

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



“CARACTERIZACIÓN DE RELAVES MINERO-METALÚRGICOS COLONIALES
LOCALIZADOS SOBRE LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN MIGUEL, UNA DE
LAS VERTIENTES DEL LAGO TITICACA”

TESIS
PRESENTADA POR EL BACHILLER:
HERNÁN ULISES ALEGRE CORNEJO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO - PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

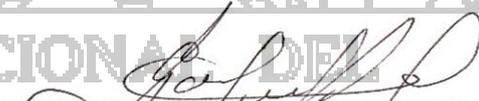
TESIS

“CARACTERIZACIÓN DE RELAVES MINERO-METALÚRGICOS COLONIALES
LOCALIZADOS SOBRE LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN MIGUEL, UNA DE
LAS VERTIENTES DEL LAGO TITICACA”

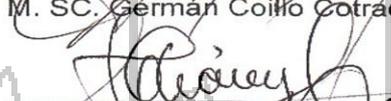
PRESENTADO POR: HERNÁN ULISES ALEGRE CORNEJO A LA
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA METALÚRGICA, CON LA FINALIDAD DE OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGISTA

APROBADO POR EL JURADO EVALUADOR CONFORMADO POR:

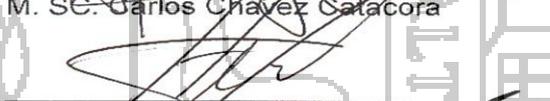
PRESIDENTE


M. SC. Germán Coilló Cotrado

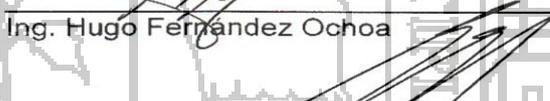
PRIMER MIEMBRO


M. SC. Carlos Chávez Catacora

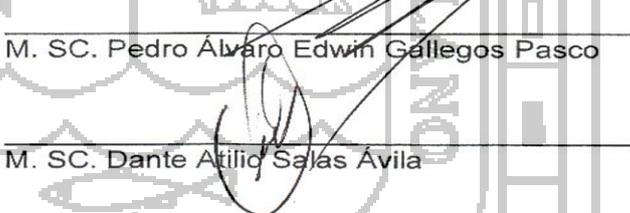
SEGUNDO MIEMBRO


Ing. Hugo Fernández Ochoa

ASESOR DE TESIS


M. SC. Pedro Alvaro Edwin Gallegos Pasco

DIRECTOR DE TESIS


M. SC. Dante Atilio Salas Ávila

PUNO - PERÚ

2014

ÁREA: Metalurgia extractiva**TEMA: Metodología de la investigación**

AGRADECIMIENTOS

A alguien o a algo más poderoso que nosotros, que hace que todo suceda... para cuando deba suceder.



RESUMEN

INTRODUCCIÓN	Pág.
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	5
1.1 Desarrollo de la realidad problemática	5
1.2 Antecedentes de la investigación	8
1.3 Planteamiento del problema	10
1.3.1 Formulación del problema	10
1.3.2 Objetivos de la investigación	11
1.3.3 Justificación de la investigación	11
1.4 Hipótesis de la investigación	12
1.5 Limitaciones de la investigación	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	14
2.1 Marco teórico normativo	14
2.2 Definiciones conceptuales	16
2.2.1 Desmontes, relaves y escorias	16
2.2.2 Pasivos Ambientales	16
2.2.3 Elementos potencialmente tóxicos [metales pesados]	17
2.2.4 Efectos de los elementos potencialmente tóxicos sobre algunas funciones biológicas	18
2.2.5 Caracterización	20
2.2.6 Caracterización mineralógica por microscopía óptica	21
2.2.7 Química analítica	22
2.2.8 Análisis químico	22
2.2.9 Análisis instrumental	23
2.2.10 Instrumentos analíticos	24
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	28
3.1 Primera fase: Recopilación de la información bibliográfica e histórica	29
3.2 Segunda fase: Trabajos de campo y laboratorio	31
3.2.1 Localización del sitio	31
3.2.2 Diseño del esquema de muestreo	32

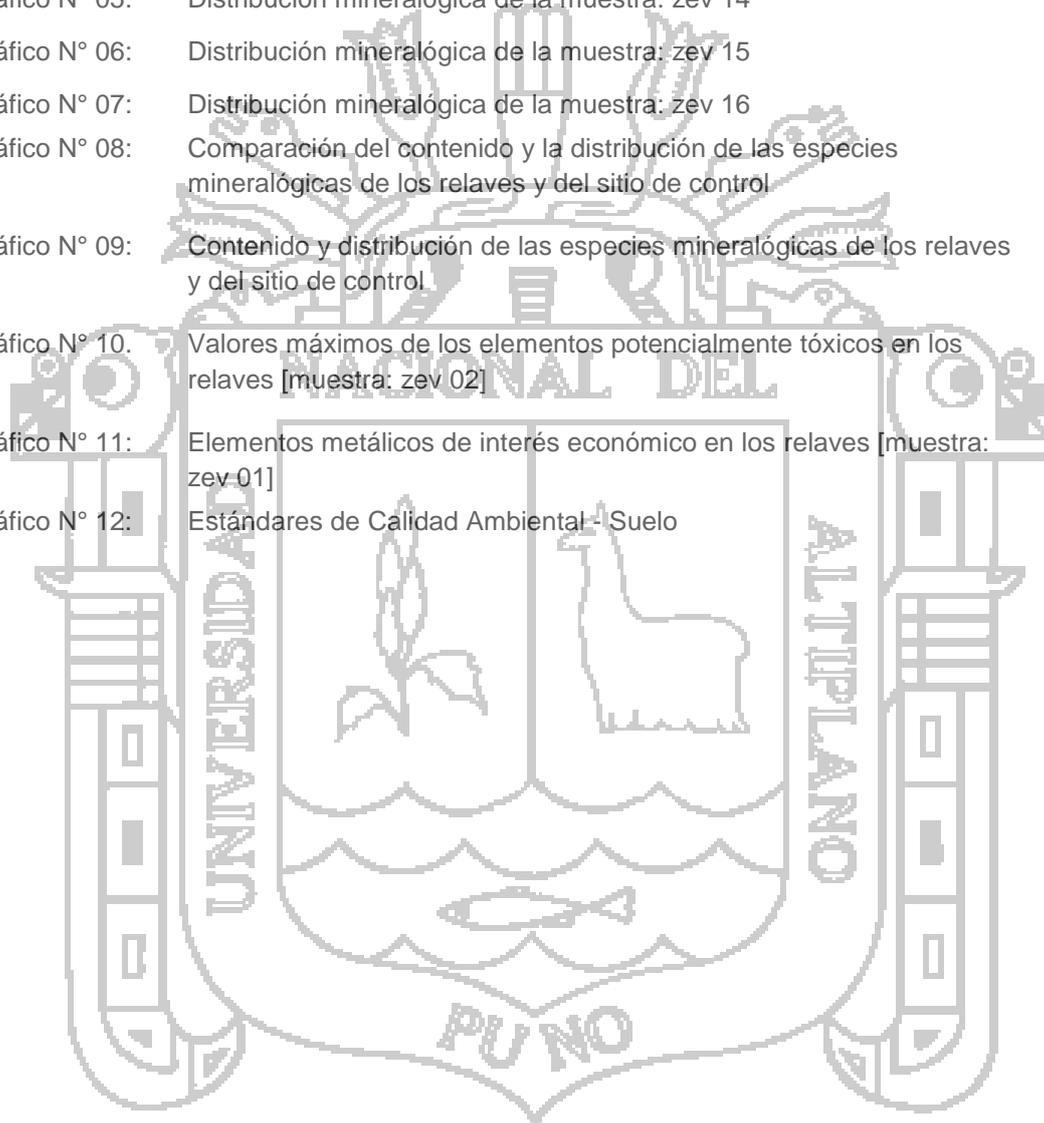
3.2.3	Toma de muestras	35
3.2.4	Preparación de muestras	36
3.2.7	Determinación multielemental por espectrometría de emisión atómica	53
3.2.8	Determinación polimetálica por espectrometría de absorción atómica	54
3.2.9	Determinación de Mercurio por generación de hidruros y espectrometría de absorción atómica	55
3.2.10	Determinación de Oro por Fire Assay y espectrometría de absorción atómica	56
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		57
4.1	Primera fase: Resultados de la recopilación de la información bibliográfica e histórica	57
4.1.1	Minería colonial en Puno	57
4.1.2	Ingenios y trapiches	59
4.1.3	Minería colonial en el Perú	60
4.1.4	Técnicas de extracción minera en la época	62
4.1.5	El método de amalgamación	64
4.2	Segunda fase: Resultados de los trabajos de campo y laboratorio	67
4.2.1	Resultados de los trabajos de campo	67
4.2.2	Resultados de laboratorio	70
4.2.2.1	Resultados de la determinación mineralógica	70
4.2.2.2	Resultados de la determinación multielemental	79
CAPÍTULO V: UTILIDAD DE RESULTADOS Y POSIBILIDAD DE TRATAMIENTO		89
5.1	Utilidad de resultados	89
5.2	Posibilidad de tratamiento	90
CONCLUSIONES		103
RECOMENDACIONES		107
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		108
ANEXOS		113

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 03:	Esquema de un espectrómetro de emisión atómica ICP-AES	25
Imagen N° 04:	Esquema de un espectrómetro de absorción atómica AAS	26
Imagen N° 05:	Esquema de un difractómetro de rayos X	27
Imagen N° 06:	Localización de la zona de estudio, a través de imágenes satelitales	31
Imagen N° 07:	Esquema de muestreo	33
Imagen N° 08:	Localización de puntos de muestreo y confirmación de coordenadas	35
Imagen N° 09:	Muestra pulverizada	37
Imagen N° 10:	Muestra preparada, 0.2 g/250 ml. Medio clorhídrico al 10%	38
Imagen N° 11:	Muestra preparada, 0.5g/50 ml. Medio clorhídrico al 20%	39
Imagen N° 12:	Preparación química de muestras para la determinación de Mercurio	40
Imagen N° 13:	Preparación con fundentes	41
Imagen N° 14:	Difractómetro de rayos X SHIMADZU XRD-6000	47
Imagen N° 15:	Difractograma de la muestra zev 01	48
Imagen N° 16:	Difractograma de la muestra zev 03	48
Imagen N° 17:	Difractograma de la muestra zev 07	49
Imagen N° 18:	Difractograma de la muestra zev 11	49
Imagen N° 19:	Difractograma de la muestra zev 14	50
Imagen N° 20:	Difractograma de la muestra zev 15	50
Imagen N° 21:	Difractograma de la muestra zev 16	51
Imagen N° 22:	Observación de la muestra con microscopio de polarización	52
Imagen N° 23:	Espectrómetro de emisión atómica VARIAN 735	53
Imagen N° 24:	Espectrómetro de absorción atómica Thermo SCIENTIFIC iCE3000	54
Imagen N° 25:	Sistema generador de hidruros VP100 Vapor System	55
Imagen N° 26:	Carga y fusión de muestras, para la determinación de Oro	56
Imagen N° 27:	Animales pastando cerca de la zona de estudio	67
Imagen N° 28:	Trucha arcoíris, visualizado muy cerca de la zona de estudio	68
Imagen N° 29:	Microcuenca del río San Miguel	69
Imagen N° 30:	Componentes de uno de los granos de la muestra zev 01	72
Imagen N° 31:	Granos de la muestra zev 16	76
Imagen N° 32:	Esquema del ciclo de vida de un proyecto minero-metalúrgico	89
Imagen N° 33:	Esquema de las etapas del tratamiento de los relaves	91
Imagen N° 34:	Diagrama E_h -pH para el sistema Ag – CN – H ₂ O a 25°C	93
Imagen N° 35:	Efecto de la adición de iones de plomo y mercurio en el comportamiento anódico del oro en una solución cianurada alcalina.	95
Imagen N° 36:	Indicios y componentes hallados en los textos históricos	104

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico N° 01: Distribución mineralógica de la muestra: zev 01	70
Gráfico N° 02: Distribución mineralógica de la muestra: zev 03	70
Gráfico N° 03: Distribución mineralógica de la muestra: zev 07	71
Gráfico N° 04: Distribución mineralógica de la muestra: zev 11	71
Gráfico N° 05: Distribución mineralógica de la muestra: zev 14	75
Gráfico N° 06: Distribución mineralógica de la muestra: zev 15	75
Gráfico N° 07: Distribución mineralógica de la muestra: zev 16	76
Gráfico N° 08: Comparación del contenido y la distribución de las especies mineralógicas de los relaves y del sitio de control	78
Gráfico N° 09: Contenido y distribución de las especies mineralógicas de los relaves y del sitio de control	103
Gráfico N° 10: Valores máximos de los elementos potencialmente tóxicos en los relaves [muestra: zev 02]	105
Gráfico N° 11: Elementos metálicos de interés económico en los relaves [muestra: zev 01]	106
Gráfico N° 12: Estándares de Calidad Ambiental - Suelo	107



RESUMEN

El desarrollo de esta investigación comprende la caracterización de relaves minero-metalúrgicos coloniales localizados sobre la microcuenca del río San Miguel (tributario de una de las principales vertientes hidrográficas del lago Titicaca), y propone un posible tratamiento, utilizando técnicas metalúrgicas eficientes y responsables.

Estos relaves, fueron depositados en el mismo lugar en donde se procesaron los minerales, causando desde entonces graves daños ambientales que van en contra, no sólo de las normativas ambientales vigentes, sino que aún atentan directamente en contra de la calidad de vida de las personas y de cualquier forma de vida que están dentro de su área de influencia. Por lo tanto, uno de los principales objetivos de la investigación fue identificar y determinar la concentración de los elementos potencialmente tóxicos, así como la identificación y determinación de la concentración de los elementos metálicos de interés económico. Los mismo que podrían hacer posible su reprocesamiento.

De acuerdo con los resultados de la caracterización, se encontraron altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos como el Arsénico, Mercurio, Plomo y Antimonio, con contenidos de hasta 7207_{ppm}, 492_{ppm}, 54905_{ppm} y 3323_{ppm}, respectivamente. Del mismo modo, se encontraron concentraciones relativamente altas de elementos metálicos de interés económico, de las cuales destacan la Plata, Mercurio, Plomo y Zinc, con valores que alcanzan los 558_{ppm}, 492_{ppm}, 54905_{ppm} y 10320_{ppm} respectivamente.

Palabras clave: Caracterización, relaves, concentración, tratamiento.

ABSTRACT

The development of this research mainly comprises the characterization of colonial mining-metallurgical tailings located on the San Miguel watershed (tributary of major river watersheds of Titicaca Lake) river, and proposes a possible treatment, using efficient and accountable metallurgical techniques.

These tailings probably were irrationally deposited in the same place where minerals are processed, causing severe environmental damage that go against not only current environmental regulations, but also, threaten directly against quality of people's life and all life forms that are around their area of influence. Therefore, one of the main objectives of the research is to identify and determine the concentration of potentially toxic elements and the identification and determination of the concentration of metals of economic interest. The latter, would make possible the treatment and disposal of tailings.

According to the characterization results, high concentrations of potentially toxic elements such as Arsenic, Mercury, Lead and Antimony, with contents up to 7207_{ppm}, 492_{ppm}, 54905_{ppm} and 3323_{ppm} respectively were found. Similarly, they found relatively high concentrations of metals of economic interest, of which highlight the Silver, Mercury, Lead and Zinc, with values reaching 558_{ppm}, 492_{ppm}, 54905_{ppm} and 10320_{ppm}, respectively.

Keywords: characterization, tailings, concentration, treatment.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la humanidad, encara un serio problema ambiental causado principalmente por el calentamiento global, la alteración de la capa de ozono, la precipitación ácida, la contaminación general del planeta y un ambiente epidemiológico deteriorado, fenómenos estrechamente relacionados, junto con una rápida y gradual sobrepoblación. Todos estos factores contribuyen a una crisis de habitabilidad, dado que amenaza la capacidad del planeta para mantener una civilización a gran escala.

Al respecto, en los últimos veinticinco años, y sobre todo recientemente, se han suscitado un conjunto de presiones nacionales e internacionales para combatir la degradación ambiental. Por ello resulta que las cuestiones ambientales se traten cada vez más en el contexto general del proceso y las políticas de desarrollo.

En nuestro país, la implementación de la legislación ambiental ha generado un importante conjunto de normas y regulaciones tanto de tipo preventivo como restrictivo, así como nuevas instituciones encargadas de implementarlas. Entre las normas y regulaciones directas de tipo preventivo se encuentran disposiciones sobre ordenamiento territorial, normativas sobre conservación de los recursos naturales, normas técnicas sobre impacto ambiental, estándares de calidad ambiental, auditorías ambientales, etc.

Por otro lado, dentro de nuestro contexto y dándole crédito a la mayoría de los especialistas quienes afirman que las actividades que más impactos negativos ocasionan al ambiente son las minero-metalúrgicas, surgen algunas preguntas como: ¿podemos hacer algo al respecto?, ¿podemos cambiar tal percepción?, ¿podemos hacer que nuestras actividades sigan generando recursos económicos, pero, sin atentar en contra del ambiente?

Al igual que en nuestros días, en los días de la colonia, las actividades Minero-Metalúrgicas producían también residuos, catalogados actualmente como “pasivos ambientales”. Los mismos que, en algunos casos, fueron producidos y depositados de manera irracional en el mismo lugar en donde los procesaron, generalmente ríos y acequias, causando desde entonces, severos daños ambientales que van en contra no sólo de las normativas ambientales vigentes, sino que, atentan directamente en contra de la calidad de vida de las personas y de cualquier forma de vida que se encuentran dentro de su área de influencia.

En ese sentido, el presente estudio tratará de cambiar tal percepción y mostrará un enfoque distinto de la metalurgia actual, puesto que incide en la caracterización y propone una alternativa de solución a un problema generado en la época colonial del país, haciendo referencia específica, a los relaves minero-metalúrgicos coloniales localizados sobre la microcuenca del río San Miguel (tributario de una de las principales vertientes hidrográficas del lago Titicaca),

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Desarrollo de la realidad problemática

En el 2009, en los distintos medios de comunicación, era cotidiano encontrar artículos referidos a las formas de contaminación que sufre el Lago Titicaca, especialmente, las relacionadas con la práctica de las actividades minero-metalúrgicas sobre sus vertientes.

Por mencionar un ejemplo, tenemos la investigación presentada por Carmen Gallegos, enviada especial de EL COMERCIO: “La minería informal amenaza nuestra maravilla natural”

“En el departamento de Puno la minería informal ha conseguido invertir las leyes de la naturaleza. En vez de un río de agua, los distritos de Azángaro, Asillo y Crucero comparten un río de relaves llamado Ramis.

En su embocadura, este río no sólo lleva agua al lago Titicaca, sino también, metales pesados como Mercurio y Arsénico. Sumado a eso, los peces del lago no son sólo portadores de proteínas, sino también, sustancias mortales para todo ser vivo. Eso se comprobó a través de un estudio a diversas variedades de peces

realizado por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) en Diciembre del 2008 en la zona norte del lago Titicaca, cerca de la desembocadura del río Ramis.

El pejerrey y el suche, presentaron las trazas de Mercurio más altas, con valores de 0.271 mg/kg y 0.219 mg/kg respectivamente. Estos resultados no superan los estándares del Environmental Protection Agency (EPA) (0.3mg/kg), ni el adoptado por el resto de países como el Perú (0.5mg/kg).

Sin embargo, como explica Renato Guevara, director científico del IMARPE, el Mercurio, aun presentándose en bajas concentraciones, afecta la salud. “El Mercurio, tiende a acumularse en la cadena alimenticia. Primero se concentra en el zooplancton, que es consumido por los peces pequeños. Estos a su vez, son alimento de peces grandes como el pejerrey, explica”. (GALLEGOS, Carmen. 2009).

Imagen N° 01: Publicación de la investigación de Carmen Gallegos, enviada especial de “EL COMERCIO”.

Hallan trazas de mercurio en peces del lago Titicaca

■ Especies como el suche y el pejerrey son las más contaminadas

■ La población que vive en la cuenca del río Ramis es afectada por relaves

CARMEN GALLEGOS
Enviada especial

En el departamento de Puno la minería informal ha conseguido inventar las leyes de contaminación. En vez de un río de agua, los distritos de Azángaro, Asillo y Crucero comparten un río de relaves llamado Ramis.

En su desembocadura, este río no solo lleva agua al lago Titicaca, sino también, metales pesados como mercurio y arsénico. Sumado a esto, los peces del lago no son solo portadores de proteínas sino también de sustancias mortales para todo ser vivo.

Eso se comprobó a través de un estudio a diversas variedades de peces realizado por el Instituto del Mar del Perú (Imarpe) en diciembre del 2008 en la zona norte del lago Titicaca, cerca de la desembocadura del río Ramis.

El pejerrey y el suche presentaron las trazas de mercurio más altas con valores de 0,271 mg/kg y 0,219 mg/kg respectivamente.

La contaminación en cifras

El arsénico superó los límites máximos permisibles en sedimentos de los ríos y lagunas. Las muestras del río Ramis en Ananea son alarmantes.



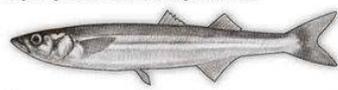
Mercurio en tejido de peces

Diciembre 2008 en mg/kg



Pejerrey (*Basilichthys bonariensis*)

Fue introducido desde Argentina en el Lago Poopó, en Bolivia, en 1946. Desde allí emigró al lago Titicaca, a través del río Desaguadero, en 1955.



COLOR CHOCOLATE. En Ananea, el camino es interrumpido varias veces por los relaves mineros, letales para la vida de peces y algas.



No hay control sobre la maquinaria

Existen dos grandes negocios alrededor de la minería: la maquinaria y el combustible. Se trata de negocios muy rentables pues, por ejemplo, alquilar un cargador frontal cuesta 180 soles la hora.

Según Víctor Vargas, presidente del Comité Multisectorial del Río Ramis, la informalidad creció al mismo tiempo que este negocio. “La maquinaria pasa por los puestos policiales y no ocurre nada. Lo mismo ocurre con las cisternas de combustible”, expresa. Al respecto, el general PNP Horacio Huivin, jefe de la XII Dierpot Puno, señaló que la policía no está realizando ningún tipo de control. “Necesitamos al menos 5.000 policías para vigilar la zona”, advirtió.

nuncia. Al frente de Ananea se encuentra La Rinconada. El lugar es una ironía ecológica. Los mineros cavan y usan explosivos en la base de un glaciar que esconde oro.

El distrito de Crucero, situado a 500 metros de distancia de Ananea, es bordeado por un río color chocolate, un trampamortal para cualquier pez. “Tuvimos

FUENTE: EL COMERCIO

El origen de la contaminación se encuentra a más de 4.500 m.s.n.m. en Ancocala, Ananea, La Rinconada y Pampa Blanca, que son centros auríferos explotados bajo diferentes modalidades, pero donde los relaves comparten un mismo destino: el río Ramis.

En el centro poblado de Ancocala, en la provincia de Sandia, una retroexcavadora estacionada en la calle principal, da cuenta del “boom” de la actividad minera. En el que fuera, hasta hace unos meses, un solitario poblado, hoy está rodeado de “shutes”.

En Ananea, algunas cooperativas como la de Silvestre Rocha (48), quien se dedica a la minería desde los 7 años, utiliza pozas para recircular el agua y no tirarla al río.

Sin embargo, Nicolás Ticoná, de la Oficina Técnica del Ministerio de Energía y Minas instalada en ese distrito, explica que la fiscalización de los métodos de trabajo es muy limitada.

“Aquí los problemas se arreglan a cuchillazos. Hacer inspecciones es un peligro. Somos tres personas y todos los días recibimos amenazas por teléfono”, denuncia. Al frente de Ananea, se encuentra La Rinconada. El lugar es de ironía ecológica. Los mineros cavan y usan explosivos en la base de un glaciar que esconde oro.

El distrito de Crucero, situado a 500 metros de distancia de Ananea, es bordeado por un río color chocolate, una trampa mortal para cualquier pez. “Tuvimos agua cristalina por ocho meses, pero hoy el cauce está cubierto de relaves. No tenemos agua para consumir”, dice Cirilo Leqqe, teniente alcalde de Crucero.

Los distritos de Azángaro, Asillo, Progreso, San Antón, Crucero y Potoni comparten esa misma situación: el río Ramis cada día es aniquilado poco a poco por los relaves mineros (GALLEGOS, Carmen. 2009).

Por otro lado, en el 2010, se localizaron montículos de un extraño material (relaves coloniales) sobre la microcuenca del río San Miguel, la misma que en su trayecto, llega a tributar al río llave, una de las principales vertientes del lago Titicaca.

Estos relaves, por su proximidad a la microcuenca y el tiempo de exposición sobre esta, pudieron de algún modo contribuir indirectamente con la contaminación del lago Titicaca desde hace 350 años, aproximadamente.

1.2 Antecedentes de la investigación

En nuestro país, la identificación y caracterización de pasivos ambientales mineros es una función que fue delegada al Ministerio de Energía y Minas, quien a través de la Dirección General de Minería la ha venido realizando hasta ahora. A efectos de que la Dirección General de Minería pueda cumplir con el encargo, en el artículo 8 del Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera (D.S. N° 059-2005-EM) se estableció la colaboración de los titulares de actividad minera, las Direcciones Regionales de Energía y Minas, las autoridades públicas de los distintos niveles del gobierno y la sociedad civil. Se dispuso que los titulares de actividad minera que hubieran generado pasivos o que tuvieran pasivos dentro del ámbito de sus respectivas concesiones debían ponerlo en conocimiento de la Dirección General de Minería dentro de los sesenta días de publicado el Inventario Inicial.

De acuerdo a la información publicada en el Diario Oficial El Peruano y en la web del Ministerio de Energía y Minas, no ha existido mayor respuesta a la disposición indicada en el párrafo anterior. Se cree que ello pudo deberse a dos motivos, por ignorancia de las empresas mineras o sencillamente por desinterés. Se descarta una tercera posibilidad, como es la que no exista mayor cantidad de pasivos ambientales mineros que los considerados en el Inventario Inicial, dado que, como se pudo observar más adelante, se solicitó la incorporación de un número significativo de pasivos ambientales mineros con posterioridad a la publicación del Inventario Inicial.

El Inventario Inicial consideró la existencia de ochocientos cincuenta pasivos ambientales mineros. Luego de ello, sólo se han incluido pasivos en dos ocasiones, el primero ante la presentación de un listado por parte del Fondo Nacional del Ambiente – FONAM (Inclusión aprobada por Resolución Ministerial N° 487-2007-MEM/DM, publicada el 13 de octubre de 2007); y el otro, como consecuencia de un Informe realizado por la consultora Water Management Consultants Perú S.A. (Inclusión aprobada por Resolución Ministerial N° 079-2008-MEM/DM, publicada el 22 de febrero de 2008).

Posteriormente, se aprobó la inclusión de 1,253 pasivos ambientales, correspondientes únicamente a la cuenca del río Llaucano, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, que si bien es cierto es una zona donde se ha desarrollado bastante actividad minera, no es la única zona en el Perú donde se haya desarrollado tanta actividad. En ese sentido, es lógico pensar que aún existen muchos pasivos por ser identificados.

Para concluir con este punto, creemos importante resaltar lo complicado que resulta realizar este encargo, más aún con la carga de trabajo que desarrolla la Dirección General de Minería y la falta de colaboración existente hasta el momento. La misión de identificar los pasivos ambientales mineros requiere de gran capacidad de personal y recursos, dado que implica verificar su existencia en todo el territorio peruano, recabar y estudiar elementos para determinar su calificación, entre otros encargos complejos; por lo que consideramos que no se cumple satisfactoriamente este encargo y no podrá mejorarse mucho en este sentido en las condiciones actuales (Leturia RPDE 130 -147 | www.teleley.com).

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Formulación del problema

Tomando como referencia el desarrollo de la realidad problemática, se formulan las siguientes preguntas:

1. ¿Qué naturaleza tienen los montículos localizados?
2. ¿Serán relaves coloniales?
3. ¿Podrían ser considerados aún como una fuente de contaminación del lago Titicaca?
4. Finalmente, en términos metalúrgicos, ¿contendrán metales de interés económico que puedan hacer posible su procesamiento?

1.3.2 Objetivos de la investigación

Objetivo General

Caracterizar los relaves localizados a través de la determinación del contenido y la distribución de sus especies mineralógicas y elementales; y, proponer una posibilidad de tratamiento, mediante la utilización de técnicas metalúrgicas eficientes y responsables.

Objetivos Específicos

- Determinar la naturaleza de los relaves.
- Encontrar indicios o componentes que los relacionen con alguna técnica de extracción de la época colonial.
- Identificar y determinar la presencia de elementos potencialmente tóxicos.
- Identificar y determinar la presencia de elementos metálicos de interés económico.

1.3.3 Justificación de la investigación

Los resultados de la caracterización, además de contribuir con el desarrollo de la tesis, proveerán información y datos suficientes que ayudarán a tomar mejores decisiones en cuanto al tratamiento y la disposición final de los relaves, tomando en cuenta su reprocesamiento y rehabilitación mediante la utilización de técnicas metalúrgicas responsables. Así como para la realización de los estudios de impacto ambiental, estudios que son necesarios para el desarrollo de cualquier tipo de actividad económica que se pueda desarrollar en la zona de influencia.

Del mismo modo, estos resultados servirán como base para la ejecución de nuevos proyectos, orientados principalmente a la investigación y a la generación de calidad de vida para las personas que habitan en la zona.

Debemos mencionar también, que con la investigación se logrará llenar el vacío que se tenía sobre el tema, puesto que actualmente, a nivel nacional, no existe una metodología específica para la caracterización de pasivos ambientales.

1.4 Hipótesis de la investigación

Primera hipótesis: Estos relaves, tendrían una naturaleza distinta a la del lugar en donde fueron localizados debido a que no existen minas en los alrededores.

Segunda hipótesis: De acuerdo con las técnicas de extracción empleadas en la época de la colonia (el azogue), los relaves, podrían contener altas concentraciones de mercurio, el mismo que estaría influenciando negativamente sobre los componentes ambientales de la zona.

Tercera hipótesis: Según la referencia bibliográfica e histórica, estos relaves son residuos del procesamiento de minerales argentíferos, por lo que podrían contener aún, altas concentraciones de elementos de interés económico que podrían hacer posible su reprocesamiento y disposición final.

1.5 Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de la investigación, están asociadas, principalmente, al número de muestras obtenidas, debido a la ubicación del lugar y a la negativa de los pobladores de la zona, quienes no autorizan el libre acceso a sus “tierras”. Se cree, que eso obedece a los últimos conflictos sociales anti mineros suscitados en la región.

En ese sentido, la precisión, los límites y el alcance en el lugar o espacio no serán determinados en su totalidad.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico normativo

Normativa General a Nivel Nacional

- Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los recursos Naturales.
- Ley General del Ambiente (Ley N° 28611).
- Ley del Fondo Nacional del Ambiente FONAM (Ley N° 26793).
- Ley Marco para el Crecimiento de la inversión Privada (D.L. N° 757).
- Ley Orgánica para el Aprovechamiento de los Recursos Naturales (Ley N° 26821).
- Código Penal – Título XIII: Delitos Contra la Ecología.
- Ley General de Salud (Ley N° 26842).

Normativa General Ambiental del Sector Energía y Minas

- Programas Especiales de Manejo Ambiental – PEMA (D.S. N° 041-2001-EM).
- Reglamento de Consulta y Participación Ciudadana en el Procedimiento de Aprobación de los Estudios de los Estudios Ambientales en el Sector Energía y Minas (RM 596-2002-EM/DM).

- Establecen compromiso previo como requisito para el desarrollo de actividades mineras y normas complementarias (D.S. N° 042-2003-EM).

Normativa Específica Ambiental Sector Energía y Minas

- Reglamento de Pasivos Ambientales de la actividad Minera (D.S. N° 059-2005-EM).
- Modificación del Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera (D.S. N° 003-2009-EM).
- Ley que regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera (Ley N° 28271).
- Implementan medidas de remediación ambiental a cargo del titular minero que haya realizado actividades y/o ejecutado proyectos relacionados con actividades mineras previstas en la Ley General de Minería (D.S. N° 078-2009-EM).
- Reglamento Ambiental para las actividades de Exploración Minera (D.S. N° 020-2008-EM).
- Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades Mineras, aprobado a través del D.S. N° 016-93-EM modificado por D.S. N° 059-93-EM.
- Modificación del Reglamento para la Protección Ambiental en las actividades Minero Metalúrgicas (D.S. N° 058-99-EM).
- Creación del Círculo de Estudios Minero Ambientales CEMA (D.S. N° 422-2009-MEM-AAM).

2.2 Definiciones conceptuales

2.2.1 Desmontes, relaves y escorias

Antes de empezar, es conveniente definir y entender en qué consisten los desmontes, relaves y escorias. Para ser breves, bastará con señalar que todos son residuos generados, principalmente, por actividades mineras. Los desmontes se diferencian, porque provienen de la concesión minera, mientras que los relaves y escorias provienen de la concesión de beneficio.

En ese sentido y de conformidad con el Decreto Supremo N° 03-94-EM, Reglamento de diversos Títulos del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, los desmontes son parte accesoria de la concesión minera de la que proceden, mientras que los relaves y escorias lo son de la concesión de beneficio de la que provienen. Ahora, siempre y cuando las concesiones se encuentren vigentes.

Por otro lado, y como ya se ha visto anteriormente, los relaves, desmontes y escorias, según su composición y concentración, pueden calificar como pasivos ambientales mineros, siempre que cumplan con la condición de abandonados o inactivos y constituyan un riesgo permanente y potencial a la salud de las personas, los componentes ambientales o a la propiedad.

2.2.2 Pasivos Ambientales

Según lo define el Artículo 2 de la ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, promulgado por el estado el 02 de julio del 2004, “Son considerados pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes,

emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población el ecosistema circundante y la propiedad”.

Entonces, los pasivos ambientales podrían definirse como aquella situación ambiental que, generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo a los componentes del ambiente y a la calidad de vida de las personas.

Si definimos a los pasivos ambientales como hechos históricos, causados por alguna actividad, ya sea por desconocimiento, negligencia, o por accidentes a lo largo del tiempo, entonces, es claramente diferenciable de los posibles riesgos ambientales que se pueden presentar en el presente, bajo una visión de prevención y control ambiental.

2.2.3 Elementos potencialmente tóxicos [metales pesados]

“El término metal pesado es usado comúnmente en materia de contaminación ambiental, pero su uso en éste y otros contextos ha causado gran confusión. Una de las definiciones más comunes se aplica a metales con una densidad (gravedad específica) mayor a 5 g/cm^3 . Sin embargo, dentro de esta clasificación también caen elementos (no metales) con propiedades químicas muy diferentes, además de que la gravedad específica no es significativa en cuanto a la reactividad, toxicidad o eco toxicidad de un metal. El término también se ha definido con base en otras propiedades fisicoquímicas (peso y número atómico, reacción con otros

elementos) y toxicológicas, por lo que resulta inconsistente. Otra clasificación más aceptada, se basa en la acidez de Lewis y se enfoca en las propiedades químicas de los metales, de manera que los metales pesados se clasifican como elementos de clase A “duros” [Li, Be Na, Mg, Al, K, Ca, Sc, Ti, Fe(III), Rb, Sr, Y, Zr, Cs, Ba, Hf, Fr y Ra] , clase B “suaves” [Cu(I), Pd, Ag, Cd, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb(II)] y de frontera [V, Cr, Mn, Fe(II), Co, Ni, Cu(II), Zn, Rh, Sn y Pb(IV)]. Esta clasificación se basa en la forma en la que se unen los metales en sus complejos y determina las posibilidades para la formación de los mismos...

...Los iones de clase A normalmente forman complejos con ligandos similares que no se polarizan y las uniones más comunes en estos complejos son iónicas. Los metales clase B se unen preferencialmente a ligandos suaves polarizables para dar uniones más covalentes” (Duffus 2001, Csuros y Csuros 2002, citados por Volke 2005: 32-34).

2.2.4 Efectos de los elementos potencialmente tóxicos sobre algunas funciones biológicas

“Para que un ión de alguno (s) de los elementos arriba mencionados tenga un efecto fisiológico o tóxico sobre un organismo, primero debe entrar a la célula. Los cationes metálicos divalentes (Mn^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , y Zn^{2+}) son estructuralmente muy similares entre sí; todos ellos tienen diámetros iónicos entre 138 y 160 pm y una doble carga positiva. De esta manera, por su semejanza estructural, ciertos cationes metálicos divalentes pueden desplazar a otros con funciones fisiológicas importantes en la célula. Por ejemplo, si el Zn^{2+} es reemplazado por Ni^{2+} , o el Be^{2+} por Mg^{2+} en enzimas, éstas se desactivan y

pierden su función. La sustitución de Ca^{2+} por otros metales en proteínas de la membrana provoca desórdenes funcionales” (Nies 1999, citado por Volke 2005: 34-35).

“Los cationes de varios metales (Ca, Fe, Cu, Na, K, Mg, Zn, Mn, y Cr) juegan un papel importante como elementos traza en reacciones bioquímicas y en el metabolismo humano. Otros elementos, como Al, Si, As, y Ni, también se encuentran en el cuerpo humano, pero su función exacta no se ha determinado. Ciertos metales funcionan como “venenos” metabólicos, ya que pueden reaccionar e inhibir una serie de sistemas enzimáticos; algunos iones de estos elementos (Hg^{2+} , Cd^{2+} , y Ag^{2+}) forman complejos tóxicos inespecíficos en la célula, lo que produce efectos tóxicos para cualquier función biológica. Elementos como el Hg, As, Sn, Tl y Pb, pueden formar iones órgano-metálicos liposolubles capaces de penetrar membranas y acumularse en las células. Aun, elementos sin propiedades tóxicas en baja concentración, como Zn^{2+} o Ni^{2+} y, específicamente Cu^{2+} , son tóxicos en concentraciones mayores” (Nies 1999, Csuros y Csuros 2002, citados por Volke 2005: 35).

