



**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA DE
ALMADÉN**

**DRENAJE ÁCIDO DE SAN QUINTÍN:
ESTUDIO Y ALTERNATIVAS DE
REMEDIACIÓN**

MERCEDES HINOJOSAS CARRASCO

2001-2002

| | |
|--|----|
| I.- DESCRIPCIÓN GENERAL | 1 |
| I.a.- Objetivos | 1 |
| I.b.- Introducción | 2 |
| I.c.- Drenaje ácido de mina | 6 |
| I.d.- Zona de estudio: San Quintín (Ciudad Real)..... | 9 |
| I.d.1.- Situación geográfica..... | 9 |
| I.d.2.- Geología..... | 10 |
| I.d.3.- Mineralizaciones | 13 |
| 1.- Antecedentes históricos | 13 |
| 2.- Descripción del yacimiento..... | 15 |
| 3.- Paragénesis..... | 17 |
| II.- TRABAJO REALIZADO | 18 |
| II.a.- Recopilación de información de interés sobre la zona..... | 18 |
| II.a.1.- Lavadero de flotación | 18 |
| II.a.2.- Prospección geoquímica..... | 19 |
| II.a.3.- Impacto ambiental..... | 19 |
| II.a.4.- Datos climatológicos | 20 |
| II.a.5.- Otras informaciones | 20 |
| II.b.- Trabajo de campo | 22 |
| II.b.1.- Toma de datos (pH y temperatura del agua)..... | 22 |
| II.b.2.- Toma de muestras de agua | 26 |

| | |
|---|----|
| II.b.3.- Información sobre las muestras..... | 26 |
| II.c.- Trabajo de laboratorio | 31 |
| II.c.1.- Análisis químico de mercurio | 31 |
| II.c.2.- Análisis químicos de otros metales pesados..... | 34 |
| II.c.3.- Determinación de pH y conductividad en laboratorio | 35 |
| III.- RESULTADOS OBTENIDOS..... | 36 |
| III.a.- Climatología..... | 36 |
| III.b.- Resultados de pH y temperatura del agua | 42 |
| III.c.- Resultados de los análisis químicos..... | 49 |
| III.d.- Resultados de pH y conductividad..... | 51 |
| VI.- BIBLIOGRAFÍA..... | 82 |

I.- DESCRIPCIÓN GENERAL

I.a.- OBJETIVOS.

Los objetivos del presente estudio han sido los siguientes:

- Estudiar las aguas superficiales en la zona de San Quintín en lo que a contaminación relacionada con la minería se refiere, en función de métodos de campo (determinación del pH), y análisis químicos en el laboratorio (cuantificación de metales pesados: Hg, As, Cd, Cu, Pb, Zn y pH y conductividad).
- Buscar posibilidades de remediación a la contaminación ambiental debida al Drenaje Ácido de Mina procedente de este yacimiento, para lo cual se han analizado las distintas alternativas tecnológicas existentes, y se han empleado procesos de neutralización, para verificar las posibilidades reales de aplicación de cada una.

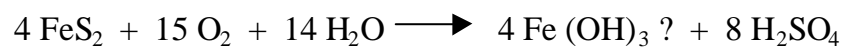
I.b.- INTRODUCCIÓN.

Una de tantas actividades que producen problemas en la calidad del agua es la minería, cuyos efectos sobre estas pueden traducir en: movilización de partículas sólidas, ya sean procedentes del arrastre por las aguas superficiales de polvo de escombreras o labores, o traídas hasta la superficie por el agua de lluvia, a partir del polvo en suspensión; adición de sales; adición de metales pesados; y la acidificación: el drenaje ácido de mina, sin duda el mayor problema que presenta la minería frente a las aguas.

I.c.- DRENAJE ÁCIDO DE MINA.

Consiste en la emisión o formación de aguas de gran acidez, y por lo general ricas en sales y metales pesados, a partir de minas de sulfuros metálicos o de carbón.

La formación de este fenómeno está en relación con la hidrólisis de los sulfuros, y en especial de la pirita, mediante una serie de reacciones que se pueden sintetizar en una sola:



Una contribución a menudo importante al desarrollo de este fenómeno es la de determinadas especies de bacterias que tienen efectos catalizadores sobre algunas de las reacciones concretas implicadas, la granulometría del material, las condiciones hidrogeológicas de la zona y la mineralogía de las rocas encajantes o ganga.

