

**ARTÍCULO ORIGINAL**

**Evaluación de impactos ambientales provocados por la actividad minera en la localidad de Santa Lucía, Pinar del Río**

Environmental Impact produced from the mining activity at the Santa Lucia location, Pinar del Río

**Damaris Gallardo Martínez<sup>1</sup>, Ileana Cabrera Díaz<sup>2</sup>, Noel Bruguera Amaran<sup>3</sup>, Felipe Madrazo Escalona<sup>4</sup>**

Delegación Territorial CITMA. Calle Colon 106, entre Maceo y Virtudes, Pinar del Río, Cuba. Teléfono: 752232, 754525

<sup>1</sup>Ingeniera Metalúrgica. Correo electrónico: dgm@uma.vega.inf.cu

<sup>3</sup>Doctor en Ciencias Técnicas. Correo electrónico: delegado@citma.vega.inf.cu

<sup>2</sup>CIPIMM Carretera Varona No 12028 Km 1 ½ Capdevila Boyeros, Ciudad de la Habana, Cuba

Correo electrónico: ileana@cipimm.gms.minbas.cu

---

**RESUMEN**

El Campo Mineral Santa Lucía-Castellanos, correspondiente a la formación San Cayetano, se encuentra ubicado al noroeste de la Provincia Pinar del Río. Comenzó

sus actividades mineras a cielo abierto desde la década del 70 para la extracción de pirita como materia prima para la fabricación de ácido sulfúrico en la Empresa Sulfometales. También este campo mineral se explotó para la obtención de oro y plata, las reservas se agotaron y las áreas se encuentran en estado de abandono. Además la fábrica Sulfometales creada para la obtención de ácido sulfúrico a partir de la pirita hoy se encuentra procesando plomo a partir de baterías de plomo desechadas para obtener lingotes de plomo.

Con la investigación se definen y caracterizan los principales problemas ambientales que existen en la región provocadas por la actividad minero - metalúrgica y se proponen acciones y medidas de monitoreo a desarrollar para mitigar los impactos ambientales negativos ocasionados por esta actividad en el área de estudio y en la comunidad. Se trabajó en el diagnóstico para la identificación de los impactos geoambientales generados durante todas las etapas del proceso minero - metalúrgico, empleándose la matriz causa-efecto (Matriz de Leopold) y herramientas de análisis cuantitativos para la determinación de los niveles de contaminación de las variables ambientales analizadas.

Se determinó en orden ascendente las variables ambientales más afectadas *vegetación, fauna, paisaje, medio socio-económico, suelo, hidrogeología, geología y geomorfología*. Además se comprobaron las áreas donde los impactos negativos son más significativos, para lo cual se propone el Plan de Acción y Monitoreo de los principales impactos existentes en función de las posibilidades de recuperabilidad.

**Palabras Clave:** Impactos ambientales, Comunidad, Minería, Metalurgia, Oro y plomo.

---

## **ABSTRACT**

The mineral field Santa Lucía-Castellanos, corresponding to the formation San Cayetano, is located to the northwest of Pinar del Rio province. It began their mining activities decade the 70 for pyrite extraction for as raw material to produce sulfuric acid in the Sulfomethal factory. These mining sites were also exploited for the extraction of gold (Au) and silver (Ag), and abandoned later. The Sulfomethal factory, at present, is producing only Pb lead by recycling discharged batteries.

The present work, main geoenvironmental problems founded by the mining activities are identified and characterized likewise, actions and monitoring

measures to mitigate negative environmental impact on these areas and near community are proposed. In these sense, the diagnosis to identify the negative geoenvironmental impacts was done using a Leopold cause- effect matrix and a quantitative analysis tools for the contamination level determination of the environmental variables. Additionally, the ascendant order agithe must affected variable was ranking: negation, fauna, landscape, soil, hydrogeology, geology and geomorphology. Finally, the areas with a significant negate impact were checked, and an action and monitoring plans were established from the revised ores.

**Key Words:** Environmental impacts, Community, Mining, Metallurgy, Gold and lead.

---

## INTRODUCCIÓN

La Minería, a través de los siglos, ha formado parte de la historia y del desarrollo económico de muchos países en el mundo. Sin embargo, muy notorios han sido los efectos sociales y ambientales que ha generado esta industria en detrimento de los diferentes ecosistemas relacionados con la misma. La extracción de los metales nobles, en particular de Oro y Plata, empezó a incrementarse en el siglo XVI, después del "descubrimiento de las Américas". El período sucesivo de auge de la extracción de estos metales comienza en los años veinte del siglo XIX, relacionado con el descubrimiento y explotación de los placeres auríferos de los Urales y Siberia.