En relación con lo anterior, cationes tri o tetra-valentes de otros metales (Sn, Ce, Ga, Zr y Th), debido a su baja solubilidad, no poseen influencia biológica. Del resto de los metales, el Fe, Mo y Mn son elementos traza importantes con baja toxicidad; el Zn, Ni, Cu, V, Co, W, y Cr son tóxicos con importancia biológica moderada; y elementos como As, Ag, Sb, Cd, Hg, Pb y U, no tienen importancia biológica significativa como elementos traza y se consideran tóxicos (Nies 1999, citado por Volke 2005: 35).

“Como puede verse, algunos metales no implican peligro para los sistemas biológicos; en cambio, algunos no metales y metaloides, como el Se y el As, respectivamente, son potencialmente tóxicos, dependiendo de su concentración. **Por esta razón, un término más adecuado, y por lo tanto adoptado en el presente documento, para denominar a los elementos de importancia ambiental y/o toxicológica será, el de elementos potencialmente tóxicos...**

...Es importante mencionar que si este tipo de elementos se encuentran biodisponibles y se movilizan hacia poblaciones cercanas, pueden ocasionar problemas de intoxicación. En este sentido, la forma química de un elemento, tiene influencia directa en su solubilidad, movilidad y toxicidad en el suelo; ésta, a su vez, depende de la fuente de contaminación y de la química del suelo en el sitio contaminado (Nies 1999). De esta manera, para poder evaluar la utilización de una alternativa de remediación para un sitio en particular, es indispensable llevar acabo la caracterización del sitio con el objeto de determinar el tipo y concentración del (los) contaminante (s) presente (s)”. (Volke, 2005: 36).

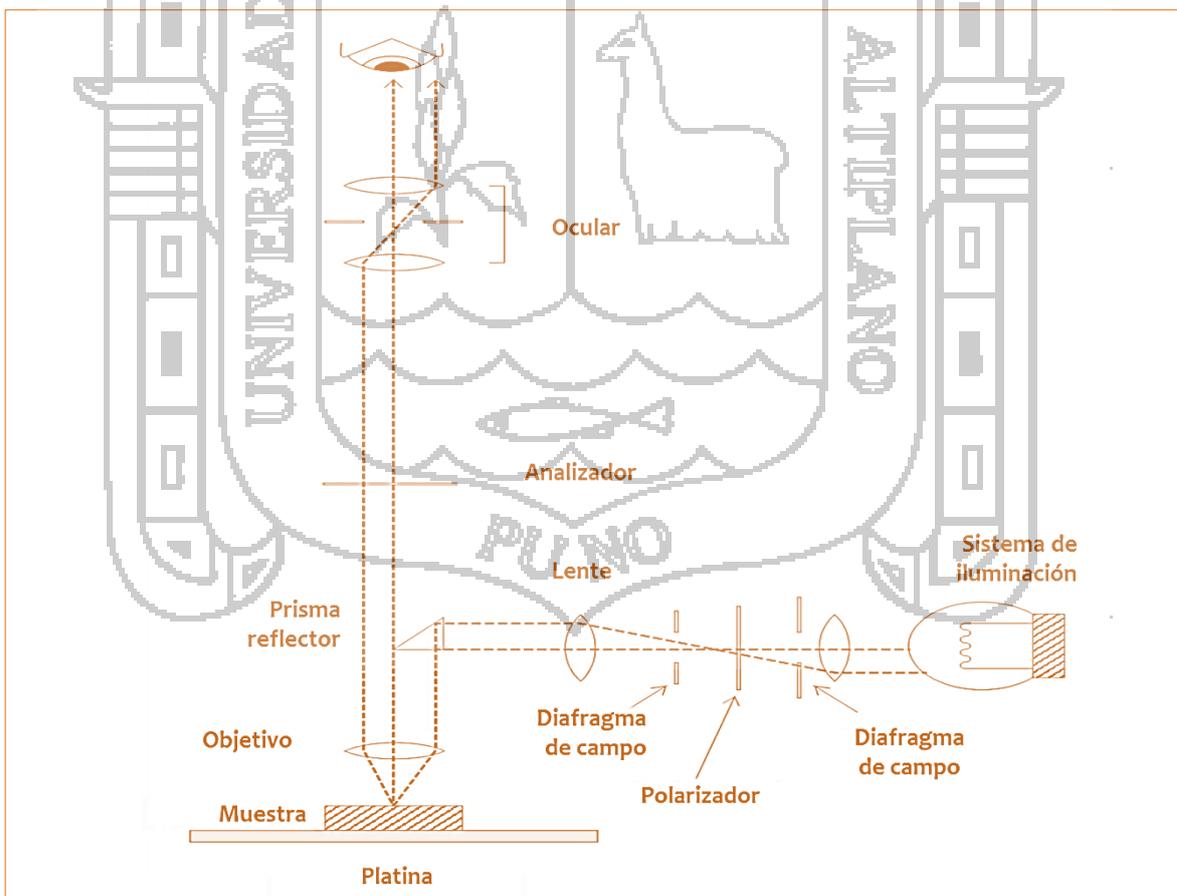
2.2.5 Caracterización

La caracterización se refiere al establecimiento de las características de una sustancia o un material determinado a partir del estudio de sus propiedades físicas, químicas, estructurales, etc. Existen para ellos distintas técnicas de caracterización, de acuerdo al interés que despierte dicho material. Una vez conocidas las características del material puede establecerse la naturaleza del mismo, así como sus posibles aplicaciones.

2.2.6 Caracterización mineralógica por microscopía óptica

“La microscopía óptica de luz reflejada es un estudio que aprovecha las propiedades ópticas de los minerales opacos siendo posible identificarlos por su color, textura, dureza, brillo, etc. Esta técnica permite determinar algunos minerales opacos, particularmente sulfuros metálicos, siendo posible determinar sus tamaños, asociaciones y liberaciones mediante un cuidadoso conteo de partículas y completando en conjunto con los ensayos una cuantificación de diferentes especies minerales”. (Ojeda 2010).

Imagen N° 02: Esquema de un microscopio de polarización de luz reflejada.



EDITADO POR: halegre@live.com

2.2.7 Química analítica

Sub disciplina de la química que estudia los métodos de detección (identificación) y cuantificación (determinación) de los componentes de una muestra. Se divide en química analítica cualitativa y química analítica cuantitativa. La primera tiene por objeto el reconocimiento o identificación de los elementos o de los grupos químicos presentes en una muestra. La segunda, la determinación de las cantidades de los mismos y sus posibles relaciones químicas e incluso estructurales.

2.2.8 Análisis químico

Es el conjunto de técnicas operatorias puestas al servicio de la química analítica. Utilizan a las interacciones materia-materia o reacciones químicas y a las reacciones de distribución para efectuar la cuantificación o cualificación del analito (valoraciones químicas). Las reacciones químicas se vuelven entonces el elemento cuantificador central del método. Los métodos volumétricos, gravimétricos y las separaciones químicas son el ejemplo de métodos de análisis químico clásico. Las operaciones analíticas asociadas a estos métodos son las titulaciones, las precipitaciones, las extracciones líquido-líquido, la adsorción iónica entre otras.

2.2.9 Análisis Instrumental

En el análisis Instrumental, se utiliza las interacciones energía-materia para efectuar la cuantificación o cualificación del analito (valoraciones instrumentales). Toda vez que para llevar a cabo experimentalmente las interacciones energía-materia se requiere de instrumentación más sofisticada que aquella usada en los métodos químicos. Suele llamarse a los métodos fisicoquímicos métodos instrumentales de análisis.

Clasificación de métodos

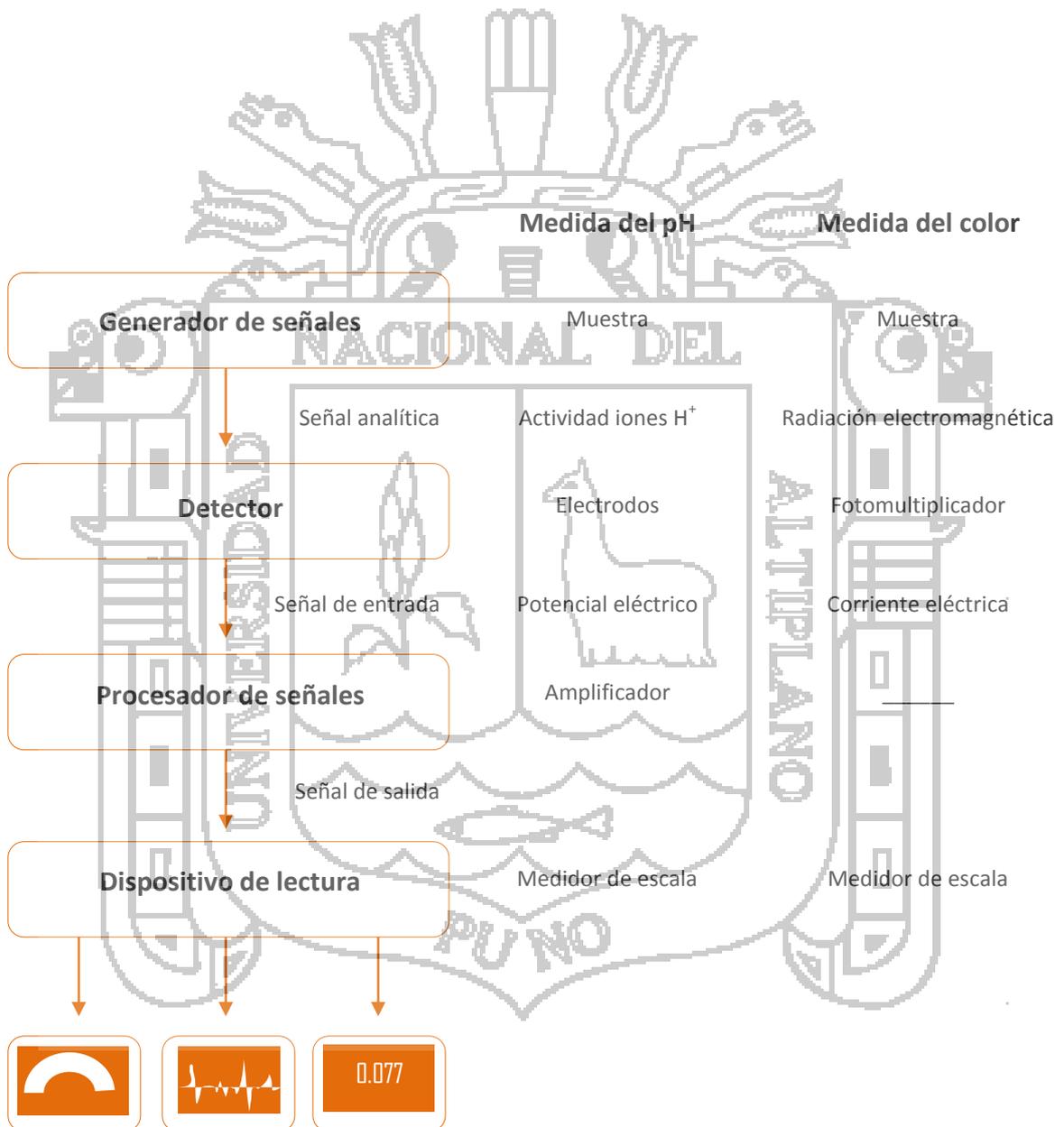
Cualitativos los que de la medida de una propiedad se puede indicar la presencia de un analito en una matriz.

Cuantitativos la magnitud de la propiedad medida es proporcional a la concentración del analito en la matriz. Frecuentemente, el mismo método instrumental es usado para el análisis cualitativo y cuantitativo.

Método	Propiedad utilizada
Espectrometría de masas	Relación masa-carga
Espectrometría de Emisión	Emisión de radiación
Espectrometría de Absorción	Absorción de radiación
Difracción de rayos X	Difracción de la radiación
Actividad neutrónica	Radioactividad

2.2.10 Instrumentos analíticos

Un instrumento analítico es un dispositivo que convierte una señal, que no suele ser detectado directamente por el ser humano, en una forma que sí lo es. Por mencionar algunos ejemplos, tenemos:

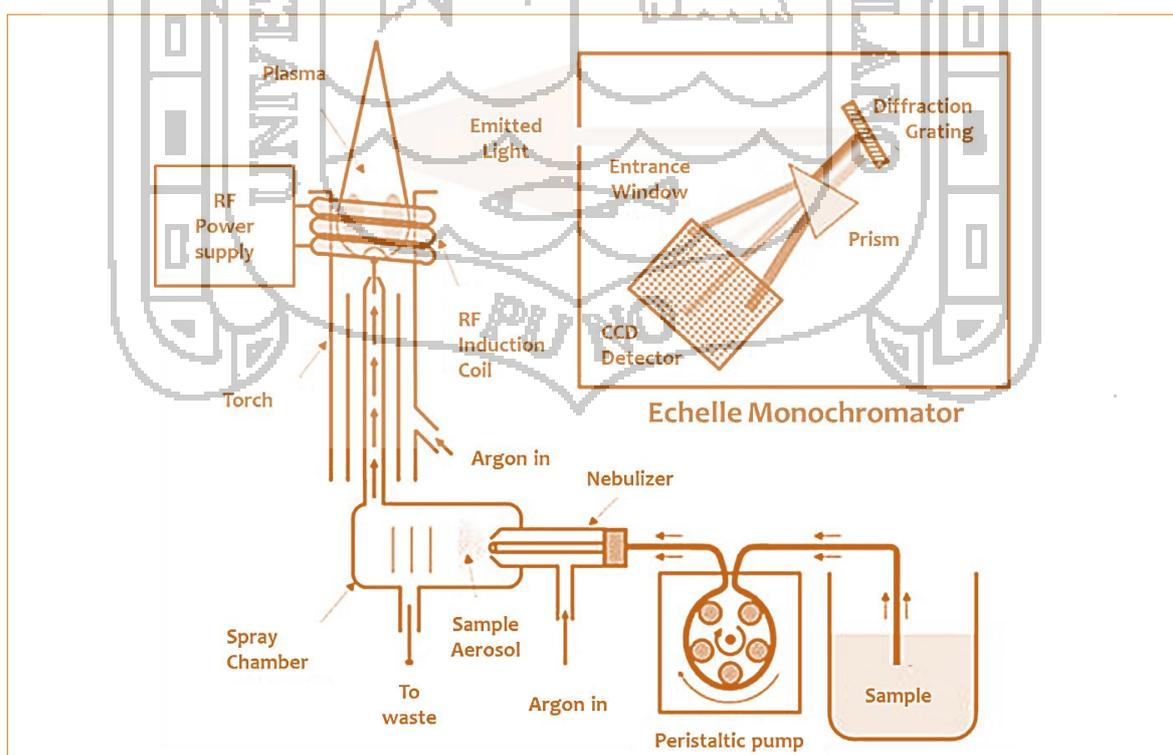


Espectrómetro de Emisión Atómica (ICP-AES)

Un plasma de acoplamiento inductivo (ICP) como fuente de ionización junto a un espectrómetro de emisión atómica (AES), constituyen un instrumento analítico sofisticado denominado ICP-AES.

Este instrumento, cuenta con un sistema de introducción continua de muestra líquida y un sistema de nebulización que la convierte en aerosol, la misma que es transportada por un flujo de Argón a una antorcha de plasma acoplado inductivamente por radio frecuencia. Debido a las altas temperaturas generadas en el plasma, los analitos son atomizados e ionizados por completo, generándose los espectros de emisión atómica de líneas características. Luego, estos espectros son dispersados por una red de difracción; y un detector sensible a la luz se encarga de medir las intensidades de las líneas. Finalmente, la información es procesada por un sistema informático y las convierte en valores ppb, ppm o %.

Imagen N° 03: Esquema de un Espectrómetro de Emisión Atómica ICP-AES.



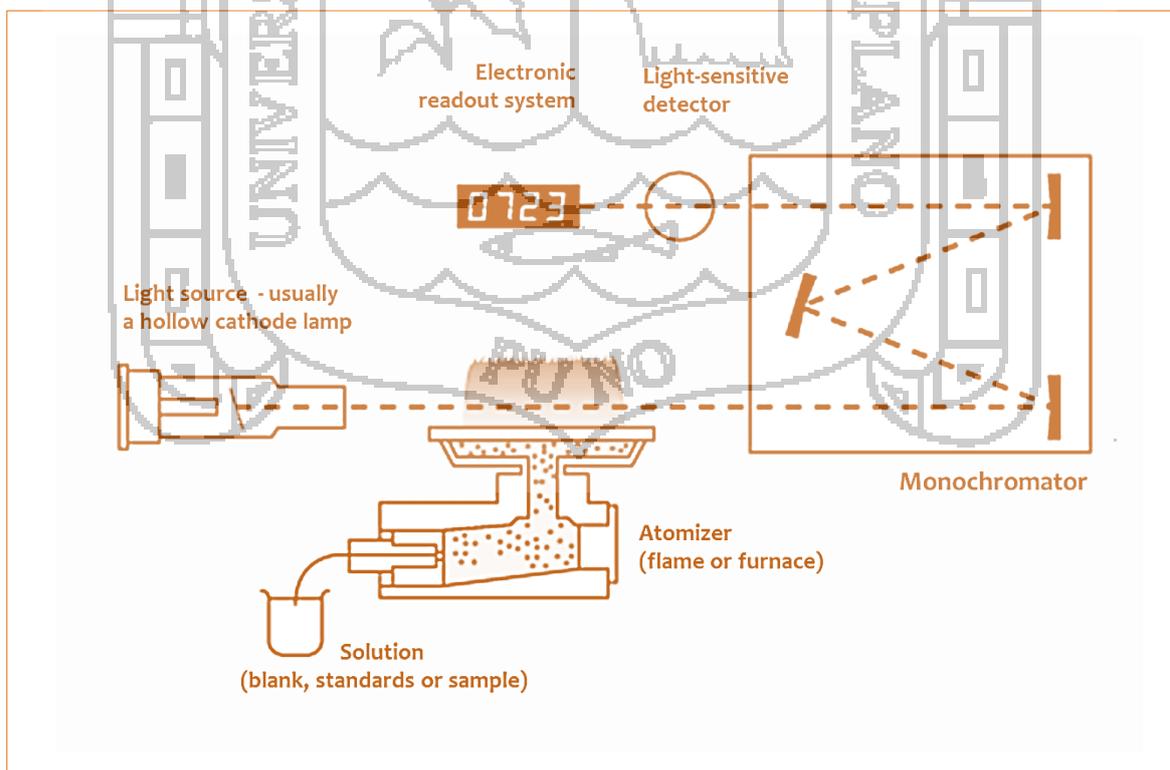
EDITADO POR: halegre@live.com

Espectrómetro de Absorción Atómica (AAS)

El instrumento, comúnmente, utiliza un nebulizador (cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra líquida y un quemador con forma de ranura que genera una llama con una longitud de trayecto suficientemente largo, en caso de que la transmisión de energía inicial al analito sea por el método de llama. La niebla atómica es desolvatada y expuesta a una energía con una determinada longitud de onda, emitida ya sea por dicha llama, una lámpara de cátodo hueco construida con el mismo elemento a determinar o una lámpara de descarga de electrones (EDL).

En Absorción Atómica, la cantidad de luz absorbida después de atravesar por la llama, determina la cantidad de analito existente en la muestra, generalmente expresada en ppm o %.

Imagen N° 04: Esquema de un Espectrómetro de Absorción Atómica AAS.



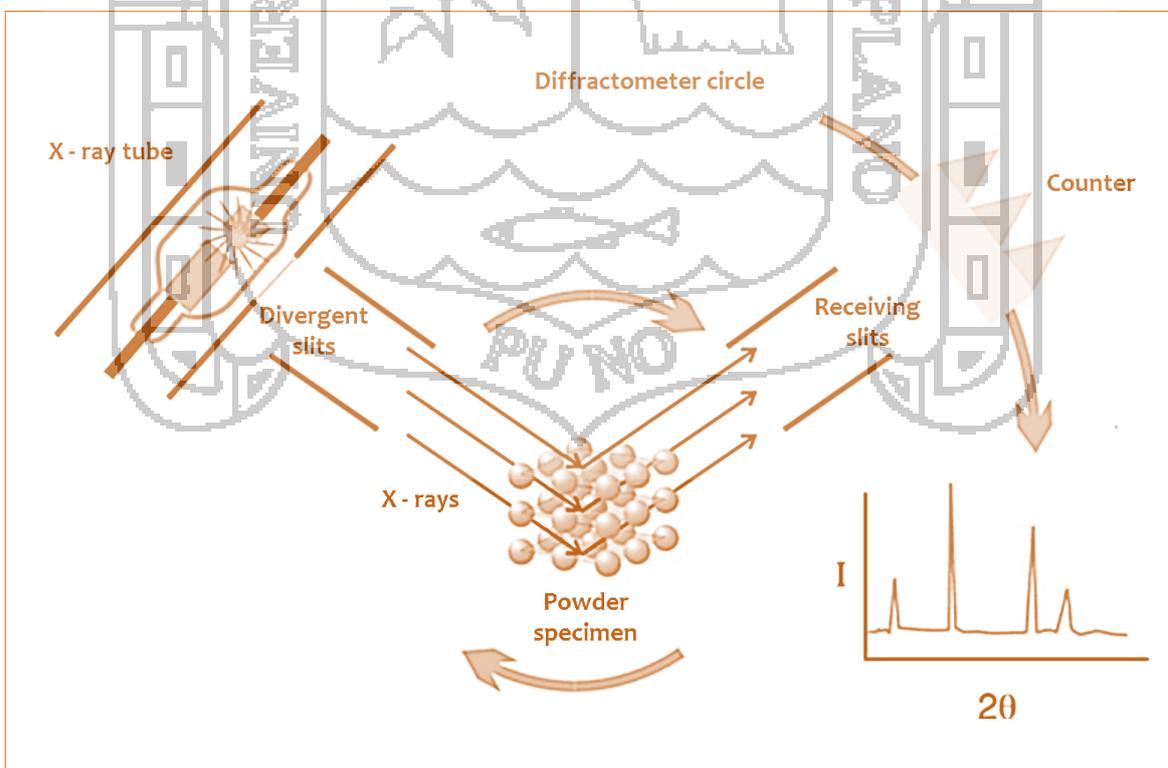
EDITADO POR: halegre@live.com

Difractómetro de rayos X

Es un instrumento equipado con un tubo generador de rayos X con ánodo de Cu y ventana de Be, un goniómetro vertical y un detector. Cuenta además, con un software PMGR que permite, a través de difractogramas, una eficiente identificación de las composiciones mineralógicas contenidas en los diversos tipos de muestras.

Las técnicas llamadas elementales, pueden determinar los diferentes átomos que están presentes en una determinada muestra. Sin embargo, con XRD se puede determinar el tipo de moléculas que están formando esos átomos. Dado que este instrumento, puede diferenciar incluso entre compuestos que tienen los mismos elementos básicos. Por ejemplo, Calcita (CaCO_3) y Aragonita (CaCO_3). Tienen exactamente los mismos y la misma cantidad de átomos.

Imagen N° 05: Esquema de un Difractómetro de rayos X.



EDITADO POR: halegre@live.com

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos propuestos, así como para la obtención de datos confiables, se siguieron métodos de investigación divididas en dos fases.

En la Primera fase, se realizaron trabajos de recopilación de información bibliográfica e histórica, con el objetivo de evaluar y fundamentar el estudio. En la Segunda fase, se realizaron los trabajos de campo y laboratorio, donde se aplicaron metodologías experimentales; y otras, adoptadas de:

- US EPA 1991 (Site characterization for subsurface remediation);
- Álvarez-Manilla et al. 2002 (Caracterización de suelos y control espacial por medio de los sistemas de información geográfica);
- Laboratorios del INGEMMET (Métodos de ensayo).

Considerando para este estudio, las siguientes etapas:

- Localización del sitio
- Diseño del esquema de muestreo
- Toma de muestras
- Preparación de muestras
- Determinación mineralógica

- Determinación multielemental
- Determinación polimetálica
- Determinación de Mercurio
- Determinación de Oro

Y, para cada etapa, se procesan e interpretan los resultados, agregando detalles y elaborando cuadros estadísticos.

3.1 Primera fase: Recopilación de la información bibliográfica e histórica

Con el objetivo de evaluar y fundamentar el estudio, se vio por conveniente transportarnos a la época colonial del Perú a través de textos y cualquier tipo de registros históricos disponibles. Era necesario encontrar registros acerca del desarrollo de las actividades mineras en la época, específicamente del origen de las actividades, hasta cuándo se prolongaron, cómo se desarrollaron, en dónde se desarrollaron, las técnicas de extracción que se aplicaron, quiénes la realizaron, los insumos que utilizaron, en fin, una serie de datos que nos ayudarán a entender mejor el cómo es que se desarrollaban estas actividades. Y claro, todos estos datos tienen que guardar alguna relación con la zona de estudio.

Afortunadamente, tuvimos muy buenos historiadores que hicieron grandes publicaciones; y aún tenemos muy buenas personas e instituciones que se preocupan por mantener estos registros.

A continuación se muestra una lista de los principales sucesos ocurridos a lo largo de nuestra historia, en lo que a minería se refiere, con el nombre de las personas e instituciones que se preocuparon por publicar y mantener estos registros.

Minería colonial en el Perú

(César Pérez Arauco, citado por IIMP 2000)

(Demetrio Ramos Pérez, citado por IIMP 2000)

(Mario Samamé Boggio, citado por IIMP 2000)

(Pedro Cieza de León, citado por IIMP 2000)

Técnicas de extracción minera en la época

(Carlos P. Jiménez, citado por IIMP 2000)

(Girolamo Benzoni, citado por IIMP 2000)

(Juan Fernández, citado por IIMP 2000)

(Mario Samamé Boggio, citado por IIMP 2000)

El azogue

(Guillermo Lohmann Villena, citado por IIMP 2000)

(Mariano Baptista Gumucio, citado por IIMP 2000)

El método de la amalgamación

(Modesto Bargalló, citado por IIMP 2000)

(Guillermo Lohmann Villena, citado por IIMP 2000)

(Francisco Quiroz e Instituto Nacional de Cultura/Expreso)

Minería colonial en puno

(BASADRE, Jorge 1945)

(CONDE DE LEMOS 1668)

([es.wikipedia.org] 2010)

(HURTADO, Mario 2010)

San Luis de alba

(ESPINEL, Victor 2010)

(HURTADO, Mario 2010)

([Wikipedia.org] 2010)

Ingenios y trapiches

(Mario Hurtado)

Época virreinal de Puno

(HUARACALLO, Nilton [blogspot.com] 2005)

(Chambilla88888 [wikipedia.org] 2011)

3.2 Segunda fase: Trabajos de campo y laboratorio

3.2.1 Localización del sitio

Mediante la utilización de imágenes satelitales y sistemas de geo posicionamiento de Google, en marzo del 2012, se realizaron los primeros reconocimientos geológicos de la zona de estudio. A partir de este reconocimiento, se pudo identificar algunas alteraciones superficiales sobre el área de interés. Posteriormente, se determinó establecer un punto central sobre la micro cuenca del río San miguel, comprendida en la zona 19 del hemisferio sur, entre las coordenadas UTM (WGS84) X: 386620 Y: 823365.

Desde ese momento, este punto, permitió de manera “referencial”, denominar y reconocer a éste como la zona de estudio, para su posterior localización y muestreo.

Imagen N° 06: Localización de la zona de estudio, a través de imágenes satelitales.



EDITADO POR: halegre@live.com, sobre imágenes de Google Earth Pro.

3.2.2 Diseño del esquema de muestreo

Tipo de muestreo

En general, existen tres tipos de muestreo: selectivo, sistemático y al azar.

El muestreo selectivo, consiste en escoger el sitio de muestreo en base a diferencias obvias o típicas. Tales diferencias se determinan según la experiencia del muestreador y generalmente incluyen factores tales como los cambios en el color del suelo, las áreas de perturbación física o las áreas sin vegetación. En la mayoría de los casos, el muestreo selectivo es aplicable a estudios ambientales, y a menudo constituye la base de una investigación exploratoria.

En el muestreo sistemático, los puntos de muestreo seleccionados se ubican a distancias uniformes entre sí, a fin de brindar total cobertura a una sección específica del suelo. Este método es útil para documentar probables gradientes de concentración y se emplea a menudo en programas de monitoreo.

El muestreo al azar, se basa en la teoría de probabilidades y requiere de un riguroso análisis estadístico. Pero permite toda combinación posible de unidades de muestras a seleccionarse y el número de combinaciones posibles está sólo limitado por el tamaño de la muestra.

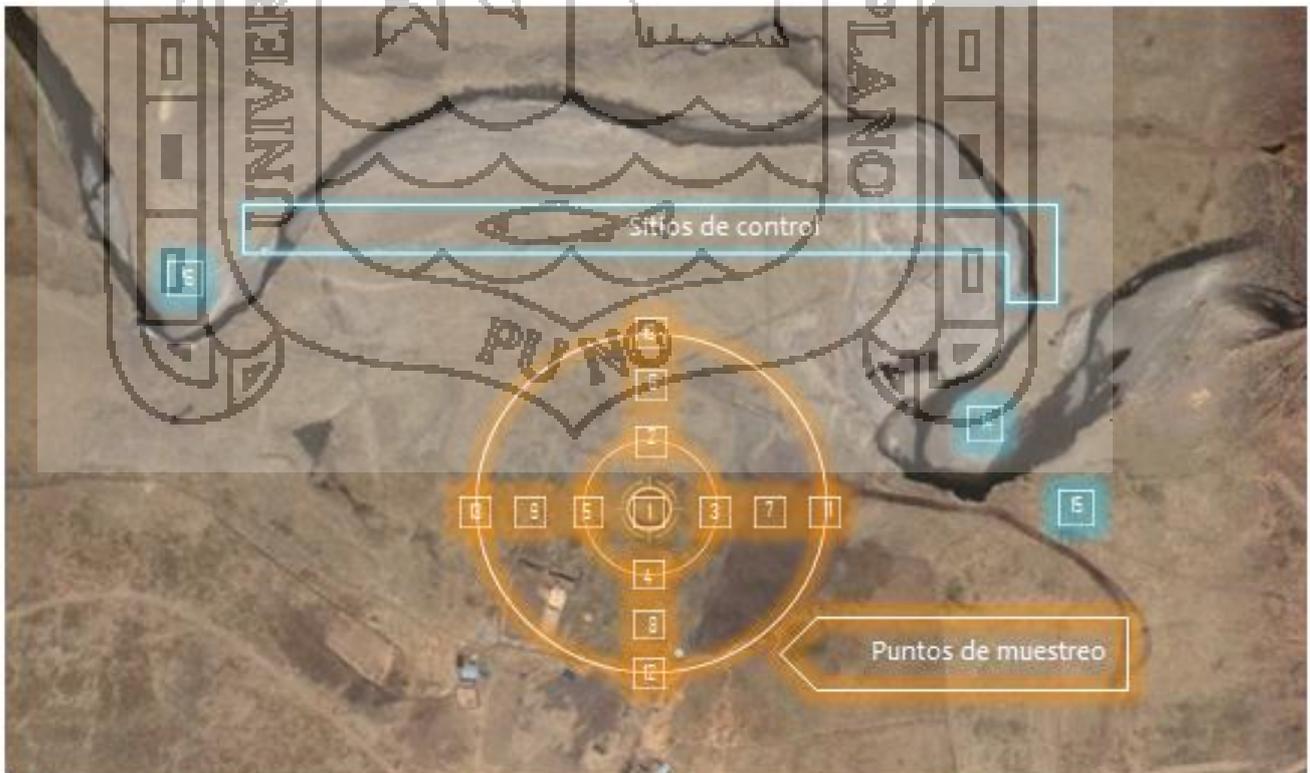
Tomando como referencia estos tres enfoques básicos de muestreo, se tomó por conveniente realizar una combinación de los tres tipos de muestreo, de modo que el esquema de muestreo fuese lo suficientemente flexible como para permitir ajustes durante las actividades de campo.

Selección del sitio de control

Para determinar si la zona de estudio se encuentra contaminada y/o si es verdaderamente distinto al entorno del área, se determinaron tres sitios de control. Estos sitios, nos ayudan a establecer una comparación científica válida entre los sitios que se sospecha contienen contaminantes ambientales y las que se encuentran fuera de estas, con niveles de contaminación aceptablemente bajos.

Por lo general, existen dos tipos de sitios de control: locales y de área. Sus diferencias radican, principalmente, en la cercanía del sitio de control al sitio de muestreo. En nuestro caso, los sitios de control están, relativamente, cerca de los sitios que se sospecha contienen contaminantes. Es importante mencionar, además, que la toma de muestras se inicia en los sitios de control, con el objetivo de evitar cualquier tipo de contaminación.

Imagen N° 07: Esquema de muestreo.



DISEÑO: halegre@live.com, sobre imágenes de Google Earth Pro.

Número de muestras

Existen numerosos factores que influyeron en el número de muestras a tomar, pero son dos, los principales factores que se consideraron por el tipo de estudio que se está desarrollando:

- El número de áreas claras existentes dentro del sitio.
- Los métodos analíticos a aplicar y los estudios a realizar.

Finalmente, se colectaron un total de 16 muestras, incluyendo dentro de ellas, 03 muestras de control que serán utilizadas para la comparación y validación respectiva.

Requerimientos de seguridad

Tomando en consideración la definición de los relaves, estos sitios, contendrían altas concentraciones de sustancias químicas desconocidas que podrían influenciar negativamente en la salud de las personas que interactúan con ellos. Consecuentemente, para el desarrollo del muestreo, se adoptaron medidas de seguridad para proteger la salud e integridad de las personas encargadas del muestreo. Por ello, en los planes de seguridad se incluyeron equipos de protección para los pies, las manos, los ojos y las vías respiratorias.

Protocolos de muestreo

Para evitar la posibilidad de error o de interpretaciones erróneas, se incluyeron procedimientos específicos a seguirse en: la localización de la zona, la colección, el embolsado, el codificado, la preservación, el transporte y el almacenamiento de las muestras. Para ello, se puso a disposición equipos de campo, instrumentos de muestreo, e instrumentos de posicionamiento global (GPS).

3.2.3 Toma de muestras

Una vez localizados los puntos establecidos en el esquema de muestreo, las tomas de muestra, fueron realizadas confirmando las coordenadas con ayuda de un instrumento que cuenta con un sistema de geoposicionamiento global (GPS GARMIN).

Se tomaron un total de 16 muestras, 03 muestras de control local ubicados fuera del área de estudio y 13 muestras dentro del área de estudio. Estas fueron colectadas mediante la toma de incrementos en calicatas de mediana profundidad; utilizando instrumentos de muestreo apropiados y libres de agentes contaminantes, con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación.

Posteriormente, las muestras fueron embolsadas, codificadas y empacadas para su envío a los laboratorios de ensayo.

Imagen N° 08: Localización de puntos de muestreo y confirmación de coordenadas con GPS.



FOTO: halegre@live.com

3.2.4 Preparación de muestras

Tomando en consideración el método de ensayo a aplicar y los estudios a realizar en la siguiente etapa, a continuación se muestra el tipo de preparación requerida.

- Preparación de secciones pulidas – Estudios microscópicos.
- Preparación mecánica (pulverizado a malla -400) – Difracción de Rayos X.
- Preparación mecánica (pulverizado a malla -140) – Análisis químico.
- Preparación química (ataque ácido) – Det. de Elementos Mayores.
- Preparación química (ataque ácido) – Det. de Elementos Menores.
- Preparación química (ataque ácido) – Determinación de Mercurio.
- Preparación con fundentes (Fire Assay) – Determinación de Oro.

Preparación de secciones pulidas

La preparación consiste en el encapsulado de la muestra dentro de un molde estandarizado, con el objetivo de formar una briqueta con una de las superficies perfectamente pulida. La finalidad principal, es la de adecuar la muestra a ciertas condiciones físicas para facilitar su estudio a través de la microscopía óptica.

Para el encapsulado de la muestra, se ha empleado una mezcla compuesta por un tipo de resina en frío (resina epóxica) y un endurecedor, con una relación de 5:1.

Una vez formada la briqueta, esta fue sometida a pulido en pulidoras automáticas, utilizando para ello, discos abrasivos de diferentes tamaños de grano, con el fin de eliminar cualquier tipo de deformación en la muestra. Para el pulido final, se usó alúmina (óxido de aluminio Al_2O_3) de $0.05\mu m$ sobre paños con pelo.

Preparación mecánica

Con ayuda de una estufa de secado, un divisor de muestras y un pulverizador de discos vibratorios, las muestras fueron sometidas a procesos de secado, homogenizado, dividido, pulverizado y embolsado, con el fin de reducir la cantidad y el tamaño de grano de las muestras, obteniendo finalmente, una muestra representativa y lista para las siguientes etapas de preparación y/o análisis.

La cantidad y el tamaño de grano de las muestras varían según el tipo de análisis al que serán sometidas:

- Para los análisis mineralógicos por difracción de rayos X: 10g a $37\mu\text{m}$.
- Para los análisis químicos: 120g a $105\mu\text{m}$. y,
- Para los estudios por microscopía óptica, no se requiere pulverización.

Imagen N° 09: Muestra pulverizada



FOTO: halegre@live.com

Preparación química (Roca total) – Determinación de E. Mayores.

