

Geoquímica Ambiental en San Quintín

R. Oyarzun, J. Fernández Barrenechea, J.M. Esbrí, P. Higuera, J. Lillo, A. Martínez Coronado, J.A. López García y S. López Andrés

Dado el nivel de abandono de las instalaciones y residuos mineros, el Grupo Minero de San Quintín posee un extraordinario valor didáctico para el entrenamiento de alumnos que cursan asignaturas de carácter ambiental. Estos alumnos diseñan y desarrollan campañas de muestreo geoquímico (suelos y sedimentos de arroyo), realizan mediciones de pH y Eh en las aguas de los arroyos cercanos, miden mercurio gaseoso en aire, y estudian la mineralogía de los residuos mineros. Cabe destacar que estos trabajos son una iniciativa conjunta de profesores de las universidades de Castilla-La Mancha (EUP Almadén), Complutense (CC Geológicas) y Rey Juan Carlos (ESCET), que ha funcionado de manera constante, informal y desinteresada desde hace ya más de una década.



Alumnos de la Facultad de CC Geológicas (UCM) en San Quintín

El área afectada por las actividades minero-metalúrgicas ocupa una superficie de unas 65 ha. Los principales impactos ambientales que se derivaran de la actividad minera son del tipo:

- **Visual:** escombreras y balsas no restauradas.
- **Químico-mineralógico:** dispersión de metales pesados, drenaje ácido de mina, formación de costras sulfatadas, emisiones de mercurio gaseoso.



Escombrera de rocas estériles (izquierda) y antigua balsa de residuos de concentración por gravedad (derecha): San Quintín Este

Bajo el punto de vista de los actuales impactos ambientales, San Quintín presenta diversos elementos que a su vez se corresponden con distintas épocas de la explotación minera. Entre estos destacamos:

- Del **período antiguo** (1888 - 1923) quedan numerosas escombreras de roca estéril, principalmente pizarras, cuyo riesgo ambiental es bajo, y que aportan tan solo un impacto visual poco llamativo. Junto con las escombreras están las llamadas balsas, constituidas por residuos de concentración de minerales por gravedad. Estas últimas

constituyen un caso aparte y presentan un peligro ambiental importante por metales pesados (Pb, Zn), que no obstante se encuentra básicamente restringido al ámbito de San Quintín. Estas balsas no solo contienen elevadas concentraciones de Pb y Zn sino que además son fuente de drenaje ácido de mina. La empresa a cargo de los trabajos mineros en aquella época y la posterior fue la Sociedad Minero-Metalúrgica de Peñarroya (SMMPE).



Emisión de drenaje ácido de mina a partir de una balsa en San Quintín Este

- Del **período moderno** queda la gran balsa (*relave*) de San Quintín Este, cuando entre los años 1973 y 1988, la SMMPE llevó a cabo el relavado de las antiguas balsas, habiéndose procesado unos 3 millones de toneladas con altos contenidos en zinc, metal sin apenas interés en la época de la explotación principal.



Arriba, vistas parciales de la gran balsa moderna en San Quintín Este. Abajo, la antigua balsa de San Quintín Oeste.

- Del mismo período queda también una escombrera de minerales de mercurio. Como es fácil de imaginar, nada tienen que ver estos minerales con la mineralogía de San Quintín, sino que se relacionan con un torpe intento de concentrar cinabrio (HgS) (proveniente del Distrito Minero de Almadén) por flotación. La escombrera, aunque de reducidas dimensiones, genera dos efectos. Por una parte la neoformación de un sulfato de mercurio, schuetteita: $\text{Hg}_3^{2+}[\text{O}_2\text{SO}_4]$. Por otra parte, los minerales de la escombrera emiten mercurio gaseoso en elevadas concentraciones ($> 1000 \text{ ng Hg m}^3$).



Escombrera de minerales de mercurio en San Quintín Este (izquierda) y neoformación de schuetteita (mineral amarillo)

Las diferencias principales entre balsas antiguas y modernas en San Quintín están marcadas en el sitio por los colores y estructuras. Así, mientras las antiguas presentan colores amarillentos y marrones, y una cierta estratificación, las modernas son grises y se asemejan más a una duna de playa. La granulometría también es diferente, siendo más gruesa e irregular en las antiguas y más fina (tamaño arena) en las modernas.

San Quintín: metodologías de campo y laboratorio

San Quintín ha servido a lo largo de los años como sitio de entrenamiento para evaluaciones ambientales de sitios mineros. Se han beneficiado particularmente de estos trabajos alumnos de las asignaturas (Facultad de CC Geológicas, UCM) de **Geología Minera y Minería Ambiental** (5º Curso de la Licenciatura en Ciencias Geológicas) y de **Métodos de Campo en Minería Ambiental** (Máster en Geología Ambiental y Recursos Geológicos, Facultad de CC Geológicas, UCM). Los primeros suelen dividirse en grupos de 5 o 6 alumnos que realizan una labor específica, por ejemplo: 1) tomar muestras de suelo o de sedimentos de arroyo para su posterior análisis químico por metales pesados; 2) Estudiar la distribución de mercurio gaseoso; o 3) estudiar las características mineralógicas de las balsas. Con los alumnos del Máster el trabajo es más complejo, ya que deben realizar una campaña geoquímica de mayor extensión para la recogida de muestras de suelos o sedimentos, para su ulterior estudio mediante Fluorescencia y Difracción de Rayos X (FRX y DRX), así como elaborar un completo informe sobre el grupo minero.



