



## Potencial de Exploración de relaveras históricas y sus implicancias para un futuro sostenible caso: Antigua Mina Carhuacayán, Junín-Perú

Oshin Figueroa<sup>1</sup>, Mario Díaz<sup>1</sup> y Susankler Espinoza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Volcan Compañía Minera S.A.A., Manuel Olguín 373 Piso 8, Lima, Perú (ofigueroa@volcan.com.pe)

### 1. Abstract

**Exploration potential of historic tailings and its implications for a sustainable future, case:** The Old Carhuacayán Mine, Junín Peru. During the last century, Peru was a very important mining center worldwide, Pasco and Junín Region being the main sources of polymetallic minerals; which gave rise to the existence of tailings and mineral waste currently exposed to the environment and that can be re-processed. This is the case of the historic tailings of the old Carhuacayán mine that operated for 50 years, extracting polymetallic mineral (zinc, lead and silver).

Volcan mining company started a program of exploration of environmental liabilities as part of its environmental practices and culture change for a sustainable future.

### 2. Introducción

Los yacimientos actuales son explotados con menores leyes, además el aspecto ambiental que involucra generar una nueva operación, así como las relaciones con las comunidades, conduce a que las empresas empiecen a buscar nuevas formas de negocio y al mismo tiempo resarcir zonas afectadas por la minería antigua, esto como parte de una nueva cultura de un futuro sostenible. Tal es el caso de las Relaveras 828 (R828) y 829 (R829) actualmente reconocidas como Pasivos Ambientales Mineros (PAM) administrado por Activos Mineros S.A.C (AMSAC), donde Volcan Compañía Minera S.A.A. (Volcan) en el 2017, inicia una campaña de exploración con muestreo geoquímico de calicatas; y en 2019, continuó con una campaña de 2237 metros de perforación por Ensayo de Penetración Estándar (SPT), concluyendo con análisis geoquímico, mineralógico (DRX) y geometalúrgico. Lo cual ha llevado al cálculo de recursos con un total de 0.05MTM @2.5% ZnEq (R828) y 3.1 MT @1.9% ZnEq (R829) y su evaluación económica.

El Sindicato Minero de Río Pallanga entre los años 1962 y 1983 explotaron la Antigua Mina de Carhuacayán aproximadamente 2 Mt de mineral (Ag, Zn y Pb), producto de ello son estas relaveras que se ubican a 3.2 km al NW del pueblo de Carhuacayán y a 28 km de la planta concentradora de Alpamarca, esta cercanía y los estudios llevados a cabo hacen posible su reaprovechamiento.

Esta contribución se enfoca en los estudios de exploración y metodología utilizada para reconocer y calcular el potencial y además plantear estrategias para las buenas prácticas para un futuro sostenible.

### 3. Antecedentes

La Antigua mina de Carhuacayán presenta registros de estudios geológicos y mineros desde la década 50. Fue el "Sindicato Minero de Río Pallanga", que inició oficialmente sus operaciones en el año 1962, a mediana escala y operó hasta el año 1983 (Bisa, 1983).

Inicialmente el mineral era tratado en la planta de la mina Río Pallanga y en 1965, tratan en su propia planta de concentración por flotación y casi al finalizar tratan 500 T.M.S./día (J. Mendoza, 1970).

De acuerdo con la Ley N° 28271 Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (<http://www.minem.gob.pe>) y que actualmente han otorgado 31 derechos de reaprovechamiento de pasivos ambientales mineros en todo el país (*Fuente MINEM*). También son varias las empresas Mineras que han implementado el reciclaje de sus relaveras. Un caso muy importante es el Proyecto B2 San Rafael – Minsur, reporta relaves con 7,6 MTM @ 1.05% Sn y su explotación con una vida útil de nueve años aproximadamente. Minsur (2018), al presente reporta una producción acumulada de 725 toneladas de estaño contenido (Minsur, 2020) dando trabajo a más de 500 personas.

En el caso de las Relaveras 828 y 829 se tiene estudios ambientales previos realizados por

AMSAC y un expediente técnico para el cierre de estas relaveras, presupuestado con un costo de S/. 75 millones (AMSAC, 2018); así como reportes del MINEM (<http://www.minem.gob.pe>).

También se desarrolló una tesis para determinar si el relave es estable en aspectos geotécnicos y geoquímicos y cómo afecta a la población de Santa Bárbara de Carhuacayán (Macedo, 2019).

