

Evaluación minero - ambiental del yacimiento polimetálico Santa Lucía, Pinar del Río, Cuba

Estrella Milián-Milián
Mayda Ulloa-Carcassés
Antonio S. Jornada-Krebs

Resumen

La investigación tuvo el propósito de evaluar, desde el punto de vista minero-ambiental, el medio físico en el yacimiento piritico polimetálico Santa Lucía (Pinar del Río, Cuba), el cual fue explotado a cielo abierto y hoy constituye un pasivo ambiental y una fuente potencial de degradación del medio. Se caracterizaron los depósitos de barita, el material oxidado del sombrero de hierro, las escombreras, frentes de canteras y antiguo socavón de exploración. Para la caracterización se emplearon los métodos de fotointerpretación, compilación de datos del estado actual del medio ambiente, descripción geotectónica detallada del yacimiento y áreas aledañas, consulta a expertos vinculados con el proyecto y conocedores del entorno, información socioeconómica y estadística del poblado, listas de chequeo, proyectos y escenarios comparados. Se pudo establecer la existencia de dos zonas, una de impacto intenso y otra de impacto atenuado. La generación de drenaje ácido y la contaminación de las aguas con elevados niveles de toxicidad, figuran entre los impactos más importantes, por lo que entre las medidas de rehabilitación se propone el tratamiento de las aguas para consumo humano por estar contaminadas por metales pesados.

Palabras clave

Polimetálicos; minería a cielo abierto; pasivo ambiental; impacto ambiental; evaluación de impacto.

Mining-environmental evaluation of Santa Lucía polymetallic orebody, Pinar del Río, Cuba

Abstract

The objective of this investigation is to evaluate the physical environment of the Santa Lucía pyritic poly-metallic ore deposit (Pinar del Río, Cuba) from the mining and environmental points of view. The deposit was exploited through opencast mining; nowadays it is an environmental liability and a potential source of environmental degradation. Barite deposits, rusty material from the iron cap, overburden, quarries and old exploration holes were characterized by means of photo interpretation methods, collection of data on the current environmental condition, detailed geotectonic description of the deposit and surrounding areas, consultation to the experts involved in the project and those with experience on the site, socioeconomic and statistic information of the population, check lists, projects and compared scenarios. Two zones have been identified, one having a serious impact compared to the other one with a lesser impact. Generation of acid drain and the contamination of the waters with high levels of toxicity are among the most significant impact; therefore, one of the actions proposed is treatment of the waters for human consumption for being contaminated with heavy metals.

Keywords

Polymetallic; opencast mining; environmental liability; environmental impact; impact assessment

1. INTRODUCCIÓN

En el yacimiento polimetálico de Santa Lucía (Pinar del Río), desde 1980 hasta 1999, se explotó la pirita para la producción de ácido sulfúrico. Siete años después se reabre para explotar oro y plata en sus horizontes superiores. La ausencia de un proyecto de cierre y de labores de rehabilitación trajo consigo consecuencias nocivas para el medio ambiente. Hoy constituye un pasivo ambiental minero.

Los pasivos ambientales mineros son todos aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minería abandonada o inactiva, constituyen un riesgo potencial permanente para el medio ambiente y la salud de las personas (Arranz- González 2008).

La situación ambiental en la región de Santa Lucía ha sido tratada por diferentes autores (Cañete *et al.* 2011; Alonso *et al.* 2011; Delgado *et al.* 2011; Milián *et al.* 2011) y sus resultados han sido expuestos en diferentes eventos científicos celebrados en el país. Las investigaciones realizadas brindan una panorámica general de la calidad ambiental de la zona, particularmente un estudio realizado por Ponce *et al.* (1997) que aborda la zona de estudio, de forma general, e identifica problemas ambientales importantes provocados por las instalaciones mineras y metalúrgicas de Santa Lucía.

En el Proyecto de Colaboración Cuba–Brasil titulado “Estudio de la degradación de la minería en la región de Santa Lucía en el occidente de Cuba” entre otros resultados, se exponen los altos niveles de contaminación por metales pesados procedentes de las áreas minadas no rehabilitadas, ocasionados por el arrastre de sedimentos ricos en estos metales que da lugar al drenaje ácido procedente de los pasivos ambientales mineros presentes en la zona que contamina las aguas superficiales y el litoral (Cañete *et al.* 2008). Delgado (2011) obtuvo buenos resultados a nivel experimental en la neutralización del drenaje ácido de minas del yacimiento Santa Lucía con la aplicación de cal.

La situación de los pasivos mineros ambientales a escala internacional y principalmente el impacto provocado por los drenajes ácidos de minas piríticas polimetálicas ha sido tratado también por Cadornin *et al.* (2007), quienes hacen referencia a que el drenaje ácido de minas causa grandes problemas ambientales debido al alto potencial de contaminación hacia los recursos hídricos superficiales o subterráneos.

De forma general, los estudios realizados en la zona se vinculan directamente con la geología ambiental y aunque constituyen un soporte teórico sobre los daños que provoca al medio el pasivo ambiental minero Santa Lucía, no abordan suficientemente el aspecto minero. Lo anterior sustenta la necesidad de desarrollar esta investigación, cuyo objetivo es realizar una evaluación minero-ambiental del citado yacimiento, para establecer las medidas que minimicen los efectos negativos generados por la actividad minera.

1. 1. Características geológicas del yacimiento Santa Lucía

1.1.1. Geología

El yacimiento Santa Lucía forma parte de la Provincia Metalogénica Antillana, Subprovincia Metalogénica Cuyaguaje, dentro del Terrane Guaniguanico, en la Zona Metalogénica Sábalo Sierra Morena, Subzona Metalogénica Loma del Viento, Distrito Metalogénico Matahambre-Santa Lucía. (Simón 1987).

