



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Maestría en Minas, Mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

Caracterización y alternativas de tratamiento de los concentrados gravimétricos en operaciones aluviales en la confluencia de los ríos Conguime y Nangaritza

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Magister en
Minas mención en Mineralurgia y
Metalurgia Extractiva

AUTOR:

Ing. Francisco Hernando Lara Monge

DIRECTOR:

Ing. Jimmy Stalin Paladines, PhD

Loja – Ecuador

2023

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 28 de abril de 2023

Ing. Jimmy Stalin Paladines Ph.D.
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización y alternativas de tratamiento de los concentrados gravimétricos en operaciones aluviales en la confluencia de los ríos Conguime y Nangaritza**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de autoría del estudiante **Francisco Hernando Lara Monge**, con **cedula de identidad Nro. 0954046984** , una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Jimmy Stalin Paladines Ph.D.
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Francisco Hernando Lara Monge**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma



Cédula de identidad: 0954946984

Fecha: 25 de julio de 2023

Correo electrónico: francisco.lara@unl.edu.ec / flarmon@hotmail.com

Teléfono: 0998912385

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Francisco Hernando Lara Monge**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización y alternativas de tratamiento de los concentrados gravimétricos en operaciones aluviales en la confluencia de los ríos Conguime y Nangaritza**, como requisito para optar el título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticinco días del mes de julio de dos mil veintitrés.



Firma:

Autor: Francisco Hernando Lara Monge

Cédula: 0954946984

Dirección: Zoilo Rodríguez y Virgilio Abarca, El Sagrario, Loja

Correo electrónico: flarmon@hotmail.com

Teléfono: +593 998912385

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Jimmy Stalin Paladines Ph.D.

Dedicatoria

A Rosa Monge Guerra, In memoriam, mujer ejemplar, de carácter, por su cariño maternal y afecto, sus consejos; por esas largas e inolvidables charlas de enseñanza y sabiduría.

A mi amada esposa, Myriam, por su amor y comprensión, por su integridad y su apoyo incondicional.

A Julio y Abigail, mis queridos hijos, que me inspiran y motivan cada día a transitar esa sinuosa ruta llamada vida, siendo ellos una razón de lucha y superación personal.

A mi hermano Enrique por su respaldo, por motivarme a estudiar y aprender una profesión.

A Diego, Requiescat in Pace, por su amistad, la que seguramente retomaremos en la eternidad.

Francisco Lara Monge

Agradecimiento

Mi agradecimiento al Ing. Jimmy Stalin Paladines, profesor de la Universidad Nacional de Loja, director del presente trabajo de investigación, por su asistencia profesional, quien con su experiencia y conocimiento ha coadyuvado en la realización esta investigación.

Al laboratorio BIZALab S.A.C., de Lima-Perú, Laboratorio de Caracterización de Minerales, por las facilidades, y apoyo, brindadas para la realización de los correspondientes estudios, efectuados a la muestra de mineral del presente estudio, fundamentales en la elaboración esta Trabajo de Titulación.

Al laboratorio Albexus, laboratorio químico metalúrgico, de la ciudad de Piñas, por su ayuda en los ensayos de cabeza y prueba de cianuración.

Francisco Lara Monge

Índice de contenido

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización	iv
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenido.....	vii
Índice de tablas:.....	x
Índice de figuras:.....	xi
Índice de Anexos:.....	xii
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1 Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1 Minería Aluvial	7
4.1.1 Minería aluvial: conceptos generales y métodos de concentración de minerales aluviales.....	7
4.1.2 Caracterización mineralógica: técnicas de análisis de concentrados gravimétricos y su importancia en la recuperación de minerales.	7
4.1.3 Recuperación de oro: métodos de recuperación de oro libre y su relación con la composición mineralógica de los concentrados gravimétricos.....	8
4.1.4 Alternativas de tratamiento de los concentrados gravimétricos: técnicas de beneficio de minerales sin el uso de mercurio.....	9

4.1.5	Aprovechamiento de otros minerales: técnicas para la identificación y recuperación de otros minerales presentes en los concentrados gravimétricos.....	10
4.1.6	Técnicas de análisis utilizadas en la exploración de un depósito aluvial	11
4.1.7	Difractometría de Rayos X	11
4.1.8	Fluorescencia de Rayos X.....	11
4.1.9	ICP-MS.....	12
4.1.10	Espectrofotometría por Absorción Atómica.....	13
4.1.11	Gravedad Específica y Densidad Aparente	13
4.1.12	Características físicos y químicas de los concentrados gravimétricos.....	13
4.1.13	Gravedad específica.....	14
4.1.14	Distribución Granulométrica	15
4.1.15	Contenido de oro	15
4.1.16	Contenido de Mercurio.....	16
4.1.17	Características del depósito aluvial	17
4.1.18	Lixiviación Alcalina con Cianuro de Sodio	18
4.1.19	Mecanismos químicos de la cianuración	18
4.1.20	Elementos Metálicos.....	20
4.2	Recursos minerales en Ecuador.....	20
4.3	Explotación del oro en Ecuador	21
5.	Metodología.....	23
5.1	Diseño De Investigación.	23
5.2	Tipo De Investigación	23
5.3	Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos.....	23
5.3.1	Recopilación de la Información	24
5.3.2	Trabajo de Campo.....	24

5.3.3	Observación	24
5.3.4	Toma de muestras y selección.....	24
5.4	Localización	24
5.4.1	Trabajo de Campo.....	26
5.4.2	Observación	27
5.5	Toma de Muestras y Selección.....	27
5.6	Procedimiento de Muestreo	27
5.7	Procesamiento de las Muestras.....	28
5.7.1	Procesamiento de Datos	29
6.	Resultados.....	30
6.1	Gravedad Especifica.....	30
6.2	Análisis Granulométrico.....	30
6.3	Contenido de oro	31
6.4	Contenido de mercurio	32
6.5	Minerales	32
6.6	Lixiviación.....	32
6.7	Análisis ICP-MS.....	34
7.	Discusión.....	35
8.	Conclusiones.....	37
9.	Recomendaciones.....	38
10.	Bibliografía.....	39
11.	Anexos.....	43

Índice de tablas:

Tabla 1.34

Índice de figuras:

Figura 1. <i>Los “cuatro básicos” tipos de depósitos de placer</i>	20
Figura 2. <i>Ubicación de la confluencia de los ríos Conguime y Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe.</i>	25
Figura 3. <i>Ubicación de la concesión Aluví</i>	25
Figura 4. <i>Operación de minado en la concesión Aluvi</i>	26
Figura 5. <i>Trabajo de campo en la concesión Aluví</i>	27
Figura 6. 28	
Figura 7. <i>Análisis granulométrico con 08 mallas de distintas aberturas</i>	29
Figura 8. <i>Especificaciones de la Norma NM ISO 3310/1</i>	30
Figura 9. <i>Distribución Granulométrica</i>	31
Figura 10. <i>Análisis Químico Semicuantitativo</i>	32
Figura 11. <i>Datos de la prueba</i>	33
Figura 12. <i>Cinética de Lixiviación.</i>	33

Índice de Anexos:

Anexo 1. Reporte de laboratorio	43
Anexo 2. Tabla de propiedades químicas del Oro.....	44
Anexo 3. Reporte de laboratorio	45
Anexo 4. Reporte de laboratorio	46
Anexo 5. Reporte de laboratorio	53
Anexo 6. Reporte de laboratorio	55
Anexo 7. Certificación de traducción del resumen	56

1. Título

Caracterización y Tratamiento de los Concentrados Gravimétricos en Operaciones
Aluviales en la Confluencia de los ríos Conguime y Nangaritza

2. Resumen

Este trabajo de investigación tiene como objetivo la caracterización de los concentrados gravimétricos, después de haberse extraído el máximo de oro por métodos convencionales, obtenidos mediante el uso de equipos rudimentarios llamados “Zeta”, usados para concentrar partículas de oro libre por diferencia de densidades entre los materiales aluviales que se encuentran con él. La muestra representativa para este estudio fue tomada de la concesión Aluví, ubicada en la confluencia de los ríos Conguime y Nagaritza, en la provincia de Zamora. Asimismo, los objetivos, además de caracterizar los minerales contenidos en los concentrados procesados (agotados) y del oro, después de haberse completado el ciclo de procesamiento; la búsqueda de otros metales de interés en el material de estudio, como metales nobles y tierras raras considerando que se tratan de materiales de alta densidad, en general una caracterización del concentrado y sus contenidos. No se hallaron otros metales de interés. Además, se buscó hallar métodos adecuados para un mejor aprovechamiento del oro contenido en estos concentrados agotados, para lo cual se realizaron análisis de ICP-MS, fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, pruebas de lixiviación directa, con lecturas por absorción atómica de la solución, ensaye al fuego, análisis granulométrico, etc., a fin de determinar las características mineralógicas de la muestra, su comportamiento, y recuperar la mayor cantidad del oro contenido en el residuo final, de manera tal que los contenidos metálicos sean aprovechados al máximo, y que además proponga no solo el método más adecuado, sino que también se recomienden los equipos apropiados para un proceso eficiente, limpio y rápido. En los diversos análisis realizados se llegó a la conclusión que no existen metales o minerales de interés salvo el contenido de oro, y que el oro es libre, lo que permitió una máxima recuperación por lixiviación mediante agitación usando cianuro de sodio, con una cinética adecuada por lo que el oro de la muestra se lixivio casi por completo en 24 horas de agitación mediante la prueba en botella.

Palabras Clave: Oro libre, metales pesados, concentrados, concentración.

2.1 Abstract

The aim of this research work is to characterize the gravimetric concentrates obtained after having extracted the maximum amount of gold using conventional methods. These concentrates are obtained through the use of rudimentary equipment called "Zeta", which is used to concentrate free gold particles based on density difference between the alluvial materials found with it. The representative sample for this study was taken from the Aluvi concession located at the confluence of the Conguime and Nagaritza rivers in the Zamora province. In addition to characterizing the minerals contained in the processed (depleted) concentrates and the gold as well as looking for other metals of interest in the study material, such as rare earths and noble metals, given that these are high density materials, and in general, a characterization of the concentrate and its contents.

There were no other valuable metals discovered. Additionally, we looked for appropriate suitable methods for a better use the gold in these depleted concentrates, for which we performed ICP-MS analysis, X-ray fluorescence, X-ray diffraction, direct leaching tests, solution with atomic absorption readings, fire assay, granulometric study, etc. These studies were carried out in order to determine the mineralogical characteristics of the sample, its behavior, and to recover the maximum amount of gold in the final residue, in such a way that the metallic contents are exploited to the maximum, and also to propose not only the most adequate method but also to recommend the equipment for an efficient, clean and fast process.

According to the results of the various analyses it is concluded that the only metal or mineral of interest is gold, which was found to be free. This allowed for maximum recovery through agitation leaching using sodium cyanide, with sufficient kinetics to ensure that the gold in the sample was almost completely leached in 24 hours of agitation using the bottle test.

Keywords: Free gold, heavy metals, recovery, concentrates, concentration.

3. Introducción

El oro ha sido siempre un metal muy valorado por el hombre, primero por su belleza, características y rareza, y luego por el poder y la riqueza que representa su posesión. La obtención de oro aluvial se basa en la gran diferencia de densidades de las partículas de oro libre con respecto a los materiales que lo acompañan en los depósitos de gravas auríferas, por lo que se utiliza el método de gravimetría para su recuperación, según Feijoo y Acosta (2020) partículas con diámetro de 44 μm a 1 000 μm , o mayores a 50 μm de acuerdo a Armando Alvarez et al (2010), por tanto, a lo largo del tiempo se han desarrollado diversos equipos para la recuperación del oro aluvial, también conocido como oro gravimétrico.

La gravimetría es un método de concentración que se utiliza desde la antigüedad y se sigue aplicando en la actualidad en todas las operaciones del mundo donde se pueda extraer partículas de oro libre. Sin embargo, las operaciones de minería aluvial se realizan a menudo de manera rudimentaria, con equipos de baja eficiencia, lo que da lugar a una baja recuperación del oro contenido en los materiales aluviales. Por tanto, se plantea la necesidad de métodos más eficientes y menos contaminantes para la recuperación del oro total, como la lixiviación con una solución alcalina y la cianuración intensiva. Además, existen diversos equipos para la recuperación del oro aluvial, como los equipos "Zeta", pero son de muy baja eficiencia en la recuperación de oro libre, que funcionan con canalones con un ángulo de 11 a 30 grados.

Según Ángel Azañero Ortiz, la explotación del oro aluvial genera fuentes de trabajo y riqueza, pero los métodos utilizados en su beneficio suelen ser artesanales o con maquinaria pesada, con resultados pobres en recuperación (menor a 50%). Además, parte del oro ya trabajado se pierde en los relaves debido a deficiencias y desconocimiento de otros métodos. La actividad aurífera ha sido considerada como uno de los temas predominantes en el mundo, con importantes consecuencias sociales y ambientales. El daño ambiental es alto debido al uso de metales pesados en el proceso de refinamiento, lo que afecta a las personas que habitan cerca de zonas mineras, generando enfermedades relacionadas con la acumulación de dichos metales. Ecuador, al igual que muchos países de la región, tiene un gran potencial minero, pero los efectos sociales y ambientales de la actividad han generado la búsqueda de nuevas alternativas de refinación del oro, como la utilización de plantas nativas con resultados de recuperación superiores a las técnicas tradicionales de mercurio y cianuro (Osorio Miguel et al, 2018).

