

PROPUESTA DE REHABILITACIÓN AMBIENTAL

DE LA EX METABOL - ORURO

Dr. Ing. Gerardo Zamora Echenique¹

Dr.- Ing. Josep Mata Parelló²

Ing. Andrea Vargas Elio³

¹ Universidad Técnica de Oruro, Ciudad Universitaria – Departamento de Metalurgia. Tel: (252) 61046

e-mail: gerardozamoraechenique@yahoo.es

² Dep. Ing. Minera y Recursos Naturales de la UPC. Bases de Manresa 61 – 73. 08242 MANRESA (Catalunya, España) - e-

mail: rocpetrus@gmail.com

³ Consultora ambiental. e-mail: andreavargas@hotmail.com

Resumen

Como consecuencia de la actividad minera y también minero-industrial, en la mayoría de los países quedaron numerosas minas e instalaciones en estado de abandono sin que muchas de ellas se hayan sometido a un proceso adecuado de cierre; lo que ha significado que, en la actualidad haya numerosos lugares en los que se presentan escenarios de riesgo para la seguridad y salud de las personas y para el medio ambiente.

La Ex – METABOL, segunda fundidora en Bolivia, es en la actualidad un pasivo ambiental dentro de la urbe orureña; dicho predio, se pretende utilizar con fines de uso académico por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Técnica de Oruro; por lo que, se hace necesario realizar un estudio de remediación y rehabilitación. La metodología empleada se basa en el análisis y diagnóstico medioambiental de los factores ambientales en la planta Ex – METABOL; la identificación de los impactos, riesgos y medidas correctoras, para finalmente presentar una propuesta técnica, económica y medioambiental para la remediación y rehabilitación de dichos predios.

En la investigación se determinó que los factores ambientales más afectados son: suelo (características edáficas y compactación), flora (cubierta vegetal, vegetación y flora terrestre) y paisaje, debido a los impactos de la industria metalúrgica. Es por eso que la propuesta de remediación se centró en medidas como: Traslado de las arenas residuales para reutilización en la Empresa Metalúrgica Vinto (EMV); reciclaje de la chatarra existente; creación de zonas verdes protegiendo a las especies encontradas; promoción y desarrollo de actividades de turismo utilizando los sitios de deposición de las escorias, instalaciones y maquinaria antigua; y finalmente, la fitoremediación de los suelos contaminados. Los ingresos por venta de chatarra y de arenas de hornos, permitirá un ingreso de 11632,55 \$us; mientras que la implementación de las medidas de remediación tendrá un costo de 327041,48 \$us.

Palabras claves: Pasivo ambiental, impactos, remediación, METABOL

Abstract

As a result of mining and mining-industrial, in most countries numerous mines and facilities have been abandoned without that many of them have undergone proper closure process remained; which it has meant that currently has numerous places where risk scenarios for the safety and health of people and the environment are presented.

The Ex - METABOL, second smelter in Bolivia, is now an environmental liability within the orureña city; that property, is to be used for the purpose of academic use by the Faculty of Architecture and Urbanism of the Technical University of Oruro; therefore, it is necessary to conduct a study of remediation and rehabilitation. The methodology is based on analysis and environmental diagnosis of environmental factors on the ground Ex - METABOL; the identification of impacts, risks and corrective measures, to finally present a technical, economic and environmental proposal for remediation and rehabilitation of these properties.

In the investigation it was determined that environmental factors affected are: soil (soil characteristics and compaction), flora (vegetation cover, vegetation and terrestrial flora) and landscape, due to the impacts of the metallurgical industry. That is why the proposal focused on remedial measures such as: Transfer of waste sand for reuse in Vinto Metallurgical Company (EMV); existing recycling scrap metal; greening protecting the species found; promotion and development of tourism activities using sites of deposition of slag, facilities and old machinery; and finally, the phytoremediation of contaminated soils. Revenues from the sale of scrap and furnace sand, allow an income of US \$ 11,632.55; while the implementation of remediation measures will cost \$ 327041.48 us.

Keywords: environmental liabilities, impacts, remediation, METABOL

1. introducción

Oruro se encuentra dentro de los departamentos que cuenta con pasivos ambientales que contienen residuos de procesos metalúrgicos o de la extracción minera con concentraciones disponibles de metales pesados como plomo, arsénico, cadmio, zinc, cobre, hierro y otros, que pueden ser dañinos para la salud de la población aledaña y los ecosistemas cercanos.

Para la disminución y/ o eliminación del efecto negativo sobre los factores ambientales de estos pasivos ambientales, se ha optado por la remediación y/o rehabilitación ambiental como una alternativa interesante para mitigar los impactos generados. Para esto se necesita realizar un diagnóstico de la calidad ambiental del lugar; y así, obtener la información necesaria sobre los impactos, la intensidad y la importancia de los mismos; y de acuerdo a estos, definir medidas correctoras para el lugar de estudio y determinar si el sitio puede ser utilizado como áreas de recreación, turismo, educación, viviendas, etc.

En el siguiente trabajo se ha considerado como objeto de estudio la planta metalúrgica de EXMETABOL que se instaló en las afueras de la ciudad de Oruro; que era una fundición de plomo, plata, antimonio y estaño. Desde hace más de 35 años atrás, esta planta finalizó con sus operaciones y al no haber ejecutado un plan de cierre, se dejó un “pasivo ambiental metalúrgico” ubicado en la zona sudeste de la urbe de Oruro, y que en la actualidad se encuentra dentro de lo que es el área urbana. Partes de la maquinaria están todavía en el terreno; además de construcciones antiguas y en desuso; chatarra oxidada y montes de escoria que se generaban como producto del proceso, además de algunos residuos como polvos del proceso metalúrgico, y otros.