En la constitución de la zona participan potentes secuencias arenisco-esquistosas del Jurásico que forman pliegues lineales isoclinales compuestos y están divididos por fracturas asociadas con el plegamiento. El yacimiento se sitúa en la parte superior de formaciones terrígenas sedimentarias del Jurásico Medio (Formación San Cayetano) en el contacto con las rocas del piso Oxfordiano. Se asocia al flanco noroeste del anticlinal central, el rumbo de las rocas es noroeste (45° - 60°), el buzamiento es monoclinal noroeste con inclinación (40° - 70°). La Formación San Cayetano (J1-3 SC) está constituida por los siguientes miembros: miembro inferior indiferenciado (J 1-3 SC) y miembro superior Castellano (J3 CT)

Formación San Cayetano (J1-3 SC)

Representa los sedimentos más antiguos de la región, en la parte superior afloran los núcleos de las estructuras anticlinales. Estas estructuras forman en el plano cuerpos alargados, estratiformes y lenticulares, yacen generalmente en forma monoclinal con rumbo SW-NE buzando hacia el noroeste con ángulos que oscilan entre 30° y 80° y ocupan la mayor parte del área del campo mineral Santa Lucía-Castellano.

Miembro inferior indiferenciado: se compone de un paquete de areniscas cuarcíferas de color gris claro, esquistos intercalados por capas finas, limolitas. Las rocas de esta formación están representadas fundamentalmente por areniscas cuarzo-feldespáticas, cuarcitizadas, de color gris claro, con intercalaciones subordinadas de limolitas, argilitas, gravelitas y raras veces pizarras negras.

Miembro superior Castellano: está constituido por esquistos arcilloso-carbonosos, limolitas, limo-arenisca, argilitas, calizas, dolomitas y areniscas de grano fino. A este miembro se vincula la mineralización pirítico polimetálica que conforma el yacimiento Santa Lucía, siendo los esquistos la roca hospedera, tanto de la mineralización primaria como de la hipergénica.

1.1.2. Tectónica

El yacimiento Santa Lucía estructuralmente está ubicado en el ala noroeste del anticlinorio Pinar, considerando una de las unidades tectónicas del desarrollo del eugeosinclinal cubano. En la región de desarrollo de la estructura anticlinal están presentes dislocaciones tectónicas de ruptura y corrimientos, desarrollándose fallas regionales y locales. Las fallas regionales son las más jóvenes, coincidiendo con el rumbo de la estructura plegada. Las fallas locales se desarrollan dentro de los límites de la región y en todo el anticlinorio (Escalona & Pérez. 1982).

Todos los yacimientos y manifestaciones minerales se localizan cerca de las fallas regionales longitudinales y están asociados a los pliegues de flexuras en las secuencias de las rocas, generalmente yacentes monoclinamente. Estas zonas coinciden con las zonas y aureolas de cuarcificación, silificación, carbonización y sulfurización, desarrolladas generalmente a lo largo o cerca de las dislocaciones (norte-oriente) y acompañadas por zonas de trituración, esquistosidad, brechamiento, pliegues lineales isoclinales compuestos, que están divididos por fracturas asociadas al plegamiento. (Artoneev & Norman 1973).

1.1.3. Geomorfología

El área de estudio se encuentra ubicada, según la regionalización geomorfológica adoptada en el Nuevo Atlas de Cuba (1989), en la Mega-Región Cuba, Macro-Región Pinar del Río, en el Grupo de Regiones Cordillera de Guaniguanico, Subgrupo Los Órganos, Regiones Alturas de Pizarras del Norte y Sierra de los Órganos.

Las particularidades de la evolución geológica de la Cordillera de Guaniguanico, específicamente su tectónica, que incluye la ocurrencia de grandes movimientos en dirección horizontal que provocaron múltiples sobrecorrimientos hasta el Eoceno y una etapa posterior, caracterizada por movimientos verticales en bloques, acrecentados durante la etapa neotectónica más reciente, individualizan en la región bloques que involucran a las estructuras antiguas reordenadas, las cuales, a pesar de su expresión pasiva, ejercen determinadas implicaciones en los procesos exógenos modeladores del relieve y en los resultados de los mismos. Siguiendo este enfoque, es decir el estilo

neotectónico como proceso genético activo y las deformaciones antiguas como estructura interna inactiva, vemos que desde el punto de vista morfoestructural los distintos tipos de relieve, tanto elevaciones, como llanuras y terrazas, se asientan en un sistema de bloques y horst, en mantos de sobrecorrimiento y pueden ser diferenciados los siguientes tipos: llanura fluvial - marina, abrasivo - acumulativa de edad Pleistoceno Superior al Holoceno, llanura aluvial - marina, abrasiva y abrasivo-acumulativa del Pleistoceno Medio al Holoceno, llanura aluvial-marina, abrasivo-erosiva de edad Pleistoceno Inferior al Holoceno y llanuras fluviales, erosivo-denudacionales y erosivo-cársicas, parcialmente acumulativas de edad Plioceno-Cuaternario (Klimchuk & Denis 1999).

1.1.4. Composición mineralógica

Méndez & Rodríguez (1996) refieren que en las menas piríticas de plomo y zinc el mineral predominante es la pirita (globular y cristalina), además, se encuentran esfalerita y galena, así como minerales no metálicos como cuarzo, carbonatos e hidrómicas.

Menas baríticas de plomo y zinc: Se encuentra pirita, esfalerita, galena y calcopirita, así como zonas de baritización y cuarzitificación; el elemento predominante es la barita.

Menas oxidadas: Se desarrolla en la zona de oxidación pirítica de plomo y zinc, ellas constituyen un sombrero de hierro remanente con tonalidad vertical. La zona superior posee minerales de composición goethito-hidrohematítica de potencia de dos a tres metros. La media consiste en formaciones de goethita e hidrohematitas compactas con serucita y ocres ferruginosos, de siete metros de espesor. La inferior, de tres metros de potencia, son formaciones ocre-arcillosas con contenidos aumentados de plomo.

