

**ESTUDIO Y MODELIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS ÁCIDAS
DEL LAGO MINERO DE LA CORTA AZNALCÓLLAR.**

MEMORIA FINAL

**ESTUDIO Y MODELIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS ÁCIDAS
DEL LAGO MINERO DE LA CORTA AZNALCÓLLAR.**

ANEXOS

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO GEOGRÁFICO.....	5
II.1. MARCO GEOGRÁFICO.....	5
II.2. CLIMATOLOGÍA.....	7
II.2.1. Clima regional.....	7
II.2.2. Temperaturas medias.....	7
II.2.3. Régimen pluviométrico.....	8
II.3. HIDROLOGÍA.....	13
II.3.1. Subcuenca del río Agrio.....	13
II.3.2. Subcuenca del río Los Frailes.....	14
II.4. MARCO GEOLÓGICO.....	14
II.4.1. Paleozoico.....	14
II.4.2. Mioceno.....	15
III. HIDROGEOLOGÍA DEL ENTORNO DE LAS CORTAS MINERAS.....	18
IV. ELEMENTOS PARA EL BALANCE HÍDRICO EN LA CORTA DE AZNALCÓLLAR.....	22
IV.1. ENTRADAS DE AGUA A LA CORTA.....	22
IV.1.1. Precipitación directa (PD).....	22
IV.1.2. Escorrentía superficial (ES).....	24
IV.1.3. Filtraciones (F).....	24
IV.1.4. Flujo de aportes subterráneos (AS_{IN}).....	24
IV.2. SALIDAS DE AGUA EN LA CORTA.....	25
IV.2.1. Evaporación (Ev).....	25
IV.2.2. Flujo de salida subterráneo (AS_{OUT}).....	29
IV.3. BALANCE HÍDRICO EN LA CORTA AZNALCÓLLAR.....	29
V. GENERACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA.....	32
V.1. LA OXIDACIÓN DE LA PIRITA COMO ORIGEN DE LAS AGUAS DE MINA.....	32
V.2. ACTIVIDAD MINERA: AGENTE POTENCIADOR DE LA OXIDACIÓN DE LA PIRITA.....	33
V.3. FOCOS GENERADORES DE DRENAJES ÁCIDOS.....	34
V.4. LA ACIDEZ TOTAL. IMPORTANCIA DEL FE(III) Y AL(III) COMO ESPECIES TAMPONADORAS DE AGUAS DE MINA.....	35
V.5. MECANISMOS ATENUADORES DE LA ACIDEZ.....	37
VI. CLASIFICACIÓN DE UN LAGO MINERO: PROCESOS DE ESTRATIFICACIÓN Y MEZCLA.....	39
VI.1. CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LOS LAGOS MINEROS.....	39
VI.2. LIMNOLOGÍA FÍSICA EN RELACIÓN A LA FORMA DEL LAGO.....	40
VI.3. CLASIFICACIÓN DEL LAGO MINERO DE AZNALCÓLLAR POR SU MORFOLOGÍA.....	43
VI.4. BATIMETRÍA DE LA CORTA DE AZNALCÓLLAR.....	43
VI.4.1. Batimetría del UFZ en el 2002.....	43
VI.4.2. Batimetría del IGME en el 2005.....	44

