

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL



TESIS

**CONTENIDO DE ORO FINO Y MERCURIO EN RELAVES DE LA PLANTA
MINERA GRUPO VOL COMPANY UNIÓN SAC – PERÚ Y SU EFECTO
ECONÓMICO**

PRESENTADA POR:

HERNÁN RÓMULO APAZA PORTO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL**

PUNO, PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL

TESIS

CONTENIDO DE ORO FINO Y MERCURIO EN RELAVES DE LA PLANTA
MINERA GRUPO VOL COMPANY UNIÓN SAC – PERÚ Y SU EFECTO
ECONÓMICO

PRESENTADA POR:

HERNÁN RÓMULO APAZA PORTO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

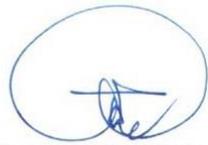
PRESIDENTE


.....
Dr. DANTE ATILIO SALAS AVILA

PRIMER MIEMBRO


.....
M.Sc. DALMIRO A. CORNEJO OLARTE

SEGUNDO MIEMBRO


.....
M.Sc. VÍCTOR HUGO VALENCIA PARISACA

ASESOR DE TESIS


.....
M.Sc. DANTE SALAS MERCADO

Puno, 18 de diciembre de 2018.

ÁREA: Recursos naturales y medio ambiente.

TEMA: Conservación y aprovechamiento sostenible de los RR.NN. minería y energía.

LÍNEA: Contenido de oro y mercurio en relaves mineros.

DEDICATORIA

Me gustaría dedicar esta tesis, A mi padre, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí, al que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico a mi viejito Daniel que se encuentra en el cielo a lado de DIOS.

Madre, no me equivoco si digo que eres la mejor mama del mundo, gracias por todo tu esfuerzo, tu apoyo y por la confianza que depositaste en mí. Gracias por que siempre me apoyaste en los peores momentos de mi vida, me enseñaste a no desfallecer ni rendirme ante nada y todo ello con una dosis de amor y cariño.

A la persona más dulce en mi vida,
la más grande, la más honesta... al
amor y la ternura más infinito...Mi
Esposa

Y muy en especial a mi querido hijo Sebastián Mathías quien es la razón de mi vida, es quien me impulsa a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

- En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida, por estar siempre conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante mi periodo de estudio en la maestría.
- Mi agradecimiento a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano por permitirme formarme como magister.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I**REVISIÓN DE LITERATURA**

1.1	Suelos	2
1.1.1	Los Metales Pesados en el Suelo	2
1.1.2	Procedencia de los Metales Pesados en los Suelos	3
1.1.3	Relaves	6
1.2	Metales Pesados	7
1.2.1	Importancia de los Metales Pesados	8
1.2.2	Mercurio	9
1.2.3	Oro	10
1.3	Amalgamado de concentrado de oro.	12
1.4	Hipótesis	15
1.4.1	Hipótesis General	15
1.4.2	Hipótesis Específicos	15

CAPÍTULO II**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1	Antecedentes	14
2.2	Justificación	14
2.3	Objetivos	15
2.3.1	Objetivo General	15
2.3.2	Objetivo Especifico	15

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Ámbito de estudio	17
3.1.1	Ubicación	17
3.1.2	Descripción de la Planta del Grupo Vol Company	22
3.1.3	Características Climáticas.	22
3.2	Metodología	24
3.2.1	Características Climáticas.	24
3.3	Muestreo de metales pesados	24
3.3.1	Procedimiento Analítico	24
3.4	Puntos de muestreo	25
3.4.1	Procedimiento	25
3.4.2	Resultados	26

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Concentración de metales en relavera	27
4.1.1	Parámetros Físico - Químicos	27
4.1.2	Contaminación de Suelos	27
4.1.3	Ley de Cabeza del Material	28
4.1.4	Resultados del Análisis de Relave	28
4.1.5	Resultados del Análisis de Oro Fino en Relave	29
	CONCLUSIONES	33
	RECOMENDACIONES	34
	BIBLIOGRAFÍA	35
	ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Concentración De Metales Pesados En Varios Tipos De Rocas (Ug/G)	5
2. Código de los Puntos de Muestreo	22
3. Ubicación Geográfica y Política de las Estaciones de Monitoreo	23
4. Temperatura Máxima Media Mensual Estación Ananea (°C)	23
5. Vientos Estación Ananea (°C)	23
6. Métodos de Análisis de Mercurio y Oro	25
7. Código de los Puntos de Muestreo de Sedimentos	26
8. Resultados de Laboratorio	26
9. Parámetros Físico – Químicos	27
10. Estándar de calidad de Suelo (ECA suelo) – Perú	27
11. Ley de Cabeza del Grupo Vol Company Union SAC	28
12. Resultados del Análisis de Mercurio	28
13. Resultados del Análisis de Oro	30
14. Comparación de ORO en relavera (Au)	31
15. Relación capacidad - perdida	32
16. Relación recuperación – Valor económico	32

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Modelo Conceptual de Metales Pesados	8
2. Mapa de ubicación política por la zona de estudio	18
3. Mapa de ubicación de distritos de la Zona de Estudio	19
4. Terreno Superficial de KOLQUEPARQUE	20
5. Proyección de relavera	21
6. Resultados Hg Vs ECA suelo	29
7. Ley de Cabeza Vs Oro Fino en Relave	30
8. % de pérdida con referencia a la ley de cabeza	31
9. Vista de Campamento	42
10. Ventilación	43
11. Vista de almacenamiento de Relaves	44
12. Almacenamiento de Desmonte	45

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Evidencias Fotográficas	42
2. Certificados de Laboratorio	46

RESUMEN

La presente investigación está relacionada a la contaminación ambiental por la presencia de metales pesados provenientes de los relaves de la actividad minería, particularmente el mercurio el cual es transportado por los diversos factores climáticos de la zona a diferentes lugares aledaños y circundantes, afectando de esta manera la flora, fauna y actividades antrópicas en general, influyendo además en las actividades económicas y productivas de los habitantes y poblados del lugar. En este sentido, la investigación se centra en la evaluación del contenido de mercurio en las relaveras del proyecto de explotación minera Kolqueparque, del Grupo Vol Company Unión SAC a través del muestreo en forma aleatoria y análisis de laboratorio. El proyecto en mención dispone de una relavera distribuida con tres sectores de almacenamiento de los cuales se extrajo la muestra para el mercurio, encontrándose en la veta 605 PMR2 la mayor concentración de mercurio equivalente a 226.57 mg/kg, el cual supera exorbitantemente los ECA para suelo en la categoría extractiva, este resultado podría afectar gravemente a las zonas aledañas. En el caso del oro fino, el contenido en el relave para el punto de monitoreo PMR2 también contiene la mayor concentración de oro fino con 14.19 Gr/Tm, afectando de esta manera en casi 8% a la economía del proyecto, por el cual se recomienda emplear otro sistema para la recuperación de esa cantidad de oro fino almacenado en la relavera. Para ello, debe tomarse acciones sobre la presencia del mercurio, así como su optimización y recuperación. De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que el mercurio en la zona de estudio se encuentra por encima de los estándares de calidad para suelo, de modo que en el corto plazo se podría esperar efectos negativos sobre la flora, fauna y ecología de la Zona.

Palabras clave: Amalgamación, economía, mercurio, oro y relavera.

ABSTRACT

The present investigation is related to the environmental contamination by the presence of heavy metals coming from the tailings of the mining activity, particularly the mercury which is transported by the diverse climatic factors of the zone to different surrounding places, affecting in this way the flora, fauna and anthropic activities in general, also influencing the economic and productive activities of the inhabitants and villages of the place. In this meaning, the research focuses on the evaluation of mercury content in the tailings of the Kolqueparque mining project of the Vol Company Union SAC Group through random sampling and laboratory analysis. The aforementioned project has a distributed spillway with three storage sectors from which the sample for mercury was extracted. The highest concentration of mercury equivalent to 226.57 mg / kg is found in the 605 PMR2 vein, which exceeds the ECAs exorbitantly for soil in the extractive category, this result could seriously affect the surrounding areas. In the case of fine gold, the content in the tailings for the monitoring point PMR2 also contains the highest concentration of fine gold with 14.19 Gr / Tm, affecting in this way in almost 8% the economy of the project, by which recommends using another system for the recovery of that amount of fine gold stored in the relavera. For this, actions must be taken on the presence of mercury, as well as its optimization and recovery. According to the results obtained, it is concluded that the mercury in the study area is above the quality standards for soil, so that in the short term one could expect negative effects on the flora, fauna and ecology of the Zone.

Keywords: Amalgamation, economy, gold, mercury and tailings.

INTRODUCCIÓN

El mayor problema que se ha tenido en la minería informal es el uso exagerado e inadecuado del mercurio para la extracción del oro, esto ocasionó que los relaves mineros tengan una cantidad de mercurio que no ha sido recuperado en el proceso de amalgamación, el cual los relaves están siendo votados o comercializados sin saber de cuanta cantidad de mercurio se está perdiendo.

El relave es un conjunto de desechos de proceso minero de concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de minerales molidas con agua, el cual es considerado sin valor comercial, en este relave se encuentra concentraciones de oro fino que no ha sido recuperado en el proceso de amalgamación.

En la amalgamación el mercurio tiene la característica fundamental de recuperar el oro grueso, es desde este punto de vista que se puede definir que el oro fino se está yendo o perdiéndose en los relaves mineros.

En ambos casos los relaves contienen un porcentaje de mercurio y de oro fino que no está siendo recuperado y esto afecta en la producción y la economía.

