

Problemática ambiental que generan las explotaciones mineras

Esperanza MARTÍNEZ-CONDE, José Vicente ROVIRA y M.^a José MARQUÉS

RESUMEN

Se valoró la perturbación producida por la mina Troya, que obtenía Zn y Pb de un yacimiento de sulfuros polimetálicos. Identificamos los focos de la contaminación y su alcance en los cauces fluviales. Seleccionamos el pH, como indicador de lixiviación, y los cianuros libres, para atestiguar la salida de contaminantes desde la balsa de estériles. Se midieron las concentraciones de los metales explotados y de algunos acompañantes en la mineralización cuya puesta en circulación es drástica para la biota.

La zona más impactada corresponde a la cuenca con la planta de tratamiento y los residuos. Apreciamos una falta de estanqueidad en la balsa, una fuerte lixiviación de las escombreras y unas concentraciones de metales pesados elevadas que representan un riesgo potencial permanente. El problema se magnificará cuando las aguas inunden el criadero. Se reflexiona acerca de la necesidad de establecer criterios ecológicos previos para este tipo de explotaciones.

PALABRAS CLAVE: Cianuros, cinc, contaminación, lixiviación, metales pesados, Mina Troya, minería metálica, perturbación, plomo.

ABSTRACT

The disturbance produced by the Troya Mine, centered on extraction of zinc and lead of a polymetallic sulphide ore was valued. The focuses of contamination and their reach in the rivers were identified. We selected the pH as

an indicator of lixiviation, and the cyanides in order to attest the flow of pollutants from the tailings pond. They were measured the concentrations of the exploited metals and some associate in the mineralization whose mobilization is drastic to living beings.

The most affected zone corresponds to the basin located next to the mine mill and the tailings. We appreciated a lacking in isolation of the tailings pond, a strong acid drainage from the spoil heaps and high concentration of heavy metals, it presents an implicit permanent risk. The problem will be magnified when the water wells up in the abandoned adits. The necessity of establishing ecological previous criterions for this type of exploitations has been considered.

KEY WORDS: Contamination, cyanides, heavy metals, lead, lixiviation, metallic mines, perturbation, «Troya» Mine, zinc.

RÉSUMÉ

On a considéré la perturbation produite par la mine «Troya». Cette exploitation obtenait Zn et Pb d'un gisement de sulfures polymétalliques. La dispersion de la contamination et ses sources furent identifiées. On effectua des analyses de pH pour constater l'existence de lixiviation. La détermination des cyanures libres fût employée pour vérifier la fuite de polluants du réservoir des déchets miniers. On mesura les concentrations des métaux exploités et de quelques uns de ses accompagnants au cours de la minéralisation et qui sont dangereux pour la biote.

La zone la plus perturbée est le bassin où se trouvent les installations et le stock des résidus. On démontre que le réservoir n'est pas étanche et qu'il existe une forte lixiviation des matériaux provenant de l'excavation. Les fortes concentrations des métaux supposent un risque potentiel permanent. La graveté du problème se magnifiera lorsque les eaux inonderont les galeries souterraines. On devrait réfléchir sur le besoin d'établir a priori des critères écologiques pour ce type d'exploitations.

MOTS CLÉS: Contamination, cyanures, lixiviation, métaux lourds, mine métallique, Mine «Troya», perturbation, plomb, zinc.

INTRODUCCIÓN

Abordar el estudio del impacto generado por una explotación minera exige un conocimiento transdisciplinar que trasciende al propio de la composición

del criadero, la forma de explotación, el rendimiento de los metales a extraer y de los puestos de trabajo mientras dure la explotación. Existe un coste ambiental que debiera valorarse en primer lugar.