El año 2012, por gestiones realizadas por autoridades facultativas y universitarias, se otorgó los predios de esta antigua planta a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Técnica de Oruro. La extensión es de 4 hectáreas, y antes de proceder a la construcción de las instalaciones de la facultad, es necesario realizar un programa de remediación ambiental del sitio, a partir de un diagnóstico ambiental que permita determinar la posible presencia de contaminantes; para luego, proponer medidas de remediación ambiental a objeto de eliminar posibles riesgos a la salud de los estudiantes que ocupen dichos predios rehabilitados.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación, se circunscribe a realizar una propuesta técnica, económica y ambiental de remediación ambiental para esta ex planta metalúrgica con fines de uso académico de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Técnica de Oruro.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

El objetivo general del presente trabajo de investigación es el de generar una propuesta técnica, económica y ambiental de remediación y rehabilitación de los predios de la planta Ex METABOL – Oruro con fines de uso académico por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Técnica de Oruro.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico y caracterización del estado actual e idoneidad de los factores ambientales suelo, agua, aire y paisaje de los predios de la planta de la Ex METABOL para su uso como predio académico.
- Analizar y evaluar *los impactos sobre los factores ambientales* en los predios de la ex planta de fundición METABOL y sus riesgos para la salud humana en caso de su uso con fines académicos.
- Establecer una propuesta técnica, económica y ambiental de remediación y rehabilitación de los predios de la planta de la ex METABOL con fines de uso académico del predio.

2.3 Objeto de Investigación

El presente trabajo tiene como objeto de estudio la remediación adecuada de los predios de la Ex – METABOL, que en la actualidad es un pasivo ambiental que se encuentra dentro de la urbe orureña (detrás del cementerio general, Calle E y Calle Colon entre Sargento Froilán Tejerina y calle Kennedy).

2.4 Alcance del Trabajo de Investigación

Se tomaron muestras representativas para determinar la calidad de suelos, agua y aire a objeto de identificar los impactos ambientales generados por los pasivos dentro de las instalaciones de la planta EXMETABOL y poder presentar finalmente la propuesta técnica, económica y ambiental de remediación. También se tomaron muestras y se realizaron estudios de los ecosistemas del sitio y aledaños a fin de caracterizarlos y considerarlos como referencia en la posible rehabilitación.

Con este estudio se puede elaborar más propuestas de remediación para pasivos ambientales minero-metalúrgicos que presenten características similares en Bolivia, además de presentar alternativas de rehabilitación ecológica de terrenos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ubicación y el proceso metalúrgico de la Ex Metabol

La planta EXMETABOL, las mismas que se encuentran detrás del cementerio general. Calle E y Calle Colón entre Sargento Froilán Tejerina y calle Kennedy. Respecto a las colindancias del predio: Al Norte: Calle Colon, al sur Calle Kennedy, al este con la Calle E y al oeste con los manzanos A,B,C y D de la Urbanización Cooperativa EMO Bolívar y la Terminación de las calles 1,2,y 3. La figura siguiente muestra la ubicación del predio.

La planta de fundición “METABOL” se hallaba instalada dentro de una superficie total de 170000 m² de los cuales 4000 m² corresponden a área construida y cercada en un área de 40000 m². El proceso metalúrgico empleado permitía la obtención de Sn metálico.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis y diagnóstico de los factores medioambientales de la Ex Metabol

Los factores ambientales fueron analizados y evaluados, los resultados son los siguientes

a) Medio Biológico

Los predios de la Ex – Metabol se encuentran desde el punto de vista biogeográfico dentro de la Región Andina en la Provincia Biogeográfica Altiplánica, en el Sector Biogeográfico Norte-Altiplánico, específicamente en el Distrito Biogeográfico del Poopó y Desaguadero. (Cf. NAVARRO y MALDONADO, 2002)

Vegetación y Fauna: El Sector Norte Altiplánico tiene como vegetación potencial varios tipos de matorrales áridos.

La cobertura vegetal en los predios es abierta eso quiere decir que 10- 25% de los predios tiene cobertura vegetal, que de acuerdo a un reconocimiento visual se tienen las siguientes proporciones de las especies: Cauchi, *Suaeda foliosa* (55%); Ork’o chiji, *Distichlis humilis* (15%); Paja brava, *Festuca orthophylla* (5%); Sunchu, *Encelia canescens* (5%); K’ora, *Tarasa tenella* (7%); Thusca Thusca, *Nicotiana longiflora* y otras especies (13%).

Al identificar las áreas con remanentes de especies nativas y las especies que se encuentran en los predios se podrán tomar como medida la protección de estas especies y también se las utilizará como base para la revegetación del lugar, aumentando así la cobertura vegetal. En el lugar no se pudo observar ninguna de estas especies.

b) Medio físico

En la siguiente imagen satelital se muestra las siguientes áreas categorizadas con características similares.

a) Parámetros físicos

Los datos mostrados recopilados del SENAHMI de la estación Oruro en la provincia Cercado, de los años 1990 al 2004, demuestran que la temperatura media anual es de aproximadamente 8,2°C. La temperatura máxima puede llegar hasta los 21°C y la temperatura mínima es de - 6.4°C; por tanto, se define al clima en el sector como “árido y frío”.