Por los problemas anteriormente mencionados en el distrito de SINA Provincia de San Antonio de Putina - Puno, en la comunidad campesina de Saquí Totora en la PLANTA MINERA GRUPO VOL COMPANY UNIÓN SAC se realizará el proyecto de tesis de investigación que pretende determinar: Contenido mercurio y oro fino en relaves de la planta minera Grupo Vol Company Unión SAC Sina Perú y su efecto económico.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Suelos

El suelo es un cuerpo natural, no consolidado, compuesto por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases, que se caracteriza por tener horizontes o capas diferenciales, resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia a través del tiempo, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad. (Sposito, 1989)

Los suelos se clasifican en función a su tamaño de partícula, en cuatro principales componentes: arcilla (tamaño de partícula menor a 0.002 mm), limo (0.002-0.05 mm), arena (0.05-2 mm) y grava (partículas mayores a 2 mm). Las cantidades relativas de cada tipo de partícula mineral determinan la textura de un suelo y tienen un impacto directo sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Van Deuren *et al.*, 2002).

1.1.1 Los Metales Pesados en el Suelo

El suelo es un componente esencial del medio ambiente, base de los ecosistemas terrestres, principio de muchas cadenas tróficas y soporte del medio urbano e industrial. Dentro de sus funciones actúa como tampón, controlando el transporte de elementos químicos y sustancias hacia la atmósfera, hidrosfera y biosfera (Pendas y Kabata, 2000). Sin embargo, la función más importante del suelo es su productividad, base de supervivencia de los seres humanos. Por tanto, el mantenimiento de sus funciones ecológicas y agrícolas es una responsabilidad de toda la humanidad.

Los suelos interaccionan químicamente con la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera y, sobre todo, recibe el impacto de los seres vivos que, directa o indirectamente, pueden romper su equilibrio químico (Doménech, 1995). Los contaminantes pueden permanecer por largo tiempo en el suelo, lo cual es especialmente grave en el caso de los compuestos inorgánicos, como los metales pesados que son difícilmente degradables Bech et al., (2001) Mientras que, los compuestos orgánicos son más o menos biodegradables, excepto en algunos casos recalcitrantes (V. Dioxina), descomponiéndose y eliminándose hacia los freáticos o a la atmósfera en un tiempo no excesivamente largo (Bech *et al.*, 2001).

1.1.2 Procedencia de los Metales Pesados en los Suelos

El conocimiento de la asociación de los elementos traza con la fase particular del suelo y su afinidad hacia cada constituyente es un factor clave para un mejor entendimiento de los principios que rigen su comportamiento en el suelo (Pendias y Kabata, 2000). Para un adecuado equilibrio del ecosistema, el contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que en él tienen lugar; sin embargo, la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas. (García y Dorronsoro, 2005)

a. Origen natural

Los metales pesados contenidos en el material original, al meteorizarse, se concentran en los suelos. Estas concentraciones naturales de metales pueden llegar a ser tóxicas para el crecimiento de las plantas.

En condiciones normales los procesos geoquímicos que originan las rocas determinan su contenido en metales pesados (Roca, 2004). Rocas básicas y ultramáficas, solidificadas en primer lugar a partir del magma, incorporan metales pesados como el Co, Ni, Zn y Cr por reemplazamientos isomórficos de Fe y Mg en los minerales ferromagnesianos. Kidd *et al.*, (2007). En cambio, las rocas ácidas, las últimas en solidificar, tienden a enriquecerse en Pb, el cual es capaz de sustituir al K en diferentes minerales.

La alteración de los minerales en las condiciones superficiales de la Tierra favorece el enriquecimiento de metales pesados en las rocas Sedimentarias. Las más abundantes son las argilitas, constituidas mayoritariamente por minerales secundarios del grupo de las arcillas.

Las arcillas incorporan elementos como el Fe, Zn, Cr y Mn al sustituir el Al de los octaedros, y adsorben gran cantidad de Cu, Co, Mn, Ni y Zn gracias a su gran superficie específica. Estas rocas pueden presentar altos contenidos en Se (que pueden oscilar entre 10 y 50 mg/kg) como son las lutitas del Cretácico del medio Oeste de USA. (Reeves, 2006)

Para Gong *et al.* (1977). Areniscas y rocas carbonatadas –calizas y dolomías– suelen tener los contenidos más bajos de metales pesados. La adsorción y/o complejación de metales pesados con la materia orgánica, en ambientes deposicionales reducidos ricos en restos orgánicos, es una de las principales causas de la alta concentración de metales pesados en las rocas típicas de estos ambientes sedimentarios-.

Las rocas metamórficas, formadas en diferentes condiciones de presión y temperatura, tienen prácticamente los mismos contenidos que las rocas a partir de las cuales se forman. Más del 98% de la corteza está compuesta solo por 8 elementos pero existen concentraciones anormales de ciertos metales que, aunque con un porcentaje casi simbólico, tienen un gran interés económico. Estos yacimientos minerales aportan de forma natural elevadas concentraciones de éstos metales al suelo. Existen diversos ejemplos en la bibliografía como los suelos derivados de carbonatos o silicatos de Zn con importantes aportes de Zn, Pb, Cd y Cu (Proctor y Woodell, 1971 y Rascio, 1977) o Bech *et al.*, (1995). Las concentraciones de Cd, Cu, Pb y Zn de suelos del área de Barcelona desarrollados sobre mineralizaciones dispersas de Cu (Bech *et al.*, 1995).

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer grado de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo (Adriano, 1986).

La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales (niveles de fondo) de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota). En la tabla 1, se recogen algunas concentraciones de metales pesados en rocas graníticas, esquistos, arcillas, areniscas y carbonatos. Destacan las diferencias de concentraciones que se aprecian entre los distintos materiales, sobre todo entre arcilla y carbonatos.

Las diferencias en la composición físico-química de los sedimentos como el tamaño de las partículas, distribución y mineralogía afectan a las concentraciones de los metales pesados de origen natural (Loring, 1991 y *Usero et al.*, 1997). Una alta concentración de metales en sedimentos puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación puntual (White y Tittlebaum, 1985).

Tabla 1

Concentración De Metales Pesados En Varios Tipos De Rocas (Ug/G)

Elementos	Rocas				
	graníticas	Arcillas	Areniscas	Carbonatos	Esquistos
Antimonio	0.20	1.50	1.00	0.20*	0.20
Arsénico	1.90	13.0	13.0	9.70*	8.10*
Cadmio	0.13	0.30	0.42	0.02	0.035
Cobre	30.0	45.0	250.0	15.0	4.00
Cromo	22.0	90.0	90.0	35.0	11.0
Mercurio	0.08	0.40	0.02*	0.03	0.04
Níquel	15.0	68.0	225.0	2.00	20.0
Plomo	15.0	20.0	80.0	7.00	9.00
Zinc	60.0	95.0	165.0	16.0	20.0

Fuente: Turekian & Wedepohl (1961)

b. Origen Antropogénico

Las actividades humanas han ejercido un efecto considerable en la concentración y movilidad de los metales en suelos, así como un destacable efecto medioambiental y, en algunas ocasiones, graves efectos a la salud de los seres

vivos. El uso de los metales pesados ha ido aumentando paralelamente al desarrollo industrial y tecnológico (Förstner y Wittmann, 1981). Las actividades humanas de mayor impacto en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados. Son Aplicación de productos químicos agrícolas y lodos residuales. Los metales pesados son frecuentemente usados por su toxicidad como componentes de fungicidas, pesticidas o desinfectantes (Antonovics *et al.*, 1971). Los lodos residuales tienen un alto contenido de metales pesados, entre los que cabe destacar Cd, Pb y Hg (Purves, 1977 y Pendas y Kabata, 2000). Además, los orígenes agrícolas de metales pesados en las aguas continentales son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos debido al uso o abuso de pesticidas, fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono. Los metales presentes en los terrenos alcanzan los cursos de agua no sólo directamente al ser lixiviados por la escorrentía superficial (aguas de riego y de tormentas), sino también indirectamente al infiltrarse desde acuíferos previamente contaminados (Förstner y Wittmann, 1981 y Adriano, 1986).

Actividades de minería y fundición, que incluyen la extracción, el procesado preliminar, la evacuación de los residuos y el transporte de los productos semiprosados. Todas estas operaciones pueden producir una contaminación localizada de metales in situ o ex situ. En los suelos afectados por la minería, las capas superiores de suelos minerales presentan concentraciones elevadas, principalmente, de Cu, Ni, As, Se, Fe y Cd. (Doménech, 1995)

1.1.3 Relaves

Son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas. Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en «tanques o pozas de relaves» donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada o evaporada. El material queda dispuesto como un depósito estratificado de materiales sólidos finos. El manejo de relaves es una operación clave en la recuperación de agua y para evitar filtraciones hacia el suelo en napas subterráneas, ya que su almacenamiento es la única opción. Para obtener una

tonelada de concentrado se generan casi 30 toneladas de relave. Dado que el costo de manejar este material es alto, las compañías mineras intentan localizar los "tanques o pozas de relave" lo más cerca posible a la planta de procesamiento de minerales, minimizando costos de transporte y reutilizando el agua contenida.

1.2 Metales Pesados

Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg) y que presentan un peso específico superior a 4 (gr/cm^3). Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse y más importante el tipo de especie que forman en un determinado medio. (Rivera, 2001)

Todos los metales pesados se encuentran presentes en los medios acuáticos, aunque sus concentraciones son muy bajas. Los compuestos orgánicos pueden constituir fases con gran capacidad de captura de cationes metálicos, que en ocasiones dan lugar a fases extremadamente tóxicas (ejemplo el metilmercurio). Dentro de los metales pesados importantes tenemos: Be, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Sn, Sb, Hg, Tl, Pb, U y Hg. (Castro & Monroy, 2002)

Según Bitar & Camacho (2005) los metales pesados presentan las siguientes características:

- **Niveles naturales:** La mayoría de ellos se presentan en forma natural. Es necesario sin embargo, considerar las acciones realizadas por el hombre.
- **Mecanismos de decaimiento:** La mayoría de los metales pesados son sustancias conservativas en cuanto a que la cantidad total de metales no disminuye por procesos como biodegradación, fotólisis o decaimiento radioactivo. La ausencia de estos procesos simplifica su modelación.
- **Sorción inorgánica:** Los metales a pesar de estar asociados a la materia orgánica pueden presentar el proceso de sorción, los cuales pueden ser absorbidos como sucede con tóxicos orgánicos. Sin embargo, otros procesos significantes incluyen el intercambio de iones, adsorción física en las superficies sólidas y procesos químicos que intervienen en la unión de las partículas.

