hay que considerar que las cortas actúan como cuencas endorreicas recogiendo la escorrentía que se pueda generar en sus laderas, y la aportación de la deposición total atmosférica de sulfato estimada es de 1.58-2.33 g/m² frente a los 1.37-1.5 g/m² de ion cloruro.

Las muestras de los pozos mineros presentan un claro enriquecimiento en sulfato, producido por la oxidación de la mineralización, y en algunos componentes del material acuífero como Mg y Ca, presentes en silicatos y carbonatos. La oxidación de algunos sulfuros implica la generación de acidez, pero sólo el 21 % de las muestras de pozos mineros presenta un pH<5.5, debido a que la acidez es neutralizada por la presencia en el acuífero de material carbonatado (mármoles, calizas y dolomías; Fig. 2.8, 2.9, 2.11), y en menor medida por la disolución de aluminosilicatos. La disolución de aluminosilicatos lleva asociada la liberación de Al en disolución. IGME-MOPTMA (1996) registró que la concentración de aluminio en el agua subterránea de la mitad occidental de la Sierra estaba comprendida entre 170 mg/L y <1 mg/L (límite de detección). Lo que indica la clara influencia del substrato rocoso sobre el pH y el contenido en metales como se presentará posteriormente. La reactividad de los sulfuros existentes ante la presencia de agentes oxidantes químicos y biológicos presenta el siguiente orden: Marcasita>Pirita> Calcopirita>Blenda>Galena (de Juan et al. 1998). Para que el proceso de oxidación de estos sulfuros se desarrolle es necesario que las especies minerales se encuentren en condiciones atmosféricas, con oxígeno y agua suficiente para permitir las reacciones redox (Appelo y Postma 1993, Schüring et al. 1997), que según la catalización biológica se producirán a una mayor o menor celeridad (Nordstrom y Alpers 1999). Estas condiciones estuvieron y están presentes en el área de estudio, pues la

mineralización estuvo expuesta "in situ" durante la extracción, debido al abatimiento del nivel freático mediante los bombeos que permitían el laboreo. Actualmente, los minerales están expuestos a condiciones oxidantes en las balsas de residuos, en las zonas de fluctuación del nivel freático, y en la zona no saturada del acuífero.

La acidez producida por la oxidación de los sulfuros se puede dividir en tres tipos en función de su origen. Los dos primeros, definidos por Younger (1997), indicarían que la primera acidez presente en el agua es generada por la inundación inicial de los huecos mineros una vez abandonados los bombeos; y el segundo origen es causado por la oxidación de sulfuros en la zona donde fluctúa el nivel del agua subterránea. Según Younger (1997) el primer tipo de acidez desaparecería en menos de 40 años; en el área de estudio las actividades mineras subterráneas cesaron en la década de 1950 y con ellas los grandes bombeos, posteriormente sólo se realizaron bombeos a finales de la década de los 1980 para evitar la inundación del fondo de las cortas Los Blancos II, Brunita (se ha recuperado el nivel más de 30 m) y Tomasa. Por lo tanto, la acidez generada por esta causa estará prácticamente atenuada en unos sectores, mientras que en la zona de cortas se prevé que se atenuará antes de que pasen unos 25 años según este autor. Para el segundo origen, la acidez no desaparecerá hasta que no se hayan agotado los minerales ácido-productores, (pirita, marcasita, galena, pirrotina y calcopirita), presentes en la zona de variación de nivel freático. A estos dos orígenes se le suma un tercero, que incluye la acidez adquirida por el agua durante su infiltración a través del terreno al producirse la oxidación de los sulfuros de las acumulaciones de residuos minero-metalúrgicos no protegidas de la meteorización, y presentes en los materiales geológicos de la zona no saturada del acuífero. Este tercer origen finalizará, al igual que el segundo propuesto por Younger (1997), cuando los minerales ácido-productores se hayan agotado, aspecto difícil de predecir y cuantificar si se considera la gran heterogeneidad del medio.

5.2.2. Relaciones iónicas de las muestras de agua recogidas en los pozos mineros

El estudio de las relaciones iónicas de un agua aporta información sobre las reacciones fisicoquímicas que sufre el agua y permite deducir procesos como la oxidación de sulfuros, la disolución de carbonatos o procesos de intercambio catiónico (Custodio y Llamas 1983). A continuación se comentan las relaciones calculadas para las muestras de agua de mina. Todos los resultados están en meq/L:

- Na/Cl, Mg/Cl y Ca/Cl: indica intercambios iónicos, precipitación, disolución... el resultado de este cociente indica el enriquecimiento o empobrecimiento en Na, Mg y Ca con respecto al ion cloruro, que no está afectado por la retención en el terreno. En las muestras de agua de mina los valores oscilan entre 0.06-8.4, 0.04-13.5 y 0.09-15.4 respectivamente, mientras que para el agua del mar Mediterráneo los valores de estas relaciones son 0.84, 0.1 y 0.02. Se comprueba que existen muestras con un claro

enriquecimiento en estos cationes por aportes relacionados con las alteraciones de silicatos y carbonatos, pero existen puntos donde algunos cocientes son menores a los del agua de mar, en el caso de la relación $Na/Cl < 0.84$ puede indicar la adsorción de Na en el terreno. Mientras que el valor de la relación Ca/Cl es mayor a la relación del agua de mar en todas las muestras.

- K/Na : en el agua continental esta relación frecuentemente queda comprendida entre los valores 0.001-1 y en agua marina entre 0.02-0.025. En las muestras de agua de mina esta relación varía entre 0.003-0.29, los valores más elevados son los presentes en muestras con una conductividad comprendida entre 3000-15000 $\mu S/cm$. La disminución de este cociente puede deberse a la absorción preferente de K por parte de los minerales de alteración generados. Existen 10 muestras que se sitúan en el rango comprendido entre 0.02-0.025, son muestras localizadas al Sur de la corta Tomasa, corta en la que se realizó el vertido de lodos procedentes del lavadero Roberto II que empleaba agua de mar.

- SO_4/Cl : esta relación varía entre 0.2-0.8 para agua continental y vale 0.11 para agua marina. Las muestras de agua de mina presentan un rango de variación comprendido entre 2.3-53.3, indicando un claro enriquecimiento en sulfato, procedente de la oxidación de la mineralización de sulfuros, y en menor medida por la interacción del agua con los silicatos presentes en el substrato rocoso.

- Mg/Ca : para agua continental esta relación oscila entre 0.3-1.5, mientras que para agua marina se encuentra alrededor de 5, pero en las muestras de agua de mina varía entre 0.16-13, lo que muestra que en unos puntos se está disolviendo carbonato cálcico mientras que en otros se están disolviendo silicatos magnésicos.

Las muestras de agua de lluvia presentan una gran dispersión de valores de las relaciones iónicas, dada la gran heterogeneidad tanto espacial como temporal en la distribución de los eventos de precipitación, que permiten la existencia de largos periodos secos, en los que se favorece la deposición seca sobre los pluviómetros, que luego es muestreada junto con la deposición húmeda de cada evento, como ya evidencia el coeficiente de fraccionamiento (Tabla 5.2).

5.2.3 Comportamiento de los metales

La concentración de B y metales en el agua de mina muestran un amplio rango de variación como ilustran las Figuras 5.9 y 5.10, debido principalmente a la diversidad de situaciones hidroquímicas posibles en un medio tan heterogéneo como es el área de estudio. La mayor concentración se encuentra en muestras con valores altos de CE, elevada concentración de ion SO_4^- y pH ácido, con la excepción del Sr que presenta mayores concentraciones a pH 7-7.5. En sólo 12 muestras están presentes todos los metales analizados, su pH oscila entre 1.9-4.2 y la conductividad eléctrica entre 3 y 22 mS/cm . Estas muestras fueron recogidas en pozos mineros ubicados en las proximidades de las cortas mineras.

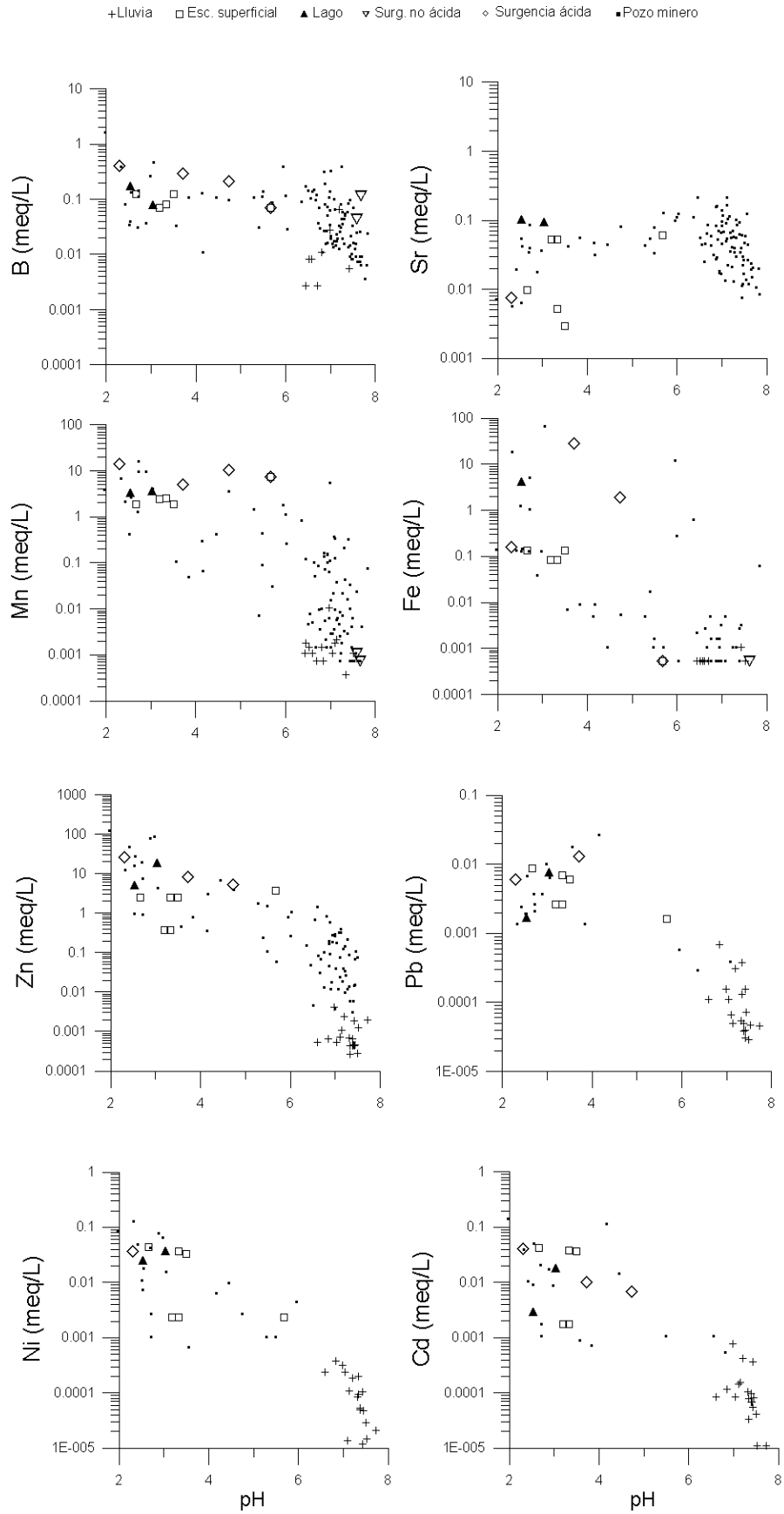


Figura 5.10 Concentración de B y metales frente a valor de pH en las diversas muestras de agua analizadas

La abundancia relativa de los diferentes metales para todos los tipos de agua de mina analizados en mg/L es $Zn > Mn > Fe > Cd > Ni > Sr > B > Pb$.

En las Figuras 5.9 y 5.10 se puede apreciar la heterogeneidad en las concentraciones, y como en algunas gráficas se han representado pocos puntos representativos de muestras de pozos mineros, esto se debe a que en las muestras ausentes la concentración del metal es inferior al límite de detección. Estos resultados apoyan las conclusiones de Gray (1996), cuya propuesta es considerar la concentración de ion sulfato elevada y alta conductividad eléctrica como indicadores de influencia de una actividad minera, más que la concentración de metales pesados o valores bajos de pH, porque sus valores están fuertemente afectados por las fluctuaciones ambientales y el contexto geológico. Plumlee et al. (1992) indicaron que son muchos los factores que condicionan el valor de pH y la concentración de los metales pesados en disolución, como son la capacidad de neutralización de la acidez del substrato rocoso, el tipo y abundancia de sulfuros presentes en la mineralización y la permeabilidad del acuífero y de las acumulaciones de residuos, que al fin y al cabo serán las que permitan la entrada de los gases y el agua necesaria para que se produzca la oxidación de la mineralización de sulfuros.

5.2.4 Modelación hidrogeoquímica

Para conocer los índices de saturación de las diversas especies minerales potencialmente presentes y el porcentaje de cada especie iónica a diferentes valores de pH para las muestras de pozos mineros, se ha empleado el código PHREEQC Interactive 2.8 (Parkhurst 1995). El índice de saturación (IS) de una especie mineral se calcula mediante la expresión $IS = \log(IAP/K)$, donde IAP es el producto de las actividades iónicas y K es el producto de solubilidad de la reacción. Si el valor del IS de una especie mineral es igual a cero, quiere decir que el sólido y la solución están en equilibrio y no se producirá ni disolución ni precipitación del mineral. Si $IS > 0$ la solución está teóricamente sobresaturada en esa especie mineral y se podrá producir su precipitación. Si $IS < 0$ la solución está teóricamente subsaturada en ese sólido y si estuviese presente se podría producir la disolución del mismo.

En la Figura 5.11 se muestran los IS de las especies minerales que presentaban valores próximos al equilibrio o sobresaturadas para cuatro valores de pH, representativos del rango de pH registrado en el área de estudio. Las especies minerales con $IS < -1$ han sido descartados para esta figura. Se puede observar que las muestras con $pH < 2$ están en equilibrio con yeso ($CaSO_4 + 2H_2O$) y anhidrita ($CaSO_4$); a $pH = 5.5$ se reconoce equilibrio con yeso, celestina ($SrSO_4$) y goethita ($FeOOH$) y sobresaturación en hematite (Fe_2O_3); a $pH = 7.8$ la muestra está sobresaturada en calcita ($CaCO_3$), dolomita ($MgCa(CO_3)_2$), aragonito ($CaCO_3$), en carbonatos y oxi-hidróxidos de Fe (goethita, hematite y lepidocrocita) y rodocrosita ($MnCO_3$), y subsaturada en yeso y anhidrita.

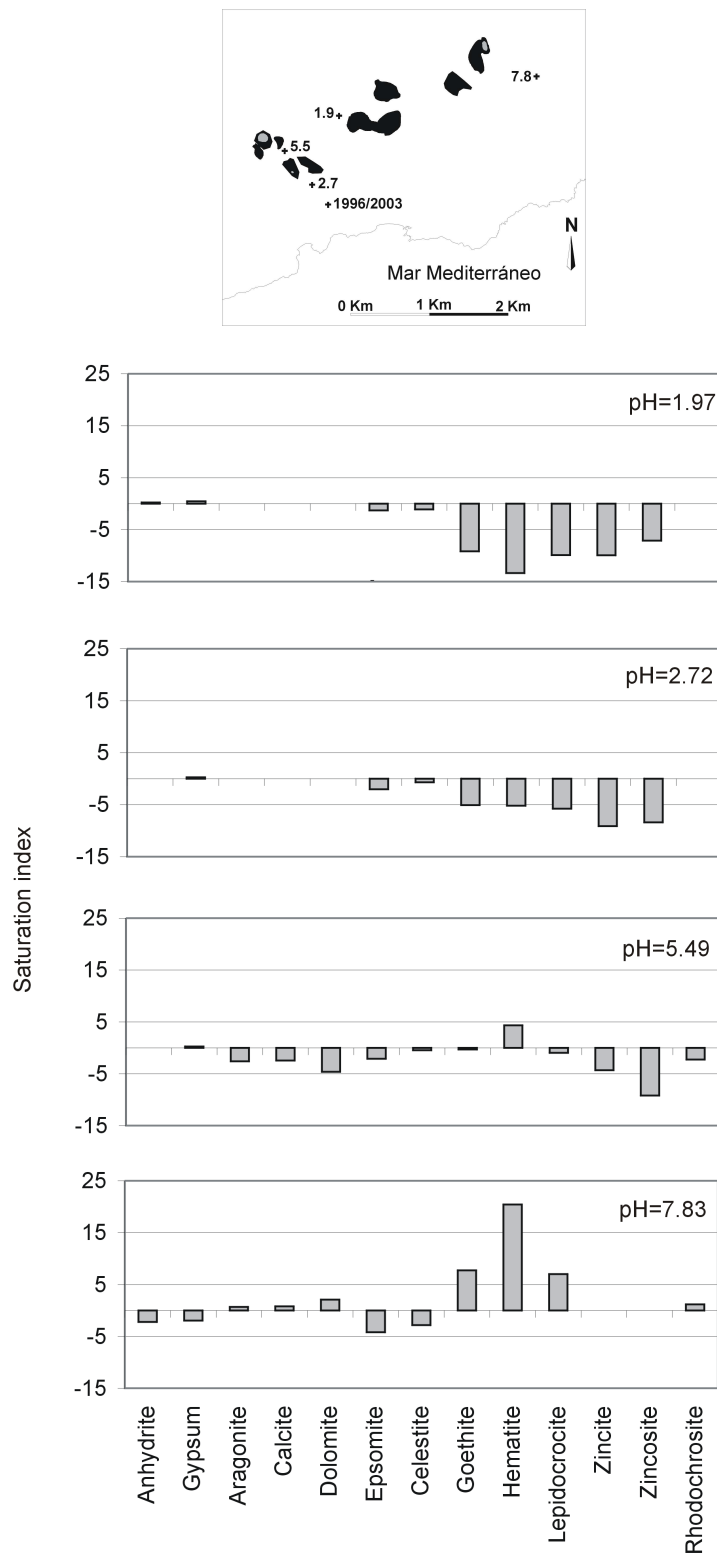


Figura 5.11 Índices de saturación para cuatro valores de pH representativos del rango de pH existente en el agua subterránea muestreada en el acuífero de la Sierra de Cartagena-La unión. Se indica la ubicación de estos puntos en el área de estudio identificados con su valor de pH

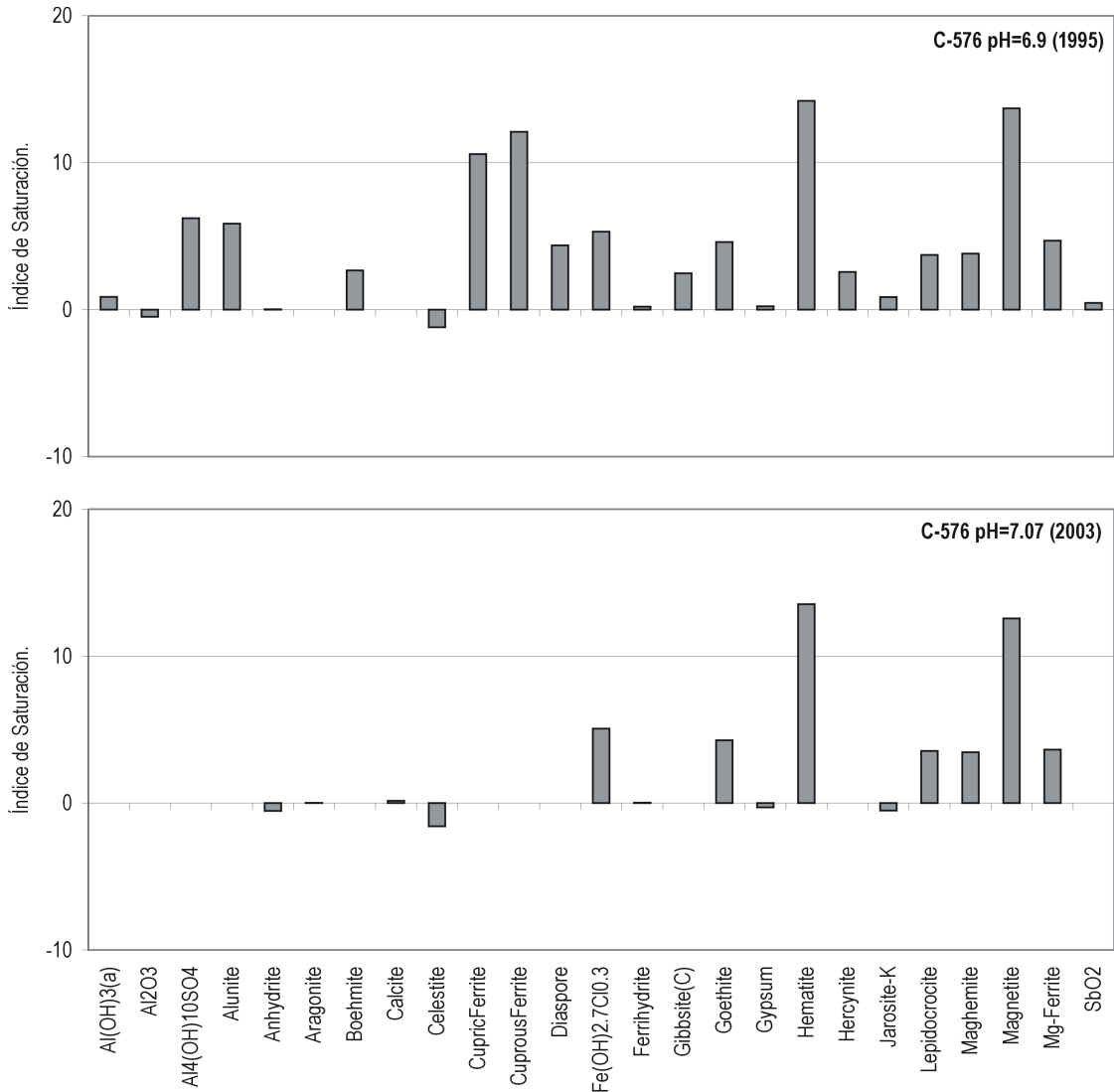


Figura 5.12 Índices de saturación calculados para un mismo pozo minero con datos de 1995 (IGME-MOPTMA 1996) y de 2003 (este trabajo). La localización de este pozo se muestra en la figura anterior con la etiqueta 1996/2003

En la Figura 5.12 se muestran los índices de saturación calculados para un mismo punto de agua con datos tomados con ocho años de diferencia. Sólo se han representado las especies minerales con IS próximo al equilibrio o superior. No se dispone del valor de la concentración de Al, Cu y Sb para la muestra de 2003. Se puede comprobar que los IS de las especies de Fe determinadas en ambas muestras se mantienen aproximadamente similares para estos dos años, la diferencia reside en que la muestra de 1995 está equilibrada con anhidrita y yeso, mientras que la de 2003 aparece equilibrada con aragonito y calcita, y muy ligeramente subsaturada en anhidrita y yeso. La otra diferencia reside en el IS de la Jarosita-K, en 1995 el agua estaba ligeramente saturada y en 2003 subsaturada. Si se observan los valores de las concentraciones se comprueba que la concentración en 2003 es mucho menor que la de 1995, por ejemplo la concentración de SO_4^{2-} ha pasado de 2010 mg/L a 666 mg/L, la de Ca^{2+} se ha reducido de 580 mg/L a 264 mg/L y la de Fe de 0.05 a 0.01 (Anejo II).