Razón por la cuál, se desarrolla el presente proyecto de investigación que tiene como objetivo mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de las operaciones de minería aluvial en los

depósitos de oro libre en los ríos Conguime y Nangaritzza en el oriente ecuatoriano. Aunque estas operaciones se enfocan en recuperar únicamente el oro libre, es importante conocer los contenidos metálicos y minerales que se concentran junto con el oro en los concentrados gravimétricos, ya que se han utilizado métodos que podrían ser fuentes de contaminación, como el mercurio metálico. Además, este estudio se enfoca en la exploración y explotación de minerales desde una perspectiva de desarrollo sostenible, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de Naciones Unidas en 2015 y el Plan Nacional de Creación de Oportunidades 2021-2025. La investigación se justifica académicamente por su contribución a la formación de profesionales con destrezas y habilidades en el campo científico-técnico y por su vinculación con la sociedad y la comunidad, en línea con las políticas establecidas en el Reglamento de Régimen académico de la Universidad Nacional de Loja.

Objetivo General

- Caracterizar la composición mineralógica de los concentrados gravimétricos de una operación minera específica en la provincia de Zamora confluencia de los ríos Conguime Y Nagaritza.

Objetivos específicos

- Determinar los contenidos de minerales y metales, el porcentaje de recuperación metalúrgica
- Desarrollar métodos alternativos para recuperar el oro y aprovechar otros minerales presentes.

4. Marco teórico

4.1 Minería Aluvial

4.1.1 Minería aluvial: conceptos generales y métodos de concentración de minerales aluviales.

La minería aluvial se refiere a la extracción de minerales y metales preciosos, como oro, plata y platino, de los sedimentos depositados en ríos, arroyos y otros cuerpos de agua. Los depósitos aluviales se forman por la erosión de las rocas que contienen minerales y su posterior transporte por el agua, que deposita estos materiales en las orillas y lechos de los ríos. La minería aluvial es una actividad económica importante en muchos países y puede realizarse a pequeña, mediana o gran escala.

Existen varios métodos de concentración de minerales aluviales, que se utilizan para separar el mineral valioso de los materiales no deseados. Uno de los métodos más comunes es la concentración gravimétrica, que se basa en la diferencia de densidad entre los minerales valiosos y los sedimentos que los rodean. En este proceso, se utilizan técnicas de separación física, como la mesa de concentración, la espiral y el concentrador centrífugo, para separar los minerales valiosos de los sedimentos.

Otro método de recuperación de minerales aluviales es la lixiviación, que implica la extracción de los metales valiosos mediante la disolución de los minerales en una solución química. Este método se utiliza a menudo en la extracción de oro y plata y puede llevarse a cabo mediante técnicas de lixiviación en pilas, en tanques agitados o en columnas de lixiviación.

La minería aluvial también puede generar impactos ambientales negativos, como la degradación de los hábitats acuáticos, la contaminación del agua y la erosión del suelo. Por esta razón, es importante implementar prácticas de minería sostenible y responsables, que minimicen estos impactos y promuevan la conservación del medio ambiente y la biodiversidad (Luis, 2018).

4.1.2 Caracterización mineralógica: técnicas de análisis de concentrados gravimétricos y su importancia en la recuperación de minerales.

La caracterización mineralógica de los concentrados gravimétricos es esencial para el proceso de recuperación de minerales, ya que permite identificar la composición y las propiedades de los minerales presentes en la muestra. Esta información es fundamental para

determinar los métodos de procesamiento más adecuados y optimizar la recuperación de minerales valiosos.

Una de las técnicas más utilizadas para la caracterización mineralógica de los concentrados gravimétricos es la microscopía óptica, que permite la observación directa de los minerales y la identificación de sus características morfológicas, como el tamaño, la forma, la textura y el color. Además, esta técnica permite la identificación de las impurezas y los minerales accesorios presentes en la muestra.

Otras técnicas de análisis mineralógico incluyen la difracción de rayos X, que permite la identificación de los minerales cristalinos presentes en la muestra, y la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR), que permite la identificación de los minerales a partir de sus propiedades espectrales.

La información obtenida a partir de la caracterización mineralógica se utiliza para seleccionar los métodos de concentración más adecuados para la muestra en cuestión. Por ejemplo, si la muestra contiene minerales pesados como la magnetita o la ilmenita, se pueden utilizar técnicas de separación magnética para su concentración. Si la muestra contiene minerales de sulfuro, se pueden utilizar técnicas de flotación para su recuperación (Paucar Espinoza, 2021).

4.1.3 Recuperación de oro: métodos de recuperación de oro libre y su relación con la composición mineralógica de los concentrados gravimétricos.

La recuperación de oro es una etapa crucial en la industria minera, debido al valor económico y social que posee este metal. Los métodos de recuperación de oro se basan en la separación del metal precioso de la ganga y otros minerales, y dependen en gran medida de la composición mineralógica de los concentrados gravimétricos obtenidos de la concentración del mineral aurífero.

Existen varios métodos de recuperación de oro libre, entre los cuales se encuentran la amalgamación, la cianuración, la lixiviación con tiosulfato, y para la recuperación de oro disuelto la adsorción en carbón activado y la electro-obtención. La elección del método más adecuado para la recuperación de oro depende de varios factores, incluyendo la calidad del concentrado gravimétrico, la presencia de otros metales y la disponibilidad de los reactivos necesarios.

La composición mineralógica del concentrado gravimétrico es un factor importante a considerar en la elección del método de recuperación de oro. La presencia de minerales como

la magnetita, la hematita y la pirita, puede interferir en los procesos de recuperación de oro, debido a que estos minerales pueden adsorber los reactivos utilizados en los métodos de recuperación, disminuyendo la eficiencia de los mismos. Además, la presencia de minerales como la pirita puede generar problemas en los procesos de cianuración debido a que se forma ácido sulfúrico, lo que acidifica el medio y disminuye la eficiencia de la lixiviación.

Por otro lado, la presencia de minerales como la esfalerita, la calcopirita y la galena, puede generar problemas en los procesos de recuperación de oro debido a que estos minerales pueden competir con el oro por la adsorción en los reactivos utilizados en los procesos de recuperación.

Por lo tanto, es importante realizar una caracterización mineralógica del concentrado gravimétrico antes de seleccionar el método de recuperación de oro más adecuado. Esta caracterización puede incluir técnicas como la microscopía óptica, la microscopía electrónica de barrido, la difracción de rayos X y la espectroscopia de absorción atómica, fluorescencia de rayos X entre otras. De esta manera, se puede conocer la composición mineralógica del concentrado gravimétrico y seleccionar el método de recuperación de oro más adecuado para cada caso (Mamani Huanca, 2018).

4.1.4 Alternativas de tratamiento de los concentrados gravimétricos: técnicas de beneficio de minerales sin el uso de mercurio.

La minería artesanal y de pequeña escala es una importante fuente de ingresos para muchas comunidades en todo el mundo. Sin embargo, una gran cantidad de esta minería se realiza utilizando técnicas obsoletas y peligrosas, como la utilización de mercurio para la recuperación de oro. Debido a los efectos negativos en la salud y el medio ambiente que esta práctica genera, se han desarrollado alternativas de tratamiento de los concentrados gravimétricos sin el uso de mercurio. La recuperación de oro a partir de los concentrados gravimétricos puede ser optimizada mediante diversas técnicas que permiten mejorar la eficiencia del proceso. Una de las técnicas más utilizadas es la amalgamación, que consiste en la utilización de mercurio para unir el oro y formar una amalgama. Sin embargo, esta técnica presenta serios riesgos ambientales y de salud para los trabajadores, por lo que se están buscando alternativas más seguras y sostenibles, siendo que el uso mercurio en minería está prohibido desde 2015 en Ecuador. Entre las alternativas más prometedoras se encuentran la cianuración, la lixiviación con tiosulfato y la oxidación a presión (Moreno Franco, 2019).

Una de las alternativas más comunes es el proceso de cianuración, que consiste en la disolución del oro en una solución de cianuro. El proceso requiere una serie de etapas, desde la trituración y molienda del mineral hasta la precipitación del oro en forma de polvo metálico, en el caso de minerales primarios. Aunque la cianuración es una técnica probada y eficaz, tiene desventajas como la generación de desechos sólidos y líquidos tóxicos. La cianuración es el proceso más utilizado a nivel industrial para la recuperación de oro, y consiste en la disolución del oro en una solución de cianuro alcalino, seguido de la precipitación del oro mediante zinc o adsorción con carbón activado, e inclusive con resinas.

Otra técnica de beneficio sin mercurio es la flotación, que se basa en la separación de los minerales por su hidrofobicidad. En este proceso, el mineral es molido y acondicionado con reactivos para hacerlo hidrofóbico. Luego, se introduce aire en la solución para formar burbujas, que se adhieren a las partículas hidrofóbicas, las cuales flotan a la superficie y se recogen en un concentrado.

La lixiviación con tiosulfato es otra alternativa sin mercurio. Este proceso es similar a la cianuración, pero utiliza tiosulfato en lugar de cianuro para disolver el oro. Aunque es menos tóxico que la cianuración, el proceso de lixiviación con tiosulfato es más lento y requiere un mayor consumo de reactivos. La lixiviación con tiosulfato es una técnica más reciente que presenta algunas ventajas sobre la cianuración, como una menor toxicidad y una mayor selectividad para el oro. La oxidación a presión es una técnica que consiste en la oxidación del sulfuro de los concentrados para liberar el oro y hacerlo accesible a la cianuración.

Además de estas técnicas de beneficio de minerales, existen otras formas de optimizar la recuperación de oro a partir de los concentrados gravimétricos. Una de ellas es la utilización de concentradores centrífugos, que permiten una separación más eficiente de los minerales pesados. También se pueden utilizar técnicas de flotación para recuperar el oro en forma de sulfuros, y luego oxidarlos para obtener oro metálico. Otras técnicas incluyen la utilización de microorganismos para la oxidación del sulfuro y la disolución del oro, y la utilización de tecnologías de separación basadas en la densidad, como la mesa vibratoria y el jig (Ávila Prado, 2017).

4.1.5 Aprovechamiento de otros minerales: técnicas para la identificación y recuperación de otros minerales presentes en los concentrados gravimétricos.

Los concentrados gravimétricos pueden contener una variedad de minerales además del oro, como la plata, el cobre, el plomo, el zinc, el estaño, entre otros. Por lo tanto, el

aprovechamiento de estos otros minerales es importante para aumentar el valor económico del concentrado y reducir el impacto ambiental de la minería.

Para la identificación y recuperación de otros minerales, se utilizan técnicas como la flotación, la lixiviación y la cianuración. La **flotación** es una técnica que se basa en la diferencia de las propiedades superficiales de los minerales, lo que les permite separarse de la ganga y concentrarse en la espuma. La **lixiviación** es una técnica que se utiliza para la recuperación de metales solubles, como el cobre, mediante la disolución de los minerales en un medio ácido o alcalino. La **cianuración** es una técnica ampliamente utilizada en la recuperación de oro, que consiste en la disolución del oro en una solución de cianuro y la precipitación del metal mediante el uso de carbón activado.

Además, existen técnicas de separación por gravedad, como la separación en **espiral**, la separación por **mesa** y la separación por **jig**, que se utilizan para la separación y concentración de otros minerales en los concentrados gravimétricos. Estas técnicas se basan en las diferencias de la densidad de los minerales y permiten la separación de los minerales pesados de la ganga (Gavino Jiménez, 2018).

4.1.6 Técnicas de análisis utilizadas en la exploración de un depósito aluvial

4.1.7 Difractometría de Rayos X

La Difractometría de Rayos X es una técnica analítica que se utiliza para estudiar la estructura de los materiales a nivel atómico y molecular. Se basa en el hecho de que cuando los rayos X inciden en una muestra cristalina, son difractados por los átomos que forman la estructura cristalina, generando patrones de difracción que son únicos para cada material. Estos patrones de difracción se registran mediante un detector y se analizan para determinar la disposición espacial de los átomos en la estructura cristalina de la muestra. La difractometría de rayos X se utiliza ampliamente en la investigación de materiales, la industria farmacéutica, la minería y la geología, entre otros campos (Camargo Murillo, 2017).

4.1.8 Fluorescencia de Rayos X

La Fluorescencia de Rayos X (FRX) es una técnica analítica no destructiva que se utiliza para identificar y cuantificar elementos presentes en una muestra. En esta técnica, se bombardea la muestra con rayos X de alta energía, lo que provoca la excitación de los átomos presentes en la muestra. Los átomos excitados emiten radiación característica de cada elemento presente en la muestra, la cual puede ser medida y analizada. A partir de la energía y la intensidad de la radiación emitida, se puede identificar y cuantificar los elementos presentes en

la muestra. La FRX se utiliza comúnmente en la industria y en la investigación para analizar la composición de materiales en una amplia gama de campos, incluyendo la geología, la metalurgia, la química y la biología (Chambi Tapia, 2019).