- **Especiación química:** Esta propiedad está ligada con los procesos desorción de este tipo de tóxicos. Puede ser importante por el hecho de que interviene también en el proceso de transporte, aunque puede variar para cada sustancia tóxica.

En la Figura 1 se presenta el modelo conceptual de metales pesados. Se considera que los metales están en forma disuelta y particulada en suspensión y en el lecho del fondo. Entre los procesos que se modelan están la sedimentación, la resuspensión y la difusión. Las pérdidas buriales son despreciables debido a que su cuantificación no es significativa (Bitar & Camacho, 2005).

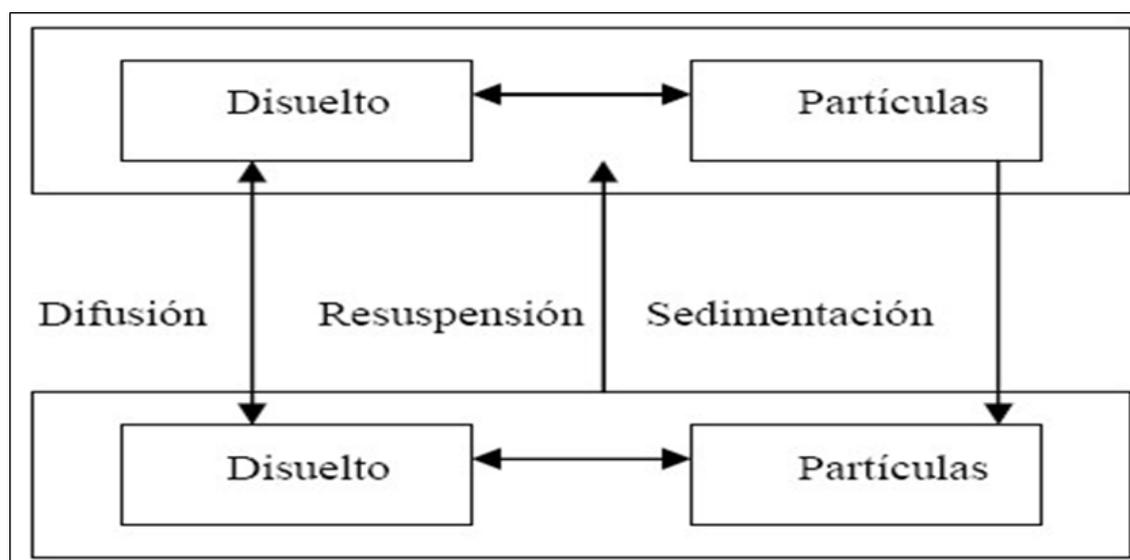


Figura 1. Modelo Conceptual de Metales Pesados

Fuente: Bitar & Camacho (2005)

1.2.1 Importancia de los Metales Pesados

En los sistemas acuáticos se disuelven numerosas sales y sustancias de acuerdo a sus solubilidades. La presencia en el terreno de diferentes materiales y estructuras geológicas son fuente de una gran variedad de iones disueltos en aguas superficiales, los que nos permitirían saber, de no haber existido la actividad humana, que tipo de suelo atraviesa un cauce de agua.

Algunos de estos iones se encuentran en forma mayoritaria, respecto a los demás elementos en todas las aguas continentales: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3 , mientras que otros se hallan a niveles de trazas, como es el caso de los metales pesados, siendo algunos de ellos necesarios para el correcto desarrollo de los microorganismos, plantas y animales.

La contaminación en los ríos se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana. Unos de los componentes químicos potencialmente más tóxicos son los metales pesados, y entre ellos Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn. El aporte de estos metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen lito génico geoquímico a partir de los minerales que, por causas de erosión, lluvias, etc. son arrastradas al agua. No obstante, actualmente la mayor concentración es de origen antropogénico debida la actividad humana. La minería, los procesos industriales, los residuos domésticos son fuente importante de contaminación, que aportan metales al aire, al agua y al suelo especialmente.

Los estudios de calidad de las cuencas hidrográficas han adquirido gran interés en las últimas décadas, dado el incremento de población en sus riberas, el creciente grado de industrialización y los aportes del sector primario que se presentan. La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos es por su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Sus efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque sí puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo.

Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando. La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida finamente aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos.

1.2.2 Mercurio

El mercurio o azogue, es un elemento químico de número atómico 80, su símbolo (Hg) procede de *hydrargirio*, termino hoy ya en desuso, que a su vez procede del latín *hydrargirium* y de *hydrargyrus*, que a su vez proviene del griego *hydrargyruos* (*hydros* = agua y *argiros* = plata).

1.2.2.1 Contaminación por Mercurio

La contaminación por mercurio es el principal problema ambiental, además tiene efectos perniciosos para la salud de los trabajadores y su entorno. El uso indiscriminado e ineficiente del mercurio para amalgamar el oro ocasiona que grandes cantidades de esta sustancia se pierdan y viertan en el medio ambiente en forma de gaseosa o líquida.

La pérdida de mercurio líquido se produce principalmente durante amalgamación del oro. Como se mencionó en la sección anterior, la amalgamación del oro se produce en los quimbaletes. Una vez lograda la separación del oro, la solución acuosa que queda en el relave tiene alto contenido de mercurio y de oro (de 0.4 a 1.2 onzas de Au/TM). El contenido de esta sustancia será mayor si el mercurio utilizado es reciclado, ya que pierde su poder de amalgamación.

Un buen porcentaje de mercurio se queda en los relaves el cual es comercializado sin ningún tipo de control, el cual son llevados para su otra etapa de proceso cual es la cianuración.

1.2.2.2 El uso de Mercurio

El uso indiscriminado e ineficiente del mercurio para amalgamar el oro ocasiona que grandes cantidades de esta sustancia se pierdan y se viertan al medioambiente en forma líquida o se emanen sus gases libremente, siendo el principal problema la pérdida de mercurio.

1.2.3 Oro

En el mundo el oro se conoce desde la antigüedad. Por ejemplo, existen jeroglíficos egipcios de 2600 d.c. que describen el metal, y también lo mencionan varias veces en el Antiguo Testamento. El oro es considerado uno de los metales más preciosos y su valor se ha empleado como estándar para muchas monedas a lo largo de la historia.

En los metales bases como el oro y la plata los egipcios distinguían varios tipos de pureza. Dividiéndolo en oro bueno, oro de roca, y oro aleado en sus diversas calidades. En dicha época la refinación de dichos metales era remota. Por lo que

consideraban al oro natural como un metal diferente del oro aleado. (Bergamashi, 1987)

Durante el siglo XIX, la explotación del oro tuvo un gran auge que desató la fiebre en California, Canadá, Australia, Alaska y Sudáfrica.

Esto provocó que la producción anual aurífera supere 10 veces el promedio anual en el siglo XVIII, a lo que se sumó la explotación de los españoles de metales preciosos en el nuevo mundo. (Bergamashi, 1987)

El hallazgo de este metal, fue en muchos casos por accidente. El oro una vez explotado despertaba el interés de las personas, se convertían en codiciosos buscadores y organizaban empresas con equipos pesados. El oro extraído lo transportaban en trenes y barcos hacia los tesoros de los bancos.

El aporte de América del Sur, fue importante desde su descubrimiento en 1492, pero su final se divisaba cuando menguaron los yacimientos del Brasil y la situación bélica, que vivía la mayoría de los países en busca de la tan mentada independencia. (Bergamashi, 1987)

El “hambre” de oro, movilizó a grandes masas de hombres a los lugares más inhóspitos persiguiendo un sueño de grandeza. (Hurtado, 2003)

El oro es un elemento químico de número atómico 79, que está ubicado en el grupo 11 de la tabla periódica. Es un metal precioso blando de color amarillo. Su símbolo es Au (del latín *aurum*, ‘brillante amanecer’).

Es un metal de transición blando, brillante, amarillo, pesado, maleable y dúctil. El oro no reacciona con la mayoría de los productos químicos, pero es sensible y soluble al cianuro, al mercurio, al agua regia, al cloro y a la lejía. Este metal se encuentra normalmente en estado puro, en forma de pepitas y depósitos aluviales

1.2.3.1 Reactividad

El oro es sumamente inactivo. Es inalterable por el aire, el calor, la humedad y la mayoría de los agentes químicos, aunque se disuelve en mezclas que contienen cloruros, bromuros o yoduro. También se disuelve en otras mezclas oxidantes, en cianuros alcalinos y en agua regia, una

mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico. El oro se vuelve soluble al estar expuesto al cianuro.

1.2.3.2 Propiedades

Propiedades físicas. El oro se halla en la naturaleza en una proporción bajísima. Es un metal de color amarillo característico, blando, muy dúctil y maleable, pues puede reducirse a láminas hasta una diezmilésima de milímetro de espesor (pan de oro); en la escala de dureza de Mohs está entre 2.5 y 3 y posee una gravedad específica de 19.3 gr/ml. Es inalterable frente a los agentes atmosféricos y solo es atacable por muy pocos agentes químicos, como el cloro, el bromo, el agua regia, el mercurio y el cianuro de sodio en presencia de oxígeno. (Dana, 1992) Composición y estructura. Entre el oro y la plata, existe una serie completa de soluciones sólidas y la mayor parte del oro contiene plata. El oro de California, contiene de 10 a 15 % de plata y cuando este último elemento está en proporción mayor del 20%, la aleación es llamada electro.

Diagnóstico. El oro se distingue de otros sulfuros amarillos (particularmente la pirita y la calcopirita) y de las pajuelas amarillas de mica alterada por su ductilidad y gran peso específico. Se funde fácilmente a 1063 °C. (Dana, 1992,).