En la Tabla 5.7 se muestran los porcentajes de la especie iónica de cada elemento para pH 1.9, 2.7, 5.5 y 7.8. Se puede observar como el porcentaje de la forma iónica de cada elemento (M^{2+} : Ca^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ , Ni^{2+} y Zn^{2+}) es mayor a pH básico, mientras que a pH más bajo están preferentemente combinadas con el ion sulfato en forma de MSO_4^- . El ion Cl^- y el Sr^{2+} aparecen en forma iónica y no existe O_2 para los cuatros valores de pH considerados.

Tabla 5.7 Porcentajes de las especies iónicas de los diferentes elementos químicos determinados en las muestras de agua para cuatro valores de pH

pH=1.9	%	pH=2.7	%	pH=5.5	%	pH=7.8	%
H_3BO_3	100	H_3BO_3	100	H_3BO_3	100	H_3BO_3	100
Ca^{+2}	35	Ca^{+2}	57	Ca^{+2}	61	Ca^{+2}	89
$CaSO_4$	65	$CaSO_4$	43	$CaSO_4$	39		
Cd^{+2}	12	Cd^{+2}	36	Cd^{+2}	38		
$Cd(SO_4)_2^{-2}$	50	$CdSO_4$	35	$CdSO_4$	32		
		$CdCl^+$	15	$CdCl^+$	20		
		$Cd(SO_4)_2^{-2}$	12				
Cl^-	99	Cl^-	100	Cl^-	100	Cl^-	100
				H_2CO_3	82	H_2CO_3	3
				HCO_3^-	16	HCO_3^-	93
Fe^{+2}	46	Fe^{+2}	63	Fe^{+2}	66	Fe^{+2}	97
$FeSO_4$	54	$FeSO_4$	37	$FeSO_4$	34		
$FeSO_4^+$	49	$FeSO_4^+$	68	$Fe(OH)_2^+$	98	$Fe(OH)_2^+$	45
$Fe(SO_4)_2^-$	49	$Fe(SO_4)_2^-$	22			$Fe(OH)_3$	31
						$Fe(OH)_4^-$	24
K^+	83	K^+	94	K^+	95	K^+	100
KSO_4^-	17						
Mg^{+2}	35	Mg^{+2}	59	Mg^{+2}	63	Mg^{+2}	89
$MgSO_4$	65	$MgSO_4$	41	$MgSO_4$	37	$MgHCO_3^+$	8
Mn^{+2}	45	Mn^{+2}	61	Mn^{+2}	64	Mn^{+2}	85
$MnSO_4$	55	$MnSO_4$	38	$MnSO_4$	35	$MnHCO_3^+$	11
NO_3^-	100	NO_3^-	100				
		NH_4^+	89			NH_4^+	97
		$NH_4SO_4^-$	11				
Na^+	84	Na^+	95	Na^+	96	Na^+	99
$NaSO_4^-$	16						
O_2	0	O_2	0	O_2	0	O_2	0
SO_4^-	57	SO_4^-	59	SO_4^-	63	SO_4^-	79
HSO_4^-	12	$MgSO_4$	18	$MgSO_4$	21	$MgSO_4$	13
$MgSO_4$	12			$CaSO_4$	12		
Sr^{+2}	100	Sr^{+2}	100	Sr^{+2}	100	Sr^{+2}	100
Ni^{+2}	35	Ni^{+2}	60	Ni^{+2}	63		
$NiSO_4$	64	$NiSO_4$	39	$NiSO_4$	35		
		$PbSO_4$	57				
		Pb^{+2}	29				
Zn^{+2}	22	Zn^{+2}	48	Zn^{+2}	53		
$ZnSO_4$	36	$ZnSO_4$	40	$ZnSO_4$	38		
$Zn(SO_4)_2^{-2}$	41						

5.2.5 Análisis de los datos isotópicos

La determinación de las diferentes relaciones isotópicas, δD y $\delta^{18}O$ y del contenido en Tritio en diez muestras, procedentes de 8 pozos mineros y de dos surgencias (ubicación Fig. 5.5), pretendía aproximar de un modo relativo el tiempo de residencia del agua en el acuífero. El rango de δD medido está comprendido entre -18.6 y -33.6 ‰ y para el $\delta^{18}O$ entre -4.29 y -6.03 ‰ valores relativos al V-SMOW. El contenido en Tritio varía entre 1.15-4.25 UT. No se han podido comparar estos datos con la marca isotópica de la lluvia en el área de estudio por no disponer de datos, a efectos del cálculo se ha calculado una recta meteórica local con datos de la Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) de la IAEA.

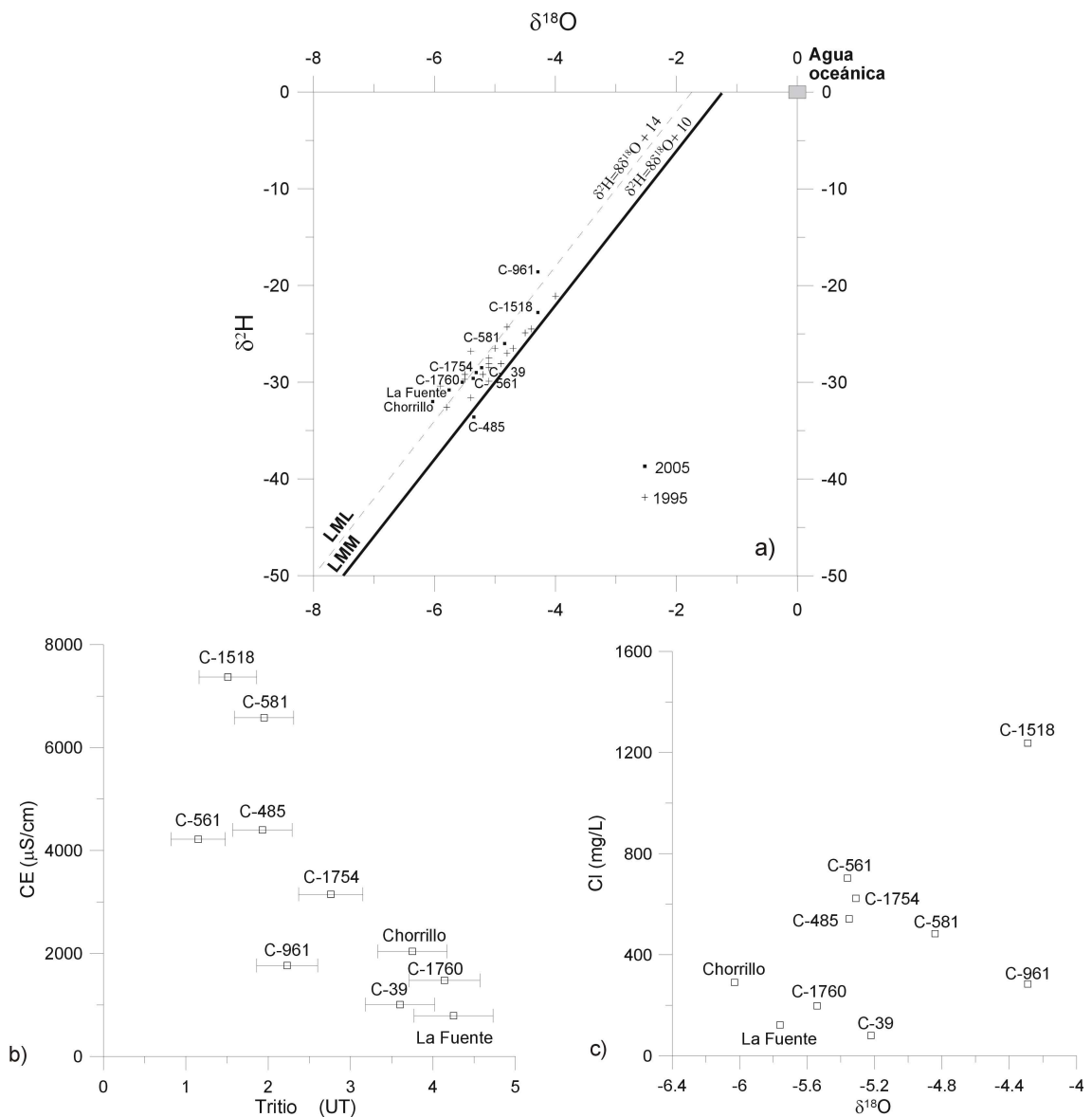


Figura 5.13 Se muestra el contenido isotópico de las muestras de agua recogidas en pozos mineros y manantiales en Septiembre-05 y los datos recopilados del informe IGME-MOPTMA (1996): a) $\delta^{18}O$ frente a δ^2H para muestras de 1995 y 2005, b) Contenido de Tritio frente a la conductividad eléctrica, c) $\delta^{18}O$ de frente a la concentración de cloruro, ambas sólo para muestras de 2005

En la Figura 5.13 se han representado los datos obtenidos y las rectas meteóricas mundial y local. Se puede observar que tan sólo un pozo (C-485) muestra evidencias de evaporación, aunque todas las muestras proceden de pozos de gran diámetro. Las muestras recogidas en los manantiales, La Fuente y el Chorrillo, son representativas del agua de recarga del acuífero si se considera su rápido tránsito por el acuífero como indican sus características hidroquímicas y el mayor contenido de UT de las muestras analizadas. El resto de muestras siguen aproximadamente la línea meteórica local calculada para el Oeste del Mediterráneo. En las gráficas 5.13 b y c se comprueba que las muestras con mayor tiempo de residencia en el terreno, es decir, con menor contenido de T y valores menos negativos de $\delta^{18}\text{O}$, presentan mayor mineralización, ya que se ha favorecido la interacción agua-roca durante más tiempo. La muestra del pozo C-1518 representa a las muestras afectadas por la infiltración de agua de mar contenida en los vertidos de los lodos de flotación depositados en la corta Tomasa.

Existen datos isotópicos del año 1995 proporcionados por IGME-MOPTMA (1996). Los valores determinados en las muestras recogidas en 24 pozos mineros se han representado en la gráfica 5.12a (cruces) junto con los datos de 2005 (puntos). También se dispone del resultado del análisis isotópico de una muestra recogida en el lago desarrollado en la corta Brunita, $-6.2\text{‰ } \delta\text{D}$, $1.7\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ y 4.1 ± 0.3 UT, estos valores indican que se trata de una muestra donde se mezcla agua de precipitación reciente con un agua evaporada, al igual que los datos de la muestra del lago presente en la corta Gloria, $-1.8\text{‰ } \delta\text{D}$, $-0.4\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ y 5.3 ± 0.3 UT. También determinaron la marca isotópica de agua surgente por el manantial el Chorrillo, $-30.4\text{‰ } \delta\text{D}$, $-5.9\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ y 5.7 ± 0.3 UT, y por la surgencia ácida denominada el Túnel Lilian, $-21.1\text{‰ } \delta\text{D}$, $-4.0\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ y 3.2 ± 0.3 UT. La muestra del Chorrillo muestra unos contenidos ligeramente mas pesados que los determinados en 2005, así como un contenido en Tritio 2 UT mayor ($-32.0\text{‰ } \delta\text{D}$, $-6.03\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ y 3.75 ± 0.42 UT).

5.3 DISTRIBUCIÓN Y VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS

Para analizar la evolución temporal y espacial de las características hidroquímicas del agua del área de estudio se ha recurrido a la revisión de todos los datos disponibles de la concentración del ion sulfato y el ion cloruro.

Para conocer la distribución espacial de estos aniones se han elaborado mapas de isocontenidos de cloruro y sulfato (Fig. 5.14), donde se puede observar que los datos hidroquímicos también reproducen la compartimentación en bloque hidrogeológicos observada en el mapa piezométrico (Fig. 4.4). Se observa que la concentración de sulfato disminuye desde la zona de cortas hacia los límites del acuífero, ya que

en la zona de cortas es donde se ha favorecido en el último momento de la actividad minera la oxidación de la mineralización, conforme se aleja se produce una disminución por efecto de dilución. Mientras que la concentración del ion cloruro no muestra esta tendencia tan clara, su concentración tiende a aumentar en la vertiente Sur y a disminuir en la Norte conforme aumenta la distancia a la zona de cortas.

La fuente principal del cloruro es la atmosférica, ya sea por deposición seca o húmeda. Pero existen otras fuentes como el vertido de los lodos de flotación procedentes de un lavadero de mineral que empleaba agua de mar en la corta Tomasa y el vertido de sedimentos marinos contaminados con hidrocarburos en la corta Gloria sin ningún tipo de tratamiento ni de impermeabilización del vaso. El vertido de lodos en la corta Tomasa ocasionó la aparición de surgencias, que produjo alarma social, y condicionó en parte al cese de la actividad minera a los meses de haberse iniciado el vertido (CHS 1991).

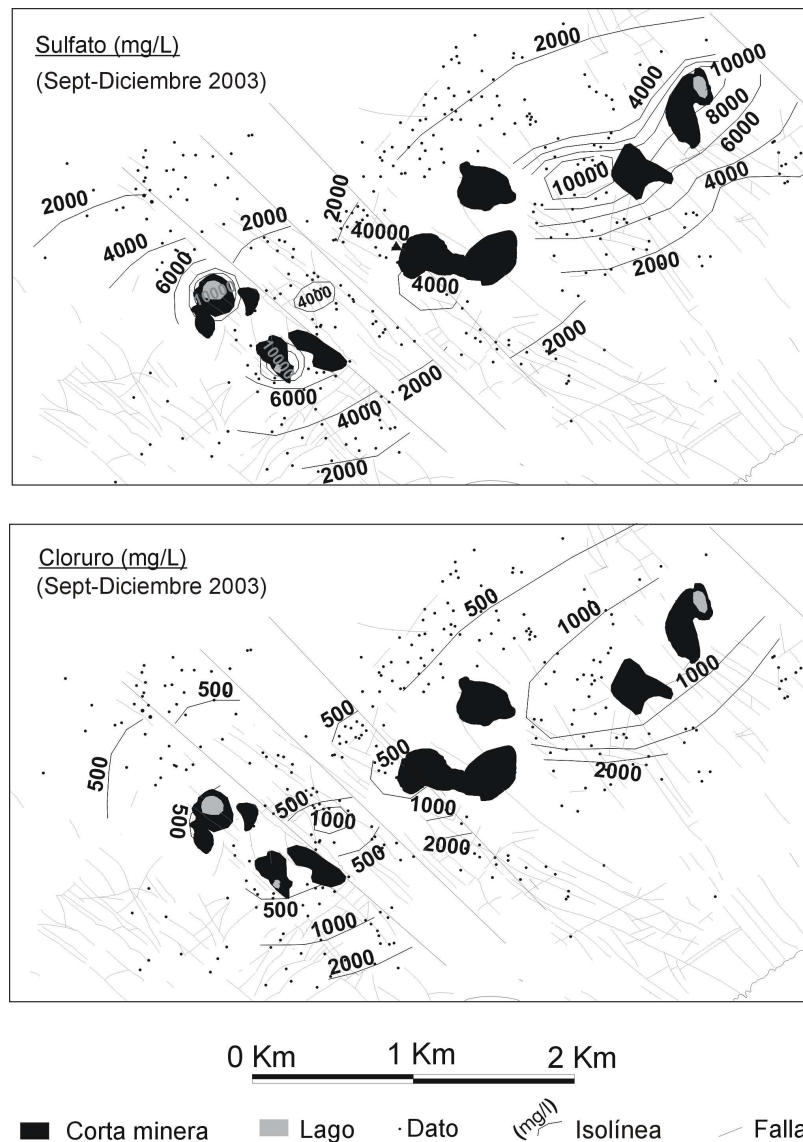


Figura 5.14 Distribución espacial de la concentración de los iones sulfato y cloruro

El aporte atmosférico de cloruro está condicionado por la proximidad al mar y por la presencia de una refinera de petróleo en el extremo occidental del área de estudio. Hay que sumar el aporte producido por la disolución del cloruro precipitado en el terreno por la evaporación del agua de eventos lluviosos anteriores y por la deposición seca. A pesar de todos estos condicionantes, en la Figura 5.14 se puede reconocer una tendencia al aumento de la concentración de ion cloruro en la vertiente Sur desde la zona de cortas hacia al mar condicionado por los vertidos anteriormente mencionados y de disminución en la vertiente Norte.

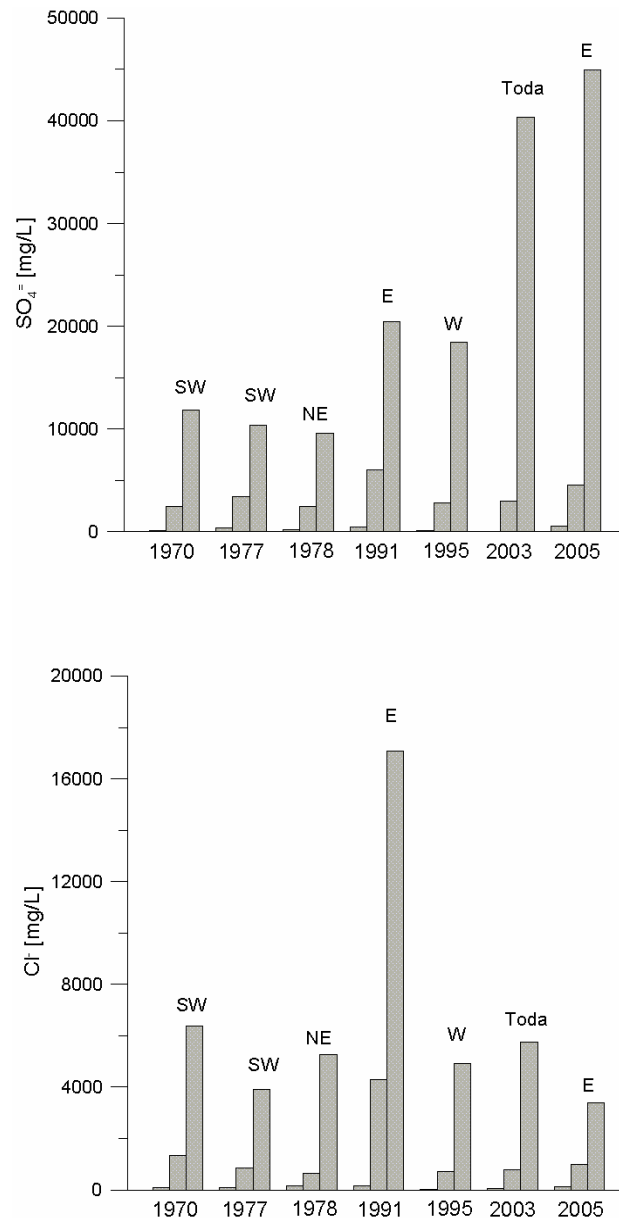


Figura 5.15 Valores mínimo, medio y máximo de ion sulfato y cloruro para las campañas disponibles. Se ha indicado el sector geográfico en el que se desarrolló cada campaña dentro del área de estudio. Los datos proceden de los documentos: Carulla (1997), García et al. (1978), CHS (1991), IGME-MOTPMA (1996), 2003 este estudio y los datos de 1970 y 2005 procedente de informes inéditos

Los datos proporcionados por los bidones, ubicados en el área de estudio para la recolección de la deposición total atmosférica durante un año, indican que no se puede considerar que exista una mayor afección del aerosol marino sobre la vertiente Sur de la Sierra, ya que la deposición sobre el terreno de ion cloruro en la vertiente Sur es inferior a la calculada para la vertiente Norte, 1.37 g/m²·año y 1.5 g/m²·año respectivamente.

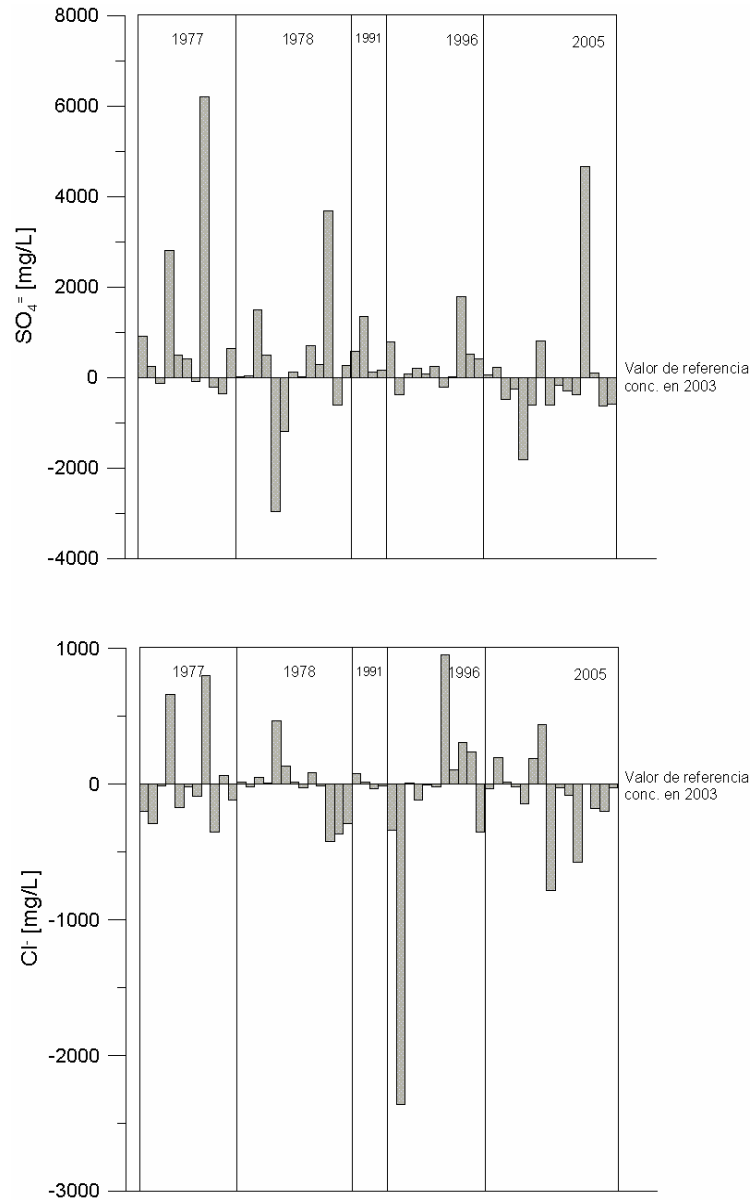


Figura 5.16 Variación de la concentración del ion cloruro y sulfato en puntos muestreados en la campaña que se indica en la gráfica y en 2003. Los datos proceden de los documentos: Carulla (1997), García et al. (1978), CHS (1991), IGME-MOTPMMA (1996), y 2005 (informe inédito)

Para conocer la evolución hidroquímica del agua a lo largo del tiempo se han recopilado todos los datos hidroquímicos disponibles. Se ha tomado como referencia la concentración del ion sulfato y cloruro por ser dos datos comunes a todos los informes encontrados. En la Figura 5.15 se muestra la variación del valor mínimo, medio y máximo de estos aniones para distintos años de los que se dispone de datos. Todas las campañas son de carácter muy local, en la Figura 5.15 se ha indicado el sector del área de estudio en el que se realizó el muestreo.