Los minerales principales del yacimiento son: pirita, marcasita, esfalerita y galena y los secundarios: pirrotina, calcopirita, hematita, magnetita, titanita, e hidrolepidocrosita; en la zona de oxidación se observan serucita, goethita, hidrogoethita, anglesita, smithsonita, covelina y calcosina. Además, posee los minerales no metálicos: hidrómicas, calcita, dolomita, sericita, clorita, cuarzo y barita.

1.2. Particularidades del medio físico receptor

1.2.1. Riesgos y peligros geológicos

Desde el punto de vista sísmico, la zona de interés es estable, de baja actividad sísmica, donde la aplicación de varios estimados de peligrosidad demuestra que se deben esperar efectos por sismos de hasta VI grados de intensidad para un período de recurrencia de cien

años. No obstante este pronóstico, se debe considerar que teniendo en cuenta la presencia de alturas por encima de los 100 m y pendientes superiores a 20-25°, estos efectos pueden incrementarse y provocar movimiento de laderas y agrietamiento superficial, con otros fenómenos subsecuentes.

La región de Santa Lucía no escapa a la existencia de fenómenos de esta naturaleza, ya sean naturales o inducidos, vinculados con los procesos relacionados con la ubicación de materiales de escombreras y construcciones de caminos, canteras en diferentes sitios de la periferia de las elevaciones aledañas al área donde se realizaba el proceso de extracción del mineral. La situación se agudiza por las características friables de estos materiales, sumando al proceso el escurrimiento superficial motivado por las lluvias y por la no existencia de vegetación en las mismas.

Todo ello favorece la intensificación de los procesos denudativos y erosivos a partir del escurrimiento concentrado y difuso, que provoca la formación y desarrollo de cárcavas, que en su crecimiento regresivo profundizan y amplían su canal, que provocan, de no ser controlados, el arrastre de los materiales hacia las zonas más bajas.

1.2.2. Clima

El área de interés pertenece al subtipo 5 del tipo de clima de llanuras y alturas con humedecimiento estacional relativamente estable, alta evaporación y altas temperaturas (Díaz 1989). El territorio se caracteriza por una temperatura media anual que oscila entre los 24,9° C con máximas y mínimas medias de 27 – 21,6 ° C. El ritmo anual de las temperaturas medias mensuales diferencia dos estaciones de verano (mayo - octubre) e invierno (noviembre - abril), aunque mejor representada por las mínimas absolutas. Las máximas absolutas durante todo el año pueden ocurrir temperaturas que superan los treinta grados. La velocidad del viento predominante es de 3,6-4,4 m/s. Los valores máximos de precipitaciones corresponden a los meses de mayo – octubre y los valores mínimos a los meses de diciembre - abril. Las precipitaciones medias anuales son de 1 400 mm.

1.2.3. Hidrología superficial y subterránea

La hidrología superficial está representada por los ríos Santa Lucía -vertiente este-, drena las aguas del escurrimiento del sur de la cantera Santa Lucía y la parte superior de la cuenca del mismo nombre; río Santa Lucía -vertiente oeste-, drena las aguas del escurrimiento de la mina Santa Lucía; río Palma, ubicado entre la cuenca anterior y la del

arroyo Biajaca, sus aguas drenan el escurrimiento superficial de las obras de la mina Castellano; arroyo Biajaca, se ubica parcialmente en el territorio y escurre sus aguas desde Castellano, y el río Nombre de Dios, cuyo afluente norte drena el escurrimiento superficial de la vertiente sur de algunas obras de la mina Castellano.

De forma general, el escurrimiento en el área está bien establecido a través de los ríos ya mencionados con una densa red de corrientes temporales y efímeras que vierten sus aguas hacia la zona litoral baja, ya que sólo el Santa Lucía y el Nombre de Dios lo hacen directamente al mar. Todo el sistema fluvial pertenece a la vertiente norte de Cuba, aunque no todas escurren sus aguas desde el parteagua principal.

Las características de las aguas subterráneas de los diferentes acuíferos están en dependencia de las rocas encajantes hidrocontendedoras y su grado de agrietamiento. Las precipitaciones atmosféricas constituyen la alimentación adicional. Según Ponce *et al.* (1997), se han identificado tres horizontes, que se alimentan en lo fundamental desde acuíferos más profundos:

- *Horizonte acuífero del Jurásico Superior.* Se encuentra hacia el SE de Castellano. Las rocas que contienen el agua son: areniscas, esquistos arcillosos, brechas tectónicas y calizas de la Formación San Cayetano. Las aguas de este horizonte tienen un fuerte vínculo y un nivel común con las aguas de los horizontes del Cretácico Superior y del Cuaternario (corteza de intemperismo). Según su composición química, estas aguas, en su mayoría, son sulfatadas sódicas, con una mineralización de 0,6 g/l a 1,5 g/l y una dureza total de 1,4 a 9,3 meq/l.
- *Horizonte acuífero del Cretácico Superior.* Este horizonte, relacionado con las capas del Cretácico Superior, se encuentra en toda la región de los yacimientos. Las rocas que contienen el agua son: esquistos arcillosos agrietados, aleurolitas, calizas, areniscas, brechas tectónicas y argillitas. Según su composición química éstas aguas son mezcladas, tanto por los cationes como por los aniones, con una mineralización general de 0,1 a 0,5 g/l y una dureza total que varía entre 0,58 y 8,5 meq./l.
- *Horizonte acuífero de las formaciones del Cuaternario.* Estas aguas están asociadas con el nivel del horizonte acuífero de la corteza de intemperismo. Según la composición química, las aguas de este horizonte son mezcladas, tanto por los cationes como por los aniones, predominando las aguas hidrocarbonatadas sódicas y las sulfatadas-

sódicas, con una mineralización de 0,2 a 0,7 g/l y la dureza total oscila entre 0,9 y 5,6 meq/l.