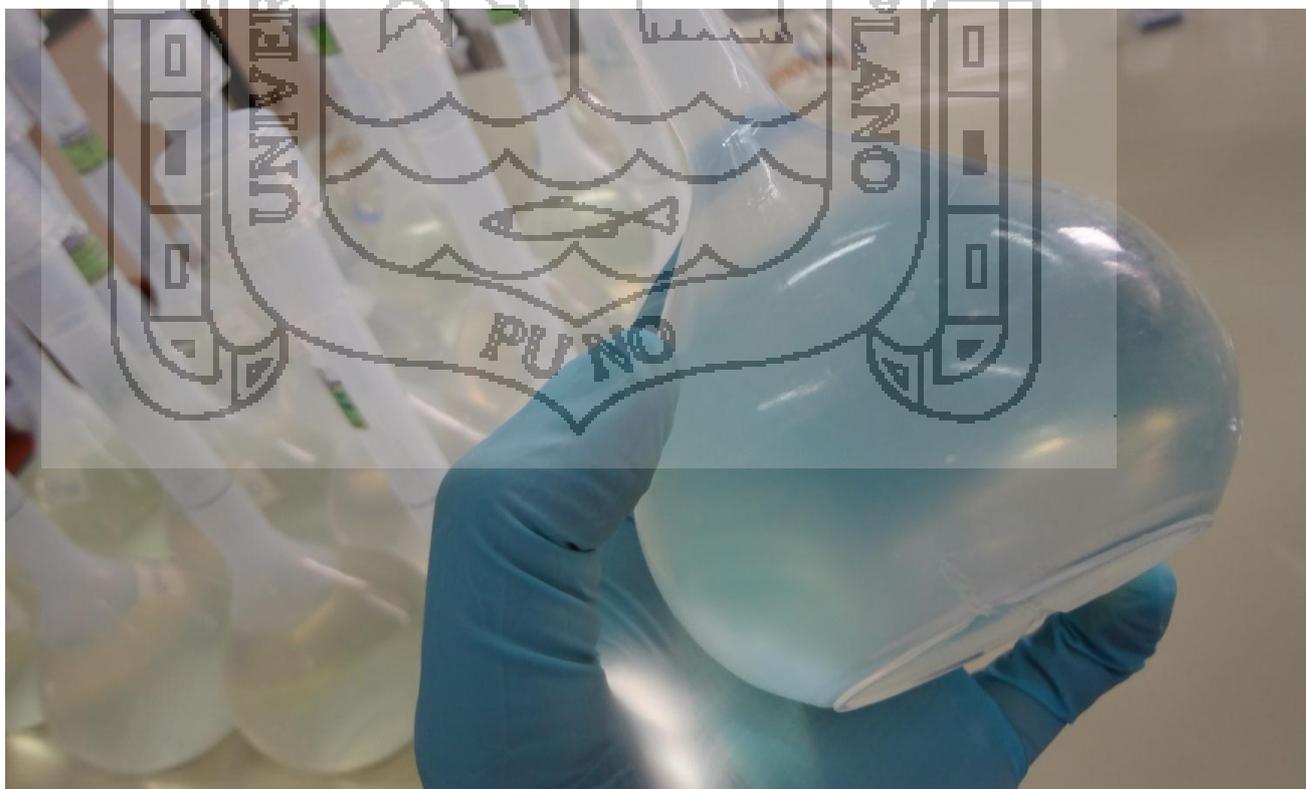
Para la determinación cuantitativa de elementos mayores (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , Na_2O , P_2O_5 y K_2O), las muestras fueron sometidas a ataque químico, con el objetivo de romper sus enlaces, disolverlas por completo y llevarlas, a medio clorhídrico.

Siguiendo la metodología de los laboratorios del INGEMMET, se pesaron 0.2g de muestra y se llevaron a disolución empleando diferentes tipos de ácidos inorgánicos de alta pureza, con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación.

- Ácido Nítrico [HNO_3] Ultrapur al 60% de concentración.
- Ácido Clorhídrico [HCl] Suprapur al 30% de concentración.
- Ácido Fluorhídrico [HF] Suprapur al 40% de concentración.

Peso y volumen final de la muestra: 0.2g en 250ml, en medio clorhídrico al 10%.

Imagen N° 10: Muestra preparada, 0.2g/250ml: Medio clorhídrico al 10%.



Preparación química (Roca total) – Determinación de E. Menores.

Para la determinación multielemental de elementos menores o traza (Ag, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, La, Li, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Sr, Tl, V, W, Y, Zn, Zr), las muestras fueron sometidas, también, a ataque químico, con el objetivo de romper sus enlaces, disolverlas por completo, y llevarlas, finalmente, a una matriz líquida.

En este caso, se pesaron 0.5 g de muestra y se llevaron a disolución con:

- Ácido Perclórico [HClO_4] Suprapur al 70% de concentración.
- Ácido Nítrico [HNO_3] Ultrapur al 60% de concentración.
- Ácido Clorhídrico [HCl] Suprapur al 30% de concentración.
- Ácido Fluorhídrico [HF] Suprapur al 40% de concentración.

Peso y volumen final de la muestra: 0.5g en 50ml, en medio clorhídrico al 20%.

Imagen N° 11: Muestra preparada, 0.5g/50ml. Medio clorhídrico al 20%.

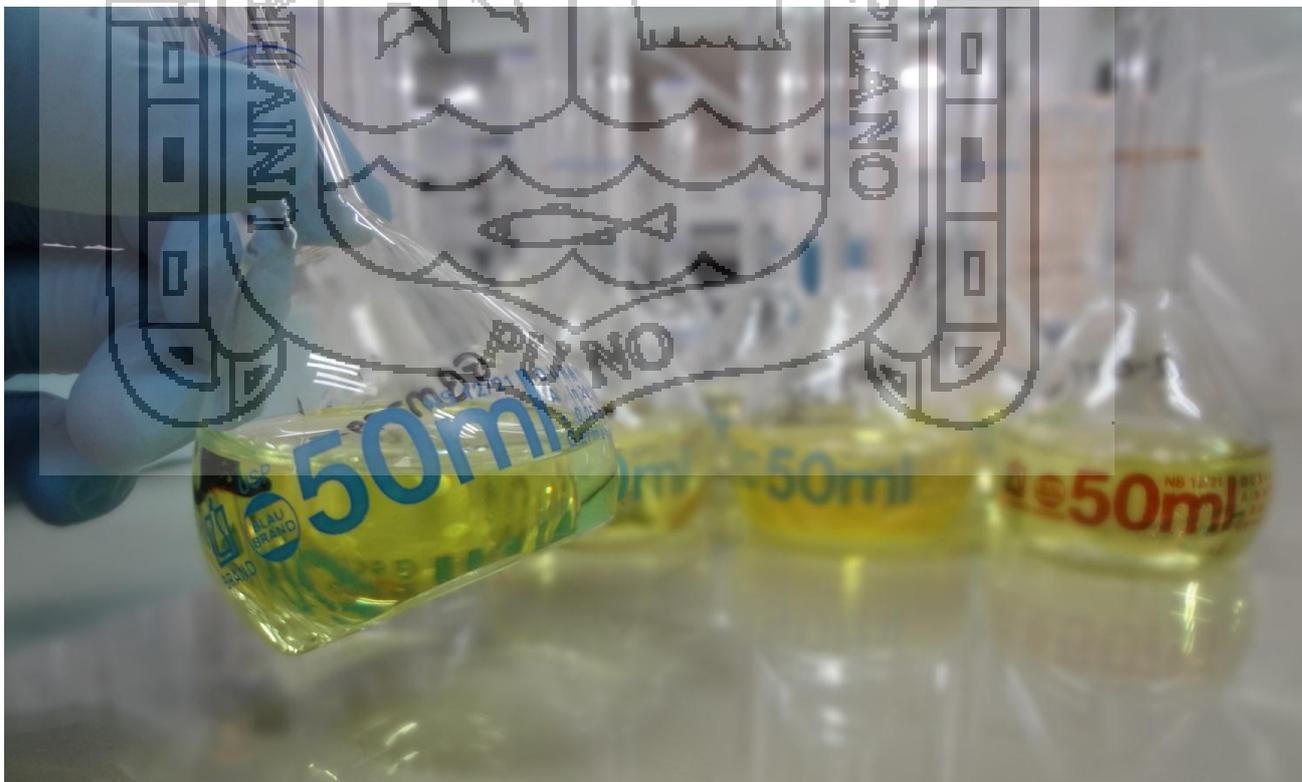


FOTO: halegre@live.com

Preparación química (Digestión regia) – Determinación de Mercurio.

Para la determinación cuantitativa del Mercurio, las muestras fueron sometidas a un ataque químico distinto, pero, con el mismo objetivo, romper sus enlaces, disolverlos por completo y pasarlos a una matriz líquida.

De acuerdo con la metodología de los laboratorios del INGEMMET, se pesaron 0.5g de muestra y, se llevaron a disolución empleando una mezcla ácida conocida como agua regia invertida, se utilizó para ello:

- Ácido Nítrico [HNO_3] Ultrapur al 60% de concentración.
- Ácido Clorhídrico [HCl] Suprapur al 30% de concentración.

Peso y volumen final de la muestra: 0.5g en 50ml, en medio nítrico al 10%.

Imagen N° 12: Preparación química de muestras para la determinación de Mercurio.

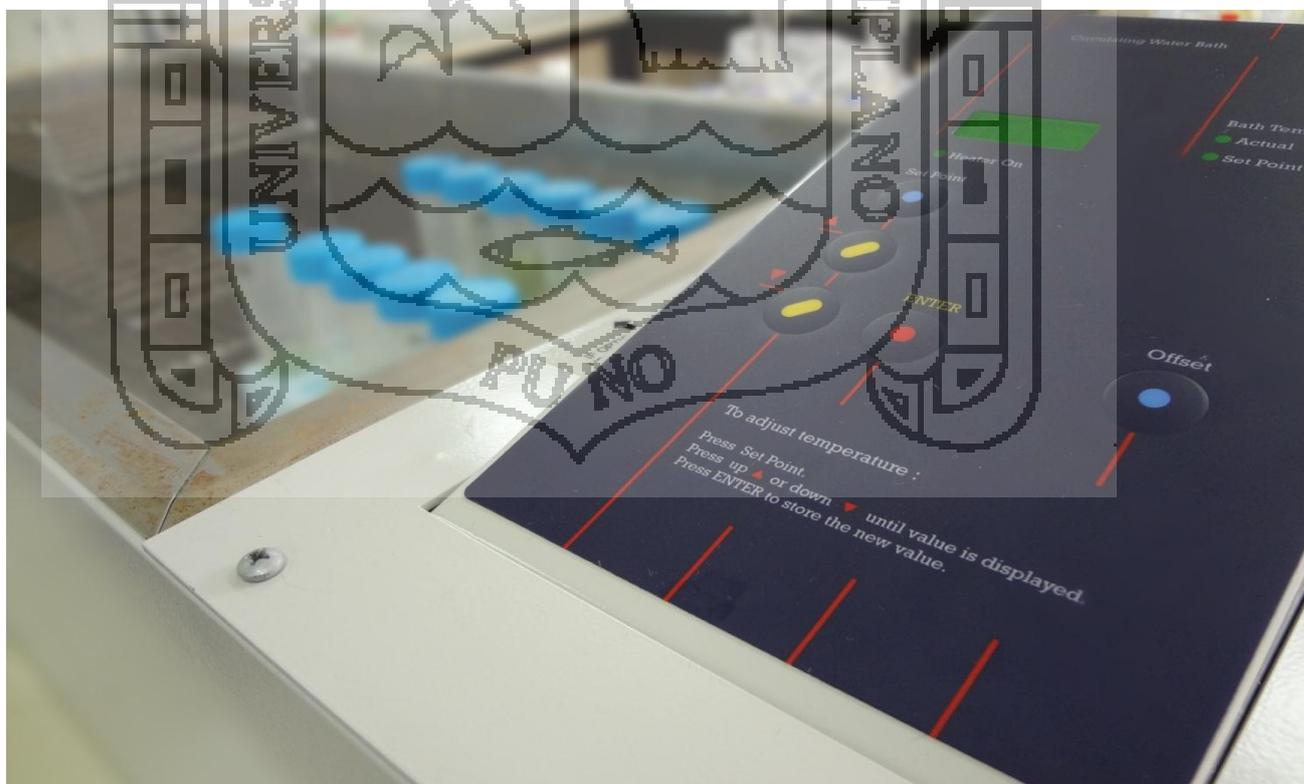


FOTO: halegre@live.com

Ensayos al fuego (Fire Assay) – Determinación de Oro.

Para la determinación cuantitativa del Oro, las muestras fueron sometidas a un proceso de fusión oxidante, con el objetivo de lograr colectar todo el Oro contenido en las muestras.

Debido a la baja concentración de este elemento [$<10\text{ppm}$] en las muestras, se realizó un ataque químico con una mezcla ácida denominada agua regia, con el propósito de disolver el Oro y determinar su concentración por el método de espectrometría de absorción atómica.

Para el proceso de fusión, se pesaron y homogenizaron dentro de un crisol refractario 50g de muestra, 64g de Litargirio, 51g de Carbonato de Sodio, 20g de Bórax, 7g de Sílice y 7g de harina.

Imagen N° 13: Preparación con fundentes.



FOTO: halegre@live.com

En este punto, es importante mencionar que para la elección del método de análisis se consideró los siguientes aspectos:

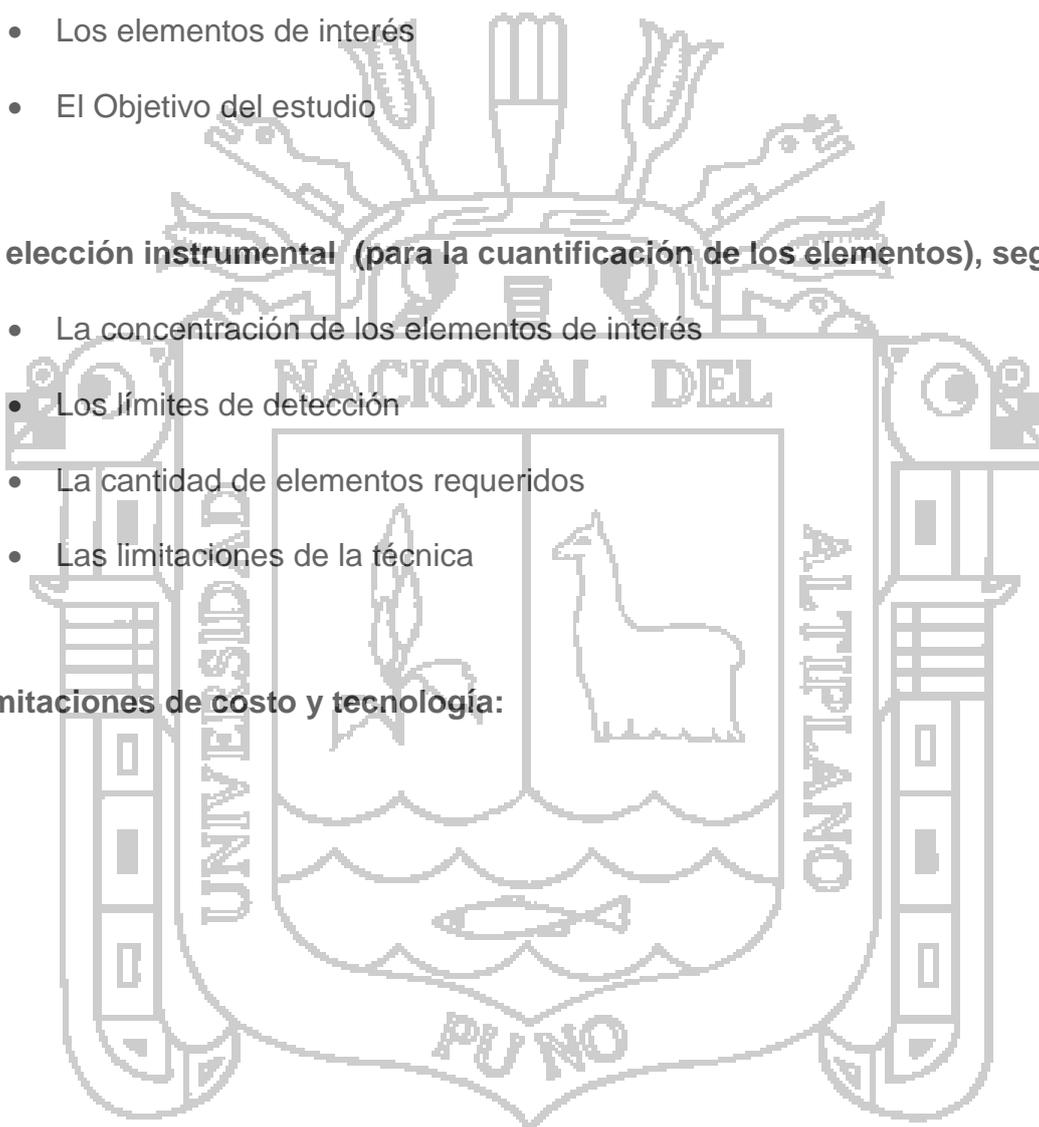
El tipo de Digestión (para la disolución de la muestra) según:

- La mineralogía de la muestra
- Los elementos de interés
- El Objetivo del estudio

La elección instrumental (para la cuantificación de los elementos), según:

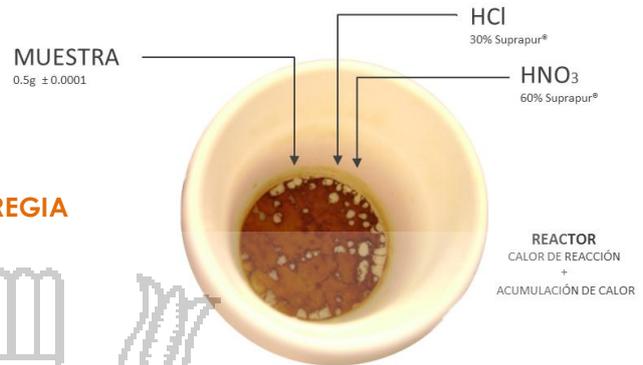
- La concentración de los elementos de interés
- Los límites de detección
- La cantidad de elementos requeridos
- Las limitaciones de la técnica

Limitaciones de costo y tecnología:



El tipo de digestión

DISOLUCIÓN POR DIGESTIÓN CON AGUA REGIA



Simbolo del Elemento

H Hidrógeno																	He Helio
Li Litio	Be Berilio											B Boro	C Carbono	N Nitrógeno	O Oxígeno	F Fluor	Ne Neón
Na Sodio	Mg Magnesio											Al Aluminio	Si Silicio	P Fósforo	S Azufre	Cl Cloro	Ar Argón
K Potasio	Ca Calcio	Sc Escandio	Ti Titanio	V Vanadio	Cr Cromo	Mn Manganeso	Fe Hierro	Co Cobalto	Ni Níquel	Cu Cobre	Zn Zinc	Ga Gallio	Ge Germanio	As Arsénico	Se Selenio	Br Bromo	Kr Kriptón
Rb Rubidio	Sr Estroncio	Y Yttrio	Zr Zircón	Nb Níobio	Mo Molibdeno	Tc Tecnecio	Ru Rutenio	Rh Rodio	Pd Paladio	Ag Plata	Cd Cadmio	In Indio	Sn Estañ	Sb Antimonio	Te Teluro	I Yodo	Xe Xenón
Cs Cesio	Ba Bario	La Lantano	Hf Hafnio	Ta Tantalio	W Wolframio	Re Renio	Os Osmio	Ir Iridio	Pt Platino	Au Oro	Hg Mercurio	Tl Talio	Pb Plomo	Bi Bismuto	Po Polonio	At Astato	Rn Radón
Fr Francio	Ra RADIOACTIVO	Ac Actinio															
<p>Método Analítico</p> <p>■ DISOLUCIÓN CUANTITATIVA</p> <p>■ DISOLUCIÓN PARCIAL</p>																	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La combinación “Agua regia” disuelve fácilmente sulfuros, óxidos y carbonatos; dejando silicatos y óxidos resistentes sin tocar. Muchos elementos guía volátiles, especialmente el mercurio, se conservan durante la digestión.

Estas consideraciones, hacen que el agua regia sea una excelente herramienta de exploración de varios tipos de depósitos que involucran oro, plata y metales básicos alojados en sulfuro y minerales de carbonato.



Símbolo del elemento

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac																
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Método Analítico

■ POR DIGESTIÓN MULTIÁCIDA (4 Ácidos)

Utilizando este método, se disuelve cuantitativamente casi todos los minerales en la mayoría de los materiales geológicos. Sin embargo, a veces puede ser necesario el uso de técnicas de disolución aún más fuertes tales como fusiones con el fin de lograr resultados cuantitativos confiables de minerales refractarios y de tierras raras. Este tipo de digestión puede volatilizar el mercurio. El método no es recomendable para analizar Oro.



DISOLUCIÓN POR FUSIÓN CON BORATO DE LITIO

Tabla Periódica de Elementos con el símbolo del elemento Cs (Cesio) resaltado en amarillo.

H	He																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac																
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

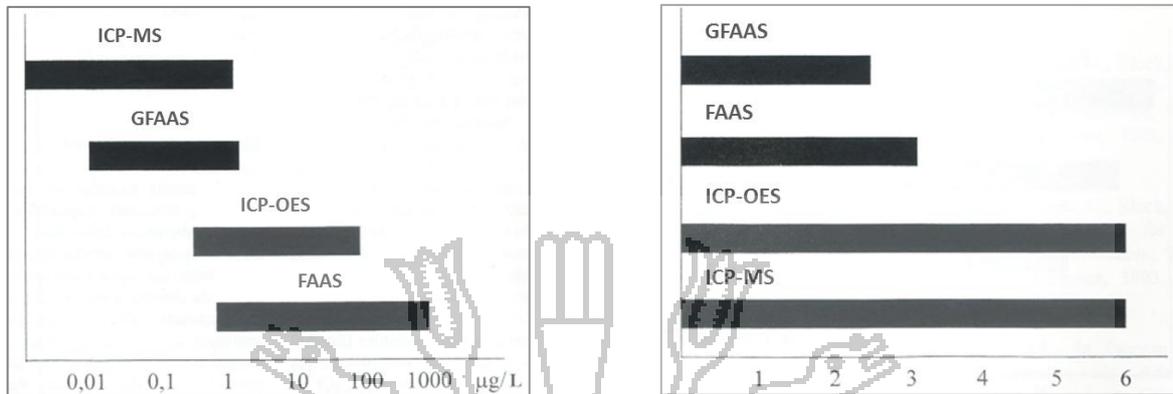
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA
 Método Analítico
 ■ POR FUSIÓN CON BORATO DE LITIO

El Tetraborato de Litio ($Li_2B_4O_7$) es muy adecuado para la disolución de óxidos básicos, tales como alúmina (Al_2O_3), cal viva (CaO).

El Metaborato de Litio ($LiBO_2$) es un flujo más básico y es mejor para la disolución de los óxidos muy ácidos o muy insolubles, como la sílice (SiO_2).

Para análisis relativos a litogeoquímica, minerales de alteración, y elementos de movilidad traza.

La elección instrumental



De acuerdo a la concentración del elemento de interés y al límite de detección del instrumento, se pueden elegir Instrumentos que pueden cuantificar concentraciones bastante bajas que van de unos pocos ppt a ppb. O, instrumentos más robustos que pueden cuantificar de ppm a %.

Simbolo del Elemento

H Hidrógeno																	He Helio
Li Litio	Be Berilio											B Boro	C Carbono	N Nitrógeno	O Oxígeno	F Fluor	Ne Neón
Na Sodio	Mg Magnesio											Al Aluminio	Si Silicio	P Fósforo	S Azufre	Cl Cloro	Ar Argón
K Potasio	Ca Calcio	Sc Escandio	Ti Titanio	V Vanadio	Cr Cromo	Mn Manganeso	Fe Hierro	Co Cobalto	Ni Níquel	Cu Cobre	Zn Zinc	Ga Galo	Ge Germanio	As Arsénico	Se Selenio	Br Bromo	Kr Kriptón
Rb Rubidio	Sr Estroncio	Y Ytrio	Zr Zirconio	Nb Niobio	Mo Molibdeno	Tc Tecnecio	Ru Rutenio	Rh Rodio	Pd Paladio	Ag Plata	Cd Cadmio	In Indio	Sn Estaño	Sb Antimonio	Te Telurio	I Yodo	Xe Xenón
Cs Cesio	Ba Bario	La Lantano	Hf Hafnio	Ta Tantalio	W Wolframio	Re Reniio	Os Osmio	Pt Platino	Au Oro	Hg Mercurio	Tl Talio	Pb Plomo	Bi Bismuto	Po Polonio	At Astatio	Rn Radón	
Fr Francio	Ra Radio	Ac Actinio															

Ce Cerio	Pr Praseodimio	Nd Neodimio	Pm Prometio	Sm Samario	Eu Europio	Gd Gadolinio	Tb Terbio	Dy Disprosio	Ho Holmio	Er Erbio	Tm Tulio	Yb Yterbio	Lu Lutecio
Th Torio	Pa Paladio	U Uranio	Np Neptunio	Pu Plutonio	Am Americio	Cm Curio	Bk Berkelio	Cf Californio	Es Einstenio	Fm Fermio	Md Mendelevio	No Nobelio	Lr Lawrencio

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Elección Instrumental

- ICP-OES
- ICP-MS
- Volumetría
- AAS
- HG-AAS/AFS
- No aplica

3.2.5 Determinación mineralógica por Difracción de rayos X

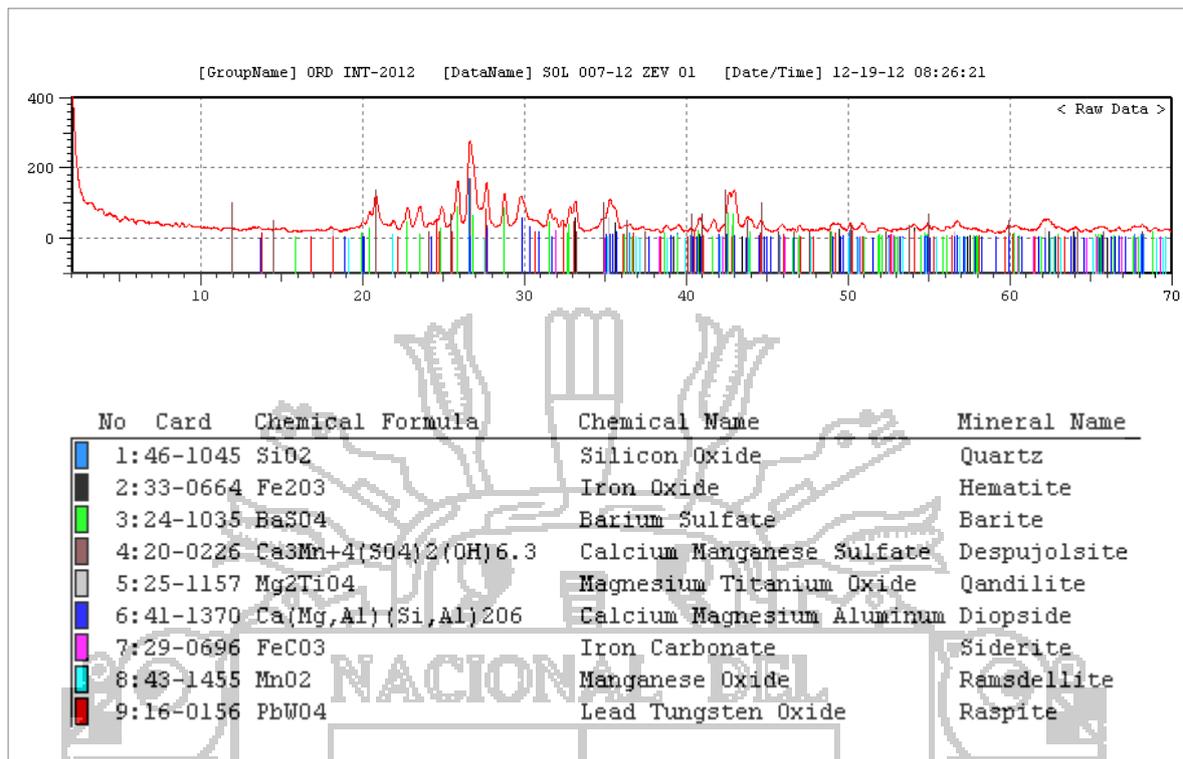
Con el fin de obtener una rápida determinación del contenido y la distribución de las especies mineralógicas presentes en las muestras, estas fueron preparadas, acondicionadas y sometidas a irradiación con rayos X por un tiempo determinado con ayuda de un difractómetro de rayos X (SHIMADZU XRD-6000) que cuenta con una base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data, con más de 250 mil compuestos entre orgánicos e inorgánicos, la cual nos permitió una eficiente identificación de las especies mineralógicas contenidas en las muestras.

Una vez finalizada la irradiación, los resultados se muestran en representaciones gráficas que son generadas a partir de la radiación que emana la muestra mientras esta interactúa con los rayos X, a las que comúnmente se las conoce como difractogramas.

Imagen N° 14: Difractómetro de rayos X SHIMADZU XRD-6000.

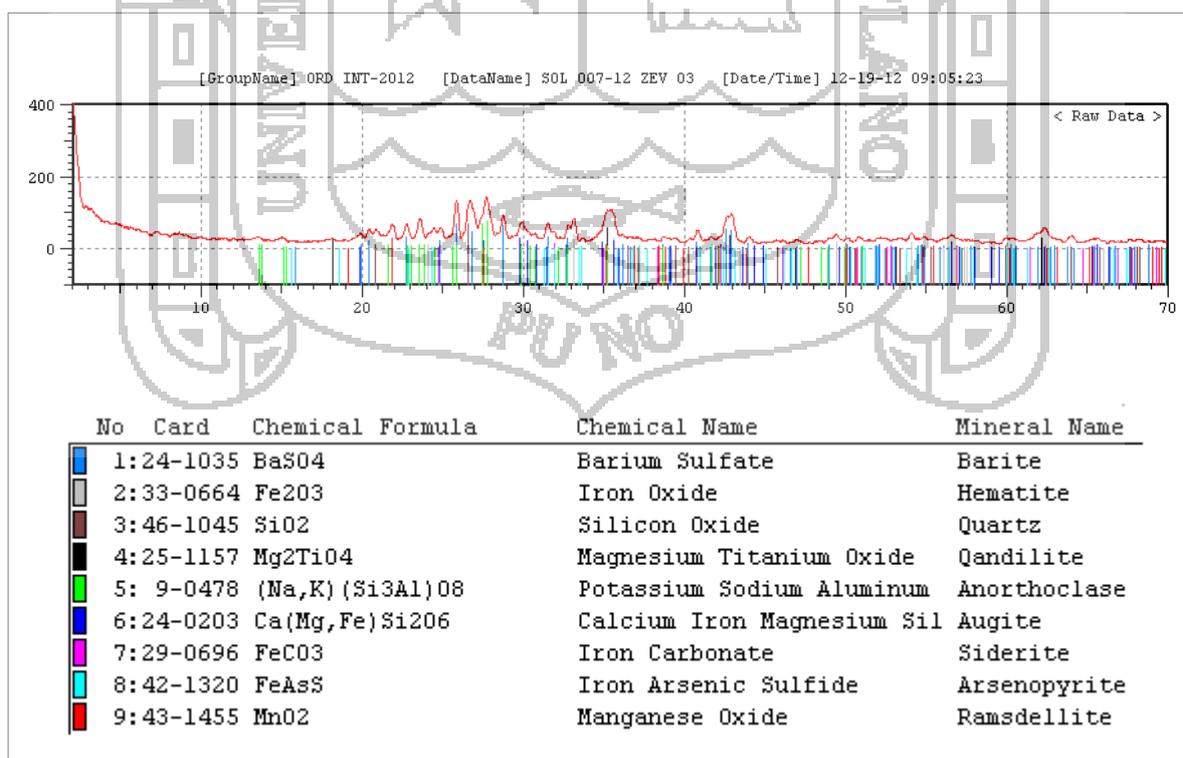


Imagen N° 15: Difractograma de la muestra: zev 01



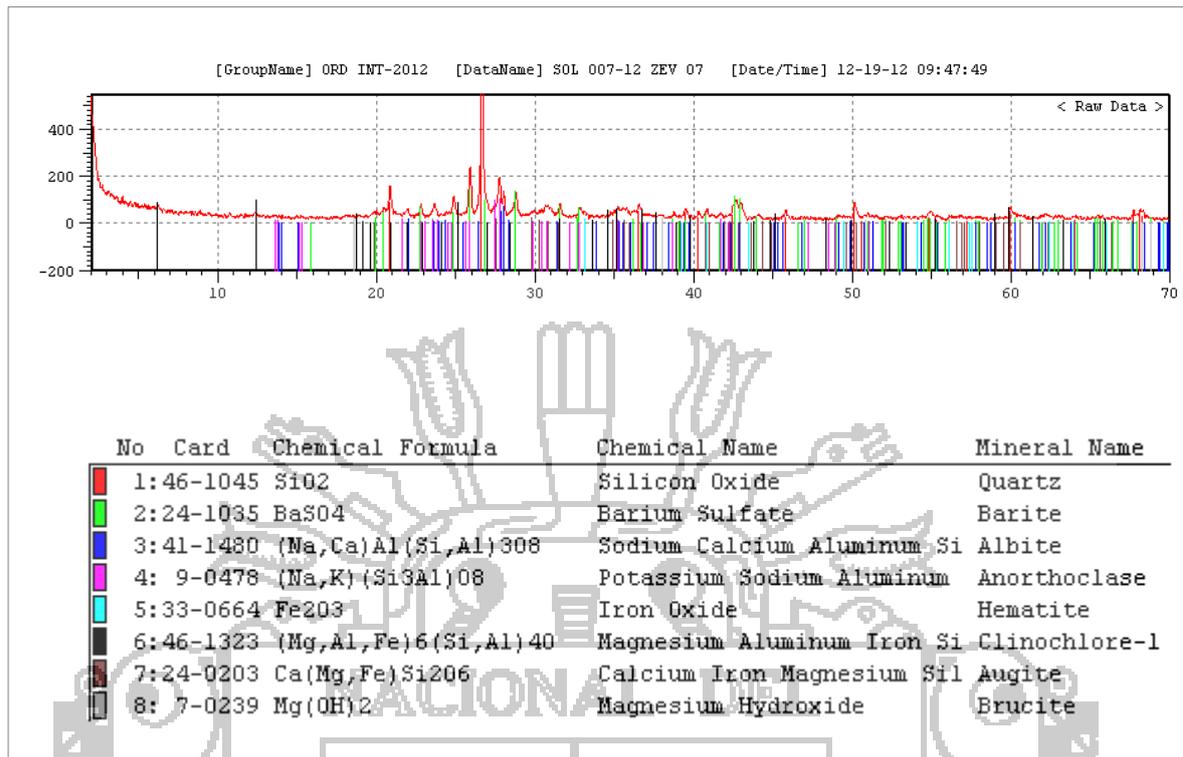
FUENTE: Base de datos del SHIMADZU XRD-6000.

Imagen N° 16: Difractograma de la muestra: zev 03



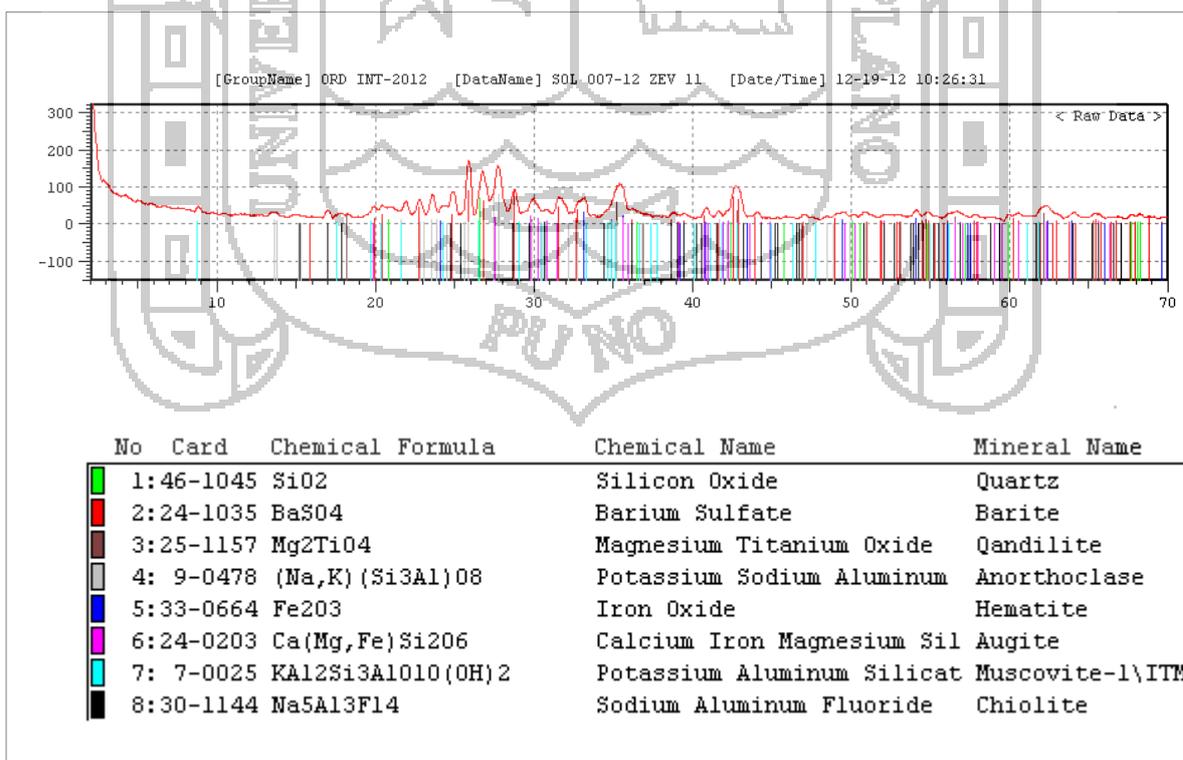
FUENTE: Base de datos del SHIMADZU XRD-6000.

