



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

CARRERA DE GEOLOGÍA Y MINAS

**Recuperación de oro usando bórax mediante
concentración gravimétrica variando el tamaño de grano,
trabajando con técnicas amigables con el medio ambiente**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

Autor : Salazar Márquez, Morella Lourdes

Director: Freire Serrano, Verónica Aydehe

LOJA

2022



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2022

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Loja, 13 de febrero de 2022

Doctor en filosofía,
José Arturo Guartan Medina
Director de la Carrera de Geología

Ciudad. -

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: Recuperación de oro usando bórax mediante concentración gravimétrica variando el tamaño de grano, trabajando con técnicas amigables con el medio ambiente, realizado por Morella Lourdes Salazar Márquez ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: Verónica Aydehe Freire Serrano, Máster of Science.

C.I: 1104212293

Correo electrónico: vafreire@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

“Yo, Morella Lourdes Salazar Márquez, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente”:

Ser autor del Trabajo de Titulación denominado: Recuperación de oro usando bórax mediante concentración gravimétrica variando el tamaño de grano, trabajando con técnicas amigables con el medio ambiente, de la carrera de Geología y Minas, específicamente de los contenidos comprendidos en: Introducción, Capítulo 1. Generalidades, Capítulo 2. Características físicas, geográficas y geológicas de la zona de estudio, Capítulo 3. Marco teórico, Capítulo 4. Metodología experimental, Capítulo 5. Resultados y análisis, Discusión, Conclusiones y Recomendaciones, siendo Verónica Aydehe Freire Serrano, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”, en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Morella Lourdes Salazar Márquez

C.I.: 1104333602

Correo electrónico: msalazar6@utpl.edu.ec

Dedicatoria

Al concluir con esta etapa académica, dedico mi trabajo a las personas más importante de mi vida: a Dios, quien me ha bendecido y guiado a lo largo de mi vida; a mis padres: Carmita y Marco, por ser mi inspiración día a día; a mis hermanos Marco Javier y Carlitos (+), por ser la luz de mis ojos; a mis abuelitos, tíos y primas que me apoyan incondicionalmente para seguir cumpliendo mis metas, son mi orgullo y mi ejemplo de superación. A los amigos que me ha dejado la universidad y me han ayudado desde el primer momento, a todos los profesores que han pasado a lo largo de mi formación académica, por permitir adquirir conocimientos y darme sus sabios consejos.

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Técnica Particular de Loja, por permitirme la formación tanto profesional como personalmente, al departamento de Geología y Minas, por el personal capacitado que enseña conocimientos y amar la carrera, a todos ellos gracias.

Agradezco a Dios por la vida, salud, mi familia, por todo lo bueno del día a día.

Agradezco a la Ing. Verónica Freire, directora de mi tesis, por su tiempo y sus conocimientos, saberme guiar en el desarrollo de mi proyecto.

Doy las gracias a mis papás por todo el apoyo que me han brindado tanto económico como moralmente, todo lo que soy y tengo es gracias a ellos. A toda mi familia me ayudan a cumplir mis sueños, a mi pareja que desde el inicio no me ha desamparado y a todos mis amigos que de igual manera me brindan su apoyo desinteresadamente.

Índice de contenido

Carátula	I
Aprobación del director del Trabajo de Titulación	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice de tablas	XI
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo uno	5
Generalidades	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Justificación	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
Capítulo dos	8
Características físicas, geográficas y geológicas de la zona de estudio	8
2.1 Localización geográfica.....	8
2.2 Acceso	8
2.3 Clima.....	9
2.4 Vegetación.....	9

2.5 Hidrografía.....	9
2.6 Relieve	10
2.7 Geología del sector.....	10
2.8 Formaciones.....	12
2.8.1 Formación Batolito de Zamora	12
2.8.2 Formación Hollín.....	12
2.8.3 Formación Santiago	12
2.8.4 Unidad Chapiza	12
2.8.5 Depósitos Aluviales.....	13
2.8.6 Depósitos Coluviales.....	13
Capítulo tres	14
Marco teórico	14
3.1 Depósitos Aluviales	14
3.2 Minería artesanal y el impacto que causa	15
3.3 Concentración gravimétrica	15
3.4 Mesa Vibradora	16
3.5 Método del bórax y daños causados.....	16
3.6 Flotación y reactivos empleados	17
3.7 Fundición directa	19
Capítulo cuatro.....	20
Metodología experimental	20
4.1 Fases empleadas en el material aluvial.....	20
4.2 Recopilación Bibliográfica	20
4.3 Muestreo.....	20

4.4 Preparación de la muestra	21
4.4.1 Homogenización y cuarteo.....	21
4.4.2 Pulverización.....	22
4.5 Caracterización del material.....	23
4.5.1 Peso específico	23
4.5.2 Análisis granulométrico	24
4.5.3 Análisis mineralógico a través del microscopio.....	25
4.5.4 Análisis mineralógico mediante Difracción de Rayos X (DRX)	25
4.5.5 Análisis químico por Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	26
4.5.6 Molienda	26
4.6 Proceso de Flotación	27
4.6.1 Metodología de Flotación.....	27
4.6.2 Dosificación de reactivos	29
4.7 Concentración gravimétrica	30
4.8 Análisis al fuego.....	30
4.8.1 Fusión.....	31
4.8.2 Copelación	31
4.8.3 Digestión y cuantificación de oro	32
4.8.4 Análisis de Absorción Atómica	32
4.9 Fusión directa con bórax.....	33
Capítulo cinco	35
Resultados y análisis.....	35
5.1 Peso específico del material aluvial	35
5.1.1 Análisis microscópico.....	35
5.1.2 Difracción de Rayos X.....	36
5.1.3 Fluorescencia de Rayos x.....	37

5.1.4 Periodos de molienda.....	38
5.1.5 Análisis granulométrico	38
5.2 Ley de Cabeza	40
5.3 Pruebas metalúrgicas de flotación	40
5.4 Prueba metalúrgica en mesa vibratoria.....	41
Discusión.....	43
Conclusiones	44
Recomendaciones	45
Bibliografía	46
Apéndices.....	49
Apéndice A. Equipo y procedimiento para determinar el peso específico	49
Apéndice B. Procedimiento del análisis granulométrico y tiempo de molienda.....	49
Apéndice C. Equipo y procedimiento de flotación	50
Apéndice D. Tablas de la dosificación de reactivos.....	52
Apéndice E. Procedimiento y equipo de la concentración gravimétrica en mesa	54
Apéndice F. Proceso del ensayo al fuego.....	55
Apéndice G. Proceso de digestión y cuantificación del oro.....	55
Apéndice H. Proceso de la absorción atómica	56
Apéndice I. Proceso de la fusión directa con bórax.....	56
Apéndice J. Determinación del peso específico por el método del picnómetro	57
Apéndice L. Cálculos de la Ley de oro	59
Apéndice M. Ley de oro de las flotaciones	60
Apéndice N. Cálculos dosificación de reactivos	61

Apéndice O. Balance metalúrgico flotación.....	62
Apéndice P. Balance metalúrgico de mesa vibratoria.....	63

Índice de tablas

Tabla 1 Rango de operación del equipo de concentración gravimétrica.....	16
Tabla 2 Mesa Vibradora	16
Tabla 3 Caracterización de reactivos empleados en flotación	18
Tabla 4 Serie y aberturas de tamices.....	24
Tabla 5 Dosificación de reactivos para recuperación de oro con colector AR-1238, malla 200.....	29
Tabla 6 Componentes químicos para el análisis de fusión	31
Tabla 7 Resultados del análisis de peso específico.....	35
Tabla 8 Minerales observados en microscopio con su fórmula química.....	35
Tabla 9 Minerales descubiertos por análisis de Difracción de Rayos X	37
Tabla 10 Composición química de elementos	37
Tabla 11 Tiempos de molienda en función al tamaño de grano	38
Tabla 12 Datos de la ley de cabeza de Au	40
Tabla 13 Balance metalúrgico de flotación	40
Tabla 14 Balance metalúrgico de la etapa de recuperación	41

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio	8
Figura 2 Ruta de acceso de la recolección de la muestra vista desde el Google Earth Pro.....	9
Figura 3 Geología de Cumbaratza (Zamora Chinchipe), Ecuador	11
Figura 4 Depósitos aluviales (nivel freático).....	14
Figura 5 Características del equipo de flotación	17

Figura 6 Esquema sobre las fases empleadas en la recuperación de oro en material aluvial	20
Figura 7 Esquema del proceso que se realizó en el laboratorio de la UTPL	21
Figura 8 A) Homogenización del material; B) Cuarteo y toma de una porción del material.....	22
Figura 9 A) Pulverizadora marca Retsch modelo RS200; B) Muestra en disco de la pulverizadora	22
Figura 10 Método del picnómetro para determinar	23
Figura 11 Granulometría en seco.....	25
Figura 12 Espectrómetro de FRX marca	26
Figura 13 Molino de bolas de acero.....	27
Figura 14 Equipo de Flotación Denver	28
Figura 15 Esquema del procedimiento de Flotación	28
Figura 16 A) Peso de los reactivos; B) Reactivos aforados en balones de 100 ml	29
Figura 17 Diagrama de la prueba metalúrgica en mesa vibratoria	30
Figura 18 Material en la mesa vibratoria	30
Figura 19 A) Preparación de la muestra; B) Capa extra de bórax; C) Introducción de los crisoles	31
Figura 20 A) Regulo de plomo en el crisol; B) Copelas después de la copelación con el resultante del doré	32
Figura 21 Plancha térmica con los crisoles	32
Figura 22 A) los balones de 10 ml aforados; B) La muestran en el equipo de Aanalyst 400 modelo PerkinElmer	33
Figura 23 A) Peso de mineral con el bórax; B) Mezcla en la olla de barro; C) Fundición directa con bórax; D) Resultado después de 45 min.....	34
Figura 24 Análisis mineralógico de la muestra del material aluvial, visto	36
Figura 25 Resultados de Difracción de Rayos X	36
Figura 27 Material antes de molienda.....	38

Figura 28 Granulometría al moler durante 1 h 30 min el material.....	39
Figura 29 Granulometría al moler duran 2 h	39
Figura 30 Rendimiento de recuperación de Au acumulado.....	42

Resumen

El presente trabajo de investigación denominado “Recuperación de oro usando bórax mediante concentración gravimétrica variando el tamaño de grano, trabajando con técnicas amigables con el medio ambiente” presentó dos fases.

La primera consta de someter el material a pruebas metalúrgicas; empezando por la concentración gravimétrica en mesa vibratoria, analizando la influencia de los tamaños de partículas 75 μm y 63 μm , obteniendo valores de 3.79 % y 3.23 %; el segundo ensayo se utilizó para verificar la presencia de oro en la muestra; la flotación adquiriendo el 14.48 % de recuperación en el tamaño pasado por la malla 200. En el análisis mineralógico con Difracción de Rayos X, determino los minerales de mayor porcentaje (anortoclasa, moscovita) y en la Fluorescencia de Rayos X: óxido de silicio (SiO_2), alúmina (Al_2O_3); aplicando el colector Aerofloat 1238, eficaz para oro y evita la toxicidad con el ambiente.

La segunda fase tiene la finalidad de mitigar el contaminante del mercurio con la fusión directa del bórax, a través del concentrado obtenido en mesa. Los resultados e interpretación se encuentran en el capítulo 4.

Palabras claves: Bórax, recuperación de oro, tamaño de grano.

Abstract

The present research work entitled "Gold recovery using borax by gravimetric concentration varying the grain size, working with environmentally friendly techniques" presented two phases.

The first consists of submitting the material to metallurgical tests; starting with gravimetric concentration on a vibrating table, analyzing the influence of particle sizes 75 μm and 63 μm , obtaining values of 3.79 % and 3.23 %; the second test was used to verify the presence of gold in the sample; flotation, acquiring 14. In the mineralogical analysis with X-ray diffraction, I determine the minerals with the highest percentage (anorthoclase, muscovite) and in X-ray fluorescence: silicon oxide (SiO_2), alumina (Al_2O_3); applying the Aerofloat 1238 collector, effective for gold and avoids toxicity to the environment.

The second phase aims to mitigate the mercury pollutant with the direct fusion of borax, through the concentrate obtained on the table. The results and interpretation can be found in chapter 4.

Keywords: Borax, gold recovery, grain size.

Introducción

Ecuador es un país rico en depósitos minerales que abarca elementos como: oro, plata, cobre, molibdeno, hierro y titanio; distribuidos principalmente en las provincias de: Pichincha, Bolívar, Esmeraldas, Imbabura, Zamora Chinchipe, Napo y Sucumbíos ([ENAMI EP, 2016](#)) es por ellos que grandes y pequeñas empresas explotan dichos recursos con la finalidad de generar beneficios económicos, en la que destaca el aprovechamiento de oro aluvial, mediante el empleo de métodos de extracción gravimétricos. ([Acosta & Feijoo, 2020](#))

La actividad de minería aluvial se realiza a través de la concentración del material aurífero, en una caja de recaudación de operación, denominada zaranda vibratoria “zeta” con la finalidad de separar el oro libre del resto de minerales. ([Ministerio del Ambiente et al., 2020](#)) Se separan los minerales de diferente peso específico 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 ([Acosta & Feijoo, 2020](#)); por último, el proceso de fundición implica calentar y reducir la mena mineral para obtener un metal puro, como agente reductor se utiliza el mercurio para la recuperación de oro libre.

Como mencionan [Arroyo & Malca \(2019\)](#) el mercurio es altamente resistente a la biodegradación, fácilmente crea problemas de contaminación, por lo que una buena alternativa a la amalgamación con mercurio es la fusión directa con bórax, debido a su baja peligrosidad, disminución del impacto ambiental y bajo costo.

La investigación actual involucra la recuperación de oro con técnicas amigables al medio ambiente, como la concentración gravimétrica y el uso del bórax, por medio de la fusión directa. El método de concentración es una opción para el control del deterioro ambiental, la clave para este tipo de procesos son las densidades que pueden presentar los diferentes tipos de minerales, en este caso el oro, el proceso necesita el empleo de varios equipos estacionarios como son: canaletas con rifles, conos y espirales; los mecanismos móviles: jigs y mesas concentradoras. ([Hinojosa, 2016](#))

La mesa vibratoria da buenos resultados en oro aluvial, dependiendo del ángulo transversal para obtener un ángulo óptico de recuperación; así mismo, de otros factores

como: el caudal, amplitud de golpe y la frecuencia ([Rivera, 2017](#)), este proceso es favorable con el medio ambiente por lo que no utiliza ningún reactivo es su proceso, simplemente agua.

Por otra parte, el bórax es un cristal incoloro, soluble en agua y el borato más abundante en la tierra; usado ampliamente en la industria de la metalurgia como material fundente ([Arroyo & Malca, 2019](#)), efectivamente el bórax mejora significativamente la captura del oro; es más económico que el método de amalgamación y no produce efectos adversos sobre la salud y el medio. ([Appel & Na-Oy, 2012](#))

Los ensayos realizados en la presente investigación fueron: concentración gravimétrica en mesa vibratoria, con el objeto de evaluar la presencia de oro en el material aluvial, separando las partículas en concentrado, mixtos y livianos. A su vez, como un procedimiento alternativo para validar el porcentaje de recuperación, se ejecutó la técnica de flotación en el equipo Denver, que tiene como función separar en forma eficiente el material de interés desde la pulpa, operando con reactivos que proporcionen propiedades hidrofóbicas en los minerales de beneficio, se utilizó el colector Aerofloat AR - 1238 (Ditiofosfato–dibutilico secundario de sodio). Al finalizar los ensayos se llevó a cabo los cálculos de los balances metalúrgicos con sus respectivos porcentajes de recuperación, para concluir la rentabilidad del procedimiento empleado en material aluvial.

El capítulo uno menciona las generalidades del trabajo de fin de titulación como son: antecedentes, justificación, objetivos.

El capítulo dos describe las características físicas, geográficas y geológicas de la zona de estudio (localización geográfica, acceso, clima, vegetación, hidrografía, relieve, formaciones).

