

IX. ENTRADAS Y SALIDAS DE AGUA DE MINA EN LA CORTA INUNDADA DE AZNALCÓLLAR

La corta de Aznalcóllar tiene actualmente dos entradas principales de drenajes ácidos de mina (Figura 9.1):

- 1) La que proviene del drenaje natural de la escombrera noroeste (“**drenaje norte**”), que alcanza la corta por su cara norte siguiendo el antiguo curso del río Agrio.
- 2) La que llega mediante bombeo desde una balsa (“**balsa de escorrentía**”) donde se recogen las aguas ácidas generadas en diversos puntos del área minera (escombrera este, balsa de lodos sellada, área industrial, etc.). Este drenaje llega a la corta a través de una tubería por su parte occidental.

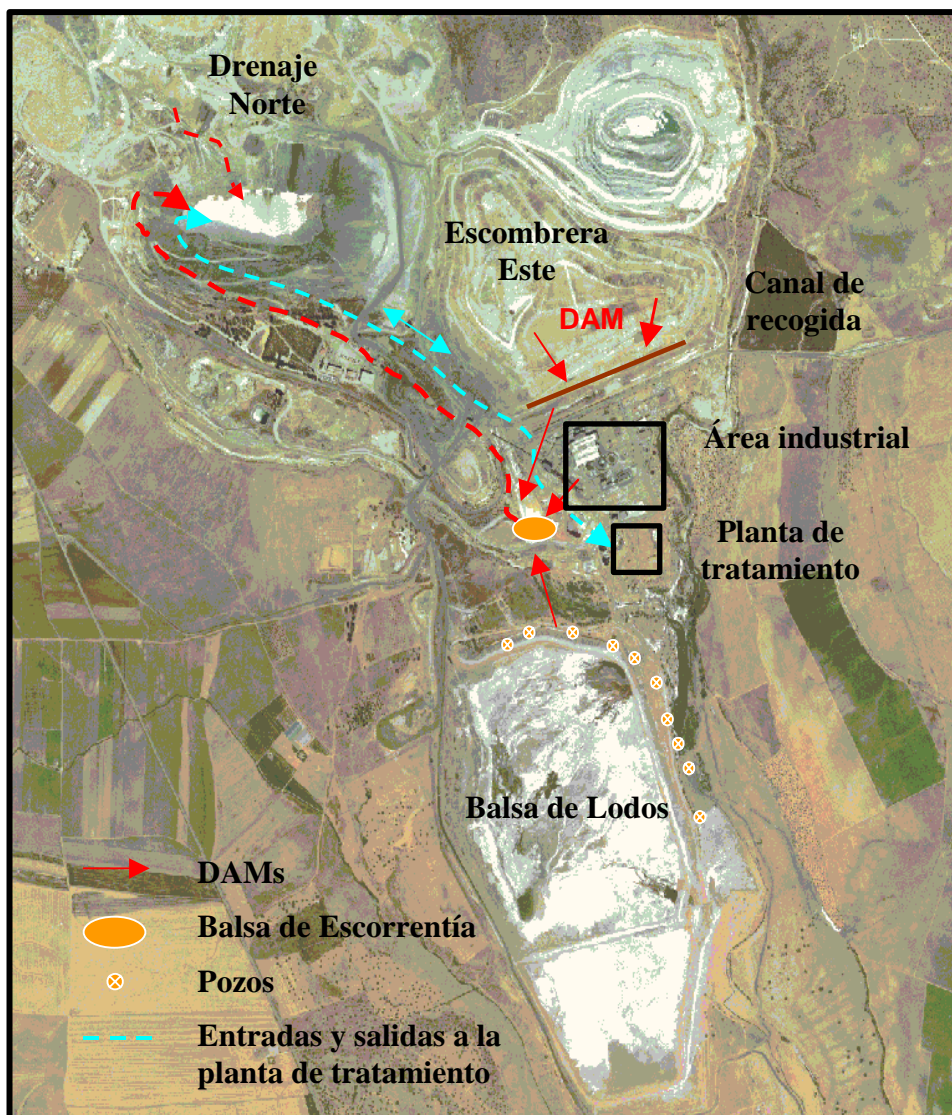


Figura 9.1. Situación de las entradas y salidas de aguas de mina y entrada de fangos de la planta de tratamiento a la corta de Aznalcóllar. Situación de la generación de DAMs (drenajes ácidos de mina).

En ocasiones, cuando lo requiere la gestión de la planta de tratamiento de agua, se mezclan las aguas ácidas que se bombean desde la balsa de escorrentía con los lodos generados en los tanques de decantación de la planta. La mezcla se realiza con una proporción del 70% de agua y 30% de fangos para que pueda bombearse y fluir sin dificultad por la tubería de conducción.

Las dos entradas de agua al lago son importantes, tanto por sus caudales como por su naturaleza fuertemente ácida, lo que influye notablemente en la calidad y evolución del agua de la corta. Por ello, desde que se iniciaron las campañas de campo, en ambos drenajes se miden *in situ* una serie de parámetros: pH, Eh, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y se realiza la determinación de Fe(II), Fe(III), y la medida de la acidez parcial (a pHs 3,7 y 5) y total (pH 8,3). Además, en el drenaje norte se mide el caudal mediante un molinete digital. De cada una de estas aguas se toman muestras para su análisis completo en laboratorio.

Ocasionalmente, en función de la pluviosidad, se han identificado otras entradas de aguas ácidas a la corta, por su talud norte, originadas principalmente a lo largo de la base de la escombrera noroeste. Estas entradas, además de ocasionales, son de escaso volumen, por lo que su significado en relación a las características del agua de la corta es infinitamente menor en comparación con la del drenaje norte y balsa de escorrentía.

La entrada del drenaje norte es producto de unas condiciones hidrogeológicas estables, que pueden considerarse naturales ya que perduraran en el tiempo, pese a la intensa alteración previa que suponen. Por el contrario, la entrada que proviene de la balsa de escorrentía está relacionada directamente con la gestión de las aguas, por lo que en cualquier momento puede verse modificada sustancialmente o llegar a desaparecer.