Posicionamiento en el campo mediante GPS y localización mediante MapSource®. Los GPSs son cargados con la base TOPO España®, a la escala 1: 25.000.

El análisis geoquímico de campo se realiza mediante el uso de un equipo OXFORD XMET3000-TX® de la Escuela de Minas de Almadén (UCLM), utilizando un programa de calibración para muestras con matriz similar, y asegurando la calidad de los análisis mediante muestras duplicadas y materiales de referencia certificados. La técnica de Fluorescencia de Rayos X se puede considerar ideal para este tipo de muestras geológicas, ya que ofrece resultados de alta fiabilidad, en un tiempo muy razonable y sin necesidad de pretratamiento de la muestra.



Estudio de la concentración de metales pesados en San Quintín mediante el uso de la "pistola" OXFORD XMET3000-TX®

Posteriormente en la Facultad de CC Geológicas de la UCM las muestras son preparadas para su estudio mediante Difracción de Rayos X (DRX) en el Departamento de Cristalografía y Mineralogía. El procedimiento estándar que se sigue con estas muestras es el siguiente (García Romero y Luque del Villar, 2010). Las muestras secadas a 50°C durante un mínimo de 24 horas. Una vez seca la muestra se procede a una disgregación o molienda de la misma. Posteriormente, se procede a su estudio mediante DRX. El polvo total permite conocer la mineralogía global de la muestra. Para el estudio específico de minerales del grupo de las arcillas se realizan Agregados Orientados (AO) en los que las reflexiones basales se refuerzan. Para estos estudios se utiliza un difractor de Rayos X Siemens Kristalloflex 810®.



Difractor de Rayos X Siemens Kristalloflex 810®

Resultados geoquímicos y mineralógicos

Los análisis llevados a cabo durante dos campañas sistemáticas en el área de San Quintín en Abril de 2009 y 2010 (Asignatura de Máster: Métodos de Campo en Minería Ambiental) revelan sorprendentes resultados en cuanto a las concentraciones de metales pesados. Destacan entre estas las de plomo y zinc (Azañón Fernández-Trejo et al., 2009; Cachafeiro et al., 2010; Chicharro Alvarez et al., 2010). El plomo en los suelos de San Quintín Este varía entre 410 y 121000 ppm., mientras que el zinc en el mismo sector varía entre 320 y 80300.

Por muy ineficientes que pudieran haber sido las antiguas técnicas de concentración por gravedad, 121000 ppm de Pb (= 12,1% Pb) constituye un valor que solo puede ser entendido si algún concentrado de plomo se mezcló con los residuos de las balsas antiguas, a los que se asocian las mayores concentraciones. Sin embargo, la moderna balsa de San Quintín también presenta altísimos valores de zinc (6280-50820 ppm Zn) (Azañón Fernández-Trejo et al., 2009), metal que “supuestamente” se intentaba flotar para generar un concentrado. Por su parte los suelos agrícolas que se localizan entre la carretera y San Quintín Este tampoco escapan a la tendencia hacia valores muy altos, presentando concentraciones de hasta 1980 ppm de plomo y 3400 de zinc (Azañón Fernández-Trejo et al., 2009).



Aun si dejamos de lado los valores asociados a los materiales de las balsas (*tecnosoles*), las últimas concentraciones contrastan fuertemente con las medias de estos elementos en suelos mundiales (Callender, 2004): 30 ppm Pb y 66 ppm Zn. Utilizamos aquí el termino *tecnosol* en el sentido de Rossiter (2005), es decir, se trata de suelos recientes de origen artificial, como las balsas, donde sin embargo se han desarrollado comunidades de plantas silvestres.



Plantas creciendo sobre materiales de la balsa moderna

Bajo un punto de vista ambiental la situación de San Quintín Este es solo comparable a la de zonas extremadamente contaminadas por metales pesados, como es el caso del distrito minero de Pb-Zn de Mazarrón (Murcia), donde se han determinado medias de Pb y Zn en tecnosoles del orden de 12400 y 6100 ppm respectivamente (Oyarzun et al., 2010a).