El capítulo tres se refiere al marco teórico, detallando los términos de interés que se presentan en la investigación.

El capítulo cuatro detalla la metodología empleada en los ensayos de laboratorio, con los equipos de manejo y su procedimiento; anexando fotografías de cada proceso.

En el capítulo cinco concreta los resultados obtenidos en los ensayos, finalizando el estudio.

Capítulo uno

Generalidades

1.1 Antecedentes

La técnica de lavado de oro se ha venido desarrollando desde las épocas preincaicas, la historia nos cuenta que este método fue usado para recuperar oro de manera aluvial, la misma se mantiene hasta la actualidad en ciertos sectores como: Zaruma, Portovelo, Zamora Chinchipe, Morona Santiago, entre otros.

En la década de los 80 y 90 del siglo XX la actividad minera artesanal se expandió por todo el territorio del país, especialmente en las provincias amazónicas: Zamora Chinchipe y Morona Santiago, en 1991 se dicta una nueva Ley de Minería también conocida como la ley 126, se cambia la forma del cálculo de pago de patentes, no limitando el número de concesiones privadas, pero sí limitando el número de hectáreas. ([Chang, 2013](#))

En marzo de 2001 se registraron 859 concesiones mineras, cubriendo 385.606 hectáreas en las diversas provincias. Un 34.6 % de estas concesiones correspondía a exploración y 65.4 % a explotación, lo que demuestra el dinamismo creciente de la pequeña minería. Las concesiones se concentran en unas pocas provincias, en particular Zamora Chinchipe, El Oro y Azuay, que pueden tener las áreas mineras más grandes. ([DINAMI, 2001](#))

Hasta ahora, la minería aluvial utiliza el mercurio altamente contaminante. Empieza por la molienda de los minerales, que anteriormente se desempeñaba de forma manual, utilizando los morteros apisonadores y más tarde los llamados molinos de bolas con mayor capacidad de procesamiento, aumentando el contenido del mineral. Después recuperan el mineral del material triturado o molido por concentración gravimétrica seguido de amalgamación con mercurio, utilizando una batea. ([Sandoval, 2001](#))

El conflicto socioambiental se presenta en muchos proyectos mineros, como el proyecto aluvial de Zamora Chinchipe, donde se han implementado prácticas amigables con el medio ambiente; han tenido impactos significativos como la eliminación de la contaminación

por el uso de mercurio y la sustitución por procesos gravimétricos mejorados en la fase de explotación, empleando equipos de mayor eficiencia y recuperación de mineral.

1.2 Justificación

La provincia de Zamora Chinchipe por su riqueza natural ha generado la práctica de la minería artesanal, este trabajo se realiza de manera individual, familiar o asociativo en donde se utilizan maquinarias simples y cumplen con la función de sustentar las necesidades básicas de las personas que la realizan, carece de planificación y generalmente incumplen las leyes ambientales, ([Chang, 2013](#)) contempla al minero artesanal y mide los niveles de producción o movimiento de material en las riberas de los ríos, según su desarrollo, pero no controlan el mercurio en la extracción de oro.

Uno de los principales contaminantes en la recuperación del oro, es el mercurio conocido como un elemento químico que separa y extrae oro de sedimentos de terrazas, placeres, llanuras, cauces de ríos, y otros. El mercurio es una agente neurotóxico, nefrotóxico y genotóxico que provoca problemas de salud a los mineros y habitantes de la comunidad ([Zamora et al., 2021](#)), siendo necesaria la implementación de nuevas técnicas (procesos que aprovechen los recursos naturales del país, que tengan una baja contaminación, pero que sean igual de rentables) con el medio ambiente, para garantizar la salud tanto de quien ejecuta la actividad minera como de quienes son impactados directa e indirectamente por su actividad altamente contaminadora.

Como lo menciona [Eppers \(2017\)](#) “una alternativa que no requiere mayores inversiones es la concentración gravimétrica del mineral y luego para la separación del oro la fusión del concentrado con bórax, una sustancia de baja toxicidad, fácil disponibilidad y bajo costo”, cuyo mecanismo es de conocimiento limitado por los mineros artesanales impidiendo emplear dicho mecanismo alternativo y beneficioso para sus actividades.

Por lo tanto, este estudio investigará como afecta el tamaño de grano a la concentración durante la recuperación de oro y si la fundición directa de bórax es beneficiosa en materiales aluviales. La recuperación de oro pretende mitigar la contaminación ambiental por concentración gravimétrica y fusión con bórax, mejorando las condiciones de trabajo,

salud, inversión, eficiencia y rentabilidad. Las pruebas realizadas en el laboratorio permitirán ejecutar los balances metalúrgicos de cada uno de los ensayos, para determinar la rentabilidad de los métodos utilizados.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

- Usar el método del bórax mediante la fusión directa, después de la concentración gravimétrica variando el tamaño de grano y determinar si es una técnica rentable para la recuperación de oro, generando menor contaminación ambiental.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Presentar los resultados obtenidos usando bórax.
- Mostrar los resultados obtenidos en la concentración gravimétrica.
- Comparar el método de recuperación de oro usando diferentes tamaños de grano.

Capítulo dos

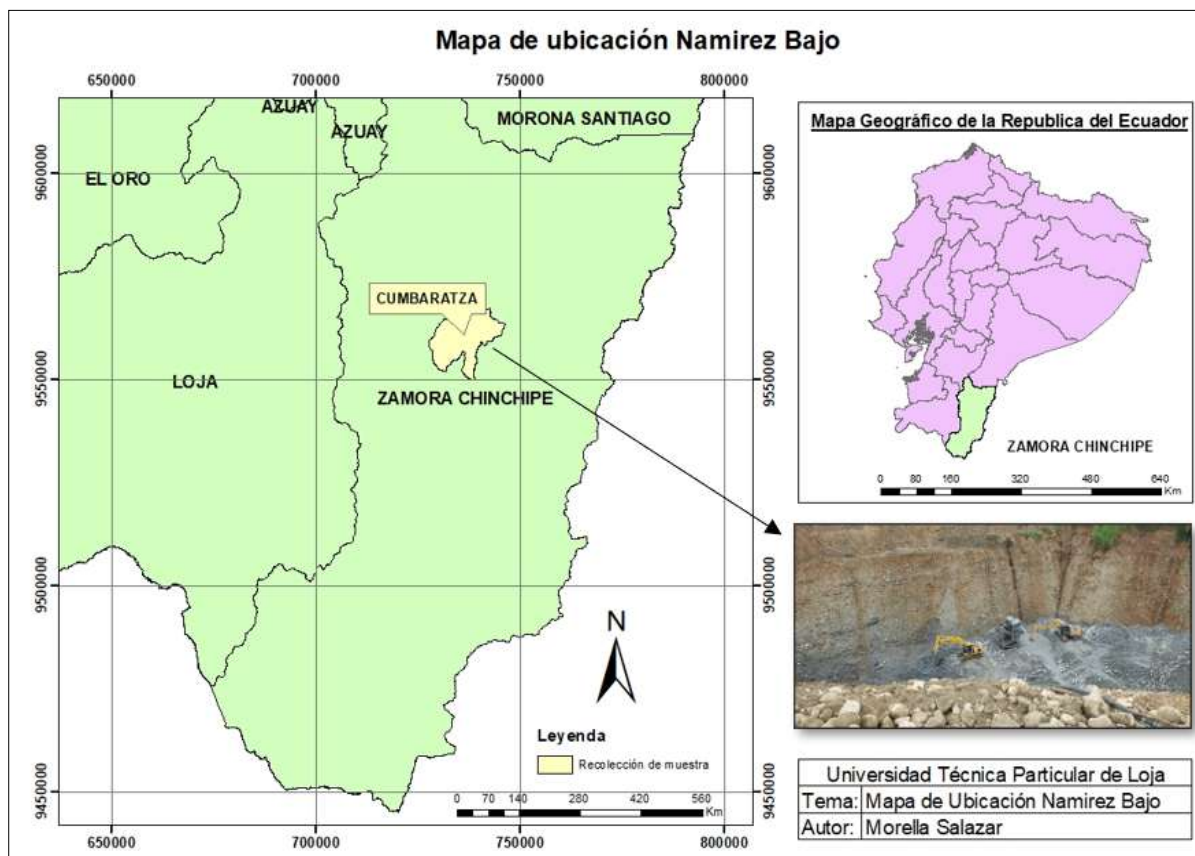
Características físicas, geográficas y geológicas de la zona de estudio

2.1 Localización geográfica

La muestra fue recolectada IN SITU, en el barrio de Namírez Bajo ([figura 1](#)), ubicado al Norte de la cabecera parroquial Cumbaratza, a 15 km del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe. Referenciadas en el Datum WGS 84, UTM, ZONA 17 (X=739345; Y=9562095; Z=835 msnm), limitando en sus alrededores con las parroquias de Guadalupe, Timbara, San Carlos, Sabanilla y el cantón Centinela del Cóndor.

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio



Nota: El mapa de ubicación respecto a la parroquia Cumbaratza, cantón Zamora con la respectiva foto del depósito aluvial donde se recolectó la muestra.

2.2 Acceso

La recolección de la muestra se encuentra en el sector de Namírez Bajo ([figura 2](#)), al margen izquierdo del río Zamora, aproximadamente a una distancia de 5.5 km del río, este

barrio se encuentra en la vía troncal amazónica, conectando al sur con Zamora y al norte con Yantzaza ([Cumbaratza activa, 2018](#)), está conectado por un puente a la comunidad de Nambija.

Figura 2

Ruta de acceso de la recolección de la muestra vista desde el Google Earth Pro



2.3 Clima

El clima de la parroquia Cumbaratza es tropical megatérmico húmedo, se extiende por las vertientes exteriores de las dos cordilleras, las precipitaciones abarcan a 2000 mm hasta los 5 m en una extensión territorial del 95.05 %; por otra parte, el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo es el clima más frecuente en la zona andina. La pluviometría anual se encuentra distribuida en dos estaciones lluviosas, comprendida entre 500 y 2000 mm, con una extensión que equivale el 4.95 % de la parroquia. ([PDOT, 2020](#))

2.4 Vegetación

En los últimos 10 años; el área de bosque aumento 0.13 % en una superficie de 19.05 ha, el bosque nativo se incrementa en 1.64 % en una zona de 93.48 ha. Existe un área sin cobertura que se encuentra al margen de los ríos, producto de las crecidas. ([PDOT, 2020](#))

2.5 Hidrografía

La parroquia Cumbaratza se encuentra atravesando el Río Zamora en dirección Sur - Norte, a lo largo de su recorrido recibe algunos afluentes y microcuencas en el margen

izquierdo de las quebradas de: Namírez, Cumbaratza y La Quebrada, en el margen derecho el Río Nambija y la quebrada de Cuzuntza, los bosques naturales cubren el 56 % de la superficie territorial, lo que aporta a la parroquia Cumbaratza una conservación y regulación en su ambiente natural, de igual modo permite la formación de las primeras fuentes de agua como las quebradas de Cumbaratza, Namírez, Los Cedros, Cuzuntza y San Vicente de Chamico. ([PDOT, 2020](#))

2.6 Relieve

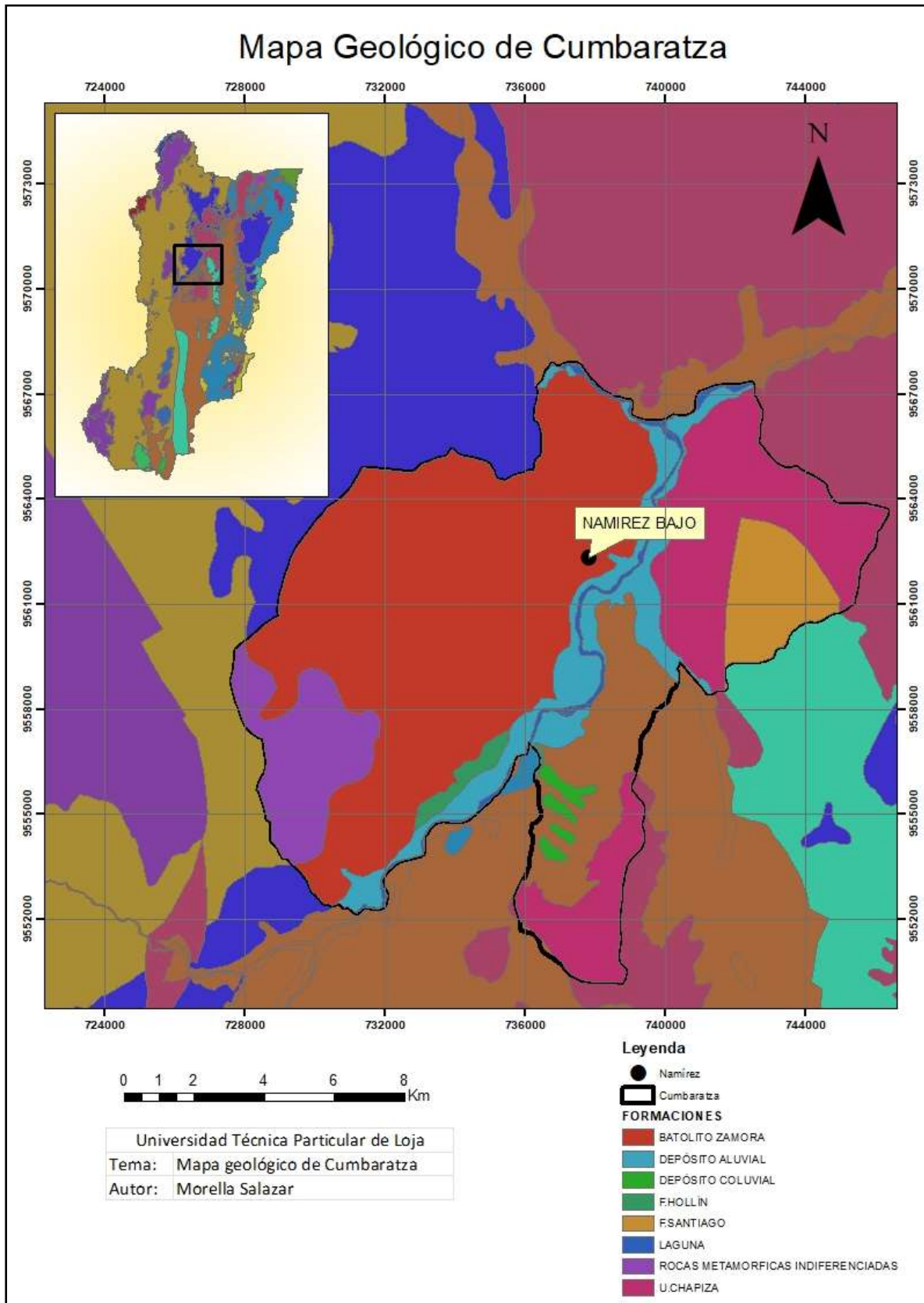
El [Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial \(2020\)](#) clasifica la litología de Cumbaratza en montañas escarpadas, fuertes colinados, pendientes moderadas con onduladas de 3° a más de 45°, además de riberas y montañas. En el sitio Namírez Bajo define un relieve llano y sus actividades son de mantenimiento de pastizales, cultivos y asentamientos.

