



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

**“Estudio de pre-factibilidad para la recuperación de oro  
mediante el proceso de flotación, en la relavera de la Empresa  
PRODUMIN S.A., Ponce Enríquez – Azuay”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN MINAS**

**Autores:**

JOFFRE FABIÁN CEVALLOS ÁLVAREZ

STEVEN PAÚL GONZÁLEZ GUZMÁN

**Director:**

ING. CARLOS FEDERICO AUQUILLA TERÁN

**CUENCA - ECUADOR**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Yo, Joffre Fabián Cevallos Álvarez, dedico este proyecto a todas las personas que aportaron en mi formación profesional. En especial a las mujeres más importantes de mi vida: mi hermana Erika y mi madre Narcisa, quienes siempre estuvieron presente y siempre me guiaron para poder seguir adelante y no desistir.

Para mi papá Alfonso, por guiarme en el ámbito práctico, para obtener conocimientos sobre minería y así poder desenvolverme de mejor manera.

**Joffre Fabián Cevallos Álvarez**

A mis padres Mario González y Jaqueline Guzmán, quienes siempre me han apoyado de manera incondicional y han sido la motivación más grande para culminar una de las metas más importantes de mi vida.

A mi hermana Dayana González y mi sobrina Danna Torres, que son la razón de sentirme tan orgulloso de culminar mis estudios universitarios, gracias a ellas por confiar siempre en mí.

**Steven Paúl González Guzmán**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos al ingeniero Federico Auquilla, por brindarnos la confianza y ser nuestro director de tesis en este gran proyecto; por su experiencia y ejemplo a seguir de cómo debe de ser un profesional comprometido con la minería.

Agradecemos a la empresa PRODUMIN S.A., por acogernos en su proyecto y brindarnos todas las facilidades para poder culminar este proyecto de la mejor manera.

Agradecemos a la Universidad del Azuay, por ser los que promovieron la carrera de Ingeniería en Minas, por la experiencia de los docentes que guiaron nuestro camino y así poder formar profesionales que se destaquen en el ámbito minero. En especial a los ingenieros Patricio Feijoo, Fernando Valencia, Leonardo Núñez y Dr. Juan Calderón, docentes comprometidos con la formación de estudiantes en el ámbito de la minería.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	ix
<b>RESUMEN</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	2
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Ubicación .....	4
1.3. Georreferenciación.....	4
1.4. Topografía.....	5
1.5. Clima.....	6
1.6. Vegetación.....	7
1.7. Población.....	7
1.8. Mineralización.....	8
1.9. Antecedentes de pequeña minería en Ecuador .....	9
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	11
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	11
2.1. Fundamentos teóricos.....	11
2.1.1. Relave.....	11
2.1.2. Pasivos mineros.....	11
2.1.3. Daño ambiental .....	12

2.1.4. Reparación integral .....	12
2.2. Características de un relave.....	12
2.2.1. Origen y producción de relaves de concentradoras.....	12
2.2.2. Propiedades físicas y estructurales.....	13
2.2.3. Drenaje ácido de relaves .....	14
2.3. Tipos de relave .....	15
2.4. Definición de ley mineral.....	15
2.5. Flotación.....	16
2.5.1. Definición .....	16
2.5.2. Tipos de flotación .....	16
2.5.2.1. Flotación Denver.....	17
2.6. Recuperación de metales a partir de relaves .....	19
2.7. Estudios de recuperación de relaves por el proceso de flotación.....	20
2.8. Gestión de residuos en Ecuador .....	22
2.9. Política pública de reparación integral .....	24
2.10. Programa de reparación ambiental y social (PRAS).....	24
2.11. Métodos para la evaluación de reactivos .....	25
2.12. Volumen de las arenas.....	27
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>29</b>
<b>ANÁLISIS QUÍMICO Y PRUEBAS DE LABORATORIO.....</b>	<b>29</b>
3.1. Preparación de las muestras .....	29
3.1.1. Área de muestreo .....	29
3.1.2. Malla de muestreo.....	30
3.1.3. Toma de muestras .....	31
3.1.4. Preparación de la muestra .....	32
3.2. Determinación de la cantidad de mineral existente en g/t.....	32
3.2.1. Procedimiento.....	32
3.3. Diseño de experimentos para desarrollar los ensayos en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería en Minas.....	36
3.4. Ensayos en laboratorio .....	39
3.5. Pruebas para neutralización de las arenas .....	39
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>41</b>

<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
4.1. Resultados de los análisis de muestras tomadas de la relavera .....	41
4.2. Resultados de las pruebas de concentrado. ....	42
4.3. Cálculos de los costos de operación.....	43
4.4. Estudio de pérdidas o ganancias.....	44
4.5. Análisis de factibilidad en neutralizar o no las arenas en actividades agrícolas ...	44
4.6. Simulación económica del aprovechamiento de la relavera .....	45
4.6.1. Tablas de leyes medias y volumen.....	45
4.6.2. Cálculo de factibilidad.....	48
4.7. Estudio de factibilidad.....	49
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>
Conclusiones .....	50
Recomendaciones.....	51
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>
Bibliografía.....	52
<b>ANEXOS .....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Flujograma de procesos- PRODUMIN S.A. ....	3
<b>Figura 1.2.</b> Ubicación de la relavera .....	4
<b>Figura 1.3.</b> Curvas de nivel de la relavera.....	5
<b>Figura 1.4.</b> Precipitaciones en el cantón Camilo Ponce Enríquez.....	6
<b>Figura 1.5.</b> Expansión de la frontera ganadera.....	7
<b>Figura 1.6.</b> Mineralización en CPE.....	8
<b>Figura 2.1</b> Proceso de flotación para el tratamiento de relaves.....	17
<b>Figura 2.2</b> .Máquina de flotación Denver sub- A.....	18
<b>Figura 2.3.</b> Razón de recuperación versus razón de enriquecimiento .....	20
<b>Figura 2.4.</b> nivel 1 de estudio .....	21
<b>Figura 2.5.</b> Proceso de evaluación de reactivos .....	25
<b>Figura 3.1.</b> Determinación de la cantidad de muestras .....	29
<b>Figura 3.2.</b> Malla de muestreo.....	31
<b>Figura 3.3.</b> Recolección de muestras.....	32
<b>Figura 3.4.</b> Preparación de muestras en el laboratorio .....	33
<b>Figura 3.5.</b> Pesaje de reactivos .....	33
<b>Figura 3.6.</b> Colocación de muestras en el horno .....	34
<b>Figura 3.7.</b> Botón Dórex.....	35
<b>Figura 3.8.</b> Balanza de alta precisión .....	35
<b>Figura 3.9.</b> Método de la torta.....	36
<b>Figura 3.10.</b> Celda de flotación Denver .....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Coordenadas de la relavera.....	4
<b>Tabla 1.2.</b> Rango de mineralización en Camilo Ponce Enríquez .....	8
<b>Tabla 2.1.</b> Volumen de la relavera.....	28
<b>Tabla 3.1.</b> Coordenadas de los Puntos de Muestra .....	30
<b>Tabla 3.2</b> Cálculo de densidad de las muestras .....	37
<b>Tabla 3.3.</b> Tabla de datos para la flotación de muestras.....	38
<b>Tabla 3.4.</b> Análisis de las arenas .....	40
<b>Tabla 4.1.</b> Resultados de las muestras tomadas de la relavera .....	41
<b>Tabla 4.2.</b> Resultados de las pruebas de concentrado .....	42
<b>Tabla 4.3.</b> Cálculos de los costos de flotación.....	43
<b>Tabla 4.4.</b> Análisis de ganancias o pérdidas.....	44
<b>Tabla 4.5.</b> Análisis de factibilidad en neutralizar arenas.....	44
<b>Tabla 4.6.</b> Leyes medias .....	45
<b>Tabla 4.7.</b> Ley media luego de flotación .....	46
<b>Tabla 4.8.</b> Volumen total de la relavera .....	47
<b>Tabla 4.9.</b> Datos para el cálculo de factibilidad .....	48
<b>Tabla 4.10.</b> Resultados del cálculo de factibilidad .....	49
<b>Tabla 4.11.</b> Estudio de factibilidad.....	49

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultado de la ley analizada.....	57
Anexo 2. Resultado del análisis de arena.....	58
Anexo 3. Análisis de arenas luego de flotación .....	59

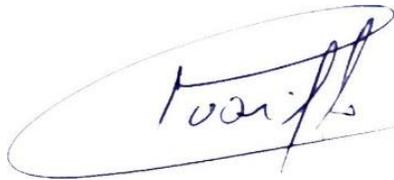
**“ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO  
MEDIANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN, EN LA RELAVERA DE LA  
EMPRESA PRODUMIN S.A., PONCE ENRÍQUEZ – AZUAY”**

**RESUMEN**

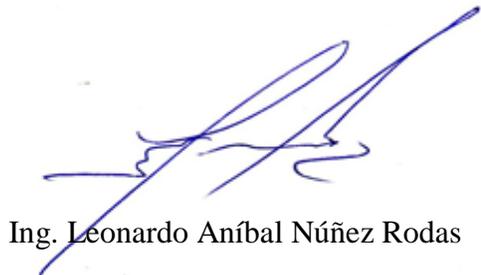
El tratamiento de relaves es un proceso que genera gastos y no brinda beneficios económicos para las mineras, razón por la cual no se invierte en ello. La presente investigación desarrollada en la empresa PRODUMIN S.A., tuvo como objetivo determinar si es factible o no recuperar el oro contenido en las arenas provenientes de las piscinas de relave; este procedimiento fue realizado mediante concentración por flotación. Para esto, se tomaron muestras de la relavera, luego se determinaron sus respectivas leyes en un laboratorio y con estos resultados se obtuvieron los datos necesarios que permitieron realizar el estudio de pre - factibilidad, en donde se comprobó que es un proyecto viable, es decir, se puede obtener un rédito económico positivo.

Finalmente, se analizó el posible aprovechamiento de las arenas sin interés económico para utilizarlas ya sea en agricultura o de relleno en la construcción.

**Palabras clave:** Relavera, flotación, factibilidad, leyes, arenas.



Ing. Carlos Federico Auquilla Terán  
**Director del Trabajo de Titulación**



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
**Coordinador de Escuela**



Joffre Fabián Cevallos Álvarez

**Autor**



Steven Paúl González Guzmán

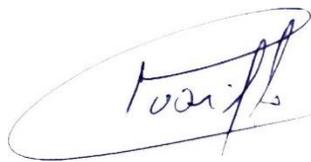
**Autor**

**"PRE-FEASIBILITY STUDY FOR THE RECOVERY OF GOLD THROUGH THE FLOTATION PROCESS IN THE MINE TAILING OF THE COMPANY PRODUMIN S.A., PONCE ENRÍQUEZ - AZUAY"**

**ABSTRACT**

The treatment of tailings is a process that generates big expenses and does not provide economic benefits for the mining companies, which is why it has no investment. The present investigation developed in the company PRODUMIN S.A. tried to determine if it is feasible or not to recover the gold contained in the sands from the tailings pools; this procedure was carried out by flotation concentration. For this, samples of the relay were taken, then their respective laws were determined in a laboratory and with these results, the necessary data was obtained that allowed to carry out the study of pre-feasibility, in which, it was verified, that it is a viable project that can achieve a positive economic return. Finally, without any economic interest, the possible use of the sand was analyzed to utilize it either in agriculture or as filling in construction.

**Keywords:** Tailings, flotation, laws, pre-feasibility, sands.



Ing. Carlos Federico Auquilla Terán  
**Director of the Degree Project**



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
**Coordinator of the School**



Joffre Fabián Cevallos Álvarez  
**Author**



Steven Paúl González Guzmán  
**Author**

**Traslated by**



Joffre Cevallos Álvarez



Steven González Guzmán



Joffre Fabián Cevallos Álvarez

Steven Paúl González Guzmán

Trabajo de titulación

Ing. Carlos Federico Auquilla Terán

Febrero, 2022

**“ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO  
MEDIANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN, EN LA RELAVERA DE LA  
EMPRESA PRODUMIN S.A., PONCE ENRÍQUEZ – AZUAY”**

**INTRODUCCIÓN**

La minería es una actividad industrial donde se realizan actividades como la extracción de minerales metálicos y no metálicos que son comercializables, provenientes del interior de la corteza terrestre. Posterior al proceso de extracción, se da paso a procesos conocidos como hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos que se desarrollan en plantas de tratamiento o beneficio. Sin embargo, existen casos en donde no es posible recuperar todo el mineral de interés, y parte del material con valor económico es eliminado hacia las relaveras.

El objetivo de este trabajo de titulación es realizar un análisis de pre-factibilidad para demostrar si la extracción y el tratamiento de las arenas para la obtención oro de una relavera es económicamente viable o no.

Este procedimiento se llevó a cabo mediante la toma de muestras y el análisis respectivo de las mismas en el laboratorio para determinar las leyes de mineral; posterior a esto, se utilizó el método de flotación en una celda Denver para obtener un concentrado de mineral. Los resultados fueron favorables debido a que existe una cantidad importante de oro y el análisis de factibilidad reflejó que es viable el tratamiento de las relaveras para la empresa. Como parte final se analizó el uso a futuro de estas arenas almacenadas, que podrían ser utilizadas en el campo de la agricultura o de la construcción.