La agresión al medio comienza con la prospección, le siguen las instalaciones: oficinas, plantas de tratamiento, almacenaje de los concentrados, explotaciones adicionales, canteras, aperturas de bocas de mina, etc. Todo ello lleva consigo modificaciones de la cubierta vegetal, pérdidas de vegetación, cambios en la morfología del paisaje, alteraciones del suelo, que pueden afectar a varios Km². Pero las grandes heridas en la corteza terrestre, tanto en las explotaciones abiertas como subterráneas, se multiplican con la gran movilización de tierra y agua para obtener los concentrados de los metales explotados. A la extracción, preparación y transporte hay que añadir el coste energético de todo el proceso. Los residuos generados, junto a los reactivos utilizados en el proceso metalúrgico, adquieren proporciones gigantescas frente a los concentrados obtenidos y necesitan aislamiento e inmovilización. La cicatrización es lenta, a veces decenas de años, y la dispersión de los contaminantes, sobre todo a través de los ecosistemas acuáticos adyacentes, puede alcanzar grandes dimensiones.

El estudio de la mina Troya, que aquí nos ocupa, representa una primera aproximación a la problemática. Se trataba de valorar la situación en cuanto a la perturbación producida por una explotación que comenzó en 1986 y estaba en fase de cierre (1992-1993).

Es una explotación subterránea —Explotación Minera Internacional España, S.A.— descubierta en 1973. Pertenece a los términos de Mutiloa, Cerain, y Gaviria (Guipúzcoa). Forma parte del llamado Arco Vasco, conjunto geológico que se extiende desde Cantabria hasta el Mediterráneo. El yacimiento está formado por sulfuros polimetálicos, y la mineralización es esencialmente de marcasita y pirita con esfalerita, blenda, galena, calcopirita y arseniopirita. La obtención de metales se centró en cinc y plomo, despreciando compuestos mayoritarios como la pirita (que fue a engrosar los estériles) y otros minerales que siendo minoritarios contienen metales (Ni, Cd, Cr, etc) en menor proporción (ESNAOLA y MARTÍN, 1975; MANERA, 1987).

Las reservas originales del yacimiento fueron evaluadas a finales de 1987 en 3.700.000 t, con 0,9 % de Pb y 11.2 % de Zn. El ritmo de la explotación inicial era próximo a las 300.000 t anuales (FERNÁNDEZ *et al.*, 1992).

Parte de la mineralización se encuentra en caliza y calizas dolomíticas que constituyen uno de los acuíferos de la zona. Para su explotación se deprimió el nivel del agua. Al cesar las actividades el agua irá recuperando su nivel. El ámbito de las operaciones se sitúa entre las cotas 250-500 m.s.n.m.

El objeto de este estudio consistió en la identificación de los focos de contaminación para hacer un seguimiento de la evolución del proceso, una vez fi-

nalizada la explotación. Para tratar de interpretar el origen y el alcance de la contaminación en los ríos Mutiloa y Estanda, así como en el arroyo Gezala, se seleccionaron los siguientes de parámetros:

1. El pH, como posible indicador de la liberación de metales a expensas de la lixiviación de los minerales de las escombreras;
2. Los cianuros (libres) ya que se utilizaban como reactivos reguladores en el proceso de floculación en la planta de tratamiento; su presencia en los sistemas acuáticos nos indicaría la salida de contaminantes desde la balsa de estériles a los sistemas acuáticos adyacentes;
3. Los metales objeto de la explotación (Zn y Pb) y los más comunes entre aquellos que los acompañan en la mineralización para evidenciar el grado de contaminación y su dispersión.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo hace referencia al período entre junio de 1992 y junio de 1993. El área de estudio quedó limitada a unos 3 Km², por ser la zona más afectada (Figura 1) y comprendió: i) el arroyo Gezala, como receptor de la contaminación producida por la escombrera procedente de la boca norte de la mina, la aportada por la balsa de estériles a través del aliviadero, y el posible drenaje de la mina (fotografía 1); ii) la balsa de estériles (fotografía 1); iii) el río Mutiloa, en cuya cabecera está la boca sur de la mina y donde se depositaron en su día a la intemperie materiales procedentes de la excavación (fotografía 2); y iv) el río Estanda a unos 3 Km de su nacimiento, tras haber recibido las aguas del arroyo Gezala.

Como la zona está muy mineralizada, para delimitar la contaminación de fondo, se tomó un punto control 2 Km aguas arriba, en el río Estanda, fuera de toda influencia de la explotación.

