



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

**Determinación de la ley de oro de la relavera de la empresa
“PRODUMIN S.A”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Autor:

EDUARDO FELIPE ESPINOZA MONTENEGRO

Director:

CARLOS FEDERICO AUQUILLA TERÁN

CUENCA, ECUADOR

2018

DEDICATORIA

A mi familia, a mis padres y en especial a las mujeres más importantes de mi vida, para mi hermana Edu y para mi abuelita Zoila Montenegro, quien siempre guía mis pasos y vela por mi desarrollo como persona, a quien le debo todo lo que soy en la vida.

Para mi esposa Verónica Guapacaza, por ser mi motivación y la persona que se merece todo mi esfuerzo, por ser mi compañera en los momentos felices y tristes de la vida.

AGRADECIMIENTOS

A mi gran amigo, Federico Auquilla por guiarme en mi vida académica, por su apoyo incondicional en la realización de mi trabajo de titulación, por con su ejemplo demostrar cómo es un profesional Minero con compromiso y un modelo a seguir.

A los profesores de la Universidad del Azuay, por su esfuerzo en promover la carrera de Ingeniería en Minas, por sus años y la experiencia compartida en especial a los ingenieros: Patricio Fejoo, Gil Álvarez, Fernando Valencia y al Dr. Juan Calderón.

A la empresa PRODUMIN S.A. por abrirme las puertas para realizar el presente estudio y brindarme las facilidades técnicas para su realización, y a los ingenieros que forman parte de esta por su dirección y consejo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE CONTENIDO	iv
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I MARCO REFERENCIAL	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Ubicación	3
1.3. Ubicación Topográfica.....	4
1.4. Clima	8
1.5. Vegetación	8
1.6. Población.....	8
1.7. Geología	8
1.8. Tectónica.....	9
1.9. Mineralización.....	9
1.10. Origen de la actividad minera en Camilo Ponce Enríquez.....	10
1.11. Antecedentes de los relaves en el Ecuador.....	10
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	12
2.1. Definición de explotación minera.....	12
2.2. Definición de relave.....	12

2.3. Elementos que constituyen los relaves.....	12
2.4. Productos que se encuentran en un relave.	14
2.5. Tipos de relaves.....	15
2.6. Definición de ley mineral.....	19
2.7. Definición de evaluación de recursos.....	20
2.8. Definición de reproceso de minas inactivas y relaves	20
2.9. Riesgos al trabajar con relaves.....	21
2.10. Estudios realizados en relaves producto de cianuración y flotación en la obtención de oro.....	21
2.11. Recuperación de metales valiosos a partir de relaves.....	23
CAPITULO III ANÁLISIS DE LA RELAVERA.....	25
3.1. Geometría de la piscina de relaves.....	25
3.1.1. Diseño.....	26
3.1.2. Especificaciones	26
3.1.3. Desfogue principal	27
3.1.4. Impermeabilización	28
3.1.5. Drenaje perimetral y subdrenaje interior	29
3.1.6. Vida de la relavera	29
3.1.7. Transporte de relave para su depósito	29
3.1.8. Muro de seguridad	29
3.2. Origen de los relaves	30
3.2.1 Proceso de la planta de beneficio	30
3.2.2 Datos operacionales.	30
3.2.3. Diagrama de recuperación minera.	31
3.3. Volúmenes	32
3.4 Operación del sistema de transporte.....	32
3.4.1 Tendido y ducto.....	33