Otra de las actividades que se lleva a cabo, como parte de la gestión de las aguas de mina, es la extracción por bombeo del agua de la corta y su conducción a la planta depuradora, para su tratamiento y posterior vertido al río Agrio. Este bombeo se efectúa para controlar que el nivel del agua en la corta se encuentre siempre por debajo de la cota cero metros, imposición expuesta en la resolución de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir sobre la autorización de vertidos en la corta. Desde marzo de 2002 hasta diciembre de 2004, la cota de la lámina de agua ha variado entre -1 y -9 metros (Figura 9.2). En el año 2004 se extrajo de la corta 1,1 Mm³ lo que no impidió que el nivel del agua subiera casi 4 metros. Durante el año 2005 la cota del agua estuvo situada a -4,5 m \pm 0,5 m, al ser un año muy seco sólo fue necesario extraer un volumen de 0,6 Mm³. En julio de 2006 el nivel de agua alcanzó la cota -1 m, la cual ha permanecido más o menos estable durante el año 2007. El principal motivo de este incremento del nivel fue el continuo vertido a la corta de la escombrera de pirita (desde nov-2005 a nov-2006), junto con la avería de las bombas de extracción de agua, provocada por el derrumbe de la plataforma de vertido en febrero de 2006.

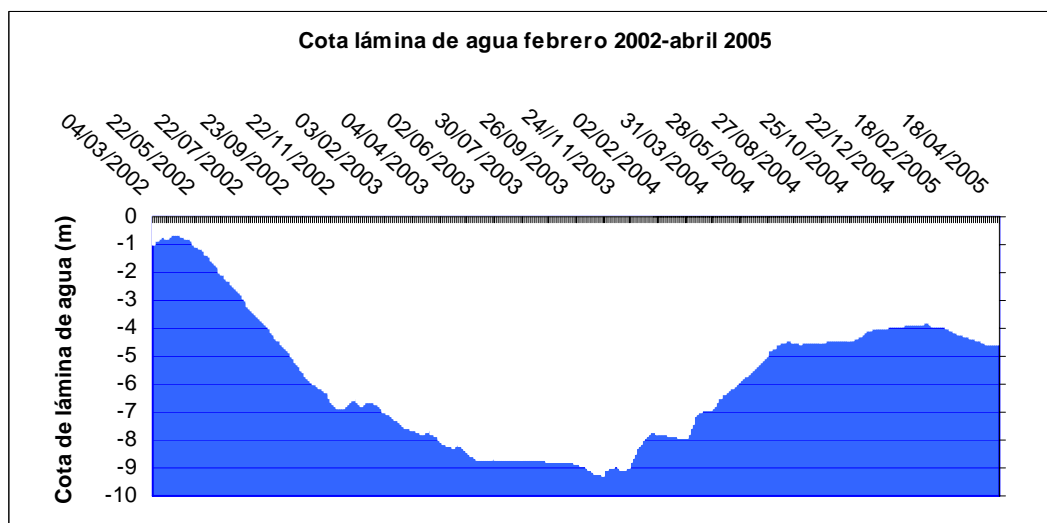


Figura 9.2. Representación de la cota de lámina de agua en la corta de Aznalcóllar, en el periodo febrero de 2002 a abril de 2005.

Una vez bombeada el agua a la planta de tratamiento, gran parte de su carga disuelta precipita como lodos, que posteriormente son reenviados de nuevo a la corta. Este proceso ha provocado un empeoramiento continuo de la calidad del agua del lago minero. Esto es debido a que los lodos obtenidos a un pH marcadamente alcalino en la planta, se redisuelven parcialmente al introducirlos en el pH ácido de la corta (2,7-3,5), introduciendo en el medio acuoso un aporte adicional de sólidos disueltos, y el consiguiente incremento de la acidez potencial por el aumento de metales.

Año 2004	Entrada a corta			Salida corta
	Filtraciones+pluviales m ³	Fangos m ³	Bombeado a corta m ³	Extracción de agua m ³
Meses				
enero	56.728	23.265	79.993	351.046
febrero	121.513	27.060	148.573	322.990
marzo	106.138	18.362	124.500	205.908
abril	32.852	450	33.302	23.780
mayo	63.571	4.845	68.416	24.788
junio	38.430	0	38.430	0
julio	16.245	13.934	30.179	148.645
agosto	28.330	3.600	31.930	50.218
septiembre	22.675	0	22.675	0
octubre	19.080	0	19.080	0
noviembre	19.110	0	19.110	0
diciembre	26.330	0	26.331	0
Total	551.002	91.516	642.518	1.127.375

Año 2005	Entrada a corta			Salida corta
	Filtraciones+pluviales m ³	Fangos m ³	Bombeado a corta m ³	Extracción de agua m ³
Meses				
enero	21.731	360	22.091	24.767
febrero	30.241	13.050	43.291	131.704
marzo	19.243	15.285	34.528	154.617
abril	12.805	3.795	16.600	35.622
mayo	23.770	0	23.770	0
junio	15.880	2.220	18.100	34.754
julio	21.080	0	21.080	0
agosto	10.178	0	10.178	0
septiembre	8.072	0	8.072	0
octubre	27.144	5.100	32.244	60.448
noviembre	9.130	13.120	22.250	124.553
diciembre	12.105	1.920	14.025	11.880
Total	211.379	54.850	266.229	578.345

Tabla 9.1; Volúmenes de las entradas y salidas de agua a la corta de Aznalcóllar durante los años 2004 y 2005 (datos de EGMASA). *Balsa de Escorrentía* (BE) = *filtraciones+pluviales*.

Cuantitativamente durante el año 2005, a pesar de ser extraordinariamente seco, las entradas de agua a la corta son importantes (Tabla 9.1 y Figura 9.3) con caudales medios de 517 m³/d del drenaje norte, 579 m³/d procedentes de la balsa de escorrentía y 150 m³/d procedentes de los fangos bombeados desde la planta de tratamiento (datos de EGMASA). En su conjunto la suma de estos aportes incrementaría el nivel de agua en la corta en 1,6 m.