2.7 Geología del sector

La zona de Zamora Chinchipe ([figura 3](#)) corresponde a la faja Subandina ubicada en el sureste del Ecuador conformada por la intrusión de batolitos tipo I, del arco continental Jurásico Zamora, con rocas prejurásicas, principalmente consta de rocas mesozoicas y cenozoicas de diferentes ambientes genéticos. ([Acosta & Feijoo, 2020](#))

Figura 3

Geología de Cumbaratza (Zamora Chinchipe), Ecuador



2.8 Formaciones

2.8.1 Formación Batolito de Zamora

Zamora es un complejo intrusivo con una longitud aproximadamente de 200 km x 50 km, dividido por las fallas La Canela y Nangaritza en dirección N – S, su litología varía desde granodioritas hornbléndicas, hasta intrusivos subvolcánicos granulados, la edad está entre 170 y 190 Ma, determinado como plutón tipo “I” como producto de un arco volcánico continental. ([Litherland et al., 1994](#))

2.8.2 Formación Hollín

Consiste en areniscas cuarzosas blancas de grano fino a medio, con estratificación cruzada y micro ondulaciones; dominan estratos métricos de areniscas de grano fino alternados con lutitas grafitosas; en la serie son comunes las impregnaciones bituminosas. En la vía Timbara - Tzunantza Alto se encuentra una escama tectónica de la Formación Hollín deformada, la serie yace en discordancia erosional sobre el Complejo Intrusivo de Zamora; su estratificación tiene dirección NNE con buzamiento al SSO, los afloramientos representativos se encuentran en ambos márgenes del río Nangaritza, el espesor calculado es de 150 a 200 m. ([Baby et al., 2004](#))

2.8.3 Formación Santiago

Se encuentra situada al este del sector, limitada por el intrusivo. En la parte de Guaysimi Alto afloran rocas sedimentarias, compuestas por una secuencia de calizas marinas de tipo silíceo en capas delgadas de color amarillo a negro con intercalaciones de lutitas, areniscas calcáreas, piroclastos, arcillas y pizarras oscuras; las calizas contienen capas y nódulos de cherts negro. ([Litherland et al., 1994](#)) La potencia de este sistema va de 1500 a 2700 m. La Fm. Santiago es básicamente pliegues y fallas.

2.8.4 Unidad Chapiza

Está constituida por una serie de sedimentos clásticos de tipo continental (areniscas y lutitas), recubiertos por calizas y depósitos de lava de la Formación Misahuallí. Depositados de un clima seco o desértico. ([Baby et al., 2004](#)) Con las fases volcánicas orientadas al norte,

la fuerza disminuye hacia el Oeste debido a la presencia de la Formación Santiago recubierta de cuarcitas de la Fm. Hollín. Se divide en tres capas denominadas:

- Chapiza Superior: Formada por lutitas, areniscas y conglomerados estratificados con tobas, además de leves horizontes de dolomitas.
- Chapiza Media: Constituye lutitas y areniscas de color rojo, sin intercalaciones de evaporitas.
- Chapiza Inferior: Conformada por lutitas y areniscas de varias coloraciones; presentando delgados horizontes de anhidrita, vetas de yeso y concreciones dolomíticas.

2.8.5 Depósitos Aluviales

Son el resultado de la fracturación, meteorización y transporte de minerales de yacimientos primarios, que se depositan debido al producto del arrastre de material del río ([Zhunio, 2017](#)); se compone principalmente de grava y arena. Contiene clastos de diversos tamaños con orígenes desde cantos rodados de 4 m de diámetro hasta arenas finas, que se ubican en los meandros y terrazas existentes a lo largo de ríos y quebradas.

2.8.6 Depósitos Coluviales

Aparecen al pie de la montaña como clastos redondos, separados de los picos más altos por la influencia de las condiciones climáticas y ubicados a ambos lados de los ríos y arroyos al pie de la montaña.

Capítulo tres

Marco teórico

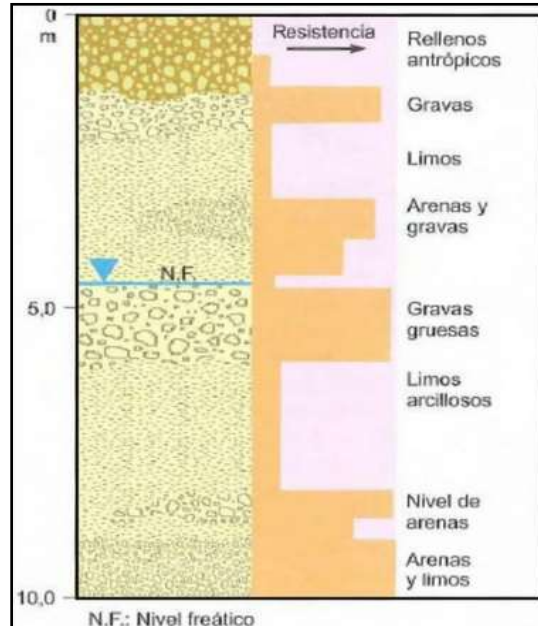
3.1 Depósitos Aluviales

[Zhunio \(2017\)](#) menciona que las terrazas aluviales auríferas de ríos se realizan a cielo abierto mediante cortes paralelos al eje del río, aplicando los siguientes pasos: desbroce, desencape, destape, extracción de grava aurífera, lavado de la grava aurífera, concentración gravimétrica y recuperación de las terrazas explotadas. Posterior a ello se extrae la grava estéril que no tiene oro y después el material de gravas auríferas para su lavado.

[Ayala \(2018\)](#) nombró a los elementos que componen los depósitos aluviales como arcillas, arenas, gránulos, cantos y bloques de formas muy variables desde angulosas a redondeadas ([Figura 4](#)), anisótopos y de una continuidad irregular, nivel freático alto que puede contener mucha materia orgánica.

Figura 4

Depósitos aluviales (nivel freático)



Nota: Elementos que se encuentran en los depósitos aluviales en relación con el nivel freático, por [Ayala \(2018\)](#).

3.2 Minería artesanal y el impacto que causa

Es una actividad que se caracteriza por la informalidad; el empleo de mano de obra, especialmente la no calificada; falta de planificación; bajo capital; escasa tecnología; baja productividad; mínima cultura ambiental y alta contaminación.

En la provincia de Zamora Chinchipe es normal extraer oro aluvial, los mineros se enfrentan a diferentes peligros debido a que no cuentan con la seguridad laboral necesaria, así como al finalizar la explotación abandonan la zona sin tener reparos ambientales, ha inducido a la reactivación de la minería fluvial por métodos aluviales, pero no necesariamente autorizada por la ley, la maquinaria, destruye riberas y playas de ríos para la extracción de oro, y no tienen ningún tipo de plan para reactivar ([Chang, 2013](#)).

[Lobe \(2018\)](#) afirma que el impacto causado por la minería artesanal es el movimiento terrestre durante la extracción de los recursos mineros, alarmante para la topografía de la zona y que la exploración ha mejorado gracias al avance tecnológico, pero no puede ser aprovechada debido a la gran inversión; así mismo, el uso de mercurio para amalgamar el oro puede causar una pérdida importante de la sustancia y liberarla al medio ambiente en forma líquida o gas.

3.3 Concentración gravimétrica

El [Ministerio de Minas y Energía & Servicio Geológico Colombiano \(2018\)](#) define la concentración gravimétrica como la separación de dos o más especies de minerales con diferente peso específico, debido al movimiento relativo de los sólidos en el agua o el aire cuando reaccionan con las fuerzas gravitacionales de arrastre y empuje.

Este método es el mejor para la extracción porque: no utiliza reactivos, solo trata el agua que puede reciclarse después de la clarificación; generalmente fácil de manejar porque se requiere de una persona para control; tiene bajos costos de operación y sirve para una gran variedad de minerales (oro, tungsteno, tantalita, casiterita, sulfuro, etc.), debido al empleo de una variedad de equipos de todo tamaño y capacidad, la [tabla 1](#) presenta el rango aplicabilidad en la mesa vibradora. ([Concha, 2007](#))

Tabla 1

Rango de operación del equipo de concentración gravimétrica

Equipo	Granulometría de separación "oro"
Mesa Vibradora	0#-200# (0.85 - 0.075 mm)

Nota: Adaptada de [\(Tejerina, 1996\)](#) "Concentración de oro"

3.4 Mesa Vibradora

Se utiliza para separar minerales de diferentes densidades de tres corrientes: concentrado (oro libre), medios y colas (bajo contenido de oro).

[Pávez \(2005\)](#) alude "el material concentrado que contiene minerales de mayor peso específico o tamaño, en el caso de clasificación sería oro libre y no requiere tratamiento adicional. Los medios poseen partículas de mediano tamaño y las colas se encuentran compuestas por partículas muy finas, pero podría contener partículas muy finas de materias pesadas como el oro", la mesa vibradora presenta ciertas ventajas y desventajas como se observan en la [tabla 2](#).

Tabla 2

Mesa Vibradora

Equipo	Ventajas	Desventajas
<p>Mesa concentradora</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos de producción. • Recuperación de más de un mineral valioso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de instalación. • Requiere supervisión continua.

Nota: Adaptado de [\(Rivera, 2017\)](#)

3.5 Método del bórax y daños causados

Describe un mejor método para la concentración de oro en la mena sin emplear mercurio, a fin de que esta pueda fundirse directamente (con bórax o con otro fundente). El bórax no es un sustituto directo del mercurio en el proceso de extracción del oro, sino que se

utiliza en otro proceso, la fundición. Para obtener un material de alta calidad, se debe operar en conjunto con otros métodos, como por ejemplo la concentración gravimétrica y posteriormente el uso del bórax ([ONU medio ambiente et al., 2018](#)) la relación entre el mineral y el bórax es de 1:1 para la preparación de fundición directa.

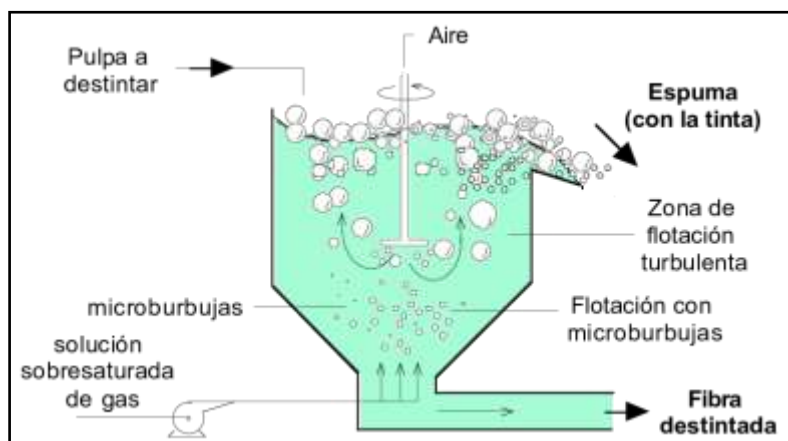
El bórax es un compuesto de baja toxicidad para la salud humana y poco impacto en el ecosistema, ya que no se acumula en el medio ambiente, de esta forma, se puede separar del oro por medio del bórax, el cual tiene grandes ventajas porque puede mejorar la calidad de vida y las condiciones ambientales; el bórax es un compuesto que puede ser consumido en pequeñas cantidades por los humanos, lo necesario para la extracción. Presenta bajos costos y es accesible en el mercado, lo que lo hace una muy buena alternativa para los mineros. ([Moreno & Rojas, 2019](#))

3.6 Flotación y reactivos empleados

Este proceso aprovecha las diferentes propiedades químicas de las superficies minerales para crear un concentrado (sustancia espumosa) en forma de burbujas con jabón u otros productos químicos en la pulpa de mena (formado a partir de agua y mineral finamente molido). Estas espumas forman un burbujeo ([figura 5](#)) que se recolecta en la parte superior del tanque, se recoge de la superficie y se seca para formar un concentrado, que luego puede procesarse localmente o ceder a otros procesadores. ([ONU medio ambiente et al., 2018](#))

Figura 5

Características del equipo de flotación



Nota: Representa la posibilidad de dos tipos de flotación: el tipo

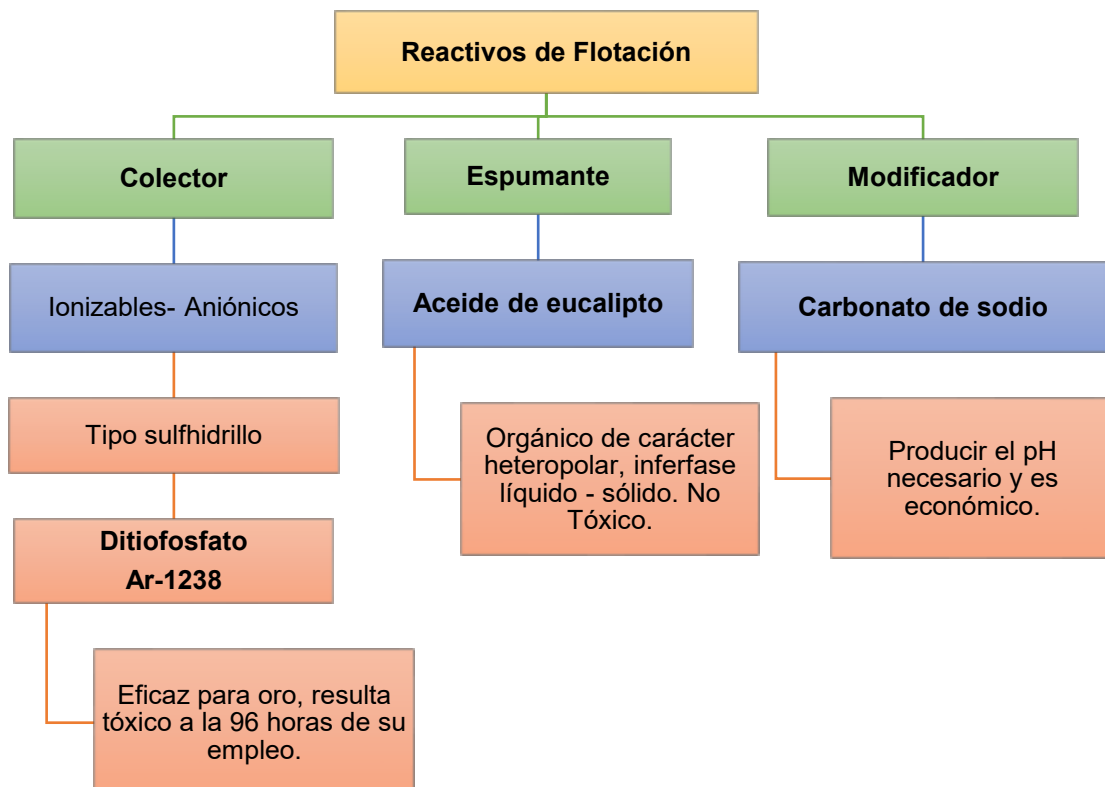
convencional y el tipo microburbujas, (Bullón et al., 2007).

Estos tienen fines específicos y se los clasifica en la siguiente forma, como indica Zambrano (2014), y se pueden visualizar en la tabla 3:

- **Colectores:** Tiene como finalidad la hidrofobización selectiva de las superficies minerales, creando adherencia a las burbujas de aire, disminuyendo la humectación, aumentando el ángulo de contacto con las burbujas. Se usó el Ditiofosfato Ar-1238.
- **Espumantes:** Requiere la introducción de agentes orgánicos que son sustancias tensoactivas heteropolares que pueden absorberse en la interfaz agua y aire, lo que provoca la espumación y la flotación. Se aplicó el aceite de eucalipto.
- **Agentes de modificación:** Prepara las superficies minerales para la adsorción o desorción de un determinado reactivo sobre ellas y producir una pulpa las condiciones propicias para realizar una buena flotación.