Imagen N° 17: Difractograma de la muestra: zev 07



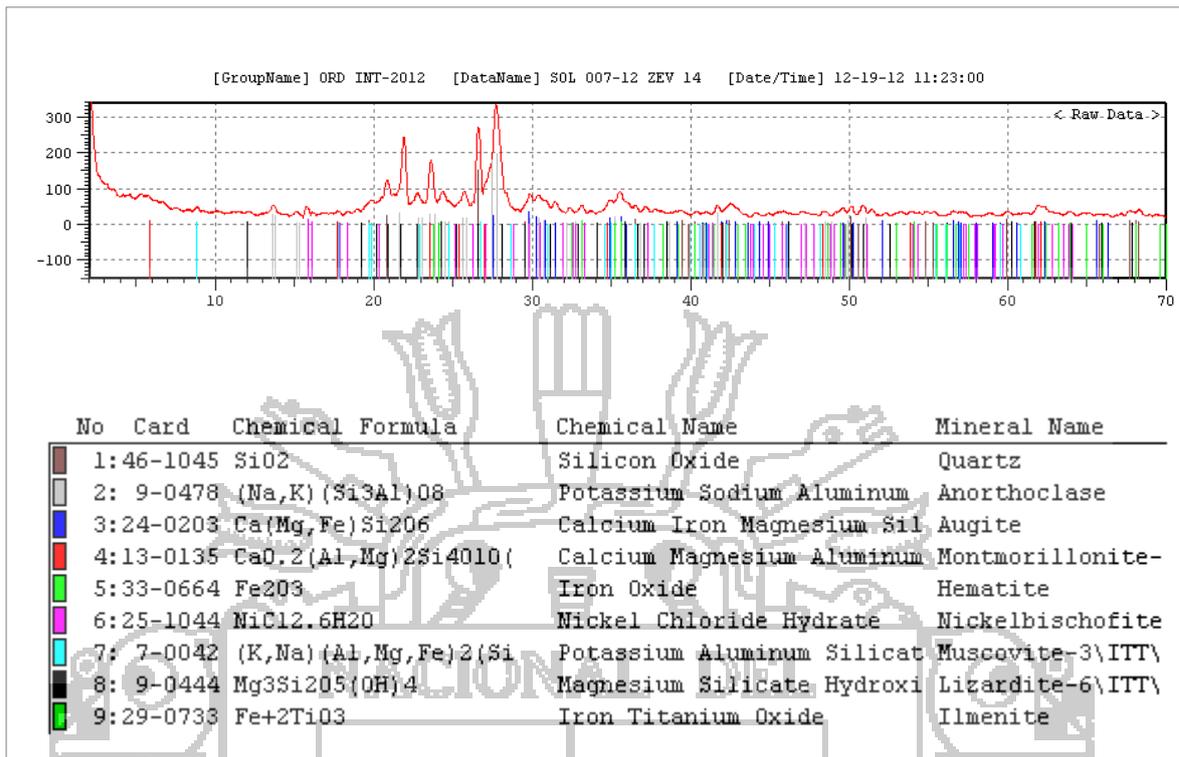
FUENTE: Base de datos del SHIMADZU XRD-6000.

Imagen N° 18: Difractograma de la muestra: zev 11



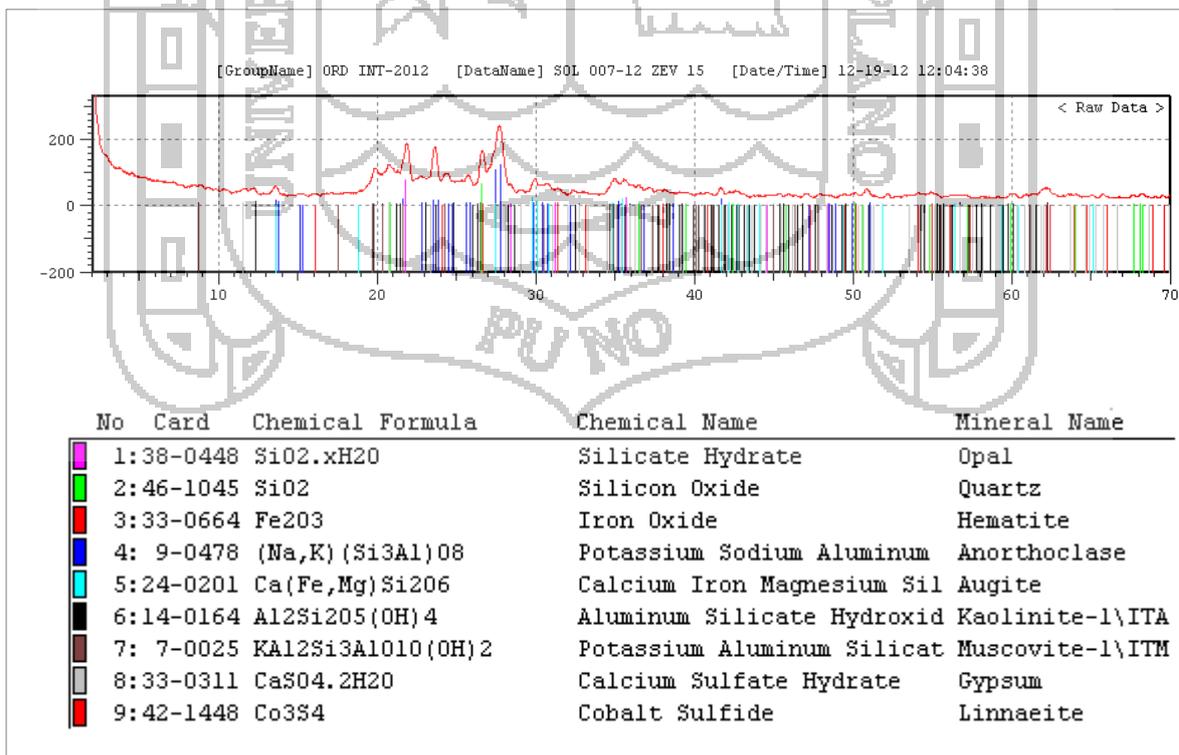
FUENTE: Base de datos del SHIMADZU XRD-6000.

Imagen N° 19: Difractograma de la muestra: zev 14



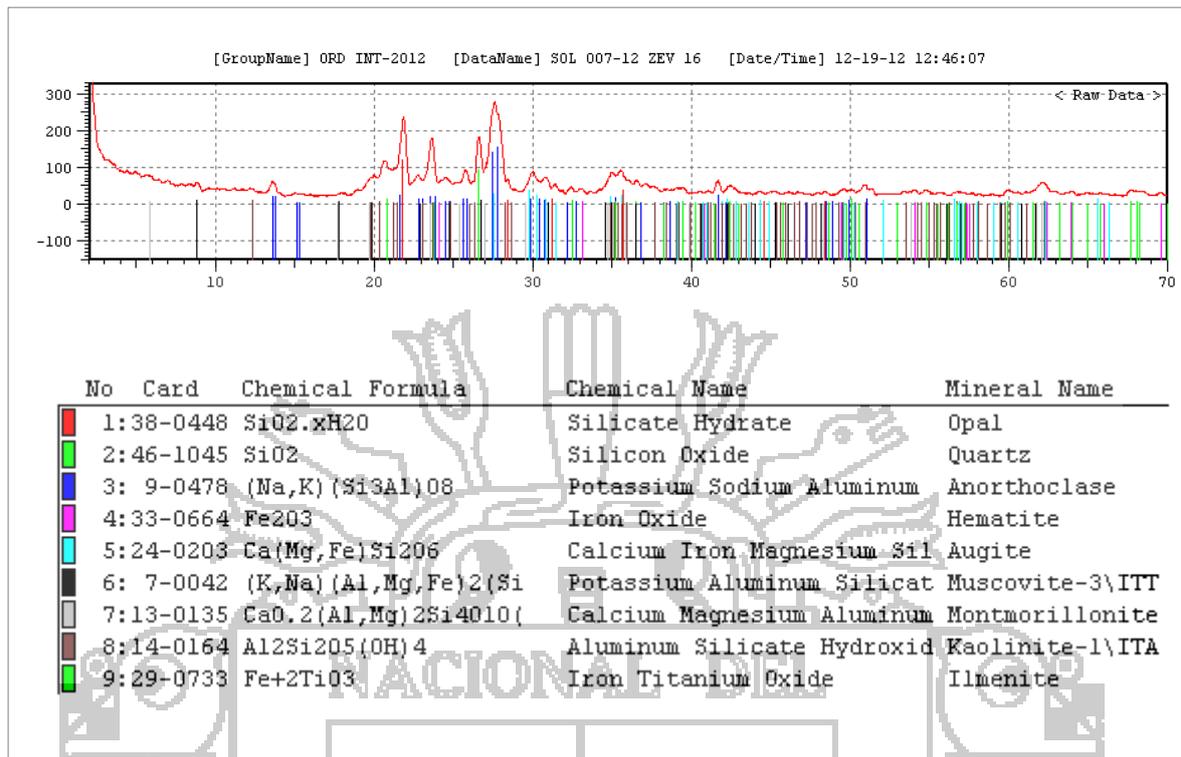
FUENTE: Base de datos del SHIMADZU XRD-6000.

Imagen N° 20: Difractograma de la muestra: zev 15

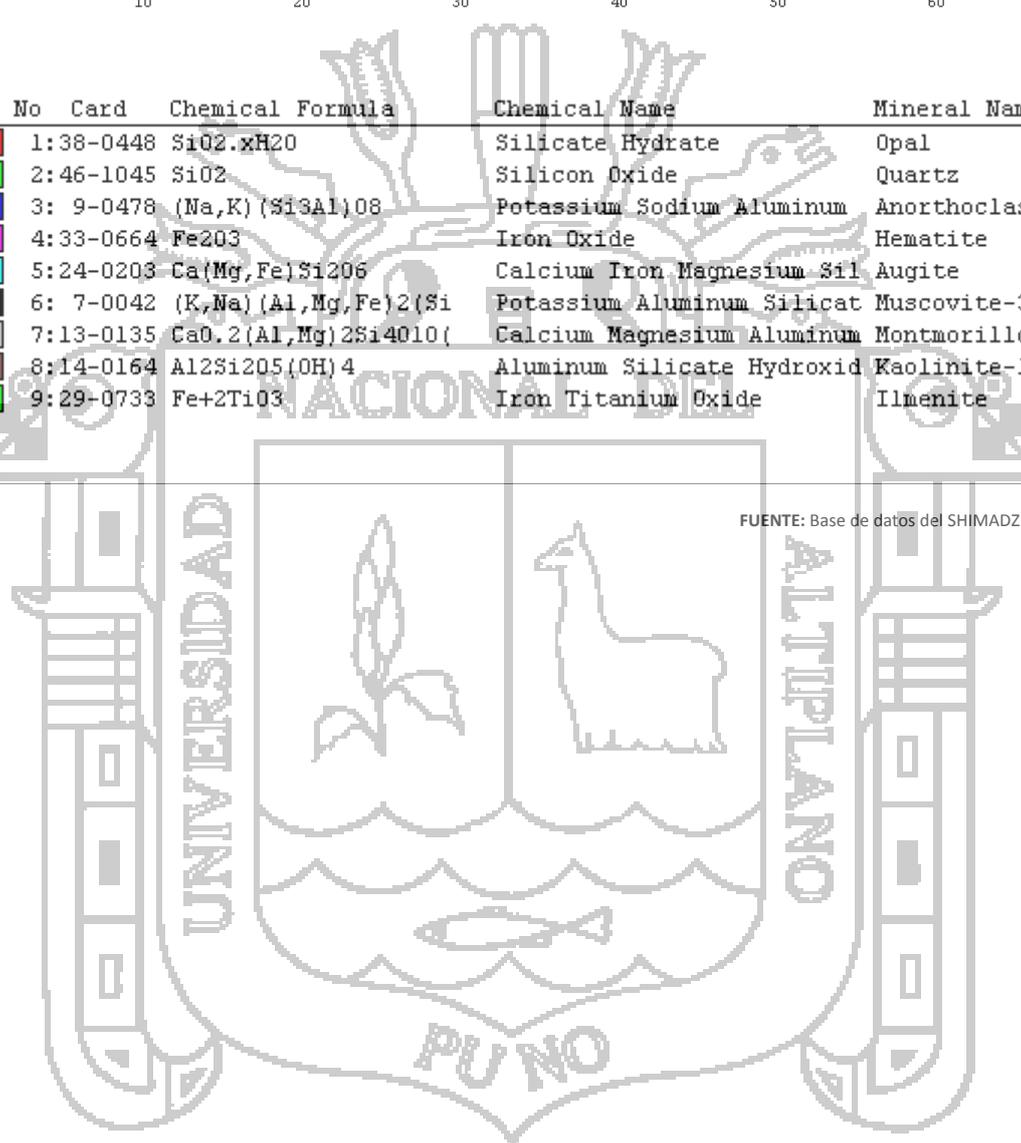


FUENTE: Base de datos del SHIMADZU XRD-6000.

Imagen N° 21: Difractograma de la muestra: zev 16



FUENTE: Base de datos del SHIMADZU XRD-6000.



3.2.6 Determinación mineralógica por Microscopía óptica

Mediante la observación de la muestra con ayuda de un microscopio de Polarización de luz reflejada, este análisis nos permitirá identificar los minerales libres y asociados, la disposición y cantidad de granos presentes, el porcentaje areal de minerales libres y asociados y, el grado de liberación en las muestras.

Para el caso de los minerales libres, se suman la cantidad de granos por mineral, y se multiplican por el peso específico del mineral. Y en el caso de los minerales asociados, se suma la cantidad de granos por asociación, se suman las fracciones de cada mineral en cada una de las asociaciones, y ésta, se multiplica por el peso específico de dicho mineral en cada asociación.

Posteriormente, los datos obtenidos se ingresan a un software y se obtiene el porcentaje areal y el grado de liberación de los minerales presentes.

Imagen N° 22: Observación de la muestra con microscopio de polarización de luz reflejada.

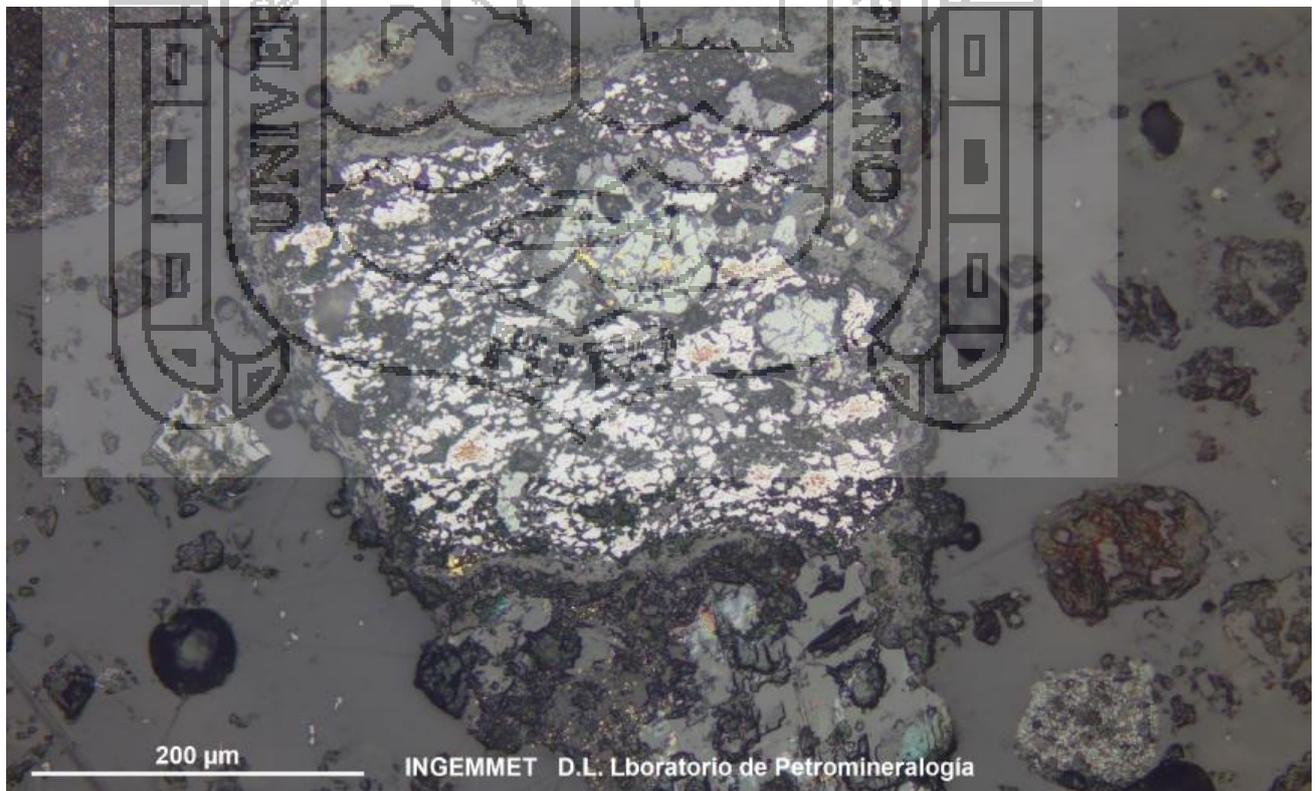


FOTO: Laboratorio de Petromineralogía

3.2.7 Determinación multielemental por Espectrometría de Emisión Atómica

Siguiendo la metodología de los laboratorios del INGEMMET, y con ayuda de su espectrómetro ICP-AES *VARIAN 735*, se pudo realizar el análisis multielemental de las muestras, con el fin de determinar cuantitativamente los 32 elementos que la metodología adoptada permite; entre ellos tenemos:

E. mayores [como óxidos]: SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , Na_2O , P_2O_5 y K_2O .

E. menores [como elemento]: Ag, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, La, Li, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Sr, Tl, V, W, Y, Zn y Zr.

Finalmente, para asegurar la calidad de los resultados del análisis, se analizaron, también, blancos de proceso, blancos de muestra, muestras de referencia certificadas y duplicados de muestra, además de la verificación y calibración del instrumento con soluciones estándar.

Imagen N° 23: Espectrómetro de Emisión Atómica. *VARIAN 735*.



FOTO: halegre@live.com

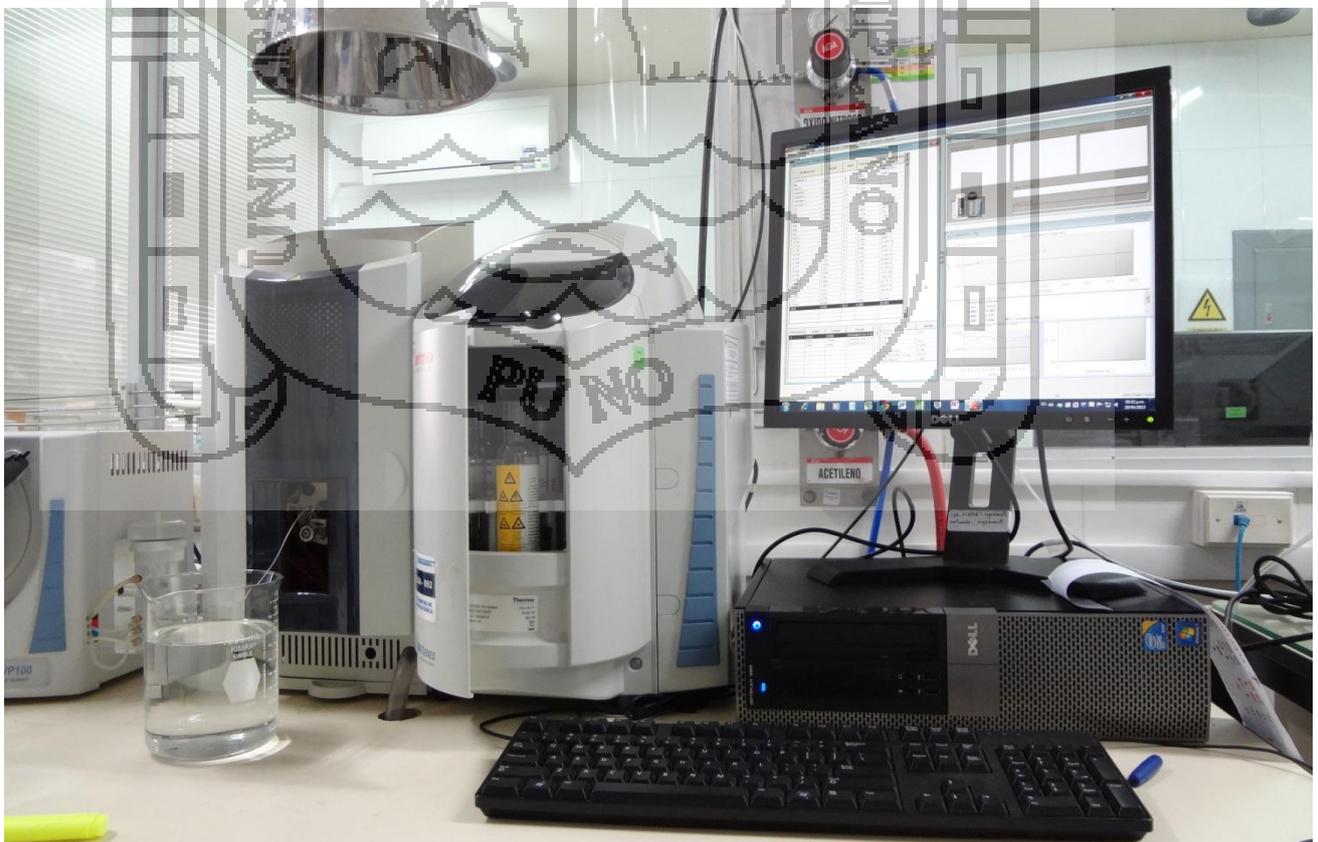
3.2.8 Determinación polimetálica por Espectrometría de Absorción Atómica

Este método instrumental, también adoptado de los laboratorios del INGEMMET, se basa en la atomización del analito, permitiendo determinar, de manera precisa, el contenido de algunos de los elementos metálicos de interés económico presentes en las muestras [Au, Ag y Pb].

Previo al análisis, el instrumento es calibrado dentro de un rango establecido por límites mínimos y máximos de reconocimiento, para ello, se preparan curvas de calibración, en un rango lineal recomendado para cada elemento.

Para llevar a cabo el control analítico de nuestros resultados, en los análisis, se incluyeron blancos de proceso, blancos de muestra, muestras de referencia certificadas y duplicados de muestra.

Imagen N° 24: Espectrómetro de Absorción atómica Thermo SCIENTIFIC iCE 3000.

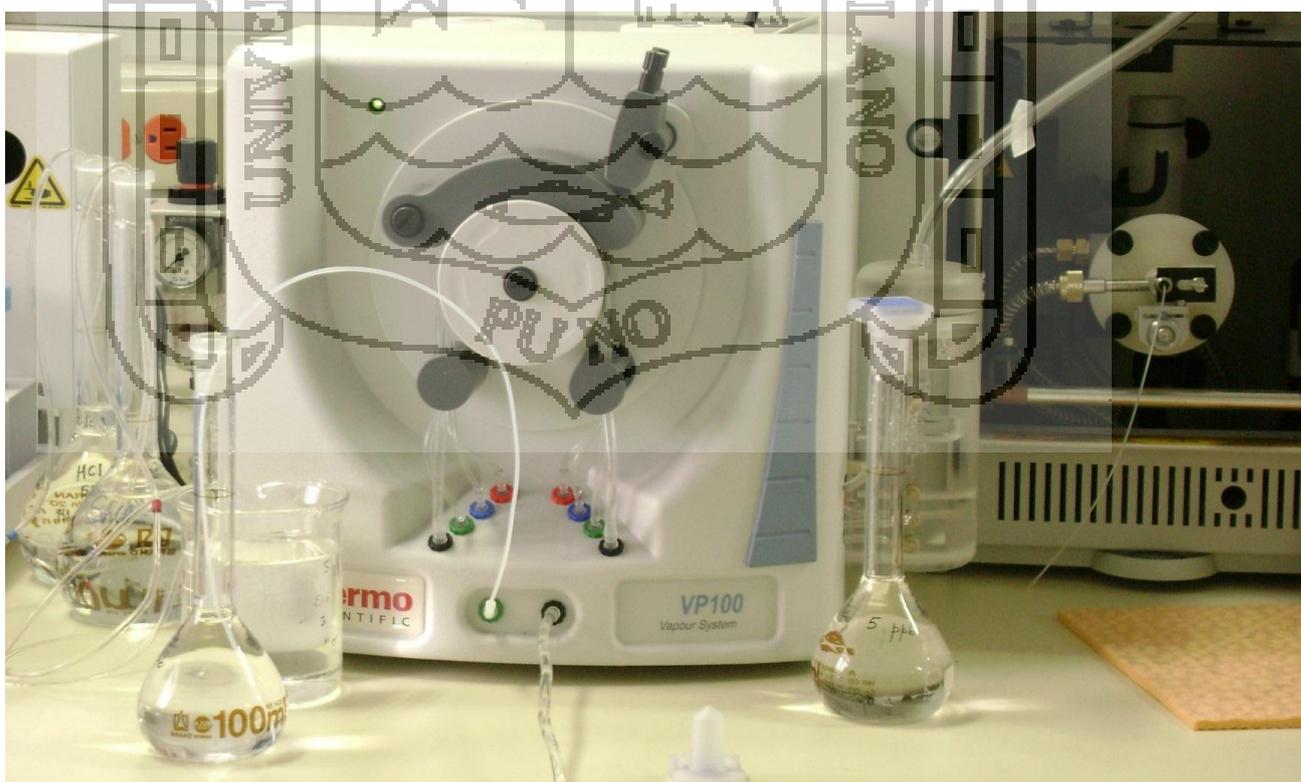


3.2.9 Determinación de Mercurio por generación de Hidruros y AAS

Combinando las ventajas de inyección de flujo de un *VP100 Vapor System* (Sistema generador de hidruros), una celda de Cuarzo (Celda de absorción), y un detector (Espectrómetro de absorción atómica *Thermo SCIENTIFIC iCE 3000*), se lograron obtener, excepcionales límites de detección, sobre todo, en las muestras provenientes de los sitios de control.

Durante los análisis, la muestra (en matriz líquida), se mezcla con una corriente de cloruro de estaño, que reduce el Mercurio presente en las muestras a Mercurio elemental. Luego, el vapor de Mercurio generado en el sistema de generación de hidruros, es arrastrado hasta la celda de medida con la ayuda de una corriente de gas Argón, y allí, se determina el contenido de Mercurio por espectrometría de absorción atómica sin llama (método de vapor frío). La cuantificación de Mercurio, se efectúa frente a una curva de calibración con concentraciones conocidas.

Imagen N° 25: Sistema generador de hidruros, *VP100 Vapor System*.



3.2.10 Determinación de Oro por Fire Assay y Espectrometría de Absorción Atómica

Con el objetivo de encontrar metales de interés económico en las muestras, se vio por conveniente desarrollar el análisis de Oro por este método, puesto que hasta el momento, sigue siendo el único método que permite determinar Oro en cualquier tipo de muestra; mejor aún, si se tratan de muestras oxidadas.

El método consiste en realizar la fusión de la muestra, con el fin de obtener dos fases líquidas. Una escoria, compuesta por silicatos complejos; y una fase metálica, que colecta a los metales de interés, en este caso, el Oro y la Plata.

Posteriormente, para liberar el Oro de la Plata, se realizó un ataque químico selectivo con HNO_3 . Finalmente, si la muestra se reduce demasiado (como en nuestro caso), la determinación del Oro se realiza por espectrometría de absorción atómica por el método de "flama". (INGEMMET 2013).

Imagen N° 26: Carga y fusión de muestras, para la determinación de Oro.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Primera fase: Resultados de la recopilación de la información bibliográfica e histórica.

Los textos históricos confirman, entre otros datos, que en la zona de estudio, sí se realizaron actividades minero-metalúrgicas desde el tiempo del virrey Alba.

4.1.1 Minería Colonial en Puno

“...A los lados del cerro Laycacota están los de Cancharani y San José, también ricos, sobre todo el primero. Otro cerro al norte, el del “Azogue”, explotado desde el tiempo del virrey Alba, era considerado superior al asiento de Huancavelica. Sin embargo, todo palidecía ante la leyenda de Laycacota...” (Basadre 1945: 104)

Fuentes de información virtual, describen además que, cuando los conquistadores españoles establecidos en el Cuzco tuvieron noticias de las riquezas de la región del Collao, éstos empezaron a llegar al altiplano. “...Los primeros españoles que llegaron a la meseta del Altiplano fueron Pedro Martínez y Diego Agüero, quienes en 1543 descubrieron el lago Titicaca. Posteriormente, en los años 1600, muchos grupos expedicionarios llegaron al área andina, los más importantes fueron los andaluces y vizcaínos...” (Chambilla 2011)

Los registros históricos, también, dan cuenta de que en 1657, a 7km de la ciudad de Puno [ciudad actual], los hermanos andaluces Gaspar y Joseph de Salcedo, descubrieron yacimientos de Plata debajo de la laguna “Laycacota” (*laguna embrujada*). Debido a este gran hallazgo, ellos decidieron explotar el yacimiento y fundar la primera villa española en la zona, a la cual, denominaron “San Luis de Alba”.

Poco tiempo después, los hermanos, se convirtieron en los hombres más adinerados de esta zona. Y se llegó a decir que la riqueza de las minas no era igualada en América por la cantidad de Plata que podía extraerse de los mencionados yacimientos.

Aunque a los hermanos Salcedo se les tenía por hombres generosos y desprendidos, la actitud autoritaria, su ambición por ganar posiciones sociales y políticas y su menosprecio por personas que se consideraban importantes, originó malestar y descontento entre sus similares.

A mediados del siglo XVII, se originaron terribles disputas por el control de las minas, entre las familias más poderosas de la época, andaluces y vizcaínos, de modo que el propio virrey Pedro Antonio Fernández Castro, Conde de Lemos se vio obligado a viajar a la zona para aplacar los disturbios. A raíz de intrigas urdidas por los grupos rivales, pese a la suntuosa recepción organizada para la recepción del Conde de Lemos, éste, mandó a ejecutar a Joseph de Salcedo, y mandó a destruir la villa San Luis de Alba [supuestamente, por traición a España]. (Chambilla 2011)

Posteriormente, en 1668, fundó la actual ciudad de Puno, con el nombre de San Carlos de Puno, a orillas del lago Titicaca, en el lugar denominado “Puñuy-pampa” (*Paraje de ensueño*).

“Según informaciones del propio Conde de Lemos, habrían estado ubicadas cerca de la mina (laycacota) más de 2.000 viviendas, 4 templos un hospital (De los santos lugares de Jerusalén), ingenios y trapiches de mina [...].

En su informe a la reina Mariana de Austria, quien gobernó en representación de su hijo Carlos II Rey de España, el mismo Conde de Lemos señala que el poblado fue derribado por su mandato. Pero, los ingenios, o haciendas para moler el mineral, al estar ubicados contiguos a los ríos aledaños, no habrían sufrido la misma suerte”. (Hurtado 2010).

4.1.2 Ingenios y trapiches

También hay registros de cómo era el sistema de trabajo en las minas de la época y del proceso de obtención del mineral.

“Para moler las piedras de mineral, se armaban de piedra, en el encause de un río, con dos moles de piedras de gran tamaño en forma circular (2 metros de diámetro y 0.40 metros de espesor), una de las piedras se conectaba a una rueda con paletas de madera para ser movidas por el río” (Hurtado 2010).

“Para la amalgamación, se construía un patio empedrado en forma circular de hasta 15 metros de diámetro, cercado con una muralla de piedra de 1.5 metros de alto; comúnmente le llamaban “el circo” en el centro se elevaba una pequeña columna también de piedra, donde se ataban caballos a una anilla que estaba en

la columna central y donde se ubicaba el encargado de dirigir los caballos o repasero. El patio tenía una ligera inclinación a fin de escurrir el mineral mojado...

Se esparcía el mineral y la piedra pulverizada previamente en los molinos de manera homogénea hasta lograr una altura aproximada de 25 cm. Se vertía agua y luego de escurrido se le agregaba sal como reactivo y se apisonaba removiendo e igualando con rastrillos y palas para eliminar lodos, lamas y arenas, después de algunos días de reposo se se agregaba piedra "Llipi" y Mercurio con una proporción de 6 a 8 veces el contenido de la Plata en la pasta...

La torta de amalgama y relave se encausaba a un estanque donde era desmenuzado con agua y apisonado previamente para dirigirlo a unas cubas que a cierta altura dejaban pasar el relave y la amalgama se depositaba en la base por su densidad. Obtenida la amalgama se separaba el Mercurio de ésta con el "ahorque" que era la operación de filtrado utilizando mangas de lona y una soguilla para que discurra el Mercurio, luego se llevaba a una prensa, donde se obtenía las pellas de Plata" (Hurtado 2010).

4.1.3 Minería colonial en el Perú

Las actividades mineras coloniales en el Perú, fueron desarrolladas desde que, en la tercera década del siglo XVI, los españoles inician la invasión del Tahuantinsuyo, pasando por el agitado periodo de la conquista hasta el evento de mediados de siglo, donde se imprimirá un curso insólito a la minería de América del Sur: el descubrimiento de yacimientos de Plata en el sur del Tahuantinsuyo y los primeros años de su exitosa explotación.

“...Llevaron sus cateos por todo el territorio, aun en las regiones más apartadas e inaccesibles, trabajando sin descanso, en la forma más rudimentaria, donde quiera que se presentara una muestra de mineralización. Pueden verse al presente, por todas partes del país, vestigios de algunos cateos y exploraciones mineras...” (César Pérez Arauco, citado por IIMP 2010c: 9).

Al principio, para lanzarse en la prospección minera, Pizarro en el Perú – como de hecho, Cortés en México - sólo podía contar con lo que se denominaba “... soldados mineros, es decir, miembros de sus huestes que muy poco o nada sabían de minas y que se limitaban al bateado de arenas y a la recogida de pepitas de Oro en los ríos...” (Demetrio Ramos Pérez, citado por IIMP 2010c: 9).

Interesados básicamente en encontrar yacimientos de Oro, se presume que hayan podido seguir una ruta que los llevará del Cuzco hacia Chucuito, luego rumbo al sureste del lago Chuquiabo y acercándose a una de las dos cordilleras existentes, la Real o la de Apolobamba, pero sin llegar a explorar las zonas de altas cumbres.

“...Se habían alejado del Cuzco una distancia de hasta 700 Km., aproximadamente. El promedio de avance de 35 Km. diarios durante los 40 días de viaje significa un esfuerzo considerable, más aún si se considera el tiempo empleado en indagaciones y estudios, el transporte del hato, víveres y muestrario de tierra aurífera, así como la caminata de los acompañantes de a pie...” (Georg Petersen, citado por IIMP 2010c: 9).

Los mineros españoles tenían focalizado su interés en la búsqueda y explotación del Oro y de la Plata, en desmedro de metales como el Cobre y el Estaño que habían sido tan importantes en el mundo prehispánico.

“... Era natural que, en todo lo que no fuera oro o plata, la minería languideciera. Lo poco que se extrajo de otros metales fue ocasionalmente. Por encontrarse como componentes de aquellos, de lo que a vueltas del beneficio del oro y de la plata resulta. El cobre procede de Cerro de Pasco y de algunas de las otras explotaciones de minerales de plata; pero las principales explotaciones corresponden a minas situadas en el Alto Perú, como las de Oruro, Lagunillas, La Paz y Corocoro, o en las regiones de Copiapó y la Serena, en Chile, así como las que se descubrieron en Salta, Argentina.

El estaño se trabajaba sobre todo en el Alto Perú, principalmente en la Paz, Oruro y Potosí. También se laboraban las minas de Carabuco y probablemente las de Collquiri.

El plomo se extraía de casi todas las minas de plata. Las menas de zinc apenas se explotaron en esta época. En lo que toca al hierro, su explotación era prácticamente nula...” (Mario Samamé Boggio, citado por IIMP 2010c: 12).

4.1.4 Técnicas de extracción minera en la época

“El proceso de la conquista tuvo también un notable significado desde el punto de vista tecnológico, se conoce de la larga trayectoria hispana en materia de laboreo de minas, desde los años de las sucesivas dominaciones romana, visigoda y árabe. Por lo tanto, los conocimientos, procedimientos, herramientas e insumos, en fin, todo lo que constituía la tecnología de punta de aquella era, sería transferido a la actividad productiva de la colonia” (IIMP 2010c: 14).

A fin de satisfacer su interés prioritario por el oro, continuaron trabajando en las riberas de los ríos. “...El que obtienen de los ríos es de granos grandes y pequeños...” (Girolamo Benzoni, citado por IIMP 2010c: 14). Sabían cómo separar los minerales de las arenas residuales mediante un sistema de lavaderos de mampostería, adosados unos a otros, alimentados en agua por canales paralelos a la instalación, para permitir recuperar las partículas de mayor densidad que se iban depositando en los sucesivos recipientes. Ello explica que en el Perú dieran una nueva dimensión a la explotación en los lavaderos de río. “...Para las operaciones de lavado se construyeron acequias de hasta seis kilómetros de largo...” (Mario Samamé Boggio, citado por IIMP 2010c: 14).

Los españoles agregan una nueva modalidad de extracción y refinación del precioso metal. De acuerdo a un testimonio de 1550 “...Ubicaron oro en algunas montañas, donde excavan bajo tierra socavones sostenidos por gruesos puntales de madera y no paran hasta dar fin en la veta de oro. El que sacan de estas montañas es como arena menuda y lo consiguen separándolo de la tierras mediante mercurio...” (Girolamo Benzoni, citado por IIMP 2010c: 15). El conocimiento de este uso metalúrgico del mercurio para procesar fácilmente pequeñas cantidades de oro, se debe a que en España se explotaban desde hacía mucho tiempo las minas de Almadén y de Istria, que con las de China eran, hasta este momento de la historia, las proveedoras del mercurio del mundo.

Los minerales eran “...pallaqueados para separar las partes notoriamente estériles y eran conducidos en llamas a los ingenios o haciendas de beneficio. La primera operación era la molienda, que se hacía en batanes o molinos de piedra, [que eran accionados por hombres, caballos, o fuerza hidráulica]...” (Carlos P. Jiménez).

4.1.5 El método de la amalgamación

En 1557 se inició una década de tan escaso rendimiento metálico que los mineros de la época pensaron abandonar la explotación del yacimiento. "...El mineral productivo, llamado tacana, se había extraído en abundancia hasta 1556, mas a partir de este año y a medida que las labores se realizaban a mayor profundidad, se apreció que la ley de dicha tacana iba de menos, sin que se encontrara solución para apurar la plata de los minerales pobres. El sistema de wayras, utilizable solamente en los minerales plomosos o de ley muy alta, resultaba ruinoso en los de clase inferior..." (Guillermo Lohmann Villena, citado por IIMP 2010d: 16-17).

