

Editada por el Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET Pinar del Río

Vol. 18, No.2 abril-junio, 2016

ARTÍCULO CORTO

Evolución ambiental en las áreas afectadas por la contaminación del yacimiento Santa Lucía, Pinar del Río

Evolution environmental in areas affected by Pollution, caused by Santa Lucia Mineral deposit, Pinar el Rio

Olga Klimchuk Nikolaevna¹, Elmidio Estévez Cruz² y Eusebio Hernández González³

¹Ingeniera Geóloga, profesora Asistente de la Empresa Geominera Pinar del Río. km 1 ½ carretera Santa Lucía, Minas de Matahambre, Pinar del Río, Cuba. Teléfono: 648169. Correo electrónico: olga@geopinar.gms.minem.cu

²Doctor en Ciencias Técnicas, profesor Titular de la Facultad de Geología y Mecánica, Universidad Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: estevez@upr.edu.cu

³Máster en Ciencias, profesor Auxiliar de la Empresa Geominera Pinar del Río. km 1 ½ carretera Santa Lucía, Minas de Matahambre, Pinar del Río, Cuba. Teléfono: 648169. Correo electrónico: eusebio.hernandez@emincar.cu

RESUMEN

La explotación del yacimiento Santa Lucía provocó afectaciones al medio ambiente, siendo una de las más severas la generación de drenaje ácido de minas, que contaminan los suelos, ríos, sedimentos y aguas marinas. Al cierre de la mina fueron propuestas varias medidas como: construcción de una presa dentro del área de la cantera, sellaje total del socavón, monitoreo de la calidad de las aguas, reforestación, etc. La mayoría de ellas fue aplicada parcialmente. El monitoreo sistemático de esta área y el estudio de la evolución de la contaminación resulta indispensable para proponer nuevas medidas que reduzcan el impacto y evaluar el resultado de las ya aplicadas. La investigación está dirigida a establecer la persistencia en el tiempo de la contaminación, a partir de la toma de muestras, los análisis de laboratorios y la comparación con los resultados de campañas anteriores. El área próxima al yacimiento, especialmente aquella por donde fluyen las aguas de la escorrentía superficial que provienen de la cantera, fue estudiada y se tomaron muestras de agua, suelos, sedimentos y efluentes de minas. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio para determinar las concentraciones de elementos potencialmente tóxicos y los resultados comparados con las normas vigentes. El estudio demostró que a pesar del tiempo transcurrido desde el cierre de la cantera y las medidas tomadas, aun se revelan concentraciones elevadas de metales pesados, muy por encima

de los límites permisibles. Finalmente se hace una propuesta de nuevas medidas encaminadas para minimizar el drenaje ácido de minas.

Palabras clave: Drenaje Ácido de la Mina, Metales pesados, Menas, Contaminación ambiental.

ABSTRACT

The exploitation of Santa Lucia mineral deposits has provoked several damages to the environment, one of the more severe is the generation of acid mine drainage, which pollutes the soils, rivers, sediments and sea waters. Once the operations ceased some remediation actions were proposed like: the dam construction inside the pit, the addit sealing, water quality monitor, reforestation, etc. The greater part of these measures was partially applied. The systematic monitor of the area and the study of the contamination evolution are crucial in order to propose new measures that reduce the environmental impact and to ascertain the effectiveness of the applied actions. The present investigation aimed at establishing the persistence in the time of the pollution, provoked by the exploitation, through sampling, laboratory analysis and the comparison with the results of previous campaigns. The areas close to the deposits, especially those through which the superficial waters flow from the open pit, were studied and samples from soil, sediments and mine effluents were taken. The samples were analyzed in the laboratory in order to determine the concentrations of potentially toxic element and the results compared with the valid environmental standards. The study demonstrated that in spite of the time lapsed from the closing of the pit and the taken actions, high concentrations of heavy metals, quite above the permissible limits, are still revealed. Finally, new actions, aimed at minimizing the acid mine drainage were proposed.

Key words: Acid mine drainage, Heavy metals, Ore, Environmental pollution.