4.1.9 ICP-MS

ICP-MS son las siglas en inglés de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, y es una técnica analítica utilizada para la determinación de elementos en una muestra. En esta técnica, una muestra líquida o sólida se convierte en un aerosol, se introduce en una fuente de plasma acoplado inductivamente y se ioniza. Los iones se separan y se miden en un espectrómetro de masas. La alta sensibilidad y la capacidad de detectar una amplia gama de elementos, desde metales pesados hasta no metales, hacen que el ICP-MS sea una herramienta analítica muy útil en la investigación y la industria. Además, el ICP-MS se puede utilizar para la identificación y cuantificación de elementos traza en diferentes matrices, como la biología, geología, ciencias ambientales y química de los materiales (Theiner, 2020).

La técnica de espectrometría de masas con fuente de plasma, es una herramienta analítica muy útil que permite medir de manera rápida y sensible las concentraciones de múltiples elementos, desde cantidades muy pequeñas en el rango de partes por billón (PPB) hasta cantidades mayores de partes por millón (PPM). Dos propiedades claves de esta técnica son su capacidad de obtener una matriz libre de interferencias y una alta relación señal-ruido, lo que hace posible la medición de metales pesados como As, Se, Cd, Pb, Hg, etc.

El plasma de acoplamiento inductivo de argón se utiliza como fuente de iones en su estado M^+ y su espectro de masas se mide a través de un espectrómetro de masas cuadrupolar. El análisis de las muestras se realiza mediante la introducción de las mismas a través de un nebulizador que convierte la muestra líquida en gotas muy pequeñas, las cuales son transportadas hacia el plasma.

Las muestras sólidas y gaseosas también pueden ser analizadas mediante esta técnica utilizando diferentes sistemas de introducción de muestra. El instrumento se divide en varias etapas, desde la introducción de muestra hasta el detector, donde los iones son separados de acuerdo a su relación masa-carga y luego medidos por el detector. Los resultados son generados por un sistema de datos computarizado que convierte la intensidad de señal medida en concentraciones para cada elemento. Rod171J

4.1.10 Espectrofotometría por Absorción Atómica

El átomo consta de un núcleo central rodeado por electrones que ocupan posiciones orbitales únicas y predecibles. La estructura orbital de cada elemento es distinta y determina el número de electrones asociados al núcleo. El estado fundamental del átomo es su configuración electrónica más estable y de menor energía. Sin embargo, al aplicar energía con una longitud de onda específica, el átomo puede absorber esta energía y un electrón se promoverá a un orbital de mayor energía, produciendo un estado excitado. Este proceso se llama absorción atómica y es la base de la técnica analítica conocida como Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), que se utiliza para medir la concentración de elementos en una muestra. Para aplicar esta técnica, el analito se transforma en átomos gaseosos mediante la aplicación de calor, los cuales absorben la radiación electromagnética a una longitud de onda específica para cada elemento, produciendo una señal medible. La EAA se basa en tres conceptos: 1) Todos los átomos pueden absorber energía, 2) La longitud de onda a la que se absorbe la energía es específica para cada elemento y 3) La cantidad de energía absorbida en esa longitud de onda es proporcional a la concentración del elemento en la muestra en un intervalo limitado de concentraciones, según la ley de Lambert-Beer (Moya Miranda, 2022).

4.1.11 Gravedad Específica y Densidad Aparente

Cuando se evalúa la capacidad física de los agregados, es importante tener en cuenta y valorar sus características propias, como la densidad, el peso específico y la absorción. La densidad, o gravedad específica, se define como la masa de un material por unidad de volumen, expresada en kilogramos por metro cúbico (libras por pie cúbico).

La densidad relativa, o gravedad específica, es la característica comúnmente utilizada para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas de concreto de cemento Portland, concreto asfáltico y otras mezclas que se proporcionan o analizan en base a un volumen absoluto. También se utiliza para calcular los vacíos en los agregados en el método de ensayo C 29/C 29M. La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) se refieren al material sólido de las partículas constituyentes, excluyendo el espacio de poros entre partículas que es accesible al agua. Este valor no se utiliza ampliamente en la tecnología de agregados de construcción (Rodríguez Rubio, 2021).

4.1.12 Características físicos y químicas de los concentrados gravimétricos

Los concentrados gravimétricos son materiales que se obtienen a través del proceso de separación de minerales mediante la técnica de gravimetría. Estos concentrados pueden

presentar una amplia variedad de características físicas y químicas, dependiendo del tipo de mineral que se esté procesando y del método utilizado para su separación (Chavez Cervantes, 2019).

Es importante realizar una caracterización físico-química de los concentrados gravimétricos, con el fin de conocer sus propiedades y determinar su potencial valor comercial. Para ello, se deben realizar estudios por tamaños de partículas y una descripción básica de la composición de las rocas que conforman este concentrado.

Entre las características físicas más relevantes de los concentrados gravimétricos, se encuentra su densidad, la cual puede variar según el tipo de mineral y el proceso de separación utilizado. Además, la forma y tamaño de las partículas pueden influir en la eficiencia del proceso de separación.

En cuanto a las características químicas, es importante conocer la composición del concentrado, incluyendo los elementos que lo conforman y su concentración. También se debe analizar la presencia de impurezas, que pueden afectar su calidad y valor comercial (Basurto Hidalgo, 2021).

4.1.13 Gravedad específica

La gravedad específica es una propiedad física importante de los materiales y se define como la relación entre la masa de un material y la masa de un volumen igual de agua. En otras palabras, es una medida de la densidad de un material en comparación con la densidad del agua. La gravedad específica se expresa en unidades adimensionales, ya que es una relación entre dos masas.

Para determinar la gravedad específica de las mezclas de rocas que conforman el concentrado gravimétrico, se pueden utilizar diferentes métodos, como el método de picnómetro o el método de inmersión en agua. El primer método implica el uso de un recipiente pequeño y preciso, llamado picnómetro, que se llena con agua destilada y se pesa. Luego, se agrega una cantidad conocida del material a medir al picnómetro y se vuelve a pesar. La gravedad específica se calcula a partir de la diferencia de peso entre el picnómetro vacío y lleno con el material de interés.

El segundo método, de inmersión en agua, implica medir el volumen del material y luego sumergirlo completamente en agua. La cantidad de agua desplazada se mide y se utiliza para calcular la gravedad específica.

Además de la gravedad específica, la densidad aparente promedio del material también es importante en la caracterización de los concentrados gravimétricos. La densidad aparente es una medida de la densidad del material sólido, incluyendo los poros y huecos entre las partículas. Se puede calcular a partir de la masa y el volumen de una muestra de material (Varela Zambrano, 2022).

4.1.14 Distribución Granulométrica

La Distribución Granulométrica es una técnica que permite determinar el tamaño y la conformación porcentual de las partículas en una muestra. En el caso de los concentrados gravimétricos, se realiza un análisis por tamaños de partículas para poder determinar el contenido de oro en cada fracción. Este análisis se realiza mediante el uso de tamices y un rotap, pesando las fracciones retenidas por cada uno de ellos.

Una vez obtenidas las fracciones, se observan las partículas y se verifica que solo en las fracciones más finas se encuentra oro libre. Es importante destacar que la distribución granulométrica es un factor crucial en la recuperación de oro en los procesos de beneficio mineral, ya que permite determinar el tamaño adecuado de las partículas para maximizar la recuperación del mineral valioso (Iglesias Carrasco, 2023).

4.1.15 Contenido de oro

El contenido de oro en los yacimientos aluviales se determina mediante ensayos al fuego después de concentrar gravimétricamente el material de cabeza. La fundición es el proceso que se utiliza para transformar los minerales o metales en estado sólido a estado líquido, mediante la aplicación de altas temperaturas y la adición de fundentes. Durante la fundición de minerales auríferos, se escorifican los componentes de la ganga mediante la formación de silicatos y borosilicatos complejos, y los metales preciosos quedan aleados en un bullón y separados de la escoria.

El ensayo al fuego es un método cuantitativo de análisis químico que se utiliza para determinar la proporción de un metal en un mineral o producto metalúrgico. Este método se aplica principalmente a la determinación de oro, plata y metales del grupo del platino. El ensayo al fuego de oro y plata depende del alto grado de solubilidad de estos metales en plomo metálico fundido y su casi completa insolubilidad y asociación química en escorias de conveniente composición, así como de la marcada diferencia de gravedad específica entre los dos líquidos de la fundición: plomo y escoria, lo cual permite la separación de los metales preciosos que van con el plomo fundido al fondo, separándose de la escoria que se coloca superficialmente.

El peso estándar para los ensayos al fuego de oro y plata es de 30 g de material a analizar, de tal forma que con la fundición se obtenga un botón de plomo, de 30 g de peso, que contendrá los metales preciosos disueltos. Este botón de plomo se somete a un proceso térmico llamado copelación cuyo objetivo es absorber el plomo en la copela, dejando expuesto el botón de oro, plata y demás metales preciosos presentes en el material de ensayo. El botón de oro y plata se somete a digestión con ácido nítrico para disolver la plata, de tal manera que el botón final es el oro que estaba presente en el material analizado (Daga Inocente, 2021).

La composición de la carga fundente a utilizar depende del carácter del material de análisis, ya sea oxidante, reductor, ácido o básico. En algunos casos, se recomienda hacer una calcinación previa del material para neutralizar la acción de algunos componentes. Cuando el botón resultante es demasiado grande, se puede barrer de la copela a un vaso de precipitación y atacarlo directamente con ácido nítrico y luego con agua regia para leer la cantidad de plata y oro por espectrometría de absorción atómica.

4.1.16 Contenido de Mercurio

El mercurio es una sustancia tóxica que se utiliza comúnmente en la minería del oro artesanal y en pequeña escala para separar y extraer el oro de las rocas o piedras. El mercurio se adhiere al oro formando una amalgama que facilita su separación de la roca, arena u otro material. Luego se calienta la amalgama para que se evapore el mercurio y quede el oro. En la minería del oro artesanal y en pequeña escala se utilizan normalmente grandes cantidades de mercurio para procesar el mineral, a menudo en condiciones de gran inseguridad y peligrosas para el medio ambiente. Se emplean prácticas sencillas, con inversiones económicas pequeñas y la conciencia de los riesgos que implica, capacitación para minimizar esos riesgos y disponibilidad de equipo de seguridad son mínimas o nulas.

A pesar de que muchos países desalientan o incluso prohíben el uso de mercurio para la extracción de oro, la demanda de mercurio en los países donde se realiza esta actividad continúa aumentando, sobre todo debido al aumento del precio del oro. Además, el uso de mercurio es generalmente el método dominante y preferido de extracción de oro en este sector, ya que se considera bastante fácil de utilizar y no es costoso.

Existen varias técnicas diferentes para el uso de mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala, pero el más contaminante y peligroso es la amalgamación de todo el mineral, en la que se añade mercurio a todo el mineral durante la trituration, molienda y lavado. En muchos casos, sólo el 10% del mercurio agregado se combina con el oro para producir la

amalgama. El resto (el 90%) es sobrante y debe retirarse y reciclarse, o se libera en el medio ambiente. Cuando se amalgama todo el mineral, aparecen altos niveles de mercurio que se propagan en el medio ambiente local y crean graves problemas de salud por exposición, tanto para los mineros como para otras personas (Feijoo Loayza, 2020).

La concentración gravimétrica o "cribado" es una técnica común que reduce la cantidad de mercurio necesario para extraer el oro. En este proceso, el oro se concentra con las partículas más pesadas en la batea, y el agua se lleva las partículas más livianas. Luego se agrega mercurio al concentrado para amalgamar o juntar las partículas finas de oro. Entre el 10% y el 15% del mercurio que se pierde en la minería del oro artesanal y en pequeña escala es consecuencia de este proceso.

Otra técnica común es el quemado de la amalgama, en el que los mineros calientan la amalgama para recuperar el oro. La amalgama se coloca en una pala o cazo de metal y se quema directamente sobre el fuego, a cielo abierto. Cuando esto se hace sin usar una retorta, los vapores de mercurio escapan al aire y son inhalados por los mineros, sus familias y demás personas que se encuentren cerca. Esta práctica produce emisiones atmosféricas de mercurio y tiene graves consecuencias para la salud.

4.1.17 Características del depósito aluvial

El depósito aluvial es un tipo de sedimento que se forma como resultado del transporte y depósito de materiales detríticos por la acción del agua. Estos depósitos pueden contener una variedad de elementos, incluyendo arcillas, arenas, gránulos, guijarros, cantos y bloques, que pueden tener formas muy variables, desde subangulosas a redondeadas. Los depósitos aluviales se encuentran comúnmente en cauces, llanuras y paleocauces bajo la forma de abanicos. Además, se pueden encontrar en valles de gran amplitud y recorrido, representados por depósitos fluviales.

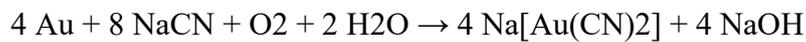
Una forma práctica de diferenciar los depósitos aluviales es a través de su matriz y fábrica. Por ejemplo, en el caso de los depósitos de abanicos, su matriz es principalmente arcillosa con poca selección de sus clastos, lo que los distingue de los depósitos fluviales que contienen clastos imbricados bien seleccionados. Además, como suelos, los depósitos aluviales son anisotrópicos y de una continuidad lateral irregular. Presentan un nivel freático alto y pueden tener alto contenido de materia orgánica.