## CAPÍTULO 1

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Antecedentes

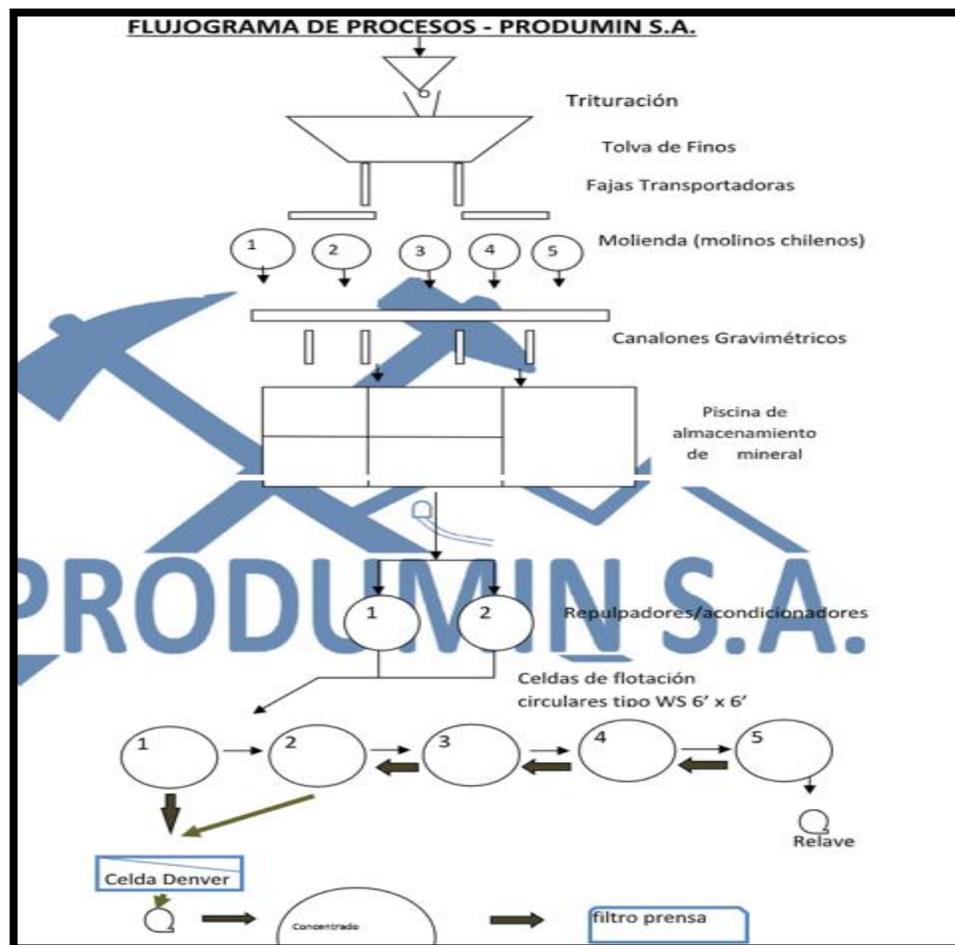
El distrito minero más conocido en el Ecuador se encuentra situado en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay. Desde siempre la minería en esta zona ha sido practicada de manera artesanal sin ningún control ambiental y de explotación. Sin embargo, con el pasar de los años se ha ido implementado nuevos procesos y tecnologías que han permitido desarrollar una minería menos contaminante.

La concesión minera Bella Rica emite un contrato de operación minero a la empresa minera PRODUMIN S.A, para el aprovechamiento de mineral metálico dentro de su concesión, el mineral de interés es oro; la empresa es considerada de pequeña minería y se encuentra en la fase de explotación. Posee tres vetas en producción que son: Mari, Katherin y Kelly, las potencias de las vetas son de aproximadamente 0.10 a 0.15 metros con una recuperación del 90% en el bloque. El 10% restante es mezclado con roca de caja y se pierde al momento de la clasificación.

PRODUMIN S. A., cuenta con una planta de procesamiento dentro de sus instalaciones la cual viene operando de manera eficiente, con el objetivo de obtener un beneficio rentable; para ello se encuentra constituida de la siguiente manera:

1. **Trituración:** Una vez sacado el material proveniente de interior mina, se lo tritura hasta llegar a un tamaño de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.
2. **Molienda:** El material pasa por 5 molinos chilenos los cuales llevan el material hasta una granulometría del 65% pasante malla 200, el mismo es almacenado en tanques, para luego ser llevados al proceso de decantación, es decir la separación de las arenas con el agua.
3. **Flotación:** El material que se encuentra en los tanques es llevado a las celdas de flotación mediante tuberías en donde se crean las condiciones necesarias para poder recuperar el mineral con la ayuda de reactivos como colectores y espumantes hasta obtener un concentrado.

4. **Refinación y Fundición:** En este punto se recuperan arenas de gran ley, para posteriormente con la ayuda de reactivos químicos especialmente ácidos, quitar las impurezas y posteriormente llegar a la fase de fundición.
5. **Relave:** El mineral desechado de todos los procesos se lo denomina relave. Sin embargo, para la presente investigación nos enfocaremos en el análisis del relave producto de la fase de molienda y flotación el mismo que fue depositado en las piscinas de relaves. El material descartado es llevado por una tubería hacia las relaveras de la empresa, las cuales se encuentran casi colapsadas, por lo que requieren un pronto vaciado del material allí existente (Chevez, 2011).

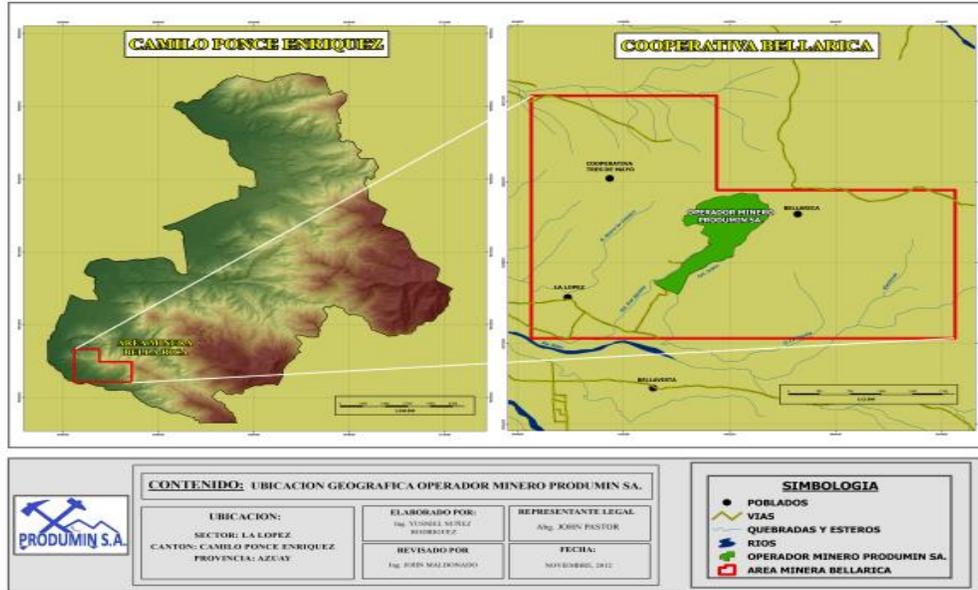


**Figura 1.1** Flujograma de procesos- PRODUMIN S.A.

**Fuente:** (PRODUMIN S.A 2021)

### 1.2.Ubicación

La relavera se encuentra ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, sector La López, jurisdicción de la provincia del Azuay. Para llegar a relavera desde el centro de Ponce Enríquez puede realizarse desde la entrada a San Miguel de Brasil – La López y de ahí posteriormente se llega a la ubicación en un lapso aproximado de 6 minutos.



**Figura 1.2.** Ubicación de la relavera  
**Fuente:** (PRODUMIN S.A., 2021)

### 1.3.Georreferenciación

Las coordenadas UTM, de ubicación de la relavera, que va a ser objeto de estudio se encuentran detalladas en la tabla 1.1

**Tabla 1.1.** Coordenadas de la relavera

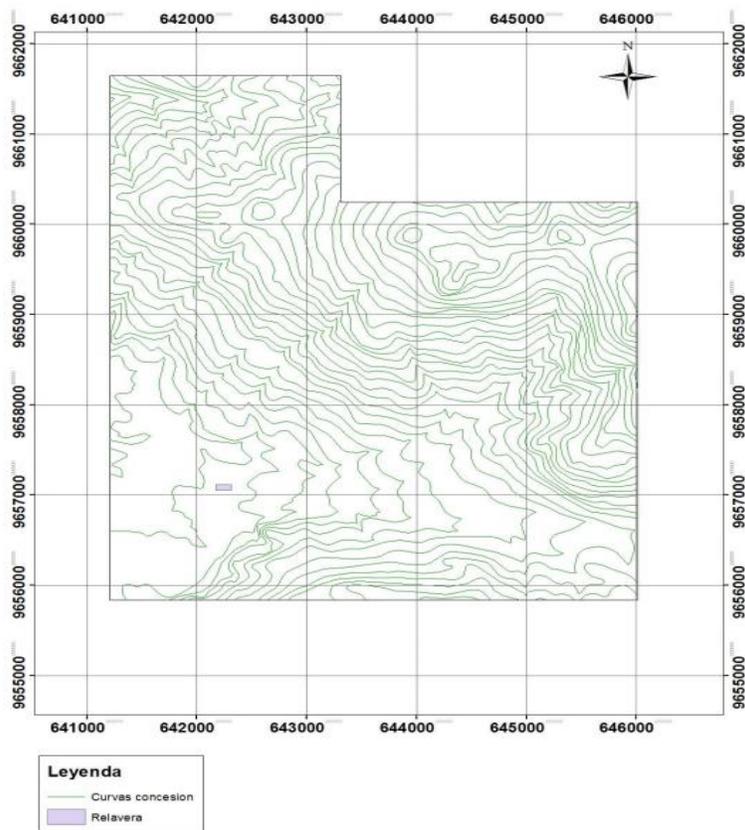
Este	Norte
642175	9657116
642313	96547116
642175	9657055
642313	9657055

**Fuente:** (PRODUMIN S.A., 2021)

#### 1.4. Topografía

Camilo Ponce Enríquez se encuentra dentro en la parte occidental del Distrito del Azuay, es conocido por sus depósitos de Au, Cu, Mo, en pórfidos, vetas y stockworks epi – mesotermales, desarrollados de las rocas de caja volcánicas que están asociadas con pórfidos.

El Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) afirma que la zona de Camilo Ponce Enríquez cuenta con un alto grado de mineralización metálica y los procesos magmáticos dieron lugar a concentraciones de oro plata y cobre, que son metales de alto interés comercial. (IIGE, 2017).



**Figura 1.3.** Curvas de nivel de la relavera

**Fuente:** (PRODUMIN S.A., 2021)

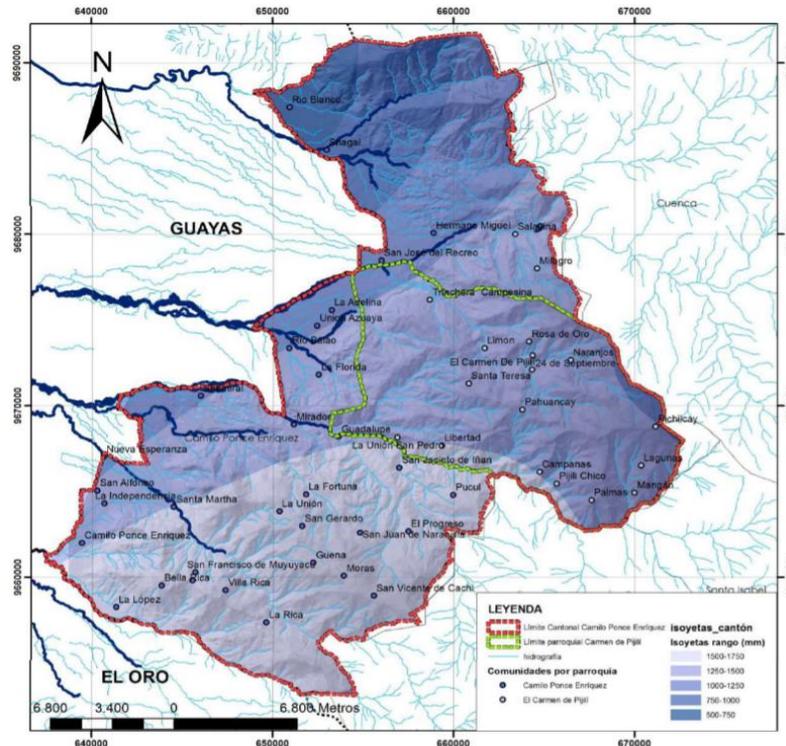
## 1.5.Clima

El clima es un factor ambiental que funciona como:

- Indicador de las condiciones ambientales en general índices bioclimáticos.
- Condicionante de diseño: lluvia, viento, insolación.
- Recurso de evaluación energética.