1.3 Amalgamado de concentrado de oro.

La amalgamación es un proceso de concentración basado en la adherencia preferencial del oro por el mercurio, en presencia de agua y aire. Este es aplicado tal como se realizaba hace 3.500 años en Roma, en la extracción de oro. La amalgamación es un proceso eficiente para la extracción de oro de granulometría superior a 200 mallas (0,074 mm). El proceso es simple, barato y cuando es usado correctamente las emisiones de mercurio son insignificantes. La mojabilidad preferencial del oro por el mercurio, permite la combinación de los dos metales que conforman un conjunto de compuestos metálicos, denominado amalgama.

Las tres amalgamas que se forman con el oro son AuHg, Au₂Hg y Au₃Hg, las que pueden contener entre 60 y 70% de oro. El mercurio es usado en tubos fluorescentes, fabricación de cloro-soda, contactos eléctricos, amalgama dental, pilas, minería, etc. Chile, país

productor de mercurio, no prohíbe su uso en la minería. Dado que es un reactivo barato, pues un kilogramo cuesta casi tres gramos de oro, no existen incentivos tendientes a recuperarlo y a disminuir sus emisiones al medio ambiente.

Nuestro país ocupa el décimo cuarto lugar con una producción de 45.137 kilogramos de oro en el año 2011. Esta producción proviene de las grandes empresas (77,9%), seguida de las medianas empresas (19,8%) y de las pequeñas empresas o artesanales (2,3%). El precio del oro en el año 2012 fluctuaría entre las cifras récord de US\$ 1.800 y US\$ 2.000 la onza Troy. Si el proceso de amalgamación es aplicado a todo el mineral, se generan pérdidas de mercurio en los relaves hasta 70%, siendo la recuperación de oro de 50%. Los relaves de la amalgamación, con un contenido cercano al 70% de oro del mineral, son dejados en la planta donde se flota y recupera alrededor del 90% del oro residual de los relaves. Cuando se amalgaman concentrados obtenidos de procesos gravitacionales en equipos apropiados, se obtienen altas recuperaciones y menores pérdidas de mercurio.

En molinos rotatorios se adiciona una parte de mercurio por 70 a 100 partes de concentrados. Después de 40 a 70 minutos de operación la amalgama puede separarse del mineral por lavado con agua. Amalgamaciones con tiempos muy prolongados causan la pérdida de mercurio por la formación de pequeñas gotas de mercurio, que dificultan su recuperación. Por otro lado, el uso de bolas de acero en el molino desintegra al mercurio.

Los relaves de la amalgamación contienen altos contenidos de mercurio (100 a 500 ppm) y deben ser almacenados en lugares especiales para evitar la disolución del mercurio metálico. Una vez separada la amalgama del mineral, el exceso de mercurio no combinado con el oro es removido por filtración, a través de la torsión manual de la amalgama en un trozo de paño. Del 70 a 90% del mercurio introducido en el proceso de amalgamación, puede ser reciclado después del filtrado manual. La filtración por centrifugación ha demostrado ser una etapa necesaria porque produce una amalgama que puede contener 80% de oro.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Antecedentes

Aramburú, Núñez, Azañero, Figueroa y Gagliuffi (2000). al efectuar la investigación sobre del proceso de amalgamación de relaves procedentes del distrito de Lomas, departamento de Piura y al efectuar la caracterización mineralógica encontraron un buen porcentaje de oro fino y mercurio, el cual fue proporcionado la muestra de mineral por los mineros artesanales de la zona, la caracterización mineralógica de la muestra arroja un buen porcentaje de oro. La cabeza ensayada de este relave de amalgamación tiene 18.69 g/TC. De oro y 4.62 ppm. De mercurio. La diferencia de esta cabeza es por la presencia de oro fino.

2.2 Justificación

El presente proyecto de investigación es justificado, ya que en nuestra actualidad en la minería artesanal se utiliza la amalgamación para recuperar el oro, en ese sentido hay una descarga incontrolada de mercurio, por lo que se hace necesario realizar una evaluación de los relaves mineros existentes en la planta minera Grupo Vol Company Unión SAC, lo que significa que existe mercurio en relaves mineros.

Debido al aumento de la práctica de la minería informal la presencia de relaves en la mina es abundante lo que nos da a entender que el oro fino que se encuentra en los relaves no está siendo recuperado en un porcentaje aceptable y se llegó a la conclusión que se está echando valores muy altos de oro fino, lo cual se demostrara con los resultados de la investigación.

Somos conscientes del grado de acumulación de relaves con presencia de mercurio y oro fino, esto está ocasionando una baja económica en la parte productiva de la planta minera Grupo Vol Company Unión SAC y afectando la economía.

Estos son los motivos que impulsan a realizar el presente proyecto de investigación.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General

Calcular la concentración de oro fino y mercurio en relaves de la planta minera Grupo Vol Company Unión SAC del Distrito de Sina Puno-Perú y su efecto económico.

2.3.2 Objetivo Especifico

- Definir cualitativa y cuantitativamente el contenido existente de oro fino y mercurio en relaves de la planta Grupo Vol Company Unión SAC del Distrito de Sina Puno-Perú.
- Establecer las causas de la pérdida de valores económicos en la planta Grupo Vol Company Unión SAC del Distrito de Sina Puno-Perú.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

Durante el desarrollo de la actividad minera artesanal se utiliza mucho mercurio y técnicas de extracción poco eficientes, y lo que permitirá conocer mediante la evaluación, que los relaves están con un alto contenido de oro fino y mercurio, el cual genera pérdidas económicas.

2.4.2 Hipótesis Específicos

- La aplicación de técnicas inadecuadas del uso del mercurio, determina que los relaves de la planta Grupo Vol Company Unión SAC del distrito de Sina Puno –Perú estén con una alta concentración de mercurio y oro fino.
- En efecto el mercurio es captador del oro grueso, pero no del oro fino, por lo tanto establecer las causas de la pérdida de valores económicos en la



planta minera Grupo Vol Company Unión SAC. del distrito de Sina Puno-
Perú.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 **Ámbito de estudio**

3.1.1 **Ubicación**

El alcance de la presente investigación se circunscribe a realizar la evaluación de la relavera. Exactamente en la Empresa GRUPO VOL COMPANY UNIÓN SAC., Planta del Proyecto de Explotación Minera “KOLQUEPARQUE”. En la comunidad Saquí Totorá, Distrito de Sina, Provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno. A partir de la caracterización de metales estudiados en tres puntos de la relavera.

En la figura 2 representa los códigos de los puntos de muestreo y en la siguiente figura se presenta el mapa de la zona de estudio con los puntos respectivos.