Para poder ilustrar la variación de la concentración producida a lo largo del tiempo se han comparado los datos disponibles con respecto a los de la campaña de 2003, por ser extensiva para todo el acuífero y encontrar puntos de muestreo coincidentes con todas las campañas anteriores. La variación de la concentración de ion sulfato y cloruro de cada pozo referida al valor determinado en 2003 se muestra en la Figura 5.16, donde se observa que la concentración de ion sulfato tiende a disminuir a lo largo del tiempo para la mayoría de los puntos. Este descenso es patente para campañas realizadas en ambas vertientes de la Sierra de Cartagena-La Unión. Este descenso se debe a la dilución y al hecho de que la mineralización todavía existente "in situ" se encuentra bajo condiciones que no favorecen la oxidación de la mineralización, como es el caso de la zona saturada del acuífero donde la oxidación de los sulfuros está limitada por la difusión del oxígeno disuelto en equilibrio con el O₂ atmosférico (Schüring et al. 1997). La concentración de cloruro presenta un comportamiento diferente, disminuye en la vertiente Norte y aumenta en determinados puntos de la vertiente Sur, como se ha comentado anteriormente debido a los diferentes vertidos realizados.

5.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MUESTREADA

Se ha comprobado que las determinaciones de las propiedades físico-químicas realizadas en las muestras recogidas en los manantiales de La Fuente y el Chorrillo, han proporcionado valores por debajo de los valores marcados por el Real Decreto (R. D. 140/2003) vigente para la aptitud de un agua para consumo humano sólo en el caso del manantial de La Fuente (Tabla 5.5), pero esta aptitud debería ser confirmada mediante la determinación de la totalidad de los parámetros marcados por la legislación, ya que en esta investigación no se han analizado todos y no existen datos que confirmen que este agua es apta para consumo humano y no suponga ningún riesgo su ingesta. Las muestras procedentes de pozos mineros no son aptas para consumo en un 80 % de las muestras porque se supera el límite admisible de Mn, el 95 % supera el de Mg, 97 % el de sulfato y el 82 % presenta una CE mayor a la admitida por el R. D. 140/2003. Las muestras de escorrentía superficial, lagos y surgencias ácidas son descartadas en primer lugar por su pH, pero exceden gran parte de los límites establecidos para los parámetros físico-químicos analizados.

Se ha evaluado el riesgo de salinización que supone para un suelo el riego con el agua extraída de la captación para riego muestreada en este estudio (CN; Tabla 5.6), mediante el cálculo del índice SAR (U.S. Salinity Laboratory Staff 1954). El resultado se ilustra en la Figura 5.17, la muestra cae en la categoría C5-S3, lo que sugiere que se trata de un agua aplicable para riego tomando las precauciones pertinentes para evitar la salinización del suelo, por ejemplo se podría aplicar en zonas con un buen drenaje, en terrenos con muy buena permeabilidad y para cultivos tolerantes. La aplicación de este agua de riego implica un control de la salinidad en el suelo.

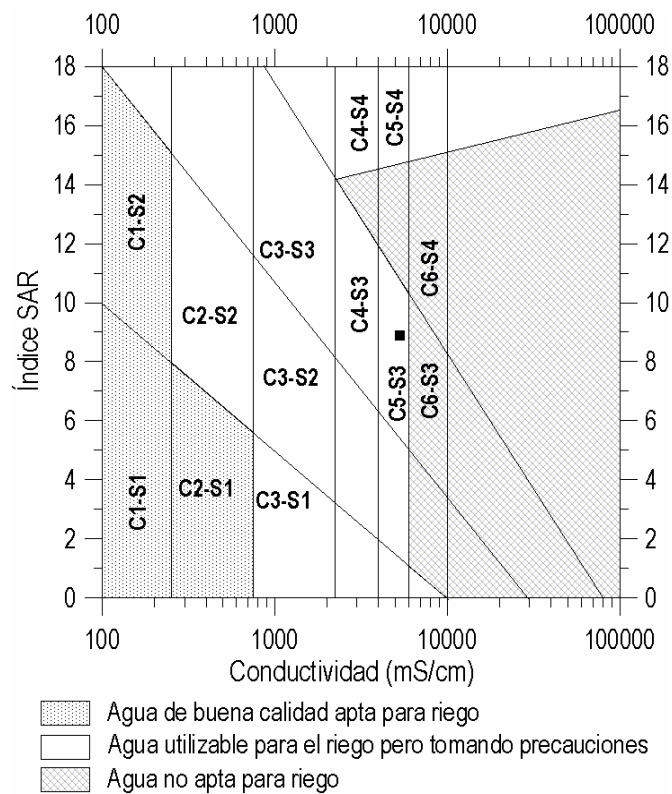


Figura 5.17 Clasificación del agua muestreada en el pozo de riego según el U.S. Salinity Laboratory Staff (1954)

5.5 SÍNTESIS DEL CAPÍTULO

El acuífero Sierra de Cartagena-La Unión se caracteriza por presentar un amplio rango de variación de los parámetros físico-químicos determinados, debido a la gran heterogeneidad del medio ocasionadas por la alta complejidad litología y estructural junto con las modificaciones inducidas por las actividades antrópicas. Las actividades antrópicas han favorecido la exposición de minerales reducidos a condiciones oxidantes favoreciendo determinadas reacciones redox, ya sea en la mineralización de sulfuros "in situ" o en las acumulaciones de residuos.

La recarga de la unidad la constituye la infiltración del agua de lluvia a través de fracturas y estructuras mineras. Una vez infiltrada el agua puede seguir diferentes trayectorias, se ha observado la existencia de dos tipos de flujo principales, uno de tránsito rápido representado por las muestras de las surgencias no ácidas y ácidas, y otro con un periodo de residencia mayor en el acuífero, representado por el agua muestreada en los pozos mineros. Durante el flujo rápido se puede producir o no interacción con la mineralización y restos mineros, en el primer caso se produce un enriquecimiento en sulfato y metales, se trata de las muestras de las surgencias por bocaminas, debido a su flujo principalmente a través de galerías mineras. El contenido isotópico de las muestras de la Fuente y el Chorrillo y su hidroquímica indican que representan al agua con menor tiempo en el acuífero de todos los puntos analizados.

Las muestras de las cortas mineras evidencian ser una mezcla de agua de escorrentía, de lluvia y subterránea, como lo afirman los datos isotópicos. El mayor tiempo de residencia pertenece a las muestras procedentes de los pozos mineros (≈ 1 UT), sus facies hidroquímicas son sulfatada-magnésica para un 18 % de las muestras, sulfatada-(magnésico cálcica) para el 15 %, otro 15 % responde a una facies sulfatada-(cálcico magnésica), un 8 % a clorurada-sódica, y el resto a una combinación de componentes mayoritarios. En las muestras de pozos mineros la concentración de ion sulfato oscila entre 55-40300 mg/L y la conductividad eléctrica entre 1000-21700 μ S/cm. El pH varía de 1.9-7.8. Sólo el 21% de las muestras de pozos presentan pH <5.5, esta atenuación de la acidez es debida a la presencia de material carbonatado en el acuífero. Los valores de concentración de sulfato alcanzado por las muestras de agua de mina, es debido a la oxidación de la mineralización de sulfuros expuesta, tanto en las acumulaciones de residuos como "in situ", así como por la disolución de las eflorescencias salinas, generadas por la precipitación de sales debido a la evaporación durante los periodos sin precipitación, y a la movilización en suspensión de ocre y material procedente de las acumulaciones de residuos.

El pH y el sulfato condicionan el transporte y retención de los cationes. El porcentaje de la forma iónica de cada elemento (M^{2+} : Ca^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ , Ni^{2+} y Zn^{2+}) es mayor a pH básico, mientras que a pH más bajo están preferentemente combinadas con el ion sulfato en forma de MSO_4^- . Las muestras con pH <2 están en equilibrio con yeso y anhidrita; a pH=5.5 se reconoce equilibrio con yeso, celestina y goethita, y sobresaturada en hematite; a pH 7.8 la muestra está sobresaturada en calcita, dolomita, aragonito, carbonatos y oxi-hidróxidos de Fe y rodocrosita, y subsaturada en yeso y anhidrita. No existe ninguna muestra saturada en especies minerales de Zn para este rango de pH.

El estudio de la variación de la concentración de ion sulfato en el espacio muestra que la concentración disminuye con el aumento de la distancia a la zona de las cortas mineras. Mientras que la concentración de ion cloruro está afectada por vertidos diversos en la parte Sur del acuífero, evidenciado por las

relaciones iónicas y por los datos isotópicos del pozo C-1548. En la vertiente Norte el cloruro tiene el mismo comportamiento que el sulfato. La evolución temporal indica la tendencia a la disminución de la concentración de sulfato con el tiempo y al aumento en ion cloruro en la vertiente Sur causado por vertidos. Esta disminución en la concentración en el ion sulfato es debida al efecto de dilución y a que la tasa de generación de sulfato se ha limitado. La principal y última gran fuente de sulfatos se encontraba en la zona de cortas, ya que fue el sector del área de estudio en el que la minería estuvo activa en el último periodo minero. En la actualidad parte de la mineralización ha quedado en la zona saturada del acuífero, donde la tasa de oxidación de la mineralización es mínima al no darse condiciones oxidantes. Esta oxidación todavía se está produciendo en la zona de variación del nivel freático, en la zona no saturada del acuífero y en las acumulaciones de residuos.

El agua subterránea tiende con el tiempo disminuir su mineralización, pero esto no ocurre con la escorrentía donde evento tras evento se produce la disolución de las eflorescencias creadas en periodos secos y la erosión de las balsas de residuos, que permiten incorporar al agua un alto contenido de material en suspensión, una alta concentración de ion sulfato, descender su pH y movilizar metales. Este problema también sucede con las surgencias ácidas y no cesará hasta que no se actúe sobre las acumulaciones de residuos y se creen las barreras pertinentes para minimizar el impacto de las surgencias ácidas, o se actúe sobre las zonas que le proporcionan sus características a las surgencias ácidas.

Referencias

- Appelo CAJ, Postma D (1993) *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, 536 p
- Carulla N (1977) Estudio hidrogeológico del sector Sur de la Sierra de Cartagena para el abastecimiento de agua no salobre al lavadero Roberto. No publicado
- CHS (1991) Estudio hidrogeoquímico sobre la influencia del vertido a la corta Tomasa en la zona del Llano del Beal- Portman. No publicado
- Custodio E, Llamas MR (1983) *Hidrología subterránea*. Editorial Omega. Segunda edición. Barcelona, 2350
- De Juan D, Meseguer V, Lozano LJ (1998) Impacto hidrológico del cierre de minas. El caso de la Sierra Minera de Cartagena y La Unión. *Ingeniería Química* 30(344): 195-197
- García C (2004) Impacto y riesgo ambiental de los residuos minero-metalúrgicos de la Sierra de Cartagena-La Unión (Murcia-España). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena 423 p
- García C, Hoz P, Jiménez A, López R, Puche A (1978) Estudio hidrológico El Descargador-Llano del Beal. Sector Norte de la Sierra de Cartagena-La Unión. 109 p. No publicado

- Gray NF (1996) Field assessment of acid mine drainage contamination in surface and ground water. *Environmental Geology* 27: 358–361
- Heikkinen P, Korkka-Niemi K, Lahti M, Salonen VP (2002) Groundwater and surface water contamination in the area of the Hitura nickel mine, Western Finland. *Environmental Geology* 42 (4): 313 – 329
- IAEA- Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) and Isotope Hydrology Information System (ISOHIS) <http://isohis.iaea.org/>
- IGME-MOPTMA (1996) Recuperación de los usos de la Bahía de Portmán. Estudio geológico e hidrogeológico de la Sierra Minera (Murcia). Madrid. 306 p
- Kroll A, Amézaga JM, Younger PL, Wolkersdorfer Ch (2002) Regulation of Mine Waters in the European Union: The Contribution of Scientific Research to Policy Development. *Mine Water and the Environment* 21 (4): 193 – 200
- Nordstrom DK, Alpers CN (1999) Geochemistry of acid mine waste. En: *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits*. Plumlee GS, Logson MJ (Ed). Part A, Processes, Techniques, and Health 6A: 133-160
- Parkhurst DL (1995) User's guide to PHREEQC-a computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, and inverse geochemical calculations. US Geological Survey. Water Resources Investigation. Report 95-4227
- Plumlee GS, Smith KS, Ficklin WH, Briggs PH (1992) Geological and geochemical controls on the composition of mine drainages and natural drainages in mineralized areas. En: *Water-rock interaction* (ed.) Kharaka YK y Maest AS. Vol. 1 Low temperature environments. Balkema, 419-422
- Schüring J, Kölling M, Schulz HD (1997) The potential formation of acid mine drainage in pyrite-bearing hard-coal tailings under water-saturated conditions: an experimental approach. *Environmental Geology* 31 (1/2): 59-65
- U. S. SALINITY LABORATORY STAFF (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dept. Agr. Handbook 60
- Younger PI (1997) The longevity of mine water pollution: basis for decision-making. *The Science of the Total Environment* 194/195: 457-466

Capítulo 6

Impacto de las actividades mineras sobre el medio físico en la Sierra de Cartagena-La Unión: Problemática Ambiental

Parte de los resultados mostrados en este capítulo se encuentran en la publicación:
Robles-Arenas VM, Rodríguez R, García C, Manteca JI, Candela L (2006)
*Sulphide-mining impacts in the physical environment: Sierra de Cartagena-La Unión
(SE Spain) case study*. Environmental Geology 51: 47-64



En este capítulo se muestran las consecuencias de las actividades mineras sobre el medio, incluidos los impactos generados por las actividades mineras en sentido estricto y los impactos ocasionados por las acumulaciones de residuos presentes en la superficie del terreno, sobre los sedimentos, suelos y medio hídrico.

6.1 IMPACTOS PRODUCIDOS POR LAS ACTIVIDADES MINERAS EN SENTIDO ESTRICTO

Sobre la Sierra de Cartagena-La Unión se han desarrollado actividades mineras con mayor o menor intensidad desde hace más de 2500 años, que han afectado de diversas formas el medio físico. En la principal zona minera que aproximadamente ocupa 50 km² y se localiza en la parte central de la Sierra de Cartagena-La Unión, el suelo natural ha sido eliminado, por las excavaciones mineras, por las acumulaciones de residuos y estériles, y por la construcción de naves industriales, carreteras, pistas, etc.

El impacto más evidente sobre el medio hídrico es la aparición de lagos en el interior de las cortas mineras, así como la existencia de surgencias de drenaje ácido, las cuales han sido analizadas con más detalle en los capítulos 4 y 5 de esta tesis.

Las actividades mineras subterráneas condicionan la dirección principal de flujo del agua subterránea, mientras que la excavación de cortas y pozos favorece la recarga del acuífero como muestra la Figura 4.4. La excavación de las cortas mineras ha modificado la divisoria hidrográfica de las distintas ramblas al localizarse principalmente en las cabeceras. Las características hidroquímicas, (se detallan en el capítulo 5), indican que el agua se ha enriquecido en los elementos presentes en la mineralización, especialmente en ion sulfato (55-40300 mg/L) y en algunos metales como el Zn, Fe y Mn que alcanzan concentraciones máximas de 4090 mg/L, 1260 mg/L y 436 mg/L respectivamente. Este enriquecimiento se favorece por la exposición de una mineralización inicialmente reducida a condiciones atmosféricas, lo que permite su oxidación en presencia de O₂ y agua, especialmente importante en el caso de que existan minerales generadores de acidez que producen la disminución del pH, favoreciéndose la incorporación de metales al agua.

6.2 IMPACTOS PRODUCIDOS POR LOS RESIDUOS MINERO-METALÚRGICOS

Las numerosas acumulaciones de residuos mineros presentes en el área de estudio (Fig. 6.1), han contribuido directamente a la transformación de la orografía del terreno, incluida la modificación de los

cauces de las ramblas. La erosión de estas acumulaciones ha dado origen a la movilización de importantes cantidades de material, así como la entrada de elementos ecotóxicos presentes en la mineralización en los ecosistemas del área de estudio y de su área de influencia. Existen residuos mineros en las ramblas, debido a que el vertido se hacía originariamente directamente a los cauces, hecho prohibido en 1956 (Vilar et al. 1991), y posteriormente a través de la escorrentía superficial y el transporte eólico, siendo este segundo mecanismo de transporte el que ha permitido encontrar importantes concentraciones de metales en suelos de zonas no afectadas directamente por el drenaje superficial.

Como se describió en el capítulo 2, las acumulaciones de residuos se pueden dividir en varios tipos según la actividad minera o del proceso metalúrgico del que proceden. En el área de estudio se han definido nueve tipos de residuos (García 2004), cuyas características mineralógicas y granulométricas se detallan en la Tabla 6.1 y Figura 6.2 respectivamente. Las características mineralógicas y composición química de los residuos van a condicionar el riesgo ambiental de los mismos, riesgo determinado en esta tesis mediante el test de lixiviación establecido por la norma DIN 38414-S4 (DIN-NORMEN 1984).

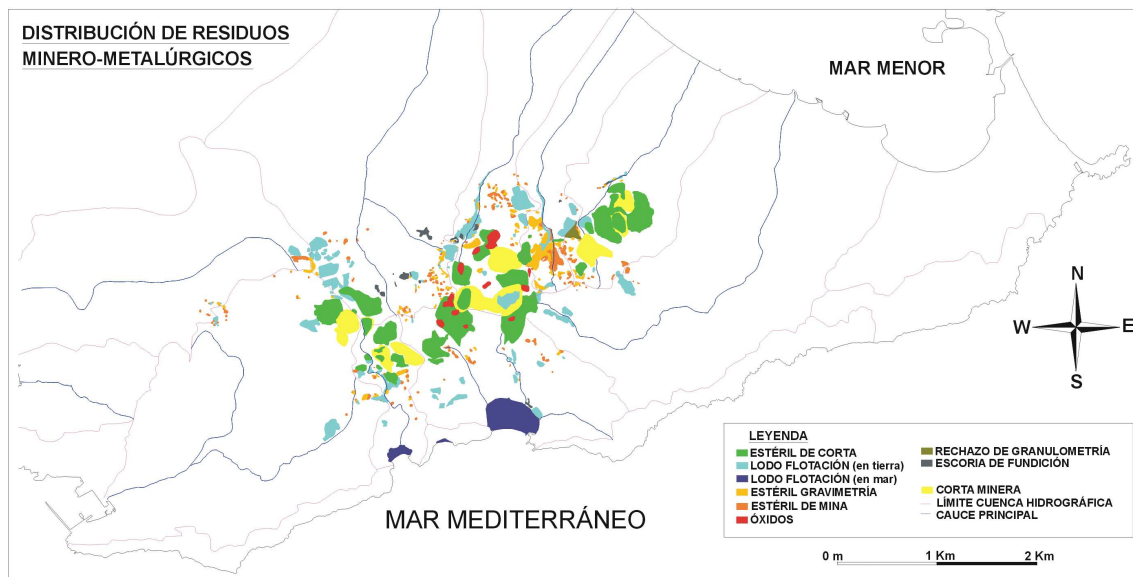


Figura 6.1 Distribución de las distintas acumulaciones de residuos minero-metalúrgicos existentes en la Sierra de Cartagena-La Unión (modificado de García 2004)

En las acumulaciones de residuos se pueden identificar diferentes estructuras como estratificación, colapsos, grietas de desecación, piping, badlands, etc. (Fig. 6.3). Estas últimas evidencian la importante erosión que sufren las acumulaciones de material. La erosión eólica afecta principalmente a las balsas de lodos de flotación dada su fina granulometría (Fig. 6.2). García (2004) estimó que se erosionan 2.14 kg/m² durante un evento de precipitación de 60.5 L/m², extrapolado al total de acumulaciones de residuos,

por 5 eventos potenciales que pueden generar escorrentía superficial en un año hidrológico, sumaría una masa anual erosionada de 16328 toneladas de lodos de flotación.

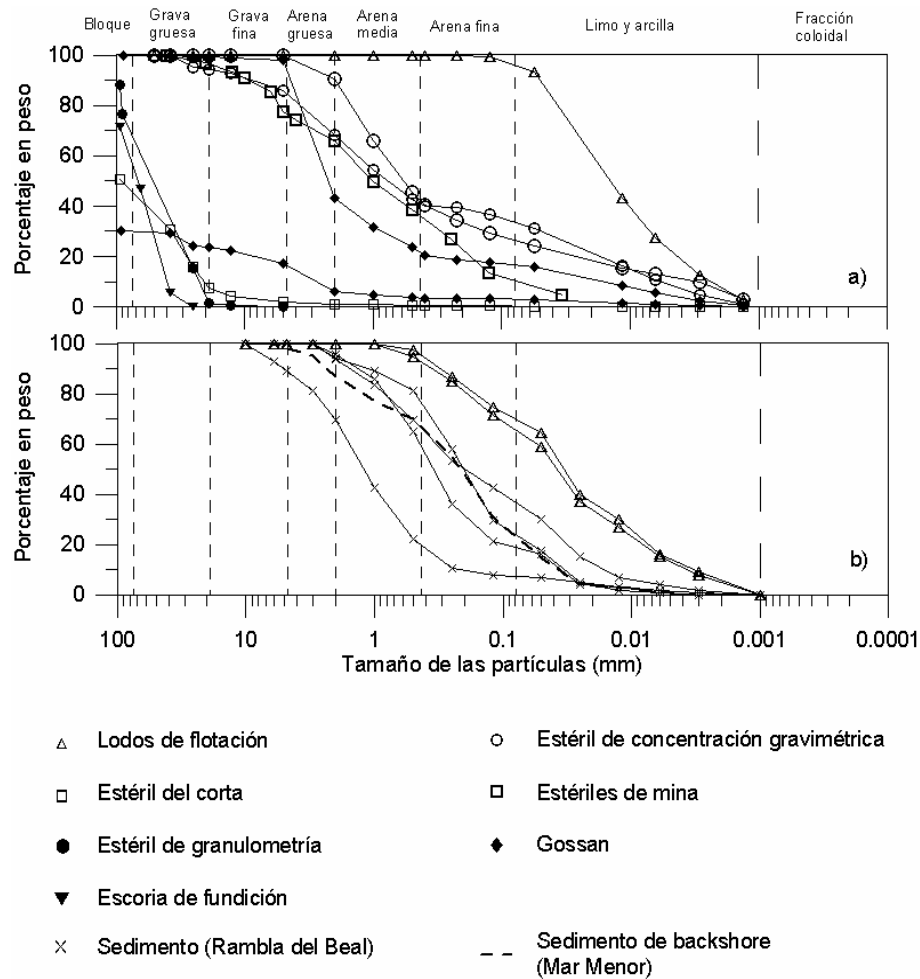


Figura 6.2 Curvas granulométricas de los diferentes tipos de residuos minero-metalúrgicos inventariados en el área de estudio

Durante el desarrollo de esta tesis se ha podido estimar la deposición seca y húmeda caída sobre el terreno durante un año. Aunque esta metodología no tiene como objetivo cuantificar la erosión eólica, evidencia la erosión de las acumulaciones de residuos, al observarse la presencia de metales en las muestras de deposición total y un enriquecimiento en sulfato con respecto a la relación sulfato/cloruro del agua de mar (Tabla 5.1). El agua de precipitación analizada también contiene metales pesados y muestra un claro enriquecimiento en sulfato (Capítulo 5).