En definitiva, las características del depósito aluvial son su formación a partir del transporte y depósito de materiales detríticos por el agua, la presencia de una variedad de

elementos que pueden tener formas variables, su distribución en cauces, llanuras y paleocauces bajo la forma de abanicos y en valles de gran amplitud y recorrido bajo la forma de depósitos fluviales, la posibilidad de diferenciarlos por su matriz y fábrica, su anisotropía y continuidad lateral irregular como suelos, y su nivel freático alto y contenido de materia orgánica (San Martín Tello, 2023).

4.1.18 Lixiviación Alcalina con Cianuro de Sodio

La Lixiviación Alcalina con Cianuro de Sodio es un proceso hidrometalúrgico utilizado para la extracción de oro y plata de minerales y concentrados, que consiste en la disolución de los metales preciosos mediante la utilización de soluciones de cianuro de sodio y un medio alcalino, como la cal o la soda cáustica. La reacción de disolución del oro y la plata se produce en presencia de oxígeno y se representa por la siguiente ecuación química:



El proceso de Lixiviación Alcalina con Cianuro de Sodio es utilizado en la mayoría de las operaciones mineras de oro y plata en todo el mundo debido a su alta eficiencia y bajo costo. Además, este proceso es capaz de extraer el oro y la plata de minerales que no pueden ser tratados mediante otros métodos, como la amalgamación o la cianuración en pilas.

Sin embargo, la Lixiviación Alcalina con Cianuro de Sodio también tiene algunos riesgos asociados, ya que el cianuro es una sustancia altamente tóxica y peligrosa si se maneja de forma incorrecta. Por lo tanto, su uso debe ser cuidadosamente monitoreado y regulado por las autoridades competentes para prevenir posibles accidentes y daños al medio ambiente. Además, se deben tomar medidas adecuadas para la disposición segura de los residuos y efluentes generados durante el proceso de lixiviación.

La Lixiviación Alcalina con Cianuro de Sodio es un proceso hidrometalúrgico ampliamente utilizado para la extracción de oro y plata de minerales y concentrados debido a su alta eficiencia y bajo costo. Sin embargo, se deben tomar medidas adecuadas para garantizar la seguridad y minimizar los impactos ambientales asociados con su uso (Nina Mamani, 2021).

4.1.19 Mecanismos químicos de la cianuración

La cianuración es un proceso químico utilizado para la extracción de oro a partir de minerales auríferos. Existen diversas teorías químicas que intentan explicar el mecanismo de la cianuración del oro. Entre las teorías más importantes, se encuentran la teoría del oxígeno, la teoría del hidrógeno y la teoría del peróxido de hidrógeno (Ramos Hurtado, 2019).

La teoría del oxígeno fue propuesta por Elsner en 1846 y se basa en que el oxígeno es vital para la retención del oro en solución de cianuro. La reacción que representa esta teoría es la siguiente:

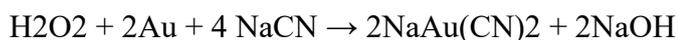
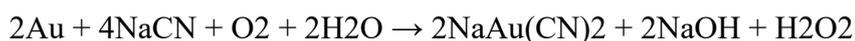


La teoría del hidrógeno fue propuesta por Janin y sostiene que durante la cianuración del oro se genera gas hidrógeno. La reacción que representa esta teoría es la siguiente:

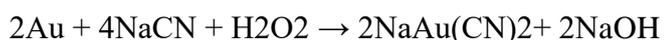


Sin embargo, esta teoría fue refutada por Maclaurin y Christy, quienes señalaron que era termodinámicamente imposible y ratificaron la teoría del oxígeno de Elsner.

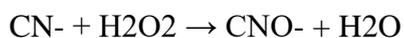
Por su parte, Bodlaender en 1896 propuso que la recuperación del oro con cianuro procede a través de dos etapas y que el peróxido de hidrógeno juega un papel importante en la reacción. Las ecuaciones que reflejan los postulados de Bodlaender son las siguientes:



Bodlaender encontró que el peróxido de hidrógeno se forma como producto intermedio y pudo calcular que se forma un 70% de la cantidad teórica de H_2O_2 que debería formarse siguiendo la ecuación. Sin embargo, experimentos mostraron que la disolución del oro y la plata en NaCN y H_2O_2 en ausencia de oxígeno es un proceso lento, por lo que reformuló su teoría en la siguiente reacción:



Cabe destacar que el ion cianato no tiene acción disolvente sobre el metal de oro, como se puede apreciar en la siguiente reacción:



En conclusión, los mecanismos químicos de la cianuración del oro son complejos y han sido objeto de estudio por varios investigadores a lo largo del tiempo. Si bien existen diferentes teorías que intentan explicar el proceso, la teoría del oxígeno de Elsner sigue siendo la más aceptada y utilizada en la actualidad.

4.1.20 Elementos Metálicos

Los elementos metálicos son aquellos que presentan propiedades físicas y químicas características, tales como brillo, ductilidad, maleabilidad, conductividad térmica y eléctrica, entre otras. Estos elementos se encuentran ubicados en la tabla periódica de los elementos y se dividen en metales ferrosos, no ferrosos y preciosos.

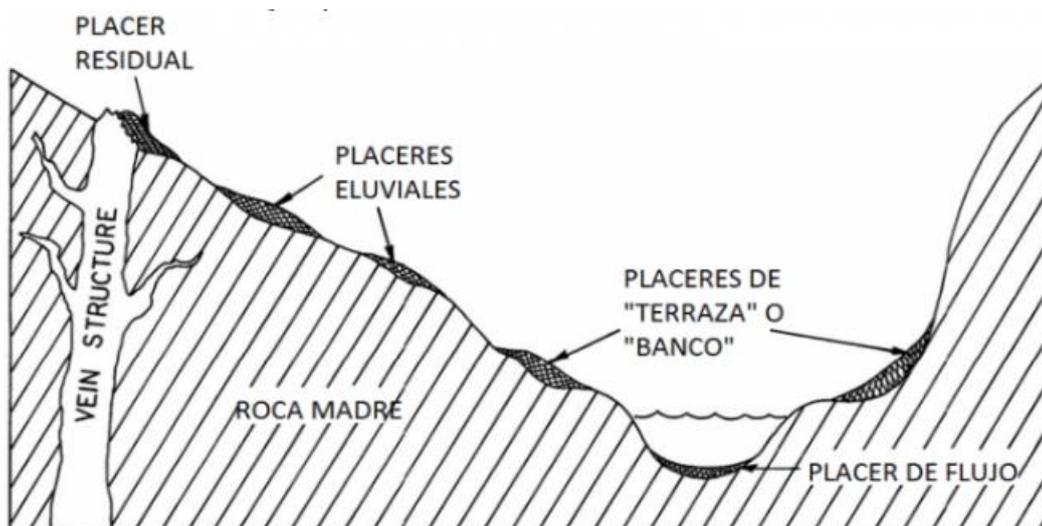
Es posible hallar diversos metales como el cobre, plomo, zinc, estaño, níquel, entre otros, en los contenidos de los concentrados gravimétricos, ya que son comunes en procesos de concentración de minerales. La presencia de algunos de estos metales podría indicar la existencia de otros metales pesados en la muestra. Cabe destacar que los metales pesados tienen una alta densidad y pueden ser tóxicos en altas concentraciones, lo que podría tener implicaciones importantes en términos de salud y medio ambiente (Molina Valdez, 2022).

4.2 Recursos minerales en Ecuador

Ecuador es un país rico en recursos minerales, entre los que se encuentran el oro, la plata, el cobre, el hierro y el petróleo, entre otros. En particular, los placeres aluviales, ver Figura 1 de oro son una importante fuente de extracción de este mineral en el país. Estos depósitos se forman a partir de la erosión y liberación de depósitos hidrotermales de oro o vetas auríferas formadas, que son transportados por sistemas de corrientes de aguas abajo a distancias que van desde metros a cientos de kilómetros.

Figura 1.

Los "cuatro básicos" tipos de depósitos de placer



Fuente: (Metallurgist, 2023)

En Ecuador, la provincia de Zamora Chinchipe forma parte de uno de los principales yacimientos de oro aluvial originados a partir de rocas metamórficas de la cordillera de los Andes. Los depósitos aluviales de oro en esta zona se encuentran a lo largo de los ríos Zamora, Jambüe, Bombuscaro, Nambija y Nangaritza, entre otros, y están compuestos principalmente por bloques, cantos rodados, gravas de rocas ígneas intrusivas de composición intermedia a ácida, arenas gruesas y finas (Feijoo Loayza, 2020).

La recuperación aluvial de oro a bajo costo y para procesar un alto volumen de mineral se realiza en Ecuador utilizando concentradores tipo Z, que son concentradores gravimétricos con canalones colocados a un ángulo entre los 11 y 30 grados de inclinación, dependiendo del tipo de material de alimentación. Para mejorar la eficiencia del proceso, se debe colocar un canalón primario, seguido de un jigs y, por último, un segundo canalón de las mismas características que el primario (Feijoo Loayza, 2020).

Es importante destacar que en la minería ilegal o anti-técnica se adiciona mercurio a las canaletas y/o directamente al concentrado obtenido de las bayetas para la extracción de oro. Frente a este proceso de amalgamación, existen alternativas más limpias para la recuperación del oro, como los concentradores gravimétricos que separan los minerales de diferente gravedad específica por el movimiento a favor de la gravedad y por otra fuerza resistente al movimiento que puede ser un fluido como el agua o el aire.

Los recursos minerales en Ecuador, como el oro, tienen un gran potencial y ofrecen oportunidades para la inversión y el desarrollo del país, siempre y cuando se realice de manera sostenible y responsable, respetando el medio ambiente y la vida de las comunidades locales.

4.3 Explotación del oro en Ecuador

La explotación minera en Ecuador tiene una larga historia que se remonta a los tiempos precolombinos, cuando los pueblos indígenas ya trabajaban el oro, el cobre y el platino para uso en rituales, intercambio comercial y ornamentos. Sin embargo, la llegada de los españoles a América en 1492 y posteriormente a tierras de Quito, marcó un nuevo escenario para la minería del país, impulsando la fiebre del oro y posibilitando la fundación de varias ciudades.

Durante gran parte de su historia, la explotación minera en Ecuador ha sido principalmente artesanal y de pequeña escala, aunque en el siglo XX se produjo un acuerdo con la South American Development Company (SADCO) para explotar el yacimiento de Macuchi y la creación de la Compañía Industrial Minera Asociada (CIMA). En la actualidad, se están llevando a cabo operaciones de explotación de materiales aluviales en los ríos

Conguime y Nangaritza para recuperar partículas de oro grueso, y se están abordando problemas como la recuperación incompleta de oro gravimétrico y la posible contaminación por el mercurio utilizado en el pasado (Iza Arévalo, 2018).

5. Metodología

5.1 Diseño De Investigación.

La investigación busca caracterizar la composición mineralógica de los concentrados gravimétricos de una operación minera específica en la provincia de Zamora confluencia de los ríos Conguime Y Nagaritza. Los objetivos específicos son determinar los contenidos de minerales y metales, el porcentaje de recuperación metalúrgica y desarrollar métodos alternativos para recuperar el oro y aprovechar otros minerales presentes. Se seguirán pasos como selección de muestras, análisis mineralógico y químico, análisis de recuperación, desarrollo de métodos alternativos. Los resultados permitirán optimizar la recuperación de oro y aprovechar otros minerales presentes.

5.2 Tipo De Investigación

Es una investigación de tipo **exploratoria, de campo y aplicada**.

La investigación es **exploratoria** ya que busca explorar la posibilidad de aprovechar los recursos de los concentrados gravimétricos mediante procesos a ser desarrollados, así como también desarrollar métodos alternativos para recuperar el oro sin el uso de mercurio. En este sentido, la investigación no busca probar una hipótesis específica, sino explorar nuevas posibilidades y enfoques.

La investigación descrita puede ser considerada como **de campo**, porque busca medir y cuantificar aspectos como los contenidos metálicos o de minerales presentes en los concentrados gravimétricos, y el porcentaje de recuperación metalúrgica. Además, la metodología descrita involucra el análisis químico y mineralógico de las muestras, lo que también implica una aproximación cuantitativa.

Por último, la investigación es **aplicada** ya que busca aplicar los resultados obtenidos para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de una operación minera específica. Los resultados obtenidos podrían tener implicaciones prácticas para la industria minera en general, ya que la metodología y los métodos alternativos desarrollados podrían ser replicados en otras operaciones mineras similares.

5.3 Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

A continuación, se detallan las técnicas para la realización del presente estudio, las mismas que se aplican sistemáticamente en el desarrollo del trabajo de investigación.

5.3.1 Recopilación de la Información

Mediante la recopilación de la información existente para la presente investigación, se realizó un diagnóstico que servirá de base fundamental para definir una base de datos referida a la actividad, desarrollo, antecedentes sobre la población, dedicación.

5.3.2 Trabajo de Campo

Se realizó un trabajo de campo, que parte desde la observación in situ de los depósitos aluviales, el estado de las operaciones actuales de minado, a fin de observar los detalles operativos de la explotación y del tratamiento metalúrgico a fin de optimizar esta etapa del proceso productivo. Esta es la base fundamental en la toma de muestras representativas a fin de ser estudiadas debidamente.