I.d.- ZONA DE ESTUDIO: SAN QUINTÍN (CIUDAD REAL).**I.d.1.- Situación geográfica**

El grupo minero San Quintín está situado en el término municipal de Villamayor de Calatrava, y es atravesado por la carretera de Almadén – Puertollano.

I.d.2.- Geología

El grupo minero San Quintín está situado en el extremo noroccidental del anticlinal de Tirteafuera.

Las rocas que se encuentran en la zona pertenecen al Alcudiense inferior, al Alcudiense superior y al Ordovícico inferior y cubriendo una gran parte de los afloramientos se hallan los coluviones cuaternarios.

I.d.3.- Mineralizaciones

1.- Antecedentes históricos

Después de pequeños trabajos en distintas épocas, en 1887 se inició a cargo de la Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya (S.M.M.P.E) la explotación de la mina a gran escala, la cual perduraría sin interrupción hasta 1934.

En casi cincuenta años de trabajos la producción fue de 550.000Tm de galena, con 550Tm de plata y unas 5.000 de esfalerita.

La posterior actividad en San Quintín ha estado limitada al relavado de sus voluminosas escombreras. El lavado se inició en 1973 y quedó paralizado en 1985, obteniéndose 22.991Tm de galena con 1.196gr de Ag y 10.585Tm de esfalerita con 552gr de Ag.

2.- Descripción del yacimiento

Se trata de un campo filoniano complejo, de forma que comprendía varias minas que además explotaban uno o más filones: de Este a Oeste, las minas de San Froilán región Oeste, que explotó los filones A, B y C, San Froilán que explotó los filones Principal y Consecuencia, San Matías, que explotó el filón Norte, y Don Raimundo, que explotó el filón Sur. La corrida total de las labores es de 2.500m, aunque hay zonas estériles comprendidas entre las minas. La profundidad máxima corresponde a las labores sobre los filones Principal y Sur, con unos 700m.

3.- Paragénesis

La paragénesis del yacimiento de San Quintín es bastante compleja y engloba varias fases mineralizadoras, todas ellas típicamente hidrotermales, de temperaturas intermedias a bajas.

Fase precoz: con pirita, parcial o totalmente reemplazada por marcasita y calcopirita, cuarzo, pirrotina y siderita.

Fase argentífera, con cobres grises bournonita, boulangerita y pirita.

Fase BPGC o Principal, con galena (que es el mineral principal en el yacimiento), ankerita, calcopirita y pirita.

Fase tardía inicial, con esfalerita (bastante abundante), pirita, calcopirita, cuarzo, marcasita y ankerita.

Fase tardía póstuma, con pirita, barita, calcita y cuarzo.

II.- TRABAJO REALIZADO

Se llevó a cabo en tres fases. En la primera se recopiló información de interés sobre la zona. La segunda fase consistió en el trabajo de campo, donde se tomaron datos de pH y temperatura y se recogieron muestras de agua. En la tercera fase de laboratorio se determinó el contenido en metales, determinando también pH y conductividad.

II.a.- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE INTERÉS SOBRE LA ZONA.

II.a.1.- Lavadero de flotación

Desde el año 1973 y hasta el año 1985 se trataron 1.263.656Tm, con leyes medias de 1,56% Pb, 0,94% Zn y alrededor de 40gr de plata por tonelada.

II.a.2.- Prospección geoquímica

Los resultados obtenidos por la Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya en el año 1982 muestran valores altos en los elementos analizados (Cu, Pb y Zn) en los sedimentos de arroyos procedentes de la mina.

II.a.3.- Impacto ambiental

II.a.4.- Datos climatológicos

A falta de datos más exactos por no existir estación pluviométrica en San Quintín se recopilaron datos de localidades próximas a esta.

Se consiguieron datos de la precipitación del año 2001 pertenecientes a la Estación de Abenójar en el Centro Meteorológico Territorial en Madrid y Castilla – La Mancha y de las precipitaciones de los años 2001 y 2002 y años atrás en Almodóvar en el Centro de Capacitación Agraria de esta localidad.

II.a.5.- Otras informaciones

En la actualidad, las escombreras constituyen el mayor potencial de contaminación en esta zona.

En San Quintín Este se pudo observar grandes cantidades de alpechín que dan a las aguas de esta área un color negruzco.