La búsqueda de nuevas alternativas que contribuyan en parte a la solución de los principales problemas que tiene planteada la Industria Metalúrgica en la actualidad, constituye un imperativo para la economía cubana, especialmente el tratamiento de residuales industriales y el procesamiento de minerales fuera de balance. Entre la diversidad de procesos tecnológicos extractivos se encuentran los relacionados con la recuperación de Oro, Cobre, Plata, Plomo y Zinc, a partir de sus yacimientos minerales principales. En tal sentido, estos procesos extractivos provocan cambios de tipo ambiental y social, como toda actividad antrópica, que es preciso tener en cuenta en el momento de diseñar políticas ambientales. Principalmente, provoca

cambios drásticos en el paisaje de las zonas donde se asientan los complejos y las comunidades mineras.

Hay que considerar que la actividad minera no solo produce un impacto ambiental sobre el medio ambiente, también produce lo que se denomina Impacto Socioeconómico, es decir, una alteración sobre los modos de vida y la economía de la región en la que se implanta, que pueden ser en unos casos positivos y en otros, negativos. (Higuera y Oyarzun 2006).

Dos aspectos son notables cuando se comparan las políticas implementadas en países desarrollados con las de los países en desarrollo, ellos son, la existencia de mecanismos institucionales que tienen como objetivo garantizar los recursos financieros para la ejecución del proyecto de recuperación y la participación de la comunidad en el proceso de decisión sobre el destino futuro de las áreas degradadas. Estos aspectos son comunes en países desarrollados y raramente se encuentran en los países en desarrollo.

La región Matahambre-Santa Lucía ha sido durante años objeto de una explotación minera intensiva ocasionando consecuencias nefastas al medio ambiente; en sus inicios, el Yacimiento Matahambre y posteriormente las industrias como Planta Sulfometales, la mina y planta de procesamiento "Oro Castellano" y el Yacimiento Santa Lucía. Este último, inicialmente como un socavón y posteriormente como cantera. A esto es necesario adicionar el efecto natural provocado por la existencia de numerosos afloramientos de mineralización sulfurosa en una gran parte de la región, los cuales bajo la acción de los agentes meteorizantes provocan la removilización de numerosos elementos contaminantes que pasan a las aguas, al suelo, a la vegetación, la fauna y el aire. (Martínez, 2005).

Las mayores afectaciones al medio han sido ocasionadas por la apertura y explotación de las menas sulfurosas del flanco Este del yacimiento Santa Lucía, operación que se desarrolló durante 20 años para la obtención de la pirita ( $\text{FeS}_2$ ) rica en azufre que se autocombustionaba al ponerse en contacto con el oxígeno y aún no se han tomado las medidas de protección y cierre necesarias. La explotación del sombrero de hierro del yacimiento Castellano desde mediados del '90 del pasado siglo, aun perdura y es junto a la cantera de Santa Lucía y la planta de Sulfometales, generadores de drenaje ácido, fuentes contaminantes por metales pesados en suelos, aguas terrestres, marinas, sedimentos y afectaciones a la comunidad.

Según CESIGMA, (2007) que es un autor consultado en las referencias bibliográficas, se reportan que los principales impactos ambientales generados por estas actividades como son: Deforestación, desbroce y minado, generación de aguas ácidas en zonas de canteras y escombreras, manipulación del cianuro y otros.

Con el propósito de lograr la definición clara y precisa de la situación ambiental actual y de las futuras áreas de influencia de la explotación, es necesario evaluar los problemas ambientales derivados de las acciones del Proyecto de explotación Planta "Oro Castellanos", y la Cantera de Santa Lucía, así como los relativos a otras actividades económicas desarrolladas en el área de explotación y su zona de influencia, principalmente en las áreas donde los impactos ambientales actuales, relativos a éstas actividades, se superponen con los potenciales de la futura explotación; así como los relativos a la rehabilitación minera, las posibles áreas de servicios, los caminos mineros y accesos, facilidades para la planta de procesamiento, disposición, tratamiento de residuales y otras actividades complementarias.

Sin embargo, los estudios precedentes no abarcaron todos los elementos de la diversidad biológica fuertemente afectados por la actividad minero \_ metalúrgica. Por lo que, constituye un imperativo desarrollar investigaciones que deriven en el diseño de Planes de Acción y Monitoreo que contribuyan a disminuir los impactos ambientales provocados a estos indicadores y su influencia en la comunidad.