5.3.3 Observación

La observación es una técnica de campo, la cual permitió verificar el estado de la realidad de los ríos principales y sus efluentes, de las cuencas auríferas de la provincia de Zamora y sus posibles alteraciones en el campo ambiental, lo que resulta como una observación macro de todo el contexto. Esta observación fue más minuciosa en la zona de interés, que es la confluencia de los ríos Conguime y Nangaritzza.

5.3.4 Toma de muestras y selección

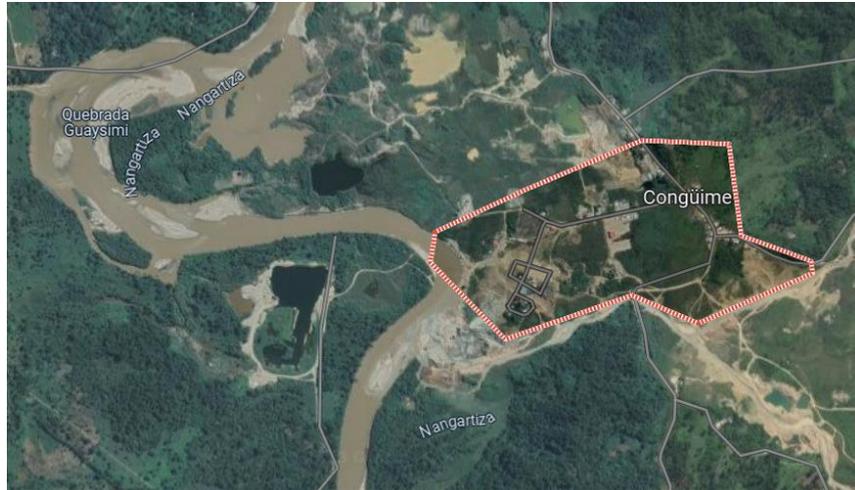
Se tomaron muestras representativas de los concentrados, actividad que se realizó de manera sistemática en el lugar donde se realizan las operaciones de extracción y beneficio de los minerales.

5.4 Localización

El Proyecto Minero CONGÜIME se encuentra ubicado en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Nangaritzza, Parroquia Guaysimi, en el sector minero ampliamente conocido Congüime, comprende 145 hectáreas y de la cual 40 hectáreas son de interés para explotación, mientras que el área restante (105 Has) se ha determinado realizar trabajos de exploración minera. El proyecto se localiza aproximadamente a 20,8 Km del cantón Paquisha y a 53 Km de la ciudad de Zamora Chinchipe. Desde el punto de vista geográfico, la confluencia de los ríos Conguime y Nangaritzza está ubicado en las coordenadas de longitud oeste 78.639926 y latitud sur 4.041104, ver Figura 2, con una altitud que varía desde los 800 y 2800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) (Enríquez Yaguachi, 2019).

Figura 2.

Ubicación de la confluencia de los ríos Conguime y Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe.

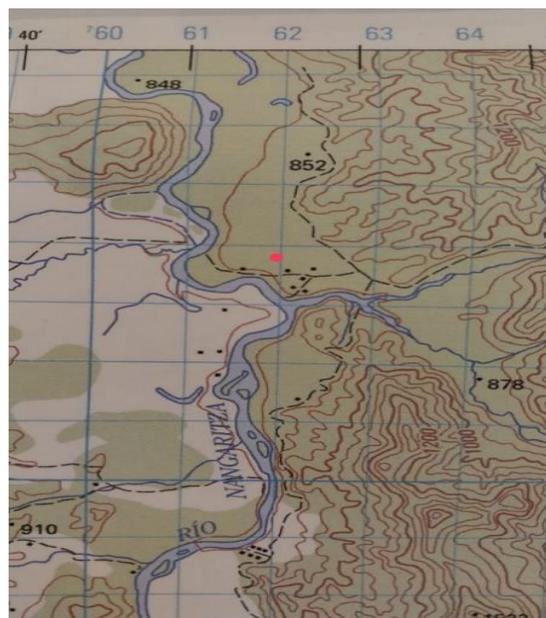


Fuente: (Google-Maps, 2023)

Para la realización del presente estudio tres visitas de campo fueron realizadas a la concesión Aluví, con código catastral 500118, la misma que se ubica en la provincia de Zamora Chinchipe, en el cantón Nangaritza, de la parroquia Guayzimi, la cual tiene un área de 1100 has, ver Figura 3.

Figura 3.

Ubicación de la concesión Aluví



Fuente: El Autor

Así, en los tres días de trabajo de campo una muestra representativa fue tomada, la misma que correspondía a tres días de operación en la concesión, la misma que estaba siendo realizada en una explotación de 150 metros de diámetro, 45 metros de profundidad, que era realizada por un total de 05 retroexcavadoras, así como 04 volquetas que extraían el material desde la zona de minado hasta la zona de procesamiento ubicada a 120 metros del borde occidental del tajo, en las coordenadas de longitud oeste 78.641579 y latitud sur 4.034989, donde se contaban con 04 equipos “Zeta”, ver Figura 4. En material removido y procesado, en el periodo de tres días (ciclo de cosecha) se contabilizó en una total de 5 400 metros cúbicos, obteniéndose un primer concentrado (preconcentrado) de 247,7 kilogramos, el mismo que fue reconcentrado manualmente hasta ser reducido a un total de 72,3 kilogramos (material de estudio). De este concentrado final, los operadores obtuvieron 653,3 gramos de oro fino, que equivale a una recuperación unitaria de 120,09 mg de oro por metro cúbico.

Figura 4.

Operación de minado en la concesión Aluvi



Fuente: El Autor

5.4.1 Trabajo de Campo

El trabajo de campo, Figura 5, ha tomado 10 días tanto para organizar, la toma de las muestras, así como la toma de datos de la operación aluvial principal de concentración de los minerales, con la finalidad de lograr resultados, por métodos analíticos semicuantitativos, cuantitativos como ensayos al fuego, pruebas experimentales de lixiviación, así como métodos de análisis mineralógico.

La determinación de algunos metales, de la muestra estudiada, podría haber indicado la existencia de otros metales pesados en la muestra materia del presente estudio.

La muestra de la presente investigación fue enviada al laboratorio C.H. Plenge, de Lima, Perú, a fin de determinar los contenidos de los metales que podrían tenerse en los concentrados gravimétricos, debido a sus altas densidades. Los resultados de los dos paquetes de ensayos contratados muestran los contenidos.

Figura 5.

Trabajo de campo en la concesión Aluví



Fuente: El Autor

5.4.2 Observación

El trabajo de campo ha tomado 10 días tanto para organizar, la toma de las muestras, así como la toma de datos de la operación aluvial principal.

5.5 Toma de Muestras y Selección

La muestra estudiada fue tomada mediante el método de cuarteos sucesivos hasta obtener una masa reducida de a 15,7 kg. sido tamizada con la malla 10 y 20 a fin de disgregar los grumos. Para la toma de la muestra se utilizaron palas, baldes.

5.6 Procedimiento de Muestreo

El procedimiento para el muestreo se muestra a continuación, además de los mostrado en la Figura 6.

A) Se verificó el volumen total de material aluvial que ingreso al proceso, con el cual se alimentaron los equipos “Zeta” habiéndose estimado la cantidad del ingreso, salida, y ratio de concentración.

B) Se procedió a tomar una muestra de los concentrados gravimétricos de cosecha correspondiente a 3 días continuos de operación, luego que fuera reconcentrada y habiéndosele extraído el oro por métodos manuales con los que actualmente benefician los concentrados gravimétricos.

C) La muestra fue tomada del concentrado agotado (que resulta ser un relave de gravimetría) y se redujeron para realizar diversos estudios.

Figura 6.

Tamizaje y homogenización de la muestra



Fuente: El Autor

5.7 Procesamiento de las Muestras

El procedimiento para el muestreo se muestra a continuación, además de los mostrado en la Figura 7.

A) La muestra colectada fue secada en una estufa de secado a 105°C, pesada y debidamente rotulada. El peso de la muestra seca fue de 14,3 kilogramos.

B) La muestra fue tamizadas con la malla (Tyler) 10 no habiendo partículas de rechazo (material retenido) por lo que toda la muestra estaba apta para las pruebas correspondientes.

C) Se procedió a homogenizar la muestra con la técnica del roleo para realizar un cuarteo de manera sistemática con un cuarteador Jones, la muestra fue reducida hasta un peso de 4 kilogramos.

D) La muestra, fue homogenizada y dividida en 4 fracciones, de un kilogramo. 1) Una muestra fue separada y enviada a Lima al laboratorio BIZALab SAC para los estudios de Difracción de rayos X y Fluorescencia de rayo X; 2) Una segunda muestra fue enviada a Lima, al laboratorio C.H. Plenge para ser sometida a ensayos de ICP; 3) Una muestra fue enviada al laboratorio MetalOR para ensaye al fuego y efectuar una prueba de cianuración; 4) La cuarta muestra fue usada para realizar un análisis de distribución granulométrica.

E) La muestra fue sometidas a análisis granulométrico con 08 mallas de distintas aberturas, desde la malla (Tyler) 10 hasta la 325 usando un RoTap marca Retsch con la finalidad de conocer la distribución porcentual del material.

Figura 7.

Análisis granulométrico con 08 mallas de distintas aberturas.



Fuente: El Autor

5.7.1 Procesamiento de Datos

Todos los datos obtenidos de las diversas pruebas, han sido recopilados para ser analizados, y, definir una alternativa adecuada para el tratamiento de los concentrados gravimétricos, obtenidos por los concentradores Zeta.

6. Resultados

Los resultados obtenidos, de las diversas pruebas a las que fue sometida la muestra, se señalan a continuación.

6.1 Gravedad Especifica

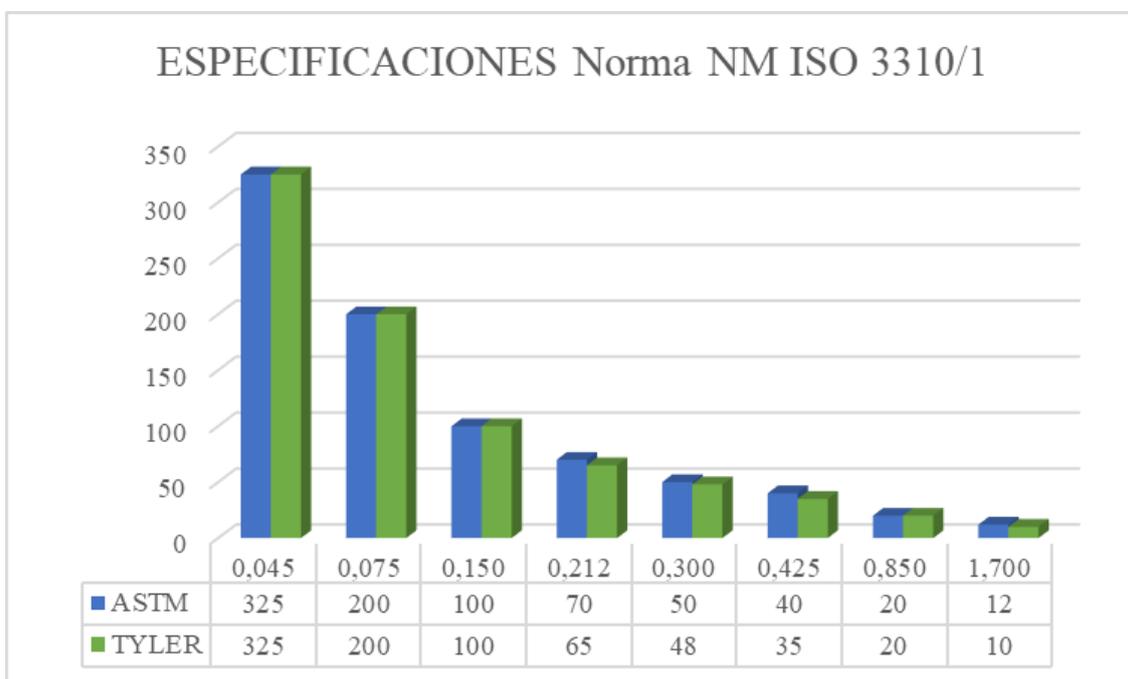
Se ha determinado la gravedad específica de la mezcla de residuos, muestra de estudio, después de la extracción de oro por los operadores, la cual es de 3.3 g/cc y que forma parte del concentrado gravimétrico. Además, se ha calculado la densidad aparente promedio del material, la cual es de 2.7 g/cc. Estos datos se obtuvieron mediante el uso de diferentes métodos, incluyendo el picnómetro, el pesaje y el cálculo volumétrico de la mena (concentrado).

6.2 Análisis Granulométrico

La muestra fue sometida a un tamizaje para determinar la distribución granulométrica del concentrado, que termina como desecho de las operaciones aluviales, ver Figura 8.

Figura 8.