Por otra parte, de los datos de precipitación se puede concluir que se tiene dos temporadas bien marcadas, la estación seca hacia el invierno y otra húmeda hacia el verano; y la humedad relativa oscila entre 56% como máxima y 38 % como mínima.

b) Calidad del Aire

Según datos recolectados por la UTO en el 2010, se tiene:

De acuerdo al monitoreo de material particulado se clasifica la zona de bajo tráfico y se considera que el PM esta dentro de lo que es el límite permisible.

c) Calidad de agua subterránea

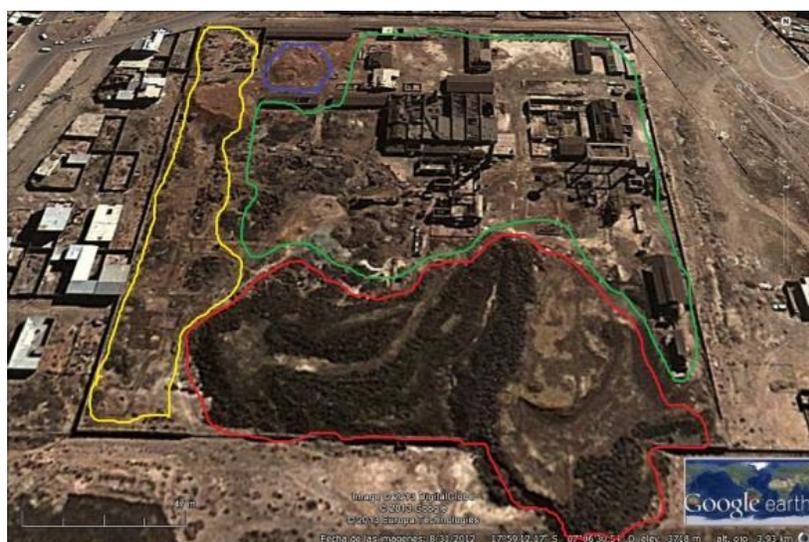
El nivel freático de la zona de estudio se encuentra a los 1,8 m. Es de suponer que la altura del nivel freático varíe sensiblemente en épocas lluviosas, saturando los suelos que actualmente se encuentran conformando la superficie topográfica en el sector.

Los análisis de la muestra de agua subterránea tomada son presentados en la tabla 2; donde se observa que los parámetros que sobrepasan los límites permisibles son los sólidos disueltos, antimonio, cadmio, cloruro y sulfatos. El origen de estos son los desechos industriales, en este caso del proceso metalúrgico.

d) Calidad de suelos

La estructura de los suelos es débil con una compactación elevada, presenta una baja porosidad que impide la infiltración del agua y su almacenamiento, que produce escurrimiento y riesgo de erosión. Se tiene bajo contenido de materia orgánica, por lo tanto existe baja retención de agua y nutrientes. En algunos sectores que se caracterizan por su textura arcillosa se encuentran costras de sal. El tipo de suelo que domina en los predios es el limo arcilloso.

FIGURA 1: CATEGORIZACIÓN DE ÁREAS SIMILARES



- Sector de escorias
- Sector de relleno de residuos mineros e infraestructura en desuso
- Arenas residuales del proceso de fusión
- Sector sin alteración

TABLA 1: VALORES MÁXIMO-PROMEDIO-MÍNIMO DE MUESTREO 7 DÍAS DE MONITOREO (12/10/11- 18/10/11)

| Punto de muestreo | Tact [°C] | t [hrs] | PMstd máx.[mg/m3] | PMstd prom[mg/m3] | PMstd min[mg/m3] | Clasificación de zona |
|----------------------|-----------|---------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| 2 = C. Universitaria | 10,07 | 23,53 | 96,94 | 41,02 | 10,46 | Bajo tráfico |

TABLA 2: EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

| Parámetro | U. | Lab. | Clase "A" | Clase "B" | Clase "C" | Clase "D" |
|----------------------------|---------|--------|------------|------------|------------|------------|
| pH | | 8,4 | 6.0 a 8,5 | 6.0 a 9.0 | 6.0 a 9.0 | 6.0 a 9.0 |
| Conductividad | µS/cm | 14720 | | | | |
| Sólidos disueltos | mg/l | 6874 | 1000 | 1000 | 1500 | 1500 |
| Antimonio (Sb) | mg/l | 0,034 | 0,01 c. Sb | 0,01 c. Sb | 0,01 c. Sb | 0,01 c. Sb |
| Arsénico (As) | mg/l | 0,008 | 0,05 c. | 0,05 c. As | 0,05 c. As | 0,05 c. As |
| Calcio (Ca) | mg/l | 89,53 | 200 | 300 | 300 | 400 |
| Cadmio (Cd) | mg/l | 0,04 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Cobre (Cu) | mg/l | <0,05 | 0,05c. Cu | 1.0c. Cu | 1.0c. Cu | 1.0c. Cu |
| Hierro (Fe) | mg/l | 0,03 | 0,3c. Fe | 0,3c. Fe | 1.0c. Fe | 1.0c. Fe |
| Magnesio (Mg) | mg/l | 27,90 | 100c. Mg | 100c. Mg | 150c. Mg | 150c. Mg |
| Mercurio (Hg) | mg/l | <0,001 | 0,001 Hg | 0,001 Hg | 0,001 Hg | 0,001 Hg |
| Plomo (Pb) | mg/l | <0,03 | 0,05c. Pb | 0,05c. Pb | 0,05c. Pb | 0,1c. Pb |
| Potasio (K) | mg/l | 4,64 | | | | |
| Sodio (Na) | mg/l | 39,40 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Zinc (Zn) | mg/l | 0,05 | 0,2c. Zn | 0,2c. Zn | 5.0c. Zn | 5.0c. Zn |
| Cloruro (Cl ⁻) | mg/l | 2118 | 250c. Cl | 300c. Cl | 350c. Cl | 400c. Cl |
| Bicarbonatos | mg/l | 471 | | | | |
| Sulfatos | mg/l | 1734,9 | 300c. SO | 400c. SO | 400c. SO | 400c. SO |
| Coliformes | UFC/100 | 0 | <50 | <1000 | <5000 | <50000 |