II.b.- TRABAJO DE CAMPO.

Los días 29 de octubre y 13 y 14 de noviembre del año 2001 se tomaron datos y recogieron muestras, a fin de determinar si el agua contiene elementos contaminados por la minería histórica y escombreras. En los puntos donde se tomaron los datos se midieron las coordenadas geográficas con un GPS marca GARMIN, modelo eMap, y mediante el programa informático CAMGEO se pasaron a coordenadas U.T.M.

Posteriormente, 15 de marzo del 2002, se tomaron ocho muestras de agua para determinar en el laboratorio posibles diferencias en el pH con respecto a las mismas muestras anteriores pero tras un día de lluvia, midiéndose también la conductividad.

Finalmente, el 20 de mayo del 2002 se tomaron nuevas muestras de aguas procedentes de las escombreras de San Quintín Este y Oeste para su tratamiento con cal, caliza, carbón activado, cenizas volantes y limaduras de hierro.

II.b.1.- Toma de datos (pH del agua)

Se llevó a cabo en el primer periodo de trabajo de campo mediante un pHmetro portátil de la casa HANNA, con el que se realizaron 52 medidas in situ de pH y temperatura distribuidas por toda la zona, de las cuales 5 de las 11 realizadas el primer día se repitieron el segundo debido al tiempo transcurrido entre el primer y segundo día.

II.b.2.- Toma de muestras de agua

Durante el primer periodo de trabajo de campo se tomaron muestras de agua en charcos cerca de las escombreras y en arroyos, por medio de botes de plástico de 100 ml, para determinar el contenido en metales en el laboratorio.

II.b.3.- Información sobre las muestras

En este apartado se da una descripción y ubicación de las aguas donde se han tomado los datos.

II.c.- TRABAJO DE LABORATORIO.

Este trabajo ha incluido:

II.c.1.- Análisis químico de mercurio

Se determinó el contenido de Hg total en las muestras mediante fluorescencia atómica con el sistema Millenium Merlin de PS Analytical.

II.c.2.- Análisis químicos de otros metales pesados

El instrumental empleado fue un espectrómetro de emisión atómica marca VARIAN, modelo Liberty Series de la Facultad de Ciencias Químicas de Ciudad Real, que permitió análisis rápidos de As, Cd, Cu, Pb y Zn secuencialmente.

II.c.3.- Determinación de pH y conductividad en laboratorio

Para los análisis se utilizó un pHmetro marca Crison modelo GLP 21 y un conductímetro Crison microCM 2201.