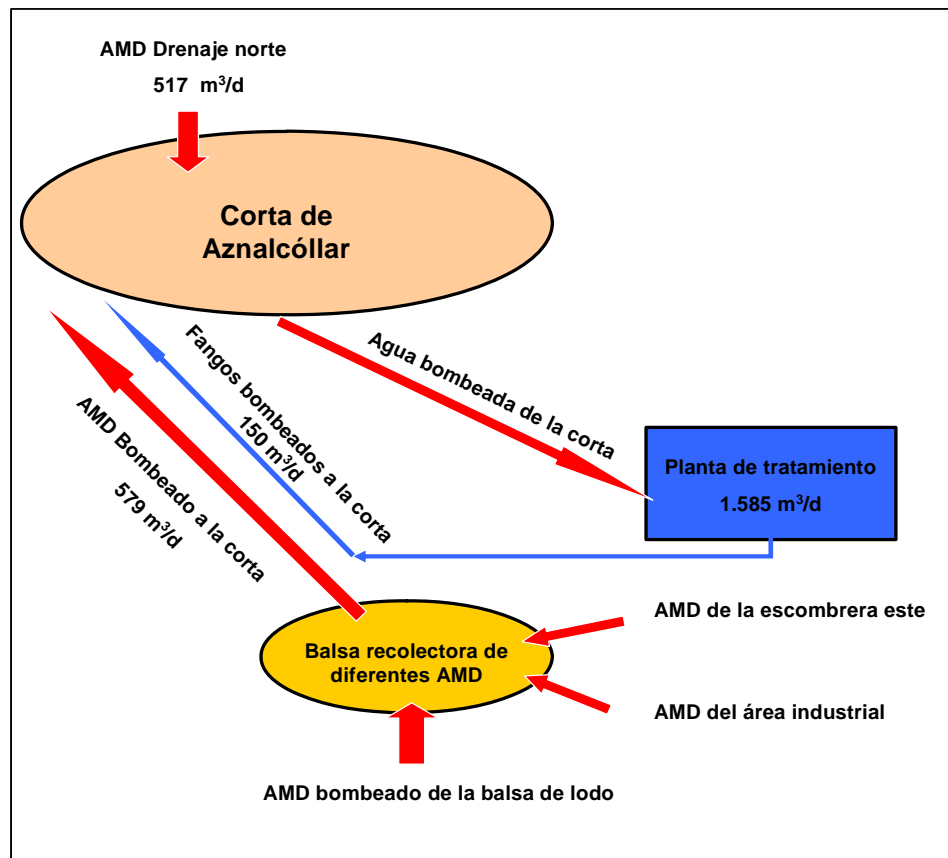


Figura 9.3. Croquis de las entradas y salidas a la corta. Caudales medios diarios del año 2005.

Estos caudales han sido importantes en relación a la hidroquímica del lago ya que estas entradas, junto con los diversos y continuos vertidos (suelos contaminados y residuos mineros), han influido de manera negativa en su calidad.

En cuanto a las salidas de agua, el volumen bombeado desde la corta hasta la planta de tratamiento, está directamente relacionado con la pluviometría del año y/o el margen de seguridad que se estime tener, al objeto de evitar que las aguas superen la cota impuesta de cero metros. Así, en un año muy seco (2005, 299 mm/año) el caudal extraído fue de 1.585 m³/d, notablemente inferior al del año anterior (3.088 m³/d en 2004), con una pluviometría de 473 mm/año, valor bastante más cercano a la precipitación media de la zona de 620 mm/año (Tabla 9.1).

IX.1. APOORTE DEL DRENAJE NORTE

El drenaje norte nace en la base de la escombrera noroeste y ha permanecido activo durante todo el periodo de estudio (Figura 9.4 A), a pesar de las escasas lluvias registradas durante 2005. Todo el caudal que drena la base de la escombrera llega a la corta a través de un recorrido de unos 200 m y una fuerte pendiente. Esta entrada de agua no está sometida a ningún tipo de gestión y solo se ha efectuado alguna obra de canalización para la mejor conservación de la pista que conduce a la plataforma norte de vertido.

El caudal base de este drenaje durante 2005 fue de unos 4,2 l/s, muy por debajo del valor base durante 2007 que ha sido 12 l/s (Figura 9.4 B y Tabla 9.2). El valor máximo durante el estudio 45 l/s se obtuvo en noviembre de 2006, tras unas fuertes lluvias. Llama la atención el carácter permanente de este drenaje, aún en un año tan seco como fue 2005. La continuidad de este drenaje incluso en el estío de los años más secos, parece señalar la existencia de un aporte adicional al de la lluvia filtrada y acumulada en la escombrera.

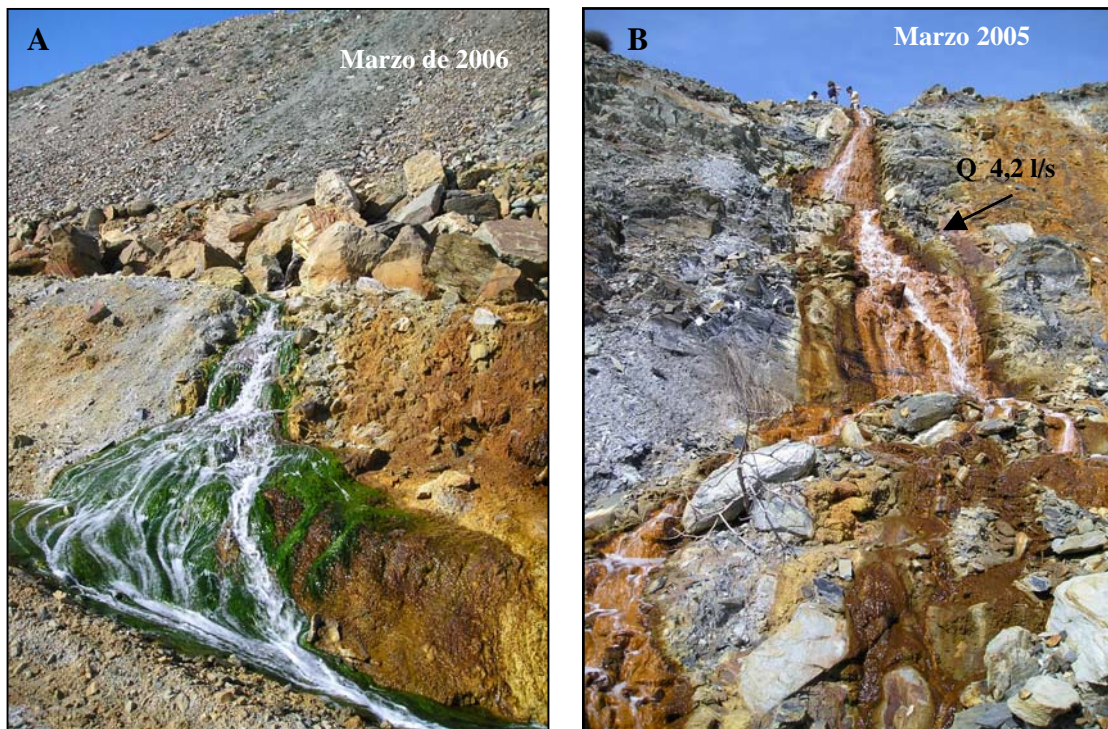


Figura 9.4. A) Nacimiento del drenaje norte en la base de la escombrera, marzo de 2006. B) Drenaje norte en su caída por el talud en dirección a la corta, marzo de 2005.