Una vez identificados estos factores se puede obtener estudios de: temperatura, humedad, vientos, entre otros y así poder comprender el medio natural de la zona de estudio, por lo que en el sector la López, donde se encuentra la relavera en estudio es una zona con bajas precipitaciones como se observa en la figura 1.4. (Barzallo, Espinoza, Moncayo, & Martinez, 2015).

La figura 1.4 muestra las precipitaciones en el cantón Camilo Ponce Enríquez que va desde los 500 a 1500 mm siendo zona de intensas lluvias especialmente la zona norte del cantón y al sur es una zona seca que presenta precipitaciones de 500 mm. (ClimateData, 2021).



**Figura 1.4.** Precipitaciones en el cantón Camilo Ponce Enríquez.

**Fuente:** (Equipo técnico GADM Camilo Ponce Enríquez, 2015)

## 1.6. Vegetación

La cobertura vegetal más notoria en la zona de Ponce Enríquez, es la presencia de bosques con pasto cultivado, sembríos de ciclo corto como: cacao, banano, maracuyá, pastizales entre otros. (Ministerio de Agricultura, Ganadería & Pesca, 2015).

En el cantón Camilo Ponce Enríquez existe una gran afectación por la gran expansión de territorio en la actividad ganadera, con actividades como la tala de bosques, quema de chaparros entre otras actividades, que afectan directamente a la cobertura vegetal, como se evidencia en la figura 1.5. (Barzallo, Espinoza, Moncayo, & Martinez, 2015).



**Figura 1.5.** Expansión de la frontera ganadera.

**Fuente:** (Equipo técnico GADM Camilo Ponce Enríquez, 2015)

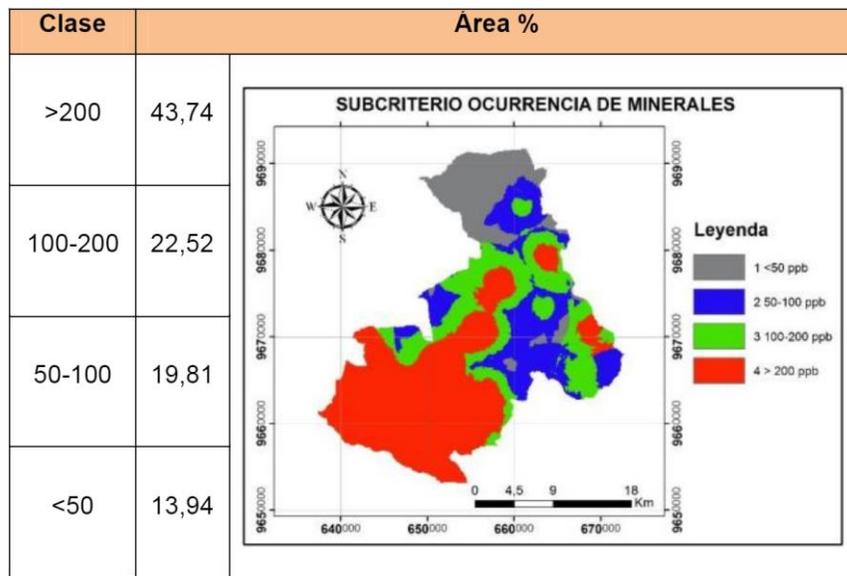
## 1.7. Población

De acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), en el año 2010, la población de Camilo Ponce Enríquez fue de 21.998 habitantes. (INEC, 2010).

### 1.8.Mineralización

Las vetas en la zona de Camilo Ponce Enríquez son una mezcla entre cuarzo-carbonato y auríferas multifase, con una presencia de sulfuros entre el 1% y el 15 % los cuales pueden formar vetillas semi - masivas con potencias mayor a los 5 centímetros. (Chamba, 2018).

En la zona de estudio se ha identificado una gran variedad de asociaciones mineralógicas, donde se evidenció la presencia de sulfuros (pirita, calcopirita, esfalerita), que son grandes indicadores que en la zona existe la presencia de oro, la roca de caja fue identificada como Andesita Basáltica (Alegría, 2014).



**Figura 1.6.** Mineralización en CPE.

**Fuente:** (Chamba, 2018)

**Tabla 2.2.** Rango de mineralización en Camilo Ponce Enríquez

Rango (ppb)	Observación
<50	Menor indicio de mineralización
50-100	Mediano indicio de mineralización
100-200	Moderado indicio de mineralización
>200	Mayor indicio de mineralización

**Fuente:** (Chamba, 2018)

En su investigación (Chevez, 2011) manifiesta que: “La roca huésped de la mina comprende rocas de composición andesítica, de color verde, con relleno (vetillas) de clorita, epidota, cuarzo, carbonatos y sulfuros diseminados en algunas zonas. La granulometría de la roca varía de fino a muy fino, en muchas partes de ellas se puede observar claramente la silicificación, y carbonatación que está claramente marcada con una decoloración progresiva de la roca de verde oscura a verde blanquecina.

Los depósitos minerales son de tipo epitermal de baja sulfuración. La mineralogía en estos depósitos está dominada por pirita, esfalerita, malaquita, pirrotina, calcopirita, galena, cuarzo, oro y plata, en algunas partes existe también calcita y aragonito.

Las características morfológicas y texturales más destacadas de las muestras en los depósitos, es la presencia de depósitos de cristales de pirita, de tamaño que oscila entre 1mm y 2 mm, bien formados, con numerosas fracturas, orientadas o aleatorias, rellenos con calcopirita y algunas veces galena.”

### **1.9. Antecedentes de la pequeña minería en Ecuador**

La actividad extractiva en nuestro país surgió y se desarrolló como pequeña minería, pero principalmente el tipo de minería más común en la zona de Ponce Enríquez hasta el día de hoy es la minería artesanal. Mientras se empezó a desarrollar la explotación no existían órganos reguladores ni controles que permitiesen llevar los procesos de manera segura. Sin embargo, luego de exigir el cumplimiento y establecer mejoras a la Ley de Minería, el Gobierno de Ecuador empezó a implementar medidas para controlar los distintos procesos minero- metalúrgicos. En donde la parte ambiental toma un papel prioritario y se establecieron normas y reglamentos que controlan los procesos mineros de forma amigable con el ambiente.

Según manifiestan (Peña & Menéndez, 2016), en las relaveras de Camilo Ponce Enríquez se han depositado grandes volúmenes de mineral a lo largo del tiempo, que contienen una considerable cantidad de sulfuros. Estos sulfuros al tener contacto con la lluvia y el oxígeno atmosférico van generando el drenaje ácido minero (DAM), afectando principalmente a las fuentes de agua aledañas a la relavera o aguas superficiales.

Otro problema notorio en la zona es la saturación de las mismas, debido a que en las relaveras se depositan grandes volúmenes de desechos (colas), que necesitan un pronto tratamiento o vaciado de las mismas, caso contrario colapsarían y se generarían grandes impactos ambientales.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Fundamentos teóricos**

Los depósitos en los relaves están directamente relacionados con el proceso de beneficio mineral, en los cuales los desechos es decir las colas o relaves, son depositados en las relaveras. En el caso del presente estudio se analizarán las colas provenientes del proceso de concentración conocido como flotación.

Actualmente las grandes empresas para poder cumplir con su objetivo diario de producción principalmente de oro, optan por extraer grandes volúmenes de material, dado que incluso en yacimientos que contienen grandes concentraciones de mineral, la cantidad de roca estéril sobrepasa significativamente la cantidad del mineral valioso. En muchos casos la flotación ha sido reemplazada a los procesos de amalgamación, motivo por el cual en este proceso se recupera de mejor manera las partículas más finas, siendo este proceso el utilizado por la empresa en estudio. En Yacimientos de oro es recuperable aproximadamente 1 gramo de oro por tonelada de roca. (Larrahondo, Cobos, & Beltrán, 2018).

##### **2.1.1. Relave**

Es la mezcla del mineral molido, agua y otros compuestos producto del beneficio mineral, es el lugar donde se depositan minerales y sustancias que no representan un interés económico conocidos como “colas”. Las colas son transportadas hacia unas piscinas conocidas como relaveras mediante cañerías o canaletas, donde existe una gran presencia de materiales finos (arenas y limos). (Ministerio de Minería Chile, 2015).

##### **2.1.2. Pasivos mineros**

Es aquel daño generado por una obra, proyecto o actividad productiva o económica, que no ha sido reparado o restaurado, o aquel que ha sido intervenido previamente, pero de forma inadecuada o incompleta y que continua presente en el ambiente, constituyendo un

riesgo para cualquiera de sus diferentes componentes. Por lo general, el pasivo ambiental está asociado a una fuente de contaminación y suele ser más dañino conforme avanza en el tiempo. (Ministerio del Ambiente, Agua & Transición Ecológica de Ecuador, 2017).

Los pasivos ambientales mineros incluyen: socavones, labores mineras, botaderos (escombreras) y relaves mineros que dejaron de operar o se encuentran en abandono, siendo los relaves los que podrían generar la contaminación de: aguas superficiales y subterráneas, de suelos en la zona de influencia, además de un impacto visual negativo, riesgo continuo de daños al ecosistema frente a los desastres naturales y la presencia de metales pesados. (Romero, Chávez, & Medina, 2009).

### **2.1.3. Daño ambiental**

Es toda alteración significativa que, por acción u omisión, produzca efectos adversos al ambiente y a sus componentes, afecte las especies, así como la conservación y equilibrio de los ecosistemas. Engloba los daños no reparados o mal reparados y los demás que conlleven a dicha alteración. (Ministerio del Ambiente, Agua & Transición Ecológica de Ecuador, 2017).

### **2.1.4. Reparación integral**

Es un conjunto de acciones, procesos y medidas, incluidas las de carácter provisional, para revertir impactos y daños ambientales; evitar su recurrencia; y facilitar la restitución de los derechos de las personas, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas.

## **2.2. Características de un relave**

### **2.2.1. Origen y producción de relaves de concentradoras**

El proceso de concentración comienza con el chancado del mineral proveniente de la mina hasta llegar a obtener tamaños de partículas que generalmente se encuentran en el rango de centímetros o milímetros. El mineral chancado es luego reducido a tamaños

menores de aproximadamente milímetros, por medio de la ayuda de tambores rotatorios conocidos como: molinos de bolas, molinos de varillas y molinos semiautógenos (SAG). Posterior a ello, se agrega agua al mineral molido y el material permanece en forma de lodo (pulpa) comenzando la etapa de concentración gravimétrica; por último se obtiene un concentrado de partículas muy finas que no lograron ser recuperadas en procesos anteriores gracias a la etapa de flotación. La flotación es un proceso físico-químico en donde partículas que tienen un carácter hidrofílico son convertidas a partículas hidrofóbicas a través un proceso de elección selectiva y a través de la inyección de burbujas de aire que serán las encargadas de adherirse a la partículas de interés formando una espuma que contiene estas partículas valiosas y que posteriormente son retiradas de la superficie, procesadas, y secadas para transformarse en un concentrado. Este producto final es llevado a la etapa de fundición para su respectiva refinación. Entre tanto, las partículas de desecho que no representan un interés económico son depositadas en colas y llevadas en conjunto a los relaves. (Ministerio de Energía & Minas de Perú, 2020).

### **2.2.2. Propiedades físicas y estructurales**

Las características físicas de los depósitos de relaves dependen fundamentalmente de la manera en la cual fueron depositados. Los relaves son casi siempre transportados desde la concentradora a través de una tubería, en forma de pulpa en concentraciones que van del 20% al 50% de sólidos en peso. La pulpa es descargada desde la cresta del dique a través de grifos, en la línea de relaves espaciados más o menos desde 10 a 50 m.

Conforme los sólidos se asientan a partir de la pulpa descargada, se forma una playa de leve inclinación que se extiende desde el punto de descarga hasta la zona de decantación, donde el agua remanente de la pulpa se acumula para ser recirculada a la concentradora. En teoría, el material más denso se asienta inicialmente a partir de la pulpa, las partículas menos densas se asientan más lejos de la playa, y las mucho menos densas, y de tamaño muy fino como arcillas y limos, se asientan en la zona de decantación dando lugar al modelo altamente idealizado de segregación por tamaño y permeabilidad relativa.

Las características químicas de un relave pueden variar de un yacimiento a otro; por lo que varios depósitos de similares características, pero con una distinta geoquímica, pueden ser explotados a lo largo de la mina, ocasionando variaciones en las características químicas de los relaves producidos. (Ministerio de Energía & Minas de Perú, 2020).

### **2.2.3. Drenaje ácido de relaves**

El drenaje ácido de relaves se refiere a procesos por los cuales el potencial de hidrógeno (pH) del agua en contacto con los relaves puede aumentar severamente, dando como resultado la disolución y transporte de metales tóxicos disueltos tales como arsénico, plomo, cadmio, y un conjunto de otros, además de un drástico incremento del contenido de los sulfatos. El drenaje ácido de relaves (ARD) es específico para cada cuerpo mineralizado y para sus distintas condiciones físicas y climáticas; no hay reglas generales para predecirlo, sin la ayuda de pruebas geoquímicas. La primera condición necesaria para la formación del ARD, es que los minerales sulfurados que estén presentes en los relaves, sean principalmente la pirita, pero también otros tipos de sulfuros aún más reactivos tales como la pirrotita y la marcasita.