Figura 2. Mapa de ubicación política por la zona de estudio



Figura 3. Mapa de ubicación de distritos de la zona de estudio

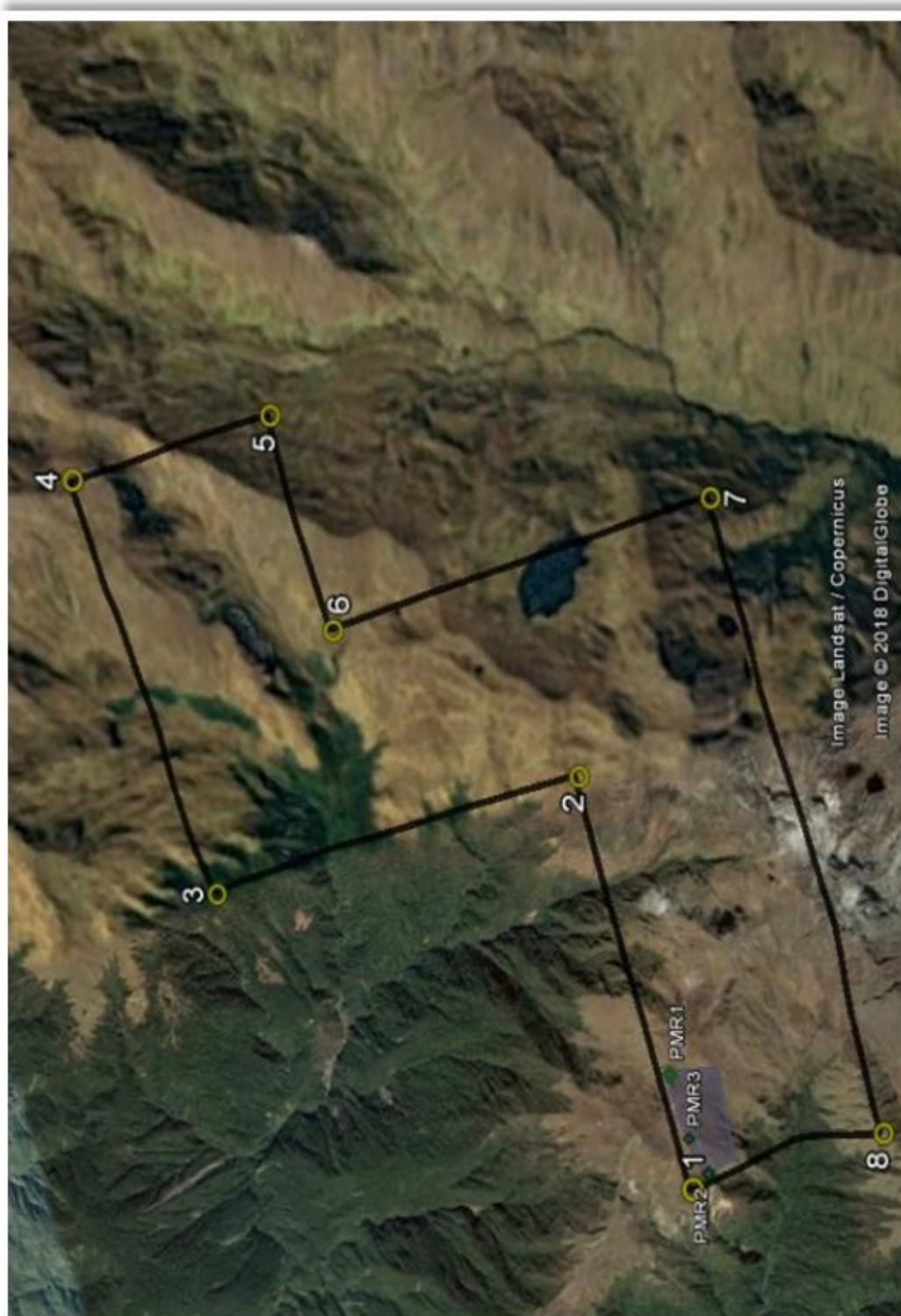


Figura 4. Terreno Superficial de KOLQUEPARQUE

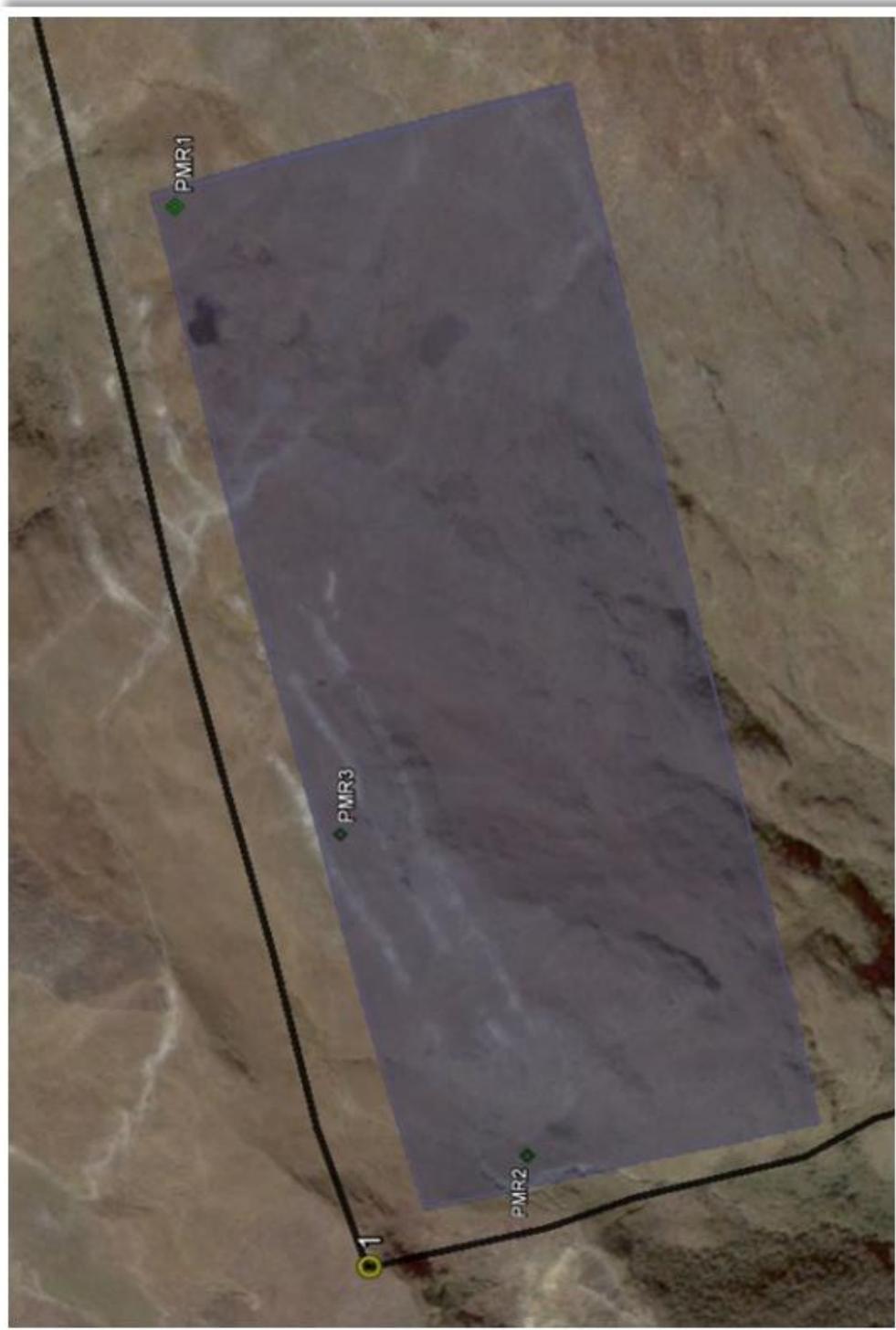


Figura 5. Proyección de relavera

Tabla 2
Código de los Puntos de Muestreo

Código	Código Laboratorio	COORDENADAS UTM WGS84 19L		ALTITUD (msnm)
		ESTE (m)	NORTE (m)	
PMR1	MN18012294	485777	8402044	4142
PMR2	MN18012295	485717	8402576	4093
PMR3	MN18012296	485768	8402366	4047

3.1.2 Descripción de la Planta del Grupo Vol Company

La empresa minera GRUPO VOL COMPANY UNIÓN SAC. Que tiene una Planta de Procesamiento de mineral, inmersa en el Proyecto de Explotación Minera KOLQUEPARQUE que se encuentra en el proceso de formalización (D.L. N° 1105); cuya actividad es la de procesamiento de minerales para o cual cuenta con una Planta de molinos de AMALGAMACIÓN con una capacidad de tratamiento de 25 TM/día; en circuito para el procesamiento de mineral

La visión de la empresa es la de ser líder en la región en el cumplimiento de la Seguridad y Salud Ocupacional, en el cuidado del Medio Ambiente y con responsabilidad social.

3.1.3 Características Climáticas.

El clima local en el departamento de Puno está profundamente afectado por la altitud, la proximidad al Lago Titicaca y la topografía local. El clima es frío y seco. En las épocas de mayor frío (Junio a Agosto), hay fuerte incidencia de las heladas, en este tiempo las temperaturas mínimas pueden registrarse a 15° C bajo cero. Las granizadas son más frecuentes en las primeras lluvias de cada año, y coinciden con los meses de Septiembre y Octubre, en condiciones normales puede presentarse en pleno verano. La temperatura varía de 4.5° C a 5.0° C en los meses de Junio a Agosto, y de 9.0° C a 9.3° C en los meses de Noviembre a Marzo.

Los valores promedios más altos de humedad relativa en el altiplano se registran durante los meses de verano, de enero, febrero y marzo (mayores al 70%) los valores más bajos se dan durante los meses de invierno de Junio, Julio y Agosto

(menores al 50%). La precipitación pluvial anual varía entre 550 mm y 606 mm, concentrándose en un 75%, entre los meses de diciembre a marzo.

a. Clima y Meteorología

El análisis de los elementos meteorológicos y climatológicos del Estudio ha sido efectuado considerando la información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología- SENAMHI, entre Junio y Agosto del 2012. La estación meteorológica fue determinada en base a que se encuentra localizada de manera representativa en el Área de Estudio, la misma que es mostrada en la tabla 3.

Tabla 3

Ubicación Geográfica y Política de las Estaciones de Monitoreo

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
ANANEA	14°41'	70°21'	397	Ananea	S. A. Putina	Puno

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI

b. Temperatura

Tabla 4

Temperatura Máxima Media Mensual Estación Ananea (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2011	15,0	14,7	14,8	16,9	17,2	15,6	14,9	16,6	18,0	16,1	18,8	15,3
2012	14,2	14,8	15,0	15,8	15,6	15,2	14,9	15,9	17,8	18,2	18,4	17,5
Prom.	15,4	15,2	15,5	16,12	16,2	15,4	14,98	16,0	17,24	17,4	18,2	16,9

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI

c. Vientos

El análisis de los vientos es un factor importante en el estudio, puesto que, es necesario conocer los aspectos de dirección y velocidad de vientos en el área de influencia del proyecto.

Tabla 5

Vientos Estación Ananea (°C)

AÑO	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2011	NW	N	NE	NE	NE	NW	NW	NW	NE	NE	NE	NE
2012	NE	SE	NE	NE	NW	NW	NW	NW	NE	NE	SE	NE

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología –SENAMHI

3.2 Metodología

3.2.1 Características Climáticas.

Contemplando un programa de toma de muestras de tipo estacional. En las relaveras se determinaron el contenido de metal pesado como es el Mercurio (Hg) y el Oro Fino, categorizados dentro de una muestra de suelo pulverizado denominado sedimento.

Se seleccionaron sitios de muestreo representativos de las actividades de la planta en sus diferentes vetas en la relavera que es área de estudio del presente proyecto.

3.3 Muestreo de metales pesados

Los muestreos se realizaron de manera aleatoria en cada sector de la relavera que es distribuida por material de cada veta de mineral orifico, se utilizó perseverante de muestras, el peso de cada muestra es de 1kg cada muestra. Estas muestras se tomaron al azar, disponiéndolas en envases de plástico previamente lavados in situ y rotulados adecuadamente. Para transportar las muestras al laboratorio se empacarán en bolsas de polietileno pesado protegidas con hielo triturado en un conservador de “plastoform” manteniéndose aproximadamente a 4° C. Se tuvo el cuidado respectivo mediante la cadena de custodia. Al llegar las muestras al laboratorio se conservarán a la misma temperatura en un refrigerador hasta ser procesadas. Los análisis se realizaron en el Laboratorio Analíticos del Sur de Arequipa.

3.3.1 Procedimiento Analítico

Los análisis se realizaron según los procedimientos del laboratorio LAS (Laboratorios Analíticos del Sur), para la determinación de Mercurio en el relave se utilizó el método:

- 7003 EPA 552 Determinación de Mercurio por ICP-OES.