En Santa Lucía se explotan las áreas minero - metalúrgicas para la extracción de diversos valores metálicos sin la implementación de adecuadas acciones que permitan mitigar los impactos ambientales generados a corto o mediano plazo, los cuales agravan la situación socio ambiental de la zona. Es por ello que se presenta el siguiente *problema*: El deterioro ambiental en la localidad Santa Lucía provocada por la actividad minero \_ metalúrgica. El *objetivo general* que se define es: Establecer el plan de acción que permita mitigar los impactos generados por las actividades minero - metalúrgicas y su interacción con la localidad Santa Lucía.

Se constata que los estudios precedentes realizados en la región tanto investigaciones científicas desarrolladas como estudios de línea base no se evaluaron el grado de afectación de los elementos de la diversidad biológica por las actividades minero- metalúrgicas, constituyendo un imperativo desarrollar investigaciones que deriven en el diseño de Planes de Acción y Monitoreo que contribuyan a disminuir los impactos ambientales provocado al ecosistema.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de la región que comprende el depósito de "San Lucía" y "Castellanos" se seleccionaron todas de forma puntual en diferentes lugares con sus correspondiente coordenadas de localización y en época de seca (Abril), de acuerdo además a las características visibles de contaminación que se observaron. Durante la selección de las mismas se tuvo en cuenta las experiencias de muestreo de otros investigadores realizadas en la mena. Durante la investigación se emplearon muestras de aguas y de sedimentos para la determinación de la acidez y análisis químico - físicos de cada muestra, además de realizar otros análisis especiales que permitieron el empleo del método gráfico para la valoración de los resultados.

Se realizaron registros difractométricos para conocer las características minerográficas de los minerales presentes en las muestras de menas polimetálicas, se determinaron a través de secciones pulidas confeccionadas en el CIPIMM, donde fueron analizadas en el microscopio polarizador JENAPOL acoplada con la videocámara SONY, modelo SSC-C 370 e interfase YS- W150, utilizando para ello el analizador de imágenes y el software DIGIPAT para el análisis de los resultados obtenidos.

A Las muestras se les realizó además la observación microestructural en un Microscopio Electrónico de Barrido, la composición química elemental puntual se analizó mediante una microsonda dispersiva en energía (EDAX). Se empleó un Espectrómetro de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES) modelo Spectroflame de la firma SPECTRO de Alemania para los análisis químicos de elementos mayoritarios.

Para la determinación de la estabilidad de las especies vegetales se siguieron los criterios de la Lista Roja de la Flora Vasculare Cubana de Berazaín et al. (2005); así como, el Libro Rojo de la Flora Vasculare Amenazada de la Provincia de Pinar del Río (Urquiola et al. 2010). Las bases cartográficas utilizadas fueron a escala 1:25 000 y 1:10 000 para la ubicación del área en marco regional y empleado para la presentación final de los trabajos.

Durante los trabajos de campo, para la descripción de los puntos se aplicó el método geológico de itinerarios irregulares por el área. Durante el recorrido se tomaron fotos con cámara fotográfica digital Sony Caber-shot 2.0 mega píxel. Para la identificación y Evaluación de los Impactos ambientales provocadas por las

acciones del proyecto del medio ambiente se aplicó la Matriz de Leopold y se definieron los siguientes pasos:

- Identificación de las acciones relevantes de la actividad según las etapas del proyecto (Ejecución, explotación y abandono).
- Identificación de los impactos ambientales producidos por el proyecto sobre cada una de las variables ambientales impactadas.

Los resultados de la identificación y valoración de los impactos ambientales se exponen mediante matrices de identificación y calificación de impactos ambientales. Particularmente, las acciones del estudio con los impactos identificados en cada componente ambiental, la valoración de los impactos, teniendo en cuenta la evaluación multicriterio y la relación cuantitativa que existe entre las acciones impactantes según las etapas del proyecto y los impactos ambientales negativos para las diferentes variables del medio.

Además para complementar la investigación sobre los Impacto Ambiental provocado por la actividad de explotación de los yacimientos estudiados, se empleó el procedimiento establecido en la Política Ambiental Cubana para los Procesos de Evaluación de Impacto Ambiental.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Teniendo en cuenta la metodología utilizada para la identificación y evaluación de los impactos ambientales generados en los yacimientos Santa Lucía y Castellano se identificaron las acciones del estudio según las etapas previstas y se determinaron los impactos ambientales sobre cada una de las variables. Los impactos ambientales fueron evaluados mediante matrices de identificación y calificación.

*Impactos ambientales durante el desarrollo del proyecto.*

*Etapas de ejecución:*

1. Pérdida de la cobertura vegetal por el desbroce realizado por el destape de la mena y por la creación de vías de acceso.
2. Alteración del macizo rocoso debido al destape.
3. Pérdida de la vegetación autóctona y alteraciones de la fauna por las acciones del desmonte.