Esto puede ser determinado frecuentemente en forma cualitativa a partir de la información geológica respecto al cuerpo mineralizado, pero otra señal puede ser la alta gravedad específica de los relaves. Aunque los relaves de los minerales metálicos están compuestos principalmente de silicatos o carbonatos con gravedad específica (Gs) de 2.65 a 2.85, ellos contienen al menos pequeñas cantidades de metales no recuperados y hierro del proceso de molienda, es decir pequeñas fracciones de barras o bolas de acero que típicamente resultan en una gravedad específica en el rango de 2.8 a 2.9 para los minerales bajos en sulfuros. Por contraste, los relaves altos en sulfuros a menudo exceden considerablemente este rango, con una gravedad específica que a menudo se ubica sobre 3.5. (Romero, Chávez, & Medina, 2009).

### 2.3. Tipos de relave

Según el (Servicio Nacional de Geología & Minería de Chile, 2018), actualmente existen varios tipos de depósitos de relaves, que varían según la cantidad de agua que acompaña al relave, entre los cuales se distinguen cinco tipos de relaves principales:

- a) **Tranque de Relave:** Es aquel depósito, donde las partículas más gruesas del relave forman un muro compactado.
- b) **Embalse de relave:** Es aquel depósito donde el muro de contención está construido con material propio de la zona (tierra y rocas aledañas) y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno.
- c) **Relave espesado:** Es un depósito, cuya superficie es sometida a un proceso de sedimentación por medio de un equipo denominado “espesador”. El objetivo del equipo es retirar el agua de manera significativa, para que pueda ser devuelta a los procesos en forma de aguas recirculadas.
- d) **Relave filtrado:** Es un depósito que contiene menos agua que el relave espesado, gracias a un proceso de filtración.
- e) **Relave en pasta:** Corresponde a una mezcla de agua con sólidos, que contiene abundantes partículas finas y un bajo contenido de agua.
- f) **Otros tipos:** Existen otros tipos de depósitos de relaves, como por ejemplo los depósitos en minas subterráneas, tajos abandonados, entre otros.

### 2.4. Definición de ley mineral

Ley mineral se refiere a la concentración de oro, cobre, plata, etc., presente en un yacimiento. La ley media y de corte se puede definir como el porcentaje en gramos por tonelada de un elemento de interés dentro de un yacimiento (Ministerio de Minería Chile, 2015).

Sin embargo, la tecnología aplicada y los erróneos procesos de recuperación han generado que existan minerales de alto interés económico en los relaves.

## 2.5. Flotación

### 2.5.1. Definición

La flotación es un proceso físico-químico de separación de minerales que usa la hidrofobicidad (alejamiento de las partículas al agua) como una propiedad de separación, permitiendo la concentración de minerales en suspensiones acuosas. Este proceso consiste en la separación de partículas sólidas “hidrófobas” (rechazan el agua) de partículas sólidas “hidrofilicas” (atraídas por el agua), con la ayuda de inyección de burbujas de aire (Rúa, Cartagena, & Baena, 2008). Se debe trabajar con un material que no sea mayor a la malla 48 ni menor a malla 270, ya que cuando se tienen partículas gruesas, las partículas se depositarán al fondo del recipiente evitando la flotación y averiando los equipos; en cambio, cuando el material es demasiado fino, la selectividad del material de interés decrece, provocando la flotación de gangas y también inhibiendo la adhesión partícula burbuja, debido a que no se adhiere la energía cinética para este proceso. (Bustamante, Tobón, & Naranjo, 2012).

El proceso de flotación es uno de los métodos más utilizados para la recuperación de oro, es también aplicado como un tratamiento previo de minerales refractarios con el objetivo de optimizar el proceso metalúrgico, además es considerado en la actualidad como el método más rentable para la concentración de oro.

### 2.5.2. Tipos de flotación

La flotación es un procedimiento de separación sólido-líquido o líquido-líquido, el cual es aplicado a partículas cuya densidad es menor que la densidad del líquido en donde se encuentran. Según la empresa (LENNTECH V.B., 2021), nos indica diferentes tipos de flotaciones las cuales son:

- **Flotación natural:** Se genera cuando la diferencia de densidades entre las partículas y el medio es suficiente para la separación.
- **Flotación asistida:** Ocurre cuando se usan medios externos para promover la separación de partículas que no son naturalmente hidrofóbicas.

- **Flotación inducida:** Ocurre cuando la densidad de las partículas es disminuida artificialmente para permitir que las partículas floten. Esto está basado en la capacidad de ciertas partículas sólidas y líquidas para vincularse con burbujas de gas (usualmente aire) para formar la tensión superficial “gas-partícula” con una densidad menor a la del líquido.
- **La flotación de aire disuelto (DAF en inglés):** Es un procedimiento de flotación inducida con burbujas muy finas de aire o “micro burbujas”, con tamaños que oscilan los 40 a 70 micrones.
- **La flotación mecánica:** Es un término usado en la industria minera para describir el uso de aire comprimido para producir burbujas que midan entre 0.2 a 2 mm de diámetro.

Proceso de Flotación	Flujo de Aire Usado $\text{Nl.m}^{-3}$ de Agua	Tamaño de la Burbuja	Potencia de Entrada por $\text{m}^3$ Tratado $\text{Wh.m}^{-3}$	Tiempo de Retención Teórico min	Carga Superficial Hidráulica $\text{mh}^{-1}$
Flotación asistida (remoción de grasa)	100-400	2-5 mm	5-10	5-15	10-30
Flotación <b>mecánica</b> (flotación espumosa)	10.000	0.2-2 mm	60-120	4-16	
Flotación de <b>Aire Disuelto</b> (clarificación)	15-50	40-70 $\mu\text{m}$	40-80	20-40 (excluyendo la floculación)	3-10

**Figura 2.1** Proceso de flotación para el tratamiento de relaves

**Fuente:** (LENNTECH B.V.)

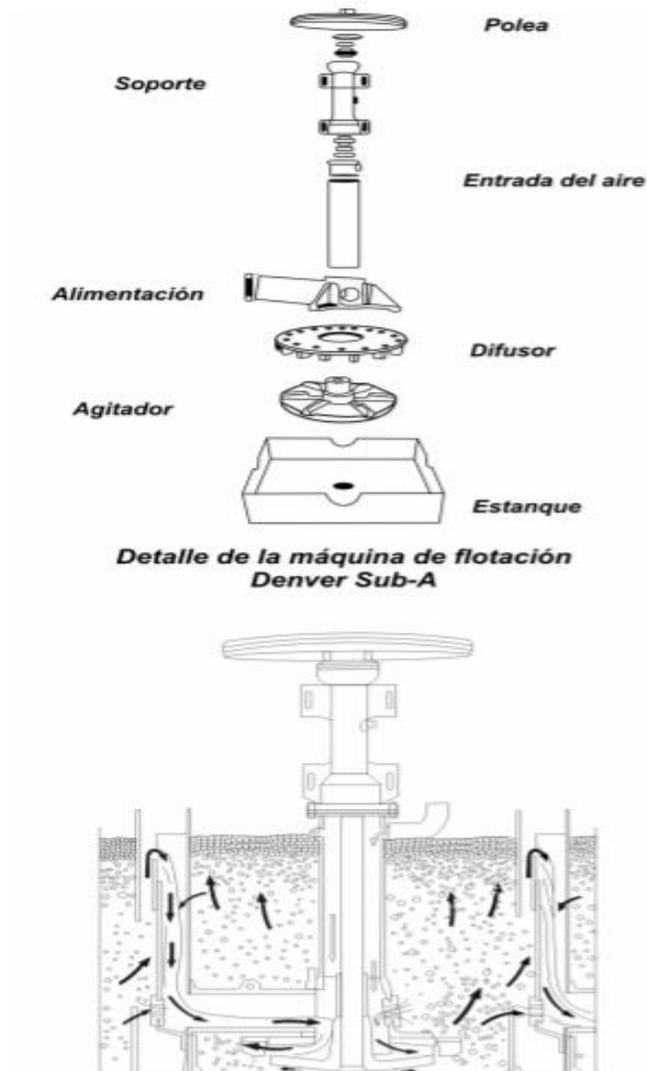
### 2.5.2.1. Flotación Denver

Es un proceso fisicoquímico (sólido, líquido, gas) que, mediante la adhesión de burbujas de aire, propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas y adición de reactivos de flotación como colectores, espumantes y modificadores, se obtiene una flotación óptima.

Las máquinas Denver son celdas de acero, las cuales tienen su propio agitador.

El alimento va directamente desde un tubo lateral y es descargado al relave por otro ubicado en un nivel más bajo, por lo que el movimiento de la pulpa dentro de los tanques se da por gravitación. El concentrado es retirado de los tanques por lavado con agua o a su vez por paletas giratorias. (Figuroa, 2005)

La forma de operar de esta máquina se la evidencia en la siguiente figura 2.2.



**Figura 2.2** .Máquina de flotación Denver sub- A  
**Fuente:** (Figuroa, 2005)

## 2.6. Recuperación de metales a partir de relaves

La recuperación es la relación que existe en una operación de concentración entre el peso del material útil o de interés que hay en el concentrado con respecto a la cantidad de ese mismo mineral que hay en la alimentación, o que ingresó a la operación. (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008) La recuperación se expresa en la siguiente fórmula:

$$R = \frac{T_c \cdot (T_a - T_r)}{T_a \cdot (T_c - T_r)} \quad (4)$$

En donde:

R: Recuperación

T<sub>c</sub>: Tenor de concentrado

T<sub>a</sub>: Tenor de alimento

T<sub>r</sub>: Tenor de relave

Es importante indicar la razón de enriquecimiento ya que nos indica la relación entre el tenor del mineral útil del concentrado y el tenor del mismo mineral en la alimentación. (Vergara, 2019).

$$R.E. = \frac{T_c}{T_a} \quad (5)$$

En donde:

R.E.: Razón de enriquecimiento

T<sub>c</sub>: Tenor de concentrado

T<sub>a</sub>: Tenor de alimento

Para comparar la calidad entre la separación de dos especies minerales que desean separarse en el proceso de concentración se cuenta con el índice de selectividad. (Vergara, 2019).

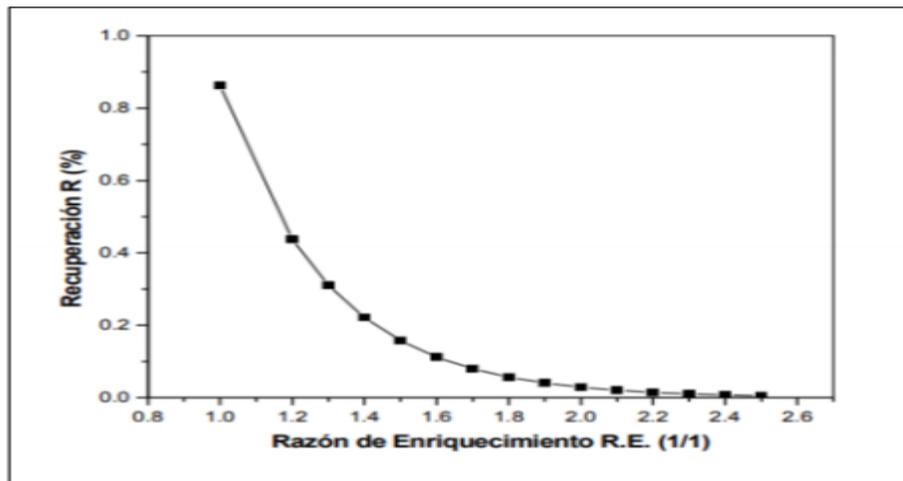
$$IS = \frac{Ta(X)*tt(Y)}{Ta(Y)*tt(x)} \quad (6)$$

En donde:

Ta(X) y Ta(Y): Tenores del componente X y Y en la alimentación

T<sub>t</sub>(X) y T<sub>t</sub>(Y): Tenores que componen X y Y del relave

La relación entre la recuperación (R) y la razón de enriquecimiento (R.E.) se muestra en la figura 2.3, en donde el factor de recuperación será mayor si la razón de enriquecimiento es baja, y viceversa.



**Figura 2.3.** Razón de recuperación versus razón de enriquecimiento

**Fuente:** (Gaviria, 2019)

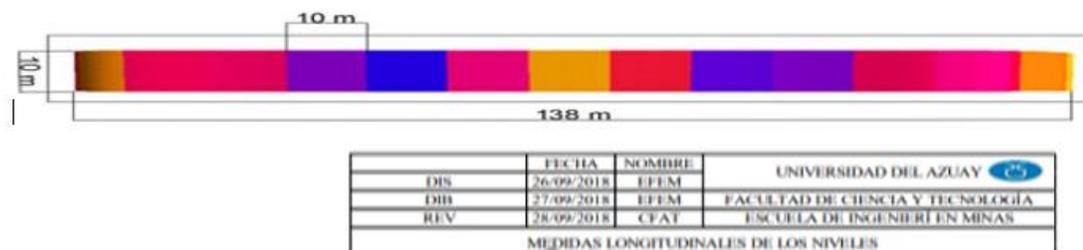
## 2.7. Estudios de recuperación de relaves por el proceso de flotación

Inicialmente la actividad minera en el Ecuador se hizo de manera artesanal (experimental), por procesos anti-técnicos, los cuales generaban una baja recuperación de recursos. La gran mayoría de minerales que era desechados correspondían a minerales de interés económico, que por la ejecución de procesos deficientes se mezclaron con minerales sin valor económico, lo que provocó que hoy en día las relaveras estén

colapsadas y con minerales que representan valores económicos (Romero, Chávez, & Medina, 2009).