1.2.4. Flora y Fauna

El área de estudio se encuentra ubicada en el distrito florístico Pinarense, perteneciente a la sub-provincia fitogeográfica de Cuba Occidental, distrito que se corresponde grosso modo con lo que geográficamente se conoce como Alturas de Pizarras, así como con algunas llanuras inmediatas a dichas alturas, tanto en el norte como en el sur de la provincia de Pinar del Río (Ponce *et al.* 1997).

La vegetación y la flora del área de estudio pueden considerarse como típicas de su distrito, aunque resulta notable la ausencia en ella de algunos de sus elementos fundamentales, como el yuraguano (*Coccothrinax miraguana ssp. arenicola*).

En cuanto a la fauna, según refiere el informe presentado por CESIGMA (2007), en las áreas aledañas a los yacimientos Santa Lucía y Castellano se han registrado 20 taxa de invertebrados y 52 vertebrados. Los mamíferos silvestres relacionados en estudios anteriores, como la jutía conga (*Capromys pilorides*) y los venados (*Odocoileus virginianus*) no se detectaron ni mostraron huellas de ninguna clase. Por otra parte, los cuerpos de agua que se asocian o establecen al área de estudio y que radican en áreas bajas de la costa norte de la mina, no presentan vida acuática.

1.2.5. Uso y ocupación del suelo

En el área de estudio existen diferentes tipos de suelos determinados, en general, por las características geográficas, geológicas y socioeconómicas de la región. La actividad fundamental de la región es minero - metalúrgica dada por la presencia de dos importantes yacimientos minerales. Esto determina una infraestructura industrial de beneficio y procesamiento de la materia prima mineral, así como una creciente urbanización, que condiciona una fuerte influencia antrópica y un marcado impacto en el medio natural. Sin embargo, la mayor parte del área está ocupada por dos tipos fundamentales de ambientes naturales que son: los manglares de la zona litoral al norte y los amplios bosques de encinares en la parte sur del territorio.

Una parte no despreciable está dedicada a la agricultura extensiva, llamada ecológica por el poco o ningún uso de fertilizantes químicos y pesticidas, por lo que se define como áreas seminaturales. En algunas pequeñas áreas dedicadas al cultivo del tabaco ocurre todo lo contrario, y son catalogadas como antropizadas. En general, se

diferencian tres tipos de áreas según su uso: naturales, seminaturales y antropizadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre la base del análisis de los métodos de evaluación minero ambiental empleados en la práctica internacional y en Cuba, y atendiendo a las características propias de este entorno minero, se aplicó la fotointerpretación, la compilación de datos del estado actual del medio ambiente, el muestreo y análisis químicos y descripción geotectónica detallada del yacimiento y áreas aledañas y, además, la consulta a expertos vinculados con el proyecto y conocedores del entorno, información socioeconómica y estadística del poblado, listas de chequeos de diferentes proyectos y escenarios comparados.

El levantamiento en detalle de las cuencas permitió describir la hidrología superficial del área del yacimiento Santa Lucía. La caracterización minero ambiental detallada se realizó a los frentes de canteras, al canal de desagüe principal, a las escombreras, depósitos de barita y material oxidado, así como al drenaje ácido proveniente del antiguo socavón y frente de minas y los caminos mineros e instalaciones superficiales demolidas.

Para los análisis químicos del drenaje ácido se analizaron 20 muestras de aguas superficiales y 19 de sedimentos de fondo en el mismo punto de toma de muestra de agua, en diversas posiciones del curso de agua, hasta 50 metros aguas arriba y aguas abajo de los puntos georeferenciados; se tamizaron a 2 mm, con agua del mismo drenaje, hasta obtener unos 2 -3 kg para garantizar una cuantía mínima de finos.

Las muestras de agua fueron colectadas en dos calicatas, una de 250 ml para los cationes, filtrada y acidificada (HNO_3 1:1) en el propio campo y otra de 1 500 ml, no filtrada ni acidificada, destinada para el análisis de los aniones y refrigeradas hasta su entrega al laboratorio.

En los puntos de colecta de los cuerpos de agua se midieron directamente la conductividad eléctrica y el pH, por medio de un equipo digital portátil de marca HANNA -98121. Las muestras de agua y sedimentos se analizaron en el Laboratorio Central de Minerales "Isacc del Corral" (LACEMI) de Ciudad de La Habana. Los cationes disueltos de las muestras de agua fueron analizados vía EEA-ICP (digestión con HNO_3), y los aniones (Tabla 1) se determinaron por los siguientes métodos. Para los sedimentos: secado en estufa a 60 °C; disgregación y tamizado; homogenización y cuarteo; digestión de 0,5 g del material

con 6 ml de agua - regia (3HCL + 1 HNO₃), a 150 °C por dos horas, y análisis de 30 elementos vía ICP- EOS (Tabla 2).

Tabla 1. Especies iónicas analizadas en las muestras de agua y los respectivos límites de detección y métodos analíticos empleados (Fuente: Estudio de la degradación ambiental provocada por la minería en la región de Santa Lucía)

Elementos /iones	Límite Inferior mg/l	Límite Superior mg/l	Métodos
Al	0,10	15,0	EEA-ICP
As	0,08	2,0	
Ca	2,0	2,0	
Cd, V	0,005	500,0	
Co,Cu, Mo, Ni	0,01	2,0	
Cr	0,02	2,0	
Fe	0,01	6,0	
Hg	0,02	20,0	
K	1,0	500,0	
Mg	2,0	200,0	
Mn	0,006	5,0	
Na	2,0	350,0	
Pb	0,10	10,0	
Zn	0,01	6,0	
Alcalinidad (especies)	12,0	400	Volumetría
Cloruros	4	-	Cromatografía Iónica
Cloruros	5	1000	
Sulfatos	10	-	Gravimetría
Nitratos	10	-	ISE
Nitritos	0,03	2,50	Espectrofotogrametría
Amonio	0,25	90	