INTRODUCCIÓN

La extracción de los recursos minerales genera grandes beneficios que, en algunos casos, ha supuesto el desarrollo industrial y social de su entorno. Asociado a la explotación de las menas beneficiables se genera una gran cantidad de residuos minero-metalúrgicos, derivados tanto del proceso extractivo, como del de transformación. Estos residuos suponen un impacto y riesgo para el medio ambiente (García, 2004).

En Cuba tenemos todo un grupo de yacimientos polimetálicos de diferentes génesis con altos contenidos de plomo y zinc, como lo son Santa Lucía y Castellanos clasificados por Kramer et al., 2006 como los más propensos a la generación de drenaje ácido (GAMMA, 2013). El yacimiento Santa Lucia se ubica a 2km al sur del pueblo Santa Lucia en el municipio Minas de Matahambre al noroeste de la provincia Pinar del Río. Este yacimiento ha sido destapado para la extracción de pirita rica en azufre, la cual se utilizó, durante muchos años, en el proceso de obtención del ácido sulfúrico en la planta Sulfometales. Sin embargo, hoy en día se encuentra drenando aguas contaminadas, generando el llamado

drenaje ácido de mina (DAM) hacia zonas cultivadas y afectando la vegetación de la llanura de inundación de los ríos que drenan de la cantera (*figura 1*).



Figura .1 Cultivos afectados por el drenaje ácido de la mina.

Teniendo en cuenta lo anteriormente señalado la presente investigación está dirigida a estudiar la evolución de la contaminación ambiental, valorar los resultados de las medidas aplicadas y proponer las nuevas acciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el estudio se realizó una campaña de muestreo de sedimentos, aguas y efluentes de mina, fueron recolectadas un total de 12 muestras. Los puntos de muestreo se seleccionaron considerando los lugares más proclives a la contaminación (zonas de aportes de elementos químicos contaminantes y la presencia de laboreos mineros antiguos), así como las zonas que fueron estudiadas en investigaciones anteriores, de modo que se pudieran contrastar los resultados de los análisis químicos en diferentes períodos de tiempo (1998, 2009, 2012).

Los análisis químicos de las muestras fueron realizados en el Laboratorio Central de Rocas y Minerales (LACEMI) y estuvieron dirigidos a determinar las concentraciones de los elementos químicos en sedimentos (Cu, Co, Cr, Ba, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Hg, As, Sr y Al); en aguas superficiales (Cu, Co, Cr, Ba, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Hg, As, Sr, K, Mg, Na) y en los efluentes de mina (Cu, Cd, Co, Cr, As, Hg, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn y pH). Las concentraciones de los metales se determinaron por ICP-AES. Las muestras del año 1998 también fueron analizadas en el mismo laboratorio, mientras que las del año 2009 se analizaron en Canadá y la Universidad Nacional Autónoma de México respectivamente. De igual modo, se midió la acidez (pH) en las aguas superficiales con el empleo del phmetro de clase digital, marca HANNA, modelo HI-8314, de manufactura Rumana, del año 2007, con rango 1-14.

Las aguas superficiales se analizaron para 21 elementos por ICP-AES, por Digestión con HNO_3 además de otros parámetros de su calidad como sólidos totales, cloruros, etc.

Al mismo tiempo se consultaron trabajos anteriores y se recopilaron los resultados de los análisis químicos para conformar una base de datos y poder comparar los resultados, valorando el comportamiento de las concentraciones de los elementos potencialmente tóxicos (EPT) en el de cursar del tiempo. En total fueron estudiadas 7 muestras de aguas superficiales, 8 de efluentes de minas y 8 de sedimentos.

Los resultados de los análisis químicos de las diferentes campañas fueron procesadas estadísticamente y comparadas con las normas vigentes (NC 27:2012 y NC 827:2012) con vista a determinar la presencia de contaminación ambiental. El procesamiento se realizó en Microsoft Excel y los mapas se obtuvieron a partir del empleo del sistema Surfer 11.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mayores afectaciones al medio de la Mina Santa Lucía las han ocasionado la apertura y explotación de las menas sulfurosas del flanco este del yacimiento, operación que se desarrolló en dos etapas: la primera en los años 80 y la segunda en los 90 para la obtención de pirita rica en azufre, la cual se autocombustiona al ponerse en contacto con el oxígeno.