Previo barrido mediante espectrometría de plasma (ICP) de los diferentes metales presentes en las muestras, se seleccionaron Zn y Pb por ser los metales objeto de explotación, Fe y Mn como mayoritarios, Cu, Cr y Cd como acompañantes en la mineralización y cuya puesta en circulación es drástica para la biota.

En la columna de agua se determinaron *in situ*, pH y cianuros libres, utilizando un pHmetro portátil FE 257 EDT instruments, con corrección automática de temperatura, y los cianuros por el método piridina-pirazolona aprobado por la USEPA (EPSTEIN, 1947) mediante un espectrofotómetro HACH DR/2000 (Walters, 1989).

La determinación de los metales en agua se llevó a cabo según los procedimientos descritos por IWD (1981).

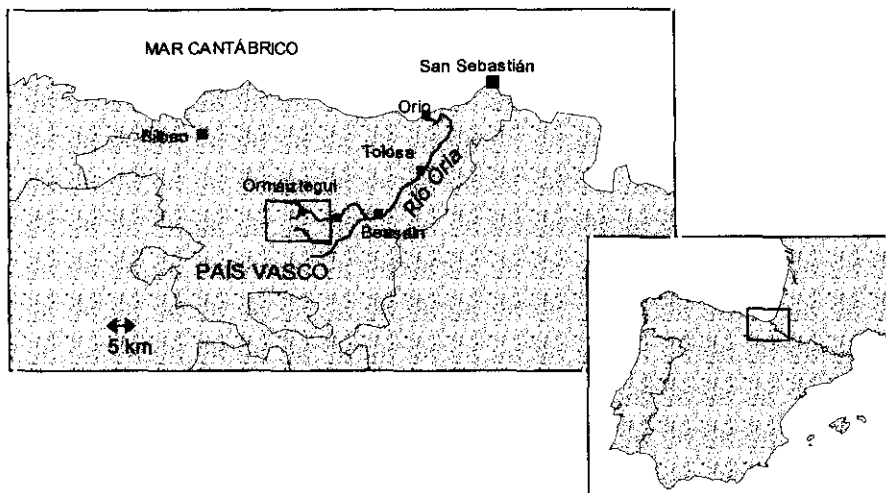
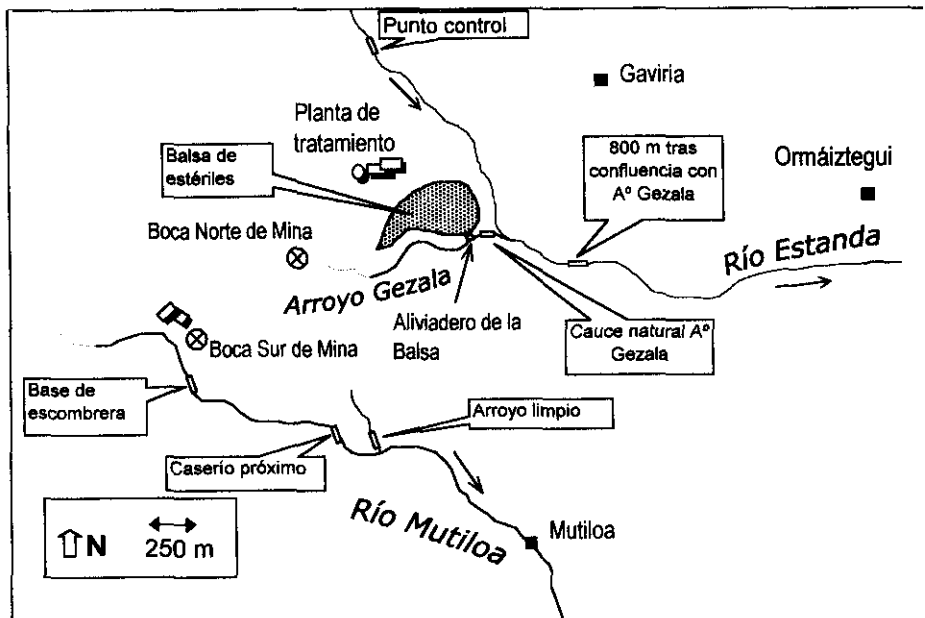
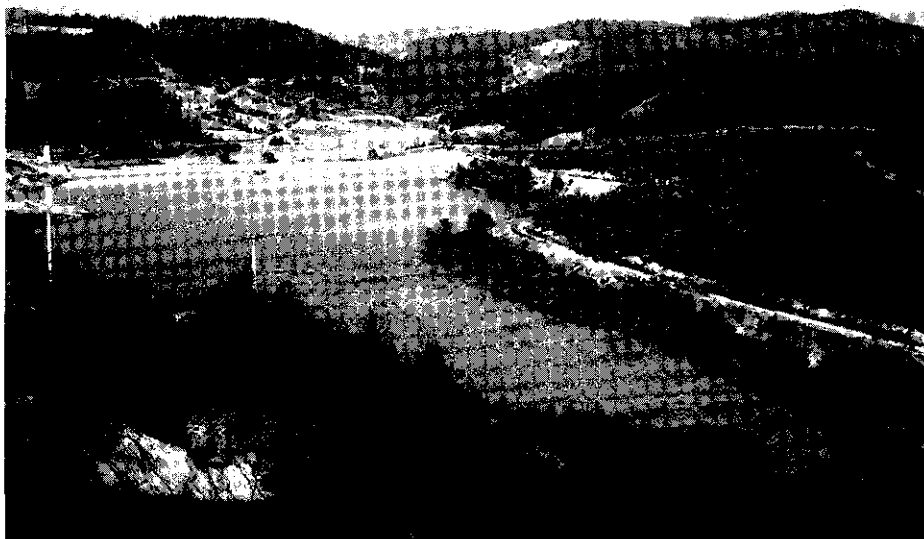