Tabla 2. Elementos analizados en las muestras de sedimentos de fondo y sus respectivos límites de detección y métodos analíticos empleados (Fuente: Estudio de la degradación ambiental provocada por la minería en la región de Santa Lucía)

Elementos /iones	Límite Inferior mg/l	Límite Superior mg/l	Métodos
As	5	600	ICP-EOS
Ag	0,2	240	
Al	0,01	3,60	
B, Ba, Hg, Mn, Sc	1	1800	
Be	0,5	1800	
Bi	2	600	
Cd	1	600	
Co	0,5	3600	
Cr, Cu, Ni, V	1	6000	
Fe	0,01	6,0	
Ga	5	6000	
Mg	0,01	1,80	
Mo, Zn	1	3600	
P, Sn, Y	1	1200	
Pb	5	3600	
Sb	2	3600	
Se	2	1200	
Sr	1	240	
Ti	0,01	1,20	
Tl	5	240	

El LACEMI emplea para el límite inferior y superior de las especies químicas las normas recogidas en el *Manual de métodos químicos para el análisis de aguas residuales* (1993).

3. RESULTADOS

3.1. Evaluación minero-ambiental del yacimiento Santa Lucía

Las características de los frentes de canteras del yacimiento Santa Lucía (Figura 1) son las siguientes:

- Presentan taludes muy inestables, con derrumbes parciales en tres niveles de explotación.
- Existe afloramiento de la mena pirítica polimetálica con huellas palpables de autocombustión.
- Existen surcos de erosión, la mena pirítica está denudada totalmente, no existe vestigios de vegetación.
- No se han ejecutado acciones de rehabilitación.



Figura 1. Frente de minas del yacimiento Santa Lucía.

Las escombreras se caracterizan por lo siguiente:

- Poseen alturas que oscilan entre los 20 – 40 metros de altura.
- Evidencia de grandes procesos erosivos, cárcavas con profundidades de hasta cuatro metros y ancho de dos metros.
- Existencia en la base superior de grietas de desecación.
- El material predominante es pizarras negras con contenidos de sulfuro hasta un 12 %.
- Existen huellas de autocombustión.
- Gran inestabilidad, presencia de cuñas de deslizamiento.

- No existe cobertura vegetal.
- Ángulo de inclinación de los taludes superior a 60°.
- No se han ejecutado acciones de rehabilitación.

En los depósitos de mineral oxidado se presenta la situación siguiente:

- Compuesto en su totalidad de material oxidado del sombrero de hierro.
- Altura superior a 20 metros, existencia de rocas sueltas.
- Posee una longitud (N –S) de 300 metros.
- Posee dos escalones de forma irregular.
- El pie del talud termina en un curso de agua natural.
- Evidencia de deslizamientos y procesos erosivos.
- No existe cobertura vegetal.

Los dos depósitos de barita: (Figura 2)

- Carecen totalmente de cobertura vegetal.
- El material barítico ha sido afectado por los procesos de intemperismo.
- Existen huellas de autocombustión.
- Poseen alturas que oscilan entre los 15 – 20 metros.
- No fueron previamente impermeabilizados.
- El depósito No.1, el pie del talud termina en una laguna de aguas ácidas.
- Existen rocas sueltas.
- No existen zanjas para coleccionar el agua de las precipitaciones.
- Generación de polvo y migración del material fino en épocas de lluvias.



Figura 2. Depósito No. 1 de barita.

En el canal de drenaje principal se puede apreciar que:

- Por el mismo se evacúan las aguas procedentes de los diferentes niveles de explotación.
- A medida que avanza hacia el NE aumenta su inclinación.
- No presenta ningún tipo de protección ni en la base, ni en su fondo.
- El fondo de dicho canal está lleno de rocas que han caído debido a la erosión.
- Está muy afectado por la tectónica, comprobándose la existencia de fallas de desplazamientos en diversas direcciones.
- La dirección general del fallamiento es de SE-NW 320° .
- La esquistosidad en este lugar cambia a medida que se avanza en varias direcciones.

El socavón de los rusos se caracteriza por lo siguiente:

- Es una excavación minera subterránea totalmente derrumbada y de su interior emergen aguas sulfurosas.
- Cerca del mismo existe un pequeño laberinto dividido en dos secciones, actualmente no se utiliza, está totalmente abandonado.
- Procedentes de este socavón, existen residuales sólidos de roca caliza que se vertía en el mismo para tratar las aguas ácidas.

Drenaje ácido procedente del yacimiento Santa Lucía:

- Varios drenajes cuyos anchos oscilan entre 0,50-150 metros y se unen formando una laguna de aguas ácidas.
- La coloración predominante del agua es rojiza.

- No existe evidencia de vida acuática en los mismos.
- Las aguas despiden un fuerte olor sulfuroso.
- Presencia de materia orgánica en su fondo.

Los caminos mineros:

- Presentan grandes surcos de erosión que en algunos tramos aparecen como cárcavas muy pronunciadas.
- No han recibido ninguna acción de mantenimiento desde el 2008 que concluyó la extracción de la mena oxidada.
- Se encuentra asfaltado, hasta cerca del área donde se localizaban las oficinas socio-administrativas. A partir de ese trayecto, hasta llegar al área del yacimiento son caminos de tierras.
- Carecen de sistemas de canalización de las aguas pluviales.
- El alcantarillado que posee el camino a la bajada de la planta de beneficio se encuentra totalmente destruido.
- No se han ejecutado acciones de rehabilitación en los caminos mineros que dan acceso a los diferentes frentes de trabajo del yacimiento.

Instalaciones superficiales.

- Todos los locales y oficinas socio-administrativas, después que se paralizaron las actividades mineras en el yacimiento Santa Lucía en el 1999, fueron demolidas totalmente.
- Las partes y componentes de la planta de beneficio de minerales, que existía a la entrada del yacimiento, se han utilizado en las diferentes obras mineras que se han ejecutado en el país.