3.5 Características físicas de los relaves.....	33
3.6 Productos que componen los relaves de la planta de beneficio	33
CAPITULO IV MUESTREO Y DETERMINACIÓN DE LA LEY DE ORO	34
4.1. Delimitación del área a muestrear.	34
4.1.1 Área a muestrear.....	34
4.2. Determinación del número de muestras.....	34
4.2.1. Malla de muestreo	35
4.3. Proceso de recolección de muestras	37
4.4. Tratamiento de la muestra.....	37
4.4.1 Procedimiento	38
4.5. Comprobación	45
5. Resultados	46
5.1. Cálculo de la ley de oro.....	46
5.2. Resultado ley de oro	49
5.3. Cálculo Reservas	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Relavera.....	3
Figura 1.2. Situación Geográfica de la relavera	4
Figura 1.3.Ubicación topográfica	6
Figura 1.3.1. Ampliación topográfica de la relavera7
Figura 2.1. Esquematización partes y procesos en la relavera.	14
Figura 2.2. Depósito de relave Tranque.	16
Figura 2.3. Depósito de relave en Embalse.	17
Figura 2.4. Depósito de relave Espesado.....	17
Figura 2.5. Depósito de relave Filtrado.	18
Figura 2.6. Depósito de relave en Pasta.....	18
Figura 2.7. Depósitos de relave: Otros.	19
Figura 3.1. Vista relavera.	25
Figura 3.2. Desfogue principal de la relavera de PRODUMIN.....	27
Figura 3.3. Sistema de impermeabilización de una relavera.	28
Figura 3.4. Esquema de procesos.	30
Figura 3.5. Esquema de procesos con leyes.	32
Figura 4.1. Malla de muestreo nivel 1.	36
Figura 4.2. Malla de muestreo nivel 2.	36
Figura 4.3. Proceso de toma de muestras.	37
Figura 4.4. Secado de muestras.	38
Figura 4.5. Homogenización de muestras.	39
Figura 4.6. Preparación del flux.	40
Figura 4.7. Preparación de la muestra en crisoles.	41
Figura 4.8. Extracción de la muestra del horno.	42
Figura 4.9. Pesado de la muestra en la balanza analítica.....	43
Figura 5.1. Dimensiones Longitudinales	46
Figura 5.2. Inverso de la distancia nivel 1.	47
Figura 5.3. Inverso de la distancia nivel 2.	48
Figura 5.4. Polígono de los valores de las leyes por polígonos nivel 1.....	49
Figura 5.5. Polígono de los valores de las leyes por polígonos nivel 2.....	50

Figura 5.6. Polígono de los valores de las reservas por polígonos nivel 1.....	51
Figura 5.7. Polígono de los valores de las reservas por polígonos nivel 2.....	52
Figura 5.8. Nivel 1 en 3D.	53
Figura 5.9. Nivel 2 en 3D.	53
Figura 5.10. Relave total en 3D.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

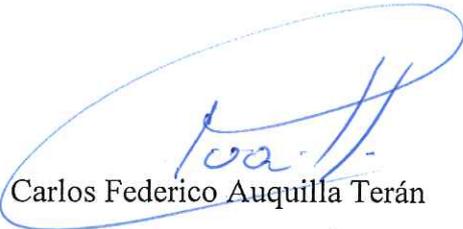
Tabla 1.1. Puntos limitantes de la Concesión Bella Rica.....	4
Tabla 3.1. Especificaciones técnicas de la relavera.....	26
Tabla 3.2. Alturas más importantes.....	27
Tabla 3.3. Tabla de Capacidad volumétrica de los relaves en el tiempo.....	29
Tabla 3.4. Datos operacionales.....	31
Tabla 4.1. Coordenadas de los puntos nivel 1 y nivel 2.....	35
Tabla 4.2. Leyes de oro de las muestras	44
Tabla 4.3. Tabla comprobatoria metodo Fire Assay vs Absorción Atómica	45

DETERMINACIÓN DE LA LEY DE ORO DE LA RELAVERA DE LA EMPRESA "PRODUMIN S.A"