Una posibilidad, es que parte del caudal proporcionado al drenaje norte corresponda a aguas infiltradas desde el contraembalse a través de la represa situada al pie de la escombrera norte, y que circularían por el antiguo cauce del río Agrio cubierto por los materiales que conforman la escombrera que colmatan su valle. El nivel del agua del

contraembalse es constante y está en una cota cercana a los 80 m, por lo que hay casi 25 m de diferencia, en tan solo 1.000 m de distancia, entre las aguas del contraembalse y la surgencia del drenaje norte. Este aporte explicaría la continuidad de este drenaje incluso en el periodo estival de los años más secos.

En cuanto a su naturaleza, el drenaje norte es marcadamente ácido (pH 3), tiene un Eh en el rango 602-821 mV, en consonancia con el hecho de que solo parte de su hierro total esta oxidado, y gran cantidad de sólidos disueltos que se ponen de manifiesto por una conductividad eléctrica elevada (8,5-18 mS/cm), lo que le confiere también una fuerte acidez potencial (6.000-12.000 mg/l eq. de CaCO₃) (Tablas 9.2 y 9.3).

Aproximadamente la mitad de la acidez mineral que presenta este drenaje se debe al Al, siendo ésta tres o cuatro veces superior a la del Fe (Tabla 9.2). Así, por ejemplo durante la medida de acidez en marzo de 2005, para elevar el pH de este drenaje hasta un valor de 3,7 (previa oxidación del Fe(II) con una gotas de H₂O₂), pH al cual todo el Fe(III) ha sido hidrolizado, se requieren 1.690 mg/l eq. de CaCO₃. Si se compara este valor con los aproximadamente 6.900 mg/l eq. de CaCO₃ necesarios para alcanzar un pH de 5 (pH donde el Al ya se ha hidrolizado), se puede deducir que la acidez potencial en relación con el Al disuelto es cuatro veces mayor que la correspondiente al Fe. Efectivamente, se puede comprobar en la Tabla 9.3 que las concentración de Al (948 mg/l) triplica a la de Fe (284 mg/l). Esta relación entre estos elementos sólo se ha visto modificada en un muestreo realizado en mayo de 2005, donde se obtuvo muestra antes y después de unas fuertes lluvias de 54 mm/día, incrementándose hasta duplicarse la concentración del Fe y reduciéndose la del Al después del periodo de lluvia.

En general, este episodio de lluvias intensas provocó en el drenaje norte el descenso en la concentración de la mayoría de elementos, salvo el caso del Fe y del As, éste último pasó de 0,34 a 4,5 mg/l (Tabla 9.3). Este incremento para el hierro se puede explicar por la existencia y disolución de ciertos sulfatos con diverso grado de hidratación, muy abundantes en zonas mineras como productos de la alteración de la pirita, como son la szomolnoquita, rozenita, ferroxahidrita y melanterita, todos Fe(II)SO₄ con 1, 4, 6 y 7 moléculas de agua (Jambor *et al.*, 2000).

La química de este drenaje presenta también una variabilidad estacional que está en función del caudal de agua drenada (Tabla 9.3). A modo de ejemplo el SO₄²⁻ ha estado en el rango 10,3-22,3 g/l, el Fe 83-728 mg/l, Al 116-1.137 mg/l, y el Zn entre ~600 y ~1.100 mg/l. En general las máximas concentraciones se han encontrado en el año 2005, donde la pluviometría no llegó a alcanzar ni siquiera el 50% de la media para esta zona. Hecha esta puntualización, y a modo de síntesis, este drenaje se podría caracterizar por presentar los siguientes valores medios: SO₄ (~15 g/l), Fe (~230 mg/l), Al (~750 mg/l), Zn ~950 mg/l, Mn ~225 mg/l, Cu ~75 mg/l, Co ~6,65 mg/l, Ni ~6,1 mg/l y Cd ~2,55 mg/l (Figura 9.5).