1.4. Caracterización química del drenaje superficial

Las aguas superficiales cercanas al yacimiento revelaron bajos valores de pH y altos niveles de conductividad eléctrica (Tabla 4). Existe una elevada concentración de contaminantes altamente tóxicos en las corrientes superficiales, aguas debajo de la mina Santa Lucía. A partir de los análisis de laboratorio (Tabla 5) se identificaron dos zonas con diferentes grados de impactos ambientales: una de impacto intenso, con contenidos por encima de los valores máximos permitidos y otra de impacto atenuado, con valores más bajos que en los puntos de la zona de impacto intenso.

Tabla 4. Valores de pH, conductividad eléctrica de las muestras de aguas superficiales colectadas en la cuenca del río Santa Lucía (Fuente: Estudio de la degradación ambiental provocada por la minería en la región de Santa Lucía)

Puntos	Coordenadas geográficas		pH	Conductividad eléctrica	Tipo de sedimentos
	Latitud N	Longitud W			
S-01	22°38'10.7"	83°56'34.2"	6,3	95	Areno-arcilloso
S-02(bancos)	22°38'05.6"	83°56'35.7"	6,1	80	Areno-arcilloso con grava
S-03(bancos)	22°37'40.0"	83°56'55.0"	6,4	80	Arena y grava y poco finos
S-04	22°38'07.8"	83°56'43.6"	6,3	150	Arenosos
S-05	22°39'30.6"	83°56'25.3"	6,5	330	Arcilloso
S-06	22°39'28.8"	83°56'36.2"	6,5	390	Arcilloso
S-07	22°39'17.7"	83°56'48.5"	1,6	4200	Arcilloso
S-08	22°39'11.4"	83°56'51.5"	1,5	5470	Areno- arcilloso
S-09	22°39'25.0"	83°56'34.4"	1,3	4900	Arcilloso
S-10	22°39'24.4"	83°56'29.5"	1,9	960	Arcillo - arenoso
S-11	22°40'04.6"	83°56'20.7"	5,7	130	Arena y grava y poco finos
S-12	22°38'40.8"	83°57'25.5"	1,8	+20000	Arena y grava y poco finos
S-13	22°38'38.6"	83°57'24.1"	1,6	+20000	Arena y grava y poco finos
S-14	22°38'37.6"	83°57'25.9"	4,7	150	Arena y grava y poco finos
S-15	22°38'48.8"	83°57'21.1"	0,9	+20000	No existe
S-16	22°39'04.7"	83°57'24.2"	1,8	14420	Arena y grava y poco finos
S-17	22°39'06.7"	83°57'26.1"	1,5	5540	Arena y grava y poco finos
S-18	22°38'40.4"	83°57'15.7"	2,1	15620	Arena y grava y poco finos
S-19	22°38'50.5"	83°57'16.9"	1,4	7920	Arena y grava y poco finos
S-20	22°38'57.2"	83°57'02.5"	5,6	400	Areno- Arcilloso
VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS: RESOLUCIÓN CONAMA 357/ 2005(Brasil)					
Aguas clase 2			6,0 -9,0	-	
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES: NORMA CUBANA NC 521: 2007					
Aguas clase E			5,5 – 9,0	-	

Observaciones: Todos los aniones en mg/l; conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$; LD: límite de detección.

Estos resultados muestran que la cuenca del río Santa Lucía, principalmente su vertiente oeste inferior, es afectada por la contaminación que genera el yacimiento del mismo nombre, que aunque la misma disminuye con la distancia, su efecto se extiende hasta el litoral.

Tabla 5. Concentración de contaminantes altamente tóxicos en aguas superficiales del yacimiento Santa Lucía. Zona de impacto intenso

Elementos	Cantidad en mg/l	Valores Máximos Permitidos(VPM) mg/l
Al	0,4-754,7	0,1
As	0,69- 508,31	0,01
Cd	0,98-112,92	0,01
Co	0,22-3,49	0,05
Cr	0,13-2,52	0,05
Cu	0,02-298,85	0,01
Fe	5,89-56864,3	0,3
Mn	1,00-813,79	0,1
Ni	0,11-2,14	0,025
Pb	0,64-8,49	0,01
Zn	330,6-2288,7	0,18
SO ₄ ⁻	300,0-118434	250,0
Nitratos	13,0-367	1,0

Nota: Los valores máximos permitidos para aguas clase 2, según la resolución CONAMA 357/2005, y para descargas en aguas clase E de la Norma Cubana NC 521:2007.

Según los valores de las tablas anteriores existe una elevada concentración de contaminantes tóxicos en las corrientes superficiales aguas abajo de la mina Santa Lucía que delimitan una zona de impacto más intenso que se extiende a lo largo de la cuenca del arroyo que drena la mina Santa Lucía, desde su cabecera hasta el puente que cruza la carretera para Matahambre. Abarca los puntos S-07, S-08, S-09, S-10, S-12, S-13, S-15, S-16, S-17, S-18 y S-19 (Figura 6).