RESUMEN

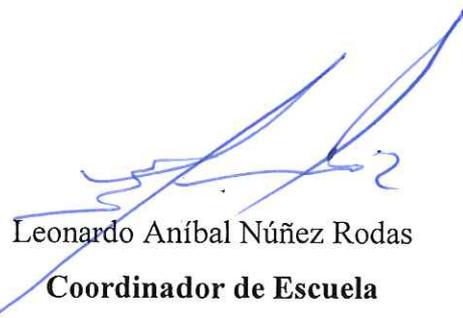
El presente trabajo consiste en la determinación de la ley de oro de la relavera de la empresa PRODUMIN S.A., el desarrollo investigativo involucró el análisis de información recolectada, la misma fue obtenida en parte por la empresa a través de sus informes técnicos, al mismo tiempo que se realizó el estudio de la relavera tomando en cuenta 60 muestras, las mismas que fueron analizadas en laboratorio, por medio del método Fire Assay y su comprobación por absorción atómica, los resultados fueron ingresados al software, a fin de tener como resultado el porcentaje de oro dentro del depósito de relaves y la ley media del mismo.

Palabras clave: Ley de oro, relavera, muestreo, arenas de relave, espectrometría.



Carlos Federico Auquilla Terán

Director del Trabajo de Titulación



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Eduardo Felipe Espinoza Montenegro

Autor

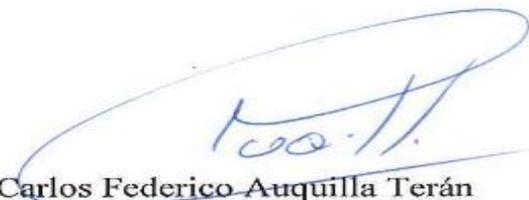
ABSTRACT

**DETERMINATION OF THE GOLDEN LAW OF THE TAILINGS OF THE
"PRODUMIN S.A" COMPANY**

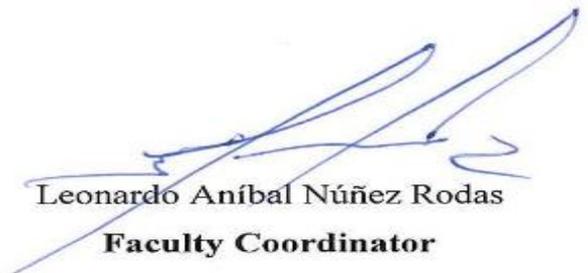
ABSTRACT

The present work determined the golden law of the tailings of the "PRODUMIN S.A." company. The research development involved the analysis of information collected partly by the company through technical reports. The tailings study was carried out taking into account 60 samples that were analyzed in the laboratory using the Fire Assay method and were verified through atomic absorption. Finally, the data was entered into a software to obtain the percentage of gold inside the tailings deposit and its average law.

Keywords: Gold law, tailings, sampling, tailings sands, spectrometry.



Carlos Federico Auquilla Terán
Thesis Director



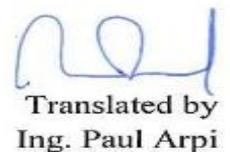
Leonardo Aníbal Núñez Rodas
Faculty Coordinator



Eduardo Felipe Espinoza Montenegro
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by
Ing. Paul Arpi

Eduardo Felipe Espinoza Montenegro

Trabajo de titulación

Ing. Carlos Federico Auquilla Terán

Octubre, 2018.

Determinación de la ley de oro de la relavera de la empresa “PRODUMIN S.A.”

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad industrial que engloba varios procesos con el fin de obtener y proveer materias primas no renovables, tanto metálicas como no metálicas, recursos que se adquieren al explotar la corteza terrestre. Estos elementos son indispensables para diversas actividades del ser humano.

Entre las actividades realizadas para la obtención de recursos metálicos, se encuentran los procesos de beneficio mineral que se realizan en plantas de tratamiento, estos procedimientos no recuperan el mineral de interés en su totalidad, por lo que se analizará los residuos de oro que se escapan en dichos procesos y conforman las arenas que la empresa PRODUMIN S.A., deposita en su relavera.