Posición de los puntos (banderas azules) del muestreo de suelos de Abril de 2009 (San Quintín Este)

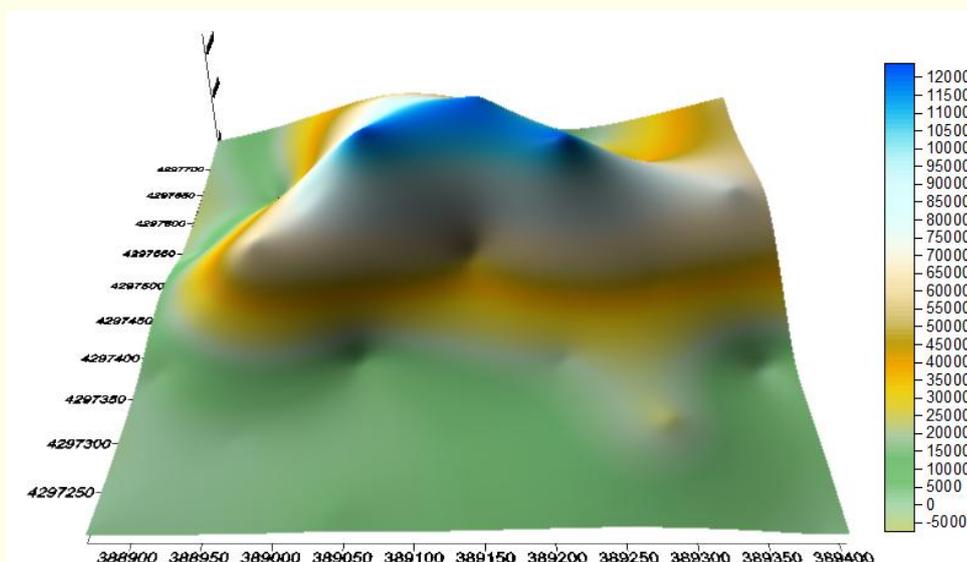


Imagen Surfer 8® que muestra la distribución espacial de las concentraciones de Pb en suelos referidas a la malla de muestreo de la figura superior. Escala: Pb en ppm. X-Y: Coordenadas UTM.

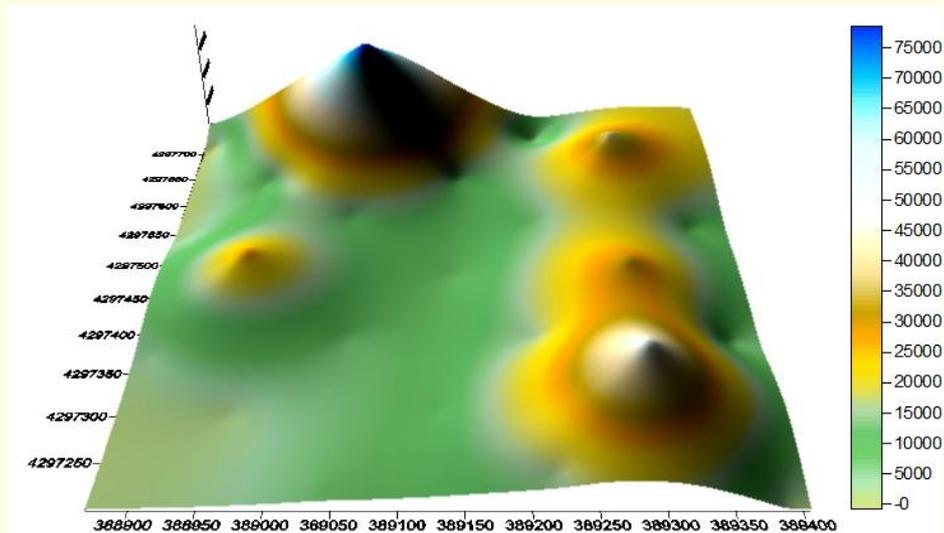
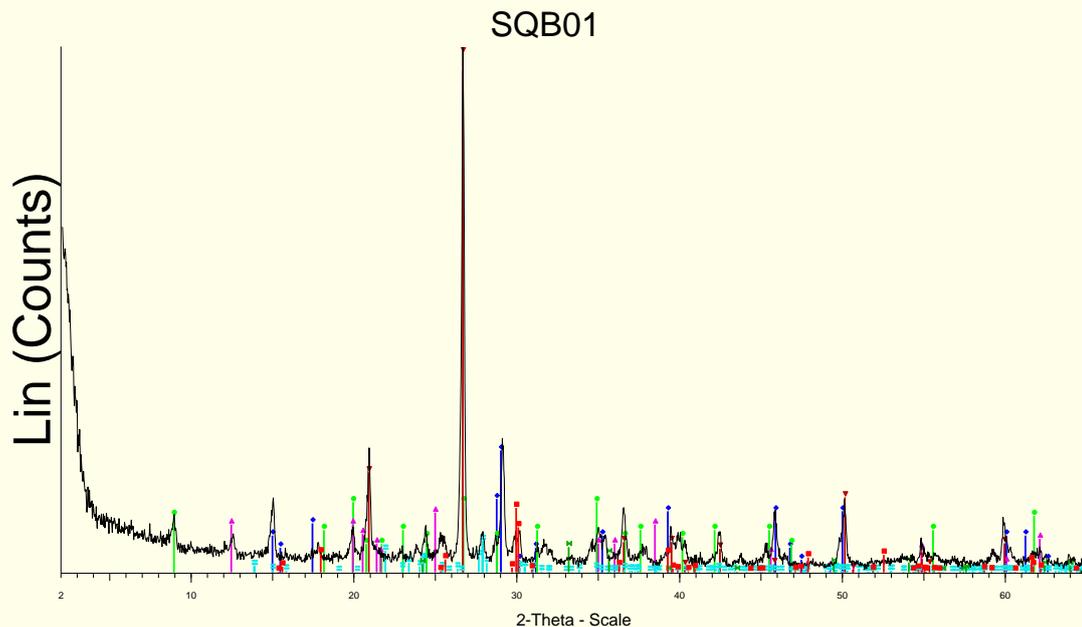


Imagen Surfer 8® que muestra la distribución espacial de las concentraciones de Zn en suelos. Escala: Zn en ppm. X-Y: Coordenadas UTM.