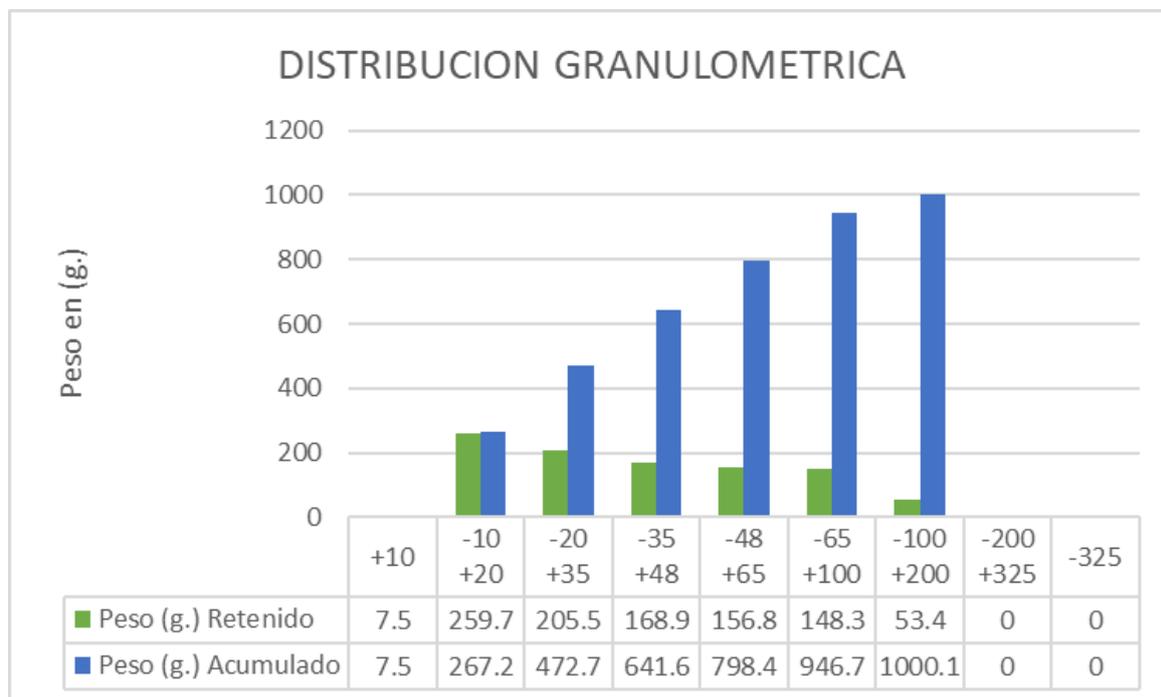
Especificaciones de la Norma NM ISO 3310/1



Fuente: El Autor

Figura 9.

Distribución Granulométrica



Fuente: El Autor

De acuerdo a la Figura 9, se concluye que, el concentrado estudiado no contiene partículas finas, ya que no se tienen partículas pasantes de los tamices 200 ni 325. Asimismo, se concluye que, hay una distribución homogénea, con excepción de los tamices +10 y -100. Esta determinación se ha realizado mediante el uso de un rotap, pesando las correspondientes fracciones retenidas por los tamices correspondientes.

6.3 Contenido de oro

En el ensaye ICP-MAS, se tiene una ley semi-cuantitativa del oro contenido en la muestra, sin embargo, dicha ley, ha debido ser corroborada mediante ensaye al fuego, por el método Newmont, o, análisis por Retalla, a fin de discriminar la presencia de oro grueso respecto del fino. Este el ensaye de oro, para la correspondiente muestra representativa tomada en campo, se tiene un resultado de 4.9 gAu/TM., que tan solo es una ley referencial por lo que se encargó un ensaye por retallas en el laboratorio Albexus.

6.4 Contenido de mercurio

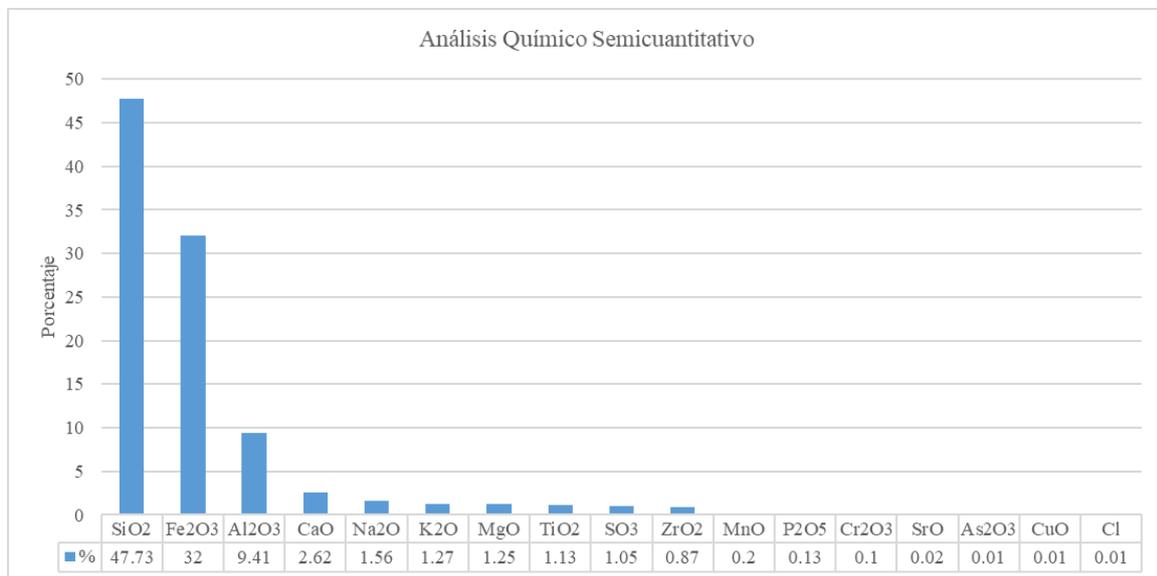
No se obtuvo resultados de la presencia de mercurio en la muestra analizada, aun cuando fue sometida a análisis por ICP, fluorescencia de rayos X, ni mediante difracción de rayos X.

6.5 Minerales

La muestra está compuesta por mineral de sílice y óxidos de hierro, tenido bajos contenidos de otros minerales que suele encontrarse típicamente en los minerales aluviales, tales como zirconio y titanio, ver Figura 10.

Figura 10.

Análisis Químico Semicuantitativo



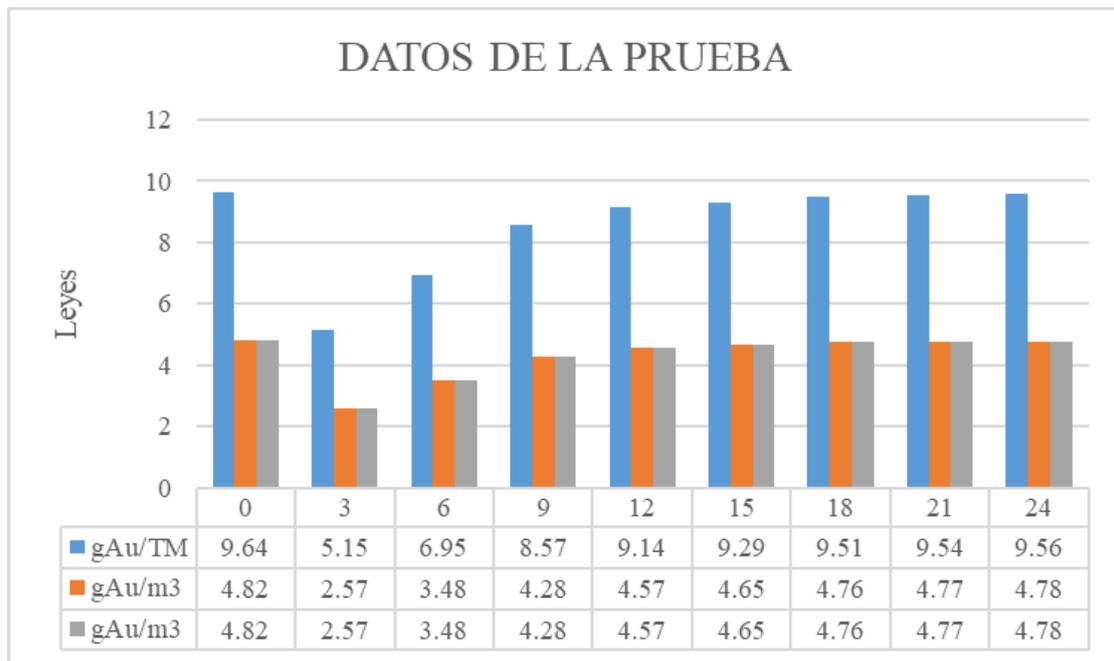
Fuente: El Autor

6.6 Lixiviación

Los resultados de la prueba de cianuración fueron buenos, lo que era previsible por tratarse de un material con oro libre residual, y también porque el procesamiento previo por reconcentración, había removido la mayor parte del oro grueso. A continuación, se muestra la información de la prueba, ver Figura 11.

Figura 11.

Datos de la prueba

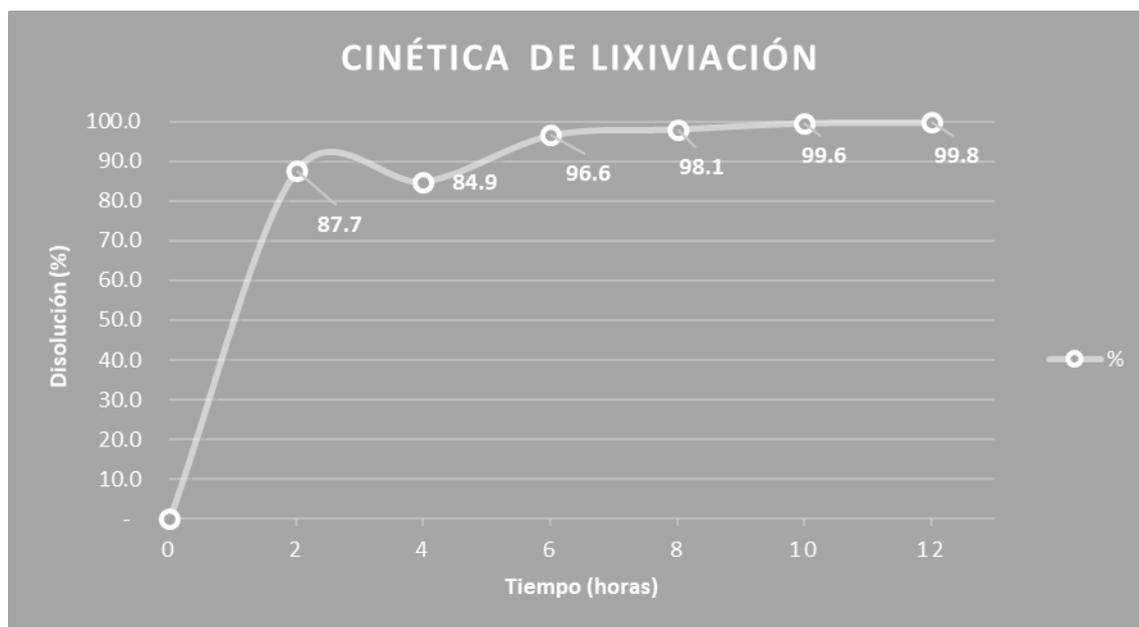


Fuente: El Autor

La prueba fue realizada en un agitador mecánico de laboratorio, ver Figura 12.

Figura 12.

Cinética de Lixiviación.



Fuente: El Autor

6.7 Análisis ICP-MS

Los análisis de las muestras por el método de ICP MS se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Análisis multi-elemental por ICP

Elemento	Concentración	Cantidad	Elemento	Concentración	Cantidad	Elemento	Concentración	Cantidad
Ce	ppm	44,00	Pr	ppm	<20	Ir	ppm	<0,1
Dy	ppm	<10	Re	ppm	<10	Au	ppm	4,9
Er	ppm	<10	Sc	ppm	5,00	Cd	ppm	<0,1
Eu	ppm	<5	Sm	ppm	<5	Pd	ppm	<0,1
Gd	ppm	<20	Tb	ppm	<10	Pt	ppm	<0,1
Ho	ppm	<5	Th	ppm	62,00	Rh	ppm	<0,1
La	ppm	17,00	Tm	ppm	<10	Ru	ppm	<0,1
Lu	ppm	<5	Y	ppm	14,00	Se	ppm	<0,1
Nd	ppm	<10	Yb	ppm	6,00	Ga	ppm	<0,1
Al	ppm	<0,1	Bi	ppm	<0,1	Ge	ppm	<0,1
Ca	ppm	1,3	Co	ppm	<0,1	Hg	ppm	<0,1
Cu	ppm	<0,1	Mn	ppm	<0,1	Sn	ppm	<0,1
Fe	ppm	0,6	Ni	ppm	<0,1	Te	ppm	<0,1
Zn	ppm	<0,1	Pb	ppm	3,00	Tl	ppm	<0,1

Fuente: El Autor

7. Discusión

Después de la investigación realizada, se determinó que los concentrados procesados (relaves) del proyecto Aluví, aún contienen una cantidad significativa de oro después de que los operadores han extraído la mayor cantidad posible. Es posible que esta cantidad sea incluso mayor debido a la dilución con materiales estériles que se agregan durante el proceso de molienda en el molino tipo chancha, que los operadores realizan bajo la premisa de "mayor liberación". Este enfoque es un error común, ya que la gravimetría es un método que recupera las partículas de oro libre, y generalmente no se encuentra oro encapsulado o por liberar, o si lo hay, es una cantidad insignificante.