El objetivo de realizar el presente trabajo de titulación denominado, Determinación de la ley de oro de la relavera de la empresa PRODUMIN S.A., es determinar el porcentaje de oro en gramos dentro de la relavera de la empresa.

CAPITULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

La empresa PRODUMIN S.A., es una compañía ecuatoriana privada que se dedica a la obtención de minerales metálicos, a través de explotación subterránea, la empresa efectúa la extracción y comercialización de estos, como mineral principal se obtiene oro, además de plata y cobre, el material que no tiene una carga mineral es desechado al depósito de relave, esta cuenta con una planta metalúrgica para procesar el material obtenido a través de flotación y cianuración, sin embargo la planta de cianuración no está operativa, la capacidad de la planta de procesamiento es de 100 t/día, el rendimiento de sus operaciones oscilan entre el 80% al 100 % de la capacidad total de la planta, la cual fue construida y opera bajo la representación legal de la empresa PRODUMIN S.A., la misma que es beneficiaria del contrato de operación minera emitido por la Cooperativa de Producción Aurífera Bella Rica, titular de las concesiones Bella Rica, Guanache y Tres de Mayo.

En la actualidad la relavera se encuentra colmatada, por lo que parte del material es desalojado en otro depósito, dividiendo la relavera con un muro y desmontando 3 metros de la capa superior de los relaves, como se puede apreciar en la fotografía de la relavera. Figura 1.1.



Figura 1.1. Relavera

1.2. Ubicación

La relavera se encuentra ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, parroquia Río Bonito. Las coordenadas de referencia son UTM PSAD56 642503 E y 9657460 N.

Como referencia, la relavera se encuentra a 15 min desde el centro de Camilo Ponce Enríquez, en sentido Sureste del mismo, la distancia vía terrestre desde las principales ciudades es; desde Cuenca 184 km, Guayaquil 145 km y Quito 464 km.

Los límites geográficos de Camilo Ponce Enríquez se pueden observar en el mapa de ubicación correspondiente a la Figura 1.2.



Figura 1.2. Situación Geográfica de la relavera

1.3. Ubicación Topográfica

La relavera de la empresa está ubicada dentro de la concesión Bella Rica, las coordenadas dentro del informe de producción de los límites operativos de concesión se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Puntos limitantes de la Concesión Bella Rica.

ESTE	NORTE
642175	9657116
642313	9657116
642175	9657055
642313	9657055

Fuente: (PRODUMIN, 2017)

La relavera de la empresa está ubicada en una zona relativamente plana, con ligeras pendientes que no superan el 5%. Los alrededores de la relavera corresponden a un área boscosa, cuya altitud varía entre los 96 a 110 metros sobre el nivel del mar, la zona no presenta riesgos de deslizamiento.

Los suelos alrededor de la relavera corresponden a limos areno arcillosos de alta compresibilidad, en la parte superficial se tiene material sedimentario menos compacto de consistencia baja a media, ensayos realizados de penetración concluyen la humedad entre 36 y 40%. (PRODUMIN, 2012)

Topográficamente la relavera se aprecia dentro de la concesión Bella Rica en la imagen de la Figura 1.3.