TABLA 3: EVALUACIÓN DE CALIDAD DE SUELO

| Elemento | Laboratorio | Concentración máxima permitida (mg/l) | Límite |
|-----------|-------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Antimonio | <0,03 | | No hay este parámetro en el RAAM |
| Plomo | 502,14 | 5 | Sobrepasa el límite de toxicidad |
| Arsénico | <0,05 | 5 | Debajo del límite permisible |

Se tomaron las muestras de suelo del lugar que se cree que tienen más deterioro de calidad ambiental y se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 3.

De los resultados obtenidos se deduce que la calidad de suelo ha sido afectado por las actividades de la industria metalúrgica; en especial, por la alta presencia de Pb; por eso que, en la propuesta de remediación se tomarán medidas para mejorar la calidad del suelo, también tratando de tener una cobertura vegetal para evitar erosión.

3.2 Caracterización de los Residuos Metalúrgicos

a) Escorias

El análisis químico de las escorias es presentado a continuación: 0,71 % Sn - 6,44 % S - 0,23 % As - 0,25 % Pb - 0,12 % Sb - 1,96 % Zn - 21,20%Fe

En base a estudios topográficos, se determinó un volumen de escoria en la Ex Empresa Metalúrgica Oro de 26830,968 m³. La densidad de la escoria determinada fue de 2,6295 g/cm³; por lo tanto, se tienen 79104,705 Tn de escoria en el predio. Una muestra de escoria fue sometida al test de toxicidad. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

TABLA 4: EVALUACIÓN DE ESCORIAS

| Elemento | Laboratorio | Concentración máxima permitida (mg/l) | Límite |
|-----------|-------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Antimonio | <0,03 | | No hay este parámetro en el RAAM |
| Plomo | 250,56 | 5 | Sobrepasa el límite de toxicidad |
| Arsénico | <0,05 | 5 | Debajo del límite de toxicidad |

De los resultados de la tabla anterior se observa que los lixiviados obtenidos sobrepasan el límite de toxicidad del plomo; sin embargo, en los otros elementos su concentración es menor.

El análisis de los otros metales pesados dio por debajo de los límites de detección del equipo de Absorción Atómica. El valor de plomo es alto, debido a que en la prueba de toxicidad realizada la escoria fue pulverizada, pero debe tomarse en cuenta que la escoria no se encuentra en estas condiciones en los predios. La escoria ha sido formada por un proceso de vitrificación y no se encuentra en partículas finas, por lo que no es un material de fácil acarreo por los vientos o que pueda ser lixiviado por las aguas de lluvia, es por eso que no se lo toma en cuenta como un riesgo ambiental o para la salud humana.

b) Arenas Residuales

Del estudio topográfico efectuado, se tiene que las arenas residuales existentes en el predio son 5175,87 m³.

TABLA 5: INFORME TÉCNICO DE VINTO

| Elemento | | % (Promedio) | Elemento | | % (Promedio) |
|-----------|------------------|--------------|----------|------------------|--------------|
| Humedad | H ₂ O | 10,45 | Hierro | Fe | 13,80 |
| Estaño | Sn | 3,78 | Zinc | Zn | 9,89 |
| Plomo | Pb | 11,81 | Azufre | S | 1,68 |
| Bismuto | Bi | 0,55 | Arsénico | As | 0,18 |
| Antimonio | Sb | 1,45 | Sílice | SiO ₂ | 37,19 |

Fuente: VINTO 2012

El estudio toxicológico de la muestra tomada, arrojo los resultados siguientes:

TABLA 6: RESULTADOS DEL TEST TOXICIDAD DE LAS ARENAS RESIDUALES

| Elemento | Laboratorio | Concentración máxima permitida (mg/l) | Límite |
|-----------|-------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Antimonio | <0,03 | | No hay este parámetro en el RAAM |
| Plomo | 10602,44 | 5 | Sobrepasa el límite de toxicidad |
| Arsénico | <0,05 | 5 | Debajo del límite de toxicidad |

Se puede observar que el valor del plomo sobrepasa el límite de toxicidad del RAAM con los otros parámetros no hay problema porque sus concentraciones son pequeñas.