Los análisis se realizaron según los procedimientos del laboratorio LAS (Laboratorios Analíticos del Sur), para la determinación de Oro en el relave se utilizó el método:

- 7003 EPA 628 Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Gravimétrico

3.4 Puntos de muestreo

Para el diagnóstico químico de la relavera se ha zonificado la poza en tres escenarios, que forman parte de una misma poza relavera:

- PMR1= Punto de muestreo de la relavera N° 1
- PMR2= Punto de muestreo de la relavera N° 2
- PMR3= Punto de muestreo de la relavera N° 3

3.4.1 Procedimiento

El muestreo para sedimentos se realizó considerando el conocimiento previo existente del proceso metalúrgico. En general el alcance y representatividad de la muestra del relave obtenido del proceso que elabora la empresa,

Sobre la base a lo anterior, en principio se ha podido diferenciar entre dos tipos de relave, los que conforman la carga suspendida y los que conforman la carga de fondo, y parece claro que la representatividad de cada uno de ellos es distinta, debido a diferencias en la mayor facilidad que tienen para ser transportados por un lado y la mayor homogeneidad por otro que presentan los relaves suspendidos en relación a la carga de fondo. Por lo cual la muestra de fondo tienen un mayor alcance y representatividad en este muestreo.

Tabla 6
Métodos de Análisis de Mercurio y Oro

METAL	MÉTODO
Mercurio	*552
Oro	*628

Las muestras fueron enviadas al laboratorio LAS de la ciudad de Arequipa.

Tabla 7
Código de los Puntos de Muestreo de Sedimentos

Puntos de Muestreo	Código de laboratorio	Numero de Muestras de Sedimentos	Elementos Analizados	Lugar de muestreo	Tipo de Envase - Volume
PMR1	MN18012294	1	- Hg - Au	Relavera	Plastico-1L
PMR2	MN18012295	1	- Hg - Au	Relavera	Plastico-1L
PMR3	MN18012296	1	- Hg - Au	Relavera	Plastico-1L

3.4.2 Resultados

Tabla 8
Resultados de Laboratorio

Código	Au		Hg	
	gr/TM	oz/TC	ppm	mg/kg
PMR1	14.19	0.4139	143.65	143.65
PMR2	14.02	0.4089	226.57	226.57
PMR3	12.15	0.3544	202.01	202.01

Fuente: Resultados de Laboratorio LAS (Ver Anexo 2)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Concentración de metales en relavera

4.1.1 Parámetros Físico - Químicos

Tabla 9
Parámetros Físico – Químicos

Punto de muestreo	pH	Conductividad eléctrica us/cm	Temperatura
PMR1	5.3	241	7.3
PMR2	5.2	231	7.9
PMR3	5.3	242	7.5

4.1.2 Contaminación de Suelos

Para la comparación de la calidad de sedimentos se utilizó:

Tabla 10
Estándar de calidad de Suelo (ECA suelo) – Perú

Parámetros	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivo
Arsénico	140
Bario	2000
Cadmio	22
Mercurio	24
Plomo	800

Fuente: D.S. 011-2017-MINAM

4.1.3 Ley de Cabeza del Material

Tabla 11

Ley de Cabeza del Grupo Vol Company Unión SAC

Lugar	Ley de Cabeza gr/ TN
Manto Principal	168.30
Veta 605	207.90
Veta 484	141.90

Fuente: Grupo Vol Company Unión SAC

4.1.4 Resultados del Análisis de Relave

Se adjunta en el anexo N° 2 – Informe de ensayo de sedimento:

- Informe de Ensayo LAS – 18-06578

Tabla 12

Resultados del Análisis de Mercurio

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Límite de Detección	Resultado
Hg	MN18012294	PMR1	*552	mg/Kg	24	143.65
Hg	MN18012295	PMR2	*552	mg/Kg	24	226.57
Hg	MN18012296	PMR3	*552	mg/Kg	24	202.01

En la tabla 12 se observa el resultado de laboratorio en Mercurio en el relave del Grupo Vol. Company Unión SAC con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 24 mg/kg, observando que en el punto de monitoreo del suelo, en los 03 puntos de monitoreo tienen una elevada concentración de mercurio, el mayor resultado que es de 226.57 mg/kg y en el punto de monitoreo de relave N° 01 obtuvo 143.65 mg/kg que es el menor valor de todo el monitoreo.

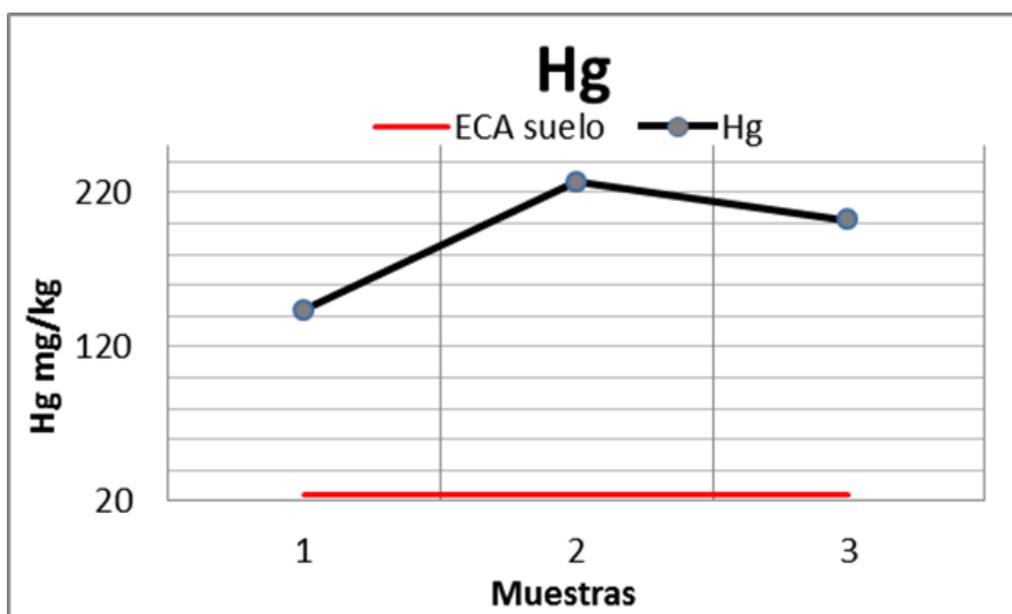


Figura 6. Resultados Hg Vs ECA suelo

Las concentraciones de Mercurio en los 3 puntos de la relavera se encuentran por encima del estándar de calidad de suelo norma peruana, obteniendo que en el punto de monitoreo de relavera N° 02 PMR1 que es el punto donde se encuentra el material del manto principal tiene una concentración de mercurio de 143.65 mg/kg, en el punto de monitoreo de relavera N° 02 PMR2 y el material que se encuentra en ese punto es de la veta 605 y tiene una concentración de mercurio de 226.57 mg/kg y por último en el punto de monitoreo de relavera N° 03 PMR3 donde se encuentra el material residual de la veta 484 tiene una concentración de mercurio de 202.01 mg/kg, concluyendo que en el PMR2 donde se ubica el residuo de la veta 605 es la zona donde se concentra una gran cantidad de mercurio 226.57 mg/kg.

4.1.5 Resultados del Análisis de Oro Fino en Relave

Se adjunta en el anexo N° 2 – Informe de ensayo de sedimento:

- Informe de Ensayo LAS – 18-06578

Tabla 13
Resultados del Análisis de Oro

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Ley de Cabeza	Resultado
Au	MN18012294	PMR1	*628	gr/TM	168.30	14.19
Au	MN18012295	PMR2	*628	gr/TM	207.90	14.02
Au	MN18012296	PMR3	*628	gr/TM	141.90	12.15

En el tabla 12, se observa el resultado de laboratorio en Oro Fino en el relave del Grupo Vol. Company Unión SAC con la unidad de medida de gramos por tonelada métrica (gr/TM) codificados en laboratorio y en campo con una ley de cabeza de 168.30 gr/TM, 207.90 gr/TM, 141.90 gr/TM, para los puntos de monitoreo de relave N° 01, 02, 03 respectivamente, , en los 03 puntos de monitoreo tienen concentración de oro fino, el mayor resultado que es de 14.19 gr/TM y en el punto de monitoreo de relave N° 03 obtuvo 12.15 gr/TM que es el menor concentración de oro fino que fuga del proceso de amalgamación.

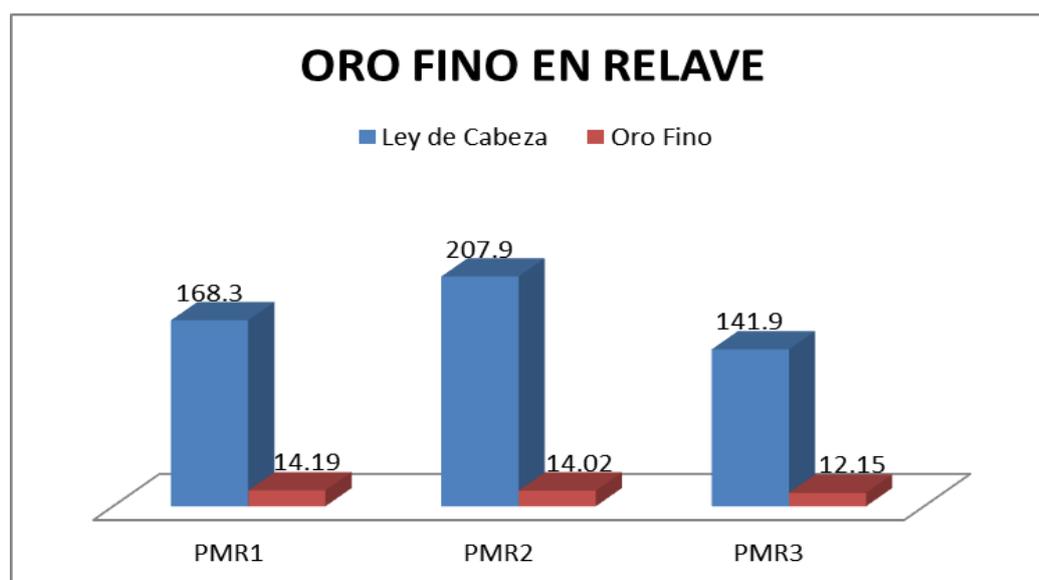


Figura 7. Ley de Cabeza Vs Oro Fino en Relave

El Grupo Vol Company Unión SAC, tiene una ley de cabeza de su material aurífero para cada uno de sus sectores de explotación, como se observa en la figura 5, se deduce que para PMR1 que es del sector de extracción Manto Principal tiene contenido en sus relaves 14.19 gr/TM, mientras que en el PMR2 donde está ubicada el manto 605 en su relave tiene un contenido de 14.02 gr/TM y por último en el PMR3 punto de monitoreo donde se encuentra el material de la veta 484 tiene un concentrado de oro fino de 12.15, que a su vez este último es el sector que tiene menos pero no desperdiciable Oro.