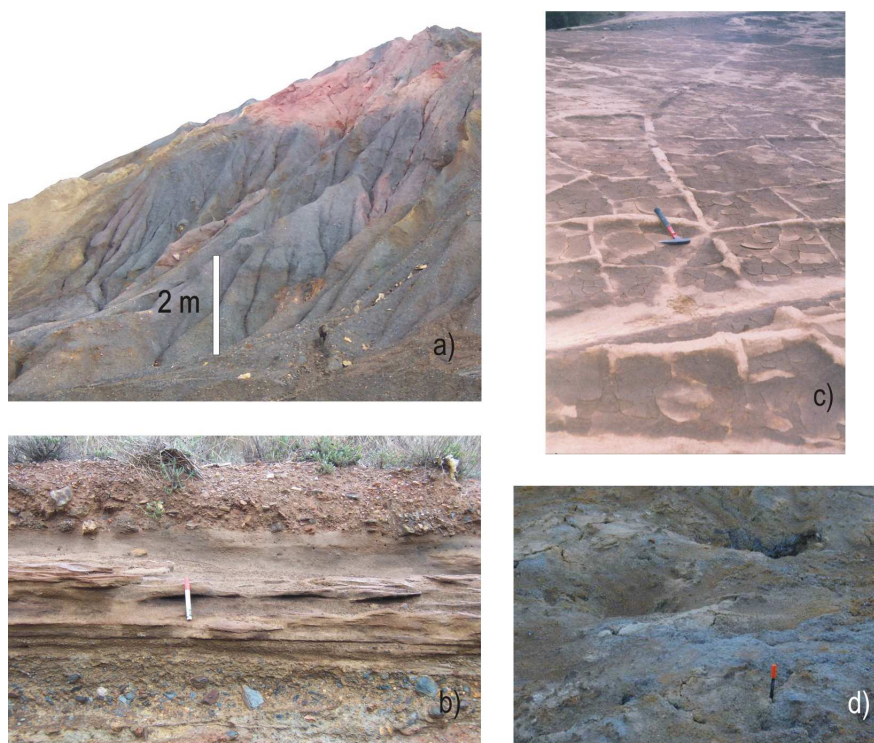


Figura 6.3 Estructuras observadas en las acumulaciones de residuos: a) cárcavas en una escombrera de estériles de gravimetría b) estratificación en una balsa de lodos de flotación c) grietas de desecación rellenas en la superficie de la balsa Rosa constituida por lodos de flotación d) piping

Tabla 6.1 Características mineralógicas de los residuos existentes en la Sierra de Cartagena-La Unión (determinadas con XRD)

(% en peso)	Estéril corta	Lodos Flotac.	Lodos Flot.(mar)	Estéril Gravim.	Estéril mina	Gossan	Estéril Granulom.	Escoria Fund.	Estéril pozo
Hematite	5.6	11	6.6	12	5.2	12	18		7.6
Magnetita	6.1	6.1	4.1	4.1	2.2	2.2	4.1		2.1
Galena		4.2	Traza	Traza	1.2	1.2	1.1		Traza
Greenalita	Traza	Traza	Traza	Traza		Traza	Traza		
Esfalerita	2.1	Traza	1.2	1.1	Traza	1.1	Traza		1.1
Calcopirita	4.2	1.5	1.2	1.2	Traza	6.3	Traza		2.5
Pirrotina		Traza	Traza	Traza	Traza	Traza	1.2		
Pirita	3.1	7.1	6.1	8.2	5.2	5.6	10		7.1
Caolinita	9.5	9.5	9.5	2.5	8.7	1.5	9.5		7.1
Dolomita	2.3	2.3		Traza	Traza	Traza	2.3		Traza
Calcita	Traza	1.2		Traza	Traza	Traza	Traza		1
Moscovita	3.2	1.1	1.3	1.1	1	1.1	Traza	1.1	1.2
Cuarzo	20	13	14	10	21	21	10	14	17
Clorita	2.1	3.1	2.1	2.1	3.2	2.2	Traza		2.1
Feldesp. Ca	Traza	1.6	1.2	Traza	Traza	Traza	Traza		Traza
Feldesp. Na-Ca	Traza	1.7	1.3	2.1	Traza		Traza	1.2	Traza
Siderita	Traza	Traza	Traza	Traza	Traza	Traza	Traza		Traza

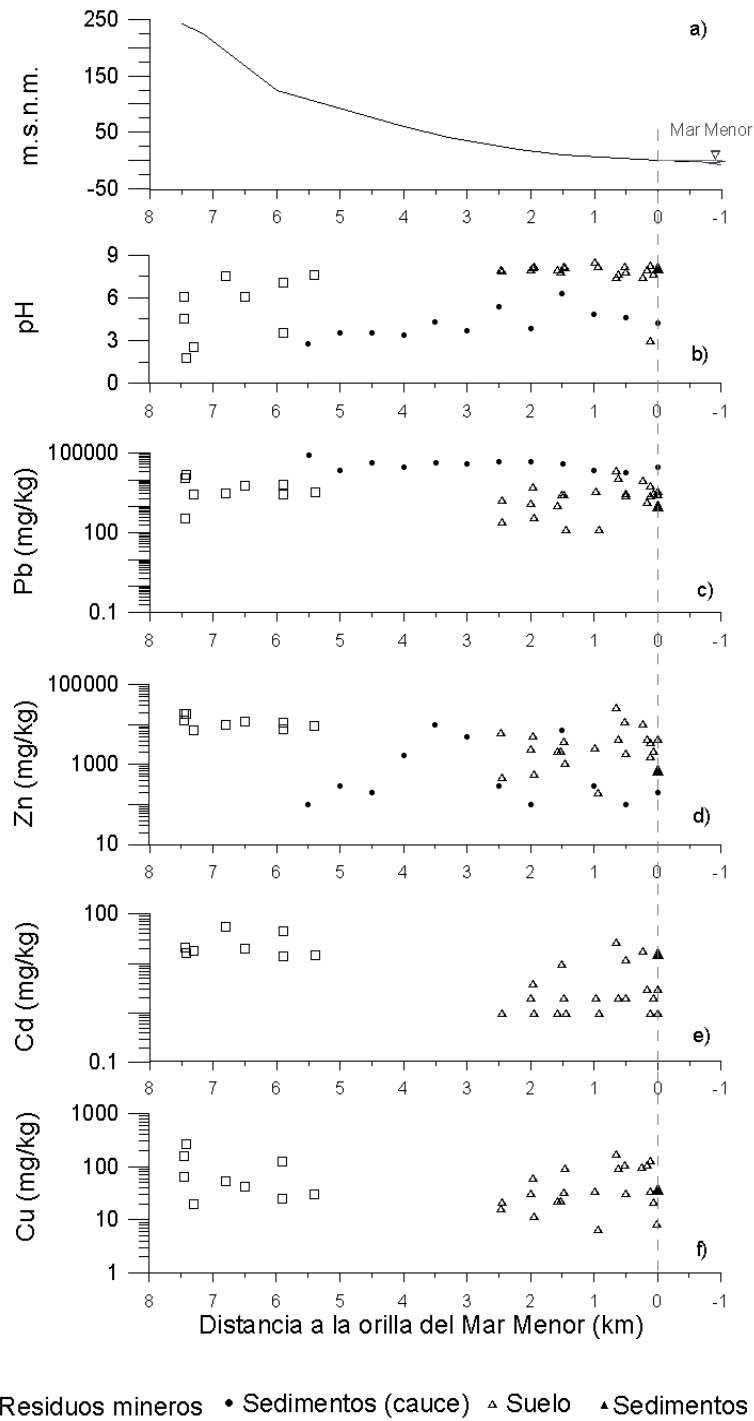


Figura 6.4 Distribución de la concentración de metales a lo largo de un perfil longitudinal de la rambla del Beal, la concentración de los residuos presentes en la cabecera y de los sedimentos presentes en la orilla del Mar Menor (García 2004)

6.2.1 Impacto sobre sedimentos y suelo

Para valorar el aporte de sedimento procedente de las balsas de residuos a las ramblas se ha estudiado el material presente en el lecho de la rambla del Beal, a lo largo de un perfil longitudinal, por considerarla representativa del área de estudio. Ello ha permitido reconocer que el sedimento transportado por el agua de escorrentía, de acuerdo a su granulometría y composición química, procede principalmente de las balsas de residuos, de lodos de flotación y estériles de gravimetría, presentes en la cabecera de la rambla.

Los análisis químicos muestran elevadas concentraciones de Pb, Zn y Cd. En la Figura 6.4 se comprueba como varía la concentración a lo largo del lecho desde la cabecera de la rambla hasta la ribera del Mar Menor. La concentración de Pb y Zn oscila entre 19000-85000 mg/kg y 100-10000 mg/kg respectivamente). Los contenidos de metales de la parte superior del suelo de las llanuras de inundación comprendidas entre los cauces de las ramblas del Beal y Ponce oscilan entre 130–22000 mg/kg de Pb, 200–28000 mg/kg de Zn, mientras que la composición media de Cd total es 4.5 mg/kg y la de Cu total 55 mg/kg (Fig. 6.4; García 2004).

Para tener una idea del orden de magnitud que tienen las concentraciones determinadas, se han comparado los resultados obtenidos con los límites marcados por el R.D. 1310/1990, que indica las concentraciones admisibles de un suelo agrario al que se le puede aplicar un lodo procedente de la depuración de agua. Los límites son 150 mg/kg de Zn y 50 mg/kg de Pb para $\text{pH} < 7$, mientras que para suelos agrarios con $\text{pH} > 7$ los valores admisibles son 450 mg/kg de Zn y 300 mg/kg de Pb. Las muestras de sedimentos muestran un $\text{pH} < 7$, el 75 % de las muestras excede el valor admitido de Zn, mientras que el contenido admisible de Pb es excedido en todas las muestras. Las muestras de suelo presentan $\text{pH} > 7$, el 13% se encuentra bajo los límites marcados para el Pb y el 5 % para el Zn. Esta elevada concentración se debe a dos orígenes fundamentalmente, el primero está relacionado con el vertido directo y sin control de residuos al cauce de las ramblas, como se indicó previamente, y en segundo lugar a la erosión de las balsas de residuos.

Por lo que respecta a los sedimentos del Mar Menor, Simonneau (1973) estimó que la tasa de sedimentación es de 30 cm/siglo, e indicó que en los niveles inferiores del sedimento depositado en la albufera la concentración de Pb, Zn y Mn no supera los 450-500 ppm, mientras que en los sedimentos superficiales se alcanzan las 2000 ppm de Zn y Pb y 1000 ppm de Mn. Los metales se encuentran principalmente en forma de hidróxidos y óxidos de hierro. En 2003 se determinó en una muestra recogida en la desembocadura de la rambla del Beal una concentración de 650 ppm de Zn y 950 ppm de Pb

(García 2004). La concentración de metales sigue siendo elevada porque las fuentes contaminantes persisten y no se han evitado los procesos de erosión que dan lugar al transporte de los metales.

6.2.2 Impacto sobre el medio hídrico superficial

Como se presentó en el capítulo 5 el agua de escorrentía se caracteriza por presentar unas concentraciones muy elevadas de sulfato y un contenido de sólidos en suspensión comprendido entre 5-30 g/L, con un pH ácido. Estas características las adquiere por la disolución de las eflorescencias salinas presentes sobre el terreno y balsas de residuos, y por el transporte en suspensión de partículas finas producidas por la erosión de las acumulaciones de residuos.

Las eflorescencias salinas se forman durante periodos secos, debido a la evaporación del agua, que genera precipitados altamente solubles en forma de costras. En la Tabla 6.2 se muestra la mineralogía de las muestras analizadas en función del residuo minero sobre el que se generaron. Sobre el terreno natural también se pueden encontrar, pero su origen se debe a la evaporación de agua de escorrentía acumulada sobre el mismo, enriquecida previamente por la disolución de las costras generadas durante un periodo sin precipitación previo. Lo que indica que la generación de eflorescencias y su disolución es un proceso cíclico condicionado por la climatología.

Tabla 6.2 Mineralogía de las eflorescencias salinas desarrolladas sobre los distintos tipos de residuos inventariados (determinada con XRD)

(% en peso)	Estéril corta	Lodos Flotac.	Lodos Flot.(mar)	Estéril Gravim.	Estéril mina	Gossan	Estéril Granulom.	Estéril pozo
Rozenita		12	92					61
Yeso		7.3	1.3	52		0.6	3.2	
Illita		1.6		2.7				
Cuarzo		2.8		1.0			6.7	
Clorita	5.3	3.3		5.5			11	9.0
Apjohnita	7.8	30		4.5	88			
Halotrichita	2.2	1.5			2.2			
Hexahidrita		3.6				2.1	14	
Epsomita		13	1.2			8.9		

Los minerales mas abundantes son la rozenita ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) para los lodos de flotación en mar y los estériles de pozo, apjohnita ($\text{MnAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$) para los lodos depositados en tierra y para los estériles de mina y corta, para los residuos de granulometría el mineral mas abundante es la hexahidrita ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), y la epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) para el material procedente del gossan, es el segundo mineral en abundancia en las eflorescencias generadas sobre los lodos de flotación en tierra. Pero la representatividad de estos valores es limitada dada la heterogeneidad en el desarrollo de eflorescencias y la gran variedad química de las acumulaciones de residuos. Se puede comprobar que en estos minerales

aparece fundamentalmente Fe, Al y Mn. Otros metales pueden aparecer en las eflorescencias retenidos en la estructura de la costra salina. Los metales son movilizados cuando la costra es destruida, ya sea por la erosión eólica o por su disolución en la escorrentía superficial, lo que facilita su dispersión por el medio como indican los valores de la Figura 6.4.

Este agua enriquecida en sulfatos y metales, principalmente debido a la disolución de eflorescencias, forma parte de la escorrentía superficial, y puede llegar a alcanzar las masas de agua marina localizadas en las proximidades del área de estudio. En el caso del agua del Mar Menor se han registrado concentraciones de 0.41 mg/L de Zn y 0.07 mg/L de Pb y Mn en las proximidades de la desembocadura de la rambla del Beal.

Tabla 6.3 Resultados del test de lixiviación DIN 38414-S4 realizado con muestras representativas de los residuos mineros presentes en la Sierra de Cartagena-La Unión (Los valores son la media de dos muestras)

Residuo	(R)	pH	EC	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni
			mS/cm			mg/L		
Gossan	1	7.5	1.34	<0.4	<0.1	<0.05	<0.1	<0.4
	2	7.8	0.51	<0.4	<0.1	<0.05	<0.1	<0.4
	3	8.0	0.18	<0.4	<0.1	<0.05	<0.1	<0.4
Gossan	1	6.5	0.48	<0.4	1.71	<0.05	<0.1	<0.4
	2	6.6	0.22	<0.4	0.77	<0.05	<0.1	<0.4
	3	6.7	0.14	<0.4	0.46	<0.05	<0.1	<0.4
Estéril de gravimetría	1	3.2	1.40	2.25	27.56	0.15	<0.1	<0.4
	2	3.4	0.43	3.29	4.29	<0.05	<0.1	<0.4
	3	3.5	0.28	1.02	2.06	<0.05	<0.1	<0.4
Estéril de gravimetría	1	4.4	4.76	3.55	264	2.03	0.13	<0.4
	2	4.7	1.46	2.99	46.36	0.37	<0.1	<0.4
	3	4.8	0.48	3.26	13.63	0.12	<0.1	<0.4
Estéril de corta	1	6.1	2.60	<0.4	66.13	0.82	<0.1	<0.4
	2	6.6	0.67	<0.4	5.39	<0.05	<0.1	<0.4
	3	7.1	0.25	<0.4	0.62	<0.05	<0.1	<0.4
Lodos de flotación	1	6.0	2.94	2.35	118.3	0.59	<0.1	<0.4
	2	6.1	2.32	1.68	30.33	0.17	<0.1	<0.4
	3	6.3	0.75	<0.4	9.59	<0.05	<0.1	<0.4
Lodos de flotación	1	8.2	4.2	<0.02	<0.4	<0.007	<0.1	<0.4
	2	8.3	2.3	<0.02	<0.4	<0.007	<0.1	<0.4
	3	8.4	2.1	<0.02	<0.4	<0.007	<0.1	<0.4
Escoria de fundición	1	5.1	0.15	8.39	10.53	<0.05	<0.1	<0.4
	2	5.4	0.03	3.81	2.32	<0.05	<0.1	<0.4
	3	5.5	0.02	2.45	1.10	<0.05	<0.1	<0.4
Nivel máximo permisible		4-13	50	1	5	0.2	5	1

(R) indica la repetición del ensayo

6.2.3 Evaluación del riesgo ambiental

Para evaluar el riesgo ambiental de los residuos minero-metalúrgicos existentes en la Sierra de Cartagena-La Unión se ha realizado un test de lixiviación siguiendo la normativa DIN 38414-S4 del Deutsches Institut für Normung (DIN-NORMEN 1984), con muestras representativas de varios tipos de residuos presentes en el área de estudio. Se han ensayado dos muestras procedentes de acumulaciones de gossan, dos de gravimetría y dos muestras de lodos de flotación procedentes de acumulaciones con distinto pH, una de estéril de corta, (estos estériles están muy condicionados por la heterogeneidad del medio y los resultados dependen mucho del punto de muestreo), y por último una de escoria de fundición. El ensayo se repitió tres veces sucesivas con cada residuo, para evaluar la evolución de la concentración de cada elemento en el lixiviado.

Los resultados se muestran en la Tabla 6.3. Se observa que la conductividad eléctrica y el contenido en metales tienden a disminuir en el transcurso de las extracciones, mientras que el pH aumenta. La concentración de metales en los lixiviados de residuos con pH básico está bajo los límites de detección, mientras que los lixiviados con pH ácido presentan concentraciones no admisibles por la normativa. Estos resultados indican que la presencia de metales en el lixiviado está condicionada por el pH del efluente que depende del pH inicial del residuo.

6.3 SÍNTESIS DEL CAPÍTULO

Si se observan los valores determinados de conductividad eléctrica, pH, y el contenido de SO_4^- , Pb y Zn principalmente, en muestras de suelo, sedimento y agua se pueden reconocer las modificaciones inducidas por las actividades minero-metalúrgicas y por la presencia de los residuos generados en la superficie del terreno en el área de estudio. A lo largo de la rambla del Beal se ha podido determinar que la concentración de Pb en las muestras de sedimento supera los 50 mg/kg, y sólo el 25 % presenta una concentración de Zn inferior a 150 mg/kg. Respecto al suelo, en las muestras procedentes de las llanuras de inundación comprendidas entre los cauces de la rambla del Beal y Ponce, se observa que superan los 450 mg/kg de Zn en el 95 % de las muestras y los 300 mg/kg de Pb en el 77 % de las muestras. Estas concentraciones elevadas se deben al vertido incontrolado de residuos inicial al cauce de las ramblas (prohibido en 1956) y posteriormente a la acumulación de sedimento generado por la erosión de las acumulaciones de residuos. El fondo geoquímico natural se desconoce dado el largo periodo de actividad minera que ha tenido lugar en el área de estudio.

En el Mar Menor se siguen detectando elevadas concentraciones de metales en el sedimento, como ya se ilustró en la década de 1970, indicando que las fuentes de metales aun existen, así como los mecanismos de transporte que los movilizan. La erosión puede ser eólica e hídrica, caracterizándose la escorrentía superficial por un elevado contenido de material en suspensión (5-30 g/L), elevada concentración de sulfato, pH ácido y por la presencia de metales pesados, ya sea en suspensión o en disolución. El enriquecimiento es debido principalmente a la meteorización de las balsas de residuos, que incluye la oxidación de sulfuros y la disolución de las eflorescencias salinas generadas sobre las propias balsas de residuos y el terreno. Estos resultados evidencian que los procesos que dan lugar a la movilización de contaminantes siguen activos, ya que las fuentes no se han extinguido ni se ha evitado la erosión de las acumulaciones de residuos mineros.

Para conocer el riesgo ambiental asociado a las acumulaciones de residuos, se han sometido muestras representativas de los distintos tipos inventariados en el área de estudio a un test de lixiviación, indicando que la movilidad de metales depende principalmente del pH original del residuo, siendo más elevada para residuos originariamente con pH ácido. Se observa que en la conductividad eléctrica y concentración de metales disminuye en cada repetición del test de lixiviación mientras que el pH tiende a aumentar.

En lo que respecta al agua subterránea se observa un claro enriquecimiento en sulfato y descenso del pH debido a la oxidación de la mineralización, aunque en la mayoría de los puntos este pH es neutralizado por el material carbonatado presente en el acuífero. La recarga y flujo subterráneo han quedado altamente condicionado por la excavación de cortas, pozos y galerías mineras.