#### 4. Metodología

En las relaveras 828 y 829 se perforó un total de 2237 metros en época seca de la sierra peruana, mediante SPT, en una malla de distribución romboédrica de 29 x 29 m (Fig. 01). Fueron sondajes verticales entre 1.00 y 19.00 metros de profundidad que interceptaron arenas, arcillas y óxidos (Fig. 02), en muchos casos de consistencia blanda por el contenido de agua, el control de este aspecto fue esencial para evitar la pérdida o perforación de pozos gemelos.

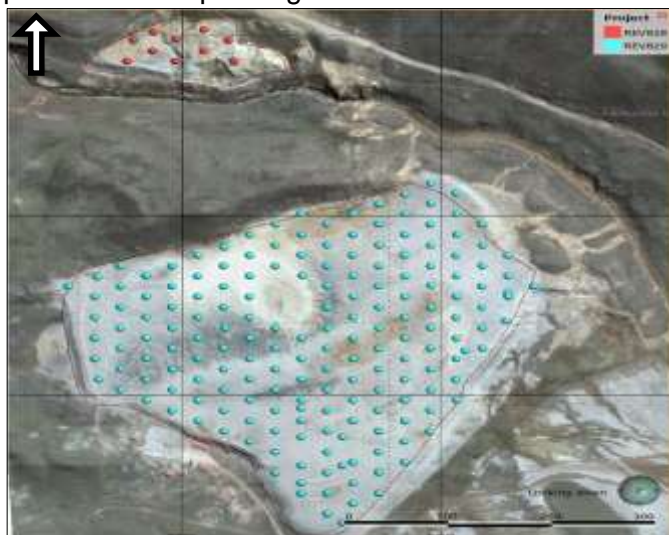


Fig. 01. Ubicación de las relaveras 828 y 829 y los sondajes programados.

Los primeros 3 metros de cada pozo y las zonas húmedas con contenido de agua mayor a 50% fueron revestidas metro a metro, hasta llegar al piso de la relavera, de consistencia más compacta con fragmentos de travertino. En el logueo geológico se diferenciaron óxidos, arenas y arcillas con contenidos de sulfuros que fueron analizados in-situ con XRF, evidenciando la existencia de Zn y Pb.

“Óxidos” Rev82917 00-1 m

Au (ppm)	Ag (Oz)	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)	Pb-OX (%)	Zn-Ox (%)	Cu-Ox (%)
0.44	1.09	0.03	16.60	0.95	2.31	0.51	1.00	<0.01

“Arenas” Rev82940 10-11 m

Au (ppm)	Ag (Oz)	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)	Pb-OX (%)	Zn-Ox (%)	Cu-Ox (%)
1.00	0.55	0.05	8.72	0.38	2.12	0.13	0.10	<0.01

“Arcillas” Rev82911 10-11 m



Au (ppm)	Ag (Oz)	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)	Pb-OX (%)	Zn-Ox (%)	Cu-Ox (%)
0.16	0.39	0.04	6.64	0.23	0.48	0.18	0.07	<0.01

Fig. 02. Fotografías de sondajes SPT, ilustra las tres principales zonas diferenciadas, en general las leyes son más bajas en la zona de arcillas. Las cajas de taladro miden 1 m de largo.

Las muestras fueron recuperadas en tubos de PVC con diámetro de 6.94 cm, el tubo era cortado exactamente a la mitad, una mitad era enviada a laboratorio para ensayo geoquímico, incluida densidad por picnometría, y la otra mitad era pesada en seco con una balanza de precisión de 10 gramos, y posteriormente usada por el registro geológico. Se muestreó e intervalos regulares de 1 metro.

#### 4.1. Geología y mineralogía

El principal mineral extraído fue del cuerpo La Tapada, que es parte del depósito polimetálico tipo Cordillerano Carhuacayán (Bernaola et al, 2019), que consiste en vetas y niveles de reemplazamiento de zinc, plomo y plata emplazados en calizas cretácicas.

De la mineralogía macroscópica en las R828 y R829 se distingue principalmente granos de carbonatos, cuarzo, cloritas y pirita (mineral ganga) con granos finos de magnetita, esfalerita, galena, calcopirita, y minerales oxidados de color pardo denominado “limonitas”.

Para diferenciar los minerales oxidados presentes, se analizaron muestras por DRX (M. Diaz, 2019; AMSAC, 2018). De estos resultados se tiene:

-**Minerales primarios:** esfalerita (<18% en peso de Fe), galena, tenantita (cobre gris de As y contenido de Ag), pirita, Arsenopirita, pirrotita y muthmannita (teleruro de Ag y Au).