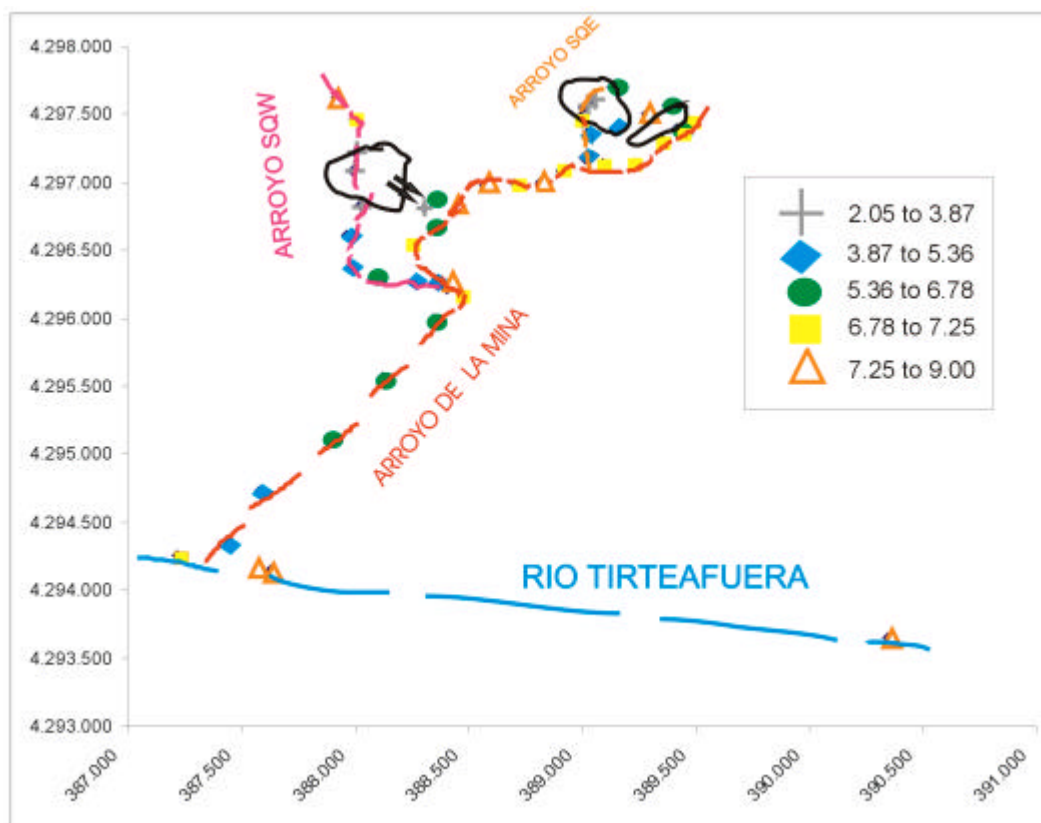
III.- RESULTADOS OBTENIDOS

III.a.- CLIMATOLOGÍA.

Los meses de octubre y noviembre (meses de trabajo del año 2001) presentan una pluviometría alta-media respecto a la media. En cuanto al primer semestre del año 2002 marzo es el mes más lluvioso, desviándose de la media, aunque el conjunto de estos seis meses presentan una pluviometría media-baja respecto a la media.

III.b.- RESULTADOS DE pH.

El mapa de la figura muestra la distribución areal de los valores obtenidos para este parámetro.



Arroyo y zona de San Quintín Este:

En San Quintín Este destacan las aguas de la zona de escombreras de mina por su carácter fuertemente ácido, con pH entre 2.2-3.44. A medida que nos alejamos de este núcleo, pero sin salir de la zona de escombreras, las aguas aumentan su pH sin dejar de ser ácidas, registrándose valores de 4.6 y 5.7. No obstante las aguas procedentes de un vertido de alpechines presentan un pH de 7.1, valor que disminuye al mezclarse con las aguas ácidas. Al Este de las escombreras de mina hay unas escombreras de finos cuyas aguas del drenaje de éstas presentan un valor de pH de 6.5.

Arroyo de San Quintín Oeste:

Aguas arriba de las escombreras de San Quintín Oeste no se detecta presencia ácida, se midieron valores de pH de 6.83 y 8.03. En el área de escombreras el pH desciende hasta valores problemáticos (2.49 y 2.56) y presenta valores de carácter ácido a débilmente ácido aguas abajo (valores en torno a 4.62).

Arroyo de la Mina:

Este arroyo a su paso por San Quintín Este presenta valores aceptables alrededor de 7.1, y es después de que el arroyo de San Quintín Oeste desemboque en el Arroyo de la Mina cuando se aprecian los valores ácidos (los valores de pH oscilan entre 5.20 y 6.05).

Río Tirteafuera:

En el Río Tirteafuera no se detectan valores que indiquen una contaminación ácida que pueda relacionarse con el efecto de la mina San Quintín (pH próximo a 7.35).

III.c.- RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS.

Las muestras para los análisis fueron recogidas de:

SQ-4: Aguas de las escombreras de San Quintín Este.

SQ-15: Aguas abajo del anterior, proceden de un vertido de alpechín.

SQ-35: Arroyo de San Quintín Oeste (SQW), cerca de la desembocadura en el Arroyo de la Mina.

SQ-41: Arroyo de SQW aguas arriba del anterior, cerca de las escombreras.

SQ-46: Charcón del centro de la escombrera de San Quintín Oeste.