Referencias

- DIN-NORMEN (1984) DIN 38414-S4 German standards methods for the examination of water, waste water and sludge; group S (sludge and sediments); determination of leachability by water (S4)
- García C (2004) Impacto y riesgo ambiental de los residuos minero-metalúrgicos de la Sierra de Cartagena-La Unión (Murcia-España). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena 423 p
- Vilar JB, Egea Bruno PM, Fernández-Gutiérrez JC (1991) La minería murciana contemporánea (1930–1985). Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 256 p
- Simonneau J (1973) Mar Menor. Evolution sedimentologique et geoquimique récent du remplissage. PhD Thesis. Université Paul Sabatier. 172 p

Capítulo 7

Conclusiones generales
Recomendaciones



CONCLUSIONES GENERALES

En esta tesis se define el modelo de funcionamiento hidrogeológico de acuífero fracturado Sierra de Cartagena-La Unión, desarrollado en un entorno afectado por actividades mineras bajo clima semiárido. Se muestran las características físico-químicas del agua muestreada y su evolución espacio-temporal, así como el impacto ocasionado por las acumulaciones de residuos mineros.

Las principales conclusiones obtenidas del desarrollo de esta tesis son las siguientes:

El acuífero fracturado Sierra de Cartagena-La Unión está caracterizado por una alta complejidad litológica y estructural, a lo que hay que sumar las intensas modificaciones producidas por las actividades mineras superficiales y subterráneas. Todos estos factores permiten que se desarrollen diferentes contextos hidráulicos e hidroquímicos en el medio. El espesor del acuífero varía mucho (400-800 m) y los límites del mismo no se han podido definir con exactitud. El inmenso número de pozos mineros, el desconocido número de kilómetros de galerías y las fracturas tectónicas han originado una red de vías que favorece la existencia de un flujo preferencial del agua subterránea. Mientras que en la zona de cortas mineras se favorece la infiltración directa del agua de lluvia, única recarga del acuífero, al encontrarse el terreno altamente fracturado mayoritariamente por causas antrópicas.

La fracturación tectónica ha permitido el desarrollo de un acuífero compartimentado en cuatro bloques hidrogeológicos principales delimitados por fallas del sistema N-130, como evidencia el mapa piezométrico y los mapas de isocontenidos de ion cloruro y sulfato. De acuerdo a la piezometría elaborada con datos de esta campaña y de estudios previos, se ha observado una tendencia a mantener la misma forma de la superficie piezométrica, indicativo de que los volúmenes de entradas y salidas del acuífero han permanecido sin cambios substanciales aparentes. La continuidad hidráulica observada evidencia que no se trata de agua de lluvia estancada, almacenada en los propios pozos como se indicaba en estudios previos.

Las características hidroquímicas del agua del acuífero presentan una gran variabilidad espacial debido a la gran heterogeneidad del medio y por los procesos geoquímicos favorecidos por las actividades mineras, como la oxidación de mineralización.

En función de la trayectoria de flujo seguida por el agua infiltrada se pueden reconocer distintos tiempos de tránsito en el acuífero, uno rápido mostrado por las surgencias ácidas y no ácidas, y otro con mayor periodo de residencia al que responden las muestras recogidas en los pozos mineros. En el primer caso

el agua puede interactuar con la mineralización, como lo evidencian las muestras de las surgencias ácidas, o no hacerlo. Las muestras recogidas en los lagos desarrollados en cortas están constituidas por una mezcla de agua subterránea, de precipitación y de escorrentía, como indican los datos isotópicos.

El pH y el sulfato condicionan el transporte y retención de los metales. El porcentaje de la forma iónica de cada elemento (Ca^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ , Ni^{2+} y Zn^{2+}) es mayor a pH básico, mientras que a pH más bajo están preferentemente combinadas con el ion sulfato en forma de MSO_4^- . Muestras con $\text{pH} < 2$ están en equilibrio con yeso y anhidrita; a $\text{pH} = 5.5$ se reconoce equilibrio con yeso, celestina y goethita y sobresaturación en hematite; a $\text{pH} 7.8$ la muestra está sobresaturada en calcita, dolomita, aragonito, en carbonatos y oxi-hidróxidos de Fe (goethita, hematite y lepidocroita) y rodocrosita, y subsaturada en yeso y anhidrita.

Se aprecia una tendencia espacial del agua del acuífero a disminuir su concentración de ion sulfato hacia las zonas más alejadas de las principales explotaciones mineras. La evolución temporal también muestra una tendencia a disminuir la concentración de ion sulfato, al menos en los últimos treinta años, principalmente debido al efecto de dilución y a la reducción en la tasa de oxidación de la mineralización en el acuífero. La concentración de ion cloruro está afectada por diferentes vertidos de residuos mezclados con agua de mar mostrando una evolución no tan clara.

El análisis de los resultados de los diferentes parámetros hidroquímicos indican que el ion sulfato es el mejor indicador de contaminación que se puede utilizar en zonas afectadas por mineralización de sulfuros.

A partir de los datos disponibles de concentración de metales en suelo y sedimentos, se ha comprobado que en la superficie del terreno aun siguen produciéndose los procesos de movilización de sulfato y metales, debido a la erosión de las acumulaciones de los residuos. Lo que evidencia que los procesos que dan lugar a la movilización de contaminantes siguen activos, y que mientras las fuentes permanezcan sin aislamiento se seguirá produciendo la movilización de estos elementos en el medio. Las acumulaciones de pH ácido tienden a liberar lixiviados con pH ácido y concentraciones de metales elevadas como han mostrado los test de lixiviación.

Con los datos generados durante el desarrollo de esta tesis y los obtenidos de la bibliografía se ha creado una base de datos hidroquímicos y de puntos de agua en la que se recoge toda la información disponible sobre el agua superficial y subterránea de la Sierra de Cartagena-La Unión.

RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo de esta investigación han ido apareciendo interrogantes, muchos han sido resueltos y otros pueden constituir nuevas tareas para futuras investigaciones. Las líneas de investigación propuestas son las siguientes:

- Es necesario definir con precisión los límites del acuífero. Para ello sería necesario disponer de información geofísica que caracterizase la extensión del substrato bético al N y S de la Sierra de Cartagena-La Unión. También sería conveniente realizar perforaciones profundas en el Campo de Cartagena que alcanzasen el basamento, para poder evaluar la posible existencia de acuíferos y llevar a cabo su caracterización. Los datos obtenidos permitirían establecer la relación hidráulica de la unidad hidrogeológica de la Sierra de Cartagena-La Unión con la unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena. En lo que respecta al contacto con el mar Mediterráneo sería conveniente realizar campañas geofísicas para conocer la extensión del substrato bético e identificar posibles surgencias de agua dulce.

- Conocida la situación hidroquímica del acuífero convendría establecer una red de control, con medidas sistemáticas para seguir la evolución, así como establecer una red de monitoreo que registre las variaciones de nivel en los lagos y de caudal de las surgencias naturales y ácidas, para poder establecer con mayor exactitud el balance hídrico del acuífero. Se necesitan datos fiables de caudal de las extracciones que se están realizando en el acuífero, y un registro del nivel dinámico y estático en estas captaciones.

- Se podría completar esta investigación modelando numéricamente el flujo en el acuífero. Para ello sería necesario generar más datos piezométricos e hidroquímicos, así como tener una mejor caracterización y cartografía de las perforaciones mineras.

- El posible uso del agua del acuífero Sierra de Cartagena-La Unión de un modo racional y controlado, requeriría un estudio mas profundo de la cantidad y calidad del agua necesaria y de las afecciones que esta extracción podría provocar al medio y al propio recurso. Se podrían aplicar tratamientos pasivos a los drenajes ácidos y lagos, para minimizar su impacto en el medio y potenciar el desarrollo de un ecosistema.

- En esta investigación se ha evidenciado un claro transporte de metales por el viento y la escorrentía superficial, se deberían plantear estudios que caracterizasen en profundidad este transporte para establecer medidas correctoras que eviten la movilización, y por tanto la entrada de elementos eco-

tóxicos en los ecosistemas. Estas actuaciones estarían encaminadas principalmente al aislamiento de las acumulaciones de residuos mineros y posteriormente con su recubrimiento mediante suelo vegetal para permitir el desarrollo de la flora autóctona.

- La principal recomendación que ha surgido al abordar el estudio de una zona minera abandonada es la necesidad imperiosa de establecer una legislación que evite que se degrade “más” el medio, tanto de la propia zona minera como de las áreas de influencia, y que se obligue a la institución o empresa competente a cumplirla.

Anejo I

Inventario de puntos de agua

INVENTARIO DE POZOS MINEROS

Los pozos mineros que se muestran en las siguientes tablas proceden de García et al. (2001). Los datos de cota piezométrica para diferentes años pertenecen a diversos informes: 1976 (Carulla 1977), 1978 (García et al. 1978), 1995 (IGME-MOPTMA 1996), 2000 (documento inédito), 2001 (García et al. 2001), 2002 (García y Manteca 2002), 2003 (este estudio) y 2005 (documento inédito).

Pozo	UTM_x	UTM_y	UTM_z	Cota del nivel piezométrico (msnm)							
				1976	1978	1995	2000	2001	2002	2003	2005
C-1775	680576	4164181	66					23.80		23.80	
C-941	684314	4168084	77					47.15		49.30	
C-603	684181	4166895	77					-6.00		24.00	
C-940	684606	4166989	145					7.48		31.76	
C-602	683603	4167753	58			51.60				51.60	
C-608	685235	4166574	93			78.00				78.00	
C-607	683780	4165747	57			13.00				13.00	
C-876	683378	4165360	56			40.10		40.10			
C-415	683570	4165165	75			-42.00				-30.03	
C-367	681236	4164716	71			13.45				-28.20	
C-382	683107	4164469	81							-104.00	
C-412	683014	4164322	87						64.49	64.49	
C-392	683692	4164203	90						-15.50	-14.14	
C-878	684230	4164720	63						-17.00	-17.00	
C-417	685539	4166115	129						75.05	72.60	
C-419	685511	4166025	151						-74.00	-119.91	
C-605	684516	4165945	86						57.15	57.15	
C-439	685441	4165854	151							-74.55	
C-438	685557	4165895	138						-100.20	-69.28	
C-437	685536	4165760	134						-166.00	-72.83	
C-436	685518	4165714	135						120.30	123.30	
C-460	684859	4165600	123						19.60	-102.00	
C-447	685412	4165614	169						0.00		
C-444	685519	4165529	170						-55.00	-69.00	
C-442	685598	4165527	163						-100.00		
C-443	685620	4165447	163						-100.00		
C-459	684776	4165265	96						-27.00	-27.00	
C-461	685161	4165341	106						83.95	86.00	
C-462	685247	4165372	114						95.00	97.17	
C-464	685553	4165223	116						58.00	46.72	
C-475	685757	4164910	113						93.75	92.26	
C-474	685312	4164793	104						84.00	84.00	
C-480	685755	4164659	111						90.95	92.40	
C-479	685688	4164564	108						93.00	92.20	
C-472	684698	4164828	78			59.00				59.00	
C-476	684137	4164944	74			-136.00				-136.00	

Cota del nivel piezométrico (msnm)											
Pozo	UTM_x	UTM_y	UTM_z	1976	1978	1995	2000	2001	2002	2003	2005
C-604	684305	4165389	78			47.50		47.50			
C-468	684462	4164622	70				48.00			48.00	
C-403	683185	4163941	98						65.32	68.85	
C-371	683203	4163915	99						69.00	69.25	
C-372	683224	4163885	94						62.70	62.70	
C-601	685601	4163224	251						90.50	92.25	
C-1651	685385	4162906	194						127.15	129.34	
C-600	685825	4162857	152						0.00	30.85	
C-598	685599	4162294	108						13.50	35.79	
C-599	685488	4162169	93						32.40	34.30	
C-939	687177	4168710	47				33.25		34.80		
C-117	689419	4167204	89						4.00	3.61	
C-52	689187	4166844	130				90.30			90.32	
C-51	689316	4166792	103				12.63			17.40	
C-22	689165	4166703	133	23.46			24.07			26.00	
C-29	689437	4166586	112				61.85			62.90	
C-1946	687216	4167279	97						80.70	81.85	
C-1948	687151	4167363	124						86.60	63.30	
C-428	685915	4166220	92							-76.45	
C-427	686029	4166053	99					-10.00		-73.32	
C-426	686191	4166054	88					-56.40		-56.25	
C-424	686415	4166037	86					-14.00		-14.00	
C-423	686655	4166073	87					-13.00		-63.00	
C-1538	686882	4166308	99							0.00	
C-456	685812	4165852	110					-107.80		-73.70	
C-454	685901	4165865	103					85.00		85.00	
C-453;	686059	4165764	98					-74.15			
C-449	685962	4165611	107					-74.83		-108.00	
C-441	685865	4165513	106							-54.73	
C-433	686610	4165760	96					-112.40		-109.00	
C-458	686733	4165485	107							87.20	
C-450	686078	4165473	106					-102.85		-69.55	
C-477	685863	4165069	114					-11.00		-12.92	
C-661	686273	4165060	122					108.16			
C-661	686273	4165060	122							109.27	
C-624	686557	4165158	132					112.50		112.50	
C-1787	685931	4164822	120					108.42		108.70	
C-1786	685957	4164808	121					108.70		108.70	
C-481	686088	4164763	126				106.80			107.83	
C-485	686175	4164829	135					108.10		107.12	
C-1782	686913	4164847	165					126.16		122.40	
C-1759	687353	4164929	173					145.58		149.58	

Cota del nivel piezométrico (msnm)

Pozo	UTM_x	UTM_y	UTM_z	Cota del nivel piezométrico (msnm)							
				1976	1978	1995	2000	2001	2002	2003	2005
C-1754	687643	4165195	150					130.89		131.97	
C-622	687129	4164931	153					131.66		135.25	
C-621	687083	4164984	155					133.75		137.48	
C-620	687281	4164950	191					133.52		137.85	
C-1777	687256	4164810	184					134.02		137.92	
C-1760	687467	4164833	188					165.10		167.85	
C-1762	687455	4164728	194					185.20		182.45	
C-1803	687402	4164510	297					223.85		224.47	
C-1796	687112	4164295	259					219.86		220.73	
C-553	687295	4164252	271					231.46		230.03	
C-1797	687430	4164359	293					239.06		240.37	
C-544	687644	4164493	304					219.33		218.70	
C-543	687733	4164523	298					221.27		222.00	
C-540	687784	4164475	293					244.10		244.23	
C-546	687712	4164435	308					223.00		217.57	
C-534	687732	4164300	298					275.00		275.00	
C-533	687752	4164268	296					249.63		249.56	
C-539	687818	4164317	288					248.28		248.28	
C-594	687870	4164253	284					248.93		248.93	
C-593	687942	4164259	282					221.40		241.40	
C-1721	688080	4164362	260					248.36		249.83	
C-10	688361	4166221	137					116.18		118.30	252.86
C-667	688378	4165776	163					95.00		110.30	
C-1557	688510	4165583	168		156.15			153.23		156.80	
C-1684	688304	4165387	219					187.60		187.87	127.86
C-614	688154	4165324	174					163.11		162.09	
C-617	688228	4165303	206					184.86		185.29	
C-1683	688373	4165339	231					198.30		199.82	
C-1682	688426	4165271	250					208.02		210.85	186.66
C-1711	688075	4165197	166					151.66		151.72	
C-1718	688290	4165184	238					185.78		186.37	
C-1675	688335	4165170	265					174.40		180.50	
C-1680	688364	4165212	260					187.80		191.20	
C-1709	688166	4165122	184					162.69		162.67	
C-1705	687986	4164949	169					159.40		163.52	
C-1710	688068	4165085	172					157.54		157.82	
C-1706	688113	4164924	187					178.23		179.03	
C-2	688859	4166476	148					116.13		123.22	
C-1	689017	4166381	122					93.58		96.65	
C-15	689115	4166505	125		41.21			38.10		40.59	
C-16	689189	4166524	117		12.19			12.87		20.67	
C-17	689288	4166315	125		-2.96			-7.60		15.63	
C-1530	689136	4166210	133					78.88		85.58	

Pozo	UTM_x	UTM_y	UTM_z	Cota del nivel piezométrico (msnm)							
				1976	1978	1995	2000	2001	2002	2003	2005
C-13	688967	4166156	139					113.60		116.46	
C-5	688751	4166157	171		128.28			127.25		129.27	
C-6	688649	4166100	168					120.78		121.17	
C-7	688594	4166023	158					119.85		114.50	
C-11	688620	4165985	145					122.97		133.75	
C-1531	689111	4166006	142		56.28			43.40		50.19	
C-365	689184	4166111	133		71.18			67.20		60.90	
C-1536	689394	4166134	140					78.88		80.57	
C-1533	689423	4165958	152					134.28		135.69	
C-1532	689237	4165872	154		106.16			108.29		106.90	
C-1656	689172	4165773	167					139.50		139.50	
C-1547	688920	4165820	157		119.60			126.98		127.52	
C-1548	688872	4165813	159		95.90			91.73		104.90	
C-1546	688765	4165914	146		94.70			101.78		120.76	
C-1559	688600	4165775	157					137.13		137.00	
C-1554	688651	4165338	248					213.03		220.72	
C-1672	688557	4165070	300					272.25		276.00	
C-1751	688537	4164856	362					241.07		241.80	
C-1659	688761	4164846	371					240.68		244.03	
C-1741	688590	4164751	383					249.23		247.96	
C-1752	688672	4164723	369					249.92		248.95	248.01
C-1753	688819	4164660	359					266.93		267.28	
C-488	686403	4164038	177					121.46		120.53	
C-587	686021	4162374	143					29.83		26.71	
C-586	686401	4162140	109					36.00		32.96	
C-648	686497	4162314	104					94.02		95.77	
C-589	686611	4162468	137					34.00		31.98	
C-558	686997	4162980	150					33.30		29.96	
C-562	686624	4163100	166					32.00		30.16	
C-642	686975	4163212	136					127.40		127.79	
C-563	686868	4163324	178					71.00		71.20	
C-495	686909	4163578	187					165.66		165.42	
C-498	686719	4163652	181					157.60		159.01	
C-490	686703	4163779	197					147.76		148.31	
C-1809	686965	4164032	232					179.86		180.25	
C-510	687221	4164194	270					227.01		226.66	
C-584	687344	4163218	150					130.03		131.37	
C-644	687222	4163159	135					125.85		124.97	
C-643	687215	4163096	135					111.34		110.05	
C-556	687015	4163147	129					58.00		57.40	
C-565	687348	4162637	132					34.00		31.75	
C-564	687312	4162554	100	2.22						2.50	
C-560	687186	4162460	106					29.00		26.49	
C-569	687386	4162182	143					36.50		34.73	
C-570	687451	4162021	116					31.00		29.07	

Cota del nivel piezométrico (msnm)											
Pozo	UTM_x	UTM_y	UTM_z	1976	1978	1995	2000	2001	2002	2003	2005
C-613	687121	4161972	151	30.65				30.65			
C-567	687787	4161943	87					34.30			
C-567	687787	4161943	87							34.30	
C-578	687963	4162084	125			75.00		72.30		73.41	
C-577	687887	4162376	130					33.00		30.48	
C-659	687580	4162382	71					51.19		53.65	
C-580	687837	4162557	160					32.00		31.46	
C-652	687754	4162753	178					28.08		28.88	
C-582	687668	4162868	146					40.30		42.36	
C-581	687818	4163024	193					70.40		70.53	
C-634	687603	4163007	135					113.51		116.08	
C-1821	687861	4163233	185					102.60		106.70	
C-636	687767	4163228	175					155.80		157.55	
C-1817	687660	4163278	198					128.85		128.88	
C-660	687770	4163727	272					209.61		211.67	
C-656	687766	4163822	252					232.66		233.75	
C-633	687814	4163825	243					228.00		229.07	
C-632	687824	4163846	240					227.20		228.03	
C-655	687713	4163921	272					233.11		232.84	
C-1722	688190	4164231	245					225.04		226.30	
C-1723	688240	4164180	235					224.41		226.80	
C-1724	688250	4164152	200					192.68		194.22	
C-1622	688020	4164129	272					225.35		226.39	
C-596	688026	4164052	252					225.50		224.02	
C-1915	688497	4164026	254					210.96		210.00	
C-1914	688540	4163894	212					190.06		190.06	
C-1913	688500	4163862	213					178.16		178.16	
C-561	688009	4163819	232					209.20		208.48	
C-658	688199	4163375	105					95.80		97.30	
C-1823	688014	4163184	217					154.37		154.35	209.60
C-1858	688417	4162812	109					73.62		71.96	
C-1862	688489	4162763	95					57.58		56.13	
C-576	688275	4162374	82					29.90		28.68	
C-1906	688321	4162215	70					22.60		23.35	
C-579	688151	4162295	124					33.00		-9.15	
C-575	688538	4162246	38	14.90				18.17		18.68	
C-1867	688842	4162193	61					-0.39		0.83	
C-1835	688787	4162516	25					1.55		1.48	
C-1836	688730	4162500	31					4.70		4.47	
C-1840	688669	4162523	35					9.92		8.65	
C-1863	688610	4162510	38					22.96		20.43	
C-1845	688590	4162612	67					19.83		18.93	
C-1844	688572	4162675	75					66.32		66.11	
C-1869	688758	4162796	35					10.83		12.46	
C-571	688709	4162847	42	30.80				19.50		19.53	

Cota del nivel piezométrico (msnm)

Pozo	UTM_x	UTM_y	UTM_z	1976	1978	1995	2000	2001	2002	2003	2005
C-572	688609	4162916	55	24.50				24.00		24.68	
C-1907	688872	4163592	67					55.66		55.66	
C-1908	688585	4163699	140					119.04		119.04	
C-1910	688634	4163749	149					135.77			
C-1909	688658	4163790	152					142.66			
C-1918	688820	4163813	175					148.91			
C-1513	689462	4164242	235					174.43			
C-691	689041	4163637	94					74.96		74.40	
C-631	689254	4162653	10							-1.60	
C-612	685147	4161806	131	16.65							
C-585	685886	4161626	67	38.60				34.50			
C-662	685443	4161573	74					30.68			
C-662	685443	4161573	74								
C-1955	692749	4169946	4.5					-3.12		-2.62	
C-1958	692007	4170112	10							-7.00	
C-128	689829	4167611	73				-52.00			-52.00	
C-124	689583	4167455	81				24.89				
C-123	689593	4167338	84				53.00			54.17	
C-131	690335	4167377	81				4.90			2.12	
C-121	689524	4167297	86				53.00			54.75	
C-122	689623	4167252	86				-13.17			-9.62	
C-132	690327	4167319	80				2.35			4.96	
C-176	690445	4167323	82	-16.95						11.66	
C-138	689920	4167148	86		-49.69		-47.11			-48.00	
C-145	690069	4167036	87				2.20			-0.90	
C-55	689486	4166924	101				8.80			8.83	
C-91	689748	4166876	106				-16.62			-13.70	
C-44	689558	4166824	132		15.56		12.40			14.95	
C-84	689917	4166814	116							-5.12	
C-160	690117	4166822	102				18.34			17.85	
C-80	689778	4166770	114				39.15			45.09	
C-38	689528	4166645	112				74.15			74.30	
C-39	689580	4166623	115				79.25			84.40	
C-362	690146	4166700	112				-4.17			-0.89	
C-167	690476	4166775	104				18.65			22.33	
C-209	690980	4167760	73				49.24			51.38	
C-195	691260	4167100	92				21.78			21.80	
C-197	691319	4166944	88				22.82			24.39	
C-356	691410	4166875	94				15.05			23.50	
C-253	691702	4168088	162				100.45			103.70	
C-314	692257	4167399	86							52.05	
C-894	691980	4167228	83							31.60	
C-915	691540	4166829	99				65.00			65.47	
C-914	691614	4166774	101				56.00			56.33	