Figura 1.-Ubicación y descripción de las instalaciones en superficie de la Mina Troya. Esquema de los puntos de muestreo en la explotación y en los ríos afectados. Están representados los núcleos urbanos más importantes.



Fotografía 1.-Panorámica de la balsa de estériles tomada por los autores desde el NO del centro de la balsa, a mitad de camino entre la planta de tratamiento y la boca norte de la mina. Se puede apreciar la cola de la balsa colmatada por los estériles y el canal perimetral, actual cauce artificial de arroyo Gezala. Al fondo el valle fluvial del río Estanda.

Los sedimentos fueron liofilizados y tamizados, analizando la fracción inferior a 177 μ m, tras una digestión suave (IWD, 1981), que extrae los metales susceptibles de ser asimilados por los organismos (AGEMIAN & CHAU, 1976 y 1977). La valoración se llevó a cabo por espectrometría de absorción atómica de llama. Se utilizó la cámara de grafito cuando fue necesario. Se realizaron los controles experimentales necesarios, con duplicados de muestras, controles positivos y negativos y cálculo de coeficientes de recuperación de los métodos empleados.

RESULTADOS

Los valores de pH encontrados en el río Mutiloa, inmediatamente por debajo de la escombrera (380 m.s.n.m.) oscilaron entre 5,5 y 5,8. Quinientos metros río abajo (365 m.s.n.m.) presentaba un rango de 5,80 a 6,86 indicando



Fotografía 2.—Boca sur de la mina en la cuenca del río Mutiloa, fotografiada por los autores desde el oeste. Aquí estaba situada la entrada principal a las galerías subterráneas, un taller y unas oficinas. Se pueden apreciar las marcas producidas por la lixiviación de los materiales de la escombrera que también fue usada como vertedero. Estas aguas contaminadas se escapaban sin control alguno hacia el Mutiloa.

cierta neutralización debido a la reserva alcalina de las aguas de la zona, con pHs de $8,02 \pm 0,21$ (punto control). La balsa de estériles fue mantenida artificialmente, durante la explotación, con pHs superiores a 8; los valores medidos variaron entre 8,4 y 8,7. En el sistema Gezala-Estanda (310-225 m.s.n.m.) los pHs también fueron de ese rango (8,4-8,7).

Se encontraron fuertes concentraciones de cianuros libres, que estaban uniformemente repartidos en la balsa de estériles (2 mg/l). A unos metros del aliviadero, en el canal artificial del Gezala 0,6 mg/l, y valores superiores a 1 mg/l en el cauce natural del mismo. El flujo de cianuros en el Estanda llegó hasta las proximidades del río Oria (0,23 mg/l) a 8 Km del foco, pasando por valores de 1 mg/l, a 1 Km.