4. Incremento de los procesos erosivos debido al destape del área.
5. Cambios morfológicos del lugar debido a los movimientos de tierra.
6. Creación de taludes artificiales por los cortes realizados al relieve natural.
7. Compactación de los suelos originado por el movimiento de maquinaria pesada.
8. Contaminación atmosférica debido al aumento de las emisiones de gases y polvo.
9. Contaminación sonora.
10. Contaminación de las aguas superficiales y suelos por vertimientos accidentales de lubricantes y combustibles.
11. Acidificación de las aguas del área de explotación por oxidación de los sulfuros.
12. Modificación del escurrimiento superficial.
13. Contaminación de las aguas y suelos por la lixiviación de metales pesados.
14. Contaminación atmosférica debido al piroforismo de la pirita y la generación de lluvias ácidas.
15. Modificación del paisaje.
16. Generación de nuevas fuentes de empleo.
17. Alteraciones en el modo de vida de los pobladores (tráfico, ruidos, polvo, etc.).

*Etapas de Explotación:*

18. Alteración de la estabilidad estructural del macizo rocoso debido a la perforación y empleo de voladuras.
19. Compactación de los suelos originado por el movimiento de maquinaria pesada.
20. Incremento de la contaminación sonora por empleo de voladuras.
21. Contaminación atmosférica debido al aumento de las emisiones de gases y polvo.



22. Alteraciones al hábitat de la fauna y afectaciones a la vegetación.
23. Contaminación de las aguas y suelos por la lixiviación de metales pesados
24. Contaminación de las aguas superficiales y suelos por vertidos accidentales de lubricantes y combustibles.
25. Acidificación de las aguas del área de explotación por oxidación de los sulfuros.
26. Incremento de los procesos erosivos por el desmonte y desbroce del área.
27. Incremento en los cambios morfológicos del relieve.
28. Modificación de escurrimiento superficial por la conformación de la excavación y ubicación de escombreras.
29. Contaminación atmosférica debido a la autocombustión de la pirita.
30. Generación de lluvias ácidas.
31. Aumento de transporte.
32. Empleo de la materia prima para la fabricación de ácido sulfúrico y metal Doré.

*Etapas de abandono:*

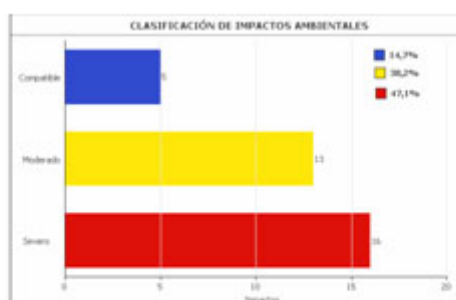
33. Afectación a los pobladores por la reducción de la oferta de trabajo.
34. Abandono de equipos o partes de éstos e instalaciones deterioradas por falta de uso, representando una pérdida económica para el país.
35. Creación de depósitos de escombros.
36. Contaminación atmosférica debido al piroforismo de los sulfuros (SO, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>).
37. Preocupación por la interrupción y reubicación de empleo al cesar las labores de explotación.

A través de la matriz de identificación se describen los impactos ambientales evaluados, donde se relacionan las acciones acometidas en las diferentes etapas del proyecto y como estos actúan en cada uno de los indicadores ambientales. De los

37 impactos ambientales identificados en la investigación, tres son de carácter positivo y 34 negativos.

Los impactos ambientales evaluados se reportan mayoritariamente en las etapas de ejecución y explotación, fundamentalmente, en las variables geología y geomorfología; así como, el paisaje y la hidrología. La calificación se obtiene a partir de la metodología de evolución multicriterio (Conesa, 1995).

De los 34 impactos negativos, 16 se clasifican como severos (1, 3, 4, 8, 13, 14, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 35, 36), representando el 47,1 %, 13 son moderados, (2, 5, 6, 7, 11, 12, 15, 17, 18, 19, 28, 33, 37) para un 38,2 % y cinco son compatibles, (9, 10, 20, 24, 34) para un 14,7 %, lo cual indica el grado de incidencia del proyecto en las condiciones medioambientales del área como se muestra en la *Figura 1*.



**Figura 1.** Clasificación de acuerdo a su importancia.

Como se aprecia, más de 47% de los impactos generados son clasificados como severos, lo cual corrobora los análisis realizados en la literatura especializada sobre los efectos ambientales negativos asociados a la actividad minero \_ metalúrgica a nivel internacional. En tal sentido, los planes de acción que se adopten por las entidades productivas tendrán necesariamente que tener en cuenta la magnitud de los impactos en las variables afectadas.