Una investigación realizada por (Espinoza, 2018), determinó la ley de oro en la relavera de la empresa PRODUMIN S.A.; para ello fueron analizadas 60 muestras por el método Fire Assay y por ensayos de absorción atómica, obteniendo los siguientes resultados:

- La ley media de oro en el nivel 1 corresponde a la ley más baja, siendo esta de 0,71 g/t.



**Figura 2.4.** Nivel 1 de estudio

**Fuente:** (Espinoza, 2018)

**NOTA:** Cabe recalcar que esta tesis fue realizada en la misma relavera, por lo que el ingeniero Espinoza hizo un estudio de toda la profundidad de la relavera.

- La ley media de oro en el nivel 2 corresponde a la más alta, siendo esta de 2,22 g/t.
- El nivel 1 tiene una reserva de 107.044,656 gramos, el nivel 2 tiene una reserva de 232.371,654 gramos de oro. La sumatoria del nivel 1 y 2 de la reserva es de 339.416,31 gramos de oro, el cual puede aumentar si se realiza un estudio total de la relavera.

(Guanuchi & Romero, 2020), en un estudio para recuperar metales de los relaves auríferos en la sociedad minera “Goldmins”, ubicada en Zaruma-Ecuador, realizaron una caracterización química de relaves que demostró la presencia de los metales Pb y Zn. Para la recuperación utilizaron el proceso de flotación por espuma tipo batch a escala de

laboratorio, se utilizaron reactivos como: activador  $\text{CuSO}_4$ , colectores el complejo de Xantato Amílico de Potasio Z-6 y el Ditiostato/404, espumante el Froter-350. Estos reactivos permitieron obtener la mayor concentración con valores de recuperación del 85% para Pb y de 74% para Zn.

(Velín, 2014), en un estudio a una planta de recuperación de oro por concentración gravimétrica, flotación y cianuración ubicada en el cantón Piñas, muestra el mejoramiento y simulación de una planta de recuperación de oro por concentración gravimétrica, flotación y lixiviación donde se procesa un mineral aurífero poli sulfurado con una ley de 6,2 g/t Au, 15,6 g/t Ag, 0,24 % Cu y que posee una recuperación global de 89 % Au, 46 % Ag y 96 % Cu. Los ensayos de flotación se realizaron en una celda de flotación unitaria de 2,5 L de capacidad con 33,3 % de sólidos con Amil xantato de potasio y aceite de pino. La cianuración se llevó a cabo en un reactor agitado al 33 % de sólidos, pH entre 10,5 y 11,0 por 24 h; se varió la concentración de NaCN y tamaño de partícula. Además, se aplicó diferentes tratamientos oxidativos previa la cianuración. Los resultados mostraron un incremento en la recuperación de oro y plata por concentración gravimétrica de 11 a 21 % Au y de 0,4 a 3 % Ag, del mismo modo en la cianuración la recuperación de oro y plata ha mostrado una aumentando de 29 a 66 % y de 7 a 21 %, respectivamente. Sin embargo, en la flotación la recuperación de oro se reduce del 68% hasta 30 % Au. También se realizó simulaciones computacionales con la ayuda de los simuladores Moly-Cop y ModSim, a fin de determinar las mejores condiciones para el tratamiento del mineral en la planta.

## **2.8. Gestión de residuos en Ecuador**

En abril de 2010, se creó el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (MAE-PNGIDS), con el objetivo fortalecer la gestión municipal en residuos sólidos en Ecuador, fomentando una cultura de cuidado ambiental, aprovechamiento de residuos y aplicando el principio de Responsabilidad Extendida del Productor. (REP). Con este programa se responsabiliza a la industria que coloca sus productos al mercado como responsable de la recuperación y manejo de los mismos.

Las metas establecidas para el 2017 por el PNGIDS se enfocan en: la reducción y aprovechamiento de residuos en cada etapa de la cadena con valor, de manera que la situación actual cambie. Así, en cuanto a la generación de residuos la meta es la generación de políticas de reducción de residuos; en cuanto a la recolección y barrido la meta es llegar a un 60 % en lo rural y un 90 % en lo urbano frente al 40 % en lo rural y un 67 % en lo urbano de la actualidad. En cuanto a la disposición final, la meta es eliminar los botaderos y optimizar los rellenos sanitarios, actualmente los desechos disponen el 20 % en rellenos sanitarios y el 80 % en botaderos.

El programa Nacional para la Gestión Integral de Deshechos (PNGIDS) se enfoca en siete componentes: político, técnico, participación, inclusión y economía social, optimización de servicios, responsabilidad y corresponsabilidad y control, seguimiento y monitoreo. El programa contempla las siguientes estrategias:

- a) Categorización y priorización de los GAD's: Los parámetros de clasificación de los GAD's responden a criterios de población y se clasifican en: grandes con una población que va desde 300.001 a 5'000.000 de habitantes; medianos, con una población de 50.001 a 300.000 habitantes; pequeños, con una población de 15.001 a 50.000 habitantes; y micros, con una población menor a 15.000 habitantes.
- b) Diseño e implementación de un modelo estandarizado de Gestión Integral de Residuos Sólidos, a cargo del PNGIDS MAE y adaptable a nivel país por cada municipio.
- c) Cierre técnico de botaderos y rellenos sanitarios: El PNGIDS apunta que al finalizar su gestión se hayan hecho los cierres técnicos de todos los botaderos existentes.
- d) Agregación de valor: Orientado al aprovechamiento de los residuos en todas las etapas de la cadena de tránsito de estos.
- e) Reestructuración del modelo tarifario, con este parámetro se pretende recuperar a inversión de los GAD's respecto a la gestión de residuos.
- f) Creación de mancomunidades, que consiste en agrupar a GAD's pequeños y micros para el manejo de los desechos sólidos de forma conjunta para que la inversión individual disminuya.

## **2.9. Política pública de reparación integral**

La Política Pública de Reparación Integral de daños o pasivos ambientales y sociales está definida como una necesidad que tiene el Estado ecuatoriano de articular acciones que permitan restablecer las condiciones de los componentes ambientales y sociales afectados por la operación defectuosa de actividades económicas, programas o proyectos privados o estatales, en cualquier parte del territorio nacional.

La política está enfocada en la reparación integral de los daños ambientales para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida y la protección de los derechos de la naturaleza. En sus inicios esta política estaba orientada a las actividades petroleras, en la actualidad ya es aplicable para la minería.

## **2.10. Programa de reparación ambiental y social (PRAS)**

El Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS), fue creado en el año 2008 con la finalidad de eliminar los casos con daños ambientales sin atención o con atención incompleta, restituyendo los derechos de la naturaleza y de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. La entidad responsable desarrolla herramientas de gestión socio ambientales a nivel nacional para aplicar la política de reparación integral de los pasivos socio ambientales generados por actividades económicas. (Ministerio del Ambiente, Agua & Transición Ecológica, 2008).

Los objetivos específicos del Programa de Reparación Ambiental y Social, (PRAS), se mencionan a continuación:

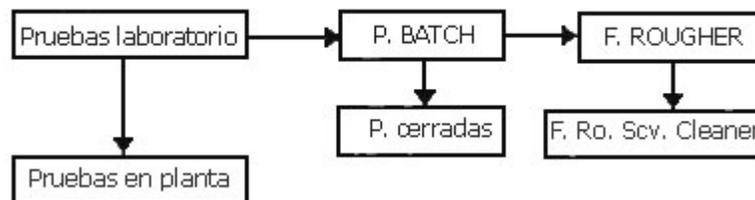
- Implementar el Sistema Nacional de Información de la Reparación Integral de los pasivos socio-ambientales generados por las actividades económicas, articulado con otras herramientas de gestión ambiental, social, económica e institucional.
- Diseñar y promulgar planes de reparación integral de pasivos ambientales y sociales generados por las distintas actividades económicas que se desarrollan en el país.

- Realizar el seguimiento, monitoreo y evaluación de la aplicación de los Planes de Reparación Integral de pasivos ambientales y sociales.
- Ejecutar acciones previas y/o complementarias para la Reparación Integral.

La dirección técnica del PRAS se lleva a cabo a través de dos unidades: la Unidad de Reparación Integral y la Unidad de Peritaje Ambiental. La primera encargada de realizar el levantamiento de información técnica para fines estadísticos e indicadores socio ambientales y para diseñar planes de reparación integral. La segunda se encarga de examinar las afectaciones socio ambientales ocasionadas por actividades antrópicas. (Ministerio del Ambiente, Agua & Transición Ecológica, 2008).

### 2.11. Métodos para la evaluación de reactivos

La investigación realizada por (Azañero & Morales, 1999), muestra métodos científicos experimentales para evaluar reactivos de flotación, principalmente para colectores y espumantes en una planta concentradora que siguen los pasos descritos en la figura 2.5:



**Figura 2.5.** Proceso de evaluación de reactivos

**Fuente:** (Azañero & Morales, 1999)

**Pruebas de laboratorio:** en esta primera etapa se selecciona el reactivo de mejor rendimiento que pasa una prueba en planta. Al iniciar se debe establecer pruebas de referencia que sirvan de base frente a los reactivos a evaluar. La prueba es tratada en condiciones similares a la planta concentradora que sirve para comparar el rendimiento metalúrgico de cualquier reactivo u otra variable en estudio. (Azañero & Morales, 1999).

**Pruebas de flotación:** estas pruebas tienen que ser efectuadas en condiciones exactamente iguales a la prueba estándar, es decir, granulometría, dilución, dosificación de reactivos, tiempo de acondicionamiento y flotación, nivel de pulpa, rpm, remoción de espumas, etc. En la flotación, la técnica empleada debe ser la misma para las demás pruebas, tratando de eliminar en lo posible el error experimental, que podría ocasionar conclusiones erróneas. Si la prueba está bien trabajada los resultados metalúrgicos incluyendo los pesos de los productos deben ser similares entre sí; esto significa que la preparación de la muestra antes y después de las pruebas sean efectuadas correctamente, si son exactas entonces estará en condiciones de efectuar con seguridad las pruebas metalúrgicas tendientes a evaluar reactivos de flotación. Para cuantificar la calidad en la evaluación de uno o más reactivos, estos se deben comparar con otro reactivo de marca y calidad reconocida (Reactivo Patrón). (Azañero & Morales, 1999).

**Pruebas metalúrgicas:** los autores (Azañero & Morales, 1999), recomiendan hacer las pruebas metalúrgicas con flotaciones Rougher, Rougher-scavenger en una etapa inicial, por su rapidez y bajo costo, posteriormente ya con el reactivo(s) seleccionado se puede ir a pruebas más elaboradas donde se incluyan etapas de limpieza y/o pruebas cerradas (cycle test or lock test). Estas pruebas deben llevarse a cabo con el mínimo error posible, así mismo recomiendan dar preferencia a la práctica de flotación, hasta correr una prueba por triplicado. Partiendo de 1 kg de muestra se debe obtener casi la misma cantidad de concentrado, con variaciones en un gramo como tolerancia mínima. La evaluación de reactivos será en base a recuperación, concentración, enriquecimiento, eficiencia de separación, índice de selectividad forma y tamaño de espumas y otros criterios metalúrgicos a convenir. El conocimiento del precio de los reactivos frente a la mejora obtenida por este mayor rendimiento metalúrgico ayudará a tener una mejor idea técnico-económica del reactivo evaluado. En casos donde los resultados metalúrgicos obtenidos con el reactivo evaluado sean ligeramente superiores al estándar y la eficiencia del reactivo no esté bien definida, es recomendable ir a pruebas donde se incluya etapas de limpieza y/o pruebas cerradas para confirmar o descartar las bondades del reactivo.

**Pruebas en planta piloto e industrial:** para confirmar los resultados obtenidos a nivel de laboratorio se tendrá que verificar a escala industrial, si la tendencia favorable se

ratifica a este nivel. Definitivamente, este reactivo resulta ser el más adecuado para el mineral, por lo tanto, se recomendará su uso en planta. Las pruebas industriales se realizarán en una sección o en toda la planta por un periodo adecuado a fin de tener tiempo suficiente para apreciar la efectividad del reactivo. Luego, la siguiente etapa, será evaluar económicamente en función del costo del reactivo y la ganancia metalúrgica obtenida. (Azañero & Morales, 1999).