No se tiene una cuantificación de los polvos metalúrgicos; pero se tomaron muestras para evaluar el grado de disponibilidad de los metales pesados presentes en base al test de toxicidad:

c) **Polvos metalúrgicos**

TABLA 7: RESULTADOS DEL TEST TOXICIDAD DE POLVOS METALÚRGICOS

| Elemento | Laboratorio | Concentración máxima permitida (mg/l) | Límite |
|-----------|-------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Antimonio | <0,03 | | No hay este parámetro en el RAAM |
| Plomo | 139,28 | 5 | Sobrepasa el límite de toxicidad |
| Arsénico | <0,05 | 5 | Debajo del límite de toxicidad |

Se puede observar que el plomo sobrepasa los límites de toxicidad estipulados por el RAAM, esto se debe a las actividades minero-metalúrgicas.

d) **Chatarras**

Según el informe de la COMIBOL se tiene este resumen:

TABLA 8: RESUMEN TOTAL DE VOLÚMENES DE ACERO EN LA EX – METABOL

| N° | Tipo de material | Cantidad (m ³) | Peso (kg) |
|---|---------------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | Estructuras de transporte | 62743 | 49990,703 |
| 2 | Horno rotatorio | 82414 | 65663,6405 |
| 3 | Primera casa de filtros | 157212 | 125259,207 |
| 4 | Segunda casa de filtros | 209839 | 167189,951 |
| 5 | Chatarra diversa | 127202 | 101348,635 |
| TOTAL VOLUMEN ESTRUCTURA Y CHATARRA DE ACERO | | 6394091 | 509451,419 |

3.3 Impactos, riesgos y medidas correctoras

a) Identificación y valoración de impactos ambientales

EN la Tabla 9 se muestra la valoración de los impactos de acuerdo a las acciones ambientales generadas por el pasivo ambiental minero- metalúrgico de la planta Ex – Metabol.

Para identificar mejor la importancia de los impactos se hizo la siguiente categorización:

TABLA 9: CATEGORIZACIÓN DE IMPACTOS POR LA IMPORTANCIA

| IMPORTANCIA | | | |
|-----------------|---------------------|---------------------|-------------|
| Irrelevante | Moderado | Severo | Crítico |
| $0 \leq I < 25$ | $25 \leq I \leq 50$ | $50 \leq I \leq 75$ | $75 \leq I$ |
| | | | |

Al realizar la evaluación total respecto a los factores ambientales los más afectados son:

- Suelo: características edáficas y compactación
- Flora: Cubierta vegetal (matorrales), vegetación y flora terrestre
- Paisaje: Medio Ambiente

Respecto a las acciones con más impactos sobre los factores se tienen:

- Modificación del hábitat
- Alteración de la cubierta de suelo
- Industria metalúrgica
- Acumulación de escorias y arenas residuales
- Depósitos de material

Por lo tanto las medidas correctoras se harán a los factores que su sumatoria sea mayor a 250; son los que necesitan medidas correctoras por ser los más alterados según la evaluación de impactos. Esperando que al realizarse un estudio posterior se produzca un resultado positivo; reducción de los valores de la tabla superior.

b) Análisis de riesgos

Como se pudo constatar en las evaluaciones el impacto más importante es la toxicidad del plomo en el suelo y en los residuos minero-metalúrgicos, lo que podría ocasionar efectos en la salud.

Otros impactos severos son la alteración del paisaje y la pérdida de cobertura vegetal, que ocasiona la erosión del suelo e influye en la fertilidad del suelo.

Se evalúa su riesgo inicial y su riesgo residual después de implementada la medida correctora, dándonos una idea del escenario que se formaría después de puestas en práctica las medidas planteadas.

4. PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS

La Facultad de Arquitectura y Urbanismo en la construcción de sus ambientes tiene que tomar en cuenta que los edificios y las obras estén vinculados con el entorno visual. Por tanto, de acuerdo a la cuantificación de los impactos y su importancia, se plantea como medidas correctoras:

- Creación de zonas verdes, donde se encuentran mayor cantidad de especies de plantas, promoviendo su protección.
- Traslado y posterior reutilización o reciclaje de la chatarra y arenas residuales.
- Promoción y desarrollo de actividades de turismo en los escoriales, instalaciones y maquinaria antigua.
- Recubrimiento de cobertura vegetal en los lugares más propensos a erosión.
- Fitoremediación en suelos contaminados.

Al llevar a cabo estas actuaciones generará los siguientes beneficios: Incremento del valor de las viviendas próximas; revalorización de los terrenos ocupados por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo; y finalmente, mejora de la calidad ambiental para el uso académico.

La siguiente imagen se puede mostrar una idea de lo que se pretende hacer dentro de los predios de la Ex – Metabol:

4.1 Manejo de las Escorias

Se ha identificado a la escoria como un residuo inerte, que no representa riesgo alguno para el medio ambiente; por lo tanto, no requiere de un tratamiento. La escoria de la Ex – Metabol contiene 0,71% Sn, que es un porcentaje muy bajo para tratarla, por lo que se propone mostrar como un atractivo turístico y educativo, para esto se acumulará todo la escoria en un solo lugar y se la exhibirá dentro de lo que llegaría a ser la ruta turística planteada.

En la siguiente figura se puede observar una tentativa de lo que vendría a ser un paseo turístico para transeúntes, este paseo sería flotante para proteger las escorias. La propuesta tiene el siguiente desglose de costos:

| | |
|---|-----------|
| Sumatoria de Áreas (m²) | 2704,6 |
| Precio por m²/\$us | 120 |
| Precio Total de edificación \$us | 324552,24 |