En la figura 2 se representa la concentración de metales totales en el agua de los dos ríos estudiados, el Estanda y el Mutiloa. En la figura 3 los de sedimentos. La tabla 1 hace referencia a los metales (aguas y sedimentos) medidos en la balsa de estériles y en el arroyo Gezala.

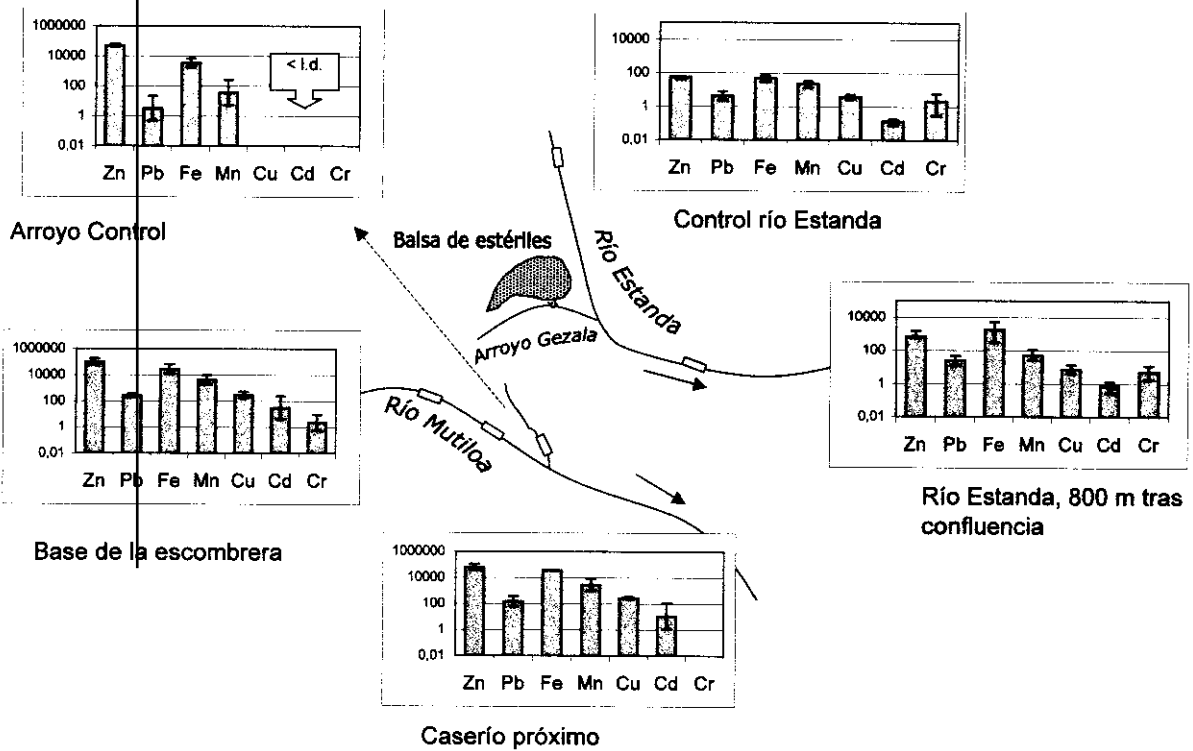


Figura 2.—Concentración total de los diferentes metales analizados en las aguas de los ríos afectados por la explotación y de los controles. Valores de la media geométrica e intervalos de confianza del 90%. Concentraciones expresadas como $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$.
 Nota: < i.d. significa inferior al límite de detección de $20 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Estos datos corresponden a muestras en las que no se pudo utilizar Cámara de Grafito.