La mineralogía de los materiales de las balsas y suelos asociados está dominada por la presencia de goethita, hematites, jarosita y yeso, con abundante presencia además de cuarzo, illita, clorita y caolinita (Azañón Fernández-Trejo et al., 2009).

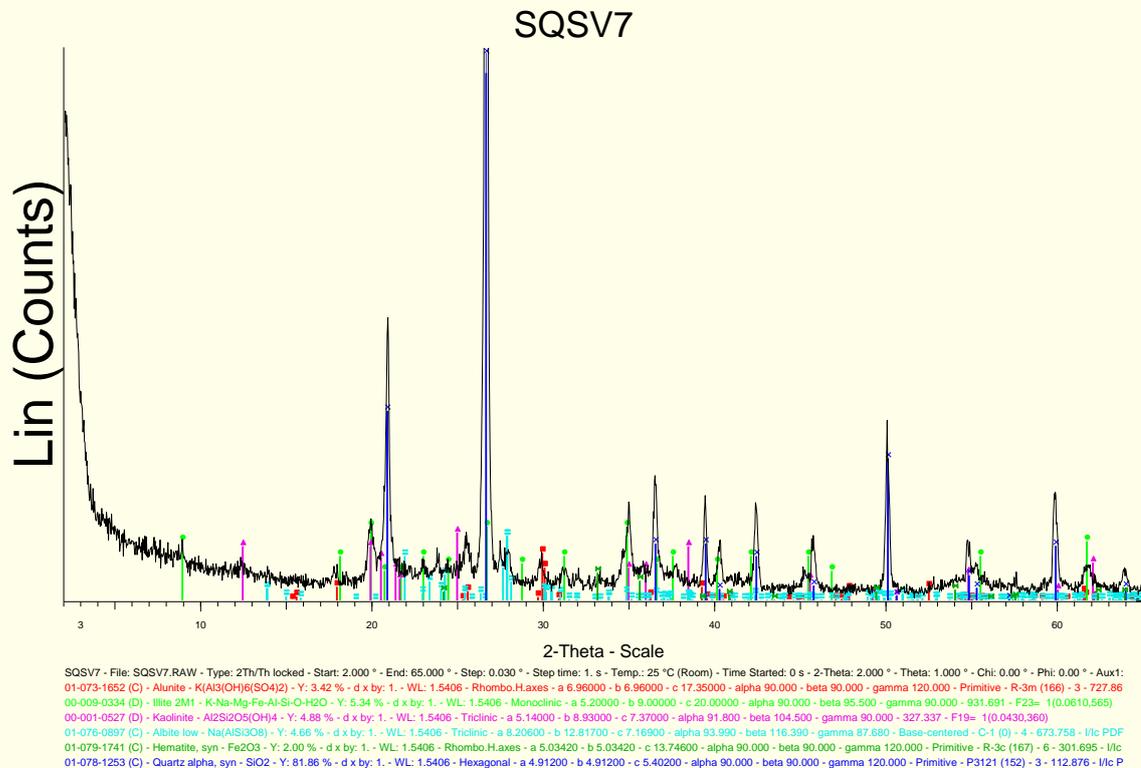


SQB01 - File: SQB01.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.030 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - Aux1: 01-073-1652 (C) - Alunite - K(Al3(OH)6(SO4)2) - Y: 12.25 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 6.96000 - b 6.96000 - c 17.35000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3m (166) - 3 - 727.8 00-010-0443 (D) - Jarosite - KFe3(SO4)2(OH)6 - Y: 23.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 7.29000 - b 7.29000 - c 17.22000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3m (160) - 3 - 792.5 00-009-0334 (D) - Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al(Si-C-H2O) - Y: 13.31 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.20000 - b 9.00000 - c 20.00000 - alpha 90.000 - beta 95.500 - gamma 90.000 - 931.691 - F2= 1(0.0610,565) 00-001-0527 (D) - Kaolinite - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 11.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.800 - beta 104.500 - gamma 90.000 - 327.537 - F1= 1(0.0430,360) 01-078-1253 (C) - Quartz alpha, syn - SiO2 - Y: 113.49 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91200 - b 4.91200 - c 5.40200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 112.876 - I/c 01-076-0897 (C) - Albite low - Na(AlSi3O8) - Y: 5.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.20600 - b 12.81700 - c 7.16900 - alpha 93.990 - beta 116.390 - gamma 87.680 - Base-centered - C-1 (0) - 4 - 673.758 - I/c PDF 01-079-1741 (C) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 4.74 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03420 - b 5.03420 - c 13.74600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.695 - I/c

La mineralogía de los materiales de las balsas (tecnosoles) en San Quintín Oeste está constituida principalmente por cuarzo, jarosita, alunita, caolinita, hematites, illita, y albita. Diagrama de Difracción de Rayos X, Departamento de Cristalografía y Mineralogía (UCM).