| MATRIZ | | ACCIONES AMBIENTALES | | | | | | | | | | | DICTAMEN | | VALORACION | | | | | |
|----------------|---|--------------------------|------------------------------------|-----------------------|--|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|----------------|--------------------|-------------------------|------------|---------------------|------------|-------------|----------|--------|---------|-------------------------------------|
| | | PASIVO AMBIENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Modificación del habitat | Alteración de la cubierta de suelo | Industria metalúrgica | Acumulación de escombras y arenas residuales | Depositos de material | Maquinaria abandonada | Infraestructura abandonada | Acumulación de chatarra | Pozos sépticos | Lermas abandonadas | Vasos inertes en desuso | EVALUACION | MEDIDAS CORRECTIVAS | | IRRELEVANTE | MODERADO | SEVERO | CRITICO | AUSENCIA DE IMPACTOS SIGNIFICATIVOS |
| | | | | | | | | | | | | | | SI | NO | | | | | |
| Atmosfera | Partículas suspendidas | 0 | 0 | -24 | -24 | -24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -12 | | X | X | | | | | |
| | Gases | 0 | 0 | -21 | -18 | -18 | 0 | 0 | 0 | -18 | 0 | -75 | | X | X | | | | | |
| | Olor | 0 | 0 | -21 | -15 | 0 | -15 | 0 | -15 | -18 | -21 | -105 | | X | X | | | | | |
| | Ruido | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | X | | | | | X | |
| Agua | Subterránea | -25 | 0 | -33 | -28 | -28 | -21 | -21 | -15 | -21 | -21 | -213 | | X | | X | | | | |
| | Superficial | 0 | -32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -15 | -47 | X | X | X | | | | | |
| | Sólidos suspendidos | 0 | 0 | -28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -24 | 0 | -52 | | X | X | | | | | |
| Suelo | Metales | -29 | 0 | -30 | -30 | -24 | -24 | -15 | -15 | -15 | 0 | -182 | | X | X | | | | | |
| | Características edáficas | -38 | -60 | -60 | -72 | -37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -37 | -344 | X | | | X | | | |
| | Compactación | -38 | -40 | -40 | -46 | -36 | -34 | -34 | -34 | 0 | 0 | -39 | -341 | X | | | X | | | |
| | Metales | -50 | -50 | -50 | -50 | -50 | -20 | -20 | -15 | 0 | 0 | -305 | X | | | X | | | | |
| | Erosión | 0 | -25 | 0 | -25 | -25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -75 | X | | X | | | | | |
| Fauna | Uso de suelo | -39 | -38 | -38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -38 | -153 | | X | X | | | | |
| | Fauna terrestre | -38 | -47 | -47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -152 | | X | X | | | | | |
| Flora | Aves | -30 | -28 | -28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -86 | | X | X | | | | | |
| | Fauna acuática | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | X | | | | | X | |
| Paisaje | Vegetación y flora terrestre | -43 | -43 | -43 | -43 | -33 | -33 | -33 | -30 | 0 | 0 | -33 | -334 | X | | | X | | | |
| | Vegetación y flora acuática | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | X | | | | | X | |
| | Cubierta vegetal (matorrales) | -43 | -43 | -43 | -43 | -33 | -33 | -33 | -30 | 0 | 0 | -33 | -334 | X | | | X | | | |
| Socioeconómico | Elementos visuales | -26 | -26 | -26 | -26 | -26 | -26 | -26 | -21 | -21 | -21 | -271 | X | | X | | | | | |
| | Medio Ambiente | -44 | -44 | -44 | -44 | -44 | -44 | -44 | -44 | -44 | -44 | -484 | X | | | X | | | | |
| Otros | Sitios y objetos históricos o arqueológicos | 37 | 0 | 37 | 37 | 0 | 37 | 37 | 0 | 0 | 0 | 185 | | X | | X | | | | |
| | Estilo de vida | -25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -25 | | X | X | | | | | |
| EVALUACION | Densidad de población | -25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -25 | | X | X | | | | | |
| | Salud humana | 0 | 0 | -22 | -22 | -22 | 0 | 0 | 0 | -17 | -17 | -100 | | X | X | | | | | |
| | | -476 | -476 | -561 | -449 | -420 | -213 | -189 | -224 | -178 | -124 | -280 | | | | | | | | |

TABLA 10: VALORACIÓN E MPORTANCIA DE IMPACTOS



FIGURA 2: PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTIVAS

- Museo minero – metalúrgico
- Traslado de arenas y posterior fitoextracción
- Instalaciones de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo
- Áreas verdes
- Acondicionamiento de edificios antiguos para auditorios
- Preservación de vegetación
- Traslado de chatarras y posterior fitoremediación

FIGURA 3: PASEO TURÍSTICO PARA TRANSEÚNTES SOBRE LOS ESCORIALES



Según el informe de Empresa Metalúrgica Vinto se tiene que de las arenas residuales se pueden recuperar 3,78% de Sn, 11,81%Pb y 0,55% Bi.

Lo que se hará es adicionar la arena residual en proporciones bajas al material de los hornos de volatilización con ley de cabeza de 3,78%Sn, para obtener polvos óxidos que serán procesados por reducción a metal y posterior refinación en la línea de proceso principal donde se recuperará un 85%. Para los otros elementos como ser Pb y Bi se consideran como subproductos del tratamiento del estaño. El Costo de tratamiento es el costo de operación metalúrgica,

considerando una recuperación total del 85% el costo de tratamiento se estima en 700 \$us/tonelada tratada.

El Costo de realización es el costo del proceso de monetización desde el metal refinado hasta su recepción y liquidación en destino. Se estima en 100 \$us/tonelada fina comercializada.

Las siguientes tablas muestran el presupuesto necesario para tratar un volumen de 1980 m³ de arenas que representan un peso de 2554 toneladas; con un contenido de humedad de 10.45%.