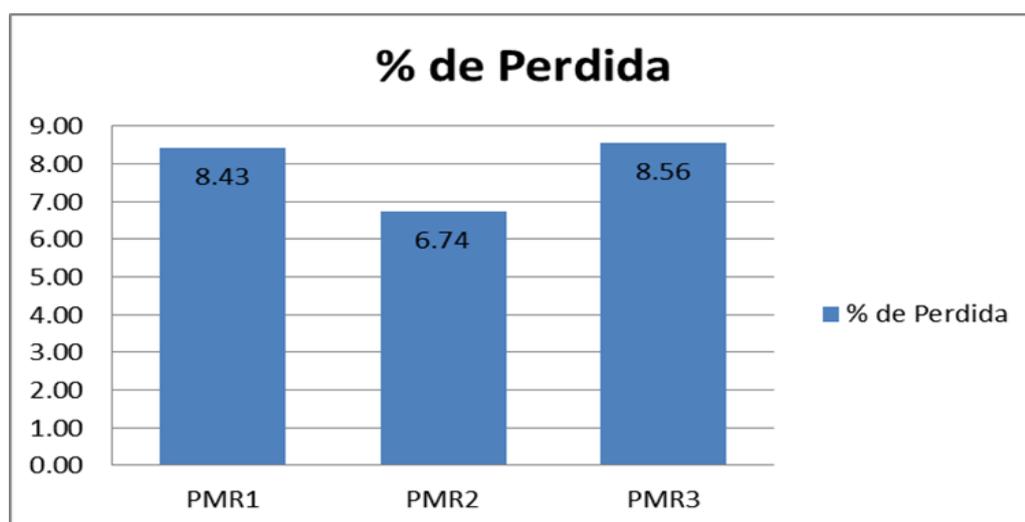


Figura 8. % de pérdida con referencia a la ley de cabeza
Fuente: Apaza (2018)

Con referencia a porcentaje de pérdida que tiene el proceso de amalgamación para cada sector de explotación es: PMR1 (manto Principal) es de 8.43% de la ley de cabeza que es 168.30 gr/TM, para el PMR2 (veta 605) tiene un porcentaje de 6.74 de la ley de cabeza del sector de explotación que es 207.90 gr/TM y para el PMR3 (veta 484) es de 8.56 gr/TM de la ley de cabeza que es 141.9 gr/TM. Tal cual se observa en la Figura 8.

Tabla 14
Comparación de ORO en relavera (Au)

DESCRIPCIÓN	LEY DE CABEZA	ORO FINO	% DE PERDIDA
PMR1	168.3	14.19	8.43
PMR2	207.9	14.02	6.74
PMR3	141.9	12.15	8.56
Promedio=		13.45	7.91

Para fines de comprensión se observa en la tabla 14 en el cual se observa en términos simples la ley de Cabeza del PMR1, PMR2 y PMR3 de cada sector de la relavera, comparándose transversalmente con los parámetros de ley de cabeza, Oro fino y el % de pérdida del proceso de amalgamación y de pérdida de mineral paralelamente. También que con fines de estudio más preciso se promedió el oro fino contenido en la relavera y el porcentaje de pérdida total para posteriores análisis.

Tabla 15
Relación capacidad - perdida

DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD UNITARIA TN	PROMEDIO gr/TN	RECUPERACIÓN gr
PMR1			
PMR2	1	13.45	13.45
PMR3			

En la tabla 15 se puede observar que hay una relación de la capacidad unitaria del contenido de la relavera multiplicada por el promedio total de contenido de oro fino en el relave que proviene del proceso de amalgamación del Grupo Vol Company Unión SAC, que es de 13.45 gr/TM que les otorgaría una recuperación de 13.45 gr de mineral.

Tabla 16
Relación recuperación – Valor económico

DESCRIPCIÓN	RECUPERACIÓN GR	VALOR DÓLARES/GR	TOTAL DÓLARES
PMR1			
PMR2	13.45	39.09	525.89
PMR3			

Se observa en la tabla 16, el cálculo del valor económico perdido en la relavera relacionada con el Dólar americano por cada gramo de oro fino recuperado, la relavera con una capacidad unitaria se obtiene 13.45 gr de oro fino que en el mercado tiene un valor de 39.09 el gramo, que se podría obtener 525.89 dolares por cada tonelada recuperada.

CONCLUSIONES

- Se demuestra que hay la presencia de las concentraciones de mercurio en el relave del Grupo Vol Company Unión SAC, debido a que presentan en los tres puntos de muestreo elevadas concentraciones de mercurio el mayor valor de 226.57 mg/kg.
- El Mercurio en la zona de estudio se encuentra por encima de los estándares de calidad para suelo, de modo que en el corto plazo se podría esperar efectos a nivel de la biología y ecología de la Zona.
- El Oro fino que escapa por el proceso de amalgamación es casi el 8.00% en promedio de la producción, se debe reaprovechar ese relave.
- El valor económico unitario por tonelada consta de 525.89 dólares, considerando el tonelaje almacenado en la relavera será de gran consideración.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de geotecnia en las canchas de relave para conocer su estabilidad de todas las canchas de relave.
- Realizar estudios similares en todas las plantas de beneficio de la zona para el fin de recuperación y de contaminación por contaminante.
- Recomendar a todas las plantas de beneficio a instalar canchas de relave con impermeabilización de manera obligatoria para evitar lixiviados con mercurio hacia los acuíferos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adriano, D.C., (1986). *Trace elements in the terrestrial environment*. New York: Springer Verlag.
- Álvarez, J. (2011). *Informe Preparado por el Instituto de la Amazonía peruana*. Lima, Perú: IIAP y el Ministerio del Ambiente.
- Antonovics, J., Turner, R., & Bradshaw, A. (1971). *Heavy Metal Tolerance in Plants*. London y New York: J.B Cragg.
- Aramburú, V. (2009). Recuperación de Oro y Mercurio de los Relaves del Proceso de Amalgamación con Tecnología Limpia. *Informe Técnico Final de Investigación*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Aramburú, V., Núñez, P., Azañero, A. Figueroa, M. y Gagliuffi, P. (2010). Recuperación de oro y mercurio de los relaves del proceso de amalgamación con tecnología limpia. *Revista del instituto de investigación FIGMMG*, 25(13),13-19.
- Astete, J., Cáceres, W., & Gatanaga, M. (2009). Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros. *Revista Peruana de medicina. Salud Pública*, 15-19.
- Badilla, H., Viquez, C., & Zamora, E., (2005). Evaluación de las Fuentes de Agua Potable de la Ciudad de Grecia. *Taller de Diseño Escuela de Ingeniería Civil*. Chimbote, Perú.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B., (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish* (2da Ed.). Washington, D.C.: EPA 841B99002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water.
- Bech, J., Tobías, F. J. y Roca, N. (1995). Influence of dispersed copper ores on soil background values of heavy metals in Barcelona area (Catalonia, Spain). *Third Int. Conf. of the biogeochemistry of Trace Elements*. Paris, Francia.

- Bech, J., Tobías, F., & Roca, N., (1995). *Nivells basals de metalls pesants i elements traça a sòls de catalunya*. Dossiers Agraris: Sòls contaminats, Institució catalana d'estudis agraris pp. 19-35.
- Bech, J., Tobías, F.J. y Roca, N. (1995). Nivells basals de metalls pesants i elements traça a sòls de Catalunya. En Cortés, A. y Boixadera, J. *Dossiers Agraris: Sòls contaminats, Institució catalana d'estudis agraris ed.*
- Bergamashi, G. (1987) *Oro*. España: Mondadori.
- Betancourt, O., Narvaez, A., & Roulet, M. (2005). *Small- scale gold mining in the Puyango River basin, southern Ecuador: A study of environmental impacts and human exposures*. Ecuador.
- Bitar, J., & Camacho, L., (2005). *Implementación de un modelo de transporte de metales pesados en el Río Magdalena tramo Girardot – Honda*.
- Bombardelli, F. A., Menéndez, A. N., & Montalvo, J. L. (1994). Cuantificación del Impacto de los Vertidos en la Ría de Bahía Blanca, Informe LHA-INCYTH 124-03-94, Vol. I, pp. 11-16.
- Boxall, J.B., Gyumer, I., & Marion, A., (2003). Transverse mixing in sinuous natural open channel flows. *Journal of Hydraulic Research*, 2 (41), 153–165.
- Bradshaw, A. D., & Mcneilly, T. (1985). *Evolución y Contaminación*. Ed. Omega,
- Brooks, R. R., Morrison, R. S., Reeves, R. D., & Malaisse, F., (1978). Copper and cobalt in african species of aeolanthus mart. (plectranthinae, labiatae). *Plant and Soil*.
- Calcina L. E. (2006). *Presencia de metales pesados en la biota acuática (Orestias sp y Schoenoplectus tatora) de la desembocadura del río Ramis – lago Titicaca*. Available from: <https://www.monografias.com/trabajos55/metales-pesados-en-titicaca/metales-pesados-en-titicaca2.shtml>
- Canseco, D. E (1978). *Metalurgia del oro y plata*. Lima: UNI.
- Castro J., & Monroy, M. (2002). *Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente. San Luis de Potosí, México*. Perú: UNESCO – INGEMMET.
- Chaney, R.L., Chaney, LL., Brown, S.L., Homer, F.A., Malik, M., Angle, J.S., Baker, A.J.M... & Chin, M. (2000). Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction systems: approaches and progress. En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers.