La situación geoquímica en San Quintín Oeste no difiere substancialmente de la observada al Este. Ahí los suelos del entorno de las balsas presentan concentraciones de Pb y Zn en rangos del siguiente orden, 3400-29000 y 2800-13900 ppm respectivamente. Por su parte, los suelos destinados a uso agrícola/ganadero están en rangos más bajos, en el orden de

140-750 y 70-420 ppm respectivamente (Alvarez Cachafeiro et al., 2010). La mineralogía de estos materiales es equivalente a la de San Quintín Este aunque además se determinó la presencia de sulfatos de zinc en las costras salinas formadas en las balsas (Alvarez Cachafeiro et al., 2010).



Las muestras de suelos próximos a las balsas en San Quintín Oeste presentan una asociación mineralógica constituida por cuarzo, alunita, caolinita, hematites, illita, y albita. Diagrama de Difracción de Rayos X, Departamento de Cristalografía y Mineralogía (UCM).

En lo que respecta a las aguas y la geoquímica de sedimentos de arroyo, el rasgo más destacable lo constituye el llamado Arroyo de las Mina, que limita la balsa moderna por el Este. Durante la época de lluvias a este arroyo confluyen aguas ácidas provenientes de las antiguas balsas de San Quintín Este. Su color suele ser de un conspicuo color anaranjado.



Colector de drenaje en una antigua balsa de San Quintín Este y Arroyo de la Mina arrastrando sedimentos ricos en hidróxidos de hierro. Las imágenes corresponden a Abril de 2009 y 2010 respectivamente

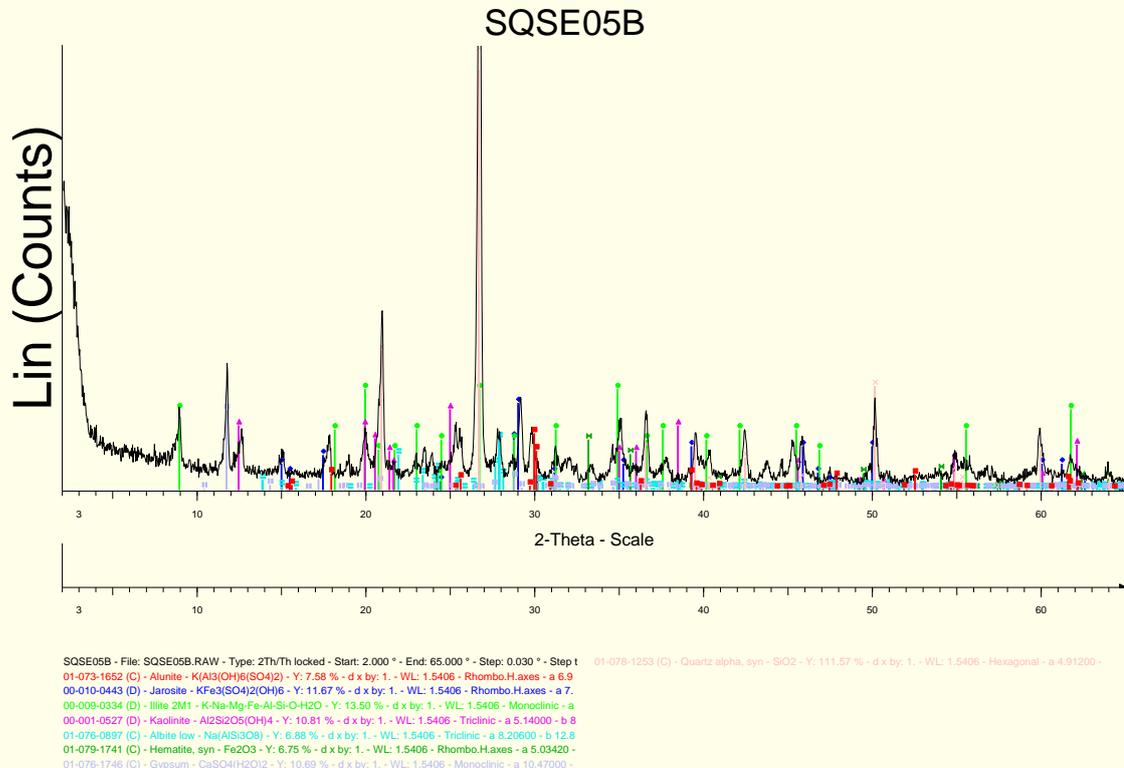
Estas aguas presentan unos valores de pH de alrededor de 3,2 en el sector anterior al Arroyo de la Mina, en la zona de las antiguas balsas, subiendo paulatinamente a 6,5 a medida que las aguas ácidas del colector se entremezclan con las provenientes del arroyo (16.04.10) (Pereira et al., 2010). Los sedimentos activos presentan concentraciones de Pb y Zn en el rango de 300-4800 y 500-2400 ppm respectivamente (Pereira et al., 2010).