Para la *etapa de ejecución* se describen un total de 17 impactos, 16 son de carácter negativo para el medio ambiente y uno de carácter positivo. De los 16 negativos, resalta que cuatro son de intensidad muy alta, nueve ocupan áreas extensas del área explotada, cinco son muy sinérgicos. Al mismo tiempo, 12 de los 17 impactos reportados en esta etapa, tendrán una permanencia del impacto por más de 10 años en el entorno. Vale destacar que, tres son irrecuperables, seis de carácter severo y ocho clasifican como moderados.

Para la *etapa de explotación* se identificaron un total de 16 impactos, de ellos 14 son de carácter negativo y solo dos son positivos. De los negativos, nueve tienen un grado de afectación muy intenso y cinco con carácter de la intensidad alto, dos son de extensión total y seis medianamente extensos. Al mismo tiempo, diez son de carácter permanente y siete son temporales. Sin embargo, tres son de carácter irrecuperable, y siete son irreversibles es decir que perdurarán por mas de diez años.

Para la *etapa de abandono* se identificaron un total de cuatro impactos ambientales todos negativos, dos con intensidad muy alta, es decir con un severo grado de afectación ocupando extensas áreas del yacimiento. De estos uno posee una persistencia permanente y otro temporal, uno es irrecuperable y dos son mitigables. Al mismo tiempo, dos son irreversibles por más de 10 años, de ellos dos son severos. Estos resultados se corresponden con los estudios reportados anteriormente los cuales identifican cuatro factores principales asociados al impacto ambiental provocado por cualquier actividad minera, tales como: tamaño de la explotación, localización, métodos de explotación y características de los minerales y de su beneficio. Como se ha constatado en los estudios realizados, el estado actual del medio ambiente está dado por la relación entre las actividades socioeconómicas (actividad minera) que se realizan en un territorio, la aptitud funcional de ese territorio y la armonía que se logre en el uso del mismo. De ahí que, es la resultante de la forma, magnitud, intensidad y duración de la interrelación sociedad-naturaleza y se manifiesta a través de los impactos ambientales, lo cual se ha comprobado en la evaluación de estos impactos provocados por la actividad minera metalúrgica en la localidad de Santa Lucía.

La Matriz de Evaluación Impactos Ambientales Negativos permite apreciar que las acciones más impactantes según la etapa de ejecución fueron el desmonte del área, desbroce y movimiento de tierra; así como, el movimiento de maquinaria pesada. En la etapa de explotación las acciones más impactantes fueron, perforación con barrenos, voladuras, extracción del material rocoso y en la etapa de abandono corresponden con el vertido de residuos sólidos y abandono de la cantera e infraestructuras.

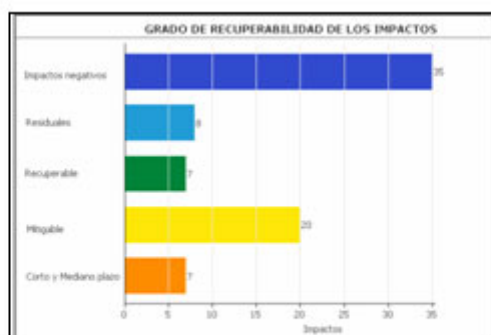
Estas acciones conllevan a la realización de cambios profundos en los ecosistemas del lugar, teniendo en cuenta que el impacto que se genere a una de las variables condiciona la afectación de otra variable vulnerable. Las variables ambientales más afectadas en este orden son: Geología y Geomorfología, Hidrogeología, suelo,

atmósfera, el medio socioeconómico, paisaje, fauna y la vegetación, en este orden como se muestra en la *Figura 2*.



**Figura 2.** Magnitud de los impactos Ambientales en las variables analizadas.

Vale destacar que de los 34 impactos negativos, de ellos ocho son considerados residuales, siete son irrecuperables y los restantes 20 son mitigables con la implementación de medidas correctoras. El resto de los impactos negativos son recuperables a corto o mediano plazo según se reporta en la *Figura 3*.



**Figura 3.** Impactos negativos, recuperables y residuales a corto y mediano plazo.

Del análisis anterior se infiere que los *impactos irrecuperables* son:

*Impacto \_ 3:* Pérdida de la vegetación autóctona y alteración de la fauna debido a las acciones de desmonte (etapa de ejecución).

*Impactos \_ 8 y 21:* Contaminación atmosférica debido al aumento de las emisiones de gases y polvo (etapa ejecución).

*Impactos \_ 14, 29 y 36:* Contaminación atmosférica debido a la autocombustión de la piritita (etapa de ejecución, etapa explotación y etapa de abandono).