Estación	Fecha	Parámetros medidos <i>in situ</i>							Hierro (mg/l)			Acidez (mg/l CaCO ₃ eq.)		
		Q (l/s)	pH	Eh (mV)	CE(μS/cm)	OD (mg/l)	OD (%)	T (°C)	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Fet	pH=3.7	pH=5.0	pH=8.3
DN	nov-03	240	3,1	715	8.500	9,3	103	21	*	*	*	*	*	*
DN	mar-05	8,0	3,0	635	18.100	7,9	90	19	370	325	695	*	*	*
DN	mar-05	4,2	3,0	649	16.330	7,0	96	28	212	235	447	1.690	6.900	10.130
DN	abr-05	3,9	2,8	661	16.510	6,7	95	30	183	168	350	*	*	*
DN	may-05	3,3	2,9	662	16.710	5,8	81	29	155	230	385	1.840	6.490	9.680
DN	may-05	7,6	2,9	651	11.990	7,9	91	21	320	420	740	1.380	5.170	8.410
DN	jun-05	4,5	3,0	679	16.350	6,2	86	33	80	290	370	1.420	6.490	10.770
DN	ago-05	3,5	3,0	671	16.390	5,8	77	29	108	218	325	1.800	6.150	12.010
DN	oct-05	4,2	3,0	642	14.560	8,9	97	18	110	272	382	930	5.650	9.130
DN	ene-06	5,7	3,0	602	15.230	8,1	93	20	335	135	470	660	5.480	8.520
DN	mar-06	15,0	3,1	638	11.130	8,4	98	22	43	120	163	720	3.320	5.700
DN	may-06	23,0	3,0	697	11.200	8,3	97	21	16	68	84	1.190	3.380	5.390
DN	jul-06	9,2	3,1	654	12.990	7,2	89	24	55	97	152	660	4.480	7.500
DN	sep-06	5,5	3,1	661	13.130	6,6	87	27	48	129	177	490	5.110	9.200
DN	nov-06	45,2	3,1	673	9.960	5,7	64	20	16	83	99	300	2.790	5.100
DN	ene-07	26,0	3,1	680	10.530	8,0	93	21	14	54	67	490	3.600	6.220
DN	mar-07	15,0	3,1	821	10.610	8,1	92	19	7	68	75	230	3.220	5.910
DN	may-07	15,0	3,0	674	12.180	6,0	73	22	44	113	157	750	4.270	7.850
DN	jul-07	12,0	3,2	703	13.980	5,6	75	29	22	121	143	730	4.980	10.520
DN	sep-07	12,0	3,5	689	14.510	644,0	87	27	37	108	145	*	*	*
BE	mar-05	n.a.	3,0	595	9.300	2,2	26	19	880	70	950	1.400	3.770	5.600
BE	abr-05	n.a.	2,6	659	9.180	0,1	2	19	550	180	730	*	*	*
BE	may-05	n.a.	2,8	644	8.180	6,7	90	27	472	70	542	1.070	2.360	3.990
BE	may-05	n.a.	3,2	619	5.940	7,9	95	23	502	162	664	830	1.890	3.160
BE	jun-05	n.a.	3,2	590	8.200	5,8	82	31	487	45	532	1.200	2.770	4.430
BE	ago-05	n.a.	3,0	657	10.400	2,6	33	32	302	537	840	1.890	4.180	6.510
BE	oct-05	n.a.	3,0	417	6.420	6,6	69	16	280	97	377	680	1.600	2.540
BE	ene-06	n.a.	3,2	578	6.480	6,7	63	9	555	45	600	780	1.670	2.840
BE	mar-06	n.a.	3,1	608	6.560	6,3	62	14	360	153	513	780	1.860	2.960
BE	may-06	n.a.	2,8	624	8.230	7,7	90	22	528	152	680	1.460	2.870	4.300
BE	jul-06	n.a.	2,7	597	8.510	5,7	67	22	632	828	1.460	1.390	2.860	4.600
BE	sep-06	n.a.	2,7	635	8.660	1,0	12	26	246	378	624	1.390	3.300	5.550
BE	nov-06	n.a.	3,4	543	7.690	7,7	85	19	572	16	588	1.070	2.700	4.470
BE	ene-07	n.a.	3,2	557	8.972	7,2	83	21	945	80	1.025	1.800	3.790	6.290
BE	mar-07	n.a.	3,3	687	9.747	6,3	77	23	972	138	1.110	1.680	4.430	6.920
BE	may-07	n.a.	2,9	605	9.483	2,4	28	21	930	240	1.170	1.860	4.180	6.800
BE	jul-07	n.a.	2,8	669	9.990	1,3	17	29	540	360	900	1.930	4.000	6.320
BE	sep-07	n.a.	3,1	651	9.087	1,5	19	26	510	490	1.000	*	*	*

Tabla 9.2. Parámetros físico-químicos del drenaje norte (DN) y la balsa de esorrentía (BE).* *Medidas realizadas por valoración colorimétrica; n.a., no analizado.*