En 1571, cuando se vivía el momento más agudo de esta crisis económica, Pedro Fernández de Velasco, logra positivos resultados al tratar las gangas argentíferas de Potosí con mercurio, siguiendo el procedimiento conocido como amalgamación en frío o método de patio que Bartolomé de Medina había puesto a punto en México.

Etapas del proceso:

El mineral extraído de la mina era conducido a los ingenios a lomo de llama;

- Se seleccionaba a mano el que estaba destinado a la amalgamación y se le trituraba con mazos;
- En las casas de beneficio se le cernía en cedazos de tela de alambre hasta conseguir un polvo fino llamado harina, esta labor estaba a cargo de las mujeres y de los niños indios, quienes, en una sola casa podían cernir 25 a 40 quintales al día.

- La harina era extendida en patios rectangulares que contenían entre 18 y 50 quintales de mineral. Se procedía a humedecer la harina y se le agregaba una calculada proporción de sal común (por ejemplo: 5 quintales de sal por 50 quintales de mineral); luego la masa era revuelta con palos y se dejaba descansar dos días para que la sal se disolviera uniformemente en la masa. A veces se echaba a la masa una sustancia llamada magistral (piritas de cobre o hierro tostadas) y también cal. De esta manera la plata quedaba en condiciones de recibir el azogue;
- Se vertía el azogue a la masa formándose un lodo conocido como torta. Durante un tiempo de hasta 25 días, hombres y mulas caminaban sobre la mezcla de un lado al otro del patio para repasarla.
- La mezcla se dejaba descansar a fin de lograr que la mayor cantidad de plata se adhiriera al azogue. Este método lento, trabajoso y poco rentable se perfeccionó en 1577 por obra de Francisco Mejía, quien inventó un procedimiento más rápido que duplicaba la cantidad de plata con el empleo de buitrones, hornos de 40 pies de largo por 10 de ancho y 6 de alto con 6 cavidades separadas llamadas cajones, construidas para recibir el metal sobre una base abovedada para el combustible. Gracias al calor, en 5 o 6 días el material estaba listo para la siguiente fase;
- Se lo echaba en tinajas de agua donde con la ayuda de molinetes de manos se separaba la pella (amalgama de plata) de la lama (lodos o escorias);
- Como la amalgama que había quedado en el fondo de la tina tenía todavía la consistencia de una masa muy húmeda, se la ponía en una manga de lona para exprimir el agua y el azogue. La pella exprimida contenía plata

pura sólo en una sexta parte. De cien libras de pella se obtenía la famosa piña, denominada así por su forma;

- La piña se sometía al fuego durante 8 o 10 horas cubiertas con una vasija, de tal manera que el azogue no se evaporara sino se destilara dentro de un cañón (tubo). De una piña salían 30 o 40 marcos (es decir, 6.9 kg. o 7.2 kg.) de plata desazogada (Francisco Quiroz, citado por IIMP 2010d: 17-18)

El procedimiento, que pasa de España a México y de allí a las minas altiplánicas, ilustra de manera indiscutible lo que es un caso de exitosa transferencia de tecnología en la era virreinal. “...Bartolomé de Medina tuvo que dar reglas concretas relativas a las dosis precisas, número y fuerza de los repasos, normas para graduar la temperatura de la masa, para conocer los defectos del beneficio y sus remedios y el modo de descubrir cuándo la operación había llegado a su fin. Reglas que pasaron de azoguero en azoguero, en el curso de tres siglos y medio, constituyendo en cierto modo su patrimonio técnico y valioso, aun ignorando las más de las veces a quien las estableció...” (Modesto Bargalló, citado por IIMP 2010d: 18).

4.2 Segunda Fase: Resultados de los trabajos de campo y laboratorio.

4.2.1 Resultados de los trabajos de campo

Los trabajos de campo, además de ser indispensables para la toma de muestras, permitieron también, identificar algunas formas de vida que van interactuando con los principales componentes ambientales de la zona (suelo, agua y aire). Lo que permitió, desde ese momento, tener una visión más amplia de lo que podría estar ocurriendo si se llegaba a determinar altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos en los relaves.

En el suelo: Se pudo observar la presencia de una bandada de ibis negro (*Plegadis ridgwayi*), alpacas (*Vicugna pacos*) y rebaños de ovejas (*Ovis orientalis aries*). Estas dos últimas especies, son mamíferos domésticos propios de la zona y, son usados como ganado con el fin de aprovechar su carne y su lana.

Imagen N° 27: Animales pastando cerca de la zona de estudio.



En el agua: Desde el borde del río, se logró observar algunas plantas acuáticas (lamentablemente no se pudieron identificar), peces de varios tamaños, de los que se pudo reconocer el carachi negro (*Orestias agassii*), especie endémica del altiplano, originaria de la cuenca cerrada del lago Titicaca. Y la trucha arcoíris (*Salmo gairdneri*), especie introducida en el lago Titicaca en el decenio de 1940.

“Cuatro especies de Salmonidae han sido introducidas a partir de 1939 en el lago Titicaca: *Salvelinus namaycush*, *Salvelinus fontinalis*, *Salmo trutta* y *Salmo gairdneri*. Aparentemente los esparcimientos de *Salvelinus* fueron poco numerosos y poco abundantes. En ambos casos, estas dos especies no se adaptaron a su nuevo ambiente. *Salmo trutta* era común en los años 1970 en el río llave (EVERETI, 1973). Actualmente, sólo se encuentra en el lago Titicaca el *Salmo gairdneri* que igualmente fue introducido con éxito en numerosos lagos andinos” (Loubens 1989).

Imagen N° 28: Trucha arcoíris visualizado muy cerca de la zona de estudio.



En el aire: En este punto, es conveniente mencionar que es difícil determinar en forma precisa todas las formas de vida que interactúan con el aire, debido a que este es esencial para el desarrollo de la vida en el planeta e interviene directamente en la respiración.

Es en este componente donde se encuentran las nubes y casi todo el vapor de agua que se genera durante el ciclo natural del agua.

Por volumen está compuesto, aproximadamente, por 78.08% de Nitrógeno (N_2), 20.94% de Oxígeno (O_2), 0.035% de dióxido de Carbono (CO_2) y 0.63% de gases inertes, como Argón y Neón.

En relación a lo último, vale la pena recordar que, en términos generales, un contaminante es una sustancia que está fuera de lugar.

Imagen N° 29: Microcuenca del río San Miguel.



FOTO: halegre@live.com
69

4.2.2 Resultados de laboratorio

4.2.2.1 Resultados de la determinación mineralógica

A continuación, se muestran, el contenido y la distribución de las especies mineralógicas encontradas en las muestras de relave.

Gráfico N° 01: Distribución mineralógica de la muestra: zev 01.

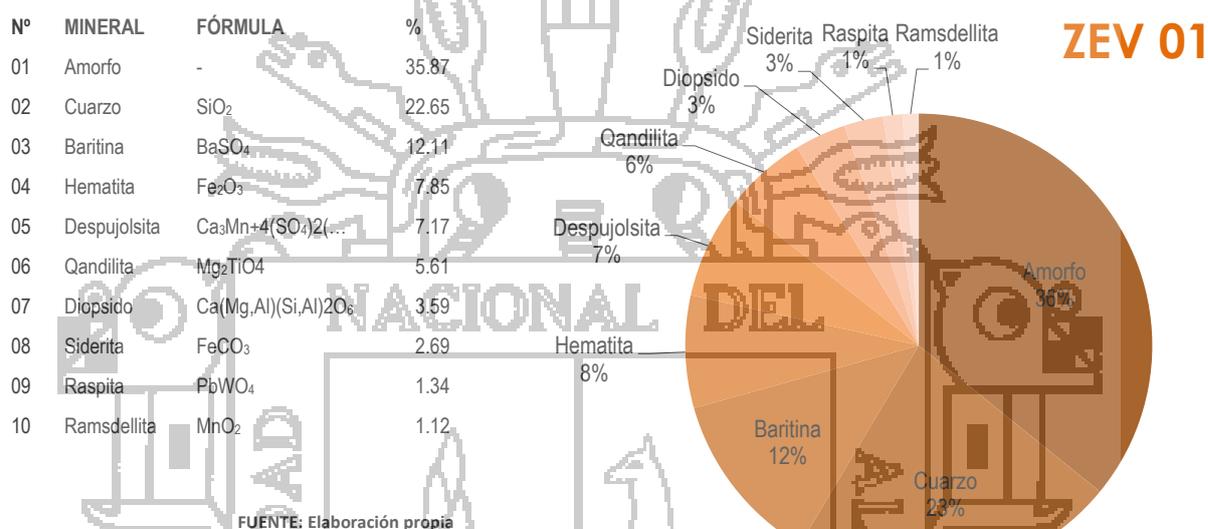


Gráfico N° 02: Distribución mineralógica de la muestra: zev 03.

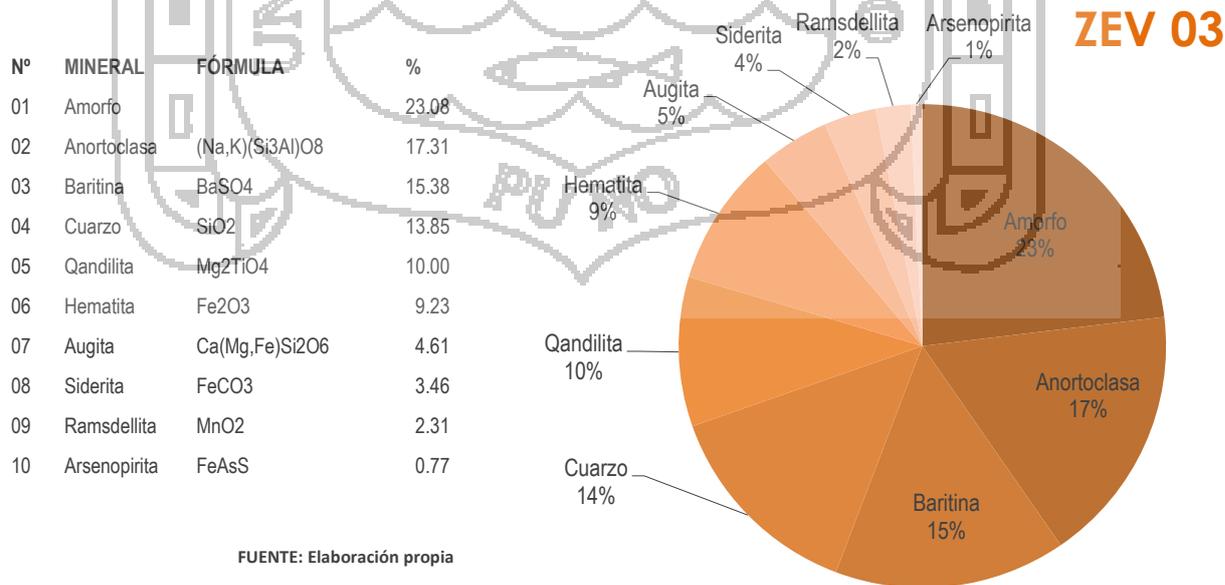


Gráfico N° 03: Distribución mineralógica de la muestra: zev 07.

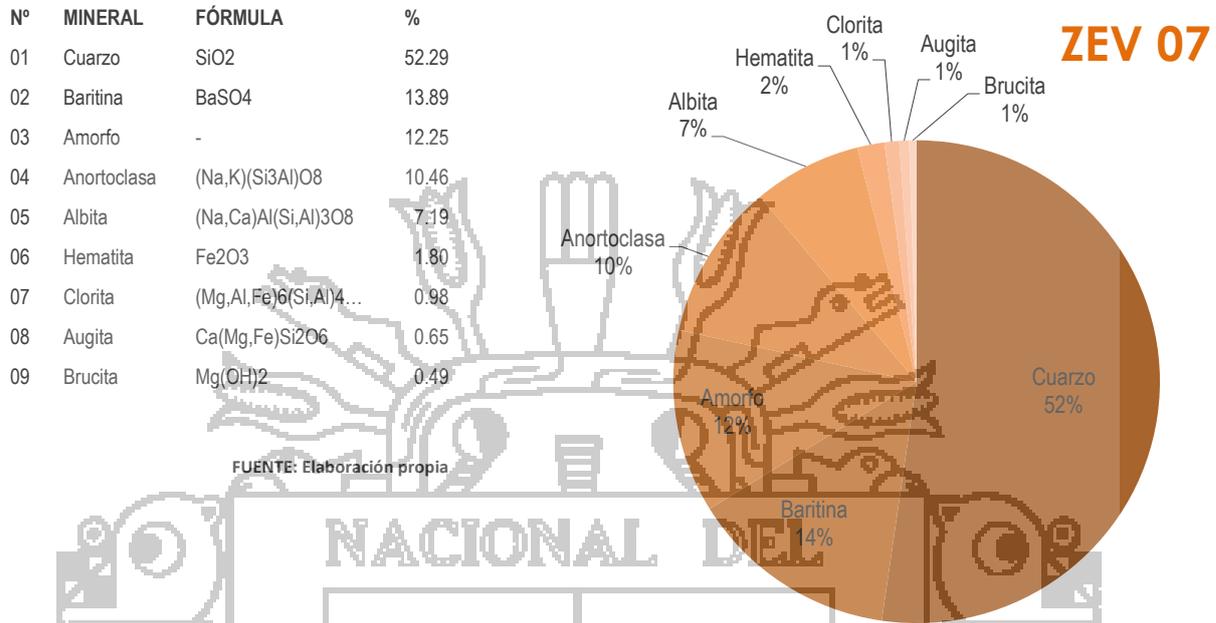


Gráfico N° 04: Distribución mineralógica de la muestra: zev 11.

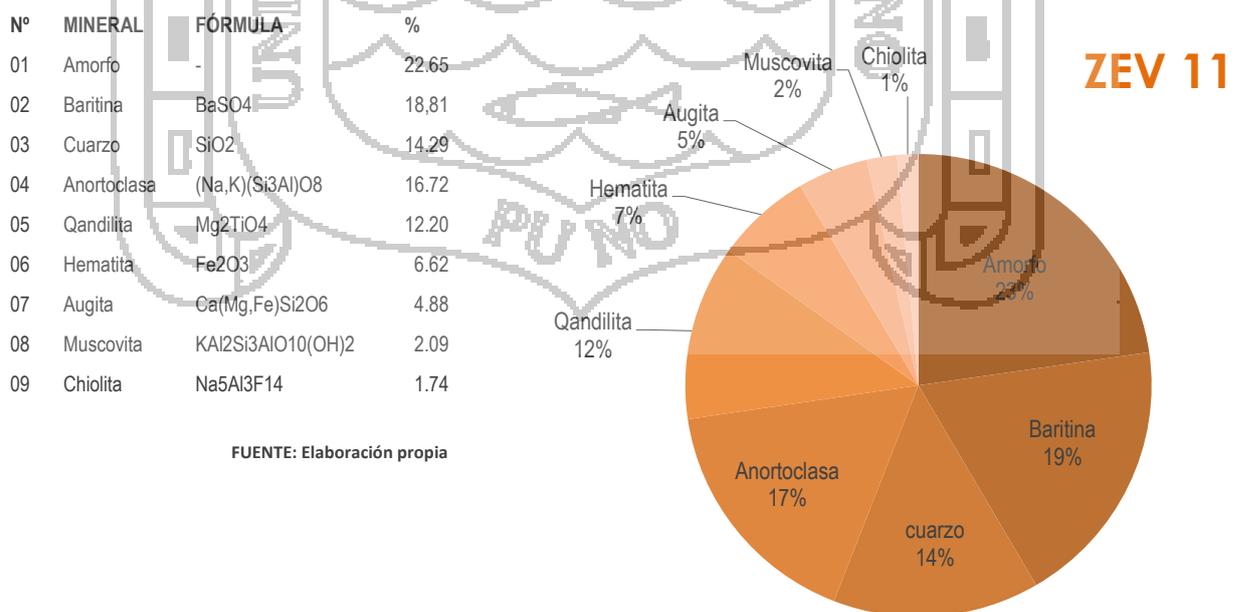
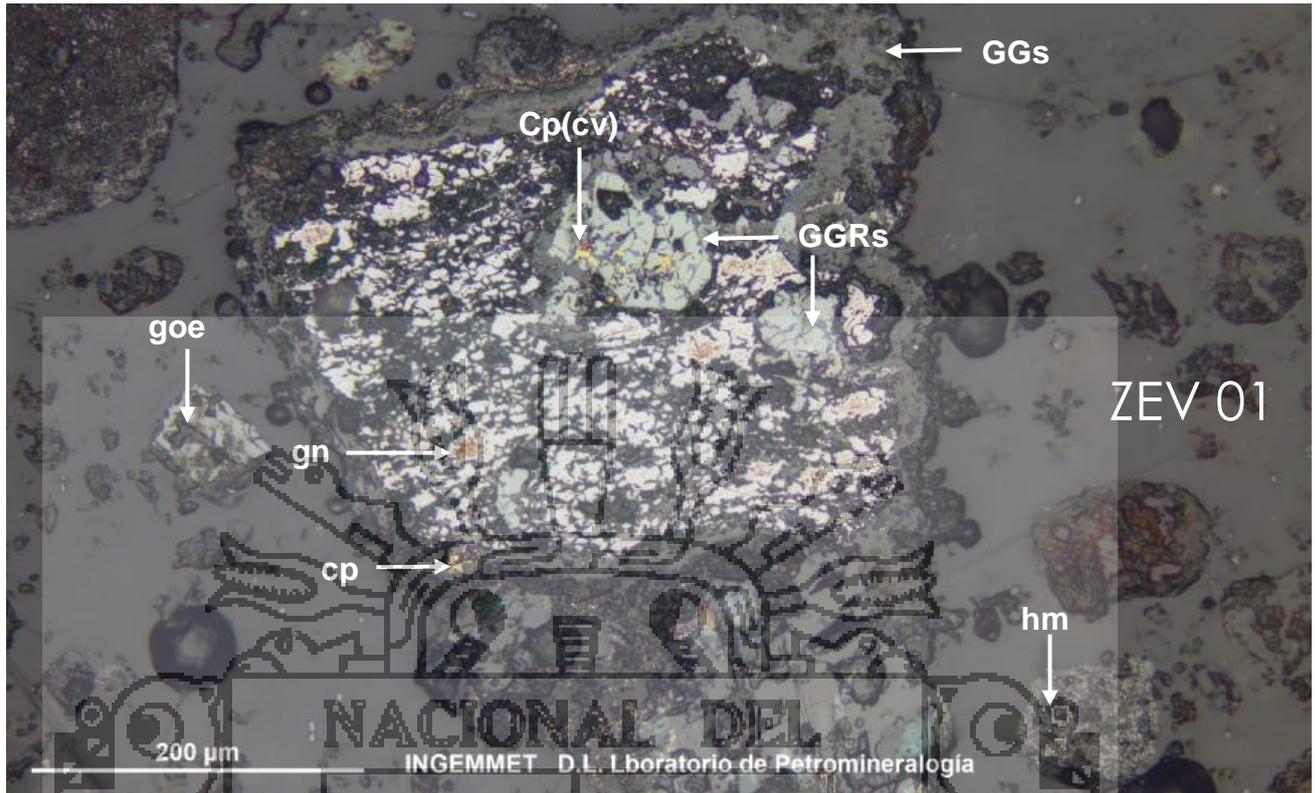


Imagen N° 30: Componentes de uno de los granos de la muestra zev 01.



Se observa un grano compuesto por ganga (GGs), que contiene galena (gn) asociada a cobres grises (GGRs), calcopirita (cp) alterada a covelita (cv), cristales aislados de goethita (goe) y hematita (hm).

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

Limonitas – Goethita – Lepidocrocita:

Cristales anhedrales subredondeados de **goethita** de tamaños que varían desde 0,05mm hasta 2,00mm. Así mismo, los otros cristales anhedrales se encuentran intercrecidos con lepidocrocita, wad o hematita. En algunos granos se encuentran como pseudomorfos cúbicos de pirita, con tamaños menores a 0,01mm. La **lepidocrocita** se encuentra intercrecida con goethita en un mismo cristal. Las **limonitas** en general anhedrales, se encuentran en cristales aislados y como parte de las gangas.

Hematita, cristales anhedrales con tamaños que varían desde 0,01 hasta 2,00mm. Algunos cristales más pequeños presentes como inclusiones en limonitas y gangas, se encuentran como pseudomorfos de magnetita, reemplazándola por proceso de martitización y en textura de exsolución lamelar. Y otros están intercrecidos con goethita.

Wad, agregado de cristales de formas anhedrales, se presentan subredondeados con tamaños hasta 0,90mm; intercrecidos con goethita.

Galena, se encuentran en granos asociados con gangas, microfracturados, asociados a cobres grises. Presenta tamaños de 0,43mm en conjunto.

Magnetita, cristales subhedrales a anhedrales, algunos alterados a hematita y con textura de exsolución, se encuentra en granos con ganga. Con tamaños menores a 0,50mm.

Calcopirita, cristales anhedrales menores a 0,08mm. Intercrecido con esfalerita, incluido en goethita y ganga. Otros cristales incluidos en cobres grises presentan alteración a covelita.

Pirita, se encuentran en granos intercrecidos con ganga, microfracturados y tamaños menores a 0,06mm de tamaño.

Cobres grises, cristales subhedrales y anhedrales se encuentran reemplazando a la calcopirita y asociado a galena. Presentan tamaños menores a 0,10mm.

Covelita, ocurren como alteración de calcopirita a través de sus bordes y cobres grises.

Esfalerita, de formas anhedrales, intercrecido con un grano de calcopirita de tamaño menor a 0,02mm.

SECUENCIA DE FORMACIÓN PROBABLE:

No se precisa, ya que proviene de un relave y muchos cristales se encuentran aislados y no en contacto.

TEXTURA:

De reemplazamiento, intercrecimiento.

ALTERACIONES:

Oxidación fuerte

OBSERVACIONES:

Los granos han sufrido alteración supérgena.

(Laboratorio de Petromineralogía - INGEMMET 2013)



Se muestran también, el contenido y la distribución de las especies mineralógicas encontradas en las muestras del sitio de control.

Gráfico N° 05: Distribución mineralógica de la muestra: zev 14.

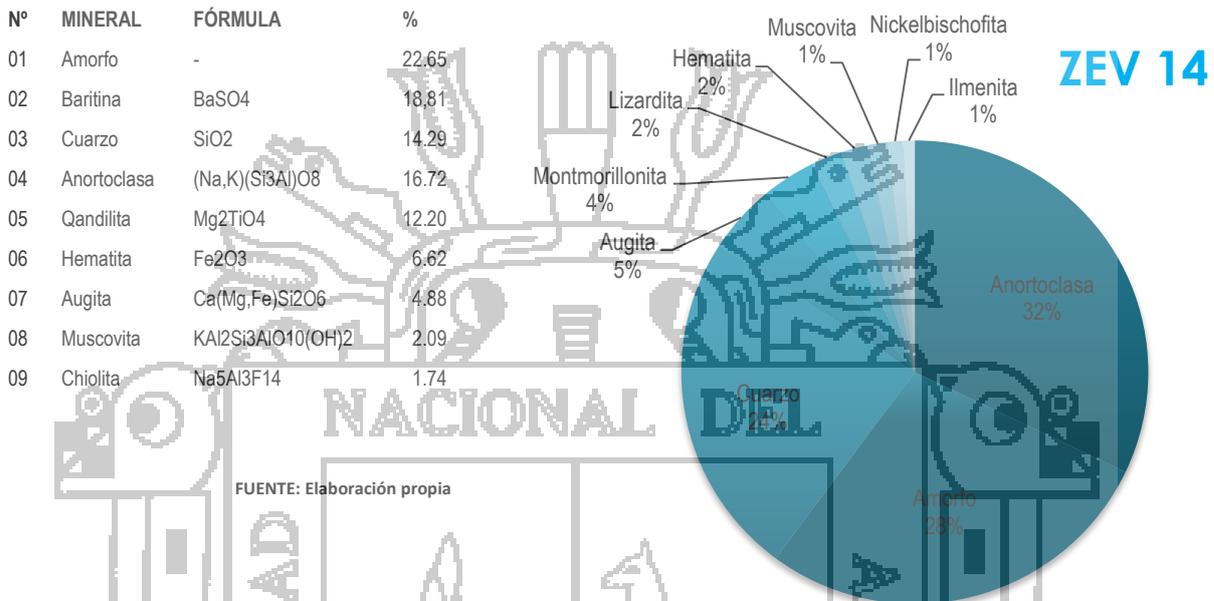


Gráfico N° 06: Distribución mineralógica de la muestra: zev 15.

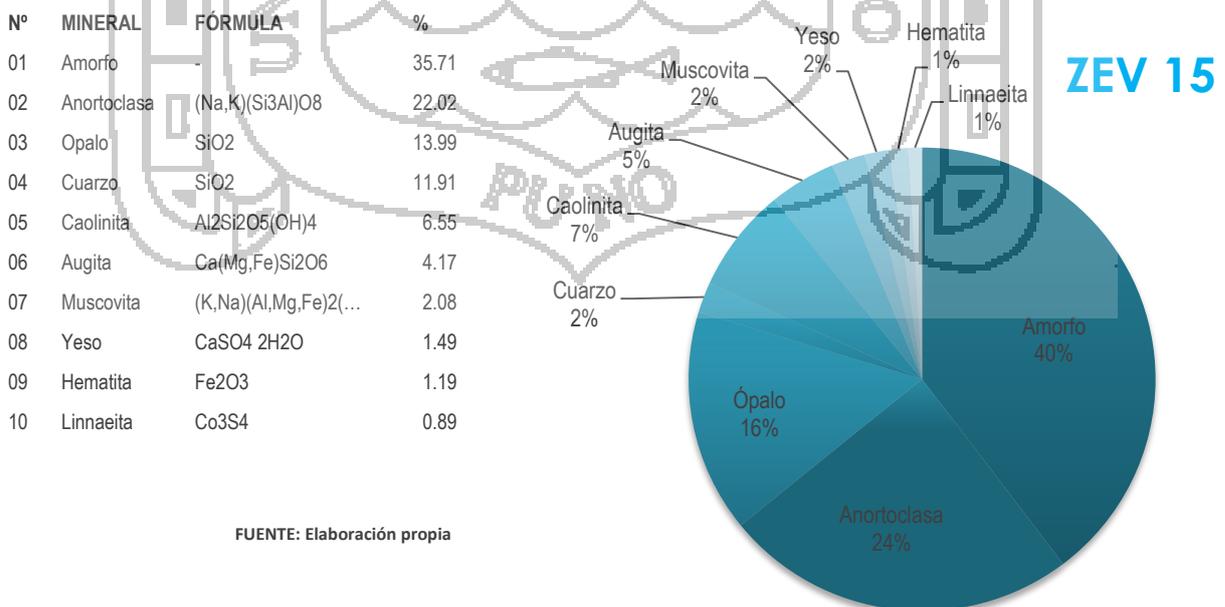
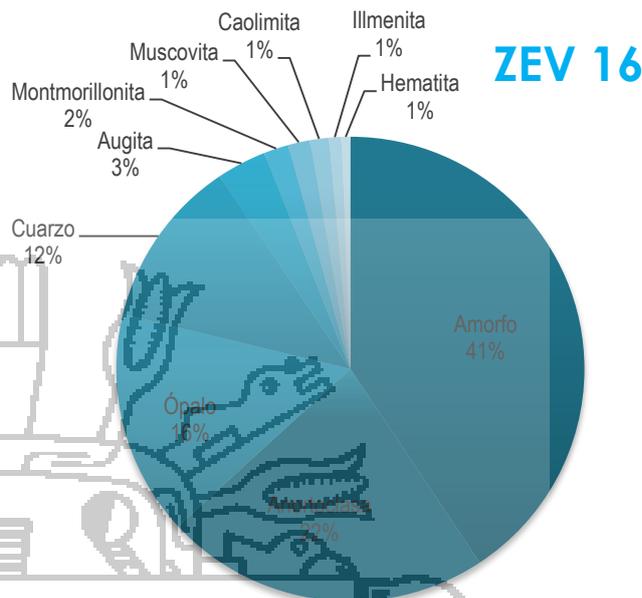


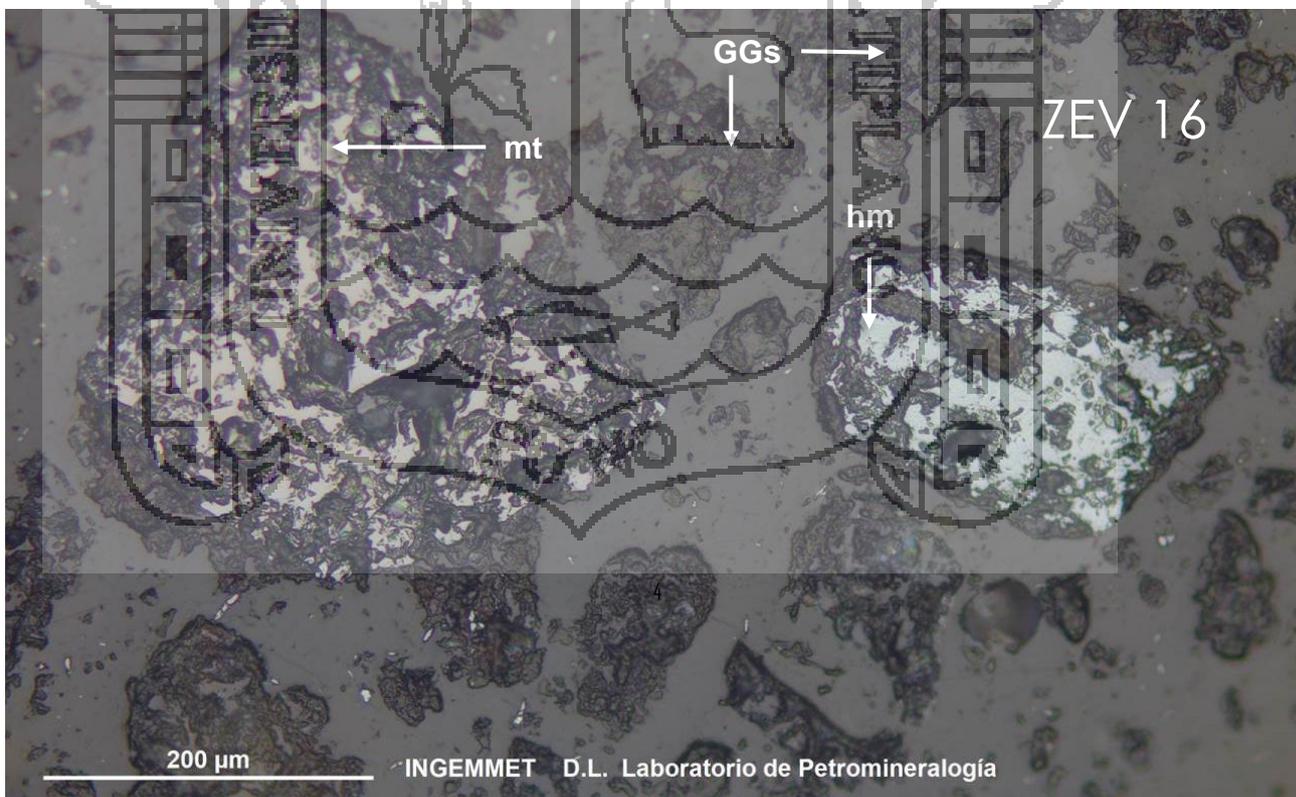
Gráfico N° 07: Distribución mineralógica de la muestra: zev 16.

N°	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Amorfo	-	40.68
02	Anortoclasa	(Na,K)(Si3Al)O8	22.48
03	Opalo	SiO2	15.63
04	Cuarzo	SiO2	11.78
05	Augita	Ca(Mg,Fe)Si2O6	3.43
06	Montmorillonita	Ca0.2(Al,Mg)2Si4O...	1.71
07	Muscovita	(K,Na)(Al,Mg,Fe)2...	1.51
08	Caolinita	Al2Si2O5(OH)4	1.28
09	Ilmenita	Fe+2TiO3	0.86
10	Hematita	Fe2O3	0.64



FUENTE: Elaboración propia

Imagen N° 31: Granos de la muestra zev 16.



Granos aislados de magnetita (mt) asociados a ganga, hematita (hm) y granos de ganga (GGs).

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

Magnetita, se encuentra en granos de formas anhedrales redondeados, subhedrales. De tamaños que varían desde 0,01 hasta 0,50mm. Algunos se presentan con textura de reemplazamiento; por proceso de martitización se alteran a hematita. Algunos se presentan asociados a pirita. También bordeados por goethita.

Hematita, cristales anhedrales y subhedrales con tamaños que varían desde 0,01 hasta 0,25mm. Otros se presentan como pseudomorfo de magnetita. Se presentan también asociados a las limonitas y gangas. Además del intercrecimiento con goethita. Y en textura de exsolución lamelar y de reemplazamiento con la magnetita.

Goethita - Limonitas.

La **goethita** se presenta como cristales anhedrales subredondeados de tamaños que varían desde 0,05 mm hasta 1.00mm.

Las **limonitas** se presentan como cristales anhedrales, se presentan en intercrecimiento con otros minerales ganga y como inclusiones en los fragmentos de roca.

TEXTURA:

De reemplazamiento, intercrecimiento.

ALTERACIONES:

Oxidación moderada

OBSERVACIONES:

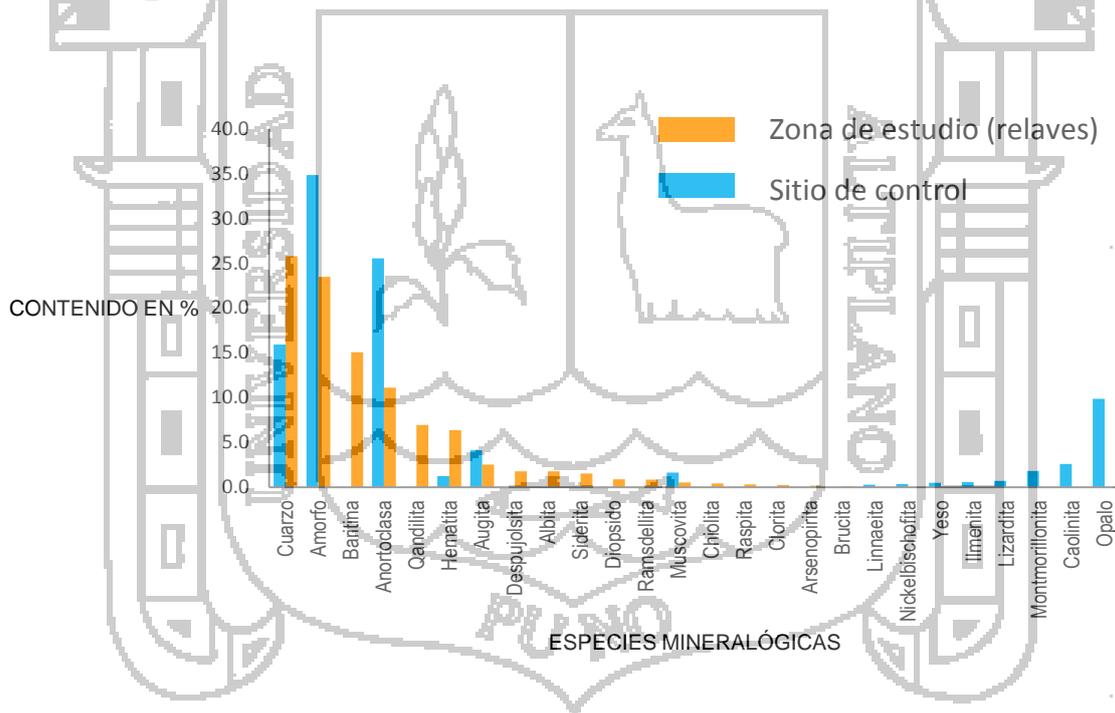
Sin observaciones

(Laboratorio de Petromineralogía - INGEMMET 2013)

Como se puede observar, el contenido y la distribución de las especies mineralógicas de las muestras obtenidas en la zona de estudio (relaves), difieren bastante con el de las muestras obtenidas en los sitios de control. Eso indica que los montículos localizados tienen una naturaleza distinta al del lugar (sitio de control).

El siguiente gráfico, ayudará a entender mejor la diferencia.