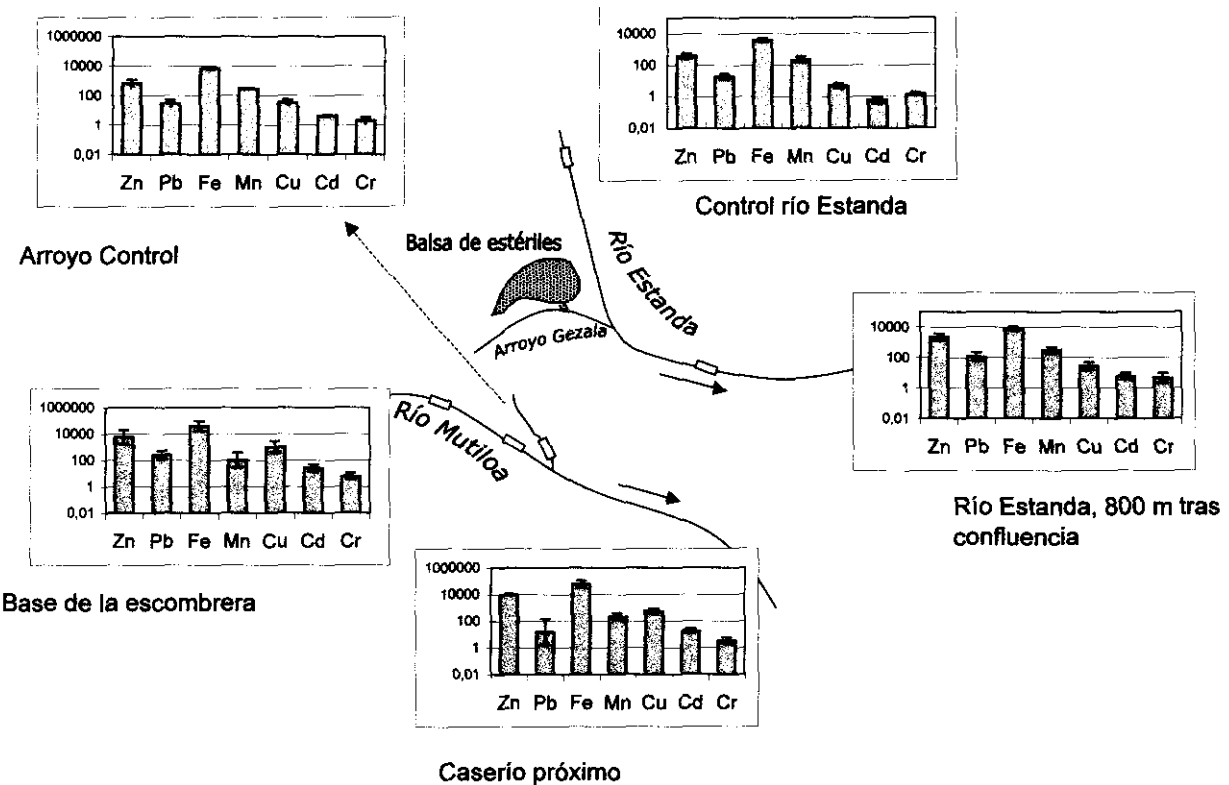


Figura 3.-Concentración de metales (fracción no residual) en los sedimentos de los ríos afectados y de los controles. Valores de la media geométrica e intervalos de confianza del 90%. Concentraciones expresadas como $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ y referidas al peso seco de la porción $<177\mu\text{m}$ del sedimento.

TABLA 1

Concentración total de metales en las aguas y los sedimentos (porción <177 (m) de la balsa de estériles y del cauce natural del arroyo Gezala. Intervalos del 90 % de confianza de la media geométrica. Los datos corresponden a la fracción total para el agua y a la no residual para los sedimentos.

Ubicación	Zn	Pb	Fe	Mn	Cu	Cd	Cr
SEDIMENTOS ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)							
A° Gezala	1837-3250	12,58-99	3620-7350	111-350	10,21-53,8	3,55-5,95	1,12-3,58
Balsa de estériles	1828-17953	74,04-22269	1840-41310	104-472	13,36-2002	0,6-36,22	0,75-7,29
AGUA ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)							
A° Gezala	810-7370	27,9-88,4	300-11210	40,7-362	5,2-48	0,43-6,3	1,5-13,4
Balsa de estériles	5430-14060	32,2-271	610-1950	270-1364	12,5-55	16,6-66	12,3-56

Se aportan los datos de la zona alta del río Estanda, que por su situación no está afectada por las instalaciones mineras, y supone un control a nuestro estudio. Representa el fondo regional de metales. Ningún metal sobrepasa la concentración de 100 mg por litro, y los rangos de variación son relativamente estrechos, lo que confirma la ausencia de intervenciones humanas.