La ubicación de las muestras tomadas para el estudio de la contaminación en los años 1998, 2009 y 2012 se representa en la *figura 2*.

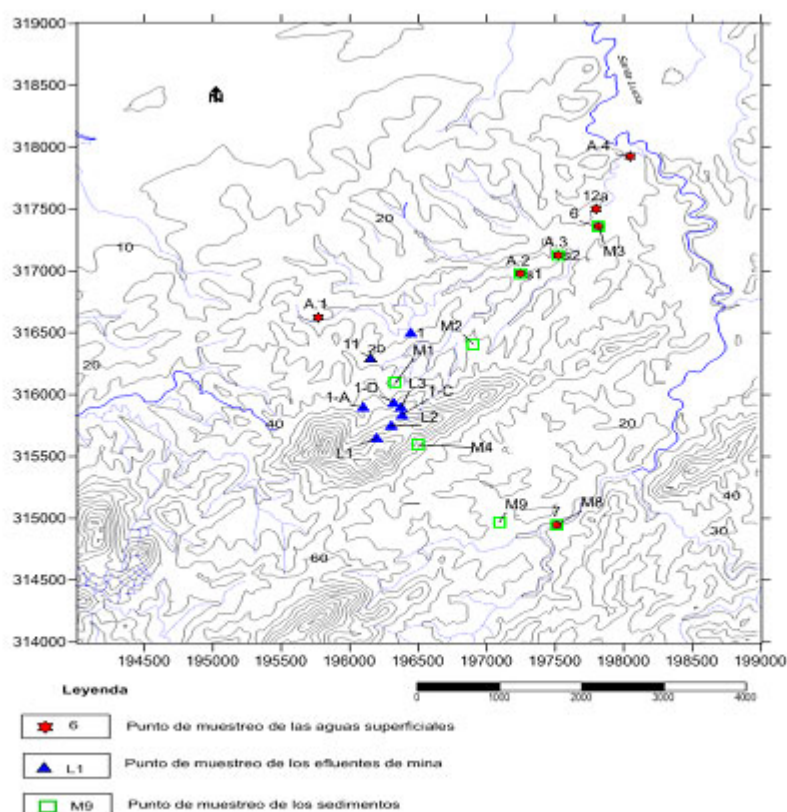


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo de las tres campañas (año 1998, 2009 y 2012).

La comparación de los resultados de los análisis químicos de las muestras de las aguas superficiales, efluentes de mina y sedimentos con las normas cubanas y la española en

caso de los sedimentos (NC 827:2012 Agua Potable-Requisitos Sanitarios, NC 27:2012 Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado-Especificaciones y Real Decreto 1310/1990 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España) demostró, que existen en la actualidad concentraciones elevadas de los elementos contaminantes en ellos y que estas son superiores a los límites máximos permisibles (LMP).

Los resultados de los análisis a las aguas superficiales de la última campaña (*tabla*) muestran concentraciones elevadas de Fe (16.4mg/l y 7.2 mg/l), Zn (181mg/l), Cu (2.20mg/l), Cd (0.7mg/l) y Cr (0.081mg/l), las cuales son superiores a los valores que establece la Norma Cubana NC 827:2012 "Agua potable-Requisitos sanitarios" y que no pueden superar de 0.30mg/l para el Fe, 5 mg/l para el Zn, 2.0mg/l para Cu, 0.005 mg/l para el Cd y 0.05mg/l para el Cr. También estas aguas contienen concentraciones elevadas de Al (126.6mg/l) y Mn (14.5mg/l) con el límite admisible de 0.2 mg/l y 0.1 mg/l respectivamente, así como SO_4^{-2} (1977mg/l) con LMA de 400mg/l y el pH de 2.3 en el Punto 6.

Tabla. Puntos de muestreo de las aguas superficiales, efluentes de la mina y sedimentos con las concentraciones de los elementos químicos superiores del LMP.