-**Minerales secundarios (oxidados):** fowlerita (silicato de Ca, Mn y Zn), cerusita (carbonato de Pb), anglesita (sulfato de Pb), covelita (Sulfuro de Cu), jarosita (sulfato de K y Fe), goetita (Hidróxido de Fe) y rutilo (óxido de Ti).

Además, **Minerales Ganga** como cuarzo (30%), dolomita (12%), calcita (6%), clinocloro (4%) y otros (48%). Se distingue rastros de sulfatos como yeso y anhidrita. Por la mineralogía, la zona logueada como óxidos corresponderá a la Zona de Mixtos.

Geológicamente al ser la roca caja “calizas”, donde se emplazó la mineralización y su beneficio produjo estas relaveras, se comprueba con los logueos, Mineralogía DRX y estudios previos, que estas relaveras presentan una neutralización natural por el contenido de carbonatos y su potencial de generar drenaje ácido es muy bajo. Sin embargo, AMSAC (2018) mencionan a los R828 y R829 como potenciales generadores de acidez a largo plazo, una vez que se consuman los carbonatos presentes. Así mismo hay que mencionar que AMSAC con perforación diamantina interceptó 3

metros de Travertino en la base de la R829 (AMSAC.2018).

### 5. Modelamiento y Estimación

Con la caracterización mineralógica y resultados geoquímicos, se modelaron las dos relaveras, donde se ha dividido en tres principales dominios: Sulfuros de Alta ley (SFsHg), Sulfuros de baja ley (SFsLg), y Mixtos (MX). Se seleccionaron 5 compósitos para ensayos geometalúrgicos cada uno con 105 kg de peso seleccionados para abarcar todos los escenarios de mezcla (Fig. 04).

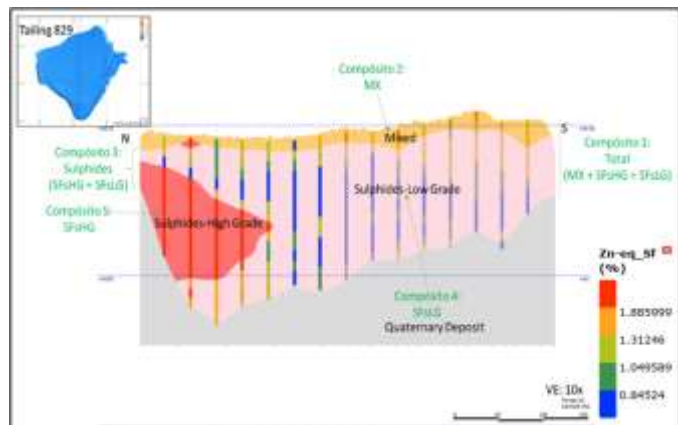


Fig. 03. Modelo de la Relavera 829 con el total de leyes y ubicación de los compósitos preparados para estudios geometalúrgicos.

Para el cálculo del tonelaje, es necesario considerar la densidad aparente (BD), calculada por el volumen que ocupa la muestra, y no la densidad por picnometría (PD) que no considera esta porosidad. La Fig. 04 muestra la porosidad promedio de la relavera según profundidad. En promedio la diferencia entre la BD y PD es de 35%, siendo muy sensible en los cálculos de estimación de tonelaje.

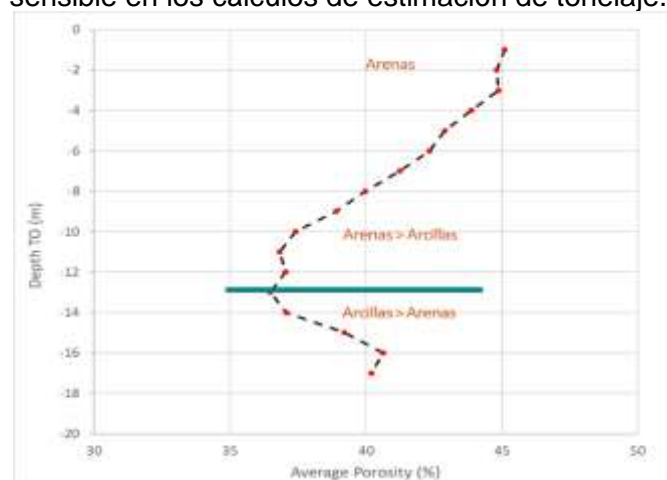


Fig. 04. Porosidad promedio vs profundidad de las R828 y R829.