Durante la parte experimental, se llevó a cabo una prueba de lixiviación por agitación utilizando cianuración intensiva, lo que permitió disolver prácticamente todo el oro presente en el material objeto de estudio. Debido a su origen en lavaderos de oro, este material es bastante limpio y no contiene impurezas como lamas o arcillas que puedan afectar el proceso de cianuración, ni cantidades significativas de cianicidas que puedan aumentar el consumo de cianuro, lo que se traduce en un bajo consumo de este reactivo. Para lograr una alcalinidad protectora adecuada, este material puede lixiviarse con soda cáustica. La prueba de lixiviación se realizó utilizando el material sin remoler y con una granulometría de 100% malla <20. Se empleó un agitador mecánico con una velocidad de 250 rpm para lograr una agitación vigorosa que evite la sedimentación del material y mantenga los sólidos en suspensión. Dado que se sabe que el oro presente es oro libre, no es necesario llevar a cabo una remolienda, lo que simplifica el proceso y los equipos necesarios.

Durante mucho tiempo, ha surgido la duda acerca de si los concentrados gravimétricos aluviales contienen otros metales y/o minerales de interés debido a sus altas densidades. Es común encontrar zirconio, óxidos de hierro, titanio y varios sulfuros metálicos como piritita y esfalerita en la mayoría de depósitos aluviales. Sin embargo, no se dispone de información que explícitamente descarte la presencia de tierras raras o minerales de gran valor económico como el coltán o incluso los minerales del grupo del platino (PMG, por sus siglas en inglés), en los yacimientos aluviales del Ecuador.

En la muestra estudiada de la concesión Aluví, se ha encontrado que existen algunos elementos del grupo de las tierras raras, aunque en cantidades poco significativas. Esto podría servir para profundizar en investigaciones geológicas con el fin de ubicar los orígenes de estos elementos.

Se ha demostrado que la recuperación del oro en los materiales aluviales es poco eficiente, lo que se evidencia en la significativa presencia de oro en los relaves finales, y que tradicionalmente se ha recuperado mediante métodos poco eficientes como la amalgamación o la reconcentración.

Durante mucho tiempo, ha existido una gran controversia acerca de la eficiencia de las "Zetas", que, aunque son prácticas por su facilidad de movilización y por no requerir de fuerza motriz, presentan una eficiencia bastante baja según diversos investigadores que reportan una recuperación metalúrgica muy baja.

Los resultados obtenidos sugieren que la operación de minado y procesamiento de los materiales aluviales puede mejorarse mediante el uso de métodos más eficientes de recuperación de oro.

8. Conclusiones

- Se ha demostrado que los métodos utilizados actualmente en la extracción de oro aluvial en la concesión Aluvi no son eficientes para recuperar una cantidad significativa de oro, como se evidencia en los resultados de la muestra ensayada, la cual arrojó una cantidad de 13,05 gAu/TM en los relaves finales, aplicando el método de análisis por retalla a fin de evitar errores por ensaye del oro grueso. Se sugiere que el oro residual no recuperado en los concentrados obtenidos por métodos convencionales de reconcentración puede ser lixiviado en una solución alcalina de cianuro de sodio, siendo este método el más eficiente para recuperar el oro aluvial libre. La recuperación del oro en solución puede realizarse mediante diversas técnicas, como la precipitación con polvo de zinc (Merrill Crowe) o electrodeposición directa, y la solución de baja ley puede recuperarse mediante adsorción por carbón activado.
- La muestra ensayada ha mostrado un comportamiento interesante puesto que el oro se disuelve casi al 100% realizando la prueba en botella, esto debido a que las partículas de oro son libres y relativamente pequeñas, puesto que las operaciones previas han retirado el oro grueso.
- En cuanto a los metales que conforman el grupo de las "tierras raras", solo se encontraron cerio, escandio, lantano, torio, itrio e iterbio en concentraciones superiores al límite de detección del equipo ICP-MAS, mientras que los demás estaban por debajo del límite de detección. En consecuencia, se concluye que no hay presencia significativa de estos elementos en la muestra estudiada. Además, no se encontraron metales nobles adicionales aparte del oro, ni metales básicos en cantidades significativas.

9. Recomendaciones

- Se recomienda procesar los concentrados iniciales obtenidos de los concentradores "Zeta" mediante el proceso de lixiviación intensiva con una solución fuerte y alcalina de cianuro de sodio, a fin de obtener la máxima extracción del oro sin realizar operaciones de reconcentración. Este método tiene la ventaja de que los materiales son limpios y no requieren pretratamiento debido a la falta de cianicidas, lamas o arcillas, además de tener un pH neutro que requiere poca cal para la alcalinidad protectora en la cianuración.
- Para llevar a cabo la lixiviación intensiva, se recomienda construir, instalar y operar un agitador unitario de acero inoxidable, que se puede airear para mejorar la cinética de disolución. Es importante que el agitador tenga un impulsor mecánico lo suficientemente vigoroso para agitar las partículas del concentrado gravimétrico y mantener una pulpa suspendida y aireada. Se debe realizar un tamizado con un trommel para remover las partículas de material aluvial con granulometrías superiores a 3 mm.
- Es importante organizar las operaciones actuales y futuras considerando lugares adecuados para la disposición final de los relaves después de la lixiviación, además de instalar tanques adecuados para el almacenamiento y reutilización de soluciones cianuradas, así como contar con un sistema de destrucción de cianuro residual. La solución usada puede reutilizarse n-veces con tan solo ajustar las concentraciones de NaOH y NaCN.
- Se sugiere procesar los concentrados iniciales mediante la lixiviación intensiva, usando un agitador unitario de acero inoxidable y realizando un tamizaje previo, lo que permitirá una extracción máxima de oro. Se deben considerar los lugares adecuados para la disposición final de los relaves y se recomienda contar con tanques para el almacenamiento y reutilización de soluciones cianuradas, además de tener un sistema de destrucción de cianuro residual.

10. Bibliografía

- Ávila Prado, J. D. (2017). *Parámetros de operación del separador jig para material tomado de un placer aurífero (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay)*. Cuenca-Ecuador.
- Basurto Hidalgo, J. A. (2021). *Flotación sostenida y sustentable de oro, planta de beneficio METALESA SA, Código 10000543, La Fortuna-Camilo Ponce Enríquez*. Quito-Ecuador: Universidad Central Del Ecuador.
- Camargo Murillo, S. K. (2017). *Análisis por difracción de rayos x del sistema wane one gold después del uso clínico y esterilización*. Bucaramanga-Colombia: Universidad Santo Tomás Bucaramanga.
- Chambi Tapia, M. I. (2019). Validación del método analítico de fluorescencia de rayos x (FRX-ED) para la determinación de metales en suelos del municipio de Colquencha. *Revista Boliviana de Química*, 36(3), 139-147.
- Chavez Cervantes, J. A. (2019). *Construcción de mesa concentradora para la concentración gravimétrica de oro microscópico de mineral proveniente del Estado de México*. México: Universidad Nacional Autónoma De México.
- Daga Inocente, J. L. (2021). *Comparación analítica de ensayo al fuego y espectroscopia para muestras geoquímicas de alto contenido de oro y plata-Bureau Veritas SA*. Huacho - Perú: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Effio Saldivar, C. (2021). *Análisis de metales pesados en alimentos usando el método de digestión por horno microondas en la empresa: SGS del Perú SAC*. Callao-Perú: Universidad Nacional Del Callao.
- Enríquez Yaguachi, M. D. (2019). *Evaluación ambiental del proyecto minero Conguime. Propuesta de un sistema de gestión ambiental*.

- Molina Valdez, A. M. (2022). *Uso de Gold Max en la lixiviación de oro y plata en la zona minera de Rinconada-Puno*. Ica-Perú: Universidad Nacional San Luis Gonzaga.
- Moreno Franco, J. J. (2019). *Producción más limpia en beneficio de oro a pequeña y mediana escala en Colombia Ensayo investigativo del seminario de grado “la producción más limpia como una herramienta para el Ingeniero ambiental”*. Manizales-Colombia: Universidad Católica De Manizales.
- Moya Miranda, I. C. (2022). *Determinación de presencia de metales pesados en las hojas de Kalanchoe pinnata (Hoja del aire) por espectrofotometría de absorción atómica*. Guayaquil-Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Nina Mamani, H. (2021). *Evaluación del proceso de lixiviación por agitación de minerales oxidados auríferos de la Comunidad Chalhuanca–Apurímac*. Tacna-Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Paucar Espinoza, E. R. (2021). *Cinética de flotación de minerales sulfurados para obtención del concentrado de Cobre y Zinc en planta concentradora de empresa los Quenuales SA Unidad Minera Contonga–San Marcos 2021*. Huacho - Perú: Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión.
- Ramos Hurtado, A. S. (2019). *Recuperación de plata de los relaves de flotación, mediante la lixiviación en la Empresa Administradora Cerro SAC*. Lima-Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rodríguez Rubio, A. W. (2021). *Estimación de la densidad aparente a partir de la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración en un Vertisol*. Holguín, Cuba: Universidad de Holguín Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias.
- San Martín Tello, F. I. (2023). *Caracterización gravimétrica de la zona norte de la cuenca Estero Catemu: Análisis de un acuífero en roca fracturada*. Santiago de Chile-Chile: Universidad de Chile.

- Silva Paredes, M. J. (2023). *Determinación de contaminantes traza en agua y sedimentos producto de actividades mineras y agropecuarias en la Cuenca Hidrográfica Puyango*. Quito-Ecuador: UCE.
- Theiner, S. L. (2020). Single-cell analysis by use of ICP-MS. . *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 35(9), 1784-1813.
- Varela Zambrano, Ó. R. (2022). *Estudio de concentración gravimétrica de sedimentos aluviales del Río Nambija mediante concentrador KNELSON: Concentración gravimétrica de aluviales*. Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

11. Anexos

Anexo 1. Reporte de laboratorio



REPORTE DE LABORATORIO N° L000021590

Pág. 1

Cliente:	FRANCISCO HERNANDO LARA MONGE	Orden de Trabajo:	
Dirección:	S/N	Fecha de Ingreso:	24/03/2023
RUC / DNI / Otros:	21410995	Fecha de Resultados:	27/03/2023
Atención:		Tipo de Ensayo:	ICP MULTIELEMENTOS
Referencias:	Mostrador	Cantidad de Muestras:	1

Código CHP	Descripción de la Muestra	Ce ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Gd ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nd ppm	Pr ppm
125370	1 - <120M	44.0	<10	<10	<5	<20	<5	17.0	<5	<10	<20
125370	1 - <120M	Re ppm	Sc ppm	Sm ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	Y ppm	Yb ppm		
		<10	5.0	<5	<10	62.0	<10	14.0	6.0		

Notas:

VºBº

C.H. PLENGE & CIA. S.A.

 ALICIA HUAMÁN IZARRA
 ING. QUÍMICO CIP 32143

Los remanentes de las muestras se guardarán por un período de 3 meses, vencido el plazo se procederá al desecho de las mismas.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de C.H. PLENGE & CIA. S.A.

ORIGINAL

C.H. PLENGE & CIA. S.A.
 Av. Del Ejército 1142, Miraflores, Lima 15074 - Perú
 T. 441 3959 / 441 8106 Whatsapp 924 118 851
 www.plengeiab.pe

Anexo 2. Tabla de propiedades químicas del Oro

COMPOSICION QUÍMICA	Metal. Símbolo químico Au
SISTEMA CRISTALINO	Cúbico Isométrico
DUREZA	2,5 a 3 en la escala de Mohs, muy dúctil
PESO ESPECÍFICO	19,3 g/cm ³
TEXTURA	Textura maciza y constituye pequeños individuos de forma irregular
BRILLO	Metálico, es un metal muy brillante
COLOR	Amarillo dorado
PUNTO DE EBULLICIÓN	2700°C. Es algo volátil por debajo de su punto de ebullición.
PUNTO DE FUNDICIÓN	1063°C
PESO Y NÚMERO ATÓMICO	Peso Atómico: 19.72 No. A: 79

Fuente: El oro. Características físicas, usos y propiedades – Blog Joyería Plaor - shop71003.bowlersbest.com

Anexo 3. Reporte de laboratorio



REPORTE DE LABORATORIO N° L000021590-AMP-I-1

Pág. 1

Cliente:	FRANCISCO HERNANDO LARA MONGE	Orden de Trabajo:	
Dirección:	S/N	Fecha de Ingreso:	24/03/2023
RUC / DNI /Otros:	21410995	Fecha de Resultados:	29/03/2023
Atención:		Tipo de Ensayo:	ICP MULTIELEMENTOS
Referencias:	Mostrador	Cantidad de Muestras:	1

Código CHP	Descripción de la Muestra	Al ppm	Au ppm	Bi ppm	Ca ppm	Cd ppm	Co ppm	Cu ppm	Fe ppm	Ga ppm	Ge ppm
125370	1 - <120M	<0.1	4.9	<0.1	1.3	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	<0.1	<0.1
125370	1 - <120M										
		Hg ppm	Ir ppm	Mn ppm	Ni ppm	Pb ppm	Pd ppm	Pt ppm	Rh ppm	Ru ppm	Se ppm
125370	1 - <120M	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	3.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
		Sn ppm	Te ppm	Ti ppm	Zn ppm						
125370	1 - <120M	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1						

Notas:

vobo

C.H. PLENGE & CIA. S.A.