Muestra	Fecha	Elementos mayoritarios										Elementos traza															
		Na	K	Mg	Ca	Fe	SO ₄	Al	Mn	Cu	Zn	Be	Ni	Se	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Mo	Pb	Sb	Th	Tl	U	V
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	g/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l
DN	mar-05	38	1,06	2.808	272	284	22,30	948	274	98,8	1.115	143	7.706	89	32,3	302	14,6	7.681	11.999	69,7	34,4	577	20,7	8,4	5,3	68,8	45,6
DN	may-05	51	0,80	2.125	264	251	19,88	992	286	95,5	1.144	162	7.077	142	44,6	341	<4,8	4.909	12.957	44	3,1	563	4,8	35	3,9	201	3
DN	may-05	34	0,72	1.477	231	571	14,74	683	192	74,9	875	118	4.659	54	11,5	4.501	15,8	3.140	8.720	79,2	4	373	38	120	5,8	183	2,1
DN	jun-05	27	0,53	1.997	254	208	21,60	831	293	113	1.166	173	7.338	653	13,9	316	20,1	4.440	13.747	63,6	1,8	587	8,9	51,1	5,9	274	9,8
DN	ago-05	42	0,97	2.758	305	728	21,76	1.137	292	96,5	1.055	134	6.543	133	4,15	266	45,3	3.857	9.640	46	4,3	472	<4	24,41	*	185,6	4,35
DN	oct-05	36	0,67	2.463	460	239	16,80	1.044	243	85,7	994	151	6.413	144	<2	318	39,3	2.583	9.202	63,7	6,49	226	<2	28	3,23	105	8,55
DN	ene-06	36	0,75	2.370	455	266	15,10	948	225	82,3	954	145	6.151	101	<4	283	34,7	2.894	6.615	96,7	8,55	296	<4	21,8	3,93	108	12,3
DN	mar-06	30,5	1,29	1.530	408	115	11,2	594	170	67,4	743	106	4.035	101	<2	449	29,3	1.672	3.093	43,7	4,51	120	15,9	31,7	*	95,9	7,85
DN	may-06	27,6	0,72	1.686	424	100	11,4	634	150	55,6	681	102	3.538	50	2,52	209	21,8	1.664	3.607	30,5	<2	171	4,73	35,1	2,65	119	7,34
DN	jul-06	27,3	0,59	1.931	388	182	15	791	189	67,4	784	105	4.284	109	3,5	227	23,7	2.066	6.742	<20	3,33	250	7,51	32,3	5,9	150	3,7
DN	sep-06	30,5	1,9	2.205	506	190	15,4	116	218	75,7	866	155	6.234	105	3,97	328	26,1	2.215	7.222	<20	3,36	352	5,04	27,5	5,94	164	2,59
DN	nov-06	21,9	0,5	1.407	444	118	10,3	508	120	50,4	648	73	1.372	48	2,21	522	19,8	1.201	3.074	20,9	<2	137	13,1	78,6	3,65	133	<5
DN	ene-07	23,6	0,5	1.728	467	83	11,5	557	145	56,7	636	99	3.662	66	2,17	297	23,4	1.798	4.077	<20	<2	133	5,34	41	*	124	<5
DN	mar-07	27,8	0,82	1.679	383	88	11,8	503	138	53,4	681	98	3.498	68	5,82	263	16,6	1.708	5.615	<20	<5	104	7,39	37,98	*	125	<5
DN	may-07	33,7	1,9	2.013	329	153	14,7	901	184	70,5	786	104	4.336	57	3,88	645	22,2	3.880	5.481	<20	<5	128	12,2	46	*	140	<5
DN	jul-07	33	0,6	2.434	493	126	20,9	939	201	79,2	860	113	4.818	72	4,18	343	30,9	2.690	6.092	<20	<5	205	7,27	41,3	*	173	<5
BE	mar-05	45,1	8,0	963	358	771	10,8	317	211	20,3	572	50	2.362	134	11	125	15,9	2.481	4.541	52,2	407	5	10,1	<0,4	8,9	14	52,8
BE	may-05	50,4	11,8	822	381	436	7,44	183	182	9,45	449	36	1.950	79	5,8	75	5,6	1.210	4.564	33,6	1,6	494	1,7	2,9	11,9	52,2	16,9
BE	may-05	21,9	3,74	392	271	611	5,34	149	52,2	40,7	480	19	938	51	5,1	3.480	16,6	1.293	2.129	143	0,9	1.888	91,2	12,3	20,6	29,9	47,7
BE	jun-05	25,4	4,51	765	307	500	8,56	270	180	14	375	48	2.225	533	6	115	11,6	938	4.178	41,6	3,8	318	2,1	6,9	12,2	74,2	27,2
BE	ago-05	51,1	8,97	1.021	397	213	10,32	290	236	16,9	583	49	2.115	65	2,25	77	11	1.343	5.100	45,6	<2	313	<2	2,61	*	65,1	15,9
BE	oct-05	32,8	8,7	629	491	317	6,3	133	155	16,5	278	22	1.640	65	<2	296	8,61	719	3.458	68,9	3,37	170	5,36	<2	5,06	29,29	21,92
BE	ene-06	38,1	5,42	549	409	474	4,5	222	114	14,5	325	31	1.413	49	<2	85	13,9	637	2.020	52	4,25	235	<2	2,02	7,15	25,5	21
BE	mar-06	32,0	5,2	573	434	490	5,48	255	131	20,4	346	29	1.395	56	<2	338	8,2	581	1.511	55,8	3,65	365	6,23	<2	*	28,7	21,2
BE	may-06	36,4	7,4	660	413	708	7,85	284	139	14,5	44	34	1.584	<200	<2	66	13,4	729	1.716	26,1	<2	485	<2	3,58	8,35	33,3	22,1
BE	sep-06	41,4	6,9	904	544	742	9,06	441	192	15,5	504	56	2.609	26	3,19	139	16,1	1.058	4.260	<20	4,19	526	3,8	5,08	11,7	50	11,6
BE	nov-06	30,5	5,5	699	463	702	7,52	327	131	18,3	444	36	1.501	31	<2	60	13,2	825	4.516	21,6	<2	467	<2	6,49	12,7	40,4	11,2
BE	ene-07	38	10,0	870	496	1.162	9,51	381	177	17,2	498	48	2.198	48	<2	156	12,1	798	6.173	28,1	<2	902	<2	3,8	*	39,6	28,3
BE	mar-07	39,2	7,84	971	442	1.283	10,4	464	165	14,7	656	45	1.973	2	4,96	65	10,4	1.468	4.730	35,7	<5	771	2,57	3,23	*	51	47,8
BE	may-07	36,8	6,4	967	391	1.168	11,5	453	170	25,4	599	47	2.170	<800	3,05	111	10,4	3	3.007	20,9	<5	504	<2	4,13	*	58	61,8
BE	jul-07	49,1	7,54	1.025	578	897	13,5	423	176	20,1	703	43	2.086	62	3,22	90	13,5	2	3.136	<20	<5	960	<2	2,61	*	50,6	12,2

Tabla 9.3. Analítica, en diferentes fechas, de las aguas de mina que entran a la corta: drenaje norte (DN) y balsa de escorrentía (BE).

Desde el comienzo del estudio, la calidad del agua drenada por la escombrera noroeste es inferior a la de la corta, por lo que se puede considerar como un foco “contaminante” que irá empeorando progresivamente la calidad del agua del lago minero. Cualquier estudio en relación con la mejora de la calidad de las aguas de la corta deberá tener muy en cuenta tanto el volumen como la naturaleza química de este drenaje, pues se trataría de la principal entrada de aguas ácidas en el supuesto de que se abandonara el bombeo desde la balsa de escorrentía.

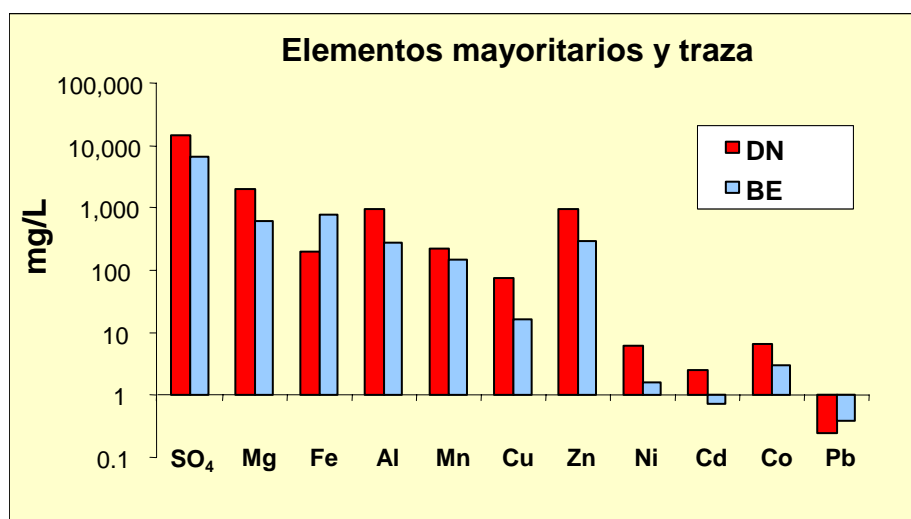


Figura 9.5. Concentraciones medias de los elementos mayoritarios y traza del drenaje norte (DN) y balsa de escorrentía (BE).

La hidroquímica del drenaje norte no es excepcional en el contexto geológico-minero que se encuentra, ya que es semejante a otros drenajes ácidos generados en grandes escombreras de la Faja Pirítica, donde son habituales pHs inferiores a 3, altas conductividades, elevadas concentraciones de Fe y Al, y una considerable acidez total (Sánchez *et al.*, 2005).