Al recibir los efluentes de la mina todos los metales experimentan un fuerte incremento en el Estanda. Cromo, cobre y manganeso duplican aproximadamente sus concentraciones, mientras cadmio y plomo la multiplican por cinco. Los que más aumentan son el cinc que pasa de 56 mg/l de referencia a 720 y el hierro de 51 a 1880 mg/l.

El Zn tiene unas concentraciones muy similares en los estériles y en los sedimentos del río Mutiloa al pie de la boca sur, bajo la escombrera (5,7 y 5,8 mg/g respectivamente). Los valores llegan incluso a duplicarse río abajo en un caserío próximo. Estas elevadísimas concentraciones son consecuencia de la lixiviación que se estaba produciendo en los materiales de la escombrera.

Para cadmio, cromo y cobre las concentraciones alcanzadas en la base de la escombrera son las mayores de todo el sistema considerado. Especialmente las encontradas para el Cd son extremadamente peligrosas, dado que corresponden a una fase muy móvil y fácilmente bioasimilable (en sedimentos se analizó la fracción no residual). Únicamente el plomo se presenta en mucha

mayor concentración en la balsa de estériles que en río Mutiloa; donde va disminuyendo progresivamente su presencia aguas abajo.

El río Mutiloa sufre las consecuencias de la explotación en igual o mayor medida que el arroyo Gezala o el río Estanda, sobre todo en lo que se refiere a Fe, Zn y Cd.

En ambos sistemas fluviales considerados (Mutiloa y Estanda) se aprecia un incremento considerable de los metales presentes en los cauces naturales como consecuencia de la actividad minera. Se pueden apreciar estos incrementos en las figuras 2 y 3 al comparar los datos referentes a los controles con los de la zona afectada por la explotación.

CONSIDERACIONES GENERALES

La zona más impactada por la mina corresponde a la cuenca del arroyo Gezala. No sólo por los cambios geomorfológicos que ha sufrido, sino también porque en su pequeña cuenca alberga en la actualidad un stock de materiales de desecho que representa un volumen de 1.000.000 de metros cúbicos, contenidos por un dique de escollera que cierra su pequeño valle. Su composición y origen son muy heterogéneos: materiales finamente particulados procedentes de la ganga, reactivos utilizados en el tratamiento para la obtención de concentrados, parte de la mena no beneficiada y las piritas que en su día no fueron explotadas para la obtención de hierro (baja cotización en el mercado).

El cauce del arroyo Gezala fue desviado y conducido a través de un canal excavado en la ladera derecha y discurre paralelo a la balsa de estériles que se ubicó en su lecho.

La ladera izquierda presenta una fuerte pendiente, de un 60%. Al haber sido eliminado, en buena parte, el estrato arbóreo, los materiales flyshoides que la sustentaban, fácilmente erosionables, han provocado deslizamientos, convirtiéndola en una zona muy inestable. Los materiales que se deslicen incrementarán el volumen de la balsa. Esto se ve agravado porque la planta de tratamiento está situada en la cima y vierte a media ladera.

La canalización del Gezala no ha cumplido sus objetivos, el arroyo está fuertemente contaminado. La presencia de cianuros libres en el Gezala y en el Estanda evidencia la salida de contaminantes de la balsa a través del aliviadero. Sus concentraciones fueron altas aunque esporádicas, pero no son representativas. Hay que tener en cuenta que los cianuros existentes en la balsa pueden estar en diferentes formas, no susceptibles de ser valoradas como cianuros libres (ferrocianuros, ferricianuros, isocianatos, tiocianatos...), complejos de alta estabilidad que pueden concentrarse en los sedimentos y en las arcillas. El flujo como cianuros libres depende de la radiación ultravioleta, del

pH y de la temperatura, por lo que sería importante estimar en la balsa de estériles las posibles formas químicas existentes y su concentración, presumiblemente alta a tenor del cianuro cálcico utilizado. Este conjunto de sustancias, junto con los metales pesados, suponen un alto riesgo para la vida acuática.