- Chapra, S. C., (1997). *Surface water quality modeling*. U. S.: Mc Graw Hill, University of Colorado at Boulder.
- Chessman, B.C., (1995). Rapid assessment of river using macroinvertebrates: a procedure based on habitat specific sampling, family level identification and biotic index. *Australian Journal of Ecology*, 20, 122-129
- Cullen, W., & Reimer, K.J., (1989). Arsenic Speciation in the Environment. *Chemical Revit.* 89, 713-764.
- Dana, J. (1992). *Manual de Mineralogía de Dana*. (19th ed.). España: Riverte.
- Dirección General de Salud Ambiental (1996). *Informe del estudio evaluativo realizado a trabajadores de la minería artesanal de extracción de oro en la localidad de Mollehuaca, Caravelí, Arequipa*. Lima: Mimeo DIGESA - Ministerio de Salud
- Domenech Antúnez, X. (1995). *Química de la Hidrosfera: Origen y Destino de los Contaminantes*. Madrid: Miraguano.
- Elder, J. M., (1959). The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. *Journal of Fluid Mechanics*, (5), 541-560.
- Espí, J. A (ed.). *El libro de la minería de oro en Iberoamérica*. Madrid: Monterreina.
- Estay L. A., (1990). Estudio de los niveles de contaminación por metales pesados y otros parámetros de calidad en las aguas y sedimentos del rio henares. (Tesis Doctoral). Departamento: Ordenación del Territorio Urbanismo y Medio Ambiente, programa de doctorado: Ingeniería Civil y Medio Ambiente, Universidad: Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Fisher, H.B. (1969). The Effects of Bends on Dispersion in Streams. *Water Resources Research*. 5(2), 496-506.
- Flores, H., (2008). *Inspección del Rio Ramis, Puno: Núcleo de afirmación del saber andino*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Forstner, U. (1993). Metals speciation general concept and application. En proceeding of the workshop on the sequential extraction of trace metals in soils and sediments. *Ins. J. Environ. Anal. Chen. Ed.* 51, 5-23.
- Forstner, U., & Wittmann, T.W., (1979). *Metal pollution in the Aquatic Environment*. Berlín: Springer-Verlag.
- García, I., & Dorronsoro, C., (2005). *Contaminación por metales pesados*. En: *Tecnología de Suelos*. Granada, España: Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.

- Gerbrandt, B., (2004). Contaminación del Lago Titicaca y afluentes por mercurio y otros elementos pesados. *Metalurgia, Materiales y Soldadura, 1*, pp. 34-39.
- Ghetti, P. F., (1986). I macroinvertebrati nell' analisi di qualita dei corsi d' aqua. Provincia Autonoma de Trento. In: Toman, M.J. & F. Steinman, (Eds.). *Biological assessment of stream water quality (theory, application and comparison methods)*. Ljubjana: University of Ljubjana.
- Gong, H., Rose, A., & Suhr, N. (1977). The geochemistry of cadmium in some sedimentary rocks. *Geochemica et cosmochimica Acta, (1)*.
- González V. J. & León, V. L. (1992). *Estudio de Trazado y Calibración de Modelo Numérico en un Tramo del Río Lerma*. México.
- González, J. A., & Martínez, A. P., (1990). Método general para calcular coeficiente de dispersión longitudinal en ríos. *Revista Ingeniería Hidráulica en México, 2(V)*, 26-31.
- Guerrero B., Carlos B. y Zavala C., (2006). *Influencia de la actividad minera en la cuenca del río Ramis – Puno*. Available from: <http://www.ingemmet.gob.pe/publicaciones/Cap2-Trab4.pdf>
- Gutiérrez, A., (1997). Concentraciones de metales pesados en la vegetación autóctona desarrollada sobre suelos del entorno de una mina abandonada Bubierca-Zaragoza. *Boletín Geológico y Minero, 1(108)*, 69-74.
- Hellawell, J.M., (1986). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. London: Elsevier Applied Science.
- Hurtado H. (2003). Oro oculto en el Perú. Lima: UNAS.
- Kidd, P., Becerra, C., Garcia, L., & Monterroso. (2007). *Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género Alyssum L. Ecosistemas*.
- Llugany, M., Tolrà, R.; Poschenrieder, C. & Barceló, J., (2007). Hiperacumulación de metales: ¿Una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas, 2(16)*, 4-9.
- Loring, D.H., 1991, Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *Journal of Marine Science, 48*, 101-115.
- Macnair, M. (1987). Heavy metals tolerance in plants: A model evolutionary system. *Tree, 2(12)*.
- Martínez A., (1988). *Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría*. México DF, México: Trillas.

- Mcnaughton, S.J., Folsom, T.C., Lee, T., Park, F., Price, C., Roeder, D., Schmitz, J., Stockwell, C., (1974). Heavy metal tolerance in *Typha latifolia* without the evolution of tolerant races. *Ecology*, 55, 1163-1165.
- Meza, L. (1981). *Aspectos fundamentales de los procesos hidrometalúrgicos de los metales preciosos*. Chile.
- Örstner, U., & Wittmann G., T. (1981). *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Pendias, A. & Kabata, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants*. Londres: CRC Press - Taylor & Fancis Group
- Proctor, J y Woodell, S. (1971). The Plant Ecology of Serpentine: I. Serpentine Vegetation of England and Scotland. *Journal of Ecology*, 2(59), 375-395.
- Purves, D. (1977). *Trace Elements Contamination of the environment*. Amsterdam: Elsevier.
- Rascio, N., (1977). Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits. *Oikos*, 29, 250-253.
- Reeves, R.D., & Baker, A.J.M., (1984). Studies on metal uptake by plants from serpentine and non-serpentine populations of *Thlaspi goesingense* Hálácsy (Cruciferae). *New Phytologist*, pp. 191-204.
- Reeves, R.D., (2006). Hyperaccumulation of trace elements by plants. *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. Ed. Springer. 2 (68), 25-52.
- Rivera, H., (2001). *Introducción a la geoquímica general y aplicada*. Lima, Perú: UNI.
- Roca, N., (2004). *Salinidad, alcalinidad y metales pesados en suelos semiáridos de Fray Mamerto Esquiú (Catamarca, Argentina): Aplicabilidad de la taxonomía de suelos*. (Tesis doctoral). Universidad de Barcelona, Barcelona, España.
- Rutherford, J. C., (1994). *River mixing, NIWA Ecosystems Natural Institute of Water and Atmosphere Research Hamilton*. New Zealand.
- SER. (2007). Conflicto en el Altiplano Actividad minera informal en Ananea y contaminación de la cuenca del río Ramis. *Documento informativo*. Puno, Perú: Oficina Regional Puno Asociación SER.
- Sobral, S. (1994). *Curso: Tecnología actual de los procesos de recuperación de oro y plata*. Colombia: U.I.S.
- Sposito, G. (1989). *The Chemistry of Soils*. U.S.: Oxford University Press.

- Thorne, R.S., & W.P. Williams. (1997). The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. *Freshwater Biology*, 37, 671-686.
- Tlustos, P., Pavlíková, D., Száková, J., & Balík, J., (2006). Plant accumulation capacity for potentially toxic elements. *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. Ed. Springer. 3 (68), 53-84.
- Turekian, K., & Wedepohl, K. (1961). Distribution of the elements in Some Major Units of the Earth Crust. *Geological Society of America Bulletin*, 175-192.
- Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust. *Geological Society of America, Bulletin* 72, 175-192.
- Universidad Nacional del Altiplano y Universidad Montana Tech, California -USA. (2003). *Evaluación ambiental de procesamiento de oro por amalgamación por mercurio*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Universidade de Vigo (2002). *As troitas do río miño, en Ourense están contaminadas con metales pesados*. Vigo, España.
- Usero, J., Morillo, J. & Gracia, I. 1997. Contaminación por metales en sedimentos acuáticos del río Odiel. *Tecnología del agua*, 130, 47-54.
- Valdez. F., & Cabrera, VM., (1999). *Contaminación por metales pesados en Torreon, Coahuila, México*. México: Texas Center for Policy Studies CILADHAC, Torreon.
- Van Deuren, J., T. Lloyd, S. Chetry, R. Liou y J. Peck. (2002). *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide* (4th Ed.). Technology Innovation Office, EPA Platinum International, Inc. Available from:: http://www.frtr.gov/matrix2/top_page.html.
- White, K., & Tittlebaum, M. (1985). *Metal distribution and contamination in sediment*. J. Environ Engen.
- Zavala, B., & Guerrero, C. (2005). *Estudio geoambiental de la cuenca del río Ramis, informe en edición*. Normas Riverside.



ANEXOS

Anexo 1. Evidencias Fotográficas



Figura 9. Vista de Campamento



Figura 10. Ventilación



Figura 11. Vista de almacenamiento de Relaves



Figura 12. Almacenamiento de Desmonte

Anexo 2. Certificados de Laboratorio



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-06578

Fecha de emisión: 13/10/2018

Página 1 de 1

Señores: HERNAN ROMULO APAZA PORTO
Dirección: JR. SUCRE N° 740 JULIACA- PUNO
Atención: HERNAN ROMULO APAZA PORTO
Recepción: 10/10/2018
Realización: 10/10/2018
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*552 Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Gravimetría
*628 Método de Ensayo para Mercurio por ICP-OES

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*552 Au		*628 Hg
				g/TM	oz/TC	ppm
MN18012294	N°1	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	14,19	0,4139	143,65
MN18012295	N°2	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	14,02	0,4069	226,57
MN18012296	N°3	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	12,15	0,3544	202,01

[Handwritten Signature]
Laboratorio Analítico del Sur
Sede Vicario Juliaca, Arequipa
Gerente General
Ing. Eduardo C. J. ...

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 5811