Tabla 3

Caracterización de reactivos empleados en flotación



3.7 Fundición directa

Proceso final para separar el oro y otros metales del concentrado de la mena (fundición directa), o para aumentar la pureza de una porción de esponja de oro. El concentrado o esponja se funde con la ayuda de un fundente como el bórax, que reduce la temperatura de fusión de minerales no metálicos, permitiendo así que los líquidos se fraccionen por densidad. Después, este líquido es colado en un bullion o doré. ([O'Neill & Telmer, 2017](#))

Capítulo cuatro

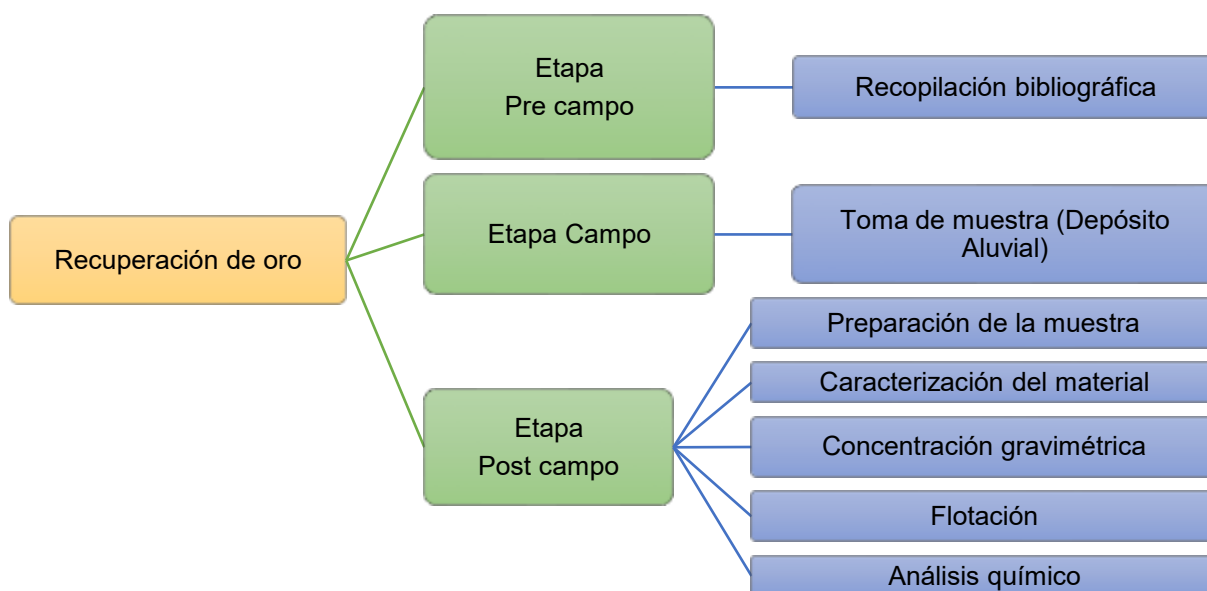
Metodología experimental

4.1 Fases empleadas en el material aluvial

La metodología empleada para el trabajo de fin de titulación constó de las siguientes fases, [figura 6](#): recopilación bibliográfica, preparación de la muestra, caracterización del material, concentración gravimétrica, flotación y análisis químico.

Figura 6

Esquema sobre las fases empleadas en la recuperación de oro en material aluvial



4.2 Recopilación Bibliográfica

Consiste en la fase inicial del trabajo de fin de titulación, que incluye la búsqueda de material bibliográfico para apoyar la investigación, la recopilación de información relevante a través de libros, artículos científicos, trabajos de investigación, etc. Permitiendo una argumentación fácil de entender, resumida y relevantes sobre la zona de estudio.

4.3 Muestreo

Para la etapa de campo, se realizaron varios viajes al sector de Namírez Bajo en Cumbaratza, provincia de Zamora, referenciado en el Datum WGS 84, UTM, ZONA 17 (X=739345; Y=9562095; Z=835 msnm), para la recolección IN SITU aproximadamente de 20

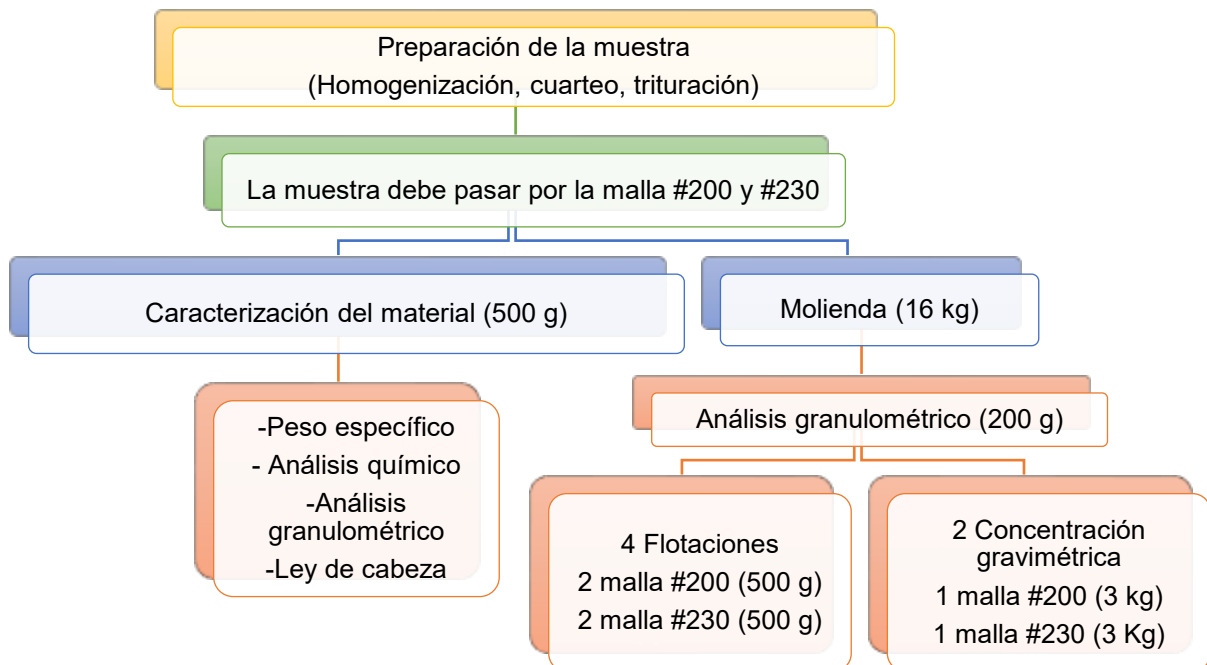
kg de material aluvial, previa autorización de los lugareños y personas que estaban en actividad minera.

4.4 Preparación de la muestra

Para llevar a cabo la práctica del trabajo final, se utilizó los laboratorios del Departamento de Geociencias de la Universidad Técnica Particular de Loja, para realizar las pruebas metalúrgicas como es la preparación de la muestra, caracterización del material, concentración gravimétrica, flotación, ensayos al fuego, descritos en la [figura 7](#).

Figura 7

Esquema del proceso que se realizó en el laboratorio de la UTPL



4.4.1 Homogenización y cuarteo

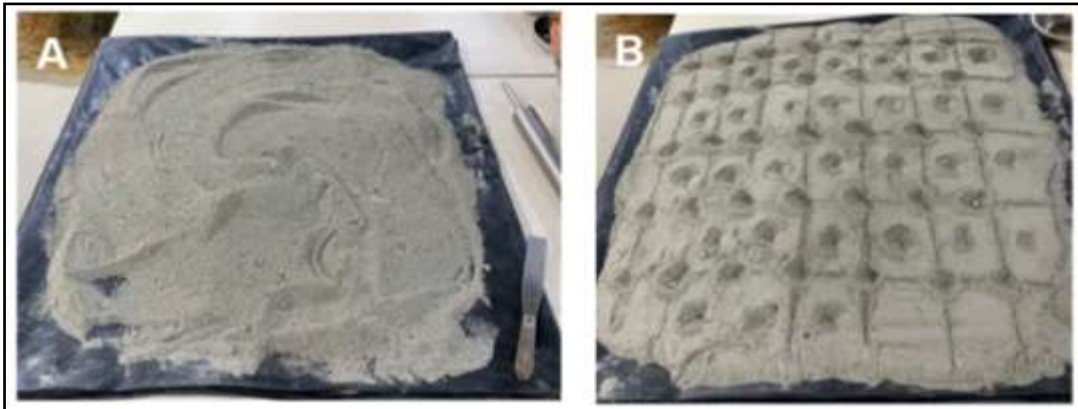
El material aluvial obtenido del sector de Namírez Bajo, fue homogenizado con el fin de obtener muestras representativas de todo el material para flotar y concentrar graviméricamente.

Homogenizar: Utilizamos el proceso del roleo, extendiendo con una espátula toda la muestra por el plástico de manera que se distribuya todo de manera uniforme, [figura 8 \(a\)](#).

Cuarteo: Se realiza en el material homogenizado cuadrículas aproximadamente de 10 cm x 10 cm, [figura 8 \(b\)](#), de la cual se obtuvo una porción de material para llevar a molienda (16.7 kg) en total y realizar la caracterización de esta.

Figura 8

A) Homogenización del material; B) Cuarteo y toma de una porción del material

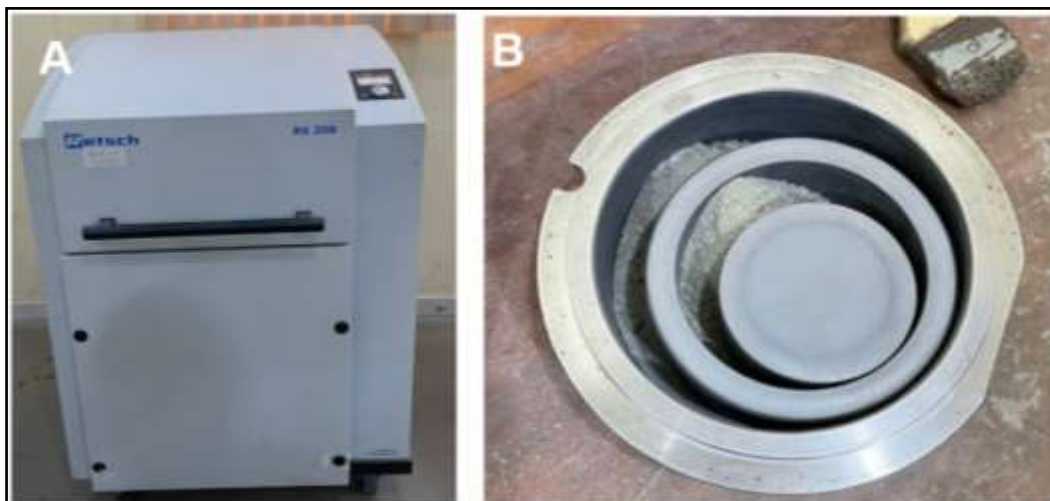


4.4.2 Pulverización

Para esta etapa se utilizó el equipo Retsch Modelo RS200 [\(figura 9\)](#) para reducir el tamaño de las partículas y realizar los ensayos (peso específico, análisis mineralógico por Difracción de Rayos X (DRX), análisis químico por Fluorescencia de Rayos X (FRX), ley de cabeza) con mayor efectividad para la obtención de los resultados deseados, basándose en la técnica descrita.

Figura 9

A) Pulverizadora marca Retsch modelo RS200; B) Muestra en disco de la pulverizadora



4.5 Caracterización del material

4.5.1 Peso específico

Se utilizó el método del picnómetro ([figura 10](#)) que nos permitió determinar la relación entre el peso y el volumen. Para obtener resultados confiables y representativos, se elaboró tres veces el ensayo.

La fórmula que se empleó para este método es:

$$r = \frac{P_2 - P_1}{(P_3 - P_1) - (P_4 - P_2)}$$

Donde:

P_1 : Peso del picnómetro vacío.

P_2 : Peso del picnómetro + muestra.

P_3 : Peso del picnómetro + agua.

P_4 : Peso del picnómetro + muestra + agua.

El procedimiento y cálculos se encuentra desarrollados en el [Apéndice A](#) en la determinación del peso específico.

Figura 10

Método del picnómetro para determinar el peso específico



4.5.2 Análisis granulométrico

Nos permitió determinar el tamaño de grano que tiene el material. Para realizar la práctica, se trabajó con la variación de dos tamaños pasantes por el tamiz #200 y #230.

Se utiliza el vibrotamiz RESTCH ([figura 11](#)), con la serie de tamices completa ordenada con las mallas 10, 18, 35, 60, 120, 200, 230, 325 y 400 ([tabla 4](#)).

Tabla 4

Serie y aberturas de tamices

Número de malla	Tamaño (μm)
10	2000
18	1000
35	500
60	250
120	125
200	75
230	63
325	45
400	38

El equipo de ultrasonido nos sirve para limpiar los tamices más finos (60, 120, 200, 325 y 400) durante un periodo de 5 minutos. El procedimiento se encuentra descrito en [Apéndice B](#) denominado granulometría.

Figura 11

Granulometría en seco



4.5.3 Análisis mineralógico a través del microscopio

Para determinar la composición mineralógica de la muestra aluvial de Namírez Bajo se realizó un análisis a través del microscopio. Con el Microscopio Motic SMZ 168 y la ayuda de una cápsula de Petri.

Procedimiento:

- De la muestra inicial, homogenizada y cuarteada, se lavó y seco 100 g en el horno tratando de mejorar la visión microscópica. Una vez efectuado este proceso, se llevó esta porción a una cápsula Petri. Con la ayuda del Microscopio Motic SMZ 168, se ejecutó el análisis mineralógico presente en la muestra.

4.5.4 Análisis mineralógico mediante Difracción de Rayos X (DRX)

Con una porción mínima (10 g) se realizó un análisis para determinar la composición mineralógica del material, a través de la interacción de la estructura cristalina de un sólido con una fuente de Rayos X. A través del Difractómetro de Rayos X marca BRUKER modelo D8 y el software denominado Eva DifraPlus.

Procedimiento:

- Se pulverizó 100 g de la muestra para efectuar los ensayos de caracterización de material, para este proceso se utilizó solamente 10 g, que se guardó en un tubo de ensayo plástico para su análisis.

4.5.5 Análisis químico por Fluorescencia de Rayos X (FRX)

Esta técnica nos permite identificar la composición química y/o elemental de la muestra a través del equipo de Fluorescencia de Rayos X marca Bruken.

Procedimiento:

- Con un porcentaje de la muestra pulverizada, se colocó en un recipiente para llevar a la parte superior del equipo de Fluorescencia de Rayos X para que realice las lecturas. Se cumplió con las lecturas a través del método Mining Light Elements [\(figura 12\)](#).

Figura 12

Espectrómetro de FRX marca

BRUKER modelo S1 TURBO SD



4.5.6 Molienda

Este proceso se realizó en el molino de bolas [\(figura 13\)](#) con el fin de obtener el tamaño deseado para los procesos de flotación y concentración gravimétrica, es decir que

pasen por la malla #200 y #230. El procedimiento se encuentra explicado en [Apéndice B](#) denominado molienda.

Figura 13

Molino de bolas de acero



4.6 Proceso de Flotación

Es un proceso fisicoquímico de concentración para separar minerales, mediante reactivos (colector, espumante y modificadores) e inyección de aire con la celda de flotación.

4.6.1 Metodología de Flotación

Se realizaron cálculos de dosificación de reactivos y disoluciones en los que se utilizó como colector el Ditiofosfato AR-1238, espumante el aceite de eucalipto y como depresor el carbonato de sodio. Las variables que se consideraron son el tamaño de grano correspondiente a la malla #200 y #230, manteniendo un pH de 7. Se realizó el ensayo en el equipo de flotación Denver ([figura 14](#)) y finalmente, se ejecutaron los porcentajes de recuperación de cada ensayo ([figura 15](#)). El procedimiento se encuentra detallado en [Apéndice C](#).