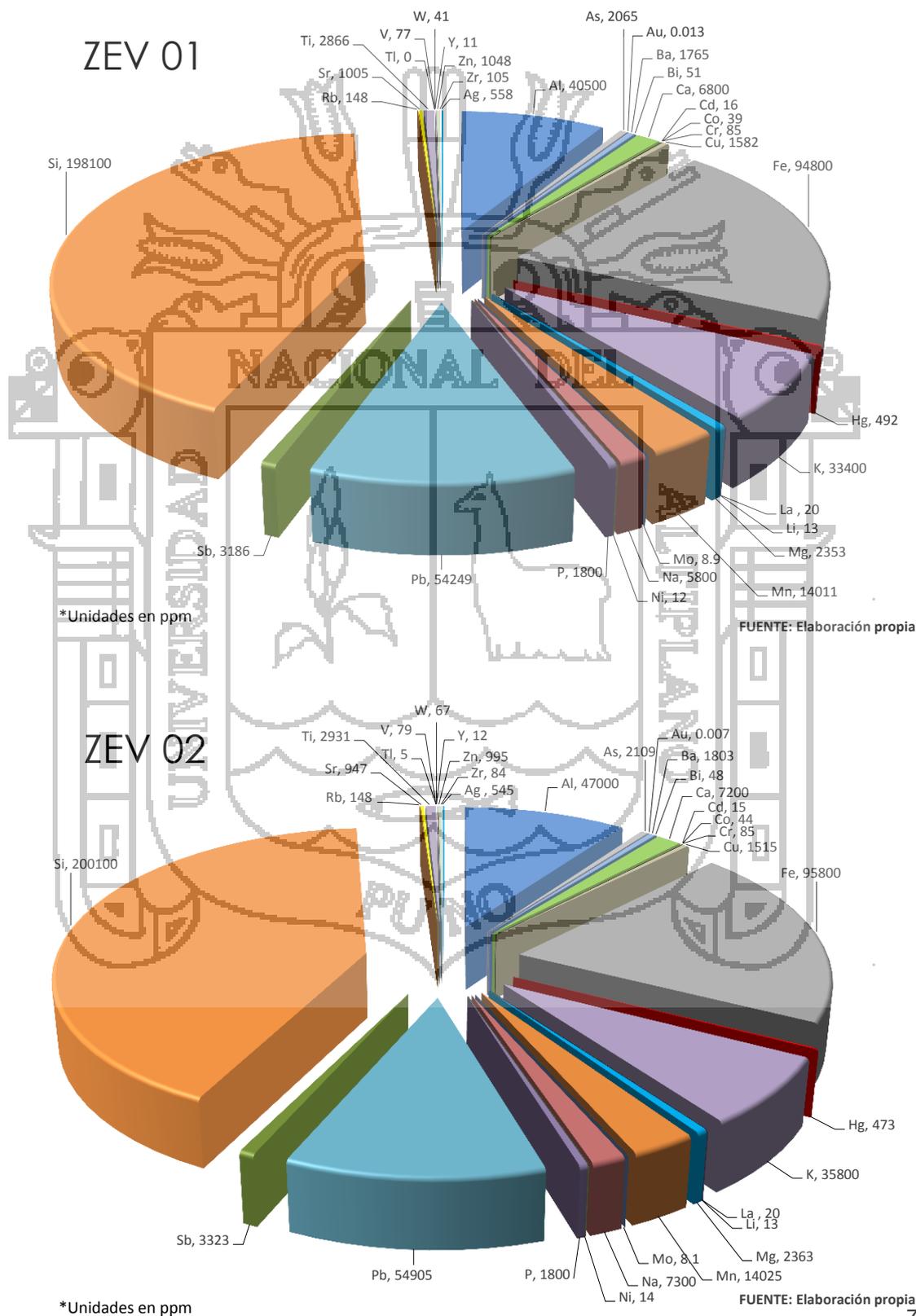
Gráfico N° 08: Comparación del contenido y distribución de especies mineralógicas de los relaves y del sitio de control.

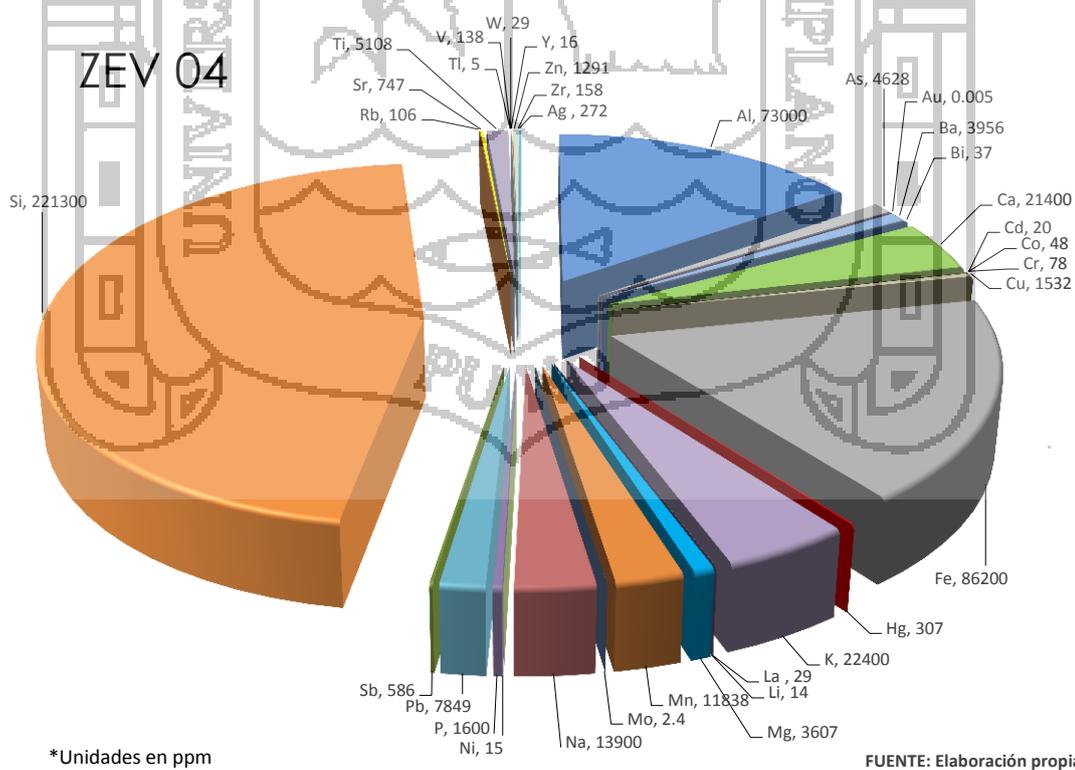
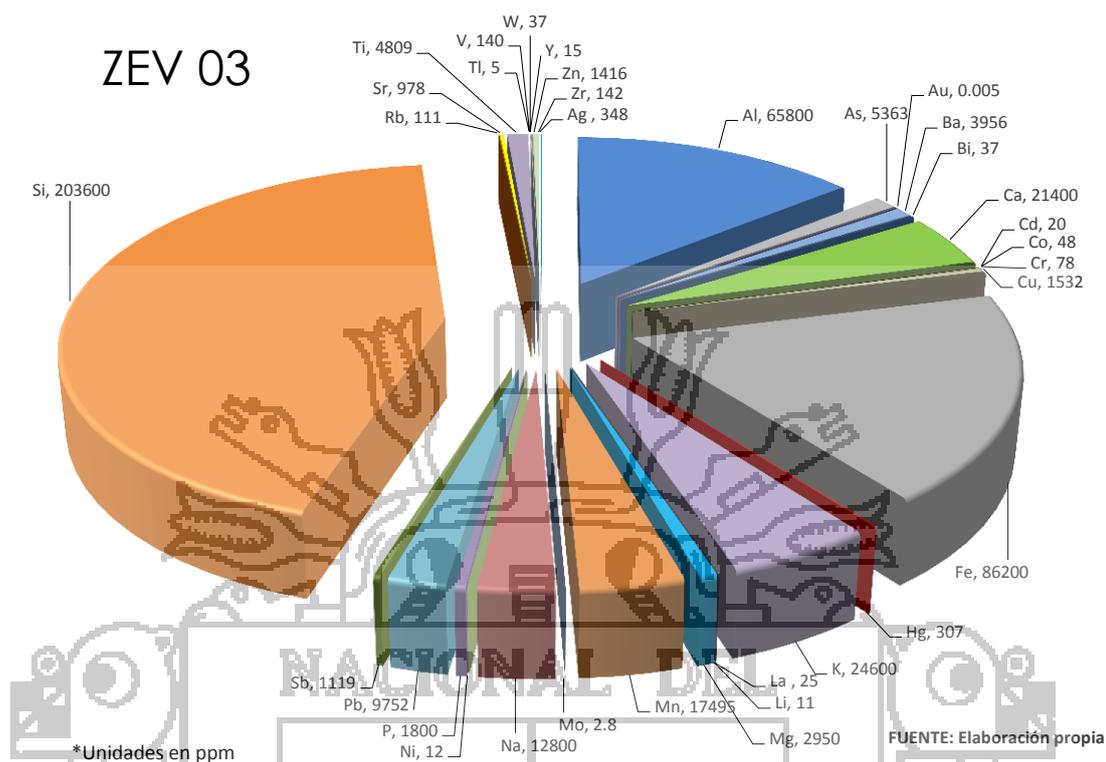


FUENTE: Elaboración propia

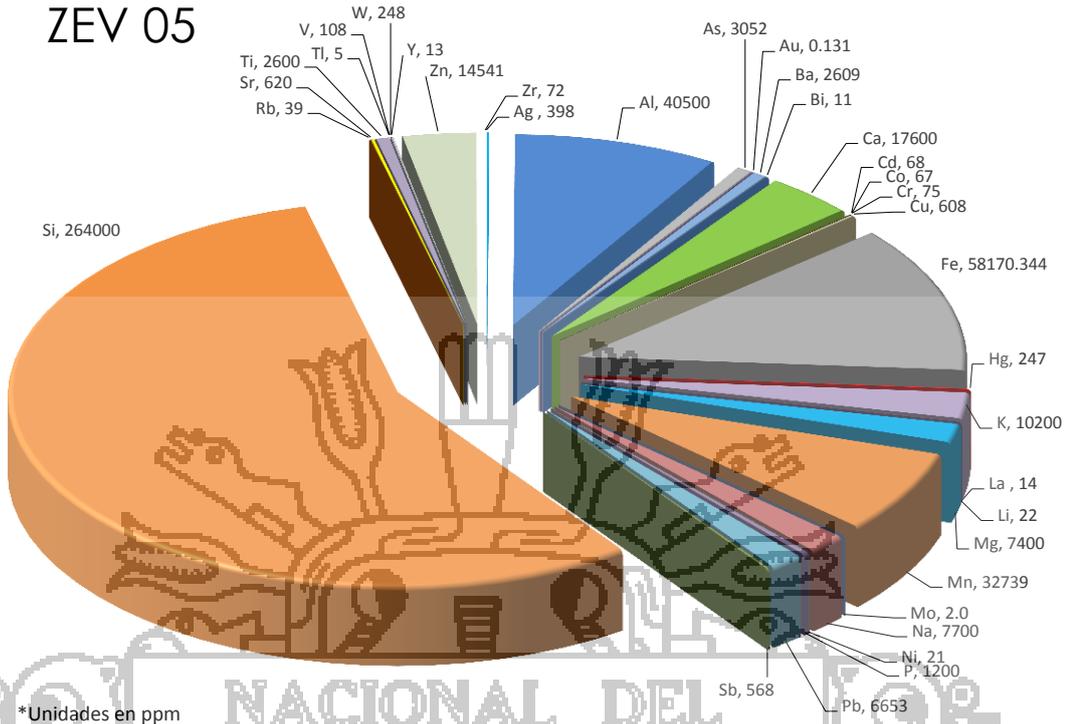
4.2.2.2 Resultados de la determinación multielemental

A continuación, se muestra, el contenido y la distribución de los elementos encontrados en las 13 muestras de la zona de estudio (relave).





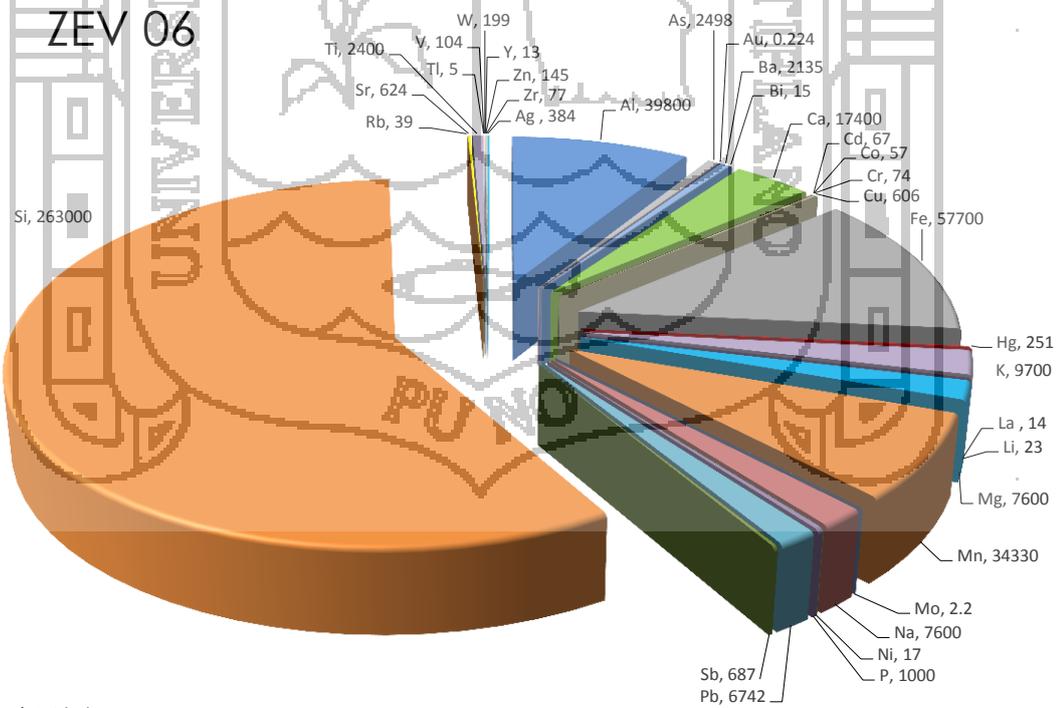
ZEV 05



*Unidades en ppm

FUENTE: Elaboración propia

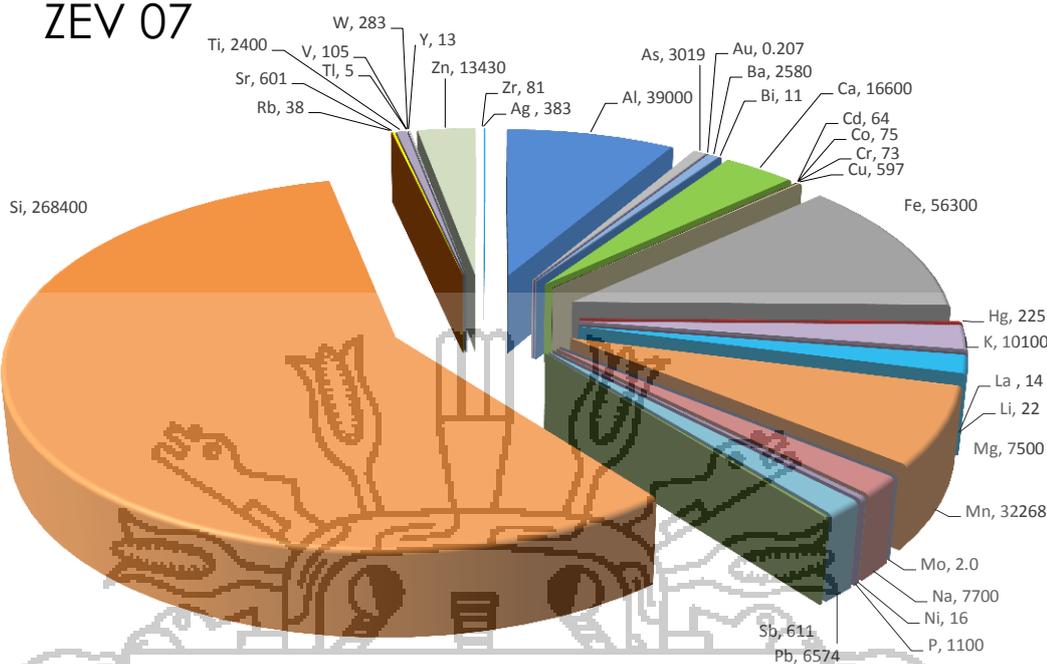
ZEV 06



*Unidades en ppm

FUENTE: Elaboración propia

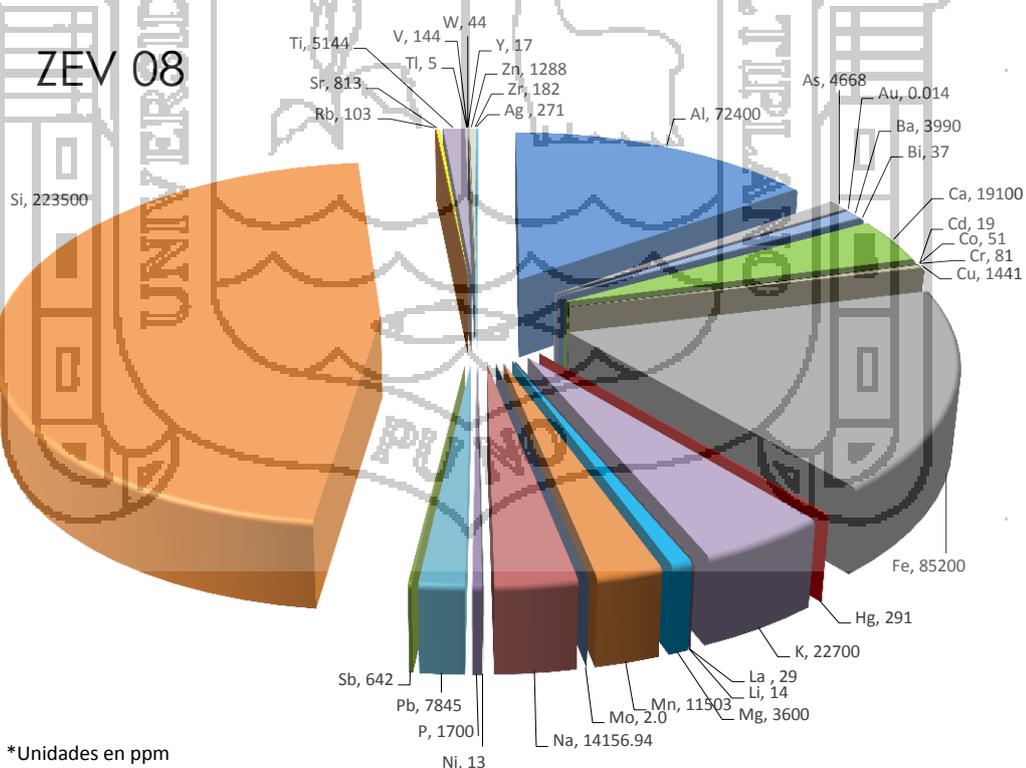
ZEV 07



*Unidades en ppm

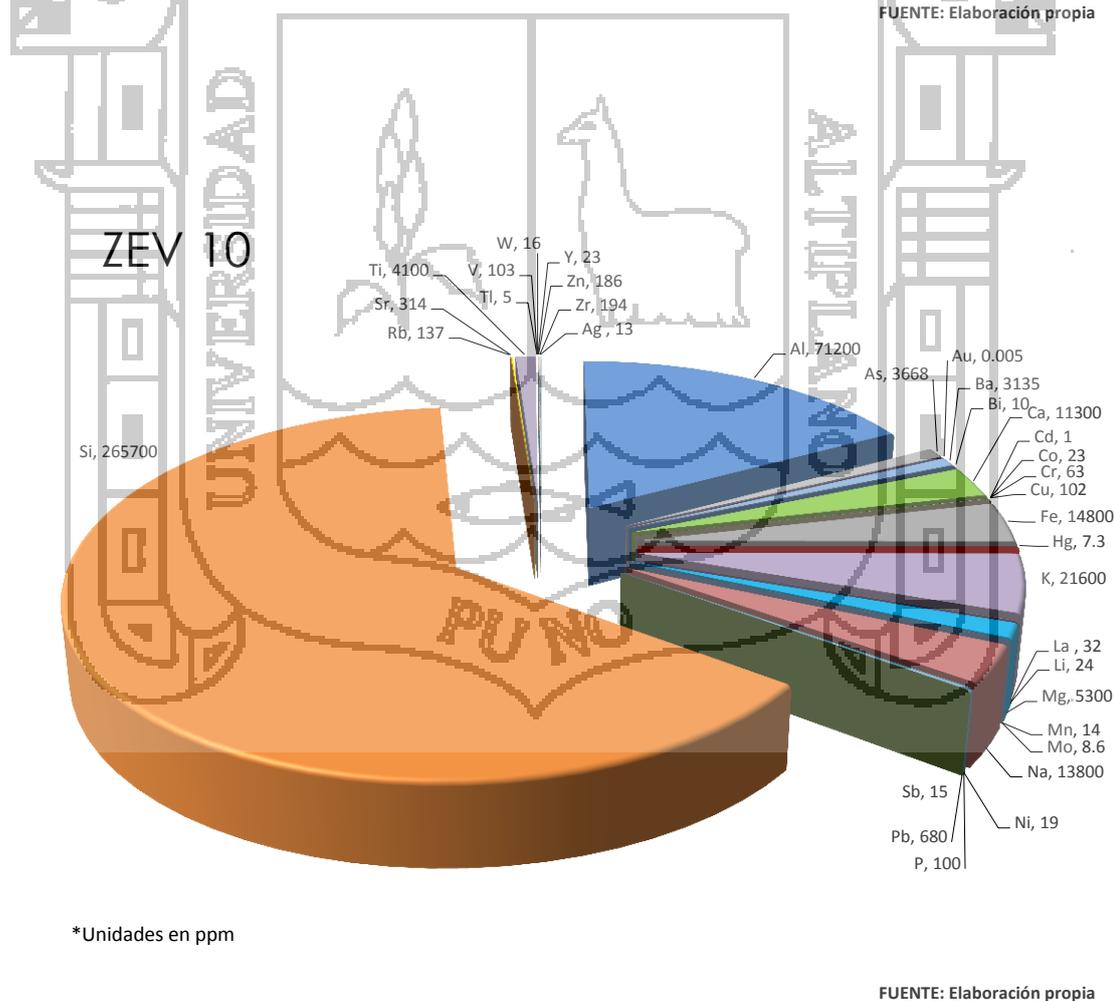
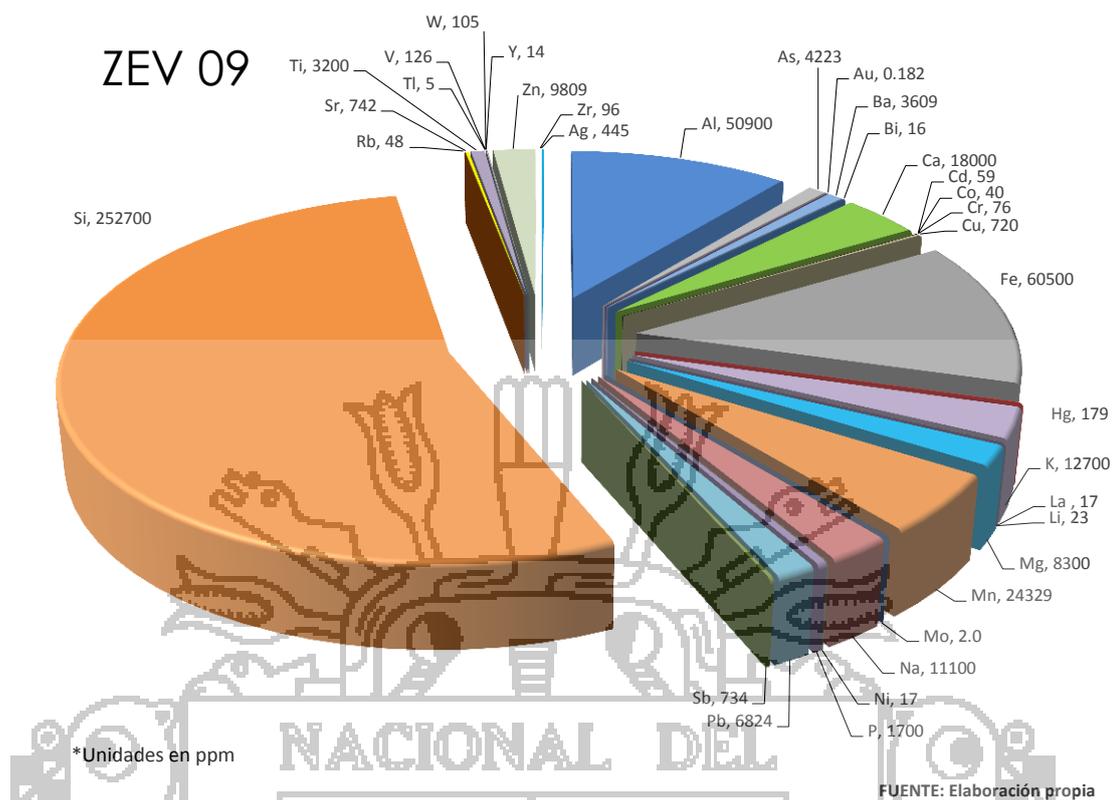
FUENTE: Elaboración propia

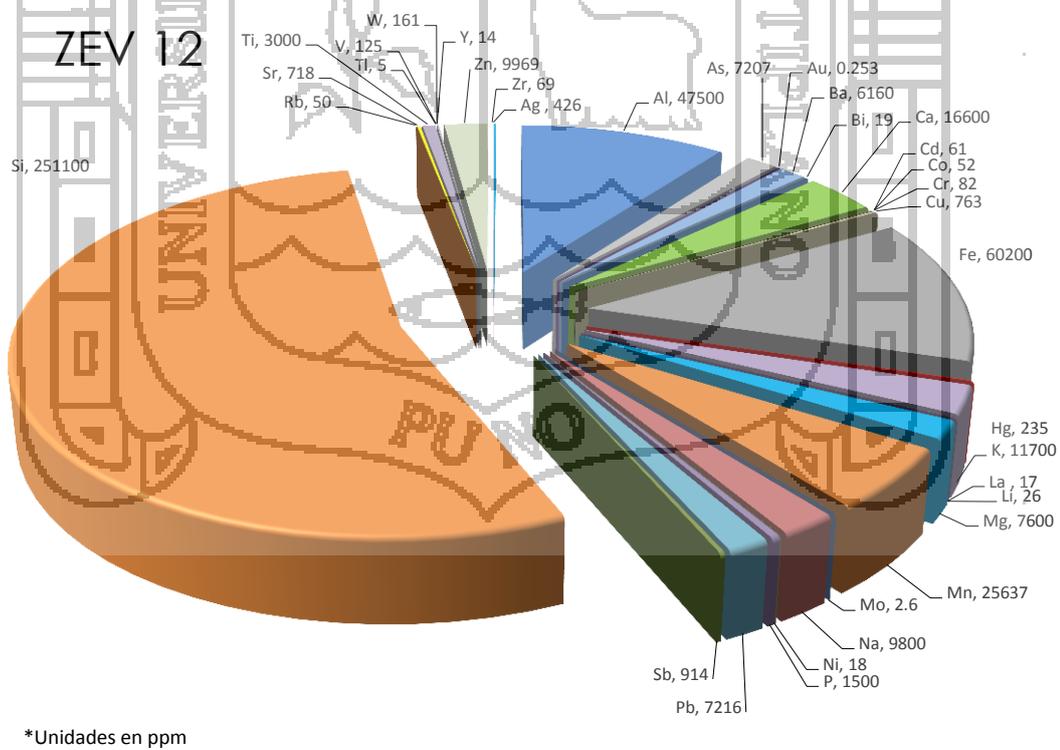
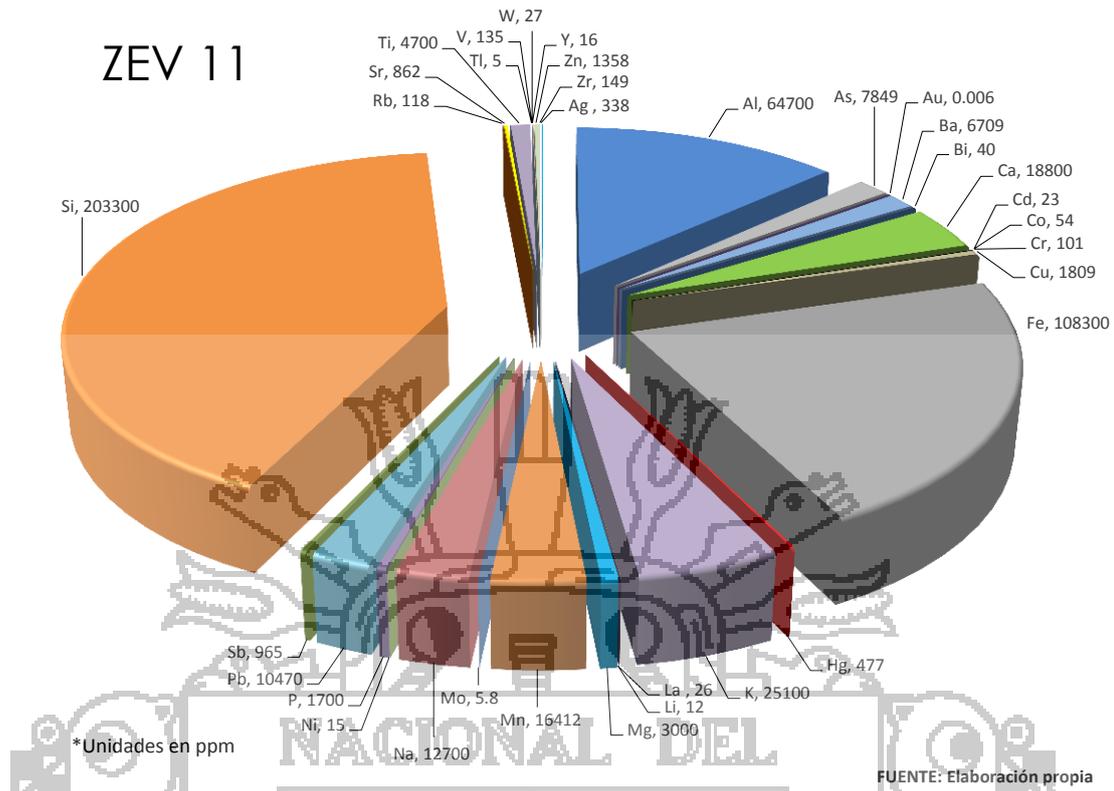
ZEV 08

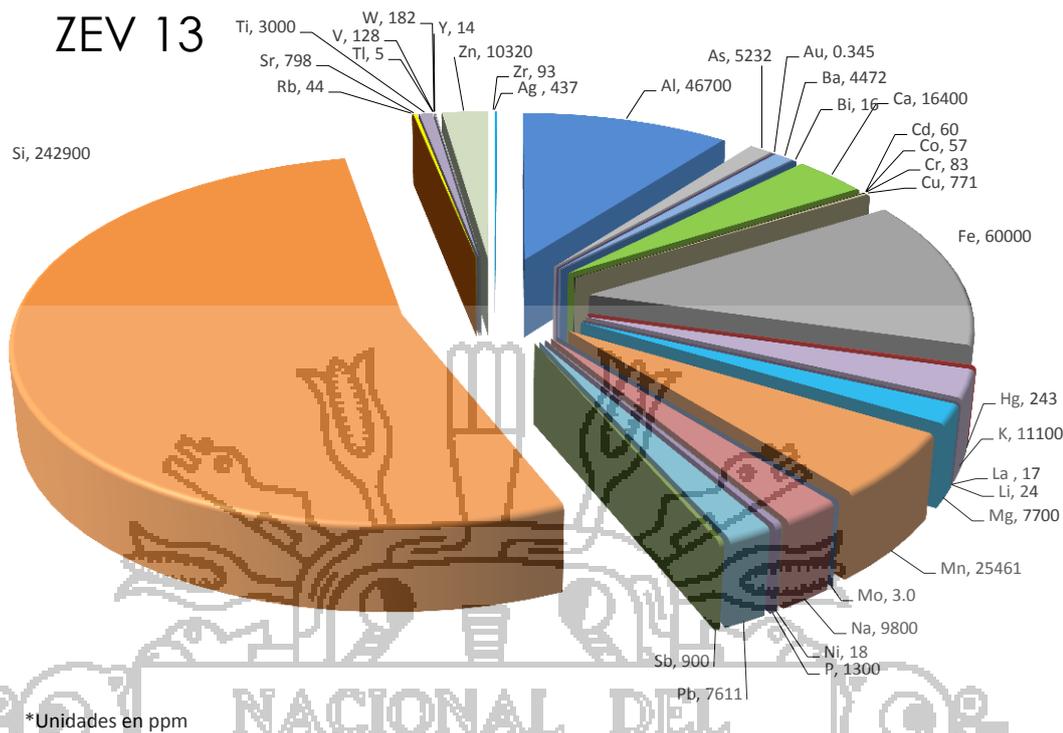


*Unidades en ppm

FUENTE: Elaboración propia



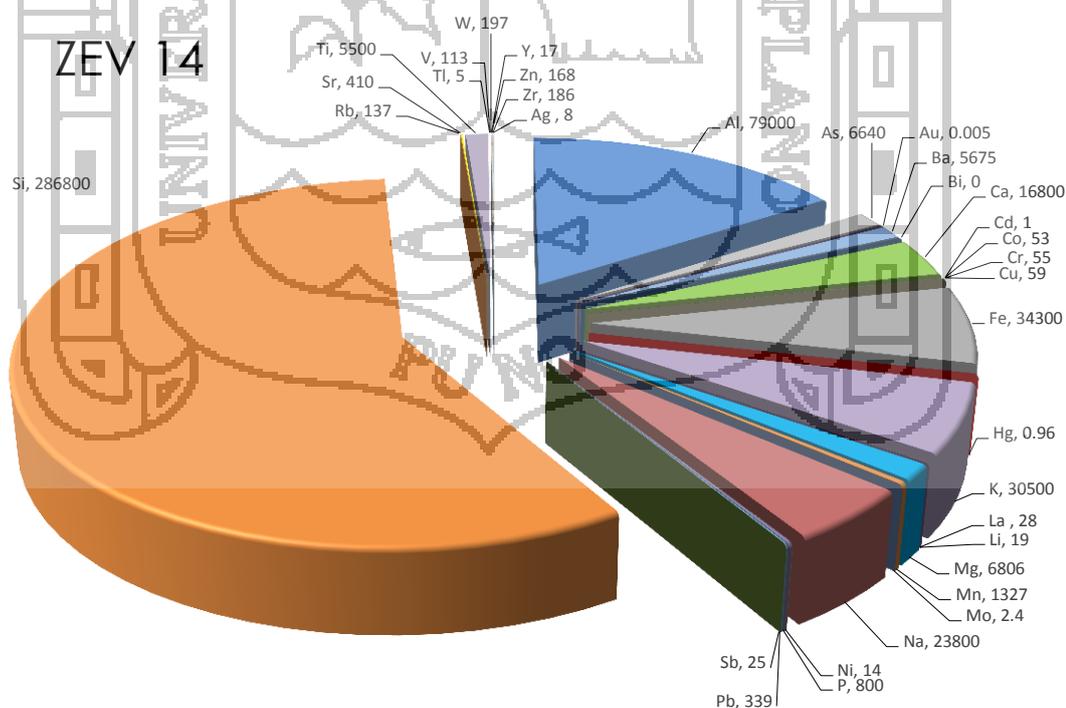




*Unidades en ppm

FUENTE: Elaboración propia

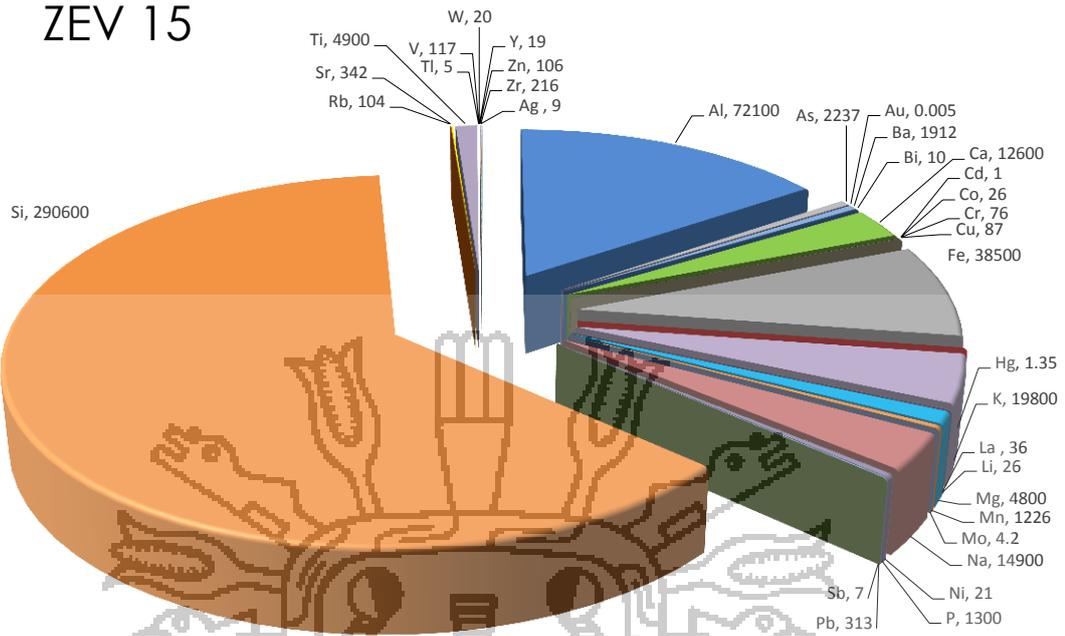
Ahora, se muestra el contenido y la distribución de los elementos encontrados en las 03 muestras de control (sitios de control).