SQ-51: Arroyo de la Mina cerca de la desembocadura en el Río Tirteafuera.

| | pH | Hg (ppb) | As (ppm) | Cd (ppm) | Cu (ppm) | Pb (ppm) | Zn (ppm) |
|--------------|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| SQ-4 | 2.2 | 65,764488 | < l. d. | 24,049 | 70,103 | 1,0127 | 1.554,8 |
| SQ-15 | 7.1 | No datos | < l. d. | 0,55178 | 2,1858 | 41,326 | 110,88 |
| SQ-35 | 5.28 | 1,537364 | < l. d. | 1,3150 | 0,72494 | 4,1035 | 217,05 |
| SQ-41 | 3.61 | 27,362186 | < l. d. | 2,5651 | 2,0465 | 3,0966 | 388,69 |
| SQ-46 | 2.49 | 87,47089 | < l. d. | 30,942 | 50,589 | 1,3793 | 1.550,6 |
| SQ-51 | 5.20 | 0 | < l. d. | 1,2303 | 0,39920 | 3,9590 | 185,30 |

Los valores más altos en metales pesados se encontraron en muestras de agua procedentes de las escombreras (pH más bajos), a excepción del Pb que presenta mayor concentración en muestras con pH más altos; y los valores más

bajos se obtuvieron en muestras de agua de zonas más alejadas de las escombreras (a mayor distancia menor concentración en metales).

III.d.- RESULTADOS DE pH Y CONDUCTIVIDAD.

Corresponden a los análisis realizados en el laboratorio sobre las muestras tomadas en el Río Tirteafuera cerca de la carretera de Almodóvar-Cabzarados (SQ-1), en la charca al lado del camino de San Quintín Este (SQ-2), de las aguas de las escombreras de San Quintín Este (SQ-4), de las aguas mezcladas con alpechines (SQ-16), del Arroyo de la Mina cerca del cruce de la carretera de Almodóvar y Villamayor (SQ-25), del charcón de las escombreras de San Quintín Oeste (SQ-46), y del arroyo de San Quintín Oeste aguas abajo y arriba de las escombreras (SQ-41 y SQ-42).

| | pH (campo) | pH (laboratorio) | Conductividad (mS/cm) |
|--------------|------------|------------------|-----------------------|
| SQ-1 | 7.35 | 7.49 | 5.10 |
| SQ-2 | 4.6 | 4.70 | 15.53 |
| SQ-4 | 2.2 | 2.35 | 58.1 |
| SQ-16 | 4.60 | 5.08 | 35.4 |
| SQ-25 | 7.08 | 7.44 | 7.33 |
| SQ-41 | 3.61 | 5.27 | 12.80 |
| SQ-42 | 6.83 | 7.03 | 9.39 |
| SQ-46 | 2.49 | 6.45 | 11.12 |

Con el agua de lluvia las muestras no han sufrido una variación significativa en cuanto al pH, a excepción de las aguas de mayor acidez de San Quintín Oeste que han aumentado.

Los valores más bajos de conductividad los presentan las muestras recogidas en el Río Tirteafuera y en el Arroyo de la Mina, les siguen las muestras tomadas en San Quintín Oeste, y las de San Quintín Este con los valores más altos. Estos resultados revelan indicios de contaminación especialmente en la zona de escombreras de San Quintín Este y proximidades.

Comparando los valores de pH y conductividad, se aprecia que generalmente las aguas más ácidas presentan mayor conductividad y por tanto mayor contenido en sales.

VI.- BIBLIOGRAFÍA

- Pablo L. Higuera. Asignatura medio ambiente.
- Palero, F.J. (1991). Evolución geotectónica y yacimientos minerales de la región del Valle de Alcudia (sector meridional de la Zona Centro Ibérica). *Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca*. 827 pg.
- José Luis Crespo, Abril 1976. Área del grupo San Quintín (C. Real). Estudio geológico.
- José Luis Crespo, Diciembre de 1981. La importancia de las Minas de San Quintín (C. Real).
- Miguel Ángel Carrazoni García, Diciembre 1982. Informe geológico del permiso de investigación de Almodóvar.
- Documentación interna de la Sociedad Minera Metalúrgica Peñarroya-España. Delegación de Industria (sección minas).
- Francisco Quiros, Gregorio Planchuelo. El paisaje geográfico. Valle de Alcudia, Campo de Calatrava y Campo de Montiel.

- Edmundo de Toro. Depuración de líquidos en minería I.
- Rafael Fernández Rubio, Sergio Fernández, Jorge Esteban Arlegui. Abandono de minas. Impacto hidrológico. Cátedra hidrogeológica 1986. Instituto geológico y minero de España. E.T.S. de Ingenieros de minas.
- Maturana, H. (1999). Barreras Geoquímicas. Apuntes curso Gestión Ambiental Minera. Ciudad Real, marzo de 1999.
- Hidropres. Tecnología y gestión del agua. Octubre 2001.