*Impacto \_ 27: Incremento en los cambios morfológicos del relieve (etapa explotación).*

Al mismo tiempo de los 34 impactos negativos, son identificados 20 como mitigables, los que se relacionan a continuación:

1- Pérdida de la cobertura vegetal por el desbroce realizado por el destape de la mena y por la creación de vías de acceso.

2- Alteración del macizo rocoso debido al destape.

5- Cambios morfológicos del lugar debido a los movimientos de tierra.

6- Creación de taludes artificiales por los cortes realizados al relieve natural

7-19- Compactación de los suelos originado por el movimiento de maquinaria pesada.

13-23- Contaminación del suelo por lixiviación de elementos con altos contenidos de metales.

15- Modificación del paisaje

9-20 - Incremento de la contaminación sónica por empleo de voladuras.

22- Alteraciones al hábitat de la fauna y afectaciones a la vegetación.

10-24- Contaminación de las aguas superficiales y suelos por vertidos accidentales de lubricantes y combustibles.

4-26- Incremento de los procesos erosivos por el desmonte y desbroce del área.

12-28- Modificación de escurrimiento superficial por la conformación de la excavación y ubicación de escombreras.

35- Creación de depósitos de escombros.

37- Preocupación por la interrupción y cambio de empleo al cesar las labores de explotación.

Los impactos residuales (11, 18, 25, 30) son aquellos, que tras la fase de diseño y aplicación de medidas correctoras, persisten de forma total o parcial, por cualquiera de los siguientes motivos:

- Carecen de medidas correctoras.
- Las medidas correctoras aplicadas la mitigan parcialmente.
- No alcanzan el umbral suficiente para ser consideradas en la fase de medidas correctoras.

Según la matriz de evaluación de acciones e impactos ambientales negativos, se aprecia que las acciones más impactantes en la etapa de ejecución se corresponden con el desbroce y movimiento de tierra, la creación de accesos al área, y el desmonte del área, en la etapa de explotación las acciones que sobresalen son la extracción del material rocoso, la voladura, y la carga y transporte del material, por ultimo ocurre el abandono de la cantera e infraestructura. A continuación se realiza una valoración de los efectos de cada impacto ambiental sobre cada una de las variables afectadas.

El relieve de la zona donde se realizó la explotación minera es elevado, actualmente se encuentra antropizado producto de las extracciones mineras en la mina "Santa Lucía" que se han venido realizando desde 1979 y 1993 respectivamente. Presenta además fuertes variaciones del relieve de 50 m, con cotas máximas de 135 m.

Los suelos presentan contaminación por metales disueltos como resultado de la contaminación por las aguas ácidas que los drenan y que provienen de los laboreos mineros y gases emanados del proceso de minería y los procesos hidrometalúrgicos y de fundición.

El drenaje de las corrientes superficiales ha sido modificado debido a diferentes causas todas ellas asociadas con la explotación minera antecedente. Construcción de micropresas, caminos de acceso, construcción de obras civiles (alcantarillas), incorporación de corrientes/drenajes de escombreras y coleras, relleno de cauces por sedimentos, etc.

Las aguas superficiales muestran valores del pH (ácidos), en las corrientes que drenan escombreras, áreas con depósitos de cola y excavaciones o canteras de extracción de mineral. Los valores de oxígeno disuelto obtenidos no reflejan la existencia de condiciones anóxicas. Los valores mínimos observados de turbidez se corresponden con drenajes ácidos de los residuos sólidos (coleras) o de la cantera y con el efluente del manantial de abasto.

Además se manifiesta la disminución en los contenidos de  $\text{Fe}^{2+}$  (FeO) de las muestras analizadas en los diferentes puntos de muestreo y cercanos a la mena primaria, que indican la ocurrencia de procesos de Drenaje Acido de Mina a partir de la reacción de lixiviación del sulfuro de hierro II; pirita ( $\text{FeS}_2$ ). Sin embargo, al analizar las muestras de sales a la salida del socavón, se constata como el contenido de FeO se eleva de forma significativa y alcanza un valor máximo del 20,69% y de forma análoga se incrementa también la Pérdida por Ignición (PPI) de los componentes volátiles fundamentales:  $\text{SO}_3$ ;  $\text{H}_2\text{O}^+$ . Del mismo modo para el óxido de ZnO (5,01%) se obtuvo un valor anómalo, que resultó ser elevado, lo que evidencia sin dudas la probable formación (in situ) de una nueva fase, quizás de diferente naturaleza al resto de los minerales que comúnmente se reportan en estas rocas y sedimentos, hecho que se confirma en la coloración amarillo-verdosa que presenta la misma.