Cruzando la carretera hacia San Quintín Oeste, las aguas se mantienen entorno a un pH de 6,5 (05.04.2010) mientras que las concentraciones de plomo y zinc en sedimentos permanecen altas, debido a la influencia de las balsas del sector: 340-6150 ppm Pb y 830-6150 ppm Zn (Chicharro Alvarez et al., 2010). Todos estos valores superan con creces las medias mundiales para plomo y zinc en sedimentos fluviales: 51 ± 28 ppm Pb y 132 ± 67 ppm Zn (Callender, 2004).

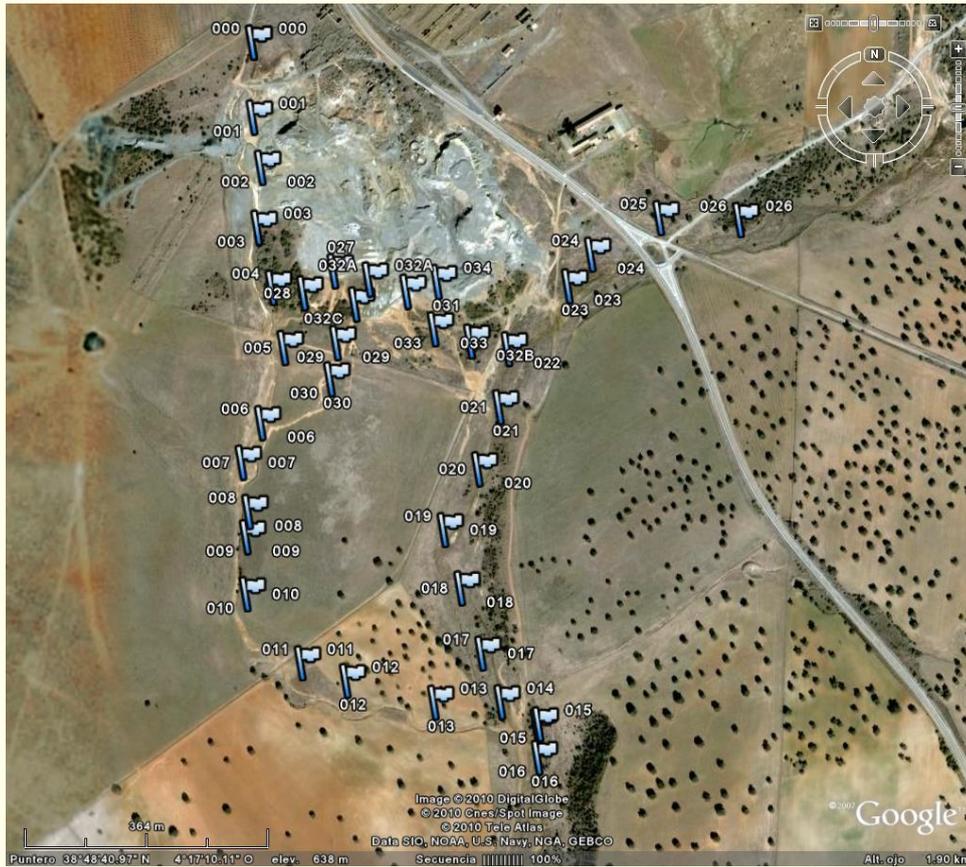
Estos sedimentos presentan una mineralogía dominada por la presencia de cuarzo, albita, illita, alunita y jarosita, a los que habría que agregar óxidos de hierro en las cercanías del colector de drenaje ácido (Chicharro Alvarez et al., 2010; Pereira et al., 2010).



A la izquierda, curso estacional de aguas en el sector NW de San Quintín Oeste, a la derecha, toma de muestras y mediciones durante la campaña de Abril de 2010 en San Quintín Oeste (Arroyo de la Mina).



En algunos de los sedimentos muestreados en los arroyos próximos a las balsas de San Quintín Oeste se observa una asociación mineralógica constituida por cuarzo, yeso, jarosita, alunita, caolinita, hematites, illita, albita, e indicios de clorita. Diagrama de Difracción de Rayos X, Departamento de Cristalografía y Mineralogía (UCM).