Tabla 11.- Ingresos por manejo de Arenas Residuales

| Elemento | % | TMF(a recup) | 85% Cotización (\$us/lbf) | Valor bruto (\$us) |
|-----------|-------|--------------|---------------------------|--------------------|
| Sn | 3,78 | 73,48 | 10,4 | 1684753 |
| Pb | 11,81 | 229,59 | 0,98 | 496036 |
| Bi | 0,55 | 10,69 | 8,84 | 208336 |

Los costos de operación estimados son:

TABLA 12: COSTOS DE LA OPERACIÓN ESTIMADOS

| COSTOS | Unitario | Cantidad | Total (\$us) |
|----------------------------------|----------------|----------|--------------|
| Valor bruto | 22928 \$us/TMF | 73.48 | 1684753 |
| Costo tratamiento | 700 \$us/TMS | 2287.1 | 1600970 |
| Costo realización | 100 \$us/TMF | 73.48 | 7348 |
| Transporte (12 m ³) | 38.74 \$us/m3 | 165 | 6392 |
| GANANCIA | | | 77391 |

Fuente: VINTO 2013

Para los otros elementos Pb y Bi los costos de tratamiento están asociados al tratamiento del estaño, por tanto son considerados como subproductos de proceso y con utilidad bruta adicional, por lo que aquí no se hace la estimación de costos. Con la suma de las utilidades brutas a la ganancia, se calculó se tiene 859154 \$us recuperando así la mitad de los costos iniciales.

Después del traslado de las arenas residuales, se hará una fitoremediación del sector donde se encontraban, además que de esta manera se mejoraría la calidad del suelo.

4.2 Manejo de Chatarras

Se encuentra una gran cantidad de chatarras en los predios de la Ex Metabol; por lo tanto, se pretende vender todo este material a las empresas que se encargan del acopio para su posterior reciclaje, de esta manera se tendrá un ingreso que podrá ser utilizado para el mantenimiento de la ruta turística y monitoreos de la calidad ambiental. el área que ocupan estas chatarras aproximadamente son unos 50 m², área que después del traslado se realizará una fitoremediación, por lo tanto llegaría a ser un área verde y de recreación.

Se sabe que hay empresas que recolectan este material para luego exportarlo a Perú y Brasil para su posterior reciclaje, se paga 0,80 Bs/kg de chatarra. Según el informe de la COMIBOL tenemos 101348,653 kg de chatarra; por lo tanto, los ingresos por la venta de chatarra serían de cerca a 81079 Bs.-

4.4. Remediación de los Suelos Contaminados

Existen varias opciones para la remediación del suelo contaminado en los predios de la Ex – Metabol. Las técnicas más convenientes para el caso estudiado es la fitoextracción y fitorestauración, debido a que al utilizar plantas para la remediación del suelo se pueden aprovechar también como áreas verdes. Se aconseja cubrir por lo menos un 30% de los predios.

Para proceder con la fitorestauración es necesario acondicionar el suelo para que la vegetación que se propone pueda crecer sin ningún problema, por lo tanto

se procederán con las siguientes actividades: Roturado del suelo - Rastreado o mullido - Adición M.O. – Nivelado - Siembra: se utilizarán el Ork'o chiji *Distichlis humilis*, Cauchi *Suaeda foliosa*, Ñaka thola *Baccharis incarum*, Paja brava *Festuca orthophylla*, Atriplex, Misik'u muni muni *Bidens andicola*, K'ora *Tarasa tenella*

y Sunchu *Encelia canescens* alternando para tener variedad en el paisaje.

La fitoextracción se realizará en el área donde se encuentran las arenas residuales y los sitios cercanos a estas debido a que los resultados del análisis demostraron que este sector es tóxico en plomo. Se escogieron especies que son adecuadas para este tratamiento como:

- Los pastos son el género más adecuado para la fitoremediación de formas orgánicas e inorgánicas de metales, por su hábitat de crecimiento y adaptabilidad a una variedad de condiciones edáficas y climáticas.
- En las Asteraceae se ha reportado por ejemplo tolerancia al plomo en *Sonchus oleraceus* y se la ha propuesto como especie fitoremediadora de ambientes contaminados con este metal.

El presupuesto calculado asciende a 2489 \$us. En las áreas donde se quiere preservar la diversidad de plantas encontradas se hará una especie de parque o área de descanso.

4.5 Preservación del Patrimonio Metalúrgico

Con ayuda de una inventariación adecuada, se establecerá que lugares y maquinarias serán utilizados dentro del circuito turístico y que lugares podrán ser reutilizados o modificados como instalaciones para la facultad, tratando de preservar el patrimonio existente.

La figura 3, muestra una vista del predio de Ex METABOL después de su rehabilitación ambiental. El costo total del proyecto sería 315408,93 \$us.