Año	Número de muestra	Tipo de muestra	pH	Elementos (mg/l)									
				Fe	Zn	Al	Mn	Cd	SO4	Pb	Cu	Cr	As
1998	12a	Aguas superficiales	2,8*	67*	227*	20,2*	14,25*	1,59*	1048*	0,34*	0,675	<0,02	-
1998	11	Efluentes de mina	2,5*	>3000	>4000*	1241*	>60	<0,005	-	<0,10	4,80	0,35	-
2009	A1	Aguas superficiales	2,6*	253*	165*	4,82*	21,3*	0,0656*	2589*	0,911*	0,028	-	-
2009	A2	Aguas superficiales	2,8*	9*	30*	15,4*	3,97*	0,11*	784*	1,18*	0,223	-	-
2009	A3	Aguas superficiales	2,5*	37*	30,9*	43,6*	4,54*	0,13*	1144*	4,27*	0,202	-	-
2009	A4	Aguas superficiales	6,4*	11*	0,3	0,03	3,59*	0,0003	34	0,017	0,019	-	-
2009	L1	Efluentes de mina	2,6*	4620	2090*	174*	90,7	1,23*	-	0,637	0,15	-	0,293
2009	L2	Efluentes de mina	2,7*	4330	1890*	151*	78,9	0,997*	-	0,328	0,095	-	0,191
2009	L3	Efluentes de mina	2,5*	264	585*	140*	48,1	1,53*	-	0,662	1,79	-	0,005
2009	s1	Sedimentos	-	10,96	0,08	-	-	-	-	0,21	75*	-	330
2009	s2	Sedimentos	-	13,45	0,07	-	-	-	-	0,66	87*	-	327
2012	6	Aguas superficiales	2,3*	16,4*	180,8*	126,6*	14,5*	0,7*	1977*	0,05	2,2*	0,081*	-
2012	7	Aguas superficiales	6,7	7,2*	0,2	0,43*	1,4*	0,004	<10	0,05	0,015	<0,020	-
2012	1	Efluentes de mina	2,7*	1,6	2545*	0,1	-	422,7*	-	-	0,3	28,29*	0,84*
2012	1-C	Efluentes de mina	2,2*	-	425,8*	143,1*	-	1,7*	-	3,32*	3,8	0,099	<0,001
2012	1-D	Efluentes de mina	2,1*	-	420*	119,8*	-	2,27*	-	3,02*	3,0	0,082	1,11*
2012	1-A	Efluentes de mina	2,1*	-	394,8*	21,6*	-	1,14*	-	0,3	1,5	0,028	<0,001
2012	M1	Sedimentos	-	4,0	2026*	0,74	99	11*	-	6495*	64*	11	310
2012	M2	Sedimentos	-	5,6	450*	0,44	38	4*	-	2852*	52*	8	494
2012	M3	Sedimentos	-	6,9	782*	1,31	44	6*	-	5589*	111*	17	370
2012	M4	Sedimentos	-	6,1	1152*	1,41	261	36*	-	2044*	397*	15	203
2012	M5	Sedimentos	-	2,0	122	0,55	155	2*	-	169*	55*	9	29
2012	M6	Sedimentos	-	7,6	300*	0,88	317	5*	-	736*	51*	17	143

Nota: 450* - elementos que superan el límite máximo permisible establecido por la norma.

En las muestras de las aguas superficiales de la campaña del año 1998, Klimchuk et al. (1999) apreciaron las altas concentraciones de Fe(66.6mg/l), Pb(0.3mg/l), Zn(227.2mg/l), Al(20.2mg/l), Mn(14.25), Cd(1.59mg/l), SO_4^{-2} (1048mg/l) y pH=2.8, las cuales superan los LMA de 0.30mg/l para el Fe, 0.05mg/l para el Pb, 5 mg/l para el Zn,

0.2 mg/l para el Al, 0.1 mg/l para el Mn, 0.005 mg/l para el Cd, 400mg/l para SO₄ y 6.5-8.5 de pH.

También en las muestras de la campaña del año 2009, Romero et al. (2010) en las aguas superficiales reveló concentraciones elevadas de varios elementos alcanzando el Fe 253mg/l, el Pb 4.27mg/l, el Zn 165mg/l, el Al 43.6mg/l, el Mn 21.3mg/l, el Cd 0.13mg/l, el SO₄ 2589mg/l.