VII. HISTORIA DE LA CORTA MINERA DE AZNALCÓLLAR.....	47
VII.1. EXPLOTACIÓN DE LA CORTA DE AZNALCÓLLAR.....	47
VII.2. HISTORIA DE LOS MATERIALES VERTIDOS A LA CORTA DE AZNALCÓLLAR.....	48
VIII. METODOLOGÍA.....	57
VIII.1. TRABAJO DE CAMPO.....	57
VIII.1.1. Batimetría de la corta.....	57
VIII.1.2. Parámetros físico-químicos.....	57
VIII.1.3. Muestreo de agua.....	59
VIII.1.4. Muestreo de sedimentos.....	59
VIII.2. TRABAJO DE LABORATORIO.....	59
VIII.2.1. Muestras líquidas.....	59
VIII.2.2. Muestras sólidas.....	60
IX. ENTRADAS Y SALIDAS DE AGUA DE MINA EN LA CORTA INUNDADA DE AZNALCÓLLAR.....	61
IX.1. APORTE DEL DRENAJE NORTE.....	65
IX.2. APORTE DESDE LA Balsa DE ESCORRENTÍA.....	69
IX.3. FANGOS DE LA PLANTA DEPURADORA DE AGUAS.....	71
IX.4. EXTRACCIÓN DE AGUA DE LA CORTA DE AZNALCÓLLAR.....	73
X. ESTUDIO HIDROQUÍMICO DE LA CORTA INUNDADA DE AZNALCÓLLAR. DATOS PREVIOS (2002-2004).....	75
X.1. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA COLUMNA DE AGUA (2002-2004, UFZ).....	75
X.2. HIDROQUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA DE CORTA AZNALCÓLLAR (2002-2005, UFZ).....	80
X.2.1. Parámetros biológicos: nutrientes (fósforo, nitrógeno y sílice).....	82
X.2.2. Composición química del agua de la corta (2002-2004).....	83
X.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA CORTA DE AZNALCÓLLAR (2004, DATOS EGMASA).....	88
XI. ESTUDIO HIDROQUÍMICO DE LA CORTA DE AZNALCÓLLAR, PERIODO 2005-2007.....	91
XI.1. CLASIFICACIÓN DEL LAGO SEGÚN LOS PROCESOS DE MEZCLA EN LA VERTICAL.....	91
XI.2. VARIABILIDAD DE LA COLUMNA DE AGUA EN DIFERENTES PUNTOS.....	92
XI.3. HIDROQUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA EN AUSENCIA DE VERTIDOS: EVOLUCIÓN ESTACIONAL (Primer periodo: Mayo-Noviembre 2005).....	94
XI.3.1. Valoración de parámetros obtenidos <i>in situ</i>.....	94
XI.3.2. Resultados analíticos: hidroquímica de la columna de agua.....	98
XI.3.3. Distribución vertical de las concentraciones de Al y Fe_{total}.....	102
XI.3.4. Procesos de foto-reducción del hierro en el epilimnion del lago minero.....	104
XI.4. HIDROQUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA DURANTE EL VERTIDO DE UNA ESCOMBRERA DE PIRITA: HISTORIA DE UNA AFECCIÓN (Segundo periodo: Diciembre 2005-Noviembre 2006).....	106
XI.4.1. Valoración de parámetros obtenidos <i>in situ</i>.....	107