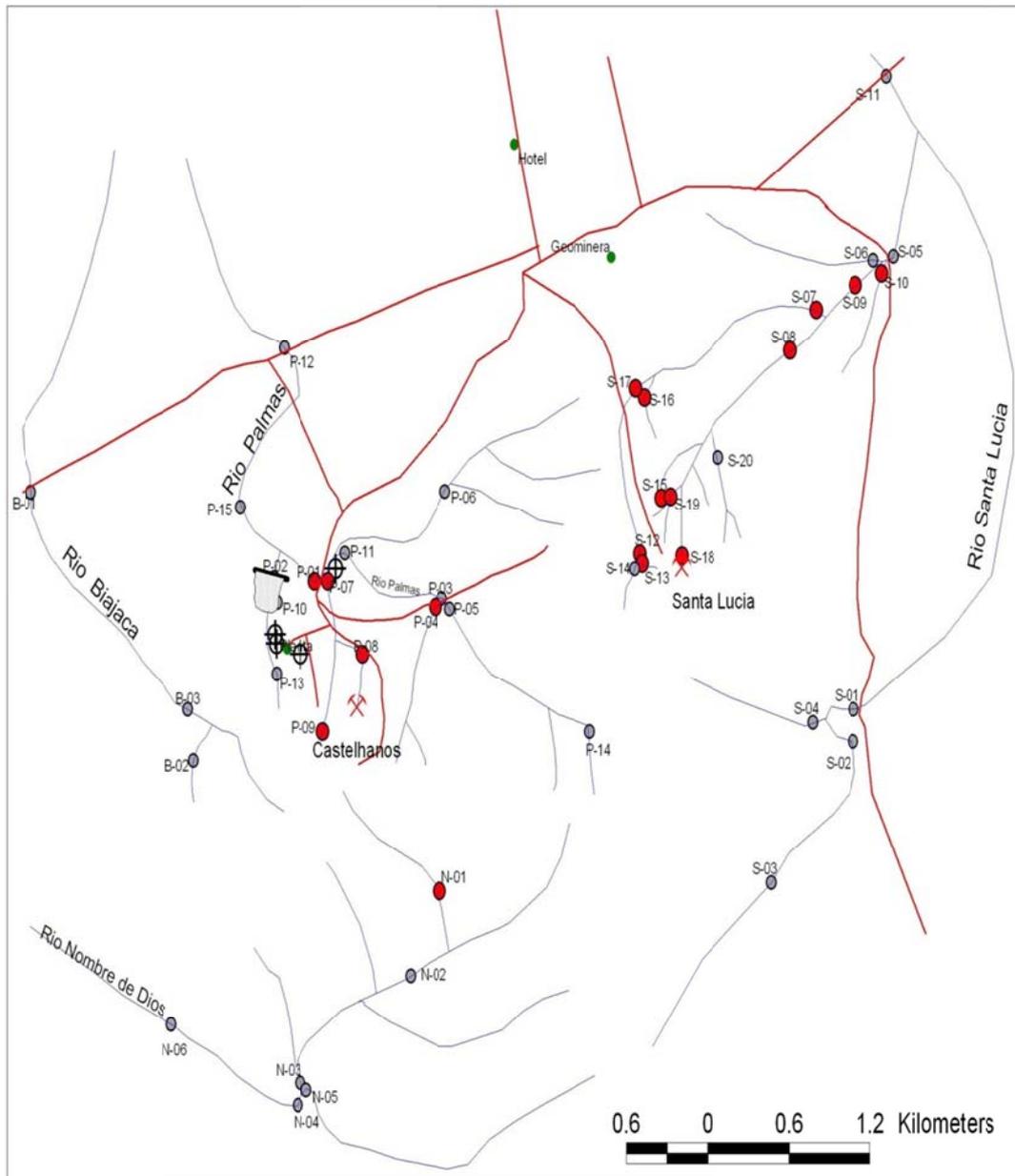


Figura 6. Ubicación de los puntos de muestreo.

1.5. Medidas para minimizar los efectos ambientales negativos

Para el establecimiento de las medidas de rehabilitación para minimizar los efectos ambientales negativos se aplicó la técnica de escenarios comparados, validadas por el criterio de expertos, resultando las siguientes:

Para los frentes de cantera:

- Disminuir la altura de los escalones, creando bermas intermedias que permiten una mayor estabilidad de los mismos.
- Lograr la disminución del ángulo de inclinación de los taludes cercano a los 45° para evitar derrumbes.
- Ubicar disipadores de energía para evitar o frenar los procesos erosivos.
- Sellar la mena pirítica polimetálica con material arcilloso que permita su impermeabilización.
- Reforestar los taludes para evitar la generación de polvo y procesos erosivos.
- Crear zanjas de desagüe que permitan la evacuación de las aguas hacia un sistema de tratamiento.
- Ejecutar medidas de rehabilitación para un uso posterior de los terrenos afectados: fines didácticos o patrimonio minero.

En los depósitos de barita:

- Construir un sistema de tratamiento eficaz para las aguas ácidas provenientes del yacimiento, aplicación de tratamiento físico –químico, añadir hidrato de cal como agente neutralizante de la acidez, utilizar la zeolita como filtro purificador para eliminar metales pesados.
- Impermeabilizar de los depósitos de barita, utilizando la tecnología de cobertura seca, para lograr el aislamiento del oxígeno.
- Realizar la siembra de pastos u otros tipos de gramíneas sobre los depósitos de barita, ya que en el futuro serán utilizados.
- Crear terrazas en dichos depósitos para disminuir la altura de los mismos y lograr su estabilidad física.
- Ubicar disipadores de energía para evitar o frenar la acción de los procesos erosivos por la acción de las precipitaciones, en estos depósitos.

En las escombreras:

- Crear terrazas para lograr la estabilidad física.
- Disminuir el ángulo de inclinación de los taludes para evitar deslizamientos.

- Construir muros de contención que eviten el deslizamiento de los materiales que en ellas existen.
- Sembrar vegetación para evitar o frenar los procesos erosivos.

En los caminos mineros:

- Construir sistemas de canalización que permita la correcta evacuación de las aguas pluviales.
- Proceder a la correcta conformación topográfica de los caminos y al mejoramiento de los mismos para detener la acción de los procesos erosivos.
- Reparar y dar mantenimiento al alcantarillado del camino principal que da acceso al yacimiento.

Es importante, además, considerar la ejecución de las siguientes medidas generales de protección ambiental:

- Implementar un sistema de monitoreo geotécnico en las zonas donde se presentan riesgos de movimiento de masa, taludes abruptos, etc.
- Prohibir el consumo de las aguas del río Santa Lucía para beber, irrigación o baño, aguas abajo de la mina.
- Realizar estudios complementarios de la biota para el análisis de la biodisponibilidad de metales pesados, y estudios médicos integrales para evaluar posibles relaciones entre la contaminación y las enfermedades a ella asociadas.