Posición de los puntos (banderas azules) del muestreo de sedimentos de arroyo de Abril de 2009 (San Quintín Oeste)

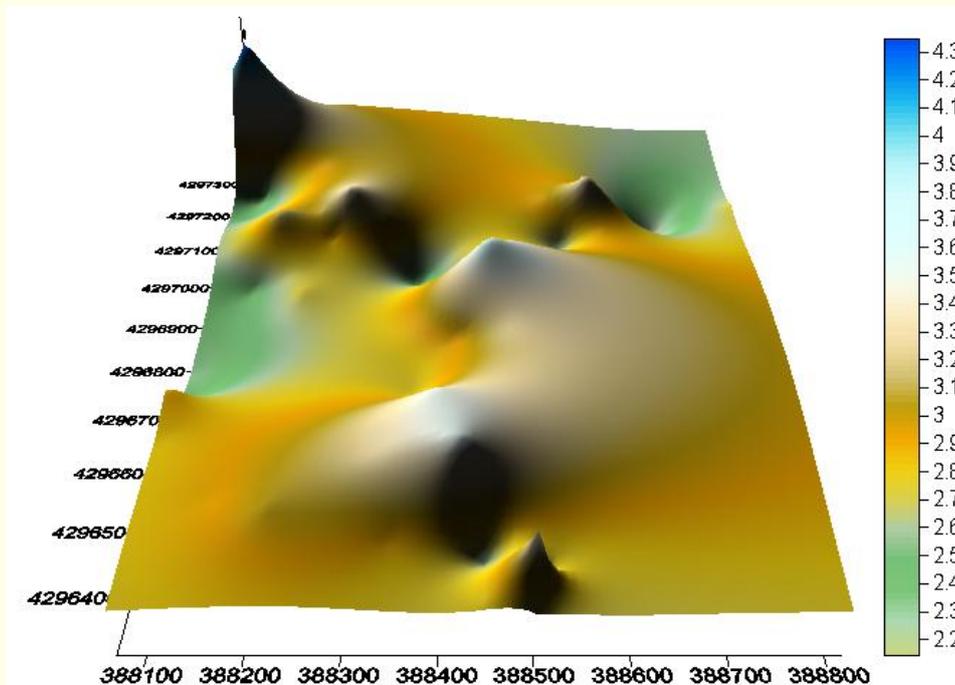


Imagen Surfer 8® que muestra la distribución espacial de las concentraciones de Pb en sedimentos referidas a la malla de muestreo de la figura anterior. Escala: Pb en log ppm. i.e., 1 = 10, 2 = 100 ppm, 3 = 1000 ppm, 4 = 10.000 ppm. X-Y: Coordenadas UTM.

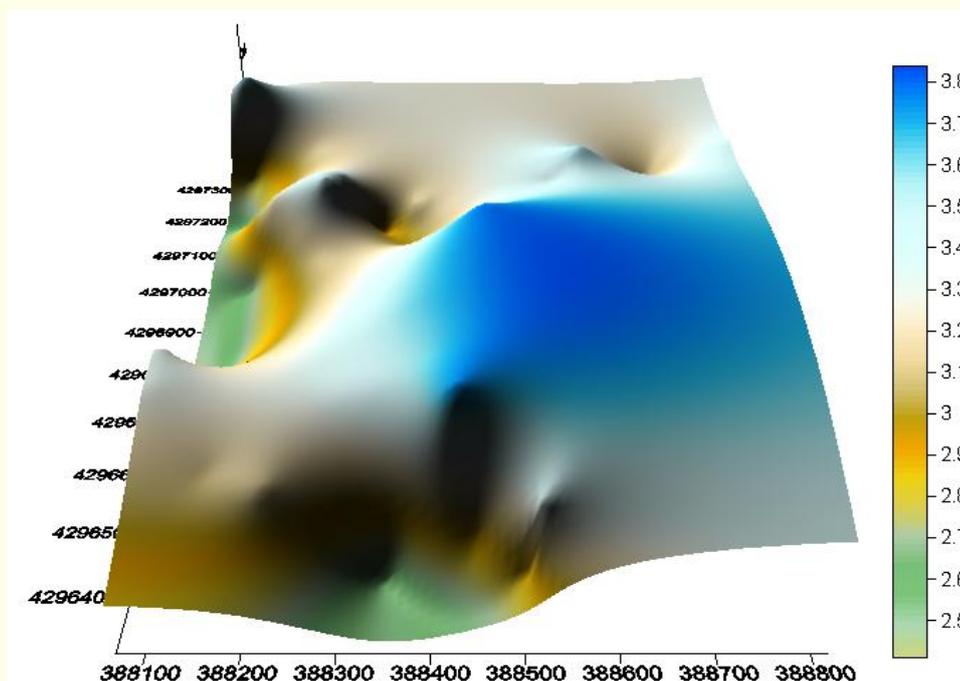


Imagen Surfer 8® que muestra la distribución espacial de las concentraciones de Zn en sedimentos. Escala: Zn en log ppm. i.e., 1 = 10, 2 = 100 ppm, 3 = 1000 ppm. X-Y: Coordenadas UTM.

El Grupo Minero San Quintín: razones para su elección como laboratorio natural y sitio de entrenamiento

Los problemas ambientales originados por explotaciones mineras antiguas constituyen en la actualidad un importante campo de actuación de los profesionales de la Geología y Biología. Los estudiantes de estas áreas de conocimiento han de tener una formación adecuada para incorporarse a las empresas que trabajan en estos ámbitos.