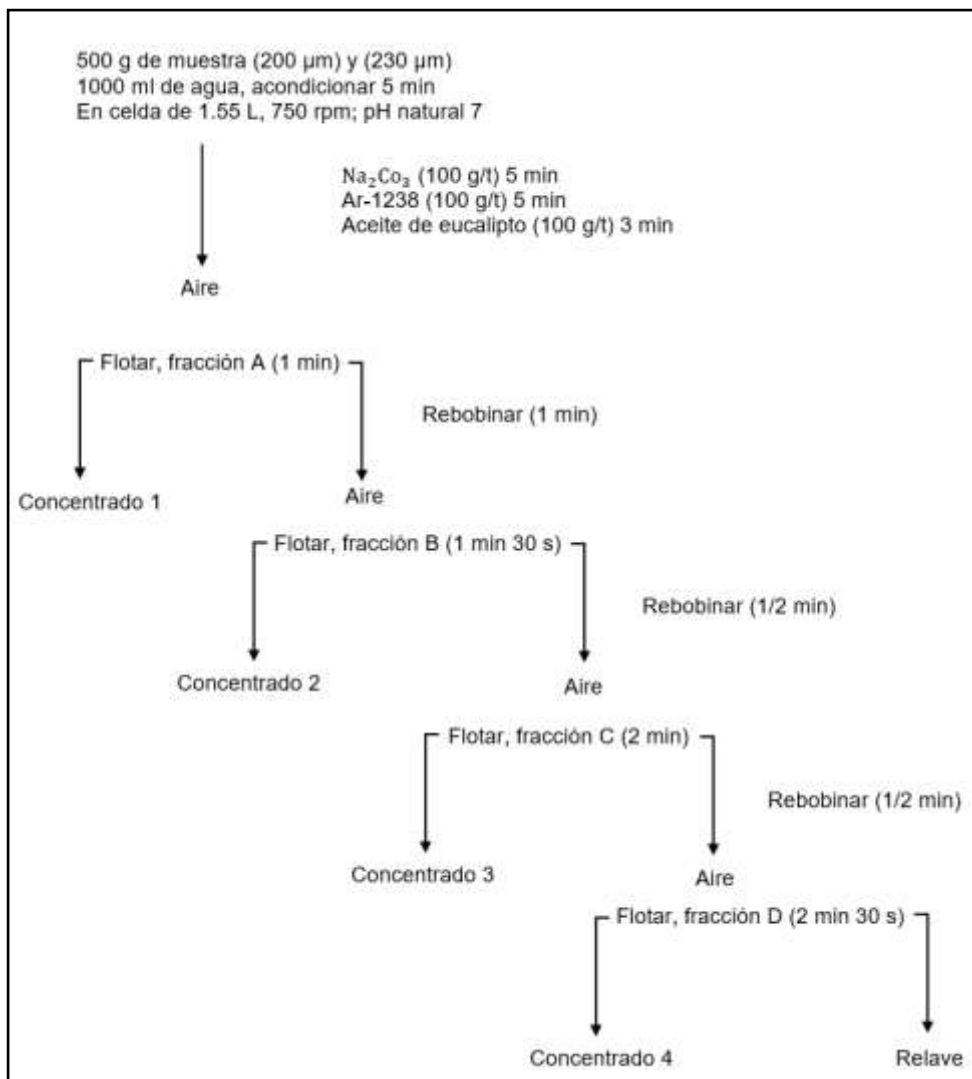
Figura 14

Equipo de Flotación Denver



Figura 15

Esquema del procedimiento de Flotación

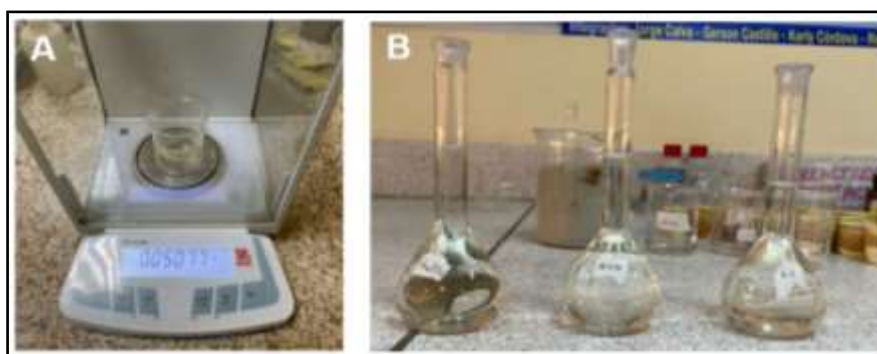


4.6.2 Dosificación de reactivos

La mineralogía del material a flotar nos permite elegir los reactivos para dosificar con el fin de recuperar la mayor cantidad de oro presente. Para cada ensayo se tomó en cuenta los pesos para posterior disolverlos en balones de 100 ml ([figura 16](#)). Las tablas se encuentran explicados en [Apéndice D](#).

Figura 16

A) Peso de los reactivos; B) Reactivos aforados en balones de 100 ml



Para la dosificación se utilizó los siguientes reactivos ([tabla 5](#)) con los tiempos de recolección de cada uno, esto para la malla #200 y #230.

Tabla 5

Dosificación de reactivos para recuperación de oro con colector AR-1238, malla 200

MALLA #230								
OPERACIÓN	Tiempo	pH	COLECTOR		ESPUMANTE		DEPRESOR	
			AR-1238		Aceite de eucalipto		Carbonato de Sodio	
			Dosificación de reactivo (g/t)	Volumen de aforo (ml)	Dosificación de reactivo (g/t)	Volumen de aforo (ml)	Dosificación de reactivo (g/t)	Volumen de aforo (ml)
Acondicionamiento	5	7	-	-	-	-	-	-
	10	7	-	-	-	-	250	100
Acondicionamiento	5	7	100	100	-	-	-	-
Acondicionamiento	3	7	-	-	100	100	-	-
Flotación A	1	7	-	-	-	-	-	-
Acondicionamiento	1	7	-	-	-	-	-	-
Flotación B	1.5	7	-	-	-	-	-	-
Acondicionamiento	1	7	-	-	-	-	-	-
Flotación C	2	7	-	-	-	-	-	-
Acondicionamiento	1	7	-	-	-	-	-	-
Flotación D	2.5	7	-	-	-	-	-	-
			100	100	100	100	250	100

4.7 Concentración gravimétrica

La prueba metalúrgica ([figura 17](#)) se concentró en dividir el mineral en tres tamaños de grano diferente a una sola frecuencia. Para ello se manejó la mesa vibratoria ([figura 18](#)) El procedimiento se encuentra detallado en [Apéndice E](#).

Figura 17

Diagrama de la prueba metalúrgica en mesa vibratoria

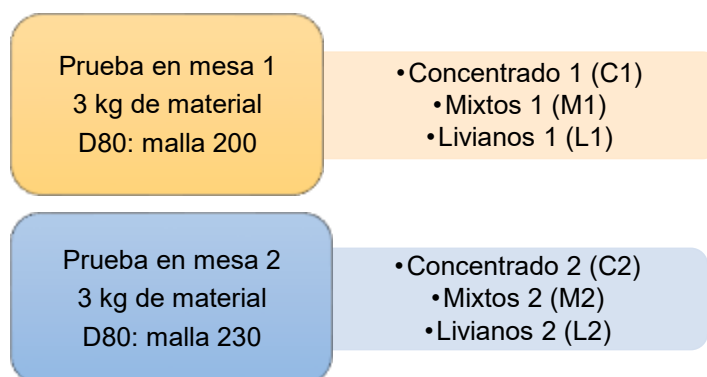


Figura 18

Material en la mesa vibratoria



4.8 Análisis al fuego

Es una técnica analítica, que permitió determinar la cantidad de oro (metal precioso) conformado en el material por medio de altas temperaturas y con reactivos fundentes (flux, bórax).

4.8.1 Fusión

Mediante este proceso se funde la muestra con una carga fundente de flux y harina (tabla 6), adicionalmente se le agregó una capa extra de bórax, figura 19 (a-b). Esta mezcla se colocó en un crisol y se introdujo en el horno a 1000 °C durante 1 h, figura 19 (c) con el fin de obtener un régulo, formado por plomo. Más detalles en el [Apéndice F](#).

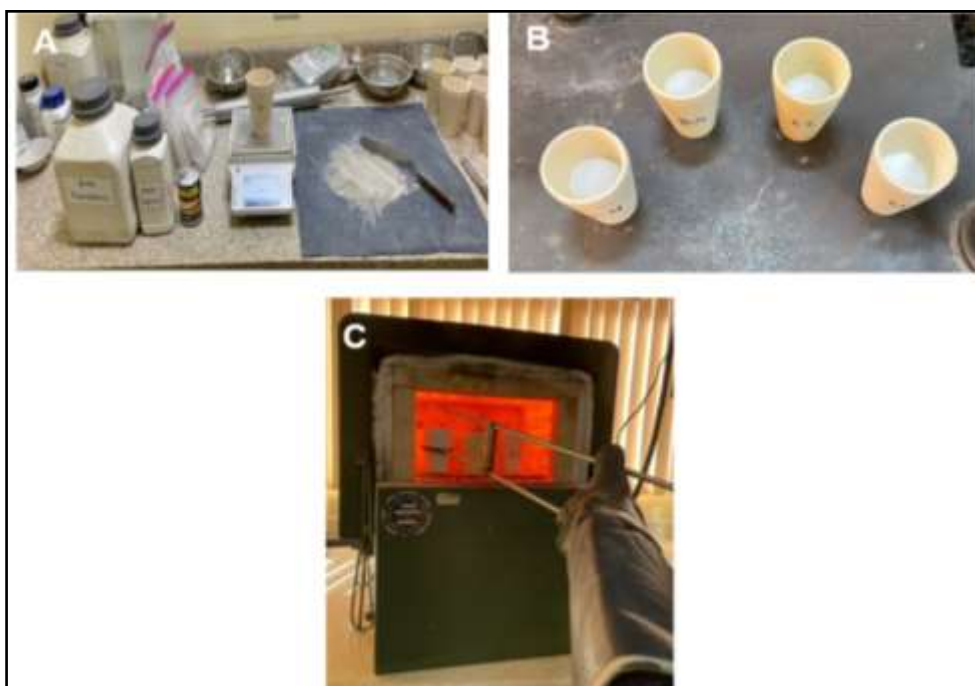
Tabla 6

Componentes químicos para el análisis de fusión

Muestra	Flux	Harina
30 - 35 g	100 g	3 g

Figura 19

A) Preparación de la muestra; B) Capa extra de bórax; C) Introducción de los crisoles a la mufla de fusión

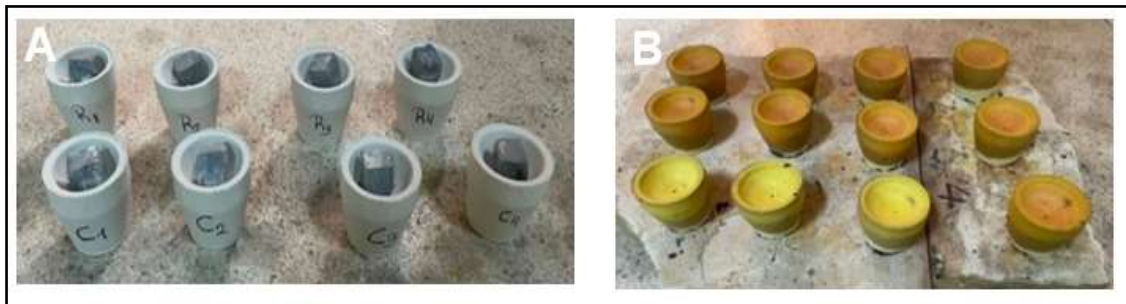


4.8.2 Copelación

Separa el colector (plomo), figura 20 (a) de los metales en la mufla a una temperatura de 900 °C, aproximadamente por 2 horas dando con resultado del doré, figura 20 (b). Ver [Apéndice F](#) para más detalles.

Figura 20

A) Regulo de plomo en el crisol; B) Copelas después de la copelación con el resultante del doré



4.8.3 Digestión y cuantificación de oro

Este método es utilizado para separar la plata del oro, cuando es demasiado pequeño del doré y no da peso en la balanza, se utiliza la plancha térmica junto a la combinación de ácidos, [figura 21](#). El proceso se explica en el [Apéndice G](#).

Figura 21

Plancha térmica con los crisoles
y la solución

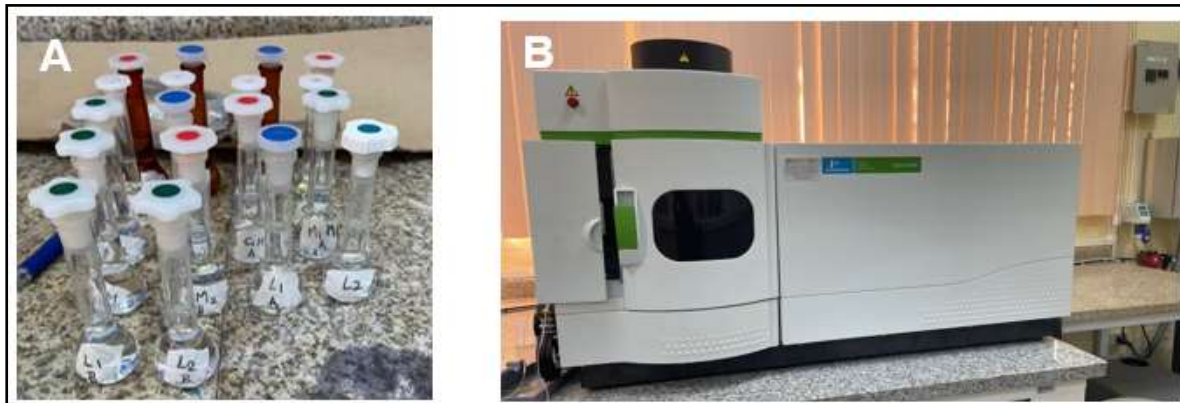


4.8.4 Análisis de Absorción Atómica

Posterior a la digestión, la mezcla se colocó en balones aforados y etiquetados, [figura 22 \(a\)](#) y se procedió analizar las muestras mediante el equipo Analyst 400 modelo PerkinElmer, [figura 22 \(b\)](#) con el programa WinLab 32 AA Flame. La descripción del proceso está detallada en [Apéndice H](#).

Figura 22

A) los balones de 10 ml aforados; B) La muestran en el equipo de Aanalyst 400 modelo PerkinElmer



4.9 Fusión directa con bórax

La relación entre el mineral y el bórax es de 1:1, [figura 23 \(a\)](#) para la preparación de fundición directa, mediante el concentrado resultante del ensayo en la mesa vibradora, se mezcló en una de olla de barro, [figura 23 \(b\)](#). Se efectuó la fusión manteniendo la llama del soplete de gas en la mezcla, [figura 23 \(c\)](#) durante 45 minutos para obtener el resultado deseado, [figura 23 \(d\)](#). Detalles en el [Apéndice I](#).

Figura 23

A) *Peso de mineral con el bórax; B) Mezcla en la olla de barro; C) Fundición directa con bórax; D) Resultado después de 45 min*



Capítulo cinco

Resultados y análisis

5.1 Peso específico del material aluvial

El ensayo se repitió tres veces con el método del picnómetro, dándonos un promedio de 2.55 g/cm³ ([tabla 7](#)). Los cálculos se encuentran desarrollados en el [Apéndice J](#).

El peso específico es una de las características principales del oro, debido a que se aprovecha en la explotación de placeres auríferos (recuperación gravimétrica), el oro varía de 15,6 a 19,3 g /cm³ cuando está puro. ([Santos, 2015](#))

Tabla 7

Resultados del análisis de peso específico

Peso específico del mineral γ (g/cm ³)			
Ensayo 1 (γ_1)	Ensayo 2 (γ_2)	Ensayo 3 (γ_3)	Promedio (γ_t)
2.74	2.5	2.41	2.55

5.1.1 Análisis microscópico

En la [tabla 8](#), se muestran los minerales con mayor porcentaje y su fórmula química. Así mismo en la [figura 24](#) se muestra el material aluvial visto desde el microscopio.