Como confirmación a lo expuesto, *Cañete (2008)* reportan en muestras de sedimentos colectados a lo largo de la cuenca del río Santa Lucía y La Palma, valores anómalos de los contaminantes: Fe, Zn y Pb, deben ser comparados con los límites máximos permisibles que se establecen en la Norma Cubana NC-521:2007 correspondiente y que fueron los siguientes: Fe (0.9-7.3 mg/l) y Zn (18,0 - 481,0 mg/l) y Pb (231,0 - 7,408 mg/l) respectivamente. Dichos autores detectaron también, altos contenidos de Bario (Ba) en los sedimentos de los dos ríos analizados, que deben ser provocados por los procesos físico-mecánicos de arrastre del mineral barita desde la mena primaria hasta el río "Santa Lucía", mineral que resulta además insoluble en agua ( $k_{ps} = 1,08 \cdot 10^{-10}$ ; 25 °C), lo que justifica entonces los valores anómalos de Ba presentes en los sedimentos de los ríos de la zona estudiados por los autores de referencia. De forma análoga en las muestras se observó el mismo comportamiento en relación con el elemento Bario.

De estos resultados se aprecia que en las muestras de residuales líquidos que proceden de las escorrentías y aguas de río analizadas de los pasivos mineros de "Santa Lucía", "Castellanos", se corroboran los resultados obtenidos en investigaciones anteriores, con valores de concentración (en mg/l) de S, Zn, Pb y Ba todos por encima de los niveles máximos que establecen las normas ambientales correspondientes para aguas, dado los procesos drenaje ácido que confirman el severo deterioro ambiental actual y progresivo de la región.

Además, en los residuales sólidos que se analizaron, las principales asociaciones mineralógicas presentes en los elementos contaminantes fueron las siguientes: *pirita, esfalerita (entrecrecida con cuarzo), galena, melanterita y azufre elemental,*

*sulfatos complejos del grupo de la jarosita (plumbo y natrojarosita), szomolnokita y copiapita para el caso del elemento azufre, las que constituyen las principales fases que elevan la acidez de las aguas de las escorrentías (por presencia de ácido sulfúrico) debido a los procesos drenaje ácido. Para el contaminante Zn (la esfalerita y melanterita) fueron sus principales asociaciones minerales, mientras que para el Ba lo fue el sulfato barita (insoluble en agua); así como, para el Pb las fases minerales en asociación fueron la plumbojarosita y galena.*

Como se demuestra en el estudio todos estos procesos inciden directamente en la comunidad y falicitan la perdida de calidad de vida de la misma, por tanto urge realizar acciones para mitigar los impactos ambientales generados con estos procesos mineros metalúrgicos.

*Plan de Acción para mitigar los impactos ambientales negativos generado por la actividad minero - metalúrgica en Santa Lucía.*

La actividad minera, como una de las actividades que el hombre realiza para su subsistencia y desarrollo, crea alteraciones en el medio natural, desde las más imperceptibles hasta las que representan claros impactos sobre el medio en que se perciben. Esto permite definir el impacto ambiental de una actividad como la diferencia existente en el medio natural entre el momento en que la actividad comienza, el momento en que la actividad se desarrolla, y, sobre todo, el momento en que cesa.

Objetivo del plan de acción:

El objetivo del Plan de Acción es lograr la recuperación del área degradada, teniendo en cuenta los resultados derivados de los análisis de campo, los proyectos de explotación, los criterios aportados por la población local y su compatibilidad con las condiciones del entorno.

Para cumplir con el objetivo de la recuperación del área afectada, los planes de uso del suelo post-minería considera el ambiente natural y cultural de la región, buscando garantizar la estabilidad del ambiente y el desarrollo económico sustentable, presuponiendo resultados a ser obtenidos a mediano y largo plazos.

El Plan de Acción para mitigar los impactos ambientales generados por la actividad minero \_ metalúrgica en Santa Lucía, define 70 acciones o medidas correctoras a partir de los impactos ambientales identificados. Las acciones definidas, están condicionadas a los factores siguientes: grado de afectaciones provocadas sobre



cada variable, disponibilidad técnica, economía, clima, cantidad de área afectada, etc.; determinado a partir de la caracterización de los procesos del medio físico actuantes en el medio degradado (erosión, deposición de sedimentos, deslizamientos, caída de bloques, colapsos del suelo, cambio de escurrimiento en las aguas superficiales, inundaciones, grado de contaminación de las aguas, suelos y vegetación, etc.). Para el yacimiento Polimetálico Santa Lucía, se propone la recuperación del área, concibiéndose dos acciones básicas;

Acciones de corrección de la degradación: Comprende la implementación de medidas necesarias para restablecer el equilibrio o estabilidad del medio técnico que actualmente presenta el paisaje del área minera Polimetálica Santa Lucía.