En la investigación se evalúan dos reactivos Hostafлот LSB y Sodium Aerofloat, ambos promotores recomendados para sulfuros de zinc, cobre, cobalto y níquel y tienen selectividad con respecto a los sulfuros de hierro tales como pirita, marcasita y arsenopirita, el reactivo utilizado como patrón Aerofloat-211 - Ditiofostato Diisopropílico de sodio y el mineral que sirvió para realizar las pruebas metalúrgicas está constituido por un fuerte contenido de sulfuros, principalmente esfalerita, seguido de pirita, galena y marmatita y una menor proporción de arsenopirita en ganga de cuarzo y lamas primarias, tiene un 52% de Pb y 12% Zn total oxidado (Azañero & Morales, 1999).

## **2.12. Volumen de las arenas**

El volumen de las arenas que van a ser depositadas en la relavera está calculado de acuerdo a la producción diaria en la planta metalúrgica, diseño de embalse y condiciones topográficas.

El volumen de almacenamiento en la relavera 1 es de: 170050.240 t. Este valor se ha determinado de acuerdo a la altitud de la relavera. (Chevez, 2011).

Tabla 2.1. Volumen de la relavera

<b>COTA</b>	<b>SUPERFICIE (m<sup>2</sup>)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>COTA</b>	<b>Volumen de almacenamiento (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad de relaves (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de almacenamiento (t)</b>
97	8797.1	538.29	97 -98	8980.15	1.8	16164.27
98	9167.89	542.76	98-99	9352.43	1.8	16834.374
99	9541.61	547.12	99-100	9727.63	1.8	17509.734
100	9918.31	551.46	100-101	10105.81	1.8	18190.458
101	10298	555.82	101-102	10486.98	1.8	18876.564
102	10680.68	560.17	102-103	10871.14	1.8	19568.052
103	11066.34	564.53	103-104	11258.28	1.8	20264.904
104	11454.99	568.88	104-105	11648.41	1.8	20967.138
105	11846.63	573.24	105-106	12041.53	1.8	21674.754
106	12241.25	577.6	<b>TOTAL</b>	<b>94472.36</b>		<b>170050.248</b>

Fuente: (Chevez, 2011)

**Nota:** La relavera va desde la cota 97 siendo la más baja y la cota 106 siendo la más alta, esto relacionado a metros sobre el nivel del mar.

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS QUÍMICO Y PRUEBAS DE LABORATORIO

En este capítulo realizaremos el estudio de las muestras de la relavera seleccionada (1), la cual se encuentra completamente colmatada, ésta cuenta con una profundidad de nueve metros, pero la toma de muestras se realizó hasta los cinco metros de profundidad debido a que la condición del material no favorecía para que la maquinaria llegase a la base de la misma.

#### 3.1. Preparación de las muestras

Para preparar las muestras se consideraron una serie de factores como: malla de muestreo, costo sobre análisis de muestras y maquinaria disponible para toma de muestras. En base a estos componentes sostenemos que es rentable hacer una malla de muestreo en donde vamos a obtener 28 muestras a estudiar.

##### 3.1.1. Área de muestreo



**Figura 3.1.** Determinación de la cantidad de muestras

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.1.2. Malla de muestreo

Al analizar la malla de muestreo se consideró la dimensión del brazo de la excavadora de modelo CAT320D que cuenta con un brazo de 15 metros, lo que permitió obtener muestras de hasta una profundidad de cinco metros debido a las condiciones del material (zonas blandas con presencia de agua).

**Tabla 3.1.** Coordenadas de los Puntos de Muestra

<b>Coordenadas</b>		
N° muestra	X	Y
1	642175	9657116
2	642198	9657116
3	642221	9657116
4	642244	9657116
5	642267	9657116
6	642290	9657116
7	642313	9657116
8	642175	9657096
9	642198	9657096
10	642221	9657096
11	642244	9657096
12	642267	9657096
13	642290	9657096
14	642313	9657096
15	642175	9657096
16	642198	9657096
17	642221	9657096
18	642244	9657096
19	642290	9657096
20	642313	9657096
21	642175	9657055

22	642198	9657055
23	642221	9657055
24	642244	9657055
25	642267	9657055
26	642290	9657055
27	642313	9657055
28	642278	9657086

Fuente: Elaboración propia

Los puntos de las tomas de muestras se pueden apreciar en la Figura 3.2:

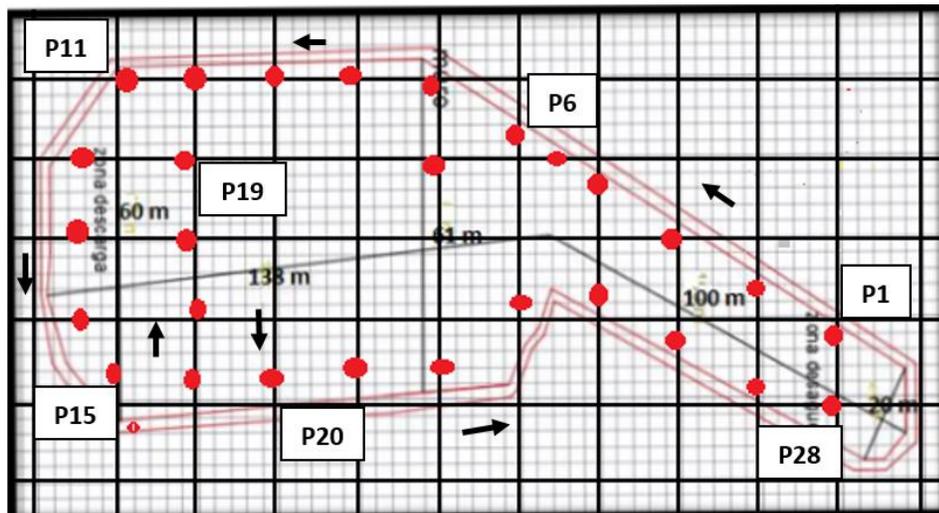


Figura 3.2. Malla de muestreo

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó de la siguiente manera: el material fue tomado a un metro de profundidad, luego a 2.5 metros y para finalizar a los 5 metros. Esta muestra tuvo un peso aproximado de 2 kilogramos, la cual fue homogenizada y se procedió a llevar al laboratorio de la empresa para su respectivo análisis.



**Figura 3.3.** Recolección de muestras

**Fuente:** Elaboración propia

#### **3.1.4. Preparación de la muestra**

Las muestras obtenidas fueron depositadas en fundas plásticas, selladas y llevadas al laboratorio propiedad de la empresa para su respectivo análisis.

### **3.2. Determinación de la cantidad de mineral existente en g/t**

#### **3.2.1. Procedimiento**

Una vez en laboratorio se procedió a homogenizar nuevamente los 2 kg de muestra para mejorar la calidad de la misma, posterior a ello se procedió a tomar una cantidad aproximada de 1000 gramos a la cual se le aplicó el método de la torta que consiste en reducir de manera ordenada y precisa la muestra. Una vez reducida la muestra a unos 200 gramos aproximadamente se la colocó en bandejas de aluminio para ser llevadas al horno para su respectivo secado como se evidencia en la figura 3.4.



**Figura 3.1.** Preparación de muestras en el laboratorio

**Fuente:** Elaboración propia

Ya con el material seco se procede a chancarlo y pulverizarlo con la ayuda de una sobadora de aluminio hasta conseguir un grosor que pase la malla 200, y así seleccionar una cantidad de 20 gramos de material por muestra que es lo necesario para realizar el ensayo al fuego.

Luego se procede a pesar el fundente (Flux) una cantidad de 110 g, reactivo necesario para seguir con el procedimiento del ensayo.



**Figura 3.2.** Pesaje de reactivos

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez con la muestra de 20 g de material y los 110 g de fundente se procedió a tomar un crisol donde fueron mezclados junto con 5 láminas de plata sólida y 30 g de bórax. Ya con la mezcla lista en el crisol, la muestra fue llevada hasta el horno industrial que tendrá una temperatura de 1060°C y estará por un tiempo aproximado de una hora y media.



**Figura 3.6.** Colocación de muestras en el horno

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente, se sacan las muestras del horno y se coloca en las lingoteras, en donde se obtiene un régulo de plomo como primer resultado, este régulo se lo pone en los crisoles refractarios de copelación en donde se los deja un tiempo aproximado de 60 min., para obtener finalmente el botón Doré como se evidencia en la figura 3.7.



**Figura 3.7.** Botones Doré

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez obtenido el botón Doré se procede a laminar el mismo para poder separar más fácil el oro de la plata en donde luego se lo ataca con ácido nítrico para obtener solo la cantidad de oro presente en la muestra. Luego se lo lleva a pesar en la balanza analítica en donde sabremos cuál es la cantidad en gramos por tonelada métrica de material de las muestras obtenidas. Para obtener valores más certeros, los análisis fueron realizados en forma gemela, es decir que se hizo dos análisis por muestra.



**Figura 3.8.** Balanza de alta precisión

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3. Diseño de experimentos para desarrollar los ensayos en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería en Minas

Para empezar a desarrollar los experimentos se empezó con la selección de 6 muestras a analizar en laboratorio las cuales fueron preparadas de la siguiente manera:

- Cuarteo de la muestra, mediante el método de la torta que fue llevada al laboratorio, para ello se seleccionó la cantidad de 1000 gramos los cuales fueron posteriormente llevados al horno y secadas como se evidencia en la figura 3.9.



**Figura 3.9.** Método de la torta  
**Fuente:** Elaboración propia

- Una vez sacadas las muestras del horno se procede a moler el material hasta pasar una cantidad de 400 gramos por la malla 200, material que servirá para la flotación.
- Siguiendo con el proceso, se realiza un cálculo para saber la cantidad de agua y material que se llevará hacia la celda Denver de flotación, en donde se añade espumante ER370 y un colector (Xantato amfílico de potasio).

- **Cálculo de densidad de las muestras**

Peso pipeta	19,9 g
Peso pipeta con agua	30 g

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa solida}}{\text{masa solida} + \text{peso pipeta con gua} - \text{peso muestra con agua}}$$

**Tabla 3.2** Cálculo de densidad de las muestras

#Muestra	Masa sólida (g)	Peso muestra con agua (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
2	0,5	30,3	2,5
4	0,5	30,3	2,5
8	0,5	30,3	2,5
11	0,5	30,3	2,5
18	0,5	30,3	2,5
19	0,5	30,3	2,5

**Fuente:** Elaboración propia

- **Cálculo de muestra sugerida para flotación**

$$\text{Densidad pulpa} = \frac{1}{\% \text{ fracción de sólidos} \left( \frac{1}{\text{densidad muestra}} - 1 \right) + 1} = \frac{1}{0.25 \left( \frac{1}{2.5} - 1 \right) + 1}$$

$$\text{Densidad pulpa} = 1,1764 \text{ g/cm}^3$$

- Volumen pulpa = 1 litro o 1000 cm<sup>3</sup>
- Masa pulpa = densidad pulpa \* volumen pulpa

$$\text{Masa pulpa} = 1,1764 \text{ g/cm}^3 * 1000 \text{ cm}^3$$

$$\text{Masa pulpa} = \mathbf{1176,4 \text{ g}}$$

$$- \text{ Masa del sólido} = \text{masa pulpa} - \text{masa líquida}$$

$$\text{Masa del sólido} = 1176,4 \text{ g} - 1000$$

$$\mathbf{\text{Masa del sólido} = 176,4 \text{ g}}$$

**Tabla 3.3.** Tabla de datos para la flotación de muestras

<b>Datos para la flotación</b>	
Muestra	176.4 g
Agua	750 ml
Xantato amílico de potasio	5 gotas
Espumante ER370	8 gotas
Densidad	2,5 g/cm <sup>3</sup>
Celda Denver	8 min Xantato 2 min espumante 2 min recolección de muestra.

**Fuente:** Elaboración propia

Primero se coloca la cantidad de agua con la muestra mientras se homogeniza, se coloca 5 gotas de Xantato en cual imparte hidrofobicidad a ciertas partículas minerales que van a ser estudiadas, luego se añade dos gotas de espumante ER70 cuya función es reducir la tensión superficial de la interfase gas-líquido y formar espuma, también posibilita la fácil adhesión de las partículas hidrófobas a las burbujas de aire.



**Figura 3.3.** Celda de flotación Denver

**Fuente:** Elaboración propia

El material extraído de la flotación, (concentrado), se lo seca para luego ser llevado a analizar las leyes de minerales obtenidas en este proceso.

#### **3.4. Ensayos en laboratorio**

El material de concentrado fue llevado nuevamente al laboratorio de la empresa en donde se volvió analizar mediante el método de ensayo al fuego la cantidad de oro allí presente, así también se analizó la cantidad de oro que pasa en las arenas (cola), presentado diferentes resultados como se evidencia en la tabla 4.2.