Tabla 8

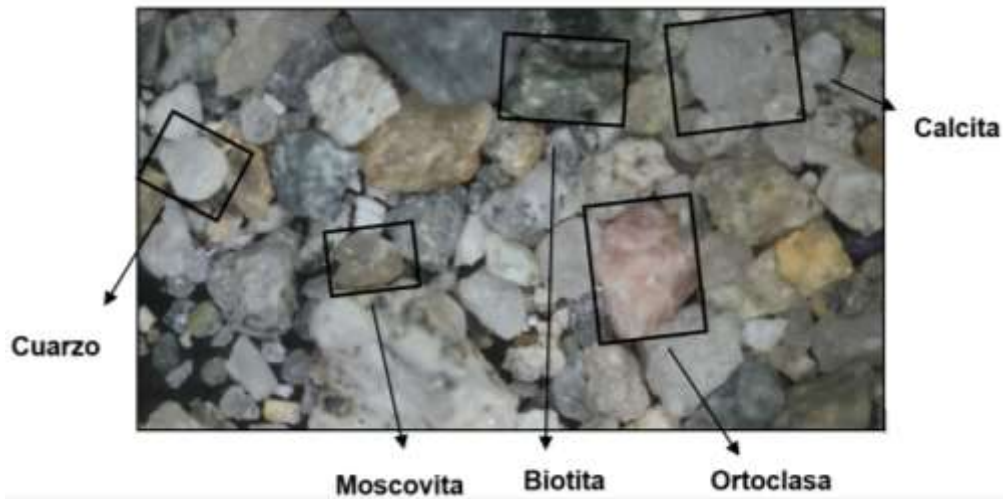
Minerales observados en microscopio con su fórmula química

y porcentajes ordenados de mayor a menor

Mineral	Formula química	Porcentaje (%)
Ortoclasa	KAlSi ₃ O ₈	50
Biotita	K (Mg, Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH, F) ₂	15
Moscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀) (OH) ₂	15
Cuarzo	SiO ₂	10
Calcita	CaCO ₃	10

Figura 24

Análisis mineralógico de la muestra del material aluvial, visto desde el microscopio



5.1.2 Difracción de Rayos X

Con el software EVA DifraPlus se analiza e interpreta los resultados de la muestra de difracción, [figura 25](#) para establecer los minerales existentes, descritos en la [tabla 9](#).

Figura 25

Resultados de Difracción de Rayos X

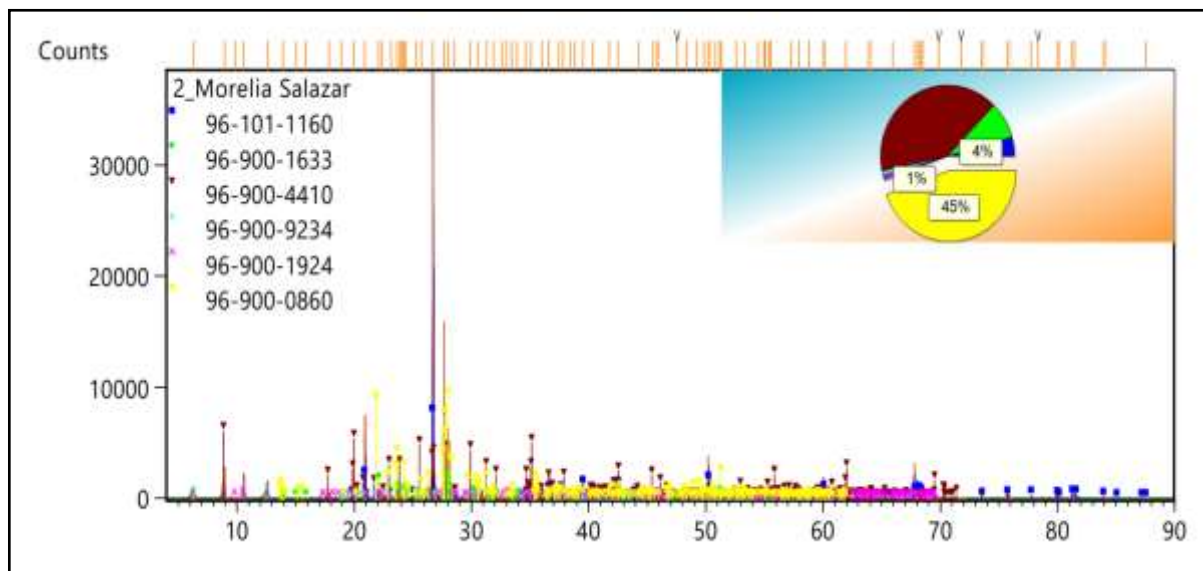


Tabla 9

Minerales descubiertos por análisis de Difracción de Rayos X

Mineral	Fórmula química	Porcentaje (%)
Anortoclasa	(Na, K) AlSi ₃ O ₈	45
Moscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀) (OH) ₂	41
Albita	NaAlSi ₃ O ₈	8
Cuarzo	SiO ₂	4
Chamosita	(Fe ²⁺ , Mg, Al, Fe ³⁺) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH, O) ₈	1
Actinolita	Ca ₂ (Mg, Fe ²⁺) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	1

5.1.3 Fluorescencia de Rayos x

En la [tabla 10](#) se describen los valores obtenidos al realizar el ensayo de Fluorescencia de Rayos X por el método Mining Light Elements, se encontró un porcentaje mayor del 62.2 % en el cuarzo (SiO₂) y menor cantidad en el azufre (S) con 0.0365 %.

Tabla 10

Composición química de elementos mayoritarios

Mining Light Elements	
Elemento	%
SiO ₂	62.2
Al ₂ O ₃	17.2
Fe ₂ O ₃	2.448
CaO	1.69
K ₂ O	1.3
SiO ₂	0.373
MnO	0.0981
Cr ₂ O ₃	0.0532
S	0.0365

5.1.4 Periodos de molienda

Con el fin de determinar el tamaño de grano para el material, se realizó dos ensayos ([tabla 11](#)) con diferentes tiempos hasta obtener la granulometría deseada.

Tabla 11

Tiempos de molienda en función al tamaño de grano

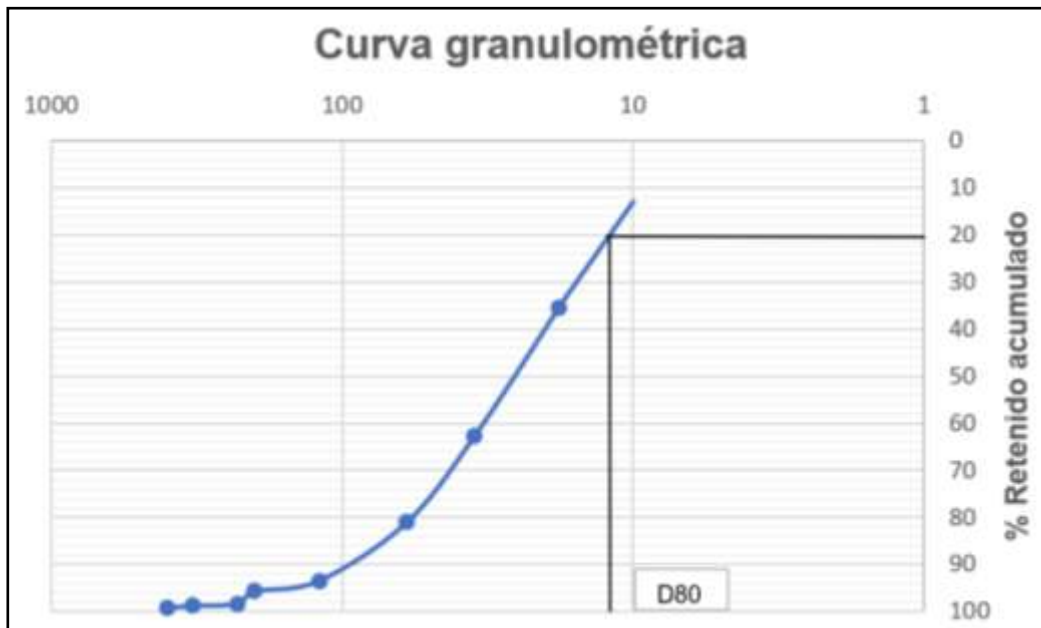
Periodo de molienda	D80 (μm)	N.º malla
1 h 30 min	75	200
2 h	63	230

5.1.5 Análisis granulométrico

Se realizó tres ensayos de análisis granulométrico, el primero con el material inicial, dando como resultado el D80. Detalles disponibles en el [Apéndice K](#).

Figura 26

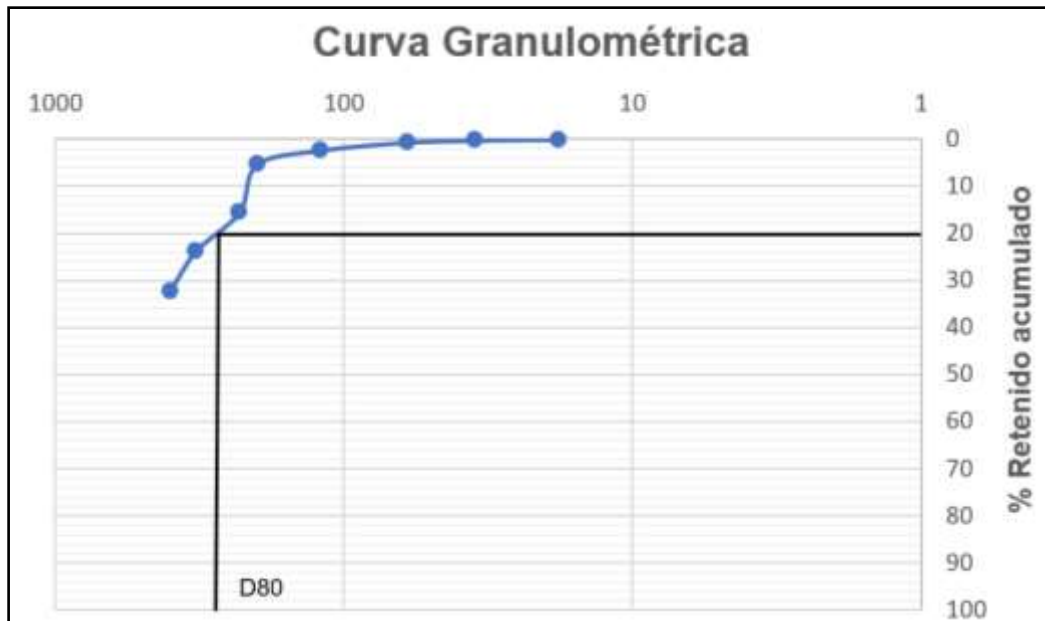
Material antes de molienda



Al iniciar el ensayo se realizó una prueba de granulometría con el material inicial, dando como resultado un D80 de 2000 μm perteneciente a la malla 10 ([figura 26](#)).

Figura 27

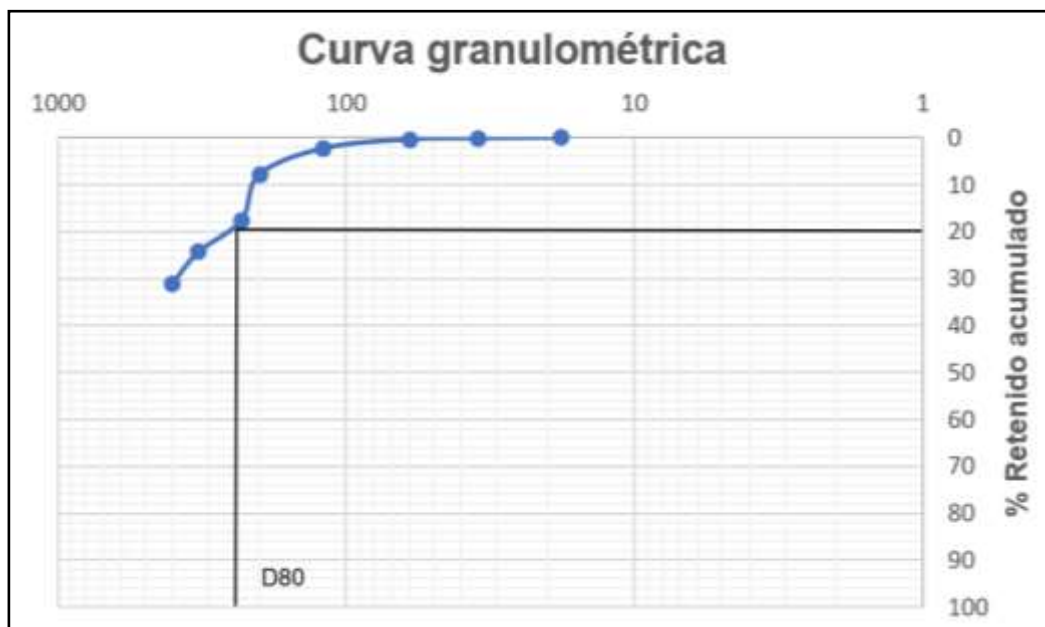
Granulometría al moler durante 1 h 30 min el material



Al aplicar una molienda de 1 h 30 min nos facilitó como resultado un D80 con el tamaño de 63 μm, es decir que pasa por la malla 230 ([figura 27](#)).

Figura 28

Granulometría al moler duran 2 h



Y finalmente al aplicar una molienda de 2 h, proporcionó un resultado del D80 con un tamaño de 75 μm, es decir que pasa por la malla 200 ([figura 28](#)).

5.2 Ley de Cabeza

Para determinar la ley de cabeza de Au se realizó un ensayo al fuego, con un resultado muy bajo de Au de 0.036 g/t ([tabla 12](#)). Los cálculos se encuentran desarrollados en el [Apéndice L](#).

Tabla 12

Datos de la ley de cabeza de Au

Muestra	Peso (g)	Lectura ICP	Volumen de aforo (L)	Ley de oro (g/t)
1	30	0.111	0.01	0.037
2	30	-	-	0.036

5.3 Pruebas metalúrgicas de flotación

El cálculo de la Ley de Au en flotaciones se encuentra disponible en el [Apéndice M](#). Las flotaciones se realizaron de manera duplica, con el fin de comprobar la fiabilidad de los resultados, para ellos se trabajó en los tamaños de grano 75 μm (#200) y 63 μm (#230), mediante la dosificación de reactivos ([Apéndice N](#)), con un pH constante de 7. La cantidad de material aluvial utilizado fue de 500 g y 1000 ml de agua (para cada flotación).

La [tabla 13](#) describe el balance metalúrgico de este ensayo ([Apéndice O](#)), dando como resultado solo en la tercera flotación un resultado de 14.46 %, por lo que en las demás pruebas no se obtuvo un doré de los relaves, lo que impidió el desarrollo de cálculos.

Tabla 13

Balance metalúrgico de flotación

N. ° Ensayo	N. ° de tamaño	N. ° de malla	PH	Ley Au concentrado (g/t)	Ley Au Relave (g/t)	Balance (mg Au)	Rendimiento (%)
1	63 μm	230	7	0.076	-	0.0181	-
2	63 μm	230	7	0.055	-	0.0181	-
3	75 μm	200	7	0.296	0.394	0.0181 \neq 0.1840	14.46%
4	75 μm	200	7	0.187	-	0.0181	-

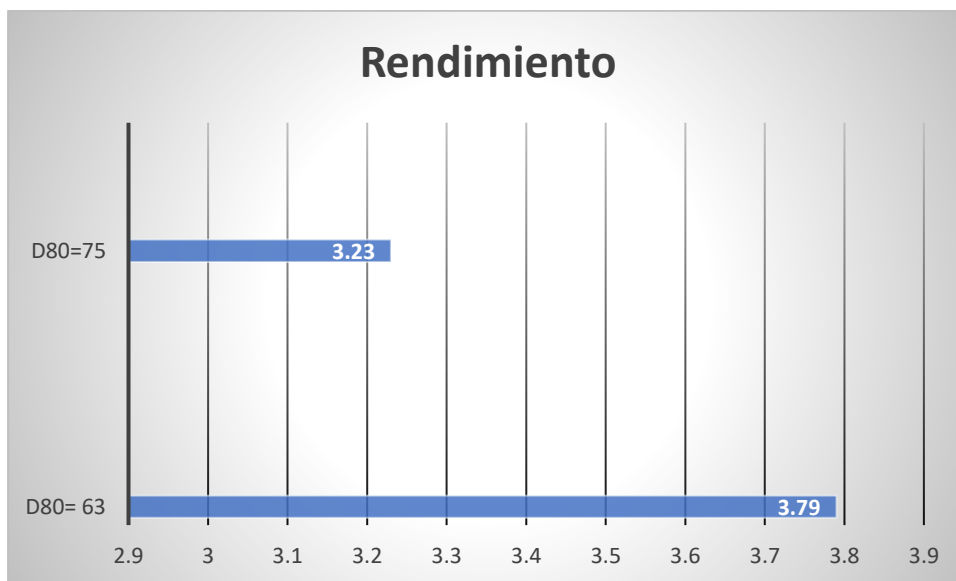
5.4 Prueba metalúrgica en mesa vibratoria

La concentración gravimétrica en mesa se llevó a cabo en los tamaños de malla #200 y #230, con una alimentación de 3 kg de material, del cual se obtuvo (concentrado, mixto y livianos).