Se observó una ligera disminución en el tiempo de las concentraciones de los elementos Fe y Pb.

En las muestras de los efluentes de la mina se revelaron contenidos elevados de varios metales alcanzando los siguientes valores: Pb=3.3mg/l, Zn=2545mg/l, Cd= 422.7mg/l, Cr=28.3mg/l y As=1.11mg/l con los límites máximos permisibles promedios (LMPP) según NC 27:2012 Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. Especificaciones de 1.0 mg/l, 5 mg/l, <0.3 mg/l, 2.0mg/l y <0.5mg/l respectivamente. El pH medido fue de 2.7 (pH permisible es de 6-9), lo cual indica la presencia de aguas ácidas, o drenaje ácido que lixivia los metales pesados de las menas y lo dispersa por las áreas circundantes.

En la campaña del año 1998 en los efluentes se destacan las concentraciones elevadas de Zn(>4000mg/l) y Al(1241mg/l) con sus respectivos LMPP de 5mg/l y <10mg/l y el pH de 2.5, así como en la campaña del año 2009 sobresalen los contenidos de Zn(2090mg/l), Al(174mg/l) y Cd(1.53mg/l), este último con su límite de <0.3mg/l y el pH de 2.5-2.7.

En las muestras de los sedimentos se destacan altos contenidos de Pb, Zn, Cu, y Cd establecidos sus concentraciones como valores límites de 50 mg/l, 150mg/l, 50mg/l y 1.0mg/l respectivamente en Real Decreto 1310/1990 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España.

Las principales asociaciones mineralógicas de elementos potencialmente tóxicos (EPT) en el Pasivo Minero (PAM) Santa Lucía son: pirita (Fe, S), esfalerita (Zn, S), galena (Pb, S), barita (Ba, S) y jarosita (Fe y/o Pb, SO₄²⁻) y se demostró, que en los sedimentos analizados que rodean al PAM, existe un pequeño aporte a la contaminación de EPT (Alonso et al., 2011).

Entre las muestras de los sedimentos se puede destacar la M-4 donde hay altas concentraciones de As, Cd, Cu, Pb y Zn de 203 g/t, 36 g/t, 397g/t, 2044g/t y 1152g/t respectivamente.

El arsénico está presente en todas las muestras, su promedio es de 258 g/t, alcanzando valores por encima de los 300 g/t en las muestras 1,2 y 3 siendo el valor más alto en la muestra 2 con 494 g/t. Se puede destacar que los altos contenidos de As corresponden con los valores elevados de Pb y Zn.

El plomo alcanzó el valor más alto en la muestra M-1 para un 6495 g/t, siendo el promedio para este elemento en todas las muestras de 2981 g/t.

En la muestra M-4, el cobre alcanzó los valores más altos para unos 397 g/t, y su promedio en todas las muestras es de 122 g/t.

Las concentraciones de los elementos analizados son similares a las obtenidas por Romero et al. (2010), lo que confirmó la permanencia de la contaminación del medio ambiente, generada por las menas sulfurosas que afloran en la cantera de Santa Lucía, a pesar del tiempo transcurrido desde el cierre de las operaciones y las medidas tomadas para enterrar, bajo material estéril, las menas que fueron destapadas durante la explotación.

Después de concluir los trabajos de explotación del yacimiento Santa Lucía, se elaboró un "Proyecto de Rehabilitación del Yacimiento Santa Lucía" por Gómez et al. (2002) y en el año 2010 se realizó una actualización del mismo (Millan et al., 2010). De las medidas concebidas fueron aplicadas solamente una parte de ellas, el resto no se ejecutó por los problemas de financiamiento y falta de equipamiento. Las principales medidas aplicadas se describen a continuación:

- continuar de cubrir la mena sulfurosa primaria de los niveles inferiores de la cantera con estéril extraído;
- monitoreo de la calidad de las aguas;
- reforestación de los depósitos de estéril, áreas aledañas a la planta de trituración y las áreas donde se ha afectado la capa vegetal.