Las variables estimadas son Ag, As, Au, Cu, Densidad, Fe, Mn, Pb\_Ox, Pb, Zn\_Ox y Zn. Todas las leyes estimadas por inverso a la distancia al cuadrado. Bi y Sb no fueron estimados porque todos los datos están bajo el límite de detección.

De la estimación de las dos relaveras Tabla 01 y Fig. 05 (validado por A. Chiquini GZTS, 2019).

Relavera	MTM	Leyes				
		Zn %	Pb %	Ag oz/TM	Au g/t	ZnEq %
828	0.1	1.4	0.6	0.8	0.4	2.5
829	3.1	1.3	0.4	0.5	0.2	1.9

Tabla 01. Recursos estimados en las R828 y R829.

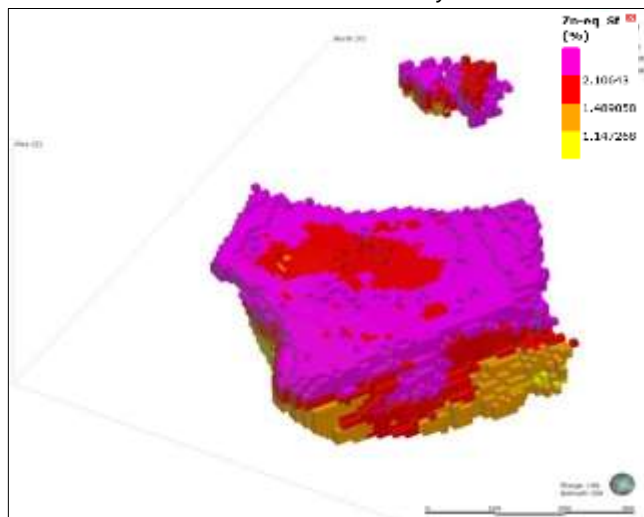


Fig. 05. Vista 3D, mirando al NO. Modelo de bloques mostrando la distribución de valores de ZnEq (%). Exageración vertical: 10x.

### 6. Caracterización geometalúrgica

Se llevó a cabo la evaluación metalúrgica en el Laboratorio Alpamarca (P. Huaman, 2019) de 5 compósitos (preparados en CERTIMIN) denominados: (1) Total, (2) Mixed, (3) Sulphides, (4) Sulphides\_LG y (5) Sulphides\_HG (Fig. 04); de estas muestras se determinó la Ley de cabeza, moliendabilidad, características mineralógicas y comportamiento al método de flotación de sulfuros realizando pruebas de caracterización física, flotación y microscopía óptica Fig. 06.

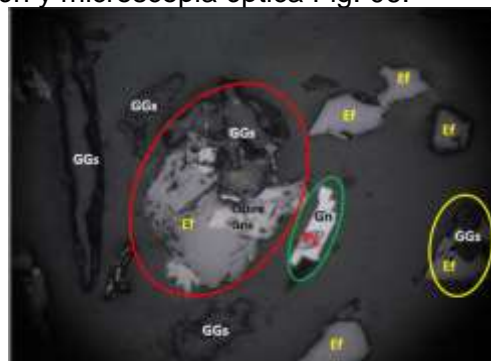


Fig. 06. fotomicrografía del Compósito 01 (total) corresponde a las espumas de 1er minuto de la flotación total. Se observa amarre de esferita- CGrS- ganga (círculo rojo), galena-pirita (círculo verde) y amarre entre esferita-ganga (Círculo amarillo). También se observa partículas libres de Esferita y ganga (Huaman, P. 2019).

De estas pruebas se concluye que los sulfuros responden positivamente, sin embargo, para su óptima flotación requerirá mayor liberación (>54%) - malla (200#) y mayor tiempo de flotación para su

recuperación excepto el compósito (4) que no necesita molienda.

En los compósitos no se detectó presencia de arsenopirita, Pirrotita ni sulfuros de cobre secundarios (covelita, digenita) estos últimos que significan activación natural de esfalerita en una flotación bulk. Sin embargo, se considera remanentes de reactivo  $\text{CuSO}_4$  en la muestra debido a que es un producto de un tratamiento pasado cuya etapa final fue el desbaste de zinc con dosificaciones de  $\text{CuSO}_4$ .

En el compósito 5 se interpreta un balance Metalúrgico teórico proyectado que expresan las posibilidades de tratamiento del mineral "Relave Carhuacayán", a un nivel industrial (Huamán, P. 2019).