#### **3.5. Pruebas para neutralización de las arenas**

Las pruebas para saber el porcentaje concentrado de metales pesados en las arenas de relave se realizaron mediante el proceso absorción atómica en laboratorio de análisis químico-metalúrgico Lequin, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 3.4.** Análisis de las arenas

<b>Análisis de arenas</b>		
<b>#muestra</b>	<b>Metal</b>	<b>% de concentración</b>
1	Arsénico	0,18
2	Plomo	0.023
3	Mercurio	0,00

**Fuente:** Elaboración propia

Con los resultados de los análisis de metales pesados de las arenas, por recomendación del laboratorista no se deben utilizar este tipo de suelos provenientes de procesos mineros para usos agrícolas ya que contienen porcentajes de metales pesados muy altos, lo que equivale a una alta contaminación. Razón por la cual, realizar una neutralización de estas arenas no garantiza que estas puedan ser aptas para la agricultura, por lo que buscar otros campos como el de la construcción sería lo más adecuado.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se detallará uno por uno los resultados de las muestras estudiadas. En su totalidad fueron 28 muestras las cuales serán detalladas en la siguiente tabla:

#### 4.1. Resultados de los análisis de muestras tomadas de la relavera

**Tabla 4.1.** Resultados de las muestras tomadas de la relavera

<b>FECHA</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>LEY Au g/ton</b>
27/05/2021	Muestra #1	<b>0.5</b>
27/05/2021	Muestra #2	<b>0.5</b>
27/05/2021	Muestra #3	<b>0.49</b>
27/05/2021	Muestra #4	<b>1</b>
27/05/2021	Muestra #5	<b>0.42</b>
27/05/2021	Muestra #6	<b>0.5</b>
27/05/2021	Muestra #7	<b>0.45</b>
27/05/2021	Muestra #8	<b>0.5</b>
27/05/2021	Muestra #9	<b>0.49</b>
27/05/2021	Muestra #10	<b>0.46</b>
27/05/2021	Muestra #11	<b>1.25</b>
27/05/2021	Muestra #12	<b>0.5</b>
27/05/2021	Muestra #13	<b>0.46</b>
27/05/2021	Muestra #14	<b>0.5</b>
27/05/2021	Muestra #15	<b>0.48</b>
27/05/2021	Muestra #16	<b>0.48</b>
27/05/2021	Muestra #17	<b>0.5</b>
27/05/2021	Muestra #18	<b>2.25</b>
27/05/2021	Muestra #19	<b>1.25</b>
27/05/2021	Muestra #20	<b>0.45</b>
27/05/2021	Muestra #21	<b>0.46</b>

27/05/2021	Muestra #22	<b>0.47</b>
27/05/2021	Muestra #23	<b>0.48</b>
27/05/2021	Muestra #24	<b>0.5</b>
27/05/2021	Muestra #25	<b>2.25</b>
27/05/2021	Muestra #26	<b>1.25</b>
27/05/2021	Muestra #27	<b>0.45</b>
27/05/2021	Muestra #28	<b>0.46</b>

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2. Resultados de las pruebas de concentrado

Para obtener el concentrado mineral de las 28 muestras se realizó el proceso de flotación mediante la utilización de una celda de flotación Denver y posteriormente se llevaron 6 muestras al laboratorio seleccionadas al azar de diferentes sectores de la relavera para determinar sus respectivas leyes.

**Tabla 4.2.** Resultados de las pruebas de concentrado

<b>FECHA</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>LEY Au g/t</b>
10/07/2021	Muestra #2	<b>4</b>
	Cola #2	<b>0,4</b>
10/07/2021	Muestra #4	<b>10</b>
	Cola #4	<b>1</b>
10/07/2021	Muestra #8	<b>13</b>
	Cola #8	<b>1.5</b>
10/07/2021	Muestra #11	<b>12</b>
	Cola #11	<b>0.5</b>
10/07/2021	Muestra #18	<b>10</b>
	Cola #18	<b>0,4</b>
10/07/2021	Muestra #19	<b>10</b>
	Cola #19	<b>2</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Nota: Trazas es el resultado menor a 0.5 g/t.

### 4.3. Cálculos de los costos de operación

**Tabla 4.3.** Cálculos de los costos de flotación

<b>COSTO DE FLOTACIÓN</b>	
<b>Materiales</b>	<b>\$ / t</b>
Xantato (0,347 kg/t)	2.18
Er- 370 (0.08 kg/t)	0.52
Reactivos varios (0,05 kg/t)	0.21
Energía de flotación	2.6
Personal	2.5
Carga y Transporte	2
Relavera	17
Sub Total	27.01
Otros 10 % sub total	2.701
<b>TOTAL (\$/t)</b>	<b>29,71</b>

**Fuente:** Produmin S.A.

Nota. El costo de relavera incluye todos los procesos desde el transporte del material tratado hasta su depósito en la relavera, utilización de maquinaria para mover y acomodar los lodos de manera ordenada y el personal para estos procesos.

El costo de carga y transporte incluye desde la relavera hasta la planta para su nuevo tratamiento.

#### 4.4. Estudio de pérdidas o ganancias

**Tabla 4.4.** Análisis de ganancias o pérdidas

<b>Análisis de ganancias o pérdidas</b>	
<b>Ganancias</b>	<b>Pérdidas</b>
Venta de concentrado mineral	Flotación del mineral
Uso de las arenas en actividades agrícolas	Carga del mineral
	Transporte del mineral
	Personal calificado

**Fuente:** Elaboración propia

Con una ley media de concentrado de oro que se estima por los 10 g/t, la gran cantidad de material que contiene la relavera, el fácil acceso a la zona de explotación y la ubicación estratégica de la planta de tratamiento, se puede deducir que los resultados de factibilidad para este proceso de explotación serán positivos.

#### 4.5. Análisis de factibilidad en neutralizar o no las arenas en actividades agrícolas

Los análisis de laboratorio demuestran que por la presencia de arsénico y otros desechos contaminantes en las colas de relave luego del proceso de flotación para la recuperación de oro, es imposible su uso en agricultura y afines ya que las arenas aún contienen cantidades de metales pesados que dañarían los suelos, es por eso que se recomienda su uso para el sector de la construcción en donde se puedan realizar rellenos con ese material.

**Tabla 4.5.** Análisis de factibilidad en neutralizar arenas

<b>Análisis de factibilidad en neutralizar arenas</b>	
<b>Posibles usos</b>	<b>Descripción</b>
Rellenos	Vías en mal estado, material de base y sub base, socavones, recuperación de anchos de vía.

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.6. Simulación económica del aprovechamiento de la relavera

##### 4.6.1. Tablas de leyes medias y volumen

Tabla 4.6. Leyes medias

FECHA	CÓDIGO	LEY Au g/t
27/05/2021	Muestra #1	0.5
27/05/2021	Muestra #2	0.5
27/05/2021	Muestra #3	0.49
27/05/2021	Muestra #4	1
27/05/2021	Muestra #5	0.42
27/05/2021	Muestra #6	0.5
27/05/2021	Muestra #7	0.45
27/05/2021	Muestra #8	0.5
27/05/2021	Muestra #9	0.49
27/05/2021	Muestra #10	0.46
27/05/2021	Muestra #11	1.25
27/05/2021	Muestra #12	0.5
27/05/2021	Muestra #13	0.46
27/05/2021	Muestra #14	0.5
27/05/2021	Muestra #15	0.48
27/05/2021	Muestra #16	0.48
27/05/2021	Muestra #17	0.5
27/05/2021	Muestra #18	2.25
27/05/2021	Muestra #19	1.25
27/05/2021	Muestra #20	0.45
27/05/2021	Muestra #21	0.46
27/05/2021	Muestra #22	0.47
27/05/2021	Muestra #23	0.48
27/05/2021	Muestra #24	0.5
27/05/2021	Muestra #25	0.45

27/05/2021	Muestra #26	0.5
27/05/2021	Muestra #27	0.45
27/05/2021	Muestra #28	1.5
<b>Ley media</b>		<b>1.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4.7.** Ley media luego de flotación

<b>FECHA</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>LEY Au g/t</b>
10/07/2021	Muestra #2	4
	Cola #2	0,4
10/07/2021	Muestra #4	10
	Cola #4	1
10/07/2021	Muestra #8	13
	Cola #8	1.5
10/07/2021	Muestra #11	12
	Cola #11	0.5
10/07/2021	Muestra #18	10
	Cola #18	0,4
10/07/2021	Muestra #19	10
	Cola #19	2
	<b>Ley media de muestra</b>	<b>10</b>
	<b>Ley media de colas</b>	<b>1</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4.8.** Volumen total de la relavera

<b>Cota</b>	<b>Superficie m<sup>2</sup></b>	<b>Longitud m</b>	<b>Cota</b>	<b>Volumen de almacenamiento (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad de relaves (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de almacenamiento (t)</b>
97	8797.1	538.29	97 -98	8980.15	1.8	16164.27
98	9167.89	542.76	98-99	9352.43	1.8	16834.374
99	9541.61	547.12	99-100	9727.63	1.8	17509.734
100	9918.31	551.46	100-101	10105.81	1.8	18190.458
101	10298	555.82	101-102	10486.98	1.8	18876.564
102	10680.68	560.17	102-103	10871.14	1.8	19568.052
103	11066.34	564.53	103-104	11258.28	1.8	20264.904
104	11454.99	568.88	104-105	11648.41	1.8	20967.138
105	11846.63	573.24	105-106	12041.53	1.8	21674.754
106	12241.25	577.6	<b>TOTAL</b>	<b>94472.36</b>		<b>170050.248</b>

Fuente: Prodomin S.A

#### 4.6.2. Cálculo de factibilidad

**Tabla 4.9.** Datos para el cálculo de factibilidad

<b>Datos para el cálculo de factibilidad</b>	
Ley media del mineral sin flotación	<b>1 g/t</b>
Ley media de concentrado de flotación	<b>10 g/t</b>
Ley media de las colas de flotación	<b>1 g/t</b>
Volumen de la relavera	<b>170.050,248 t</b>
Volumen para concentrado de relave ratio 60 a 1 gramos tonelada	<b>2.833,4208 t</b>
Costo de flotación, carga, transporte y personal	<b>29,71 dólares/t</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Para poder tener un valor rentable y comercializable para la recuperación de oro en esta relavera se aplicó una ratio de 60 gramos a 1 gramo, con la posibilidad de recuperar el 50% del gramo total. Realizando el cálculo del volumen total y aplicando la ratio 60:1 se tomó el valor total del volumen de la relavera y se dividió para 60, esto nos refleja un total de **2833,4208 toneladas** de material con un concentrado de **30 g/t**, lo cual es un valor viable según la tabla de costos de concentrados actual.

De los 30 g/t se pagará el 60% lo que dará 18 g finos de oro que al precio internacional actual \$ 57,50 por gramos nos da un valor total de \$ 1.035 por tonelada.

**Tabla 4.10.** Resultados del cálculo de factibilidad

<b>Cálculo de factibilidad</b>	
Ley de concentrado de oro	<b>30 g/t</b>
Valor por tonelada actual	<b>1035 dólares</b>
Valor por el concentrado con ley 30 g/t - \$ 1.035 = 1.035 U\$/ton Valor de las ventas totales de concentrado - 2.833,4208 t * 1.035 U\$/t = \$ <b>2'932.590,528</b> Valor del costo de flotación, carga y transporte - U\$/ton 29,71 * 2.833,4208 t = \$ <b>84.180,932</b> Valor de la diferencia de ingresos menos egresos - \$ <b>2'932.590,528</b> - \$ <b>84.180,932</b> = \$ <b>2'848.409,596</b>	

Fuente: Elaboración propia

**4.7. Estudio de factibilidad****Tabla 4.11.** Estudio de factibilidad

<b>Factibilidad</b>	
Valor por el concentrado con ley 30 g/t	<b>1.035 U\$/t</b>
Valor de las ventas totales de concentrado	<b>\$ 2'932.590,528</b>
Valor del costo de explotación	<b>\$ 84.180,932</b>
Valor de la diferencia de ingresos menos egresos	<b>\$ 2'848.409,596</b>

Fuente: Elaboración propia

Con un valor de venta de concentrado de oro de 1.035 U\$/t, basados en el valor actual del oro a precio internacional se logrará obtener ingresos de venta bruta de **\$2'932.590,528** que restando los costos de explotación del mineral con un valor de **\$ 84.180,932** obtendremos ganancias que se estiman por los **\$ 2'848.409,596**.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Con el proyecto realizado en la empresa PRODUMIN S.A., se llegó a las siguientes conclusiones:

- La concentración por el método de flotación Bulk en la planta de tratamiento de la empresa PRODUMIN, presenta bajos índices de recuperación provocando que una cantidad significativa de mineral de interés sea depositado en las relaveras.
- Una vez realizado el análisis de la muestra de material mediante el ensayo al fuego en el laboratorio de la empresa, se obtuvo que la ley media del mineral encontrado en la relavera luego de su proceso de homogenización y de tratamiento fue de 1 g/t.
- Posterior a la realización de flotaciones en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería en Minas, se obtuvo un concentrado el cual fue secado y llevado al laboratorio de análisis, en donde mediante el método de ensayo al fuego se determinó una ley media de 10 g/t.
- La ley media de concentrado para la venta es de 30 g/t. Es por ello, que en el presente proyecto de investigación se aplicó una ratio de 60 gramos a 1 gramo con la posibilidad de recuperar el 50% del mineral, como margen mínimo de recuperación y cumplir con los estándares internacionales.
- Los resultados obtenidos en el estudio de factibilidad con la venta del mineral extraído reflejan que se puede obtener ingresos brutos de \$2'932.590,528 que luego de ser restado de los costos de explotación del mineral que presenta un valor de \$ 84.180,932 se podrían obtener ganancias que se estiman por los \$ 2'848.409,596, lo cual garantiza una rentabilidad económica para la empresa.
- Los resultados de los análisis para usos posteriores de las arenas, indican que no se debe utilizar este tipo de suelos provenientes de procesos mineros para usos agrícolas ya que contienen desechos contaminados, por lo que su utilización en el campo de la construcción sería lo más adecuado.