En la actualidad esta área se encuentra dentro de los nuevos proyectos mineros para la extracción de Plomo y Zinc, pero es muy importante realizar las medidas de mitigación derivadas del plan de acción para impedir que aumente la contaminación o aumente la misma fundamentalmente las el sellaje del socavón en la cantara Santa Lucía, con el objetivo de disminuir el drenaje ácido de minas y así mitigar la contaminación de aguas y suelo por metales pesados. Realizar la reforestación del área con algunas de las siguientes especies: *Pinus caribaea*, *Pinus tropicalis*, *Quercus oleoides* Subs. *sagraeana* (encino), *Oxandra lanceolata* (yaba), *Lonchocarpus domingensis* (guama), *Spondias mombin* (jobo), *Crysophyllum caimito* (caimito).

*Plan de Monitoreo para el control de la implementación del Plan de Acción.*

Se propone la realización de un monitoreo de la efectividad del Plan de Acción definido para mitigar los impactos ambientales identificados sobre las diferentes variables ambientales analizadas. objetivos fundamentales del plan son: Controlar el cumplimiento de las medidas propuestas en el Plan de Acción, detectar la efectividad de las medidas y condicionales propuestas, o la ocurrencia de impactos no previstos, de forma tal que se propongan nuevas medidas en caso de ser necesario, mantener el control de las variables físico-químicas de las aguas superficiales, subterráneas y marinas, mantener el control de los niveles de contaminantes en la atmósfera mediante un sistema de vigilancia en puntos seleccionados, mantener el control de la calidad del agua y los niveles de gasto sólido, como índice de erosión, en los cuerpos receptores y las corrientes superficiales principales que drenan el área afectada.

## CONCLUSIONES

Según la Matriz de Leopold se identificaron un total de 37 impactos ambientales, de ellos, tres son de carácter positivo y 34 negativos. De los impactos negativos, diez clasifican como severos, representando el 47,7 %. Se determinó que en orden ascendente las variables ambientales más afectadas son: *vegetación, fauna, paisaje, medio socio-económico, suelo, hidrogeología, geología y geomorfología.*

Del Plan de Acción definido, se determinaron las 70 acciones de mayor impacto, por cada etapa los proyectos en los yacimientos Santa Lucía y Castellanos, con el período de recuperación de cada acción en función de los impactos ambientales determinados.

Asociado al Plan de Acción para la mitigación de los impactos ambientales generados por la actividad minero \_ metalúrgica en Santa Lucía, se diseñó un Plan de Monitoreo capaz de mantener una adecuada actualización sobre las diferentes variables ambientales analizadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Berazaín. R. F., Areces Lazcano, J. C., Lara, y González Torres, L. R. (2005). Lista roja de la flora vascular cubana. Documento 4. Jardín Botánico Atlántico, Gijón.

Capote, R. P. y Berazaín, R. F. (1984). Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba. Rev. Jardín Bot. Nac. 5(2), pp. 27-75

Cañete, C. (2008). Rehabilitación de terrenos afectados por la minería de una Empresa de la industria Cubana del Níquel. Oficina Nacional de Recursos minerales. La Habana, 2 p. <http://www.geocie.htm>

CESIGMA. (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, Cuba.

Conesa, V. (1995). Guías metodológicas para la evaluación de impacto ambiental. Madrid. pp 290.

Martínez, M. (2005). Caracterización de las fuentes contaminantes y zonas de riesgos en la región minera Santa Lucía \_ Matahambre. Tesis en Opción al Título Académico de Máster en geología. Pinar del Río. Universidad Hnos. Saíz Montes de Oca.

Norma Cubana NC-521:2007 Vertimiento de las aguas residuales a la zona costera. Especificaciones.

Samek, V. (1973). Regiones fito-geográficas de Cuba. Servicio Forestal, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, No 15, 50pp.

Urquiola, A.J; Novo, R. y Palacios, M.E. (2010). Libro Rojo de la Flora Vasculare Amenazada de la Provincia de Pinar del Río.

Aceptado: marzo 2012

Aprobado: marzo 2013

*Ing. Damaris Gallardo Martínez.* Delegación Territorial CITMA. Cuba. Calle Colon 106, Pinar del Río, Cuba, Correo electrónico: [dgm@uma.vega.inf.cu](mailto:dgm@uma.vega.inf.cu) Teléfono: 752232, 754525.