Cota del nivel piezométrico (msnm)

Pozo	UTM_x	UTM_y	UTM_z	1976	1978	1995	2000	2001	2002	2003	2005
C-886	692843	4167549	57				14.00			13.20	
C-1144	689528	4166515	129					75.41		79.48	
C-1137	689644	4166516	153					136.71		136.78	
C-1108	689897	4166441	151		94.50			88.21		92.20	
C-1111	689848	4166395	154		102.96			101.47		103.00	
C-1122	689868	4166107	229					219.11		142.23	
C-1088	690052	4166527	145					124.61		81.95	105.12
C-997	690211	4166328	158		21.58			22.40		24.97	
C-1150	690350	4166467	133		-9.03			16.20		19.61	
C-1009	690508	4166560	112					15.87		19.48	
C-1010	690540	4166592	109					20.95		21.29	
C-1012	690566	4166550	111							18.98	
C-1012	690566	4166550	111					14.67		17.02	
C-1033	690620	4166490	109				13.35				
C-1013	690552	4166515	113				18.93			22.78	
C-1014	690549	4166452	116				15.00			18.83	
C-1187	690745	4166155	137					16.80		20.60	
C-1200	690870	4166032	138							-162.00	
C-668	690912	4166270	126					17.77		21.50	
C-1199	690761	4165875	157					18.56		21.80	
C-1206	690702	4165407	213					16.65		20.70	
C-1205	690610	4165418	229					202.75		203.58	
C-1210	690590	4165317	245					155.00		160.20	
C-1240	690633	4165171	273					174.28		63.00	
C-1259	690820	4164984	228					-128.00		120.00	
C-1263	690860	4164747	246					115.3		117.82	
C-689	691276	4164525	183					114.00		112.25	
C-1351	691464	4164968	250					181.64		182.75	128.63
C-1267	691028	4165025	216					197.51		198.17	128.11
C-1310	691353	4165074	262					123.73		123.81	
C-675	691250	4165192	208					108.00		99.60	
C-1301	691101	4165351	181					144.36		145.30	124.36
C-1282	691403	4165488	238					55.45		55.52	
C-1297	691125	4165538	164					12.40		16.10	129.93
C-1054	691321	4165711	216					50.08		57.21	
C-1069	691170	4165933	156					35.05		35.16	
C-1073	691251	4165994	150					17.15		20.92	
C-1079	691360	4165988	148					18.27		21.90	35.03
C-1083	691483	4165960	140					52.50		47.16	
C-1077	691394	4165919	155					53.30		55.67	
C-1075	691356	4165872	163					68.00		67.21	
C-945	691382	4166184	129					20.85		24.50	
C-944	691467	4166159	126					26.00		18.71	
C-673	691603	4166341	119					39.00		16.39	

Cota del nivel piezométrico (msnm)

Pozo	UTM_x	UTM_y	UTM_z	1976	1978	1995	2000	2001	2002	2003	2005
C-943	691571	4166276	122					71.15		72.52	
C-1062	691541	4165567	199					99.85		105.34	
C-1323	691772	4165224	263					151.27		150.46	
C-1314	691808	4165117	296					221.15		221.16	
C-1329	691679	4165178	278					186.10		185.55	
C-674	691540	4164763	205					153.01		154.22	
C-1392	691603	4164571	191					153.56		154.48	
C-1390	691525	4164502	181					151.91		153.27	
C-1356	691893	4164832	227							174.11	
C-1382	692266	4164638	255							99.45	
C-979	692101	4165229	275				203.85			203.44	
C-686	692578	4165292	184				90.15			89.16	
C-962	692674	4165307	193				125.15			125.90	
C-961	692718	4165276	184				139.17			140.00	
C-967	692560	4165114	181				92.16			91.52	
C-751	692896	4164737	136				113.00			112.89	
C-690	692751	4164736	174				118.23			118.10	
C-753	692788	4164614	172				112.00			112.25	
C-1346	692096	4164936	285							223.66	
C-754	692682	4164550	148				102.42			100.90	
C-1511	689731	4164152	225					133.18		131.53	
C-1518	689664	4164064	187					136.28		132.08	
C-1524	689716	4163741	146					54.23		55.00	
C-1504	689899	4163788	177					96.30		96.30	138.36
C-1495	689900	4163631	131					91.55		92.04	
C-1498	689834	4163677	146					93.73		94.69	
C-1487	690115	4163533	118					82.43		82.20	
C-1485	690100	4163625	120					87.41		88.27	
C-1482	690270	4163587	132					87.50		89.55	82.76
C-1483	690270	4163650	147					85.80		87.74	
C-1508	690066	4163366	84					77.43		77.43	
C-1467	690430	4163340	110					78.40		78.35	
C-1463	690504	4163494	191					49.50		49.95	
C-1451	690883	4163408	124					68.50		70.62	78.36
C-1529	691083	4162600	25					22.40		22.40	
C-1438	691024	4163087	91					51.00		51.19	
C-1437	691048	4163119	93					53.00		33.79	
C-1443	691055	4163188	101					46.18		45.36	
C-1456	690762	4163506	141					72.00		83.97	36.81
C-680	690968	4164295	235					115.00		115.00	
C-681	691175	4164225	194					112.61		112.61	
C-1403	691515	4163523	172					159.90		158.90	
C-757	693145	4163429	115				90.40			90.40	
C-756	692962	4163119	132				109.75			109.75	

Cota del nivel piezométrico (msnm)

Pozo	UTM_x	UTM_y	UTM_z	1976	1978	1995	2000	2001	2002	2003	2005
C-1930	689653	4163462	156					57.36		56.69	
C-769	692600	4163715	118				109.89			108.80	
C-1956	693260	4169575	10					1.70		1.70	
C-1957	693812	4169600	7.5					-0.50		0.00	
C-1961	693358	4167814	44.5					-192.20	-185.00	-182.20	
C-1962	693693	4167643	48.5					-172.50		-172.50	
C-1963	693702	4167640	48.5					-172.50		-172.50	
C-834	693545	4166377	104				79.00			79.00	
C-711	693707	4166219	117				79.04			80.60	
C-821	693670	4166253	115				83.90			86.23	
C-709	693785	4166087	141				67.50			67.85	
C-721	694075	4166080	92				69.90			70.50	
C-715	694009	4166023	104				45.83			45.90	
C-696	693823	4165914	122				111.30			114.04	
C-697	693878	4165937	108				94.47			94.40	
C-693	693797	4165812	134				51.74			51.60	
C-739	693864	4165691	130							90.50	
C-740	693902	4165711	115				59.77			60.30	
C-729	694190	4165507	98				48.40			45.67	
C-760	694932	4165249	42				-66.00			-80.00	
C-761	695447	4166070	43				-75.00			-62.00	
C-762	695172	4165913	48				-60.00			-54.00	
C-763	695656	4166273	36				-69.20			-69.20	
C-764	695723	4166097	40				0.00			0.00	
C-766	694665	4165242	69				36.00			11.00	
C-767	693955	4164835	83				21.00			21.00	
C-768	693600	4165010	105				53.50			80.00	
C-772	694545	4164875	70				22.32			39.00	
C-773	694637	4164710	68				28.00			38.00	
C-759	694337	4165307	80				35.00			60.00	
C-819	696665	4164180	201					122.75		121.64	
C-770	693610	4163850	98				30.68			53.00	
C-771	693460	4163496	118				61.60			61.62	
C-774	693955	4164010	87				58.70			58.70	
C-775	694640	4164310	70				26.00			26.00	
C-706	701870	4166665	40				7.00			4.88	
C-704	701880	4166300	14				0.23			1.78	
C-698	700540	4165753	68					11.82		11.40	
C-788	701500	4165535	37					-0.80		-0.15	
C-789	701450	4165470	40					0.25		0.35	
C-800	701270	4165400	76					1.50		1.50	
C-799	701470	4165315	75					3.92		3.54	
C-794	701323	4165185	32				-0.40			-0.16	
C-798	701438	4165190	36				0.80			0.78	

Cota del nivel piezométrico (msnm)											
Pozo	UTM_x	UTM_y	UTM_z	1976	1978	1995	2000	2001	2002	2003	2005
C-792	701172	4165098	56					0.55		0.20	
C-795	701400	4165108	20				16.70			16.70	
C-796	701420	4165066	16				-3.43			-3.35	

OTROS PUNTOS DE AGUA

En este apartado se incluyen los manantiales, surgencias de agua ácida de mina, lagos, y pozos con finalidades distintas a la minera, además de un pozo de riego y tres piezómetros.

	Punto	UTM_x	UTM_y
Lago	Brunita	686417	4164307
	Los Blancos II	692775	4167000
	Gloria	687584	4163623
Surgencia ácida	Túnel Lilian	687514	4163311
	Túnel José Maestre	689079	4165206
	Horno Ctra. Del 33	688079	4165206
	Molienda Semiautógena	689300	4164383
	San Valentín	689455	4164727
	Galería Portman	688402	4163141
Surgencia no ácida	El Chorrillo	687596	4164918
	La Fuente	696396	4164939
	Calzada Romana	698929	4165456
	Gorguel	687761	4162136
Pozo de riego		695450	4166065
Piezómetros	P-1	690529	4164941
	P-2	689803	4164390
	P-3	689381	4164353

Fuentes:

- Carulla N (1977) Estudio hidrogeológico del sector Sur de la Sierra de Cartagena para el abastecimiento de agua no salobre al lavadero Roberto. No publicado
- García C, Manteca JI (2002) Metodología para la realización de inventario de pozos mineros. Aplicación a la Sierra de Cartagena-La unión. Actas do II Congreso Internacional sobre Patrimonio Geologico e Mineiro. Lisboa: 435-450
- García C, Manteca JI, Rodríguez T (2001) Inventario de Pozos Mineros de la Región de Murcia (Sierra de Cartagena). Consejería de Tecnologías, Industria y Comercio de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia
- García C, Hoz P, Jiménez A, López R, Puche A (1978) Estudio hidrológico El Descargador-Llano del Beal. Sector Norte de la Sierra de Cartagena-La Unión. 109 p. No publicado
- IGME-MOPTMA (1996) Recuperación de los usos de la Bahía de Portmán. Estudio geológico e hidrogeológico de la Sierra Minera (Murcia).Madrid. 306 p

Anejo II

Datos hidroquímicos

En este anejo se presentan los datos hidroquímicos, tanto de obtención propia como recopilados de la bibliografía existente

POZOS MINEROS MUESTREADOS EN 2003

La concentración de los elementos analizados está en mg/L. CE, conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$; TAC alcalinidad total en mg/L de CaCO_3 , DUR dureza y TSD total de sólidos disueltos en mg/L. Celdas sin dato indican que la concentración se encontraba bajo el límite de detección

Pozo	CE	pH	TAC	DUR	TSD	CO_3H^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NH_4^+	B	Fe	Mn	Cd	Ni	Pb	Sr	Zn
C253	1066	7.7	104	353	784	126	255	164	8.2	90	5	97	27	0.1	0.1						0.9	
C195	5330	7.1	216	2679	4706	264	2035	989	2.8	522	11	545	320	0	0.2		0.3				2.4	
C209	1007	7.5	164	447	833	200	227	120	8.5	77	15	137	25	0	0.4						1.2	
C356	4030	7.2	205	1780	3367	250	1342	648	43	450	6	462	152	0.1	0.3		0.1				1.8	4.6
C914	5130	7.3	315	1658	4041	384	1061	1238	88	720	7	300	221	0.8	0.5		0.1				2.4	0.5
C132	6830	7.2	510	4354	6963	622	3544	1003	11	450	22	567	714	0	0.2		0.2				5.0	0.6
C1958	3930	7.3	257	1147	2982	314	883	807	69	504	17	178	171	0	0.6		0.0				3.8	0.2
C1206	5480	7.1	298	3815	5915	363	3695	439	0	234	12	542	598	0	0.2	0.1	10				4.0	10
C1955	4820	7.2	259	1559	3893	316	1284	1047	136	564	17	299	198	0.5	0.5						3.1	0.9
C1297	14120	3.0	0	6402	19499	0	16664	644	0	270	3	424	1298	0	2.9	2.4	84	0.5	1.9	1.0	1.6	2788
C668	6180	6.0	580	4229	6724	708	3702	608	0	384	27	575	678	1.6	0.3		7.1				5.5	34
C1259	7390	7.0	289	4800	7055	352	3717	1128	0	432	12	589	808	0.1	0.2		0.4				4.3	8.5
C1310	2180	7.0	110	1026	1808	134	833	283	0	186	18	223	114	0.1	0.2		0.1				3.0	5.7
C1301	3030	7.2	220	1985	3135	269	1882	94	6.5	177	14	488	186	0	0.1						2.9	1.3
C1069	3070	7.1	90	1458	2506	109	1102	531	0	276	9	286	181	0	0.2		1.0				1.0	11
C1282	9860	2.4	0	3666	17229	0	10008	5757	3.5	252	12	317	698	0	0.9	2.5	59	0.6	1.4	0.3	0.8	1559
C1054	9790	2.9	0	3751	12492	0	10410	300	6.2	291	14	417	658	0	0.4	0.7	264	1.0	2.3	0.4	0.8	2576
C1187	7240	7.1	327	3777	6722	399	3217	1326	0.9	588	22	567	573	1.3	0.2		9.5				9.4	2
C1199	7460	7.0	331	5924	8940	403	6122	390	0	216	19	452	1164	0.3	0.4		153				6.2	9
C740	4520	7.3	280	2142	3674	341	2073	66	8.4	360	9	573	173	27.2	0.2		5.7				1.3	
C693	1591	7.7	177	513	1256	216	407	257	9.1	159	13	131	45	0	0.1		0.1				0.9	
C697	3900	7.4	61	513	2470	75	375	1167	7.5	624	14	178	17	0.1	0.1						0.5	
C721	2630	7.8	855	514	2074	1042	55	474	0	213	80	53	93	1.1	0.3	1.1	2.1				0.4	
C729	3150	7.6	250	897	2408	305	644	693	29	402	24	187	104	2.1	0.3		0.7				1.2	
C690	3880	7.4	157	1193	2650	191	466	1171	16	360	18	270	126	4.0	0.2	0.1	9.0				1.5	0.2
C967	5260	7.5	94	2379	4495	114	1906	1172	0.1	516	16	465	296	0.2	0.2		0.2				2.0	2.4

Pozo	CE	pH	TAC	DUR	TSD	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	B	Fe	Mn	Cd	Ni	Pb	Sr	Zn
C961	1767	7.5	110	667	1404	134	587	284	0.7	141	13	185	50	0.3	0.1		0.1				1.3	3.5
C674	1046	7.7	244	348	860	298	188	157	0	83	15	53	53	0.1	0.1						0.7	
C1392	1463	7.5	209	651	1242	255	490	171	5.8	83	8	140	73	0.0	0.1						0.7	
C1263	15580	7.1	571	7494	14899	696	6146	3999	0.3	1980	9	561	1480	0.7	0.7		3.4				7.2	0.8
C689	3820	7.5	182	1861	3120	222	1336	663	0	294	6	337	248	0.0	0.2						2.7	2.2
C821	1702	7.5	171	376	1365	208	471	259	25.6	252	15	64	52	0.2	0.1						0.6	
C1957	4760	7.5	303	847	3696	369	974	1115	20.4	900	15	126	129	0	0.8						2.6	
C1956	3140	7.3	255	816	2338	311	594	675	41.0	420	15	139	114	0	0.4						1.7	0.4
C886	3580	7.3	271	1069	2991	330	1050	620	36.5	552	20	189	145	0.5	0.6		1.2				4.4	2.9
C673	5040	7.1	207	2843	4704	253	2374	688	0	444	5	602	326	0.1	0.3		0.2				4.6	12
C944	5990	6.9	431	3126	5471	526	2162	1194	0	516	22	691	340	0.1	0.3		3.7				3.6	1.5
C1323	2960	4.2	0	789	2293	0	1000	597	8.3	372	18	172	87	0	0.1	0.2	1.9	6.4	0.2	2.8	1.4	97
C1314	3050	6.9	120	850	2085	146	329	905	12.9	384	17	186	94	0	0.2		0.1				1.3	3.1
C1329	3210	6.8	65	1060	2330	80	674	803	15.1	378	25	225	121	0.2	0.1		0.3	0.0			1.4	27
C979	1129	7.4	274	296	956	334	129	198	0.1	168	10	68	31	0	0.2		0.9				0.3	0.5
C1062	5520	2.7	0	1986	5573	0	4228	315	3.5	309	9	295	303	0	0.3	2.4	35	1.2	1.3	0.4	1.5	642
C1079	4260	2.5	0	1124	3390	0	2350	366	0	183	7	176	167	0	0.4	2.3	98		0.2	0.2	0.3	520
C709	1880	7.5	179	923	1480	218	646	179	0.3	110	12	201	102	0.1	0.1						0.5	
C1210	3640	7.3	101	2227	3523	123	2245	216	39.1	216	19	275	374	0.2	0.2		0.6				1.5	7.2
C997	4210	7.4	239	2685	4140	292	2395	323	0.0	240	28	499	349	0.1	0.7		0.4				2.7	0.1
C1150	6930	6.9	563	5595	8117	687	5322	334	0.0	174	10	466	1076	0.2	0.6		4.2				3.1	0.6
C167	3230	7.7	123	1260	2833	150	1376	409	15.2	438	23	244	158	0	0.3						0.9	
C362	3720	7.6	128	2096	3637	156	2100	348	7.8	306	7	482	217	0.1	0.2						5.5	
C122	3630	7.2	367	2449	3774	448	2090	220	0	180	15	489	298	0.1	0.3						2.4	0.3
C91	2070	7.7	102	1169	1821	124	996	155	0	126	14	281	113	0.1	0.1						1.1	
C80	1245	7.8	137	572	1049	167	408	149	12.0	95	12	134	57	0.1	0.1						0.9	
C39	1007	7.8	169	546	885	206	345	81	0.2	49	10	130	54	0.1	0.0						0.5	
C44	1292	7.5	115	624	1084	140	478	141	0.4	83	17	144	65	0.1	0.1						1.0	
C1111	1637	7.6	166	772	1356	202	487	252	0	116	13	205	63	0.1	0.1						2.0	

Pozo	CE	pH	TAC	DUR	TSD	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	B	Fe	Mn	Cd	Ni	Pb	Sr	Zn
C17	3280	6.9	277	2285	3485	336	1963	209	19.3	170	11	489	258	0	0.3						2.3	0.4
C22	1401	7.3	285	453	1095	347	180	250	0.3	145	11	101	49	0	0.6		0.2				0.6	
C1531	2460	7.0	225	1500	2359	275	1235	178	10.4	117	16	359	146	0.1	0.2						2.0	0.1
C5	1228	7.6	127	455	949	155	335	164	8.5	104	20	101	49	0.0	0.1						0.5	
C138	5790	6.7	380	3278	5523	464	2869	814	2.1	354	7	494	497	0.1	0.4	0.1	2.3					
C593	4810	2.5	0	2062	4465	0	2837	498	7.0	300	8	550	167	0.0	0.4	22	11	0.5	0.3	0.2	2.4	32
C596	4250	3.6	0	1632	3510	0	1566	886	0.9	439	16	387	162	0.0	0.4	0.1	2.9	0.1		1.8	1.8	14
C561	4220	5.4	29	2039	3903	36	2038	703	0	371	12	548	163	0.1	0.3	0.3	0.2				2.4	7.9
C660	6230	2.6	0	3086	7082	0	5538	352	8.3	172	9	277	581	0.0	0.5	2.8	72	2.9	0.5	0.7	1.8	916
C571	1360	7.2	190	546	1099	232	421	130	2.6	106	8	137	49	0.1	0.1		0.1				1.5	4.0
C1835	9690	6.7	539	4895	8890	657	3353	2456	0	935	21	653	793	0	0.4		1.4				2.9	1.0
C1867	3180	7.2	183	733	2218	223	418	876	0.2	439	23	124	103	0.2	0.3		0.2				0.9	1.1
C576	1723	7.1	262	947	1513	320	666	105	0	55	21	264	70	0.1	0.1		0.6				0.6	0.4
C1907	4470	5.3	50	2360	4315	61	2753	447	0	256	13	392	336	0.8	0.4	0.1	39				1.9	57
C1930	3540	6.8	189	1856	3313	231	1844	348	0	262	12	378	222	0.1	0.3		0.3				1.9	0.4
C1518	7370	2.7	0	3754	7640	0	4398	1238	0	382	10	517	598	0.2	0.4	19	435	0.1		0.3	3.7	29
C1487	8910	5.7	256	4077	7672	313	2735	2497	0	816	16	722	552	0.1	0.3		0.9				5.6	1.9
C1437	11560	7.0	233	3472	9035	284	1924	3984	0	1772	31	463	563	0	0.4		0.2				0.7	
C1451	14170	6.5	585	5872	12346	714	3623	4504	0	1721	40	739	978	0.1	0.6		3.4				9.4	1.5
C464	4870	7.0	137	2249	4653	167	2582	579	0	414	128	547	214	1.5	0.5		3.0				3.7	
C461	3200	4.1	0	1775	3171	0	2001	197	0	181	89	575	82	1.2	0.5	0.1	8.1				2.1	12
C479	3830	5.5	20	951	2717	25	812	996	12.3	525	19	196	112	0.2	0.4		2.4				1.5	3.4
C392	2350	7.4	212	936	2002	259	887	271	9.5	217	26	195	109	1.7	0.3		0.1				4.1	
C488	11630	3.1	0	7899	18228	0	10976	3179	0.4	573	20	379	1688	0	1.7	1263	113		0.5	0.7	3.9	144
C587	8260	6.4	280	4557	7936	341	3565	1772	0	809	37	651	711	1.6	0.3	11	22				4.8	5.0
C490	5500	5.5	28	3482	5780	34	3757	542	0	364	20	487	550	1.0	0.5		12	0.1	0.0		3.4	50