## Recomendaciones

- Se recomienda la utilización de una mesa vibratoria o de un espiral para recuperar de mejor manera el oro grueso antes de que ingrese el material a los tanques de flotación y así poder recuperar de mejor manera el mineral de interés, ya que los canelones gravimétricos que posee la empresa no son suficientes para evitar que una gran cantidad de mineral útil sea depositado en las relaveras.
- Para que la empresa ponga en práctica los puntos analizados en la presente tesis, es necesario que el nuevo material que va a la relavera sea depositado en una segunda relavera que está en construcción, ya que por ahora se conocen las leyes del mineral de interés; Sin embargo, si se sigue depositando material, estas leyes podrían ser alteradas.
- Los análisis de laboratorio demuestran que las arenas provenientes de relaves no son aptas para aplicar en el sector agrícola, razón por la cual en este estudio no se analizaron posibles métodos de neutralización. Es por eso que se recomienda su uso específico de las arenas para los distintos campos del sector de la construcción.
- Para futuros proyectos de investigación y de rentabilidad económica para la empresa sería necesario analizar no solo el metal oro sino la presencia de otros metales como plata y cobre, ya que cuando se realiza el proceso de beneficio mineral se observa también la presencia de estos minerales de interés económico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Bibliografía

- Alegría, D. (2014). Propuesta de mejora para la recuperación aurífera en la zona "La Bella" de la conasección Bella Rica, ubicada en el distrito Ponce Enríquez [Tesis]. Universidad Central del Ecuador.  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6543/1/T-UCE-0012-400.pdf>
- Azañero, Á., & Morales, M. (Diciembre de 1999). Evaluación de Reactivos de Flotación. *Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO)*, II(04).  
[https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v02\\_n4/reactivos\\_flotacion.htm](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v02_n4/reactivos_flotacion.htm)
- Barzallo, M., Espinoza, R., Moncayo, X., & Martinez, A. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Camilo Ponce Enríquez. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Camilo Ponce Enríquez*.
- Bustamante, M., Tobón, C., & Naranjo, D. (2012). Estudio de hidrofobicidad del oro nativo. *Dyna*, 79(175), 48-52.  
<https://www.redalyc.org/pdf/496/49624956008.pdf>
- Bustamante, O., Gaviria, A., & Restrepo, O. (2008). Concentración de Minerales. [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia.  
[https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/cuadernos/download/24\\_5a1004a32dcbd619453c3eed562725f0](https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/cuadernos/download/24_5a1004a32dcbd619453c3eed562725f0)
- Chamba, C. (6 de Agosto de 2018). Zonas con potencial explotación minera en el cantón Camilo Ponce Enríquez. *Zonas con potencial explotación minera en el cantón Camilo Ponce Enríquez*. UNIGIS.
- Chevez, J. (2011). *CONSTRUCCION Y OPERACIONES DE PISCINAS DE RELAVES*. PRODUMIN S.A.
- ClimateData. (2021). <https://es.climate-data.org/>
- Ecured.(2016).*Ecured*.  
[https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n\\_Camilo\\_Ponce\\_Enr%C3%ADquez\\_\(Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n_Camilo_Ponce_Enr%C3%ADquez_(Ecuador))

- EMPIRICA CONSULTORES. (2020). *Tópico 2 Flotación: Cinética de flotación de García y Zúñiga*. Empírica Consultores:  
<https://empiricaconsultores.cl/topico-2-flotacion-cinetica-de-flotacion-de-garcia-y-zuniga/>
- Espinoza, E. (2018). Determinación de la ley de oro de la relavera de la empresa PRODUMIN S.A. [Tesis]. *Tesis de Grado, Unive*. Universidad del Azuay.  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8596/1/14263.pdf>
- FAO. (s.f.). *Permeabilidad del suelo*.  
[http://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm)
- Figuroa, M. (2005). Celda de flotación de nueva generación, prototipo, pilotaje y evaluación[TESIS]. Universidad Nacional de San Marcos.  
[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2872/Figuroa\\_lm.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2872/Figuroa_lm.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Flores, L. (2010). *Manual de procedimientos analíticos*.  
<https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Gallardo, R. (2016). *Identificación y clasificación de suelos* .  
<https://es.slideshare.net/romelgam/capitulo-4-clasificacion-granulometra>
- Guanuchi, L., & Romero, D. (2020). Recuperación de metales por flotación de relaves auríferos en la sociedad civil minera “goldmins” ubicada en el cantón Zaruma [Tesis]. Universidad Técnica de Machala.  
[http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15659/1/T-3585\\_GUANUCHI%20OCAMPO%20LISSETTE%20PAULETTE.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15659/1/T-3585_GUANUCHI%20OCAMPO%20LISSETTE%20PAULETTE.pdf)
- Guerrero, J. (2012). Cinética de la flotación de los lodos finos de carbón de la mina cerrejón (Guajira) utilizando celda de flotación. [Tesis]. Universidad del Valle.  
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/8094/CB-0487256.pdf;jsessionid=BE83F8DE75C86A9F58525C17E8198270?sequence=1>

Guerrero, P. (2015). *Mecánica de Fluidos*.

<https://es.slideshare.net/Ebene159/mcanica-de-fludos>

Herbert, J. H. (2016).

IIGE. (2017). *Instituto de investigación Geológico y Energético*. Mapas Geológicos:

<file:///C:/Users/usuario/Downloads/2.9.->

[%20Hoja%20geol%C3%B3gica%20Machala%20-%202017%20\(1\).pdf](#)

INEC. (2010). *INEC*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>

Larrahondo, J., Cobos, D., & Beltrán, L. (Julio de 2018). Tecnologías emergentes

para disposición de relaves: oportunidades en Colombia. *Tecnologías*

*emergentes para disposición de relaves: oportunidades en Colombia*.

SciELO.

LENNTECH V.B. (2021). *Flotación*. Flotación: [https://www.lenntech.es/flotacion-](https://www.lenntech.es/flotacion-indust-petroquim.htm)

[indust-petroquim.htm](https://www.lenntech.es/flotacion-indust-petroquim.htm)

Loor, Y. (julio de 2020). *Derecho Ecuador*. [https://derechoecuador.com/reparacion-](https://derechoecuador.com/reparacion-integral-en-materia-constitucional/#:~:text=%E2%80%93La%20reparaci%C3%B3n%20integral%20es%20el,derechos%20constitucionales%20o%20derechos%20humanos)

[integral-en-materia-](https://derechoecuador.com/reparacion-integral-en-materia-constitucional/#:~:text=%E2%80%93La%20reparaci%C3%B3n%20integral%20es%20el,derechos%20constitucionales%20o%20derechos%20humanos)

[constitucional/#:~:text=%E2%80%93La%20reparaci%C3%B3n%20inte-](https://derechoecuador.com/reparacion-integral-en-materia-constitucional/#:~:text=%E2%80%93La%20reparaci%C3%B3n%20integral%20es%20el,derechos%20constitucionales%20o%20derechos%20humanos)

[gral%20es%20el,derechos%20constitucionales%20o%20derechos%20huma-](https://derechoecuador.com/reparacion-integral-en-materia-constitucional/#:~:text=%E2%80%93La%20reparaci%C3%B3n%20integral%20es%20el,derechos%20constitucionales%20o%20derechos%20humanos)

[nos.](https://derechoecuador.com/reparacion-integral-en-materia-constitucional/#:~:text=%E2%80%93La%20reparaci%C3%B3n%20integral%20es%20el,derechos%20constitucionales%20o%20derechos%20humanos)

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (Junio de 2015). SIGTIERRAS.

[http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria\\_tecnica\\_Coberturas\\_CAMIL-](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Coberturas_CAMILO_PONCE_ENRIQUEZ_20150601.pdf)

[O\\_PONCE\\_ENRIQUEZ\\_20150601.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Coberturas_CAMILO_PONCE_ENRIQUEZ_20150601.pdf)

Ministerio de Energía & Minas de Perú. (2020). *Plataforma digital única del estado*

*peruano*

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relaveminero>

[.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relaveminero)

Ministerio de Minería Chile. (Junio de 2015). *Glosario Técnico Minero*. Chile.

<https://www.minmineria.cl/glosario-minero-r/relave/>

Ministerio de Minería de Colombia. (2020). *Glosario minero*.

<https://www.minmineria.cl/glosario-minero-l/ley-de->



Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. (2018).

<https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/Preguntas-frecuentes-sobre-relaves.pdf>

Universidad de Cantabria. (2014). *Introducción a la Geotecnia*.

Universidad de Cantabria. (s.f.). *Introducción a la Geotecnia*.

Velásquez, A. (2012). *Estabilidad de taludes*. <http://www.sigweb.cl/wp-content/uploads/2012/10/Estabilidad-de-taludes.pdf>

Velín, K. (21 de Mayo de 2014). Mejoramiento y simulación de una planta de recuperación de oro por concentración gravimétrica, flotación y cianuración ubicada en Piñas, Provincia De El Oro.[Tesis]. Escuela Politécnica Nacional. <file:///C:/Users/ASUS/AppData/Local/Temp/CD-5550.pdf>

Vergara, A. (2019). Concentración de oro mediante flotación en columna.[Tesis]. Universidad del Azuay.

<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9048/1/14693.pdf>

ANEXOS

DEPARTAMENTO LABORATORIO QUIMICO METALURGICO			
FECHA DE REPORTE: 28/05/2021			
FECHA	CODIGO	LEY Au gr/Tn	PROMEDIO
27/5/2021	M1	0,5	0,50
		0,5	
27/5/2021	M2	0,5	0,50
		0,5	
27/5/2021	M3	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M4	1,0	1,00
		1,0	
27/5/2021	M5	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M6	0,5	0,50
		0,5	
27/5/2021	M7	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M8	0,5	0,50
		0,5	

DEPARTAMENTO LABORATORIO QUIMICO METALURGICO			
27/5/2021	M9	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M10	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M11	1,5	1,25
		1,0	
27/5/2021	M12	0,5	0,50
		0,5	
27/5/2021	M13	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M14	0,5	0,50
		0,5	
27/5/2021	M15	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M16	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M17	0,5	0,50
		0,5	

DEPARTAMENTO LABORATORIO QUIMICO METALURGICO			
27/5/2021	M18	2,5	2,25
		2,0	
27/5/2021	M19	1,5	1,25
		1,0	
27/5/2021	M20	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M21	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M22	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M23	Trazas	**Valores reportados en trazas representan cantidades menores a 0,5 gr/Tn.
		Trazas	
27/5/2021	M24	0,5	0,50
		0,5	

Anexo 1. Resultados de leyes presentes analizadas en Laboratorio.

**LEQUIM**  
Laboratorio de Ensayos Químico - Metalúrgico

**0 6510**

Cliente : BRAYAN MATAMOROS  
 Orden de Ensayo : Arsénico  
 Tipo de Ensayo : Absorción Atómica

Fecha de Reporte: 04-11-21

**INFORME DE RESULTADOS:**

N°	CODIGO	Au g/TM. Oro	Ag g/TM. Plata	% Cu Cobre	% Pb Plomo	% Zn Zinc	% As Arsénico	% H <sub>2</sub> O Humedad
1	ARENA	-	-	-	-	-	0.18	-

ING. JHOVANA FERNANDEZ REYES  
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYOS  
QUÍMICO-METALÚRGICO  
**REPORTADO  
LEQUIM**

**METODOS:**  
 1.- Au, Ag: Determinación por ensayo al fuego.  
 2.- Cu, Pb, Zn, As, Fe, Sb, Bi: Determinación de metales por digestión con HNO<sub>3</sub> (cc) por Absorción Atómica.  
 LAS CONTRA MUESTRAS SE GUARDARAN POR UN PERIODO MÁXIMO DE 1 MESES DESDE SU RECEPCIÓN.  
 Este Informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de LEQUIM

DIRECCION: El Pache – PORTOVELO - ECUADOR  
 RUC: 1102580972001 - E-mail: [lequim2018@hotmail.com](mailto:lequim2018@hotmail.com), Celular: 0969761266 - 0995186437

Anexo 2. Resultados del análisis de arenas.



DEPARTAMENTO  
LABORATORIO  
QUIMICO  
METALURGICO

FECHA DE REPORTE: 10/07/2021

FECHA	CODIGO	LEY Au gr/Tn
10/7/2021	M#2	4,0
	C#2	TRAZAS
10/7/2021	M#4	10,0
	C#4	1,0
10/7/2021	M#8	13,0
	C#8	1,5
10/7/2021	M#11	12,0
	C#11	0,5
10/7/2021	M#18	
	C#18	TRAZAS
10/7/2021	M#19	10,0
	C#19	2,0



Anexo 1. Análisis de arenas luego del proceso de flotación.