4. CONCLUSIONES

La inexistencia de acciones de rehabilitación en la mina pirítica polimetálica de Santa Lucía ha provocado el aumento de la degradación ambiental en la región y el avance de la misma en extensión superficial hasta alcanzar el litoral. Aguas abajo de la mina Santa Lucía se delimitó una zona de impacto intenso en las aguas superficiales. La evaluación minero-ambiental del yacimiento permitió establecer medidas para minimizar los efectos negativos generados por la actividad minera.

5. REFERENCIAS

ALONSO, J.A; CABRERA, I.; PINTO, A.; COZZI, G.; DELGADO, B.; GALLARDO, D.; VALDIVIA, G.; CASANOVA, A.; DÍAZ, A.; DÍAZ, N.; ÁGUILA, A.; CANEL, L.; TRUEBA, R. & RODRÍGUEZ, J.C. 2011: Principales asociaciones mineralógicas de elementos potencialmente tóxicos y geodisponibles en el pasivo minero Santa Lucía. En: IV Congreso cubano de minería "Minería 2011", Cierres de Minas y Pasivos Mineros Ambientales [CD-ROM] ISBN 978-959-7117-30-8.

- ARRANZ-GONZÁLEZ, J. C. 2008: Planes de actuación sobre territorios con abundantes pasivos ambientales mineros. Seminario: Evaluación y recuperación ambiental de espacios mineros. Pasivos ambientales mineros. Centro de Formación de la AECID [CD-ROM], Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 14 a 17 de octubre, p. 2.
- ARTONEEV, S. & NORMAN, A. 1973: Estructura geológica, composición sustancial y génesis de las menas del yacimiento Santa Lucía. Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta 2005.
- CADORIN, L.; CARISSIMI, E. & RUBIO, J. 2007: Avances en el tratamiento de las aguas ácidas de minas. *Scientia et Technica* XIII (36), septiembre. ISSN 0122-1701.
- CAÑETE, C.; KREBS, S.; MARMOS, L.; PONCE, N.; MILIÁN, E. & BARRIOS, E. 2008: Estudio de la degradación de la minería en la región de Santa Lucía en el Occidente de Cuba. Informe del Proyecto de colaboración Cuba-Brasil. Empresa Geominera de Pinar del Río.
- CAÑETE, C.; KREBS, A.; MARMOZ, L.; PONCE, N.; MILIÁN, E. & BARRIOS, E. 2011: Riesgos ambientales provocados por el pasivo ambiental de Santa Lucía, Pinar del Río. En: IV Congreso cubano de minería "Geociencias 2011", Cierres de Minas y Pasivos Mineros Ambientales [CD-ROM] ISBN 978-959-7117-30-8.
- CESIGMA, S. A, 2007: Alcance técnico para los estudios de impacto ambiental y factibilidad territorial del proyecto de explotación minero-metalúrgico de polimetálicos (Pb y Zn). Castellano, Santa Lucía, Pinar del Río. Informe técnico.
- Consejo Nacional de Medio Ambiente-CONAMA. 2005: Disposiciones sobre la clasificación de los cuerpos de agua y directrices ambientales para ser evacuadas: condiciones y patrones de lanzamiento de efluentes. Resolución No.357, de 17 de enero. Brasilia: MA, p. 23.
- DELGADO, B.; LUBIAN, M.; CORTÉS, N. & MILIÁN, E. 2011: Metodología para inventariar pasivos mineros ambientales en la zona Santa Lucía. En: IV Congreso cubano de minería "Geociencias 2011", Cierres de Minas y Pasivos Mineros Ambientales. CD ROM-ISBN 978-959-7117-30-8.
- DÍAZ, L. 1989: Mapa de regionalización climática general. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Ed. Madrid, España, p 5.
- ESCALONA, F.; & PÉREZ, O. 1982: Método para la exploración y cálculo de reservas de un bloque geológico en el yacimiento Santa Lucía.
- KLIMCHUK, O. & DENIS, R. 1999: Estudio geólogo ambiental integral del municipio Minas de Matahambre. Ministerio de la Industria Básica, Empresa Geominera Pinar del Río, p. 3-8.
- CUBA. 1995: Ley De Minas Ley no. 76: *Gaceta Oficial de la República de Cuba*. Edición ordinaria, La Habana, 23 de enero de 1995, Año XCIII Número 3, Página, 33

- NORMA CUBANA NC 521. 2007: Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas.
- MÉNDEZ, G. & RODRÍGUEZ, O. 1996: *Modelaje cuerpo sólido 3D yacimiento Júcaro, yacimiento Santa Lucía*. Trabajo de Diploma. Universidad "Hermanos Saíz Montes de Oca", Pinar del Río.
- MILIÁN, E.; KREBS, A.; CARCASSES, M. & OTAÑO, J. 2011: Procedimiento para la rehabilitación minero ambiental en yacimientos piríticos polimetálicos de Pinar del Río. En: V Congreso de Gestión Ambiental y VII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo [CD-ROM] ISBN 978-959-300-018-5.
- PONCE, N.; ALFONSO, E. & CAÑETE, C. 1997: Evaluación y predicción de impactos ambientales en la minería. Informe de proyecto, Ministerio de la Industria Básica.
- SIMÓN, A. 1987: Sobre la zonación metalogénica del territorio de Cuba Occidental. En: III Encuentro Científico - Técnico de Geología. La Habana. Memorias.p.129-136.

Estrella Milián-Milián

Máster en Minería. Empresa Geominera de Pinar del Río.
Minas de Matahambre, Pinar del Río, Cuba.

estrella@geopinar.gms.minbas

Mayda Ulloa-Carcassés

Profesora Titular. Doctora en Ciencias Económicas.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba

mulloac@ismm.edu.cu

Antonio S. Jornada-Krebs

Doctor en Geografía. Servicio
Geológico de Brasil, Rio de Janeiro, Brasil

krebs@pa.cprm.gov.br