Se cumple el monitoreo de la calidad de las aguas que se realiza semestralmente en los cuatro puntos propuestos por el proyecto. La medida de cubrir la mena sulfurosa primaria de los niveles inferiores de la cantera con estéril extraído fué cumplida aproximadamente al 40% por la no disponibilidad del equipamiento y la reforestación se realizó solamente en el Depósito IV.

El estudio realizado demuestra que a pesar de las acciones tomadas para reducir el impacto ambiental, la mina Santa Lucía continua generando el drenaje ácido y contaminando el medio ambiente. En este sentido es necesario actualizar el Proyecto de Rehabilitación, ejecutar la totalidad de las medidas propuestas y proponer otras que reduzcan definitivamente el problema existente.

Una de la medida aplicada en varios países con resultados positivos constituye la construcción de humedales artificiales. Esta consiste en hacer pasar los efluentes ácidos por un área húmeda semejante a un pantano artificial (constructed wetlands). Estos humedales artificiales son un sistema de bajo costo que busca reproducir condiciones naturales, o sea, los ambientes reductores típicos de los pantanos y ya son utilizados en escala industrial en diferentes minas en América del Norte, Sudáfrica y Australia (Sánchez, 1995).

Este método se puede incorporar para el tratamiento del DAM provocado por el yacimiento Santa Lucía.

CONCLUSIONES

- Los resultados de los análisis químicos reportan niveles elevados de concentraciones de elementos potencialmente tóxicos en sedimentos, aguas superficiales y efluentes de la mina muy por encima de las normas permisibles.
- La correlación de los altos valores de arsénico con los de Zinc y Plomo, posiblemente relacionados con la presencia de sulfosales de As en las menas sulfuradas.
- La contaminación ambiental provocada por el drenaje ácido generado en la cantera de Santa Lucía persiste en el tiempo, lo cual refleja que las medidas tomadas no han brindado los resultados esperados y la necesidad de actualizar el proyecto de rehabilitación e incorporar las nuevas acciones como la construcción de humedales artificiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, J.A. (2011). Mineralogía Ambiental de Procesos de Drenaje Ácido de Mina en Residuales del Pasivo Minero "Santa Lucía" y su Vinculación con Elementos Potencialmente Tóxicos y Geodisponibles. *INFOMIN*, 3(1), 15-24
- Gamma-S.A., I. (2013). *Actualización del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Explotación Minero-Metalúrgica de Plomo y Zinc Castellanos*. Santa Lucía, Pinar del Río, pp.286.
- García García, C. (2004). *Impacto y Riesgo Ambiental de los Residuos Minero Metalúrgicos de la Sierra de Cartagena*. La Unión.
- Gómez, Y. (2002). *Proyecto de Rehabilitación Yacimiento Santa Lucía*. Empresa Geominera Pinar del Río.
- Klimchuk, O., Valles, R.D. y Díaz, G.C. (1999). *Estudio Geólogo Ambiental Integral del Municipio Minas de Matahambre*. Empresa Geominera Pinar del Río.
- Millan (2010). *Actualización del Proyecto de Rehabilitación Yacimiento Santa Lucía*. Empresa Geominera Pinar del Río.
- Norma Cubana NC 27:2012 *Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y Alcantarillado-Especificaciones*.
- Norma Cubana NC 827:2012 *Agua potable-Requisitos sanitarios*.
- Romero, F.M. (2010). Acid Drainage at the Inactive Santa Lucía Mine, Western Cuba: Natural
- Attenuation of Arsenic, Barium and Lead, and Geochemical Behavior of Rare Earth Elements. *Applied Geochemistry* 25, 716-727.
- Sánchez, L.E. (1995). Cierre de Minas-Drenaje Ácido, Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. UNESCO.

Recibido: febrero 2016

Aceptado: junio 2016

Ing. Olga Klimchuk Nikolaevna. Profesora Asistente de la Empresa Geominera Pinar del Río. km 1 ½ carretera Santa Lucía, Minas de Matahambre, Pinar del Río, Cuba. Teléfono: 648169. Correo electrónico: olga@geopinar.gms.minem.cu