## 7. Aspectos Ambientales

De los estudios previos, ensayos geoquímicos de agua (AMSAC, 2018) y los estudios realizados por Volcan. Los parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos analizados en la estación de monitoreo ubicado cerca a la R829, registró valores por debajo del estándar establecido en el D.S. 004-2017-MINAM Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales, a excepción de los siguientes parámetros: Metales (Manganeso y Zinc) (Inspectorate, 2018).

Sin embargo, el relave minero es afectado por los fuertes vientos quienes transportan el material del relave hacia la población de Carhuacayán (Macedo, 2019).

En el monitoreo del pH cercano a las Relaveras (Tabla 02) donde son casi neutros.



**Tabla 02.** Valor del pH en el monitoreo de agua superficial R828 y R829 (AMSAC. 2018)

La existencia de aguas termales (Baños termales de Collpa) muy cerca de estas relaveras, así como aguas superficiales por época de lluvia, y la cercanía de otros PAM, genera que las aguas en esta parte presenten soluciones de minerales, como As con valores 3.77 mg/L (AMSAC, 2018). Por lo tanto, es necesario buscar una solución para remediar estos pasivos así no generen drenaje ácido.

## 8. Discusión y conclusiones

La malla de perforación 29x29 m fue óptima para cubrir toda el área de estudio, el tipo de perforación fue de bajo costo a comparación de otro tipo de perforación, pero tuvo complicaciones por el tipo de material.

El potencial de generar drenaje ácido en estas relaveras es muy bajo, por el alto contenido de Carbonatos.

Por los estudios mineralógicos solo se reconoce trazas de Jarosita y Goethita, por lo cual no existe una zona exclusiva de óxidos.

En promedio la diferencia entre la BD y PD es de 35%, siendo muy sensible en los cálculos de estimación de tonelaje.

De la metalurgia la zona económica corresponde a la zona de Sulfuros de Alta Ley que puede ser tratado a nivel industrial.

La evaluación económica, muestra que los R828 y R829 son viables para su reaprovechamiento con una mínima ganancia y considerando que el costo de cierre planteado por Volcan es 75% menor al costo de cierre presupuestado por AMSAC, por lo tanto, es de interés para el Estado, la comunidad y Volcan que se lleve a cabo un convenio de reaprovechamiento de PAM como parte de una buena práctica para un futuro sostenible.

### Agradecimientos.

A Volcan Compañía Minera S.A.A., por permitir la publicación, muy en especial a los ingenieros C. Farfán, A. Enriquez, C. Velásquez y R. Monge, a los geólogos de Anglo Peruana Terra S.A.: F. Marcelo, J. Terán, A. Pretell, P. Cuba, C. Blanco y S. Meza.

### Referencias

- Acuña, J. 2018. Informe de Monitoreo de calidad de agua. INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
- AMSAC. 2018. Elaboración de los estudios de pre-inversión, plan de cierre y expediente técnico para la remediación de pasivos ambientales mineros generados por la ex u. m. Carhuacayán, distrito de Santa Barbara de Carhuacayán, Junín borrador - plan de cierre.
- Bernaola, R., Espinoza, S., Díaz, M., Figueroa, O., Farfán, C. y Fontboté, L., 2019. Estadios de mineralización en La Tapada, yacimiento cordillerano polimetálico Carhuacayán, Perú Central: su aplicación para modelar recursos y definir nuevos targets de exploración. Resúmenes proEXPLO 2019.
- Buenaventura Ingenieros S.A, 1983. Estudio geológico y programa de exploraciones de los yacimientos San Jose de Rio Pallanga, Alpacamarca

y Carhuacayán, Informes internos Sindicato Minero Rio Pallanga.

Diaz, M., 2019. Análisis mineralógico por difracción de rayos X de 5 muestras de material suelto. Proyecto Relavera Carhuacayán.

Estado Peruano. 2004. Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera.

Huamán P. 2019. Caracterización geometalúrgica y pruebas de flotación “Relave Carhuacayan”. Informes internos.

Mendoza, J., 1970. Estudios del método de explotación Carhuacayán cuerpo La Tapada-Mina Carhuacayán. Tesis de Grado.

Macedo, A. 2019. Estudio y evaluación de la estabilidad física del depósito de relave-829 de la ex unidad minera carhuacayán Tesis de Grado.

Minsur, 2018. Memoria anual 2018- Resultados consolidados.

Minsur, 2020. Informe de Segundo trimestre 2020.