Tabla 14

Balance metalúrgico de la etapa de recuperación

N. ° tamaño	Producto	Masa		Oro	Rendimiento
		g	%	g/t	
D80= 63	Cc 1	335.1	12.18	0.187	3.79
	Mixtos 1	1857.2	67.51	0.824	
	Livianos 1	558.55	20.30	0.059	
	Total (Cabeza)	2750.85	100.00	1.07	
		Masa		Oro	
	Producto	g	%	g/t	
D80=75	Cc 2	305.35	10.61	0.1	3.23
	Mixtos 2	1723.35	59.86	0.098	
	Livianos 2	850.35	29.54	0.09	
	Total (Cabeza)	2879.05	100.00	0.288	
			Rendimiento total		7.02

Figura 29*Rendimiento de recuperación de Au acumulado*

La etapa de concentración de rendimiento total en las diferentes mallas presentó un porcentaje de 7.02 de oro ([tabla 14](#)) en el tamaño de 75 μm (#200) un porcentaje de 3.23 y en la 63 μm (#230) 3.79 % como se visualiza en la [figura 29](#), considerando una baja recuperación, posiblemente debido al tamaño del grano. Según el estudio de ([Cabrera, 2014](#)) los porcentajes de recuperación suelen suceder en mallas menores a 200. Los cálculos están detallados en el [Apéndice P](#).

Discusión

Como se observa en la [tabla 14](#) los resultados de concentración gravimétrica en mesa vibratoria presentan un rendimiento de 3.23 % para un tamaño de grano de 75 μm (#200) y para 63 μm (#230) el rendimiento es 3.79 %, estos se pueden clasificar como un valor relativamente bajo para la recuperación de oro, de manera opuesta en el trabajo de [Cabrera, \(2014\)](#) que se puede observar que existe una mayor recuperación y rendimiento; este bajo rendimiento en nuestro caso lo podemos atribuir a la baja cantidad de oro presente en nuestra muestra. Además, puede relacionarse a la clasificación del tamaño de partículas, determinándolo óptimo hasta la malla #200 en mesa concentradora.

Al momento de la fusión directa con bórax no se obtuvo resultados, debido a, la baja concentración obtenida en la fase de concentración gravimétrica, en el trabajo de [Mendoza Salas, \(2015\)](#) se observa en la fusión una mayor concentración; debido a que manejan mejores leyes en el volumen del material; un 80 % de pureza en el concentrado de material aluvial con fundición de bórax, posiblemente tiene relación a la cantidad de material que se usa, en nuestra investigación se fundió 30 g de material mientras que en la investigación de Mendoza utilizan una cantidad que oscila los 500 g.

Como una prueba alterna para verificar los resultados se utilizó la flotación obteniendo el 14.46 %, mejor concentración y rendimiento que el ensayo en mesa, determinando que las características del nuestro material no son eficientes en los procesos realizados, o pueden ver mejores resultados al trabajar con una mayor cantidad. La asociación de minerales que conforma la muestra es otro dato importante al momento de recuperar oro por flotación, como lo menciona [Huachaca, 2017](#) el proceso de concentración más indicado es para sulfuros metálicos como: hierro, cobre, plomo y zinc.

Cabe recalcar que es complicado recuperar oro libre de pequeñas cantidades de un material aluvial, por lo que anteriormente es llevado a procesos de extracción, como indica [Velín \(2014\)](#) naturalmente se rescata pocas cantidades, habitualmente utilizan este tipo de concentraciones gravimétricas como una forma sencilla, libre del uso de reactivos.

Conclusiones

El rendimiento de la concentración de oro para el ensayo en mesa vibratoria en los tamaños (#200, #230) con 1h 30 min y 2 h de molienda, es una recuperación del 7.02 %: debido a que el oro libre se encuentra de manera dispersa por lo que resulta difícil encontrar oro en pocas cantidades.

El método del bórax es una buena alternativa para evitar la contaminación ambiental, pero no obtuvimos resultados en el procedimiento realizado de la fundición directa del concentrado; debido a las altas temperaturas y la poca cantidad del material.

El tamaño de partículas utilizado fue de #200 y #230, en concentración gravimétrica, la recuperación es similar en los dos tamaños de grano; en cambio el método alternativo de flotación, solo se obtuvo resultados del material pasado por la malla #200, una recuperación del 14.46 %.

La media del ensayo por triplicado del peso específico del material es de 2.55 g/cm³ y la ley de Au del material de cabeza es de 0.037 g/t.

El análisis mineralógico del material presentó los minerales más representativos como: cuarzo, moscovita, calcita y anortoclasa, los cuales fueron confirmados con el análisis de Fluorescencia de Rayos X.

Recomendaciones

Se debe considerar la procedencia del material; debido a que, si el material aluvial ya es trabajado, en el pasante vamos a encontrar poca cantidad de oro.

Para realizar el ensayo de mesa vibratoria se debe considerar: la alimentación de la pulpa y el caudal de agua que debe ser constante.

Para ejecutar los ensayos en material aluvial, no se realiza la homogenización y cuarto; debido a que el oro se encuentra de manera libre.

La fusión directa de bórax en concentrados es mejor realizarla con cantidades y temperaturas altas. Aprovechando que es un método con baja cantidad de contaminación.

Es importante realizar un análisis mineralógico previo al ensayo de flotación, porque permitirá elegir los reactivos con mayor beneficio para la recuperación de oro en el material.

Referencias

- Acosta, F., & Feijoo, C. (2020). Recuperación de oro mediante concentración gravimétrica utilizando concentradores tipo z en el distrito minero Zamora-Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(2). <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.2283>
- Appel, P., & Na-Oy, L. (2012). The Borax Method of Gold Extraction for Small-Scale Miners. *Blacksmith Institute Journal of Health and Pollution*, 2(3). <https://doi.org/10.5696/jhp.v2i3.30>
- Arroyo Néstor, & Malca Kevin. (2019). "Comparación del método de amalgación con mercurio frente al método de fundición directa con bórax-flux para la recuperación de oro en minería artesanal 2019."
- Ayala, L. (2018). *Litología y granulometría de los depósitos sedimentarios*.
- Baby, Patrice, ed, Rivadeneira, & Barragan. (2004). *La cuenca oriente: geología y petróleo*.
- Bullón, J., Salager, J.-L., & Rojas, O. (2007). *Fenómenos Interfaciales y Surfactantes en la Industria Papelera*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4912.4241>
- Cabrera, S. (2014). *Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero Nambija "Condominio Sur."*
- Chang, L. (2013). *Estructuración de un modelo de aplicación de la niif 6 para compañías de exploración y evaluación de recursos minerales en el Ecuador*.
- Concha, H. (2007). *Estudio de la concentración gravimétrica de minerales auríferos en un Jig de laboratorio*.
- Cumbaratza activa. (2018). *Namírez Bajo*. <https://cumbaratza.com/project/namirez-bajo/>
- DINAMI. (2001). *Información estadística minera*.
- ENAMI EP. (2016). Ecuador Minero. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Eppers, O. (2017). El uso de bórax para una producción de oro sin mercurio en la minería a pequeña escala. *SIAR Arequipa, July*.
- Hinojosa, O. (2016). Concentración gravimétrica de menas auríferas. *Revista Metalúrgica*, 38.

- Huachaca, J. (2017). *Evaluación y alternativa en la recuperación de oro aluvial en la cooperativa minera San Antonio limitada Ananea - Puno.*
- Litherland, M., Aspen, J., & Jemielita, R. (1994). *The metamorphic Belts of Ecuador* (British Geological Survey, Ed.; Overseas memoir, Vol. 11).
- Lobe, C. (2018). *Concentración de magnetita y oro libre, en los suelos aluviales de Inguro (Bellavista, Jaén, Cajamarca) por el método gravimétrico, como una alternativa ambiental.*
- Mendoza Salas, P. J. (2015). *Exploración y Explotación de terrazas aluviales en la concesión "El Icho."*
- Ministerio de Minas y Energía, & Servicio Geológico Colombiano. (2018). *Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio. Remedios (Antioquia)* (SGC).
- Ministerio del Ambiente, fmam, ONUDI, & AGC. (2020). *Línea de base nacional para la Minería Artesanal y en Pequeña.*
- Moreno, J., & Rojas, J. (2019). *Producción más limpia en beneficio de oro a pequeña y mediana escala en Colombia "la producción más limpia como una herramienta para el ingeniero ambiental."*
- O'Neill, J. D., & Telmer, K. (2017). *Métodos y herramientas: determinación del uso de mercurio en el sector de la minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE)* (PNUMA, Ed.).
- ONU medio ambiente, Global Mercury Partnership, & Minamata Convention on Mercury. (2018). *Elaboración de un plan de acción nacional para reducir y, cuando sea posible, eliminar el uso del mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala.*
- Pávez, O. (2005). *Apuntes concentración de minerales II.*
- PDOT. (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Cumaratza 2020-2023.*
- Rivera, S. (2017). *Optimización de concentración gravimétrica de oro en la mesa vibratoria de la mina "Vicentina."*

- Sandoval, F. (2001). La pequeña minería en el Ecuador. *Mining, Minerals and Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1039/b203596k>
- Santos, D. (2015). "Diseño de explotación de la grava aurífera existente en el área minera 'Durán' (código 300050), Santa Rosa-El Oro."
- Tejerina, J. (1996). "Concentración de oro fino en Chuas mecánicas." *Simposio Internacional Del Oro*.
- Velín, K. (2014). *Mejoramiento y simulación de una planta de recuperación de oro por concentración gravimétrica, flotación y cianuración ubicada en Piñas, provincia de El Oro*.
- Zambrano, J. (2014). *Flotación*. Flotación Minera.
- Zamora, G., Hinojosa, O., & Gómez, K. (2021). Recuperación de oro aluvial, sin uso de mercurio. *Revista de Medio Ambiente y Minería*.
- Zhunio, J. A. (2017). "Evaluación de reservas, estudio de prefactibilidad económica y diseño de explotación en un depósito aluvial."

Apéndices

Apéndice A. Equipo y procedimiento para determinar el peso específico

A continuación, se redacta los pasos a seguir para obtener el peso específico con sus respectivos cálculos.

Equipo:

- Muestra.
- Balanza electrónica.
- Picnómetro de 5 ml de capacidad.
- Agua destilada.
- Espátula.

Procedimiento:

Se pesó el picnómetro vacío y seco (*P1*), se añadió una fracción de la muestra no mayor al 25% de la capacidad del picnómetro para luego pesarlo (*P2*), al picnómetro que contiene la muestra se lo aforó con agua y se pesó (*P4*), para continuar este proceso se lavó el picnómetro, se adicionó agua hasta el borde, se secó los excesos y se pesó (*P3*), finalmente se realizaron los cálculos.

Apéndice B. Procedimiento del análisis granulométrico y tiempo de molienda

Granulometria

Equipo:

- Vibrotamiz marca RESTCH.
- Ultrasonido marca FRITSCH.
- Tamices estandarizados marca RESTCH.
- Balanza electrónica.

Procedimiento:

Se pesó 250 g de muestra y se colocó en el vibrotamiz RESTCH, con la serie de tamices completa ordenada con las mallas 10, 18, 35, 60, 120, 200, 230, 325 y 400, durante el periodo de 10 minutos con intervalos de 10 segundos y una amplitud de 1.60 mm/ "g".

Al finalizar el proceso se utiliza la balanza para pesar cada uno de los tamices con la malla retenida. Se llevan a cabo los cálculos para determinar la disposición granulométrica, mediante una hoja de cálculo de Excel o una hoja matriz.

Molienda

Parámetros:

- Peso muestra: 1500 g.
- Volumen de agua: 1500 ml.
- Dilución S/L: 1/1
- Carga de molienda (peso de las bolas de acero): 10.3 kg.
- Volumen del Cilindro: 0.0065 m³.
- Velocidad Crítica (tc): 60 rpm.

Procedimiento:

Se limpia el equipo de molienda, para evitar contaminaciones en el material, después se introdujo en el cilindro las bolas de acero. El material fue agregado (1500 g) y el agua (1500 ml), con una relación de pulpa 1:1. Se tapó y aseguro el cilindro para colocar en los rodillos, este material fue molido en dos tiempos, 1 h 30 min y 2 h. Al finalizar, se vació el quipo y se secó el material en un recipiente poniendo en la estufa a una temperatura de 105 °C.

Apéndice C. Equipo y procedimiento de flotación

A continuación, se describe los pasos a seguir en el ensayo, con el equipo usado.

Reactivos:

- Colectores: Aerofloat 1238
- Espumante: Aceite de eucalipto
- Depresor: (Na_2CO_3),

Parámetros por considerar:

- Tamaño de grano: malla 200 y 230
- pH: 7
- Peso de la muestra: 500 g
- Volumen de agua 1000 ml

Equipo

- Celda de flotación, marca DENVER modelo D-12.
- pH-metro de marca HANNA modelo HI 2221.

Procedimiento

Al inicio se pesó 500 g de la muestra molida. Se preparó los reactivos conforme a la dosificación: 0.005 g de colector, 0.05 g de espumante y 0.125 g de depresor. Son disueltos y aforados.

La disolución de la pulpa S/L: $\frac{1}{2}$ (500 g de material/ 1000 ml de agua) en el equipo de flotación.

Se agrega el depresor a los 10 minutos de acondicionamiento, a los 15 el colector y a los 18 el espumante para posterior empezar a flotar por un minuto (A), minuto y medio (B), dos minutos (C) y dos minutos y medio (D). El pH se controla en todo el proceso y al finalizar el ensayo, se recogió el concentrado y el material restante (relave). Se llevó a la estufa para ser secados, después se pesó, homogeneizo y se tomó una cantidad de 30-35 g para llevar a realizar un análisis al fuego. Este proceso se realizó para la malla #200 y #230, dos de cada una.