Aunque los aspectos más paisajísticos de los problemas ambientales suelen llamar más la atención de la opinión pública (impactos visuales), existen otros, de fondo, que imprescindiblemente deben ser tratados. Nos referimos a la migración de metales y compuestos químicos en el ciclo exógeno. Estos procesos son interactivos, y tienen lugar en la atmósfera, hidrosfera, y suelos. Uno de los principales peligros ambientales a que se enfrenta la sociedad viene dado por la extrema toxicidad de los llamados metales pesados, ya sean de origen natural o antrópico.

En este sentido, muchos países, España entre estos, registran una historia minera y metalúrgica que se extiende de manera importante en el tiempo. Décadas, incluso siglos de minería, han dejado un legado a veces oculto de escombreras de mineral y otros residuos de origen minero, que constituyen de facto potenciales bombas químicas. La carga mineral que no se explotó en su momento está sometida a procesos químicos naturales (oxidación, hidrólisis) que actúan sobre dichos minerales, contribuyendo a su disolución y por lo tanto a la liberación de metales pesados. Los metales puestos en solución pasan directamente a los suelos, pueden alcanzar por infiltración a las aguas subterráneas, o continuar a través de los cursos fluviales, ampliándose considerablemente el área afectada y los riesgos potenciales para el medioambiente y la salud humana.

Aunque el número de localidades severamente afectadas por la minería en España es grande, pocos lugares son lo suficientemente didácticos como para que el alumno pueda apreciar de manera rápida y directa los diversos impactos derivados de la minería en un área relativamente pequeña. En este sentido, el Grupo Minero San Quintín constituye un excepcional laboratorio de campo donde el alumno se transforma en protagonista de la acción. Como se ha podido ver en este capítulo, en San Quintín existen tres circunstancias que lo transforman en un sitio ideal para la docencia:

1. Su tamaño: San Quintín Este = 1 x 0,7 km; San Quintín Oeste = 0,5 x 0.3 km.
2. A pesar de estas escasas dimensiones, en San Quintín hay de todo bajo un punto de vista minero-ambiental: drenaje ácido de mina, arroyos, sedimentos y suelos fuertemente contaminados por metales pesados, minerales de mercurio abandonados en una escombrera, elevados niveles de mercurio gaseoso cerca de esa escombrera, balsas ricas en metales pesados, edificios en estado de ruina, y así, un largo etc.
3. Y por último, aunque no por esto menos importante, San Quintín tiene un fácil y directo acceso por carretera (CM-4110).

Para saber más:

- Alvarez Cachafeiro, V., Martínez Pérez, V. y Reyes Ferreiro, I. 2010. Estudio de la contaminación de suelos en la mina de San Quintín (Ciudad Real). Informe Interno, Métodos de Campo en Minería Ambiental, Departamento de Cristalografía y Mineralogía, UCM; 33 pp.
- Azañón Fernández-Trejo, L., Martínez Coronado, A. y Martos Villa, R. 2009. Informe de geoquímica y mineralogía ambiental. Grupo Minero San Quintín. Informe Interno, Métodos de Campo en Minería Ambiental, Departamento de Cristalografía y Mineralogía, UCM; 28 pp.
- Callender, E. 2004. Heavy metals in the environment—Historical trends. En: Lollar, B.S. (ed.) Treatise on Geochemistry, vol. 9., Elsevier, Amsterdam, p. 67-105.
- Chicharro Alvarez, E., del Barrio Andrés, F.G. y Pérez Fortes, A.P. 2010. Informe de contaminación ambiental en el entorno de las balsas del Grupo Minero de San Quintín Oeste (Ciudad Real). Informe Interno, Métodos de Campo en Minería Ambiental, Departamento de Cristalografía y Mineralogía, UCM; 43 pp.
- García Romero, E. y Luque del Villar, J. 2010. Técnica de preparación de muestras arcillosas para su estudio mediante difracción de Rayos X. http://www.ucm.es/info/crismine/preparacion_muestras_Rayos_X.htm.
- Oyarzun, R., Lillo, J., López-García, J.A., Esbrí, J.M., Cubas, P., Llanos, W. e Higuera, P. 2010a. The Mazarrón Pb–(Ag)–Zn mining district (SE Spain) as a source of heavy metal contamination in a semiarid realm: Geochemical data from mine wastes, soils, and stream sediments. *Journal of Geochemical Exploration*, doi:10.1016/j.gexplo. 2010.04.009.
- Oyarzun, R., Higuera, P., Lillo, J., Oyarzún, J. y Maturana, H. 2010b. Investigando temas minero-ambientales en el norte de Chile: Más allá de los megaproyectos, la investigación formateada y la retórica ambientalista. *Tierra y Tecnología. En prensa*.
- Pereira, I., Sanz Hernández J., López Sánchez, I. y Pereira, S. 2010. Estudio del impacto minero en San Quintín: balsas, aguas, arroyos y suelos. Informe Interno, Geología Minera y Minería Ambiental, Departamento de Cristalografía y Mineralogía, UCM; 34 pp.
- Rossiter, D.G. 2005. Proposal for a new reference group for the World Reference Base for Soil Resources (WRB): the Technosols. <http://www.itc.nl/~rossiter/research/suitma/UrbWRB2006v2.pdf>.

Volver al Documento Principal