XI.4.2. Valoración de otros parámetros obtenidos <i>in situ</i> (clorofila, turbidez y PAR).....	109
XI.4.3. Resultados analíticos: hidroquímica de la columna de agua.....	110
XI.4.4. Distribución vertical de las concentraciones de Fe(II) y Fe _{total}	113
XI.5. HIDROQUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA DURANTE EL VERTIDO DE PEQUEÑAS BALSAS DE LODOS Y SUELOS CONTAMINADOS (Tercer periodo: Enero 2007-Mayo 2007).....	115
XI.5.1. Valoración de parámetros obtenidos <i>in situ</i>	115
XI.5.2. Valoración de otros parámetros obtenidos <i>in situ</i> (clorofila, turbidez y PAR).....	118
XI.5.3. Resultados analíticos: hidroquímica de la columna de agua.....	119
XI.5.4. Distribución vertical de las concentraciones de Fe y Al.....	121
XI.6. HIDROQUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA TRAS LA FINALIZACIÓN TEMPORAL DE LOS VERTIDOS: EVOLUCIÓN ESTACIONAL (Cuarto periodo: Julio 2007-Septiembre 2007).....	122
XI.6.1. Valoración de parámetros obtenidos <i>in situ</i>	122
XI.6.2. Resultados analíticos: hidroquímica de la columna de agua.....	124
XII. ESTUDIO DE MODELIZACIÓN GEOQUÍMICA MEDIANTE PHREEQC	126
XII.1. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN Y ESTRATIFICACIÓN DEL LAGO MEDIANTE LOS INDICES DE SATURACIÓN Y ESPECIACIÓN QUÍMICA....	126
XII.1.1 Situación previa al vertido de la escombrera de pirita (junio 2005)..	127
XII.1.2 Situación durante el vertido de la escombrera de pirita (mayo 2006).....	128
XII.1.3 Situación al final del vertido de las balsas de lodos y suelos contaminados (mayo 2007).....	131
XIII. ACIDEZ MINERAL COMO VALOR DE REFERENCIA EN POSIBLES PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE LA CORTA.....	134
XIII.1. CONCEPTO DE ACIDEZ TOTAL.....	134
XIII.2. IMPORTANCIA DE LOS METALES DISUELTOS COMO ESPECIES TAMPONADORAS DE LA SOLUCIÓN.....	134
XIV. ENSAYO DE EVOLUCIÓN HIDROQUÍMICA ASOCIADA A UN INCREMENTO DE pH: INTRODUCCIÓN DE ALCALINIDAD AL SISTEMA..	140
XV. ESTUDIO DE LOS SEDIMENTOS DE LA CORTA DE AZNALCÓLLAR...	146
XV.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS. DATOS PREVIOS 2002.	148
XV.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS. CAMPAÑA DEL IGME (2005).....	150
XV.2.1. Metodología.....	150
XV.2.2. Estudio del agua sobrenadante de los diferentes testigos.....	153
XV.2.3. Estudio de la fracción sólida de los sedimentos.....	154
XV.2.4. Estudio del agua intersticial de los sedimentos.....	156
XVI. LIMNOLOGÍA FÍSICO-QUÍMICA DE LA CORTA INUNDADA DE LOS FRAILES: EVOLUCIÓN ANUAL.....	158
XVI.1. MORFOLOGÍA DE LA CORTA DE LOS FRAILES.....	158
XVI.2. EVOLUCIÓN DEL NIVEL DEL AGUA EN LA CORTA LOS FRAILES.	160
XVI.3. HIDROQUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA EN CORTA LOS FRAILES.....	161

XVI.3.1. Estudio de los parámetros físico-químicos obtenidos <i>in situ</i>	161
XVI.3.2. Valoración de otros parámetros obtenidos <i>in situ</i> (clorofila, turbidez y PAR).....	164
XVI.3.3. Estudio de la evolución química del agua de la corta en el periodo 2003-2005.....	165
XVI.3.4. Resultados analíticos: hidroquímica de la columna de agua (2005-2006).....	166
XVII. HIDROQUÍMICA DE LAS CORTAS INUNDADAS DE LA FPI: ESTUDIO PRELIMINAR.....	171
XVII.1. BALANCE HÍDRICO Y ESTADO EVOLUTIVO DE LOS LAGOS MINEROS DE LA FAJA PIRÍTICA.....	175
XVII.2. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS DE LOS LAGOS MINEROS DE LA FAJA PIRÍTICA.....	175
XVII.2.1. Los casos extremos: Los Frailes (Aznalcóllar) y Corta Atalaya (Río Tinto).....	178
XVII.2.2. Factores geológicos y mineralógicos que determinan la composición de los lagos mineros en la FPI.....	182
XVII.2.3. Controles geoquímicos de la composición acuosa de los lagos mineros de la FPI.....	185
XVII.3. AZNALCÓLLAR EN EL CONTEXTO HIDROGEOQUÍMICO DE LOS LAGOS MINEROS DE LA FPI.....	192
XVIII. CONCLUSIONES.....	194
XIX. BIBLIOGRAFÍA.....	197

ANEXOS

Anexo I; Estudio de la calidad del agua de la corta de Aznalcóllar. datos previos (2002-2004).

Anexo II; Estudio hidroquímico de la corta de Aznalcóllar, periodo 2005-2007.

Anexo III; Estudio de modelización geoquímica mediante phreeqc.

Anexo IV; Ensayo de evolución hidroquímica asociada a un incremento de pH: introducción de alcalinidad al sistema.

Anexo V; Estudio de los sedimentos de la corta de Aznalcóllar.

Anexo VI; Limnología físico-química de la corta inundada de Los Frailes: evolución anual.

.