Apéndice D. Tablas de la dosificación de reactivos

Tabla D1

Flotación de la malla 200, colector AR.1238, pH 7

MALLA #200								
OPERACIÓN	Tiempo	pH	COLECTOR		ESPUMANTE		DEPRESOR	
			AR-1238		Aceite de eucalipto		Carbonato de Sodio	
			Dosificación de reactivo	Volumen de aforo	Dosificación de reactivo	Volumen de aforo	Dosificación de reactivo	Volumen de aforo
Acondicionamiento	5	7						
	10	7					250 g/Tn	100 ml
Acondicionamiento	5	7	100 g/Tn	100 ml				
Acondicionamiento	3	7			100 g/Tn	100 ml		
Flotación A	1	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación B	1.5	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación C	2	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación D	2.5	7						
			100 g/Tn	100 ml	100 g/Tn	100 ml	250 g/Tn	100 ml

Tabla D2

Flotación de la malla 200, colector AR.1238, pH 7

MALLA #200								
OPERACIÓN	Tiempo	pH	COLECTOR		ESPUMANTE		DEPRESOR	
			AR-1238		Aceite de eucalipto		Carbonato de Sodio	
			Dosificación de reactivo	Volumen de aforo	Dosificación de reactivo	Volumen de aforo	Dosificación de reactivo	Volumen de aforo
Acondicionamiento	5	7						
	10	7					250 g/Tn	100 ml
Acondicionamiento	5	7	100 g/Tn	100 ml				
Acondicionamiento	3	7			100 g/Tn	100 ml		
Flotación A	1	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación B	1.5	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación C	2	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación D	2.5	7						
			100 g/Tn	100 ml	100 g/Tn	100 ml	250 g/Tn	100 ml

Tabla D3*Flotación de la malla 230, colector AR.1238, pH 7*

MALLA #230								
OPERACIÓN	Tiempo	pH	COLECTOR		ESPUMANTE		DEPRESOR	
			AR-1238		Aceite de eucalipto		Carbonato de Sodio	
			Dosificación de reactivo	Volumen de aforo	Dosificación de reactivo	Volumen de aforo	Dosificación de reactivo	Volumen de aforo
Acondicionamiento	5	7						
	10	7					250 g/Tn	100 ml
Acondicionamiento	5	7	100 g/Tn	100 ml				
Acondicionamiento	3	7			100 g/Tn	100 ml		
Flotación A	1	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación B	1.5	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación C	2	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación D	2.5	7						
			100 g/Tn	100 ml	100 g/Tn	100 ml	250 g/Tn	100 ml

Tabla D4*Flotación de la malla 230, colector AR.1238, pH 7*

MALLA #230								
OPERACIÓN	Tiempo	pH	COLECTOR		ESPUMANTE		DEPRESOR	
			AR-1238		Aceite de eucalipto		Carbonato de Sodio	
			Dosificación de reactivo	Volumen de aforo	Dosificación de reactivo	Volumen de aforo	Dosificación de reactivo	Volumen de aforo
Acondicionamiento	5	7						
	10	7					250 g/Tn	100 ml
Acondicionamiento	5	7	100 g/Tn	100 ml				
Acondicionamiento	3	7			100 g/Tn	100 ml		
Flotación A	1	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación B	1.5	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación C	2	7						
Acondicionamiento	1	7						
Flotación D	2.5	7						
			100 g/Tn	100 ml	100 g/Tn	100 ml	250 g/Tn	100 ml

Descripción de las flotaciones:**Tabla D5***Flotación Malla 200, colector Ar-1238, pH7*

Concentrado	Tiempo	Peso del material	pH	Peso del colector	Peso del depresor	Peso del espumante	Rev/min	Concentrado en seco (gr)	Relave (gr)	Perdida (gr)
Fracción A	1	500	7	0.05	0.125	0.05	750	89.7		
Fracción B	1.5									
Fracción C	2									
Fracción D	2.5									
Relave									399.65	
Masa total Recolectada								89.7	399.65	10.65

Tabla D6

Flotación Malla 200, colector Ar-1238, pH7

Concentrado	Tiempo	Peso del material	pH	Peso del colector	Peso del depresor	Peso del espumante	Rev/min	Concentrado en seco (gr)	Relave (gr)	Perdida (gr)
Fracción A	1	500	7	0.05	0.125	0.05	750	123.75		
Fracción B	1.5									
Fracción C	2									
Fracción D	2.5									
Relave									375.4	
Masa total Recolectada								123.75	375.4	0.85

Tabla D7

Flotación Malla 230, colector Ar-1238, pH7

Concentrado	Tiempo	Peso del material (gr)	pH	Peso del colector (gr)	Peso del depresor (gr)	Peso del espumante (gr)	Rev/min	Concentrado en seco (gr)	Relave (gr)	Perdida (gr)
Fracción A	1	500	7	0.05	0.125	0.05	750	108.7		
Fracción B	1.5									
Fracción C	2									
Fracción D	2.5									
Relave									384.5	
Masa total Recolectada								108.7	384.5	6.8

Tabla D8

Flotación Malla 230, colector Ar-1238, pH7

Concentrado	Tiempo	Peso del material	pH	Peso del colector	Peso del depresor	Peso del espumante	Rev/min	Concentrado en seco (gr)	Relave (gr)	Perdida (gr)
Fracción A	1	500	7	0.05	0.125	0.05	750	125.6		
Fracción B	1.5									
Fracción C	2									
Fracción D	2.5									
Relave									365.25	
Masa total Recolectada								125.6	365.25	9.15

Apéndice E. Procedimiento y equipo de la concentración gravimétrica en mesa

Equipo:

- Mesa vibratória marca Genco 15-S.

Procedimiento

Con el material molido y pasado por las dos mallas requeridas, se calibro la mesa y el caudal del fluido de lavado. La inclinación de operación longitudinal es 4.7° , la inclinación transversal es 6° y el caudal de agua de lavado es de 9 l/min. La relación de la pulpa es S/L: 1/1, se mezcló por partes iguales 3 kg/3ml.

Se colocó tres recipientes para recolectar el concentrado, mixtos y livianos. Se procede a encender la maquina y alimentar la pulpa, dejando abierto por un tiempo la llave de agua para que se lave toda la superficie con el objetivo que el material termine en los recipientes. Al último se retira los recipientes, se coloca en una bandeja y se deja secar.

Apéndice F. Proceso del ensayo al fuego

Fusión - Procedimiento:

Se pesó 30 g de muestra en concentrado y 35 g en relave del material, en concentración gravimétrica y flotación. Posterior a ello, se mezcló en el crisol, el material con 100 g de flux y 3 g de harina, adicional le agregamos una capa de bórax. Cuando la mufla de fusión alcanzo una temperatura de 1000°C , se pusieron los crisoles con su identificación por el lapso de una hora.

Copelación - Procedimiento:

Se colocó el régulo en una copela, figura 20 (a). Después se introdujo la copela en la mufla cuando se encontraba a la temperatura adecuada (900°C). Aproximadamente de 1 h 30 min a 2 h dio el resultado final del dore compuesto de oro y plata, figura 20 (b).

Apéndice G. Proceso de digestión y cuantificación del oro

Equipo:

- Plancha térmica marca IKAMAG-RE-GS.
- Campana de extracción marca IKAMAG-RE-GS.
- Crisoles de porcelana.

Procedimiento:

Se separó el doré en un microscopio para pasarlo a crisoles y se realizó una disolución de agua regia, que es la combinación de ácido nítrico más ácido clorhídrico. Colocar en la plancha térmica a una temperatura de 100 °C, durante un periodo de 10 a 15 minutos.

Apéndice H. Proceso de la absorción atómica

Procedimiento:

Al finalizar la digestión, se lavó con agua destilada y aforó en balones de 10 ml. Los recipientes son etiquetados. Antes de iniciar el análisis en el equipo, se calibró. En caso de que sobrepase los rangos de calibración se procede a diluir.

Apéndice I. Proceso de la fusión directa con bórax

- Materiales
- Soplete de gas
- Balanza
- Olla de barro

Procedimiento

La relación entre el mineral y el bórax es de 1:1 para la preparación de fundición directa, se pesaron 30 g de material concentrado resultado de la mesa concentradora y 30 g de bórax, se llevó a una olla de barro que pueda soportar la temperatura, se calentó durante 45 min con un soplete de gas que supera la temperatura de 1200 °C, finalmente salió la escoria.

Apéndice J. Determinación del peso específico por el método del picnómetro

Cálculos:

$$r = \frac{P_2 - P_1}{(P_3 - P_1) - (P_4 - P_2)}$$

Donde:

- P_1 : Peso del picnómetro vacío.
- P_2 : Peso del picnómetro + muestra.
- P_3 : Peso del picnómetro + agua.
- P_4 : Peso del picnómetro + muestra + agua.
- γ : Peso específico

Tabla J1

Datos y cálculos realizados para sacar el promedio del peso específico

Ensayos	Picnómetro vacío (P1)	P1 + muestra (P2)	P1 + Agua (P3)	P2 + Agua + Muestra (P4)	Peso específico (g/cm ³)
1	19.75	23.45	29.95	32.30	2.74
2	19.75	22.50	29.95	31.60	2.5
3	19.75	23.00	29.95	31.85	2.41
Promedio					2.55

1)

$$r = \frac{23.45 - 19.75}{(29.95 - 19.75) - (32.30 - 23.45)} = 2.74$$

2)

$$r = \frac{22.50 - 19.75}{(29.95 - 19.75) - (31.60 - 22.50)} = 2.5$$

3)

$$r = \frac{23.00 - 19.75}{(29.95 - 19.75) - (29.95 - 23.00)} = 2.41$$

Apéndice K. Análisis granulométrico

Tabla K1

Análisis granulométrico del material inicial

# Mallas	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso muestra (gr)	Peso (%)	Retenido acumulado (%)
10	331.35				
18	288.50	376.45	87.95	35.18	35.18
35	314.95	382.70	67.75	27.10	62.28
60	238.70	284.50	45.80	18.32	80.60
120	280.80	311.75	30.95	12.38	92.98
200	266.15	271.70	5.55	2.22	95.20
230	275.00	281.60	6.60	2.64	97.84
325	218.00	219.10	1.10	0.44	98.28
400	264.95	265.90	0.95	0.38	98.66
-400	394.75	396.95	2.20	0.88	99.54
Total			248.85	99.54	-

Tabla K2

Análisis granulométrico al material sometido a molienda de 1h 30 min

# Mallas	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso muestra (gr)	Peso (%)	Retenido acumulado (%)
10	331.35				
18	288.50	288.60	0.10	0.04	0.04
35	314.95	315.50	0.55	0.22	0.26
60	238.70	239.75	1.05	0.42	0.68
120	280.80	285.00	4.20	1.68	2.36
200	266.15	273.55	7.40	2.96	5.32
230	275.00	300.50	25.50	10.20	15.52
325	218.00	238.50	20.50	8.20	23.72
400	264.95	286.15	21.20	8.48	32.20
-400	394.75	414.25	19.50	7.80	40.00

Total	100.00	40.00	-
--------------	--------	-------	---

Tabla K3

Análisis granulométrico al material sometido a molienda de 2 h

# Mallas	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso muestra (gr)	Peso (%)	Retenido acumulado (%)
10	331.35				
18	288.50	288.65	0.15	0.06	0.06
35	314.95	315.30	0.35	0.14	0.20
60	238.70	239.30	0.60	0.24	0.44
120	280.80	285.55	4.75	1.90	2.34
200	266.15	280.10	13.95	5.58	7.92
230	275.00	299.20	24.20	9.68	17.60
325	218.00	234.95	16.95	6.78	24.38
400	264.95	281.80	16.85	6.74	31.12
-400	358.65	379.7	21.05	8.42	39.54
Total			98.85	39.54	-

Apéndice L. Cálculos de la Ley de oro

Tabla L1

Datos para sacar la Ley de oro

Muestra	Peso (g)	Lectura ICP	Volumen de aforo (L)	Ley de oro (g/t)
1	30	0.111	0.01	0.037
2	30	-	-	0.036

$$\text{Ley de oro} = \frac{\text{Lectura de ICP} \times \text{volumen de aforo}}{\text{peso muestra}} \times 1000$$

$$\text{Concentración de Au} = \frac{0.111 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.1 \text{ L}}{30 \text{ g}} \times 1000$$

$$\text{Concentración de Au} = 0.037 \text{ g/t}$$

$$\text{Ley de oro} = \frac{\text{Peso del oro} \times 1000000}{\text{peso muestra}}$$

$$\text{Ley de oro} = \frac{0.000011 \text{ g} \times 1000000 \text{ g/t}}{30 \text{ g}}$$

$$\text{Concentración de Au} = 0.036 \text{ g/t}$$

Apéndice M. Ley de oro de las flotaciones

Tabla M1

Datos de leyes de concentradores

Colector	Ph	Tamaño de grano	Código	Oro (mg)	Peso muestra (g)	Ley Au concentrado (g/t)
AR-1238	7	63 µm	C1	0.228	30	0.076
AR-1238	7	63 µm	C2	0.166	30	0.055
AR-1238	7	75 µm	C3	0.889	30	0.296
AR-1238	7	75 µm	C4	0.562	30	0.187

$$\text{Ley de oro} = \frac{\text{Lectura de ICP} \times \text{volumen de aforo}}{\text{peso muestra}} \times 1000$$

$$\text{Ley de oro} = \frac{0.228 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.01 \text{ L}}{30 \text{ g}} \times 1000$$

$$\text{Ley de oro} = 0.076 \text{ g/t}$$

Tabla M2

Datos de leyes de relaves

Colector	Ph	Tamaño de grano	Código	Oro (g)	Peso muestra (g)	Ley Au concentrado (g/t)
AR-1238	7	63 µm	R1	-	-	-
AR-1238	7	63 µm	R2	-	-	-
AR-1238	7	75 µm	R3	1.380	35	0.394
AR-1238	7	75 µm	R4	-	-	-

$$\text{Ley de oro} = \frac{\text{Lectura de ICP} \times \text{volumen de aforo}}{\text{peso muestra}} \times 1000$$

$$\text{Ley de oro} = \frac{1.380 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.01 \text{ L}}{35 \text{ g}} \times 1000$$

$$\text{Ley de oro} = 0.394 \text{ g/t}$$

Apéndice N. Cálculos dosificación de reactivos

$$\text{Reactivo} = \frac{\text{Peso de la muestra} \times \text{concentración del reactivo} \times 10^{-6}}{\text{Pureza del reactivo}}$$

a) AR-1238= 100 g/ton.

$$AR - 1238 = \frac{500 \times 100 \times 10^{-6}}{1}$$

$$AR - 1238 = 0.05 \text{ g}$$

b) Aceite de eucalipto= 100 g/ton.

$$A.E. = \frac{500 \times 100 \times 10^{-6}}{1}$$

$$A.E. = 0.05 \text{ g}$$

c) SiO₃Na₂ = 250 g/ton.

$$SiO_3Na_2 = \frac{500 \times 250 \times 10^{-6}}{1}$$

$$SiO_3Na_2 = 0.125 g$$

Apéndice O. Balance metalúrgico flotación

Tabla O1

Datos para realizar el balance metalúrgico

	Código	C1	C2	C3	C4
CABEZA	Peso	0.5	0.5	0.5	0.5
	Ley de oro	0.037	0.037	0.037	0.037
CONCENTRADO	Peso	0.1087	0.1256	0.0897	0.12375
	Ley de oro	0.076	0.055	0.296	0.187
RELAVE	Peso	0.3845	0.36525	0.39965	0.3754
	Ley de oro	-	-	0.394	-

Cabeza o Entrada

$$E = 0.50 \text{ kg} * 0.037 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} = 0.0185 \text{ mg}$$

Concentrado

$$C = 0.0897 \text{ kg} * 0.296 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} = 0.0266 \text{ mg}$$

Relave

$$R = 0.39965 \text{ kg} * 0.394 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} = 0.1574621 \text{ mg}$$

Balance metalúrgico

$$E = C + R$$

$$E = 0.0266 \text{ mg} + 0.1574621 \text{ mg}$$

$$0.0181 = 0.1840 \text{ mg}$$

Rendimiento

$$R \% = \frac{C}{E} \times 100$$

$$R \% = \frac{0.0266}{0.18400} \times 100 = 14,46 \%$$

Los procedimientos que se realiza en los cálculos de cabeza, concentrado y relaves se repiten como el anterior.

Apéndice P. Balance metalúrgico de mesa vibratoria

Tabla P1

Datos para realizar el balance metalúrgico en mesa vibratoria

Código		#230	#200
Entrada	Peso	3 kg	3 kg
	Ley	0.037	0.037
Concentrado	Peso	0.33510	0.30535
	Ley	0.187	0.100
Medios	Peso	1.8572	1.7233
	Ley	0.824	0.098
Livianos	Peso	0.55855	0.85035
	Ley	0.059	0.090

Balance metalúrgico #23

$$E = C + M + L$$

$$3\text{Kg} * 0.037 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} = \left(0.33\text{kg} * 0.187 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right) + \left(1.85\text{kg} * 0.834 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right) + \left(0.56\text{kg} * 0.059 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)$$

$$0.111 \text{ mg} = 0.06171\text{mg} + 1.5429 \text{ mg} + 0.03304 \text{ mg}$$

$$0.111 \text{ mg} = 1.63 \text{ mg}$$

Rendimiento #230

$$\left(\frac{0.06171}{1.63}\right) * 100 = 3.79\%$$

Balance metalúrgico #200

$$E = C + M + L$$

$$3\text{Kg} * 0.037 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} = \left(0.31\text{kg} * 0.100 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right) + \left(1.72\text{kg} * 0.098 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right) + \left(0.85\text{kg} * 0.090 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)$$

$$0.111 \text{ mg} = 0.031\text{mg} + 0.17 \text{ mg} + 0.76 \text{ mg}$$

$$0.111 \text{ mg} = 0.961 \text{ mg}$$

Rendimiento #200

$$\left(\frac{0.031}{0.961}\right) * 100 = 3.23\%$$