 ALICIA HUAMÁN IZARRA
 ING. QUÍMICO CIP 32143

Los remanentes de las muestras se guardarán por un período de 3 meses, vencido el plazo se procederá al desecho de las mismas.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de C.H. PLENGE & CIA. S.A.

ORIGINAL

C.H. PLENGE & CIA. S.A.
 Av. Del Ejército 1142, Miraflores, Lima 15074 - Perú
 T. 441 3959 / 441 8106 Whatsapp 924 118 851
 www.plengelab.pe



INFORME DE ENSAYO

**ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X Y
MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X
DE UNA MUESTRA**

PARA:

Francisco Lara Monge

Aprobado por:

Gerente General: Erika Gabriel

Informe de Ensayo No: OTIV-131			
REV	EDICION	EMITIDO PARA	FECHA
0	Primera	Información	03-Abr-2023
Descargo de Responsabilidad: Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con Normas del Producto o como certificado del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce.			

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X.....	4
Muestra codigo 01	4
III. ANALISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	5
Muestra codigo 01	5
IV. ANEXOS	6

I. INTRODUCCIÓN

A solicitud de Francisco Lara Monge, se ha realizado el análisis químico por fluorescencia de rayos X (FRX) y mineralógico por difracción de rayos X (DRX) de una muestra.

La muestra fue recibida en consistencia de polvo granulado, presentándose seca y en cantidades apropiadas para los análisis a realizar. El servicio corresponde a la orden de trabajo OTIV-131.

En el análisis químico por FRX se realizó la determinación semicuantitativa de los elementos desde el sodio ($Z=11$) al uranio ($Z=92$). Los elementos que no se reportan no han sido detectados por el equipo, debido a que se encuentran por debajo del límite de detección del elemento respectivo. Los resultados elementales han sido estequiométricamente expresados en óxidos. El método de preparación aplicado a la muestra fue pastilla prensada.

En el análisis mineralógico por DRX se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1%. La cuantificación de fases amorfas se evalúa a partir del 20% de contenido en la muestra. La identificación y cuantificación de fases de silicatos de cobre es limitada debido a que éstas carecen de ordenamiento estructural (baja cristalinidad). El método de preparación aplicado a la muestra fue de polvo aleatorio.

II. ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X
Muestra código 01
**Análisis Químico
Semicuantitativo**

Fórmula	%
SiO ₂	47.73
Fe ₂ O ₃	32.00
Al ₂ O ₃	9.41
CaO	2.62
Na ₂ O	1.56
K ₂ O	1.27
MgO	1.25
TiO ₂	1.13
SO ₃	1.05
ZrO ₂	0.87
MnO	0.20
P ₂ O ₅	0.13
Cr ₂ O ₃	0.10
SrO	0.02
As ₂ O ₃	0.01
CuO	0.01
Cl	0.01

MUESTRA	LOI
código 01	0.6

OBSERVACIONES:

- El presente informe no puede ser utilizado como certificado.
- Los resultados corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
- Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento.
- %: Porcentaje masa-masa (g/g).
- ppm: Relación masa-masa (µg/g).
- Límite de Detección de la técnica (L.D.): 100 ppm.

III. ANALISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Muestra codigo 01

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO ₂	31
Magnetita	Fe ₃ O ₄	19
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Na,Ca)(Al,Si) ₄ O ₈	15
Hematita	Fe ₂ O ₃	11
Feldespato - K (Ortoclasa)	KAISi ₃ O ₈	8
Epidota	Ca ₂ (Fe,Al) ₃ (SiO ₄) ₃ (OH)	5
Anfibol (Actinolita)	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	4
Mica (Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	2
Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	2
Pirita	FeS ₂	< L. D.

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

OBSERVACIONES:

- Los resultados aproximados han sido redondeados a su menor valor entero, por lo que la sumatoria de los resultados no siempre suma el 100%.
- El presente informe no puede ser utilizado como certificado.
- Los resultados corresponden a las muestras proporcionadas por el cliente, las cuales han sido entregadas en las instalaciones del laboratorio.
- Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento.
- %: Porcentaje masa relativa (g/g).
- < L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

IV. ANEXOS**CONDICIONES DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS FRX:**

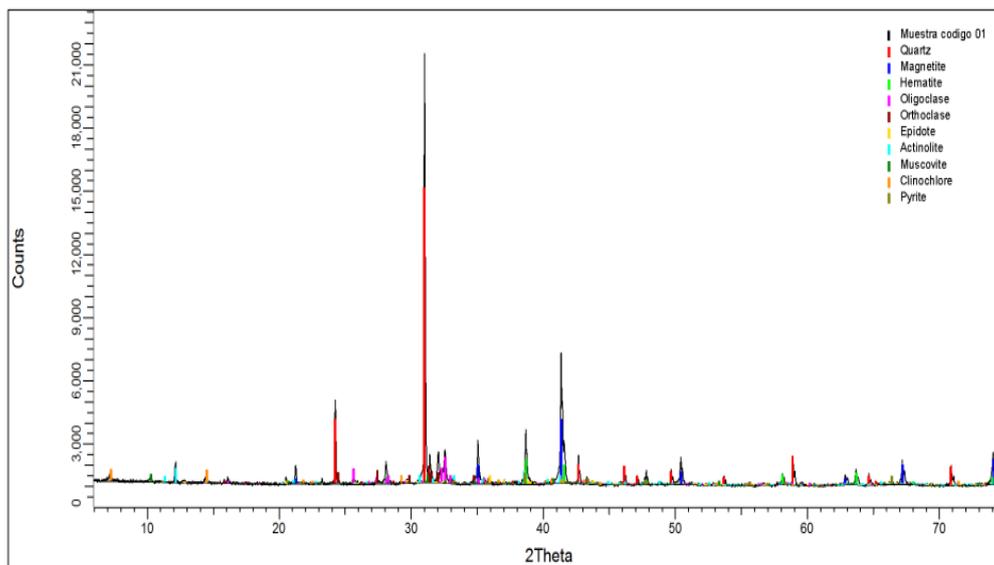
Equipo:	Espectrómetro
Tipo:	Longitud de onda dispersiva (WDXRF)
Ánodo	Pd (50kV, 4mA)
Temperatura de ambiente:	24 °C
Colimador:	S2
Cristales:	RX25, PET y LIF200
Detectores:	Contador de Centelleo y de Flujo.

CONDICIONES DE ANÁLISIS DRX:

Equipo:	Difractómetro
Tubo Co (35kV, 30mA):	KAlfa1: 1,78897 Å KAlfa2: 1,79285 Å
Filtro:	Kbeta: Fe
Detector:	LynxEye
Rango de medida desde $2\theta = 6^\circ$ hasta $2\theta = 75^\circ$	
Identificación: Base de datos del Centro Internacional de Datos para Difracción (ICDD).	
Cuantificación: Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database y Fiz Karlsruhe ICSD).	

A continuación se presenta el difractograma de la muestra analizada.

Figura 1. Difractograma de la Muestra codigo 01 con los respectivos minerales identificados



Anexo 5. Reporte de laboratorio



INFORME DE ENSAYO

Nº. 23424

Cliente	: <u>Francisco Lara Monge</u>
Dirección	: <u>Calle Sucre</u>
Tipo de Muestra	: <u>Mineral</u>
Envase	: Funda Plástica
Condición de la Muestra	: En buenas condiciones para analizar
Recepción de Muestra Nº	: 16286
Fecha de Recepción de Muestras	: 2023-05-04 17:36:28.0
Fecha Inició Análisis	: 2023-05-05
Fecha Terminó Análisis	: 2023-05-05
Fecha de Emisión del Informe	: 2023-05-09

Los datos subrayados son proporcionados por el cliente. Albexus no es responsable por dicha información.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio Albexus.

Las actividades del laboratorio se realizan en la sede principal, Piñas.

Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

**CINTHIA
MELINA
RIOS
AGUILAR**
Firmado digitalmente por
CINTHIA MELINA RIOS
AGUILAR
Número de identificación
ID(=)CIN-CINTHIA MELINA
RIOS AGUILAR,
SerialNumber=2701230988
2.56-ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE
INFORMACION DE SECURITY
DATA S.A. 2.5.1-EC
Fecha: 2023.05.09 13:22:01

Cinthia Ríos Aguilar
Jefe de Laboratorio

Página 1 de 2

Principal Piñas: Vía Piñas - Portovelo, Sector Cazaderos a 500 m del Hospital Nuevo de Piñas / Teléfono: (593) 72975949 / Celular: (593) 992143528
Sucursal Camilo Ponce Enriquez: Av. 28 de marzo y Río 7, frente al Municipio Antiguo / Teléfono: (593) 72430697 / Celular: (593) 980938049
www.albexus.com / e-mail: albexus@yahoo.com / Ecuador - Sudamérica

INFORME DE ENSAYO

Nº. 23424

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp.	Cod.	Au(N) [*]	Au CN [*]
	Nº	Alb.	g/t	g/t
Arena Gavimétrica	1	102941	13.05	7.09

Comp. N: Número de muestras que conforman el compuesto // Cod. Alb.: Código Alboxus

Au (N), Ag (N): Promedio Ponderado (Método Newmont).

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.

Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.

METODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02. Determinación de Metales por Digestión con HNO₃ (cc) por Absorción Atómica.
3. Au, Ag: ALB-MET-04. Determinación de Au y Ag por copelación en barras doré.

COMENTARIOS:

Tiempo: 15 Horas Consumo Cal: 2,65 Kg/Tm Adición de Cianuro: 12,132 Kg/Tm Consumo Cianuro: 1,13 Kg/Tm

FINAL DEL DOCUMENTO

Muestra (102941)	Fracción	Peso de análisis (g)	Au (g/t)	Ponderado Newmont Au (g/t)
Tamaño de muestra 60,091 g	Gruesa (Malla + #100)	28.153	9.31	13.05
	Fina (Malla - #100)	10.207	17.34	
		10.172	15.34	

Página 2 de 2

Anexo 6. Reporte de laboratorio

REPORTE DE LABORATORIO

Cliente: Francisco Lara
Fecha: 05/05/2023
Tipo de ensayo: Lectura de elementos por Absorción Atómica

ID de la Muestra	Au g/t	CN Consumo ml	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm	Fe ppm
Lectura a 2 horas	5,72						
Lectura a 4 horas	6,54						
Lectura a 6 horas	6,69						
Lectura a 8 horas	6,73						
Lectura a 10 horas	6,76						
Lectura a 12 horas	7,09						



Cuenca: Francisco de Orellana y Cristóbal Colón, Condominio Yanuncay bloque A, oficina 2A | Sucursal Pílas: Angel Salvador Ochoa 13-01 | Cel. Of.: 593 992143528
Celular: 593 9 99188480 | Email: albexxa@yahoo.com / palvarsa@hotmail.com.ar | Ecuador - Sudamérica

Anexo 7. Certificación de traducción del resumen

Abstract

The aim of this research work is to characterize the gravimetric concentrates obtained after having extracted the maximum amount of gold using conventional methods. These concentrates are obtained through the use of rudimentary equipment called "Zeta", which is used to concentrate free gold particles based on density difference between the alluvial materials found with it. The representative sample for this study was taken from the Aluvi concession located at the confluence of the Conguime and Nagaritza rivers in the Zamora province. In addition to characterizing the minerals contained in the processed (depleted) concentrates and the gold as well as looking for other metals of interest in the study material, such as rare earths and noble metals, given that these are high density materials, and in general, a characterization of the concentrate and its contents.

There were no other valuable metals discovered. Additionally, we looked for appropriate suitable methods for a better use the gold in these depleted concentrates, for which we performed ICP-MS analysis, X-ray fluorescence, X-ray diffraction, direct leaching tests, solution with atomic absorption readings, fire assay, granulometric study, etc. These studies were carried out in order to determine the mineralogical characteristics of the sample, its behavior, and to recover the maximum amount of gold in the final residue, in such a way that the metallic contents are exploited to the maximum, and also to propose not only the most adequate method but also to recommend the equipment for an efficient, clean and fast process.

According to the results of the various analyses it is concluded that the only metal or mineral of interest is gold, which was found to be free. This allowed for maximum recovery through agitation leaching using sodium cyanide, with sufficient kinetics to ensure that the gold in the sample was almost completely leached in 24 hours of agitation using the bottle test.

Keywords: Free gold, heavy metals, recovery, concentrates, concentration.

CERTIFICATE OF TRANSLATION

I, Dunia J. Vivanco V. am competent to translate from Spanish into English, and certify that the translation of this abstract is true and accurate to the best of my abilities

Dunia J. Vivanco V.

Name of Translator

Address: Tribuno and 8 de Diciembre

Phone: 0983509620

Signature of Translator

Lic. Dunia Vivanco V. ~~ESL teacher~~
ESL teacher
TRADUCCIÓN E INTERPRETACIÓN DE IDIOMAS
INGLES - ESPAÑOL ESPAÑOL - INGLES
Traductora Certificada: MDT-3114-CCL-236126