IX.2. APORTE DESDE LA BALSA DE ESCORRENTÍA

La mayoría de las aguas de mina generadas en el área minera de Aznalcóllar se recogen en una balsa denominada de escorrentía (Figura 9.6). A pesar del nombre que recibe la balsa parte de las aguas recogidas en la misma llegan por bombeos efectuados desde distintos puntos del área minera.

Los aportes principales de agua de mina recogidos en la balsa son:

- 1) Los **drenajes ácidos** generados en la parte meridional de la **escombrera este** (Figura 9.1), que son conducidos a la balsa mediante canales y cunetas por gravedad. Es una entrada de volumen variable que está directamente relacionada con la pluviometría.
- 2) El **agua subterránea del área industrial** bombeada desde un par de pozos a la balsa. Esta aportación, aunque es de volumen reducido, es bastante regular.
- 3) El **agua subterránea del entorno de la antigua balsa de lodos clausurada** y

sellada. El agua se recoge a través de una serie de pozos situados perimetralmente en la parte oriental de la balsa (Figura 9.1). Este es el principal aporte de aguas de mina a la balsa de escorrentía.



Figura 9.6. Balsa donde se recogen las aguas de minas generadas en diversas zonas del emplazamiento minero.

Adicionalmente a estos aportes de procedencia claramente definida, hay una red de canales y cunetas que conducen a la balsa la escorrentía generada en periodos de lluvias en los diversos sectores del área industrial.

Todas las aguas que llegan por gravedad o por bombeo a la balsa de escorrentía tienen un quimismo propio de un agua ácida de mina. En marzo de 2005 se efectuó una serie de determinaciones *in situ* de las tres entradas principales de agua a la balsa, donde se pudo comprobar que presentaban ciertas diferencias en cuanto a su contenido en hierro y su estado de oxidación (Tabla 9.4). No se ha mantenido este muestreo diferenciado de las entradas de agua a la balsa de escorrentía ya que lo que verdaderamente interesa es el quimismo final del agua que se conduce por bombeo desde la balsa a la corta.

Con las medidas y determinaciones que se han efectuado *in situ* cada dos meses (Tabla 9.2), se puede afirmar que el agua que contiene la balsa de escorrentía es claramente ácida (pH 2,6-3,4), con abundantes sólidos disueltos (CE 5,9-10,4 mS/cm) y variable en su contenido en oxígeno (2-95% sat.). Generalmente, el hierro se presenta mayoritariamente como Fe(II), y la concentración en hierro total está en el rango 377-1.460 mg/l (Tabla 9.2). Esta variabilidad en la concentración del hierro lógicamente queda reflejada en la medida de la acidez parcial a pH 3,7 (rango 680-1.930 mg/l eq. de CaCO₃). La acidez total está en el rango 2.540-6.920 mg/l equivalente de CaCO₃.

Estación	Q (l/s)	pH	Eh (mV)	CE (μS/cm)	OD (mg/l)	OD (%)	T (°C)	Fe ²⁺ (mg/l)	Fe ³⁺ (mg/l)	Fet (mg/l)
AI	*	3,9	261	9.290	0,19	1	24,1	2.500	25	2.525
EE	0,1	2,3	378	11.000	2,50	31	21,4	4.200	275	4.475
BL	*	3,4	437	7.280	8,00	98	20	100	28	128

Tabla 9.4. Parámetros físico-químicos de las diferentes aguas que entran a la balsa de escorrentía (marzo 2005). AI: *área industrial*, EE: *escombrera este* y BL: *balsa de lodos*.

La campaña de mayo de 2005, con el episodio de lluvias ya referido anteriormente, permitió conocer las variaciones del quimismo de la balsa al incrementarse notablemente su volumen, debido a la escorrentía generada por el área minera. Al igual que para el drenaje norte las lluvias ejercen un factor de dilución para el conjunto de los sólidos disueltos, así la CE se redujo de 8,2 mS/cm a 5,9 mS/cm después de las lluvias. Pero también, al igual que para el drenaje norte, hay ciertos elementos que presentan mayores concentraciones después de las lluvias. Para la balsa de escorrentía además del Fe y As, presentan este comportamiento el Cu, Pb, Zn, Ba, Cr, Sb, Th y Tl. Es evidente, por tanto, la existencia de minerales fácilmente solubles que contienen estos elementos, que tras su lavado y disolución por las aguas pluviales hacen incrementar su concentración.

El bombeo del agua de la balsa de escorrentía a la corta, ha incidido negativamente en la calidad de esta última hasta el empeoramiento de la misma asociado al vertido de la escombrera pirítica (S-3), que tuvo lugar durante el año 2006.

A partir de la degradación del quimismo del agua de la corta que ha provocado el hecho de verter 1,4 millones de m³ del material pirítico que contenía la escombrera S-3, se da la circunstancia que el agua recogida en la balsa de escorrentía es notablemente mejor que la de la corta, por lo que su vertido en la misma provoca cierto efecto de dilución. Puesto que es necesario seguir bombeado agua de la corta al objeto de mantener su nivel por debajo de la cota cero metros, se recomienda, dadas las circunstancias actuales, que se trate directamente el agua de la balsa, lo que conllevaría un ahorro de energía en bombeo y de reactivos en la planta de tratamiento.

El caudal que se bombea a la corta desde esta balsa, es variable al estar directamente relacionado con la pluviometría. De cualquier forma, el caudal se puede considerar importante aún en los años más secos, como denota el caudal medio diario de 580 m³/día para el año 2005 (0,21 Mm³/año). En el año 2004, con una pluviometría mayor (473 mm), pero todavía por debajo de la media (630 mm/año), el caudal medio diario bombeado fue de 1.760 m³/día (0,64 Mm³/año). Dada la importancia del volumen bombeado desde la balsa de escorrentía a la corta no hay ninguna duda que su quimismo viene incidiendo en la calidad del agua del lago minero.

IX.3. FANGOS DE LA PLANTA DEPURADORA DE AGUAS

Los fangos en la planta depuradora de agua se obtienen al incrementar hasta 10, el pH del agua que proviene de la corta mediante adicción de una lechada de cal. De los tanques de decantación de la planta se obtiene un fango con un porcentaje en agua equivalente a un 60-70%. Como directamente no se podría bombear este fango a la corta se hace necesario mezclarlo con el agua de la balsa de escorrentía.