*Unidades en ppm

FUENTE: Elaboración propia

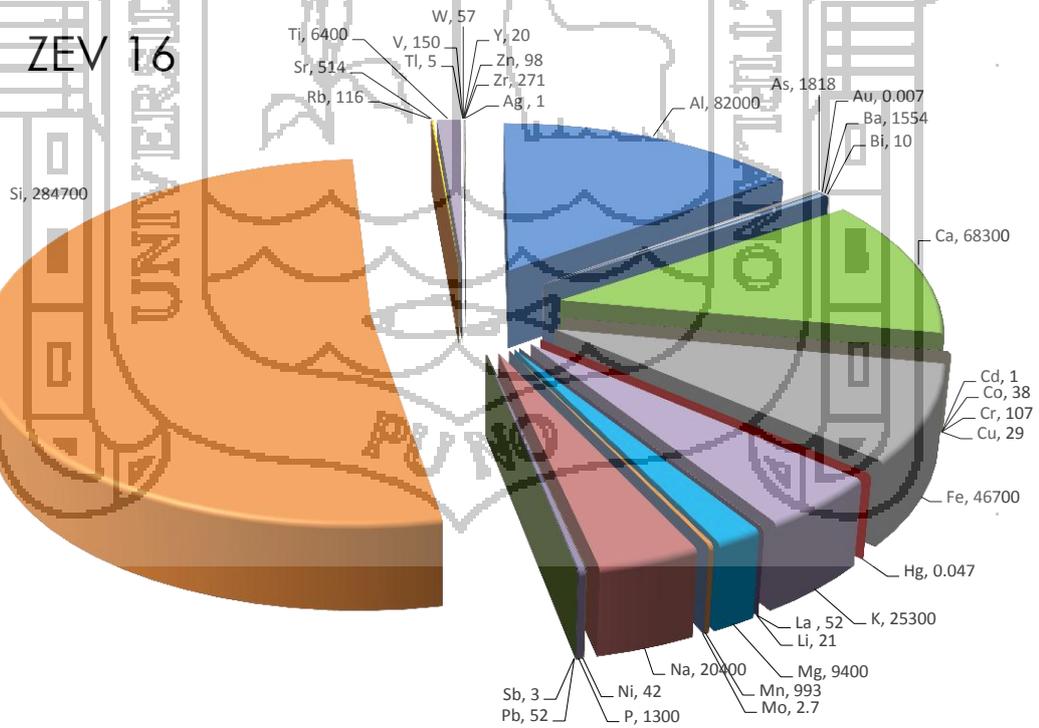
ZEV 15



*Unidades en ppm

FUENTE: Elaboración propia

ZEV 16



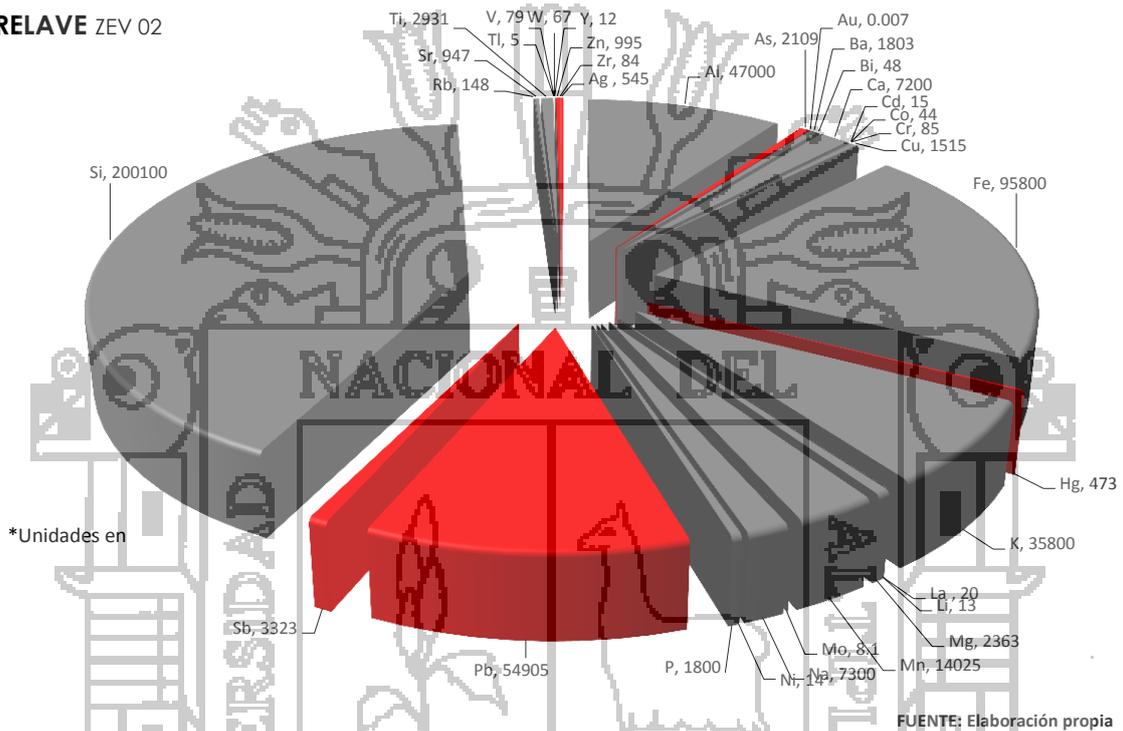
*Unidades en ppm

FUENTE: Elaboración propia

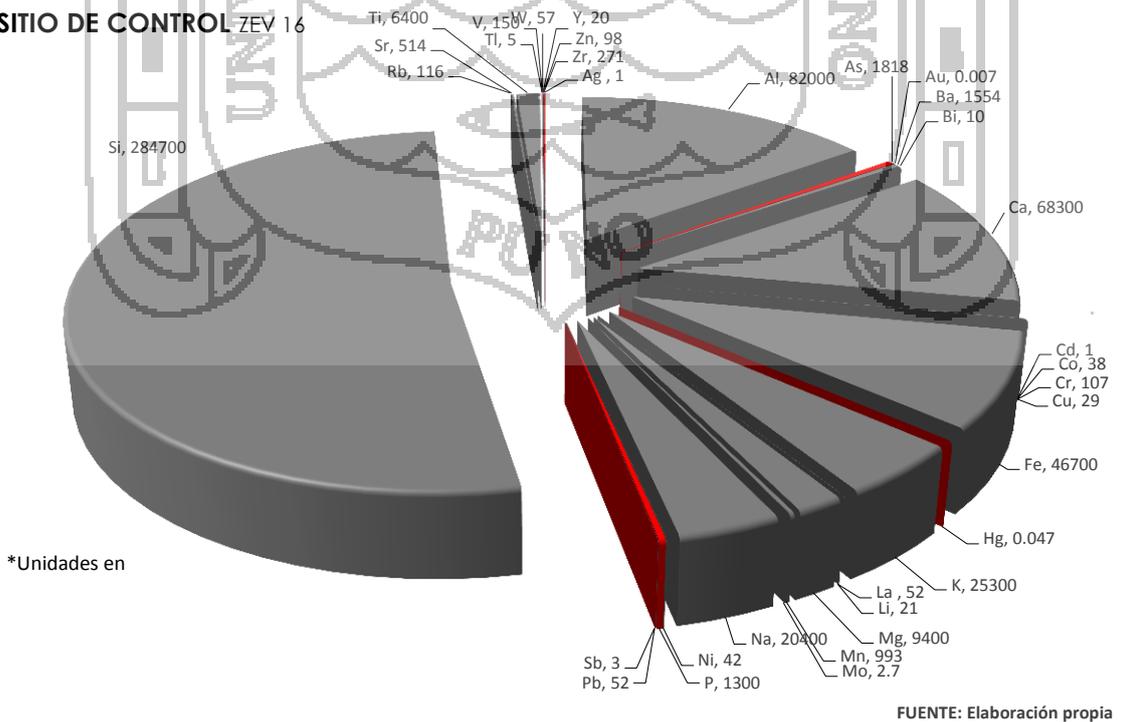
Como se puede observar, el contenido total de los elementos potencialmente tóxicos en una de las muestras obtenida de los relaves (ZEV 02), son bastante altos comparado con el de la muestra obtenida en el sitio de control (ZEV 16).

Los siguientes gráficos, ayudarán a entender mejor la diferencia.

RELAVE ZEV 02



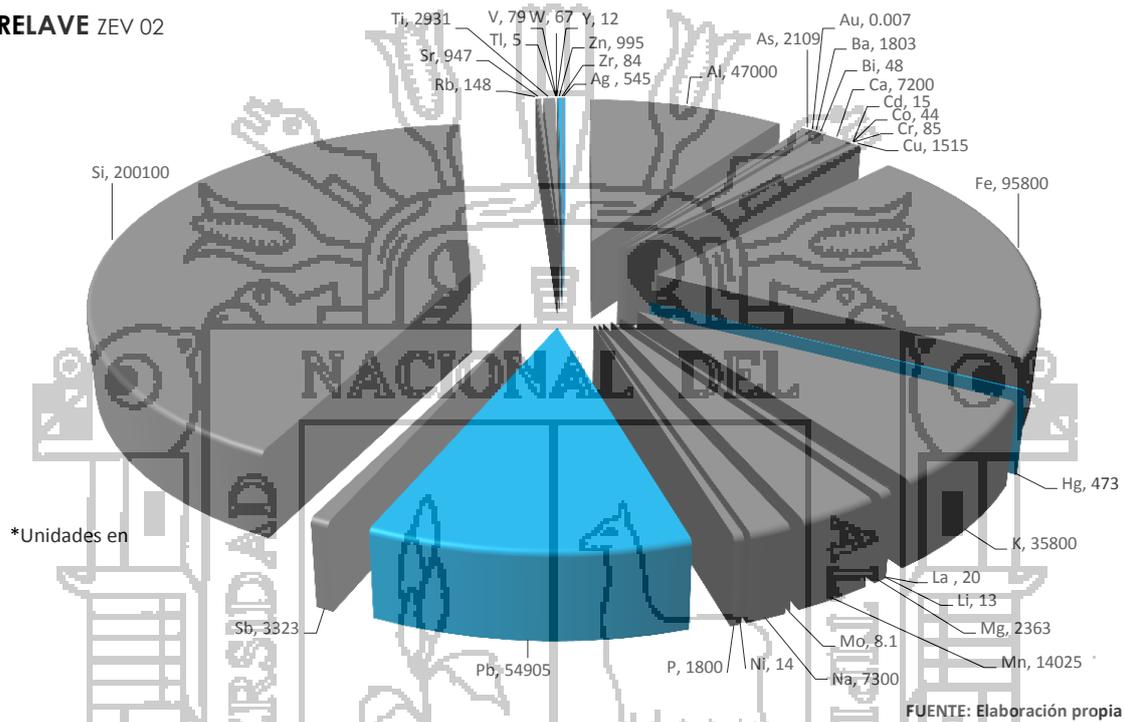
SITIO DE CONTROL ZEV 16



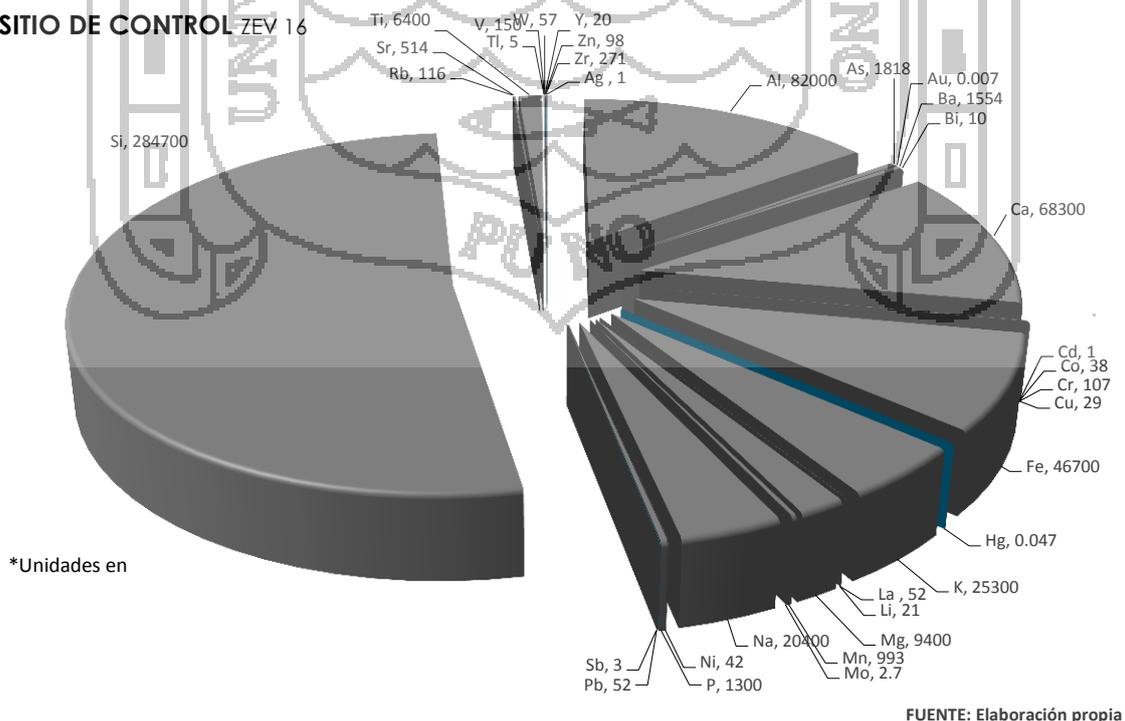
Tomando como referencia las mismas muestras, se puede observar que el contenido total de los elementos económicamente rentables son más altos en los relaves que en el sitio de control.

Los siguientes gráficos, ayudarán a entender mejor la diferencia.

RELAVE ZEV 02



SITIO DE CONTROL ZEV 16



CAPÍTULO V

UTILIDAD DE LOS RESULTADOS Y POSIBILIDAD DE TRATAMIENTO

5.1 Utilidad de los resultados

CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO MINERO-METALÚRGICO

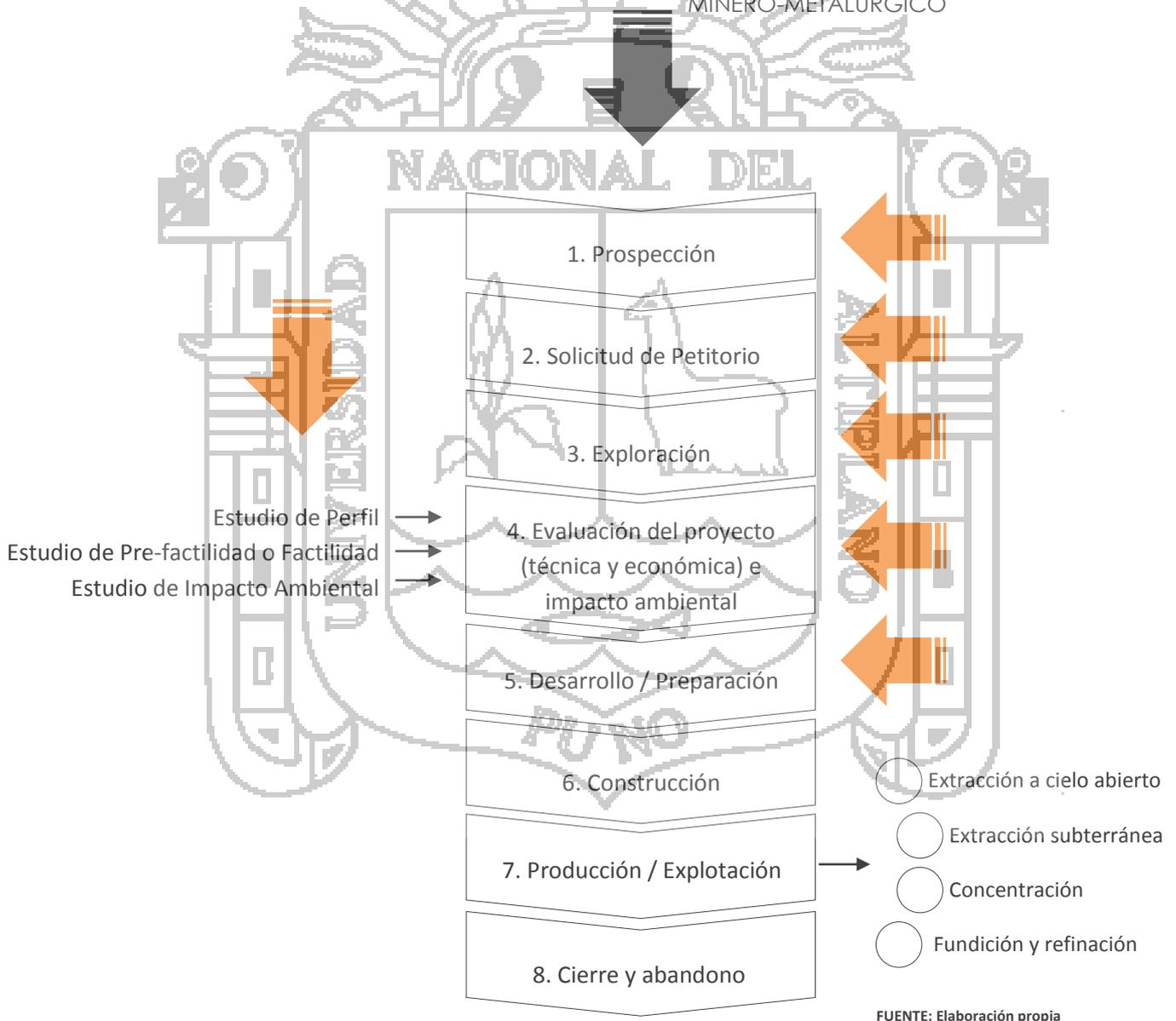


Imagen N° 32: Esquema del ciclo de vida de un proyecto minero-metalúrgico.

5.2 Posibilidad de tratamiento

5.2.1 Tratamiento de relaves mediante la lixiviación (Técnica metalúrgica).

De acuerdo con los resultados de la caracterización, los relaves contienen altas concentraciones de plata (elemento económicamente rentable si se procesan los relaves) y altas concentraciones de mercurio (elemento potencialmente tóxico que influye negativamente los componentes ambientales de la zona)

Una de las posibilidades de tratamiento o remediación de los relaves, es mediante la aplicación de una técnica metalúrgica denominada lixiviación, utilizando el cianuro de sodio como agente lixivante.

Esta técnica nos permitirá obtener doble beneficio:

- Recuperar la plata contenida en los relaves para refinarla y comercializarla.
- Recuperar el mercurio para aislarlo o ponerlo a disposición de una entidad competente para su almacenamiento y así contribuir con la eliminación del mercurio en la zona de influencia.

El proceso es relativamente económico, pero se deberá utilizar y manejar de forma segura debido a que se utilizarán soluciones diluidas de cianuro de sodio, típicamente entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 partes por millón).

El producto de la lixiviación se obtendrá como una solución rica que, a su vez, será alimentada a una planta de precipitación para su recuperación por el método de merrill crowe o cementación con zinc para finalmente ser fundida y refinada, pero el relave (del nuevo proceso) contendrá cianuro de sodio y deberá ser tratado y monitoreado para asegurar la descontaminación del ambiente.

Etapas del tratamiento de los relaves



Imagen N° 33: Esquema de las etapas del tratamiento de los relaves

Transporte

En esta primera etapa, los relaves deberán ser trasladados a un entorno aislado o directamente a las pozas o tanques de lixiviación, para ellos se debe contar con maquinaria pesada (cargadores frontales y camiones de tolva cerrada) con la finalidad de evitar cualquier tipo de influencia negativa sobre las personas en cargadas de dicha labor y evitar la emisión de material particulado al ambiente. Así mismo, las personas encargadas del transporte deberán utilizar, obligatoriamente, EPPs de seguridad para la protección de las vías respiratorias, ojos y piel.

Lixiviación

Para la lixiviación de los relaves, será necesario construir pozas con coberturas para evitar la contaminación del suelo o utilizar tanques de PVC para asegurar el aislamiento del relave y la solución lixivante. Del mismo modo, será necesario establecer un plan de monitoreo y mantenimiento en el cual deben incluir cronograma de tareas y actividades requeridas para medir los indicadores del posible impacto.

De acuerdo con la caracterización, nuestro relave presenta oxidación fuerte, lo que hace que éste tenga una condición cianurable, debido a que estos fueron situados en una zona de oxidación donde la mayoría de los sulfuros han sido convertidos en óxidos. Cuando los minerales auroargentíferos están ligados a sulfuros de plomo, cobre y zinc, la práctica general es flotarlos y posteriormente recuperar los metales preciosos en la afinación de los metales impuros obtenidos en la fundición donde se tratan los concentrados

Muchos óxidos metálicos, carbonatos, sulfatos y otros componentes, son solubles en soluciones cianuradas alcalinas, con la solubilidad dependiendo de condiciones de solución específicas. Estos minerales generalmente consumen cantidades más pequeñas de cianuro y oxígeno que los sulfuros, ya que los aniones producidos en solución no reaccionan con cianuro a un grado apreciable, a diferencia de las especies sulfuro. Por consiguiente, las reacciones de descomposición de estos componentes raramente tienen un gran impacto en la disolución de la plata; aunque las especies formadas pueden afectar las reacciones de precipitación y la eficiencia total del proceso.

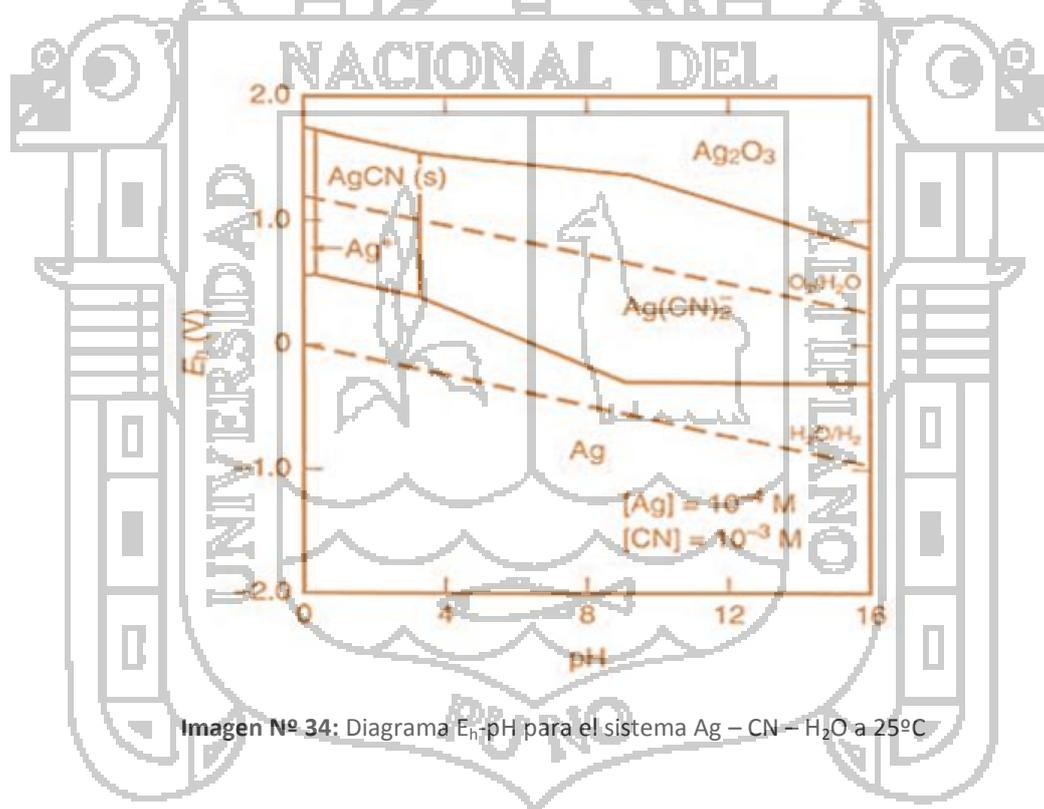


Imagen N° 34: Diagrama E_h-pH para el sistema Ag – CN – H₂O a 25°C

El diagrama E_h-pH para el sistema Ag-CN-H₂O (Imagen N° 34) indica la región de predominancia del complejo cianurado Ag(I) y muestra que el cianuro de plata insoluble, AgCN, se forma a bajo pH (<3.5).

El área de predominancia de AgCN(s) se incrementa significativamente cuando el CN^- se reduce, por ejemplo, de 10^{-3} a 10^{-4} M, con consecuencias significativas para los sistemas de lixiviación.

Por consiguiente, las operaciones que tratan minerales que contienen una cantidad significativa de plata pueden utilizar concentraciones elevadas de cianuro para mejorar la extracción de plata y para superar cualquier efecto retardante en la disolución, causada principalmente por la competencia por el cianuro. Un ejemplo de esto se puede encontrar en Coeur-Rochester (Nevada, Estados Unidos), donde se ha utilizado de 0.06% a 0.08% de NaCN (es decir, de 6 a 8 g/l) para tratar un mineral que contiene 0.3 g/t de oro y 45 g/t de plata. La recuperación de los dos metales es de 80% y 50%, respectivamente.

Efecto del plomo y otros Iones Metálicos durante la lixiviación

Es bien conocido que el oro puro se disuelve mucho más despacio que el oro aleado con plata o el oro que contiene cantidades menores de otros metales. Algunos cationes divalentes pueden tener un importante efecto beneficioso en la velocidad de disolución del oro. Se sabe que pequeñas cantidades de plomo, mercurio, talio y bismuto se despolarizan en la superficie del oro y previenen o reducen el efecto de pasivación, que es observado a -0.4V en la curva de polarización del oro; de este modo, se aceleran las velocidades de lixiviación del oro. Se piensa que este efecto, mostrado en la Imagen N° 35 para los iones de mercurio y plomo, se debe a la depositación de pequeñas cantidades de mercurio o plomo metálico en una porción de la superficie de oro, como se muestra:



Muchos minerales y concentrados contienen cantidades menores de mercurio y plomo soluble, y menos de bismuto y talio, los cuales ayudan naturalmente en los procesos de lixiviación. Cuando este no es el caso, las sales de plomo soluble (o mercurio, talio, bismuto) pueden añadirse a los sistemas de lixiviación para aumentar la disolución del oro. La desventaja potencial de dicha práctica es que cualquier especie metálica añadida puede depender del producto final del oro o los relaves. Aunque se ha encontrado que la adición de iones de plomo para obtener concentraciones de 1 a 10 mg/L es beneficiosa, se ha encontrado también que las concentraciones de plomo en exceso de 20 mg/L retardan la disolución del oro.

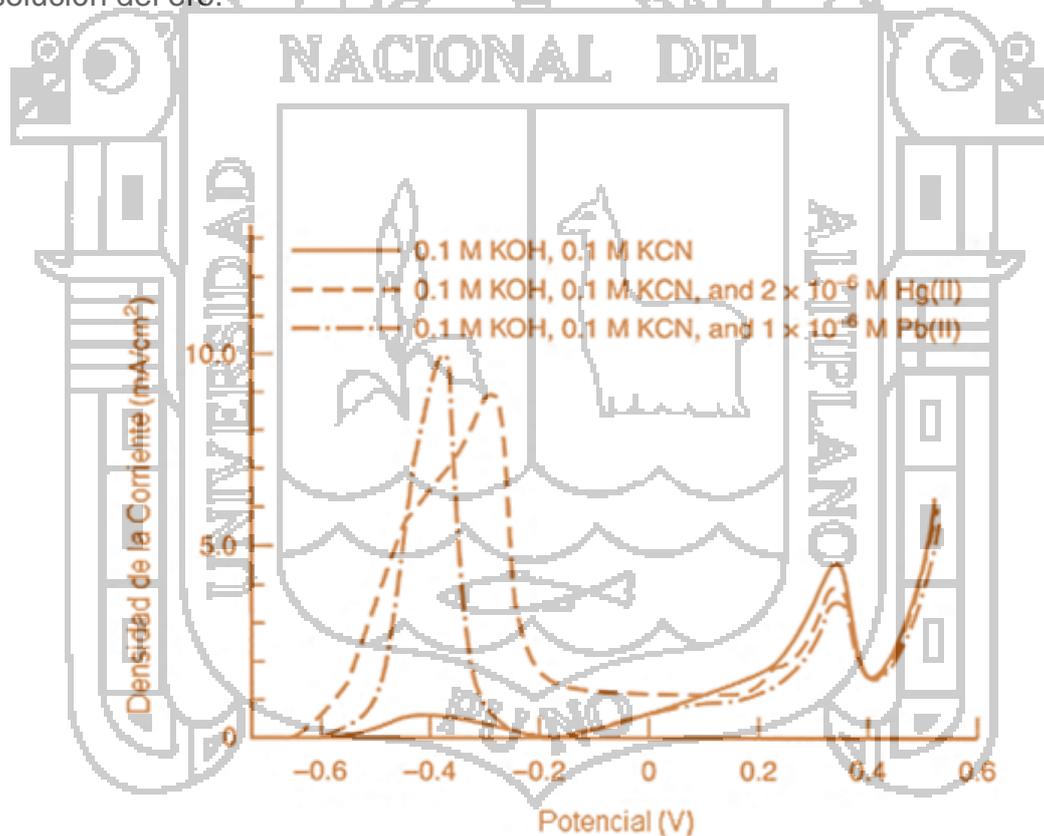


Imagen Nº 35: Efecto de la adición de iones de plomo y mercurio en el comportamiento anódico del oro en una solución cianurada alcalina.

Precipitación

La recuperación de los metales de interés, se puede realizar a través del método de merrill crowe o cementación con zinc. El método consiste solidificar la solución de cianuración rica en mineral, gracias a procesos químicos.

El orden de los metales en soluciones cianuradas determina su solubilidad relativa en dicho solvente.



De acuerdo con esta secuencia de solubilidad, cualquier metal tenderá a disolver en solución de cianuro más rápido que el metal de su derecha, desplazándolo y precipitándolo.

El zinc, en contacto con las soluciones de cianuro, desplaza electroquímicamente al oro y a la plata que pudiera contener.

Se puede distinguir dos etapas de reemplazamiento:

- $2\text{AuNa}(\text{CN})_2 + \text{Zn} \rightarrow 2\text{Au} + \text{ZnNa}_2(\text{CN})_2$
- $\text{Zn} + 4\text{NaCN} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZnNa}_2(\text{CN})_4 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2$

En la primera etapa, un equivalente de Zn reduce dos equivalentes de oro.

En la segunda etapa, un equivalente de Zn produce un equivalente de cianuro sódico de zinc.

La reacción que describe el proceso se generaliza uniendo las 2 reacciones y es la siguiente:



Esta reacción evidencia que hay desprendimiento de gas hidrogeno y aumento de la alcalinidad de la solución.

El Zn se disuelve por el cianuro sódico áurico y por el cianuro libre, esto es favorable, pues la continua disolución de Zn, expone superficies frescas del metal para la precipitación del oro y la plata.

El precipitado contiene oro, plata, zinc y cobre.

La presencia de oxígeno libre, baja la eficiencia del proceso, pues se combina con el cianuro libre y puede disolver los valores precipitados.

Cuando la solución tiene exceso de alcalinidad se presenta un precipitado blanco insoluble de $Zn(OH)_2$ que impide la precipitación del oro y la plata; favorablemente esta reacción no es veloz y puede controlarse con el pH de la solución.

La adición de sales de plomo en la precipitación forma un par galvánico Pb/Zn que acelera la precipitación y eleva la eficiencia del proceso.

Fundición y refinación

El proceso Merrill-Crowe es quizás la práctica más común en la Metalurgia Extractiva del Oro y Plata y por consiguiente, también el tratamiento de los precipitados provenientes de estas plantas. Los principales objetivos de la fundición de estos precipitados es poder obtener lingotes de Doré mediante el control adecuado de varios parámetros con el fin de lograr altos contenidos de Oro y Plata en las barras y mínimas cantidades de valiosos en las escorias formadas.

En esta etapa, El precipitado de Oro y Plata se envía a las retortas donde se extrae el Mercurio, luego se mezcla con fundentes y se funde para separar el Oro y la Plata de los otros metales base. El Doré de Oro y Plata así obtenido es vertido en barras y empacado para su embarque.

En la Refinería, el proceso comienza con la colección del precipitado proveniente de la planta de Procesos y el cual es retenido en tres Filtros Prensa. La solución filtrada, a la que se denomina Solución Barren y que contiene menos de 0.02 ppm de Au y Ag, se receptiona en un tanque para su reactivación y luego se bombea para su recirculación. El sólido retenido se colecta a una frecuencia determinada, dependiendo de la cantidad precipitada. Este precipitado tiene una humedad de 35% y un contenido promedio de 25% Au, 57% Ag y 10% Hg.

Luego, el precipitado se traslada a Hornos de Retortas. Con la finalidad de secar el precipitado colectado y recuperar todo el Mercurio que se encuentra en él, por ello se trabaja con rampas de temperatura hasta alcanzar un máximo de 550°C. El Mercurio removido es colectado por un sistema de condensadores enfriados por agua y se almacena en un colector el cual se descarga al final del ciclo a contenedores especiales de Hg (flasks) para su almacenamiento seguro.

A fin de remover eventuales remanentes de mercurio gaseoso que puedan ir al medio ambiente, el flujo de vacío pasa a través de un post-enfriador enfriado por agua, ubicada inmediatamente después del colector. Luego, este flujo pasa a través de columnas de carbón activado y un separador de agua antes de ir a la bomba de vacío y recién es descargado a la atmósfera. La saturación de los carbones se controla mediante monitoreos constantes. La recuperación de Mercurio está en valores por encima del 99%.

El precipitado seco y frío se mezcla con los fundentes necesarios y se carga a los Hornos de Inducción. Se requiere cerca de 2 horas para que la carga se funda completamente y llegue a una temperatura de 1300° C (aprox.) con el fin de realizar las escorificaciones y la colada final para obtener las barras Doré. Se utiliza el sistema de colada en cascada para la obtención de las barras. Las barras de Doré obtenidas son limpiadas, enumeradas y guardadas en la bóveda hasta el momento de su despacho.

Tratamiento de efluentes cianurados*

La técnica más común consiste en la oxidación de los CN^- a Na_2CO_3 y N_2 mediante Cl_2 (o hipocloritos) en medio alcalino (con NaOH o $\text{Ca}(\text{OH})_2$).



La reacción se produce en dos etapas:

En la primera, el CN^- es oxidado a cianato, el cual es menos tóxico. La reacción se completa en pocos minutos (30') y depende del pH, que debe ser superior a 8,5. A pH 8,5 se corre el riesgo de que se forme CNCl (gas) que es venenoso.

En esta etapa se requieren 2,7 kg de Cl_2 y 3,1 kg de NaOH por cada kg de CN^- . La segunda etapa completa la reacción del CN^- y puede demorar 1 a 24 hs. requiriendo un consumo teórico de reactivos de 6,8 kg de Cl_2 y 7,3 kg de NaOH por kg de CN^- . En la práctica se consume cerca de 8 kg de Cl_2 por kg de CN^- .

La reacción puede llevarse a cabo en forma continua o discontinua (batch). Por lo general se usan tanques múltiples para tratamiento discontinuo. Este tiene la ventaja de permitir controlar los efluentes de planta para asegurar un tratamiento

satisfactorio antes de la descarga, sin necesidad de contar con equipos de control automático sofisticados requeridos por una operación segura en las instalaciones continuas. Debido a que el proceso es llevado a cabo en medio alcalino, la mayor parte de los metales pesados que acompañan al CN^- , precipitarán, y sus barros deben ser separados por sedimentación y dispuestos en playas de secado.

Es importante un manejo cuidadoso de la operación ya que el Cl_2 gas, es relativamente peligroso. Es también de importancia crítica que se mantenga en la solución una adecuada alcalinidad para prevenir la formación de CNCl (cloruro de cianógeno), que como ya se dijo, es venenoso.

La misma reacción se cumple usando HIPOCLORITO en vez de Cl_2 . Esta operación es relativamente simple porque se puede agregar el hipoclorito directamente al agua de lavado, a menudo sin que requiera álcali adicional. El uso de hipoclorito se recomienda en las pequeñas fábricas de afinado de metales. Con cualquiera de las sustancias empleadas, se recomienda una buena agitación para asegurar mezclado apropiado y una reacción completa.

El ozono también puede ser usado para oxidar CN^- a $(\text{CNO})^-$. Los estudios económicos indican que esta técnica es más cara que la cloración, pero cambios futuros en el costo de equipos y energía para producir ozono puede alterar esta situación.

En pocos casos, el CN^- es removido de las aguas de desecho por acidificación y, separación del gas de cianuro volátil. Esta técnica debe realizarse con la mayor precaución ya que el HCN producido es extremadamente tóxico. La técnica requiere dilución con grandes volúmenes de aire, o absorción en solución caústica.

(*) La oxidación química es efectiva en algunas aguas residuales. Los residuos de cianuros se destruyen generalmente por cloración en condiciones alcalinas. Como se muestra en las ecuaciones 1 y 2, la reacción ocurre en dos etapas:



Disposición de los relaves cianurados

Ningún programa sistemático para el manejo de relaves llegará lejos a menos que sus objetivos sean claramente expresados. Para este fin, primero es necesario definir la secuencia de las fases de tiempo que se aplicarán durante la vida de la instalación:

Construcción: El desarrollo de un depósito de relave implica por lo general, una importante etapa de construcción. Aunque estas actividades pueden continuar durante la vida de la instalación, la fase de «construcción» se refiere aquí a las actividades iniciales anteriores al arranque del tratamiento. Los impactos ambientales durante este tiempo pueden incluir calidad del aire (polvo) y calidad del agua (derrames de relaves), pero éstos son de una naturaleza común a todos los demás aspectos del desarrollo inicial del proceso. Ellos pueden ser tratados mediante medidas de rutina y no serán consideradas en este documento.

Operación: El período de operación comienza y termina con la descarga de los relaves en las instalaciones. Esta duración es usualmente determinada por el

tiempo de reprocesamiento, que a su vez es gobernada por factores económicos, precios de los metales, y reservas del relave a tratar.

El planeamiento operacional para los relaves cianurados debe considerar como volumen mínimo, la cantidad total de relaves obtenibles con las reservas al momento de la iniciación del proyecto. Es deseable, en lo posible, incorporar una provisión para contingencias causadas por extensión de las reservas del relave a tratar.

Cierre: El período de cierre comienza al término de las operaciones de reprocesamiento y de la descarga de relaves cianurados. Durante este tiempo se construyen las instalaciones adicionales que puedan ser requeridas para alcanzar la estabilidad física o química a largo plazo (por ejemplo, zanjas y conductos permanentes de derivación del agua); y se inicia la rehabilitación (por ejemplo, colocando tierra de cultivo y sembrando). El período de cierre requiere el monitoreo de estos parámetros adicionales por el período de tiempo necesario para asegurar su adecuado funcionamiento y para realizar cualquier modificación necesaria.