Pozo	CE	pH	TAC	DUR	TSD	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	B	Fe	Mn	Cd	Ni	Pb	Sr	Zn
C581	6580	2.7	0	3636	7636	0	5394	483	3.1	276	16	449	610	0.2	0.5	96	266	0.1	0.1	0.2	1.7	251
C580	2310	6.9	187	1366	2076	228	1190	119	18	66	11	247	182	0.1	0.1		2.8				0.8	9.1
C558	6510	4.7	11	4625	7710	13	5502	469	0	278	13	483	830	0.9	0.4	0.1	97		0.1		3.6	125
C560	10800	6.0	329	5157	10125	401	4186	2607	0	1259	50	711	821	37	0.4	5.2	30				4.9	8.4
C562	2230	6.8	381	1189	2041	465	831	208	7.3	110	18	253	135	0.1	0.1		0.1				2.6	3.4
C570	5730	7.0	289	3283	5414	352	2507	1062	0	451	42	479	507	0	0.2	0.1	1.8				2.9	
C586	3360	7.1	54	1329	2702	66	1125	611	11.4	262	124	427	64	0.2	0.4		0.1				2.2	
C415	2670	7.3	260	795	2286	318	1024	238	16.2	391	24	161	95	0	1.4		0.1				2.5	
C367	2780	7.4	328	1094	2412	400	942	328	0	266	68	253	112	0.4	0.4	0.1	0.3				1.8	0.5
C1548	4230	6.6	218	2707	4358	266	2440	498	13.8	227	19	549	324	0.1	0.4		0.2	0.1			2.0	23
C1557	5120	4.5	0	3410	5965	0	4528	161	10.1	200	14	461	548	0.1	0.4		11	0.8	0.3		1.9	222
C667	2830	6.9	338	1351	2450	412	992	357	0	223	18	270	164	0.1	0.3		0.2				1.2	5.5
C544	8790	2.3	0	2450	12271	0	10076	428	9.2	350	14	394	356	0	1.4	343	189	2.2	3.8	0.1	0.3	408
C617	3370	3.8	0	1207	2734	0	1335	564	21.7	363	11	265	132	0	0.4	0.2	1.3			0.1	2.5	26
C1710	4650	6.7	136	2803	4707	166	2817	469	0	312	16	531	359	0	0.4						3.8	2.2
C485	4400	6.6	90	2406	4199	109	2403	542	32.6	338	21	354	369	2.8	0.6	0.1	2.8				2.0	2.8
C1659	21700	2.0	0	8565	43600	0	40310	560	1.5	218	25	404	1835	0	5.8	2.7	106	8.0	2.4		0.3	4093
C1754	3150	6.6	279	876	2364	340	685	623	0	397	12	196	94	0	0.5		0.1				1.1	46
C1760	1477	6.9	254	304	1200	310	308	198	2.4	213	16	95	16	0	0.3		4.2				0.8	6.2
C450	6550	6.9	341	4804	7767	416	5224	366	14.2	319	22	526	848	0.2	0.7		2.0				7.1	19
C453	15750	6.0	8	15742	23782	10	18148	769	0	530	37	451	3549	2.5	1.4	224	49		0.1	0.1	4.3	25
C428	6270	7.0	150	4983	7143	183	4782	417	0	340	24	398	969	0.1	1.2		0.1				5.2	1.3
C437	9020	6.9	163	4444	9114	199	4771	1604	1.1	885	320	586	724	0	1.1		4.5				6.8	6.5
C1782	6110	6.5	56	1799	5198	69	2089	1348	0	834	164	613	65	0.1	0.5		0.1				2.5	0.2

OTROS PUNTOS:

La concentración de los elementos analizados está en mg/L. CE, conductividad eléctrica en $\mu\text{S/cm}$; TAC alcalinidad total en mg/L de CaCO_3 , DUR dureza y TSD total de sólidos disueltos en mg/L. Celdas sin dato indican que la concentración se encontraba bajo el límite de detección

Punto	CE	pH	TAC	DUR	TSD	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	B	Fe	Mn	Cd	Ni	Pb	Sr	Zn	As	Cu
TL	9010	2.3	0	4164	12429	0	10736	132	9.1	44	1	139	927	0	1.5	3.0	392	2.3	1.1	0.6	0.3	838.1		
MP	5010	5.7	17.1	3531	5865	21	4234	227	0	130	6	450	585	0.08	0.2	0.01	203							
MSA	6580	3.7	0	4018	6386	0	5215	354	26.81	165	6	402	732	0	1.1	535	139	0.56		1.36		278.3	0.004	<0,052
SV	7360	4.7	0	6038	7168	16	6805	314	0	182	8	373	1240	0	0.8	35	283	0.38		<0.10		170.9	0.0021	<0,052
LB	9110.0	3.0	0	6151	11936	0	9650	264	2.1	162	5	509	1185	0	0.3		93	1.0	1.1	0.8	4.0	581.6		
Br	10390.0	2.5	0	8034	12850	0	9516	593	9.4	390	11	449	1679	0	0.6	72	86	0.2	0.7	0.2	4.3	159.9		
LF	791	7.6	189.06	224	593	231	69	122	4.24	86	2	37	32	0.01	0.2		0.03							
Ch	2040	7.7	325.84	441	1588	397	429	291	0.94	300	2	109	41	0	0.4	0.01	0.02							
CR	5320	7.3	170	1448	3874	207	967	1257	159	780	18	272	186	0.01	0.7	0.26								
P1	14640	6.6	0	7509	12844	636	4613	3970	0	1860	37	1108	1152	0.46	0.5	0.17	5.5	<0,018		<0,10		0.143	0.0032	<0,052
P2	2260	5.4	0	983	1787	20	610	513	0	183	7	197	119	5.93	0.06	0.01	1.4	<0,018		<0,1		0.071	0.0015	<0,052
P3	4570	5.9	0	3238	4028	51	2823	400	0	223	7	618	411	<0,04	0.1	0.05	26	0.021		<0,10		32.6	0.0033	<0,052

TL: Túnel Lilian
 MSA: Molienda Semiautógena
 LB: Los Blancos II
 LF: La Fuente
 CD: Captación para riego

MP: Manantial Portman
 SV: San Valentín
 Br: Corta Brunita
 Ch: Chorrillo
 P1, P2 y P3: piezómetros

DATOS DELLUVIA: Estación de Cabo de Palos

La concentración de los elementos analizados está en mg/L. CE, conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$; TAC alcalinidad total en mg/L de CaCO_3 , DUR dureza y TSD, total de sólidos disueltos en mg/L. Celdas sin dato indican que la concentración se encontraba bajo el límite de detección en mg/L: B 0.01, Fe 0.04 y Mn 0.04. – Dato no disponible

Fecha muestreo	CE	pH	TAC	DUR	TSD	CO ₃ H-	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	B	Fe	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
14/10/2003	141	6.8	26	50	96	33	27	5.8	3.5	4.1	1.3	14	3.6	1.6	0.04	0.04	-	-	-	-	-	-
16/10/2003	44	6.8	10	18	30	13	3.3	4.4	0	1.8	0.3	4.4	1.9	0.2			-	-	-	-	-	-
17/11/2003	106	6.5	13	31	395	17	22	7.3	1.7	4.3	0.6	3.9	5.3	0.8	0.01	0.01	0.05	-	-	-	-	-
18/11/2003	84	6.5	-	-	58	11	6.1	15	0	8.3	0.4	2.4	1.7	0.1	0.03	0.01		-	-	-	-	-
09/12/2003	109	7.1	30	7.3	80	38	12	11	0	3.7	2.2	1.6	0.8	9.6			0.06	0.003	0.072	0.036	0.009	0.005
20/01/2004	84	6.5	-	-	-	11	6.1	15	0	8.3	0.3	2.4	1.7	0.1	0.03	0.01		-	-	-	-	-
27/01/2004	440	6.9	78	51	299	96	86	51	0.6	15	9.1	12	4.9	24	0.1		0.29	0.009	0.154	0.138	0.044	0.016
20/02/2004	867	7.2	258	99	603	315	28	72	1.3	38	35	25	8.5	73	0.24			0.005	0.140	0.076	0.023	0.032
25/02/2004	204	7.1	56	30	172	69	28	16	2.4	7.8	4.3	7.8	2.7	12			0.05	0.000	0.029	0.023	0.008	0.007
09/03/2004	141	6.8	26	50	96	33	28	5.8	3.5	4	1.3	14	3.6	1.7	0.04		0.04	-	-	-	-	-
09/03/2004	44	6.7	10	19	30	13	3.3	4.4	0	1.8	0.3	4.4	1.9	0.2				-	-	-	-	-
09/03/2004	106	6.4	13	32	63	17	22	7.3	1.7	4.3	0.6	3.9	5.3	0.8	0.01	0.01	0.05	-	-	-	-	-
13/03/2004	454	7.4	198	45	316	132	77	40	11.2	18	15	12	3.6	3.3	0.02	0.02		0.003	0.066	0.063	0.021	0.016
25/03/2004	163	7.3	27	19	103	34	16	21	3.5	11	2.3	4.9	1.5	5.9				0.002	0.026	0.021	0.005	0.004
26/03/2004	94	7.4	25	7.9	65	32	5.3	13	0.7	6.3	1.2	1.7	0.9	3.7				0.000	0.012	0.014	0.003	0.003
28/03/2004	179	7.4	28	27	117	35	15	32	2.1	16	1.8	7.5	2.1	2.8				0.001	0.040	0.015	0.005	0.008
09/04/2004	132	7.3	24	15	86	30	14	17	4.8	9	1.7	3.4	1.5	3.4				0.002	0.031	0.022	0.006	0.006
10/04/2004	66	7.4	22	6.6	48	27	5.1	6.4	0	2.6	0.8	1.8	0.5	2.9				0.000	0.018	0.015	0.004	0.004
11/04/2004	64	7.3	20	7.2	46	24	4.7	7.2	0	2.6	0.8	2.1	0.5	2.4				0.001	0.016	0.015	0.004	0.005
15/04/2004	54	7.5	14	4.8	38	17	2.9	11	0	4.7	0.4	0.9	0.6	0.8				0.001	0.018	0.009	0.002	0.003

DATOS DELLUVIA: Estación del Algar

La concentración de los elementos analizados está en mg/L. CE, conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$; TAC alcalinidad total en mg/L de CaCO_3 , DUR dureza y TSD, total de sólidos disueltos en mg/L. Celdas sin dato indican que la concentración se encontraba bajo el límite de detección. – Dato no disponible

Fecha muestreo	CE	pH	TAC	DUR	TSD	CO_3H^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NH_4^+	B	Fe	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	
07/10/2003	140	6.52	18.1	35.69	83.31	22.07	17.29	19.62	2.63	8.46	0.87	3.97	6.26	1.42	0.03	0.01	0.04	-	-	-	-	-	-
14/10/2003	140	6.52	18.1	35.69	83.31	22.07	17.29	19.62	2.63	8.46	0.87	3.97	6.26	1.42	0.03	0.01	0.04	-	-	-	-	-	-
16/10/2003	69	6.7	6.04	14.85	40.77	7.36	5.91	13.81	1.66	6.05	0.35	3.97	1.2	0.23	0.01	0.01	0.02	0.007	0.014	0.017	0.005	0.012	
10/11/2003	62	7.04	7.97	11.98	31.7	9.72	5.64	10.72	0.18	0.55	0.37	2.57	1.35	0.38			0.03	-	-	-	-	-	
16/11/2003	114	6.43	10.06	32.72	67.43	12.26	18.29	15.26	3.51	5.73	0.61	7.15	3.61	0.72			0.03	-	-	-	-	-	
18/11/2003	88	6.63	7.04	16.87	50.89	8.58	3.96	21.08	1.24	9.71	0.45	3.97	1.69	0.01			0	0.007	0.014	0.017	0.005	0.012	
19/11/2003	81	6.6	11.06	18.86	51.09	13.49	10.58	12.36	2.43	4.88	0.43	3.58	2.41	0.41		0.01	0.03	0.011	0.067	0.021	0.007	0.071	
26/03/2004	94	6.84	13.96	19.16	59.99	17.02	14.49	11.43	2.63	6.12	0.35	5.2	1.5	0.51			0.02	0.001	0.006	0.064	0.001	0.005	
09/04/2004	95	7.73	30.9	39.12	81.1	37.68	13.19	5.72		3.35	0.76	14.2	0.89	0.05				0.000	0.006	0.041	0.001	0.005	
10/04/2004	44	7.52	15.95	19.16	42.92	19.45	6.54	5	0.68	2.26	0.46	6.04	0.99	0		0.01	0.03	0.006	0.030	0.014	0.004	0.039	
11/04/2004	49	7.34	22.93	9.89	40.23	27.96	4.08	2.14		0.81	0.23	3.35	0.37	0.44				0.003	0.039	0.009	0.002	0.014	
15/04/2004	15	7.34	5.98	3.54	12.64	7.29	1.35	2.14		0.26	0.05	0.94	0.29	0.17			0.01	-	-	-	-	-	

DATOS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

La concentración de los elementos analizados está en mg/L. CE, conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$; TAC alcalinidad total en mg/L de CaCO_3 , DUR dureza y TSD, total de sólidos disueltos en mg/L. Celdas sin dato indican que la concentración se encontraba bajo el límite de detección

	CE	pH	TAC	DUR	TSD	CO_3H^-	SO_4^-	Cl^-	NO_3^-	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NH_4^+	B	Fe	Mn	Cd	Ni	Pb	Sr	Zn
Beal-1	4240	3.19	0	2140	4700		3783	59	7.5	30	0.9	492	221		0.2	1.6	67	0.1	0.07	0.27	2.3	12
Beal-2	3830	3.33	0	2169	4056		3094	88	5.8	42	1.6	483	234		0.3	1.6	71	2.2	1.08	0.72	0.23	83
Beal-3	7330	2.66	0	2931	9243		8126	80	16	33	0	457	434		0.5	2.5	51	2.4	1.28	0.92	0.43	83
Gorguel-1	6952	3.5	0	2891	9243		7825	79	12	28	1.2	390	434		0.2	1.9	65	2.1	0.98	0.62	0.13	83
Gorguel-2	3830	3.33	0	274	4056		3094	89	5.8	42	1.6	483	234		0.3	1.6	71	0.1	0.07	0.27	2.3	12
Portman-3	5010	5.67	17.1	3530	5864	21	4234	22	0	129	6.3	450	585	0.08	0.3	0.01	203		0.07	0.17	2.63	124

DATOS PROCEDENTES DE OTRAS CAMPAÑAS:

Carulla N (1977) Estudio hidrogeológico del sector Sur de la Sierra de Cartagena para el abastecimiento de agua no salobre al lavadero Roberto. No publicado

(- dato no disponible)

Nº Inventario 2001	Pozo	Toponimia	T (°C)	pH	TSD (mg/l)	SO ₄ ⁼ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
C578	1-A	Obdulia	23	3.8	10520	5750	900
C560	4-A	Arresto	-	2.2	21840	10050	2390
C560	4-A	Arresto	-	2	35970	10400	3410
	6-A	S. Tervas	22.5	7.6	6330	3770	190
	6-A	S. Tervas	22.5	2.2	12420	7560	420
	7-A	Dos Amigos	26.5	7	4310	1770	320
	7-A	Dos Amigos	26	6.8	5110	2540	450
	8-A	Camarón	28	7.8	5140	1930	1110
	9-A	Regente	35	7.3	6250	1970	1610
	10-A	Concilio	25	2.7	15950	9330	1080
C578	1-A	Obdulia	23	3.9	10520	5750	900
C560	4-A	Arresto	-	2.2	21840	10050	2390
C560	4-A	Arresto	-	2	35970	10400	3410
	6-A	S. Tervas	22.5	7.6	6330	3770	190
	6-A	S. Tervas	22.5	2.2	12420	7560	420
	7-A	Dos Amigos	26.5	7	4310	1770	320
	7-A	Dos Amigos	26	6.8	5110	2540	450
	8-A	Camarón	28	7.8	5140	1930	1110
	9-A	Regente	25	7.8	6250	1970	1610
C587	10-A	Concilio	25	2.7	15950	9330	1080
C600	12-A	PYASA	-	7.8	2440	990	400
C598	13-A	Consuelo	24	7.7	2540	840	440
C601	19-A	Menchon	38	7.9	4420	1820	740
C585	20-A	Dolores	22	7.7	5500	2080	1120
C585	20-A	Dolores	23	7.7	5570	2090	1120
C612	21-A	L. v. de un artista	22	7.9	1320	450	230
C570	22-A	Miñarro	22	6.9	2210	860	400
C570	22-A	Miñarro	23	7.6	4990	2280	710
C569	23-A	Sta Teofila	20	7.6	7210	2680	1430
	25-A	Refinería	18	-	-	1270	300
C579	33-A	S. Jerónimo	24	7.4	6630	3410	740
	34-A	Carolina Nueva	22	7.7	2990	1220	250
C558	35-A	Oportunidad	24	8.2	9130	5420	380
C563	36-A	Anita	22	3.8	565	3370	280
	40-A	Sta. Antonieta	22	7.3	10440	5930	800
	41-A	Los Burros	17	3.1	14550	8930	180
C565	42-A	S. Joaquín	24	2.7	13340	7890	670
C582	43-A	-	23	3.5	7330	4510	220
C581	70-A	-	18	2.8	9780	5890	310
C556	73-A	S. Fº Javier	22	2.9	14720	9080	290
C576	74-A	-	25	8.2	6930	3480	770
C575	75-A	-	24	8.4	1710	710	220
C577	81-A	-	23	3.7	5440	2900	290
C580	82-A	-	23	8.3	2920	1610	100
C571	84-A	-	-	-	-	-	-
C572	85-A	-	27	8.3	1540	750	130

Nº Inventario 2001	Pozo	Toponimia	T (°C)	pH	TSD (mg/l)	SO ₄ ⁼ (mg/l)	C ⁻ (mg/l)
	89-A	S. Timoteo	24	8.2	3270	1270	610
	90-A	Los Hornos I	-	6.9	10810	6060	610
	91-A	Los Hornos II	-	3.1	1030	5690	380
	96-A	-	-	8.3	10390	4380	1500
	99-A	Arresto	25	2.9	14190	3340	1000
C567	108-A	-	-	-	-	4100	980
	145-A	-	-	-	-	2450	530
	146-A	-	-	-	-	1300	610
	151-A	-	-	-	-	430	3910
	157-A	-	-	-	-	660	330
	163-A	-	-	-	-	840	140
	181-A	-	-	-	-	360	170
	182-A	-	-	-	-	1760	390
	193-A	-	-	-	-	3380	550
	194-A	-	-	-	-	3890	2610
	200-A	-	-	-	-	5510	2910
	203-A	-	-	-	-	8210	1030
	208-A	-	-	-	-	760	470
	209-A	-	-	-	-	1480	390
	210-A	-	-	-	-	600	360
	212-A	-	-	-	-	4070	310
	214-A	-	-	-	-	-	-
	215-A	-	-	-	-	7840	590
	216-A	-	-	-	-	-	-
	217-A	-	-	-	-	-	-
	224-A	-	-	-	-	2840	920
	227-A	-	-	-	-	730	210
	229-A	-	-	-	-	2470	1460
	230-A	-	-	-	-	3530	1940
	231-A	-	-	-	-	3180	1350
	242-A	-	-	-	-	3080	2760
C1487	252-A	-	-	-	-	4100	2860
	254-A	-	-	-	-	2600	510
C1495	260-A	-	-	-	-	2620	840
	264-A	-	-	-	-	710	260
	265-A	-	-	-	-	1650	260
	266-A	-	-	-	-	3440	1820
	267-A	-	-	-	-	3200	1240
	273-A	-	-	-	-	780	1050
C561	275-A	-	-	-	-	1912	695
C596	278-A	-	-	-	-	1800	600
	279-A	-	-	-	-	1750	450
C539	280-A	-	-	-	-	2090	520
C594	281-A	El Ferrocarril	-	-	-	3910	470
	283-A	Túnel J. Maestre	-	-	-	-	-
	284-A	-	-	-	-	1700	120
C533	285-A	-	-	-	-	1110	200
	287-A	-	-	-	-	2910	510
C534	296-A	-	-	-	-	990	310
	297-A	-	-	-	-	440	550
C593	298-A	-	-	-	-	3740	300
	310-A	-	-	-	-	1530	340

García C, Hoz P, Jiménez A, López R, Puche A (1978) Estudio hidrológico El Descargador-Llano del Beal. Sector Norte de la Sierra de Cartagena-La Unión. 109 p. No publicado

(- dato no disponible)

Nº Inventario 2001	Pozo	T (°C)	pH	SO ₄ ⁼ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
C1557	H3	19.5	6.9	4170	230
C1548	H9	-	6.1	3070	380
C1550	H11	-	7	1330	190
C1547	H12	-	6.9	3150	690
C1546	H44	-	7.4	2080	170
C1532	H18	-	6.85	2550	280
C5	H20	-	7.9	350	180
C15	H21	26	7.1	1820	160
C22	H22	25	7.5	210	230
C16	H27	-	7.2	2210	160
C1531	H30	-	6.9	2730	230
C14	H131	28	6.8	2440	250
C17	H32	26.5	7	2460	220
C365	H33	-	7.3	1670	190
C1150	H58	26	7	2350	800
C997	H59	26	6.9	1210	460
C669	H60	27	6.7	9570	210
C44	H62	-	7.5	600	160
C138	H162	26	6.85	2780	1580
C176	H164	-	6.9	4140	2660
C1111	H174	21	7.4	510	230
C1108	H175	25	7.4	500	180
C124	H220	-	8.1	1500	290
C1109	H222	22.5	7.1	4490	5250
C119	H221	-	7.3	1260	340
C1187	H264	29	6	3910	1410

CHS (1991) Estudio hidrogeoquímico sobre la influencia del vertido a la corta Tomasa en la zona del Llano del Beal- Portman. No publicado

Nº Inventario 2001	Pozo	T (°C)	CE (µS/cm)	pH	(mg/L)											DQO
					TSD	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NO ₂	NH ₄ ⁺	
C17	26-J		4816	4.1	6193	28	3949	595	8	240	8	613	75		0.33	3.9
	H-32 Don Juan	17	2970	7.8	3663	299	2250	200	36	173	5	418	279			5.2
	H-13 Pozo Taller	20		7.6	4913	358.8	3342	171	4	133	7	571	325		0.03	4.3
C1187	H-264 Lucrecia	27	8398	6.2	11290	798	6892	907	5	367	9	894	1418		1.95	6.9
	15-J bis	23	7205	6.9	9738	925	6027	475	0.8	220	14	689	1386		10	3.9
	27-J bis	13	6824	2.8	10492		8194	276		227	5	746	1014	0.21	0.04	9.4
C138	M-5	26	7777	2.6	10640		8096	496		93	6	1102	815	0	1.01	166
	I-21	18	7774	4.4	8943	57	5067	1333	13	420	6	1379	666	0.19		43
	E-1	20	4009	7.3	4181	361	2250	414	5	347	8	539	257	0.35	3.19	6.5
	H-162	24	3959	7	4185	395	2250	452	3	267	6	470	340			5.8
	4-J	26	31180	6	29783	1022	7684	12067	11	4876	214	1287	2622		0.1	41
	1-J (89-A)	17	15750	7.3	16664	193	6006	5885	25	2204	57	1034	1257	2.25	0.05	25
	2-J	24	1895	7	1895	466	461	404	23	180	7	248	105		0.06	7.6
	283-A (Túnel J.M.)	18	8484	3.7	10889		6291	1808	14	514	9	1046	1206		1.12	6.1
	M-2	20	25480	7.1	23342	508	5068	10167	20	4542	55	1403	1578	0.19	13	12
	M-1	23	32020	6.3	31189	317	7319	13386	17	6145	278	1663	2062	0.10	17	5.2
	GF (galería Ferrocarril)	16	16440	6.4	14655	94	4498	5594		2137	25	814	1493			8.9
	M-4	14	8548	7.4	9940	342	5174	1758		801	14	705	1146			7.2
	G-1	14	15620	2.9	32446		20482	2907	20	187	4	6874	1972		0.3	108
Tomasa	23	40370	6.2	39278	162	8398	17108	14	10020	437	1202	1936	0.44	17	26	
Tomasa Vertido	25	33860	7.4	30540	132	7278	13492		6012	294	1014	2318	0.35	29	65	