La mayor acidez se encontró en la cabecera del río Mutiloa. Esto pone de manifiesto la fuerte lixiviación que sufren los materiales acumulados procedentes de la apertura de la boca sur. Se hubiera podido subsanar, en parte, si las escombreras no se hubieran abandonado al aire libre, haciendo de este río el más contaminado por metales pesados.

Los sulfuros no tienen porqué presentar problemas de contaminación antes de su explotación debido a su baja solubilidad y a la ausencia de oxígeno. El contacto con el aire produce ácido sulfúrico y con ello la solubilización de nuevos metales, que anteriormente permanecían inmovilizados. Estos procesos de oxidación/acidificación/disolución se dan en la mina, en las galerías, en el criadero, en las escombreras y en la balsa de estériles.

El río Estanda, como receptor directo de la explotación, incrementará su contenido en metales sobre todo cuando se inunde el criadero, y el drenaje ácido puede durar decenas de años.

Hay que poner de manifiesto que concentraciones tan elevadas de metales pesados, tanto en agua como en sedimentos, representan un riesgo potencial permanente. El extremado dinamismo de las especies químicas en el seno acuático, debido a procesos de oxidorreducción, acomplejamientos, etc, las hacen especialmente susceptibles de penetrar en la cadena trófica.

Se propusieron algunas medidas de emergencia para frenar la salida de contaminantes: i) reforzar el dique, incrementar la altura para evitar que rebose la balsa y aumentar su estabilidad, ii) recubrir la cola de balsa para evitar una dispersión eólica de los finos, y iii) inmovilizar y aislar las escombreras para evitar el drenaje ácido.

Todo ello nos lleva a reflexionar sobre la necesidad de establecer criterios ecológicos *a priori* que tienen mucho que ver con la destrucción del medio y la rentabilidad económica de la zona a largo plazo. Las aguas contaminadas y los suelos erosionados no son fáciles de recuperar y suponen un alto coste económico. Los puestos de trabajo son efímeros (un número variable de años dependiendo de la magnitud de la explotación) y el desarrollo futuro de la región tendrá que contar con estos déficits. El beneficio económico escapa hacia otros circuitos.

BIBLIOGRAFÍA

AGEMIAN, H. & CHAU, A.S.Y. (1976): «An evaluation of extraction techniques for metal analyses in aquatic sediments». *Analyst*, 101: 761-767.

- (1977): «A study of different analytical extraction methods for non-detrital heavy metals in aquatic sediments». *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 6: 69-82.
- EPSTEIN, J. (1947): *Anal. Chem.*: 19 (4): 272.
- ESNAOLA, J. M. y MARTÍN GARCÍA, L. (1975): *Mapa Geológico de España; E. 1:50.000. Vergara*. IGME. Madrid. Mapa+Mem. 22 pp.
- FERNÁNDEZ, J.; FANO, H.; OJEMBARRENA, L. y MARTÍN, S. (1992): *La mineralización de Pb-Zn de Mina Troya (Guipúzcoa)*. En: García Guinea y Martínez Frías J. (Eds.). *Recursos Minerales de España*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, pp 985-998.
- I.W.D.(1981): *Analytical Methods Manual (1979) and Analytical Methods Manual update (1981)*. Environment Canada. Water Quality Branch, Ontario.
- MANERA, A. (1987): «El Yacimiento Pirítico-Polimetálico, Mina Troya». *Boletín Geológico y Minero*, XCVIII-II: 177-189.
- WALTERS, G. L. (1989): *Water Analyses Handbook*, HACH, Loveland, Colorado, USA.

AGRADECIMIENTOS

Ha sido para nosotros muy estimulante poder contar con la ayuda en este trabajo, del Dr. D. Ignacio Elorrieta Pérez de Diego, por lo que le damos las gracias.

Este estudio fue realizado a petición del Gobierno Vasco (Consejería de Industria y Energía) para valorar las condiciones de la Mina Troya ante la proximidad del cierre de la explotación.