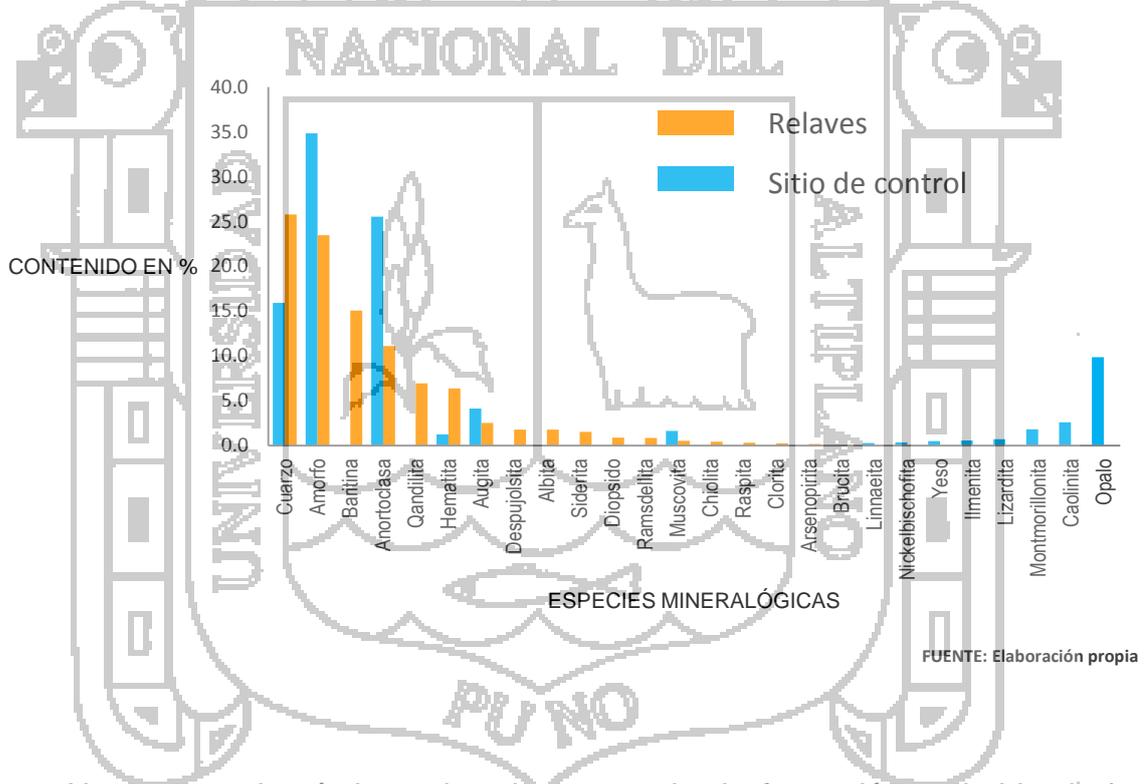
Las medidas de cierre deberán ser tales que su implementación sea también factible en la eventualidad del cese prematuro de las operaciones, debiendo incluirse también, en el planeamiento de cierre, las condiciones de contingencia para la suspensión temporal de las operaciones.

Post-cierre: El post-cierre o abandono comienza la continuación de la exitosa terminación de las medidas de cierre y se extiende tanto como se requiera para que la estabilidad física y química del depósito de relaves quede asegurada.

CONCLUSIONES

- De acuerdo con la determinación de las especies mineralógicas en las muestras de los relaves, podemos afirmar que los relaves tienen una naturaleza distinta al de la zona donde se encuentran localizados. Además, estos presentan contenidos y distribución de especies mineralógicas muy distintas.

Gráfico N° 09: Contenido y distribución de las especies mineralógicas de los relaves y del sitio de control.

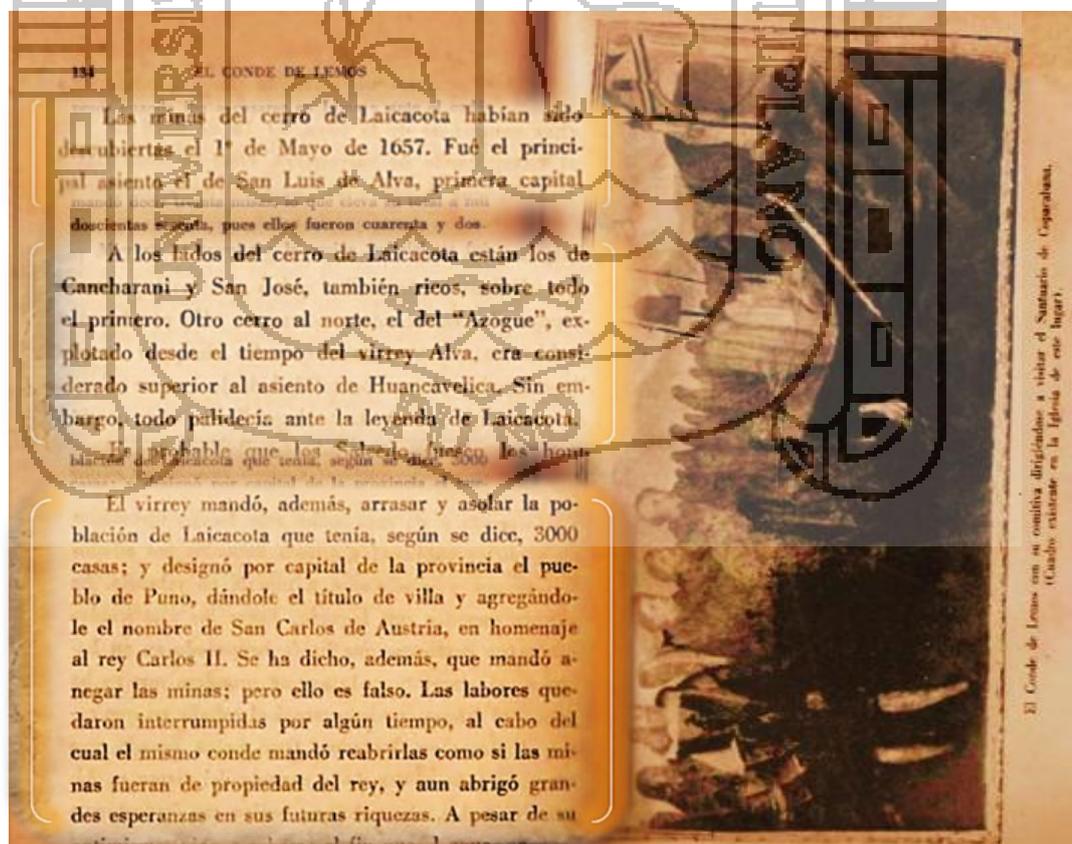


Nota: no se logró determinar la secuencia de formación probable de los minerales contenidos en los relaves, debido a que en las muestras, muchos cristales se encuentran aislados, y no en contacto. Además, los granos contenidos han sufrido alteración supérgena y oxidación fuerte.

2. De acuerdo con los indicios hallados en los textos históricos, éstos confirman, que en la zona de estudio, sí se realizaron actividades minero-metalúrgicas desde el tiempo del virrey Luis Enríquez de Guzmán, Conde de Alba de Aliste; quien gobernó el periodo comprendido entre 1655-1661. “...A los lados del cerro Laicacota están los de Cancharani y San José, también ricos, sobre todo el primero. Otro cerro al norte, el del “Azogue”, explotado desde el tiempo del virrey Alba, era considerado superior al asiento de Huancavelica. Sin embargo, todo palidecía ante la leyenda de Laicacota...” (Basadre 1945: 104)

Además, estos textos hacen referencia al “Azogue” (nombre antiguo del Mercurio), utilizado ampliamente para la extracción del Oro y la Plata en España y en América del sur durante la colonia.

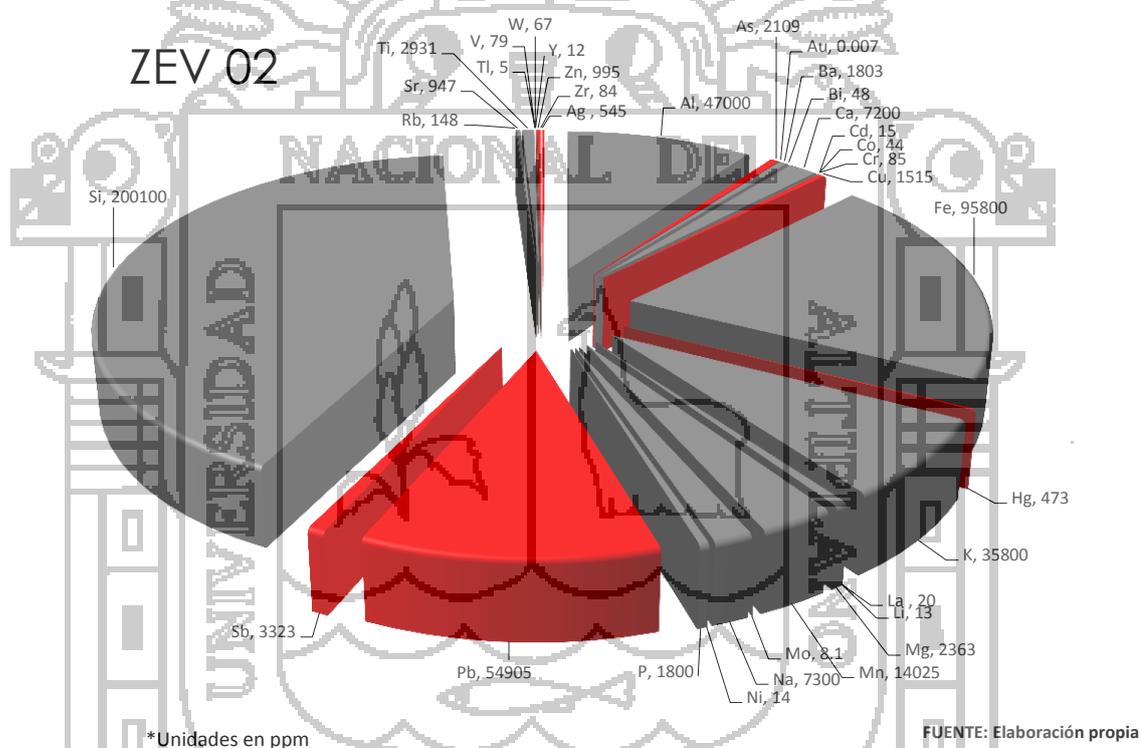
Imagen Nº 36: Indicios y componentes hallados en los textos históricos.



FUENTE: El Conde de Lemos y su tiempo. JORGE BASADRE

3. De acuerdo con los resultados de los análisis químicos, los relaves presentan altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos como el Arsénico, el Mercurio, el Plomo y el Antimonio, con contenidos de hasta 7207_{ppm}, 492_{ppm}, 54905_{ppm} y 3323_{ppm}, respectivamente, los mismos que estarían influenciando negativamente sobre los componentes ambientales de la zona de estudio.

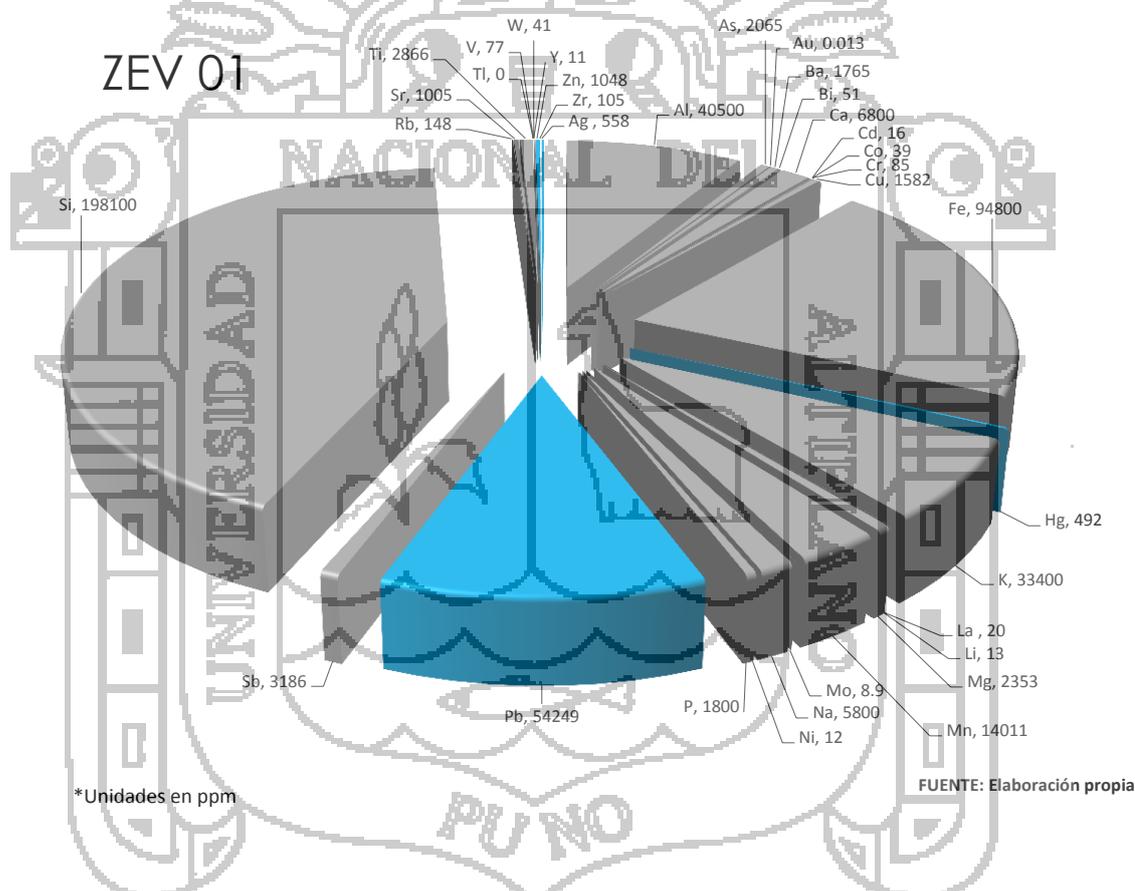
Gráfico N° 10: Valores máximos de elementos potencialmente tóxicos en los relaves [muestra zev 02].



Si consideramos la topografía del lugar donde fueron localizados los relaves y la geoquímica del agua, los elementos potencialmente tóxicos contenidos en los relaves coloniales estarían siendo vertidos a la microcuenca del río San Miguel por efecto de la erosión pluvial, y a través de éste, estarían siendo transportados hasta el lago Titicaca por efecto de la erosión fluvial.

4. Los relaves presentan, relativamente, altas concentraciones de elementos metálicos de interés económico, de las que resaltan la Plata, el Mercurio, el Plomo y el Zinc, con valores que alcanzan los 558_{ppm}, 492_{ppm}, 54905_{ppm} y 10320_{ppm}, respectivamente, los mismos que pueden hacer posible su reprocesamiento y disposición final mediante la utilización de técnicas metalúrgicas eficientes y responsables como las que se propone.

Gráfico N° 11: Elementos metálicos de interés económico en los relaves [muestra zev 01].



Factores como: la naturaleza de los relaves, la alta oxidación y el grado de liberación que presentan, hacen que los relaves no requieran preparación previa ante un posible tratamiento, reduciendo así los costos operativos; sobre todo si se aplican agentes lixiviantes para su tratamiento.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio geoambiental de la cuenca del río llave con el fin de evaluar su geodinámica (susceptibilidad a los peligros y zonas críticas), sus aspectos geoambientales (medio físico), las actividades antrópicas y los recursos de la cuenca (potencial de desarrollo económico).
- Realizar la caracterización adecuada del sitio, considerando la variabilidad espacial y temporal de los flujos y las concentraciones de especies y cargas de metales en la cuenca, con el fin obtener datos y rangos suficientes para la construcción de un modelo adecuado.
- Realizar el modelamiento del transporte y destino de los elementos potencialmente tóxicos en la cuenca, con el fin de evaluar los niveles de contaminación.
- Buscar alternativas de remediación para los suelos influenciados, debido a que los elementos contaminantes superan los niveles de concentración establecidas en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

Gráfico N° 12: Estándares de Calidad Ambiental – Suelo.



N°	Parámetros	Usos del Suelo			Método de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial	Suelo Comercial	
II Inorgánicos					
16	Arsénico total (mg/kg)	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
17	Bario total (mg/kg)	750	500	2000	EPA 3050-B EPA 3051
18	Cadmio total (mg/kg)	1.4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051
19	Cromo IV (mg/kg)	0.4	0.4	1.4	DIN19734
20	Mercurio total (mg/kg)	6.6	6.6	24	EPA 7471-B
21	Plomo total (mg/kg)	70	140	1200	EPA 3050-B EPA 3051

Fuente: El Peruano – Normas Legales

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ADA ALEGRE CONSULTORES

2011 "Artículo 2.- Definición de los Pasivos Ambientales". *LEY N° 28271 - Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (PERÚ)*. Norma actualizada al 14 de marzo del 2011. [Versión Electrónica]. Recuperado el 08 de setiembre del 2013, de http://www.adaalegreconsultores.com.pe/normas/11/2_4/3.pdf

AMERICAN PSYCHOLOGICAL ASSOCIATION (APA)

2010 *Manual de publicaciones de la American Psychological Association* (3era ed.) (Trad. M. Guerra Frías). México: Editorial El Manual Moderno.

BARRA, Julián

s/a "Origen de Puno". *Nunca hubo fundación Española*. [weblog]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://www.punonet.com/origendepuno/>

BASADRE, Jorge

1945 *El Conde de Lemos y su tiempo. Bosquejo de una evocación y una interpretación del Perú a fines del siglo XVI*. Scribd.com. [En línea]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://es.scribd.com/doc/73501205/Jorge-Basadre-EL-CONDE-DE-LEMOS-Y-SU-TIEMPO>

CARNEIRO, Miguel y otros

2009 *Guía PUCP para el registro y el citado de fuentes documentales*. Material de enseñanza. Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de http://puntoedu.pucp.edu.pe/images/documentos/institucionales/guia_pucp_para_el_registro_y_citado_de_fuentes_documentales_2009.pdf

CHAMBILLA

2011 *Época virreinal de Puno*. Publicado en Wikipedia. Recuperado el 10 de setiembre del 2013, de http://es.wikipedia.org/wiki/Usuario:Chambilla88888/Época_Virreinal_de_Puno

CONDE DE LEMOS

1668 *Cuaderno secular N° 3*. Informe del Virrey Conde de Lemos al Rey Carlos V de España. Imágenes del manuscrito original. [En línea]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://www.punonet.com/origendepuno/manuscrito.htm>

DUFFUS. John

2001 "Heavy Metals"- A Meaningless Term. *Chemistry International*. 23 (6). [En línea]. Recuperado el 08 de setiembre del 2013, de <http://old.iupac.org/publications/ci/2001/november/heavymetals.html>

- ESCALANTE, Manuel
2004 *Métodos geoquímicos de exploración minera*. Instituto Politécnico Nacional (IPN)-Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA). México, D.F. [En línea]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm#_Toc81292317
- GALLEGOS, Carmen
2009 "Hallan trazas de Mercurio en peces del Lago Titicaca". *La minería amenaza nuestra maravilla natural*. El COMERCIO - Dominical. Lima, 17 de mayo, P. a 30.
- HERNANDEZ, Roberto, Carlos FERNÁNDEZ y Pilar Baptista.
1997 *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill, México 1997. [E-book]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://ebookbrowse.net/hernandez-sampieri-metodologia-de-la-investigacion-pdf-d48104723>
- HiQ® Productos, equipamientos y servicios de gases especiales
2003 *Tablas de conversión*. HiQ® de AGA Chile. [En línea]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de http://hiq.aga.cl/International/Web/LG/CL/likeIgsppcl.nsf/DocByAlias/nav_conv_table
- HOOKE, Yuri
2008 *The Mistery of Titicaca Underwater*. En blogspot.com. [weblog]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://titicacaunderwater.blogspot.com/>
- HOOKE, Yuri
2003 "El Titicaca y la magia de los Andes del sur". *El misterio del Titicaca subacuático*. En Wust, W. (Ed.). Ediciones PEISA S.A.C. Lima, Perú. 152 p.
- HURTADO, Mario
2007 "Fundación y ubicación del antiguo Puno". *Los Salcedo, San Luis de Alba y Puno*.
- HURTADO, Mario.
2010 Puesta en valor del antiguo Puno "San Luis de Alba". Ponencia presentada en el Foro: Encuentro con la Historia de Puno. Semana de Puno, Nov. 2008. La Casa del Corregidor. [En línea]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de http://casadelcorregidor.pe/colaboraciones/_biblio_Hurtado.php
- INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ (IIMP) f
2000 "Hombres Ilustres de la minería Colonial". *El Hombre y los metales del Perú*. Fascículo VI (Siglos XVI y XVII). Lima. [Versión electrónica]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://www.iimp.org.pe/iimp/docs/fasciculo6.pdf>
- INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ (IIMP) e
2000 "Minería colonial del siglo XVII". *El Hombre y los metales del Perú*. Fascículo V. Lima. [Versión electrónica]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://www.iimp.org.pe/iimp/docs/fasciculo5.pdf>

- INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ (IIMP) d
2000 "Minería colonial del siglo XVI 2ª Parte". *El Hombre y los metales del Perú*. Fascículo IV. Lima. [Versión electrónica]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://www.iimp.org.pe/iimp/docs/fasciculo4.pdf>
- INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ (IIMP) c
2000 "Minería colonial del siglo XVI 1ª Parte". *El Hombre y los metales del Perú*. Fascículo III. Lima. [Versión electrónica]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://www.iimp.org.pe/iimp/docs/fasciculo3.pdf>
- INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ (IIMP) b
2000 "Minerales y Metales del Perú incaico". *El Hombre y los metales del Perú*. Fascículo II. Lima. [Versión electrónica]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://www.iimp.org.pe/iimp/docs/fasciculo2.pdf>
- INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ (IIMP) a
2000 "Minerales y Metales del Perú antiguo". *El Hombre y los metales del Perú*. Fascículo I. Lima. [Versión electrónica]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://www.iimp.org.pe/iimp/docs/fasciculo1.pdf>
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO)
2000 *General requirements for the competence of reference material producer*. Guide 34:2000. Segunda Edición.
- LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA
2013 *Determinación de elementos mayores en muestras de rocas y minerales por ICP-OES*. Método de Ensayo. [Documento del SGC ISO9001:2008]. LABORATORIOS | INGEMMET. Lima, Perú 2013.
- LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA
2013 *Determinación de elementos menores en muestras de rocas y minerales por ICP-OES*. Método de Ensayo. [Documento del SGC ISO9001:2008]. LABORATORIOS | INGEMMET. Lima, Perú 2013.
- LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA
2013 *Determinación polimetálicas por espectrometría de absorción atómica*. Método de Ensayo. [Documento del SGC ISO9001:2008]. LABORATORIOS | INGEMMET. Lima, Perú 2013.
- LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA
2013 *Determinación de Oro por ensayo al fuego y espectrometría de absorción atómica*. Método de Ensayo. [Documento del SGC ISO9001:2008]. LABORATORIOS | INGEMMET. Lima, Perú 2013.

LABORATORIO DE PETROMINERALOGÍA

2013 *Estudio minerográfico*
INFORME TÉCNICO [23-2013].
LABORATORIOS|INGEMMET. Lima, Perú 2013.

LENNTECH

1998-2013 “Elementos Químicos: Propiedades químicas, efectos sobre la salud y efectos sobre el medio ambiente”. *Tabla Periódica*. Lennetec.es. [En línea]. Recuperado el 07 de setiembre del 2013, de <http://www.lennetec.es/periodica/tabla-periodica.htm>

LOUBENS, Gerard

1989 “Observations sur les poissons de la partie bolivienne du lac Titicaca. IV. *Orestias spp., Salmo gairdneri* et problèmes d'aménagement. *Rev. Hydrobiol. trop.*, 22 (2): 157

MASON B.

1992 *Preparation of soil sampling protocols: sampling techniques and strategies*. US EPA. EPA/600/R-92/128. 169 pp.

OJEDA, María y Luis REYES

2010 “Caracterización mineralógica en la industria minera”. Ponencia presentada en la Convención Minera del Bicentenario – Ixtapa 2010. México. [Versión Electrónica] Recuperado el 08 de setiembre del 2013, de [http://www.metso.com/miningandconstruction/mct_service.nsf/WebWID/WTB-120105-22576-05F95/\\$File/001.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/mct_service.nsf/WebWID/WTB-120105-22576-05F95/$File/001.pdf)

PRADO, Javier

2013 “Minería & Mercurio en Peces_Titicaca”. En blogspot.com. [weblog]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://desmitificandolamineriaenelperu.blogspot.com/2013/05/mineria-mercurio-en-pecestiticaca.html>

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)

2010 “Cómo elaborar citas y referencias bibliográficas estilo APA”. Universidad Nacional Autónoma de México. [Versión electrónica]. Recuperado el 5 de setiembre del 2013, de <http://www.dgbiblio.unam.mx/index.php/ayuda/170-como-elaborar-citas-y-referencias-bibliograficas-estilo-apa>

US EPA.

1991 *Site characterization for subsurface remediation*. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development. EPA/625/4-91/026. 259 PP.

VACA, Mery

2011 “El lago Titicaca, una maravilla contaminada”. BBC MUNDO. Bolivia, 12 de junio del 2011. [En línea]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2011/07/110715_bolivia_contaminacion_titicaca_fp.shtml

Valencia, I.E. y B. A. Hernández.

2002 *Muestreo de suelos, preparación de muestras y guía de campo*. UNAM. 131 pp.

VOLKE, Tania, Juan VELASCO y David DE LA ROSA

2005

Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación. Instituto Nacional de Ecología (INE)-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F. [Versión electrónica]. Recuperado el 05 de setiembre del 2013, de <http://es.scribd.com/doc/88251124/8/Elementos-potencialmente-toxicos>





ANEXOS

1. INFORME DE ENSAYO - ROCA TOTAL - DIG. MULTIÁCIDA.

	FORMATO
	DIRECCIÓN DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUÍMICA INFORME DE ENSAYOS - ROCA TOTAL - DIG. MULTIÁCIDA

INFORME DE ENSAYO:	N° 030-2013-INGEMMET/DL/LQ	
REFERENCIA:	SOLICITUD N° 006-2012-INGEMMET-DL-LQ	
PROYECTO:	Investigación en el Laboratorio de Química Analítica	
RESPONSABLE:	Hernán Alegre	
CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS:	17 Muestras	
PROCEDENCIA:	PUNO	FECHA: 14/06/2013

N°	CÓDIGO	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe %
1	zev-01	558	4.05	2065	1765	51	0.68	16	39	85	1582	9.48
2	zev-02	545	4.70	2109	1803	48	0.72	15	44	85	1515	9.58
3	zev-03	348	6.58	5363	4583	37	1.90	24	56	97	1739	11.26
4	zev-04	272	7.27	4628	3956	37	2.14	20	48	78	1532	8.62
5	zev-05	398	4.05	3052	2609	11	1.76	68	67	75	608	5.82
6	zev-06	384	3.98	2498	2135	15	1.74	67	57	74	606	5.77
7	zev-07	383	3.97	3019	2580	11	1.66	64	75	73	597	5.63
8	zev-08	271	7.24	4668	3990	37	1.91	19	51	81	1441	8.52
9	zev-09	445	5.09	4223	3609	16	1.80	59	40	76	720	6.05
10	zev-10	13	7.12	3668	3135	<10	1.13	<1	23	63	102	1.48
11	zev-11	338	6.47	7849	6709	40	1.88	23	54	101	1809	10.83
12	zev-12	426	4.75	7207	6160	19	1.66	61	52	82	763	6.02
13	zev-13	437	4.67	5232	4472	16	1.64	60	57	83	771	6.00
14	zev-14	7.7	7.90	6640	5675	<10	1.68	<1	53	55	59	3.43
15	zev-15	8.9	7.21	2237	1912	<10	1.26	<1	26	76	87	3.85
16	zev-16	1.0	8.20	1818	1554	<10	6.83	<1	38	107	29	4.67
17	zev-17	<0.5	6.23	634	542	<10	0.47	<1	111	74	19	3.79

L.D.M.:	0.5	0.01	5	5	10	0.01	1	1	1	2	0.01
---------	-----	------	---	---	----	------	---	---	---	---	------

MÉTODO: DL-ME-005-ANÁLISIS DE ELEMENTOS MAYORES EN MUESTRAS DE ROCAS Y MINERALES POR ICP-OES

	FORMATO
	DIRECCIÓN DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUÍMICA INFORME DE ENSAYOS - ROCA TOTAL - DIG. MULTIÁCIDA

INFORME DE ENSAYO:	N° 030-2013-INGEMMET/DL/LQ	
REFERENCIA:	SOLICITUD N° 006-2012-INGEMMET-DL-LQ	
PROYECTO:	Investigación en el Laboratorio de Química Analítica	
RESPONSABLE:	Hernán Alegre	
CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS:	17 Muestras	
PROCEDENCIA:	PUNO	FECHA: 14/06/2013

N°	CÓDIGO	K %	La ppm	Li ppm	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Na %	Ni ppm	P %	Pb ppm	Sb ppm
1	zev-01	3.34	20	13	0.24	14011	8.9	0.58	12	0.18	54249	3186
2	zev-02	3.58	20	13	0.24	14025	8.1	0.73	14	0.18	54905	3323
3	zev-03	2.46	25	11	0.30	17495	2.8	1.28	12	0.18	9752	1119
4	zev-04	2.24	29	14	0.36	11838	2.4	1.39	15	0.16	7849	586
5	zev-05	1.02	14	22	0.74	32739	<2	0.77	21	0.12	6653	568
6	zev-06	0.97	14	23	0.76	34330	2.2	0.76	17	0.10	6742	687
7	zev-07	1.01	14	22	0.75	32268	<2	0.77	16	0.11	6574	611
8	zev-08	2.27	29	14	0.36	11503	<2	1.42	13	0.17	7845	642
9	zev-09	1.27	17	23	0.83	24329	<2	1.11	17	0.17	6824	734
10	zev-10	2.16	32	24	0.53	14	8.6	1.38	19	<0.01	680	15
11	zev-11	2.51	26	12	0.30	16412	5.8	1.27	15	0.17	10470	965
12	zev-12	1.17	17	26	0.76	25637	2.6	0.98	18	0.15	7216	914
13	zev-13	1.11	17	24	0.77	25461	3.0	0.98	18	0.13	7611	900
14	zev-14	3.05	28	19	0.68	1327	2.4	2.38	14	0.08	339	25
15	zev-15	1.98	36	26	0.48	1226	4.2	1.49	21	0.13	313	7.2
16	zev-16	2.53	52	21	0.94	993	2.7	2.04	42	0.13	52	3.3
17	zev-17	1.88	35	56	0.62	305	<2	0.68	24	0.05	16	8.2

L.D.M.:	0.01	2	2	0.01	2	2	0.01	5	0.01	5	2
---------	------	---	---	------	---	---	------	---	------	---	---

MÉTODO: DL-ME-003 ANÁLISIS DE ELEMENTOS MENORES EN MUESTRAS DE ROCAS Y MINERALES POR ICP-OES



	FORMATO
	DIRECCIÓN DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUÍMICA INFORME DE ENSAYOS - ROCA TOTAL - DIG. MULTIÁCIDA

INFORME DE ENSAYO:	N° 030-2013-INGEMMET/DL/LQ		
REFERENCIA:	SOLICITUD N° 006-2012-INGEMMET-DL-LQ		
PROYECTO:	Investigación en el Laboratorio de Química Analítica		
RESPONSABLE:	Hernán Alegre		
CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS:	17 Muestras		
PROCEDENCIA:	PUNO	FECHA:	14/06/2013

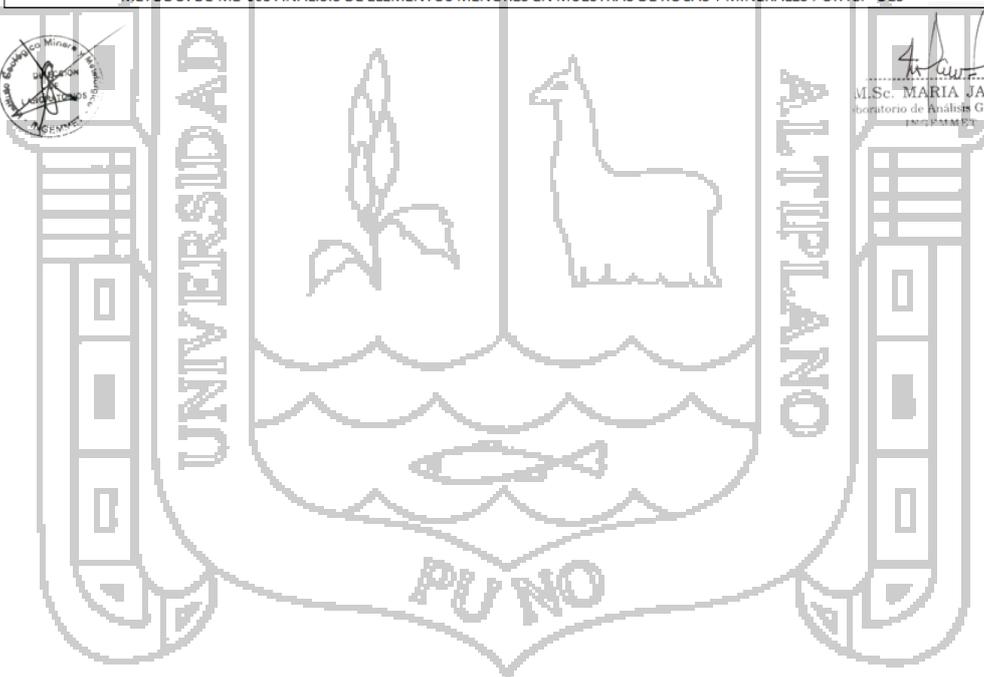
N°	CÓDIGO	Si %	Rb ppm	Sr ppm	Ti %	Tl ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm
1	zev-01	19.81	148	1005	0.29	<5	77	41	11	1048	105
2	zev-02	20.01	148	947	0.29	<5	79	67	12	995	84
3	zev-03	20.36	111	978	0.48	<5	140	37	15	1416	142
4	zev-04	22.13	106	747	0.51	<5	138	29	16	1291	158
5	zev-05	26.40	39	620	0.26	<5	108	248	13	14541	72
6	zev-06	26.30	39	624	0.24	<5	104	199	13	145	77
7	zev-07	26.84	38	601	0.24	<5	105	283	13	13430	81
8	zev-08	22.35	103	813	0.51	<5	144	44	17	1288	182
9	zev-09	25.27	48	742	0.32	<5	126	105	14	9809	96
10	zev-10	26.57	137	314	0.41	<5	103	16	23	186	194
11	zev-11	20.33	118	862	0.47	<5	136	27	16	1358	149
12	zev-12	25.11	50	718	0.30	<5	125	161	14	9969	69
13	zev-13	24.29	44	798	0.30	<5	128	182	14	10320	93
14	zev-14	28.68	137	410	0.55	<5	113	197	17	168	186
15	zev-15	29.06	104	342	0.49	<5	117	20	19	106	216
16	zev-16	28.47	116	514	0.64	<5	150	57	20	98	271
17	zev-17	34.48	112	116	0.37	<5	97	534	13	56	107

L.D.M.:	0.01	1	5	0.01	5	10	5	5	1	5
---------	------	---	---	------	---	----	---	---	---	---

MÉTODO: DL-ME-003 ANÁLISIS DE ELEMENTOS MENORES EN MUESTRAS DE ROCAS Y MINERALES POR ICP-OES



Maria Jara F.
 M.Sc. MARIA JARA F.
 Laboratorio de Análisis Geoquímico
 INGEMMET



2. INFORME DE ENSAYO - ANÁLISIS DE MERCURIO.

	FORMATO	Código : DL-F-239
	DIRECCIÓN DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUÍMICA	Versión : 0.0
INFORME DE ENSAYO - ANÁLISIS DE MERCURIO		Aprobado por : DL
		Fecha aprob. : 27 MAYO 2013

INFORME DE ENSAYO:	N° 030-2013-INGEMMET/DL/LQ	
REFERENCIA:	SOLICITUD N° 006-2012-INGEMMET-DL-LQ	
PROYECTO:	Investigación en el Laboratorio de Química Analítica	
RESPONSABLE:	Hernán Alegre	
CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS:	17 Muestras	
PROCEDENCIA:	PUNO	FECHA: 14/06/2013

N°	CÓDIGO	Hg µg/g
1	zev-01	492
2	zev-02	473
3	zev-03	418
4	zev-04	307
5	zev-05	247
6	zev-06	251
7	zev-07	225
8	zev-08	291
9	zev-09	179
10	zev-10	7.3
11	zev-11	477
12	zev-12	235
13	zev-13	243
14	zev-14	0.96
15	zev-15	1.35
16	zev-16	0.047
17	zev-17	0.068
L.D.M.		0.020

MÉTODO: DL-ME-00X-ANÁLISIS DE MERCURIO. DETERMINACIÓN ANALÍTICA POR FLAMA (CONCENTRACIONES ALTAS)
 MÉTODO: DL-ME-00X-ANÁLISIS DE MERCURIO. DETERMINACIÓN ANALÍTICA POR VAPOR FRÍO (CONCENTRACIONES BAJAS)

M.Sc. MARIA JARA
 Laboratorio de Análisis Químicos
 INGEMMET

3. INFORME DE ENSAYO - ANÁLISIS DE ORO.

	FORMATO	Código : DL-F-239
	DIRECCIÓN DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUÍMICA	Versión : 0.0
INFORME DE ENSAYO - ANÁLISIS DE ORO		Aprobado por : DL
		Fecha aprob. : 20 SET 2012

INFORME DE ENSAYO:	N° 030-2013-INGEMMET/DL/LQ	
REFERENCIA:	SOLICITUD N° 006-2012-INGEMMET-DL-LQ	
PROYECTO:	Investigación en el Laboratorio de Química Analítica	
RESPONSABLE:	Hernán Alegre	
CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS:	17 Muestras	
PROCEDENCIA:	PUNO	FECHA: 14/06/2013

N°	CODIGO	Au µg/Tm
1	zev-01	0.013
2	zev-02	0.007
3	zev-03	<0.005
4	zev-04	<0.005
5	zev-05	0.131
6	zev-06	0.224
7	zev-07	0.207
8	zev-08	0.014
9	zev-09	0.182
10	zev-10	<0.005
11	zev-11	0.006
12	zev-12	0.253
13	zev-13	0.345
14	zev-14	<0.005
15	zev-15	<0.005
16	zev-16	0.007
17	zev-17	0.060
L.D.M.		0.005

MÉTODO: DL-ME-007-ANÁLISIS DE ORO POR ENSAYO AL FUEGO Y DETERMINACIÓN ANALÍTICA POR AAS-FLAMA



M.Sc. MARIA LARA F.
Laboratorio de Análisis Químico
INGEMMET