Nº Inventario 2001	Pozo	(mg/L)												
		Oxígeno disuelto	Cianuros	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	B	As	SiO ₂	Fe	Mn	P ₂ O ₅
	26-J	6.3		120		0.72	0.211		0.2	0.1742	16.81	1.29	22.6	0.34
C17	H-32 Don Juan	7.8		0.2					0.19	0.1343	28.5			0.5
	H-13 Pozo Taller	7.7		0.6					0.15	0.1185	17	0.24	0.16	0.36
C1187	H-264 Lucrecia	2.8		42	0.002			1.06	0.51	0.2524	32.84	3.28	10.74	1.59
	15-J bis	6.7		3.4	0.028		0.053		0.52	0.2904	20.41	0.06	0.08	0.35
	27-J bis	7		500	0.99	0.44	1.84		0.38	0.128	27.82	4.24	22.63	2.83
	M-5	3.5		2410	0.224	0.6	2.41	1.11	1.75	0.3642	30.33	3.96	4.86	2.08
	I-21	5.8		500		0.97	0.447		0.63	0.2401	31.55	7.2	23.6	1.06
	E-1	3.8		2.2					0.15	0.1057	10.39	0.47	4.65	0.56
C138	H-162	5.6		0.5					0.29	0.0997	18.22	0.65	1.69	1.2
	4-J	2.1		0.3		3.4	0.04	2.1	1.21	0.9954	11.4	4.36	17.03	0.74
	1-J (89-A)	6.3		2.1			0.102	1.2	0.45	0.4274	12.43			0.23
	2-J	3.9		0.066			0.005		0.34	0.1146	12.04	3.97	1.91	2.38
	283-A (Túnel J.M.)	7.9		47		0.16	0.1	0.96	0.5	0.2009	30.31	6.98	22.75	1.34
	M-2	7.7		0.14	0.058		0.052	1.54	0.77	1.09	18.42		0.02	1.65
	M-1	5.6	0.037	7.4	0.086		0.099	1.94	1.63	1.217	10.37	4.21	34.2	1.06
	GF (galería Ferrocarril)	8.6		0.089			0.089	1.2	0.56	0.2427	6.61	0.5	2.89	0.28
	M-4	7.8		2.1	0.043		0.029	0.93	0.37	0.2567	7.96		0.08	0.49
	G-1	1.5		1800	14.78	0.63	10.51	2.42	4.38	2.907	44.04	3.18	50.2	3.31
	Tomasa	8.8	0.071	2.2	1.364	0.17	0.226	2.35	2.75	1.7868	5.19	0.06	32.5	0.29
	Tomasa Vertido	6.5	0.142	1.9	2.021	0.24	0.188	1.56	1.35	1.582	4.27	0.01	8.22	0.46

IGME-MOPTMA (1996) Recuperación de los usos de la Bahía de Portmán. Estudio geológico e hidrogeológico de la Sierra Minera (Murcia).Madrid. 306 p

Las concentraciones están expresadas en mg/L y la CE (conductividad eléctrica) en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Celdas sin dato indica valores bajo el límite de detección

Nº															
Inventario	Pozo	CE	pH	DQO	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B
2001															
C585	M-127	6800	6.8	3	372	1680	1050	46	553	15	373	333	0.05	25	0.20
C625	M-169	2332	7.1	0.9	388	360	234	31	238	13	34	97	0.05	20	0.47
	M-153	10722	3	25		5800	426		436	6	520	520	4.00	295	
C599	M-141	2840	7	5	184	420	378	35	170	20	168	104	0.05	13	0.23
C604	M-146	3523	7.5	2.6	302	1100	511	11	332	10	166	152	0.05	27	0.44
C605	M-147	3853	7.3	1.3	339	1700	284	8	273	28	363	181	0.05	34	0.37
C603	M-145	6923	7.1	3.4	222	1500	1665	11	1221	97	283	121	0.05	33	1.10
C460	M-2	3779	6.6	1.9	133	1400	272	1	252	25	401	112	0.23	31	0.30
C602	M-144	4583	7.2	1.2	322	550	172	86	430	21	161	250	0.05	40	0.83
C610	M-152	2323	7.6	1.2	220	760	172	123	159	17	197	90	0.05	42	0.29
C459	M-1	3309	7.2	1.1	269	964	334	1	259	8	272	99	0.05	34	0.31
C609	M-151	4833	7.6	2.1	328	1150	767	132	637	28	160	192	0.05	35	0.81
C607	M-149	4203	7.5	1.4	393	1350	454	9	455	11	200	192	0.05	20	0.60
C608	M-150	2853	7.7	2.4	262	450	547	37	288	20	120	115	0.05	23	0.31
C456	R-17	10322	7		208	5000	611		606	28	580	1024			
C463	M-5	18949	7.9	2.5	1120	12000	360	26	345	28	516	2730	0.05	22	0.52
C464	M-6	6779	7.5	1.4	232	2700	548	2	509	153	487	296	0.97	21	0.49
	M-18	4709	6.6	1.2	512	1431	424	1	315	21	429	168	0.05	20	0.27
C627	M-171	3442	7.7	4.2	1064	125	493	11	454	24	36	122	0.05	38	0.53
	M-33	5772	6	38		3000	412	16	440	28	600	285		224	
C462	M-4	2459	6.6	0.7	179	955	71	1	173	14	224	85	0.05	25	0.22
C461	M-3	4679	3.5	2.2		2156	184	1	228	88	570	108	1.24	43	0.47
C579	M-121	959	7.4	3	266	140	79	14	75	2	69	41	0.05	14	0.06
C580	M-122	3290	7.7	6	197	1260	115	26	95	5	240	230	0.05	18	0.07
C576	M-118	4610	6.9	7	319	2010	122	2	120	5	580	212	0.17	17	0.10
C577	M-119	3000	7.7	3	286	1025	152	14	128	5	230	185	0.05	21	0.10
C578	M-120	22590	6.3	8	485	4800	4710		2586	62	501	1410	1.48	25	0.60
C581	M-123	14440	3	35		5600	365	1	342	5	428	940	2.70	51	0.25
C598	M-140	3860	6.5	4	116	640	640	1	403	110	263	30	0.77	20	0.37
C601	M-143	3140	6.8	3	70	1830	820	1	555	164	550	122	0.05	17	0.45
C589	M-131	3780	7.1	7	104	1050	320	225	211	13	220	220	0.05	14	0.09
C582	M-124	2130	3.7	16		4600	4860	1	2643	38	704	1150	0.46	32	0.35
C586	M-128	5940	7	3	109	1630	850	10	486	158	631	84	0.05	22	0.45
C575	M-117	1719	7.5	5	284	390	145	13	129	8	117	78	0.05	17	0.17
C556	M-98	10840	6.1	16	327	6183	430		483	14	464	1100	1.84	27	0.37
C558	M-100	10340	5.3	16	9	5740	450		387	12	518	1050	1.46	25	0.29
C560	M-102	17550	6.1	11	382	3980	3560		1950	43	623	1010	1.10	24	0.29
C644	M-188	11882	5	24	8	6800	568	48	502	13	540	1320	1.00	109	
C562	M-104	3160	7.8	3	234	840	315	4	205	8	184	169	0.05	15	0.14
C563	M-105	6270	7.3	5	214	2980	330	11	357	22	400	452	0.73	18	0.38
C565	M-107	24090	6	20	285	5450	4919		2744	64	705	1390	3.40	23	0.54
C570	M-112	13320	7	7	536	4300	1370	1	1005	26	612	836	0.07	18	0.24
C571	M-113	3400	7.7	5	275	999	210	4	206	5	175	177	0.05	15	0.15
C572	M-114	3780	7.7	4	177	1260	246	3	186	4	404	124	0.05	18	0.08
	M-111	14480	7.3	43	640	2100	3160	150	1286	182	539	670	93	20	0.45
	M-115	7940	6.5	16	17	4100	350	2.1	275	6	483	666	1.24	13	0.23
C567	M-109	23590	6.5	10	638	4600	4900		2706	67	650	1300	1.90	26	0.61

Nº Inventario 2001	Pozo	CE	pH	DQO	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B
C622	M-166	6992	2.7	3.5		2020	278	11	207	1	301	130	0.05		0.37
C623	M-167	4382	3.5	2		1830	128	4	161	1	470	120	0.05	93	0.26
C624	M-168	4762	6.3	4.9	357	1170	650	18	445	79	392	110	0.05	35	0.65
C561	M-103	5652	7	6	105	1920	781	0.88	426	8	660	208	0.20	60	
C632	M-176	2922	6	6	94	1200	199	8	171	4	360	115	0.10	57	
C472	M-14	4873	7.1	1.3	308	2200	341	53	377	9	335	300	0.05	32	0.40
C614	M-158	9292	3.1	4.9		2800	1171	5	913	14	543	336	0.05	34	0.72
C617	M-161	4332	4.4	1.9		1750	213	26	359	7	252	148	0.05	53	0.40
C621	M-165	12422	2.8			6000	568	9	487	7	167	170	0.05		0.29
C620	M-164	7112	3.1			3100	497	3	442	6	206	161	0.05		0.32
	M-162	2072	7	1.4	302	182	286	6	270	2	67	30	0.05	22	0.25
C488	M-30	18220	3.4	30		10600	820	1	966	10	470	1700	2.07	41	0.35
C485	M-27	7332	3.2	24		3520	870	1	736	15	501	455	0.64	20	0.50
C484	M-26	9652	7.4	3.7	696	4498	605	24	924	25	459	785	0.05	28	0.50
C490	M-32	7792	3.8	3		3840	550	0.5	493	11	434	616	0.26	19	0.40
C499	M-41	10010	7.4	3	76	4260	900	4	797	38	477	760	0.05	36	0.78
C498	M-40	7122	6.1	1.5	139	2760	500	0.5	357	52	534	400	0.08	19	0.27
C495	M-37	7312	5.7	2.2	59	4720	540	12	350	16	538	660	0.43	38	0.13
C475	M-17	8239	7	1.2	310	3300	680	17	568	16	512	654	0.05	56	0.35
C474	M-16	7319	3.1	2.6		2840	620	1	556	21	492	358	1.40	48	0.59
	M-10	4969	7.4	0.8	432	1676	396	124	383	10	309	280	0.05	37	0.51
C477	M-19	7119	3.6	24		2800	882	2	583	13	440	400	0.65	17	0.38
C481	M-23	8940	6.8	1.5	610	4180	630	19	529	17	500	732	0.05	42	0.50
C480	M-22	1950	6.9	0.7	308	552	164	11	250	7	84	72	0.05	38	0.28
C479	M-21	5059	6.1	2.2	82	1588	656	2	512	8	320	216	0.11	58	0.34
C506	M-48	2822	4.2	1.3		940	312	8	310	9	113	94	0.15	56	0.35
C593	M-135	6950	2.9	5		2540	400	1	341	1	441	230	0.62	128	0.42
	M-181	5870	4	4		2081	456	22	536	10	392	207	0.20	50	0.36
C534	M-76	350	6.6	3	324	780	294	20	300	7	225	56	0.05	91	0.28
C594	M-136	7360	7	3	589	2720	520	28	528	14	581	413	0.05	88	0.42
	M-139	11300	2.6	22		4780	408		370	2	400	515	1.22	155	0.43
C596	M-138	5420	3.8	3		1840	600	11	464	7	440	196	0.08	66	0.30
C595	M-137	4120	6.1	3	35	1200	460	41	324	7	366	111	0.05	69	0.22
C533	M-75	5160	3.1	7		2070	242	2.6	330	2	372	176	0.26	138	0.32
	M-125	2600	2.8	250		18460	428		266	5	676	2289	7.50	134	0.33
C511	M-53	387	6.1	5.08	46	115	32	16	16	5	43	15	0.05	19	0.09
C510	M-52	3330	3	1.7		901	449	13	383	1.6	144	68	0.78	134	0.60
C584	M-126	15230	4.2	170		7600	450	3	345	8	700	868	5.00	31	0.21
C546	M-88	8150	2.7	7		2800	480		460	6	372	276	0.60	31	0.32
C547	M-89	5390	2.7	7		1820	214	3.6	228	0	260	152	0.56	167	0.13
C626	M-170	4062	7.2	1.5	455	1270	333	7	282	8	349	187	0.05	25	0.38

- indica valor no disponible. Se indican las determinaciones que quedan bajo el límite de detección para cada elemento. Fe<0.050; Mn<0.020; Sr<0.05;; Se<0.005; Cu<0.010; Zn<0.050; As<0.050; Cd<0.010; Cr<0.015; Pb<0.050; Ni<0.015; Al<1. También se indicaban las determinaciones de Sb, Hg y CN, en todos los casos quedaban bajo los límites de detección (Sb<0.05 Hg<0.0005 CN<0.0025)

Nº Inventario 2001	Pozo	(mg/L)											
		Fe	Mn	Sr	Se	Cu	Zn	As	Cd	Cr	Pb	Ni	Al
C-585	M-127	<0,050	0.41	2.2	<0,005	<0,010	1	0.06	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-625	M-169	<0,050	<0,020	1.4	<0,005	<0,010	<0,050	0.05	<0,010	-	-	<0,015	2.2
	M-153	606	217	-	-	-	68	-	-	-	-	-	-
C-599	M-141	<0,050	<0,020	1.2	<0,005	<0,010	0.06	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-604	M-146	<0,050	<0,020	2.6	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	4.3
C-605	M-147	<0,050	<0,020	3	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	4.6
C-603	M-145	<0,050	0.04	4.7	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	6.7
C-460	M-2	<0,050	7.3	0.94	<0,005	<0,010	25	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.095	<1
C-602	M-144	<0,050	<0,020	4.5	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	6.7
C-610	M-152	<0,050	<0,020	1.5	<0,005	<0,010	0.4	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	5.3
C-459	M-1	<0,050	<0,020	1.02	<0,005	<0,010	0.064	<0,050	0.13	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-609	M-151	<0,050	<0,020	3.7	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	2.2
C-607	M-149	<0,050	<0,020	3.3	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	5.3
C-608	M-150	<0,050	<0,020	2.3	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	3.4
C-463	M-5	<0,050	7.8	5.95	<0,005	<0,010	0.72	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-464	M-6	<0,050	3.6	3.65	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
	M-18	<0,050	0.5	7.42	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-627	M-171	<0,050	0.06	1.5	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	2.3
C-462	M-4	<0,050	0.04	0.52	<0,005	<0,010	0.09	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-461	M-3	<0,050	13.5	1.58	<0,005	<0,010	0.019	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.075	<1
C-579	M-121	<0,050	<0,020	0	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-580	M-122	<0,050	<0,020	0	<0,005	<0,010	0.48	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-576	M-118	0,050	11	0.8	<0,005	<0,010	0.3	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.036	<1
C-577	M-119	<0,050	0.07	0.5	<0,005	<0,010	0.09	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-578	M-120	2.8	27	3.5	<0,005	<0,010	1.3	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.11	<1
C-581	M-123	140	234	1	<0,005	<0,010	276	<0,050	0.22	<0,015	0.13	0.19	3
C-598	M-140	<0,050	0.37	2.6	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-601	M-143	<0,050	<0,020	5.2	<0,005	<0,010	0.12	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-589	M-131	<0,050	<0,020	0	<0,005	<0,010	0.17	<0,050	<0,010	<0,015	0.05	<0,015	<1
C-582	M-124	<0,050	67	2.7	<0,005	0.3	64	<0,050	0.72	<0,015	0.43	0.13	2
C-586	M-128	<0,050	0.06	1.9	<0,005	<0,010	0.2	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-575	M-117	<0,050	0.07	0	<0,005	<0,010	0.05	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-556	M-98	<0,050	106	2.4	<0,005	<0,010	141	<0,050	0.07	<0,015	<0,050	0.187	<1
C-558	M-100	12.2	83	2.6	<0,005	<0,010	86	<0,050	0.02	<0,015	<0,050	0.135	<1
C-560	M-102	1.3	27	3.3	<0,005	<0,010	1.6	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.031	<1
C-562	M-104	<0,050	<0,020	1.3	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-563	M-105	<0,050	1.57	2.1	<0,005	<0,010	12.2	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-565	M-107	50	76	3.9	<0,005	<0,010	7.5	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.076	<1
C-570	M-112	<0,050	3.42	3.1	<0,005	<0,010	0.12	0.07	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-571	M-113	<0,050	1.67	1.9	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.023	<1
C-572	M-114	<0,050	<0,020	2.4	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.015	<1
	M-111	<0,050	1.33	2.2	<0,005	<0,010	0.15	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.085	<1
	M-115	<0,050	171	2	<0,005	<0,010	108	<0,050	0.06	<0,015	<0,050	0.223	<1
C-567	M-109	<0,050	18	3.6	0.008	<0,010	0.6	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.076	<1
C-622	M-166	283	13	0.05	<0,005	28	25	0.31	0.27	0.14	-	0.61	<1
C-623	M-167	1.1	7.7	0.05	<0,005	9	11	0.01	0.09	-	-	0.37	<1
C-624	M-168	<0,050	1	2.1	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	3.1
C-472	M-14	<0,050	<0,020	3	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	4.5
C-614	M-158	15	17.3	2.1	<0,005	0.03	21	<0,050	0.01	-	0.95	0.22	3.3

Nº Inventario 2001	Pozo	(mg/L)											
		Fe	Mn	Sr	Se	Cu	Zn	As	Cd	Cr	Pb	Ni	Al
C-617	M-161	<0,050	2.8	2.5	<0,005	0.03	16	<0,050	0.11	-	0.1	0.06	4
C-620	M-164	585	32.3	0.05	<0,005	11	37	0.1	0.38	-	-	0.55	<1
	M-162	<0,050	<0,020	0.6	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	<1
C-488	M-30	865	226	2.67	<0,005	<0,010	130	<0,050	0.017	<0,015	0.27	0.385	<1
C-485	M-27	137	29	1.04	<0,005	<0,010	28.5	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.18	<1
C-484	M-26	<0,050	5	3.26	<0,005	<0,010	<0,050	0.11	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-490	M-32	<0,050	28	2.87	<0,005	<0,010	0.043	<0,050	0.087	<0,015	<0,050	0.1	<1
C-499	M-41	<0,050	2	5.85	<0,005	<0,010	0.24	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-498	M-40	<0,050	8.5	1.56	<0,005	<0,010	34	<0,050	0.23	<0,015	<0,050	0.075	<1
C-495	M-37	<0,050	33	1.88	<0,005	<0,010	530	<0,050	1.7	<0,015	<0,050	0.34	<1
C-475	M-17	<0,050	<0,020	4.26	<0,005	<0,010	2.7	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-474	M-16	49	1.6	0.8	<0,005	<0,010	30	<0,050	<0,010	<0,015	0.11	0.089	<1
	M-10	<0,050	<0,020	2.77	<0,005	<0,010	<0,050	0.09	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-477	M-19	105	13	0.82	<0,005	<0,010	14	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.066	<1
C-481	M-23	<0,050	3	4.02	<0,005	<0,010	1.6	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-480	M-22	<0,050	<0,020	0.79	<0,005	<0,010	<0,050	0.1	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-479	M-21	<0,050	10	1.18	<0,005	<0,010	4.6	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	0.054	<1
C-506	M-48	<0,050	3.5	0.05	<0,005	<0,010	0.21	0.2	<0,010	<0,015	<0,050	0.11	12
C-593	M-135	90	13	0	<0,005	21	33	<0,050	0.95	<0,015	0.15	0.67	37
	M-181	<0,050	4.72	1.4	<0,005	2	12	0.2	0.2	<0,015	0.07	0.28	8
C-534	M-76	<0,050	0.03	1.2	<0,005	1.8	59	0.05	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-594	M-136	<0,050	<0,020	3.2	<0,005	0.01	0.26	0.16	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
	M-139	570	130	0	<0,005	24	180	0.14	0.24	0.065	0.16	0.8	49
C-596	M-138	<0,050	4	1.2	<0,005	7	11	<0,050	0.16	<0,015	2	0.091	<1
C-595	M-137	<0,050	0.28	1	<0,005	7.3	10.4	<0,050	<0,010	<0,015	0.93	0.106	<1
C-533	M-75	9.8	10	0	<0,005	1.25	13.3	<0,050	0.27	<0,015	<0,050	0.27	29
	M-125	1320	586	0	<0,005	5.6	2322	<0,050	3.64	<0,015	0.067	1.4	170
C-511	M-53	<0,050	<0,020	0.05	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	<0,015	<0,050	<0,015	<1
C-510	M-52	21.41	9	0.05	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	0.225	<0,015	<0,050	0.074	9
C-584	M-126	570	300	0.7	<0,005	<0,010	624	0.08	1.65	<0,015	1.25	0.69	3
C-546	M-88	348	32	0	<0,005	0.14	47	<0,050	<0,010	<0,015	0.08	0.567	10
C-547	M-89	130	7.02		<0,005	2	5.7	<0,050	0.09	0.025	<0,050	0.155	29
C-626	M-170	<0,050	<0,020	5.2	<0,005	<0,010	<0,050	<0,050	<0,010	-	-	<0,015	<1

Datos de 2005 (documento inédito)

Pozo	SO ₄ ⁼ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Pozo Inventario
1	533	221.87	C1111
2	1316	726.18	C1069
3	1396	108.74	C1301
4	571.5	267.12	C1310
5	2572.4	1094.74	C1518
6	2113.2	2685.77	C1487
7	809.6	438.63	C1467
8	5525.6	3218.55	C1263
9	1157.2	640.79	C689
10	694.1	280.25	C667
11	1550	3408.3	C1437
12	44970	561.97	C1659
13	1438.4	389	C617
14	2205.6	301.42	C593
15	1449.6	680.2	C561