La cantidad de fango que se obtiene por volumen de agua tratada es directamente proporcional al contenido en sólidos disueltos, y por tanto a la conductividad. Durante el año 2004, con una conductividad de 7,4 mS/cm se obtuvo un volumen de fangos de ~92.000 m³, equivalente al 7% del volumen de agua tratada. Este porcentaje se incremento en el 2005, acorde con el aumento de la conductividad hasta 8,6 mS/cm. Durante este año se devolvió a la corta ~55.000 m³ de fangos que representaba un 9% del volumen de agua tratada en la planta (Tabla 9.1). El ratio de los fangos generados

por volumen de agua tratada se ha debido incrementar aun más durante el año 2006 (datos no aportados por EGMASA), según aumentaban los sólidos disueltos debido al vertido de la escombrera de pirita, como denota el incremento de la conductividad hasta un valor de 12 mS/cm (ver Capítulo XI).



Figura 9.8; Planta de tratamiento de agua de Aznalcóllar (tanque de mezcla/agitación). El color del lodo refleja la evolución de las características químicas del agua de la corta. A) Marzo de 2005, con muy escaso Fe disuelto, B) Septiembre de 2006, con 770 mg/l de Fe (mezcla de Fe(II) y Fe(III)), y C) Noviembre de 2006, altas concentraciones de hierro (~1.000 mg/l) exclusivamente como Fe(II).

La composición química de los fangos, así como el propio color que presentaban en la planta de tratamiento, han reflejado la evolución, durante estos años, de la química del lago (Figura 9.8). En marzo de 2005 el fango presentaba una coloración beis, ya que el agua tratada prácticamente no tenía hierro disuelto (3,4 mg/l). En septiembre de 2006 la coloración marrón reflejaba el hecho de tener en ese momento 770 mg/l de hierro, estando presente más o menos a partes iguales como Fe(II) y Fe(III). Tan solo dos meses más tarde (noviembre 2006), la coloración del fango era verde oscuro debido a estar los 1.040 mg/l de hierro disuelto exclusivamente como Fe(II).

Esta evolución se refleja en la composición química del lodo para estas tres fechas (Tabla 9.5). La concentración de hierro (expresada como Fe_2O_3) se incrementa desde 0,21% en marzo-2005 a 5,69% en noviembre-2007. Es espectacular también el incremento en su contenido en Zn, donde casi se triplica en este periodo (de 1,3% en

marzo-2005 a 3,4% en noviembre-2007).

Fecha	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	PPC	S	SUMA
%													
mar-05	0,502	1,61	0,21	20,3	0,1	1,58	0,1	10,6	0,067	0,028	28,87	*	63,97
sep-06	0,10	1,19	2,97	26,2	0,01	0,7	0,1	6,23	0,044	0,081	27,13	13	77,62
nov-06	0,10	2,17	5,69	21,29	0,01	0,93	0,1	7,95	0,02	0,07	28,16	11,48	77,97

Ag	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Se	U	Zn
µg/g													
1	12	4	1	117	370	6,8	2.386	10.606	146	44,8	6	2	12.650
<1	6	4	1	40,3	134	2,7	1.171	*	68	37,8	1	1,43	23.966
<	10	3	1	69,6	95,6	18,2	1.908	*	96	68,4	1	1,42	33.738

Tabla 9.5. Evolución de la composición química de la fase sólida de los fangos de la planta depuradora .

Estos fangos obtenidos a un pH marcadamente alcalino se redisuelven parcialmente al introducirlos en el pH ácido de la corta, siendo un factor más que favorece el incremento progresivo de los sólidos disueltos en la misma.

Fecha	Elementos mayoritarios								elementos traza										
	Mg	Ca	Fe	SO ₄	Al	Mn	Cu	Zn	Ni	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Pb	Tl	U	V
	mg/l	mg/l	mg/l	g/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
mar-05	99,8	567	0,05	1,75	0,97	1,35	0,12	3,44	11	0,4	<2	64,4	58,9	58,6	4,3	7,1	39,2	0,3	9,5
sep-06	1,17	673	0,08	1,43	0,79	0,1	0,06	0,28	3	0,4	16	19,5	1,27	5,43	3,84	4,61	57,2	0,17	3,82
nov-06	9,82	569	0,6	1,45	0,96	<1	0,03	0,05	96	0,4	10	21,7	<1	4,33	<4	2,36	162	<0,4	1,45

Tabla 9.6. Análisis del agua intersticial de los fangos de la planta depuradora en marzo de 2005 y septiembre y noviembre de 2006.

La fase líquida de los fangos es una solución alcalina (pH ~9,5), de composición sulfatada cálcico-magnésica, con concentraciones muy bajas de metales disueltos (Tabla 9.6). Se la puede considerar como una entrada de alcalinidad al sistema.

IX.4. EXTRACCIÓN DE AGUA DE LA CORTA DE AZNALCÓLLAR

Para poder contrarrestar el incremento del nivel del agua debido a las continuas entradas de agua y a los sucesivos vertidos de residuos mineros, es necesario extraer importantes volúmenes de la corta. La plataforma de bombeo está situada en la parte suroeste de la corta minera. Desde el abandono de la mina por parte de Boliden-Apirsa en el año 2001, el bombeo de extracción, si bien ha sido irregular (p.ej. en varios meses sucesivos no se ha efectuado ningún bombeo, Tabla 9.1), ha permitido mantener el nivel del agua en la corta por debajo de la cota impuesta (Figura 9.2).

El agua bombeada se conduce a la planta de tratamiento y una vez que ha sido depurada se vierte al cauce del río Agrío. En el año 2004 el caudal extraído de la corta y tratado en la planta superó los 1,1 hm³ lo que supone un descenso teórico en el nivel de la corta de 4 metros, cifra próxima al descenso real de 3,85 m. En un año tan seco como 2005, y además sin vertidos de residuos a la corta, el volumen bombeado se redujo a casi 0,6 hm³.

En febrero de 2006, quedó inutilizado el dispositivo de bombeo tras el derrumbe repentino de la plataforma de vertido, lo cual afectó al programa de

extracción/tratamiento de aguas durante varios meses. Esto, sumado al vertido continuo a la corta de los materiales provenientes del desmantelamiento de la escombrera S-3, ha provocado un aumento paulatino del nivel del agua en la corta.