FIGURA 3: VISTA DE LA PROPUESTA TENTATIVA

5. CONCLUSIONES

- Se realizó el diagnóstico y caracterización del estado actual e idoneidad de los factores ambientales, obteniéndose que:
 - Metabol se encuentra dentro de la Provincia Biogeográfica Altiplánica, que tiene un bioclima predominante xérico, se encuentra en el Sector Biogeográfico Norte – Altiplánico y este sector se caracteriza por ser xérico seco superior con precipitación anual media entre 300 – 450 mm.
 - Aire: de acuerdo a estudios realizados por la UTO se obtuvo que el PM, NO₂ y O₃ se encuentran dentro del límite permisible y la contaminación es mínima.
 - Agua subterránea: de acuerdo a las muestras analizadas por el laboratorio SPECTROLAB se obtuvo que los parámetros que sobrepasan los límites permisibles son los sólidos disueltos, antimonio, cadmio, cloruro y sulfatos.
 - Suelo: el tipo de suelo de Metabol está considerado como limo arcilloso, hay un alto grado de compactación y poca M.O., las arenas residuales, polvos metalúrgicos y escorias en sus porcentajes de composición de Pb, Zn y As se encontraron dentro de los valores típicos para suelos no contaminados, sin

embargo, en el test de toxicidad se obtuvo que el plomo sobrepasaba el límite de toxicidad establecido por el RAAM, por lo que el suelo es tóxico al igual que los polvos metalúrgicos y arenas residuales. Las escorias han sido formadas a partir de un proceso de vitrificación y no se encuentran en partículas finas por lo que no existe un riesgo ambiental.

- Se determinó una cantidad de 509451,42 kg de chatarra
 - Se analizaron y evaluaron los impactos sobre los factores ambientales en los predios donde se obtuvo de acuerdo a la matriz de valoración de impactos que los factores ambientales más afectados son el suelo (características edáficas y compactación), flora (cubierta vegetal, vegetación y flora terrestre) y paisaje. Se analizaron los riesgos de los impactos severos, sacando el riesgo inicial y el riesgo residual si es que se implementará una medida correctora. Pueden existir riesgos a la salud, ya que los suelos tienen metales pesados que pueden ser suspendidos por el viento y generar impactos a la población aledaña.
 - Se generó una propuesta técnica, económica y ambiental de remediación y rehabilitación de los predios de la planta de la ex METABOL con fines de uso académico del predio. Se plantearon como medidas correctoras:

- Chatarra se obtuvo un volumen de 127202 m³, se pretende el traslado y posterior venta a empresas que se encargan del acopio de estos materiales para su reutilización o reciclaje, obteniéndose un ingreso de 11632,55 \$us.
- Arenas residuales se obtuvo un volumen de 5175,87 m³, se pretende el traslado a la EMV para su reutilización dentro del proceso metalúrgico y la recuperación de Sn, Pb y Bi.
- Escorias se formaron en un proceso de vitrificación y no generará ningún peligro ambiental ni para la salud humana. Por lo tanto se pretende promover y desarrollar actividades de turismo y educación utilizando las escorias, haciendo una pasarela flotante que pase por encima de las escorias de costo 324552,24 \$us.
- Instalaciones y maquinaria antigua, parte de las instalaciones serán reacondicionadas para ser utilizadas con fines académicos y la maquinaria y otras instalaciones serán utilizadas como parte de un circuito turístico.
- Es necesario cubrir con vegetación los lugares más propensos a erosión,
- Se deben crear zonas verdes, promoviendo la protección de las especies encontradas en el lado noroeste de los predios, promoviendo la fitorestauración del lugar con las especies encontradas,
- La fitoestabilización será reaizada con pastos, *Sonchus oleraceus* y el girasol *Helianthus annuus* L. que son especies acumuladoras de Pb, estas se combinarán para tener variedad de plantas en las áreas verdes.

Con todas estas medidas correctoras se generarán beneficios como la revalorización de los terrenos ocupados por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, y sobre todo se tendrá un área remediada para su uso académico.

Para todas estas medidas correctoras se hizo un análisis técnico y se determinó el costo total para el proyecto que sería de 315408,93 \$us restando el ingreso generado por las chatarras

BIBLIOGRAFÍA

- AZERO, Mauricio (2009). *Muestreo de suelos y procesamiento de las muestras*. Guía de laboratorio de Edafología 2009. Universidad Católica Boliviana “San Pablo”. Cochabamba
- BARRICK GOLD. (2011). “El éxito de la remediación ambiental en Pueblo Viejo”. En: <<http://barrickdominicana.blog.galeon.com/2010/08/24/el-exito-de-la-remedicacion-ambiental-en-pueblo-viejo/>>, (fecha de consulta 15/01/2013)
- BAUTISTA, Francisco (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. Yucatán: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. En: <<http://books.google.com.bo/books?id=yE2Jq3z7ex4C&pg=PA35&dq=contaminaci%C3%B3n+por+metales+pesados&hl=es&sa=X&ei=tNkUdzyDsLh4AOUxIHYAQ&ved=0CC8Q6AEwAA>>, (fecha de consulta 10/04/2013)
- COEPA (2007). “Identificación y evaluación de riesgos ambientales”. En: <<http://coepa.net/guias/files/identificacion-y-evaluacion-de-riesgos-ambientales.pdf>>, (fecha de consulta 08/02/2013)
- LETURIA, J. (2009). *REMEDIACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS Y APROVECHAMIENTO ECONÓMICO*. S.L. S.E.
- MOLINA, Yuri (2005). *Experiencias en remediación de pasivos ambientales mineros*. Perú: Activos mineros S.A.C.
- NAVARRO, Gonzalo (2011). “Contaminantes minería”. En: *Materia “Impactos industria minera y petrolera”*. Universidad Católica Boliviana “San Pablo”. Cochabamba
- NAVARRO, Gonzalo y MALDONADO, Mabel. (2011). *Geografía ecológica de Bolivia. Vegetación y Ambientes Acuáticos*. Santa Cruz.-Bolivia: Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño
- MATA, Josep (2013). “Geoturismo y Valoración del patrimonio geo-minero” En: *Curso Geoturismo y valoración del patrimonio geo-minero*. Oruro