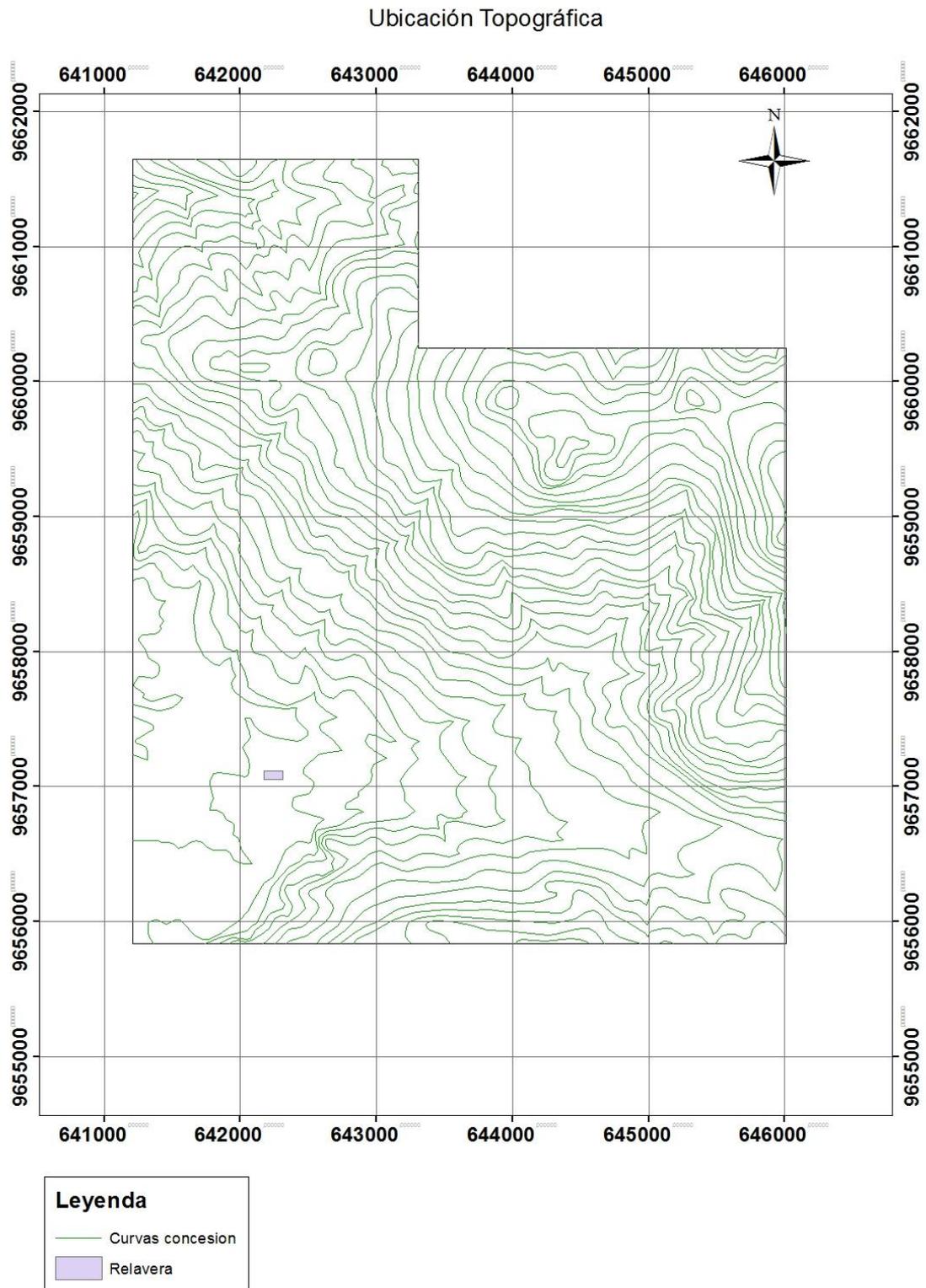


Figura 1.3.Ubicación topográfica

Ubicación Topográfica

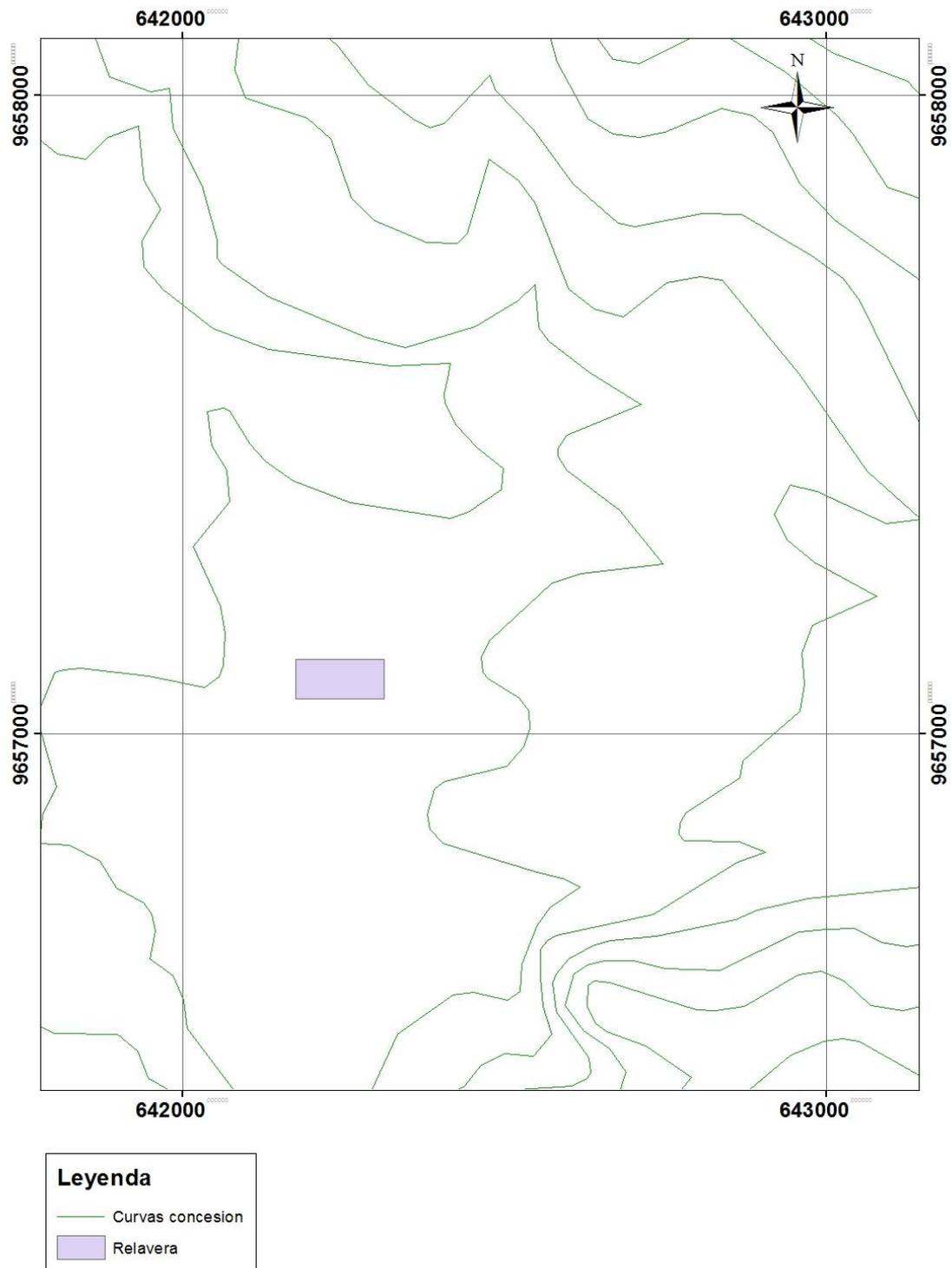


Figura 1.3.1 Ampliación Topográfica de la relavera.

1.4. Clima

La página web Climate Data nos manifiesta que el clima en Camilo Ponce Enríquez es tropical, en donde hay gran cantidad de pluviosidad en la época de invierno y una disminución de esta en verano, la temperatura promedio es de 25.1°C y precipitaciones de 887 mm al año. (ClimateData, 2018)

1.5. Vegetación

La flora en el sector se caracteriza por ser abundante, debido a las condiciones climáticas la vegetación varía de tropical a subtropical, se destaca la presencia de bosques en ciertas áreas donde algunos de los árboles más representativos son: Figueroa, machare, capal, zapote, guapala entre otros. (Germi, 2013)

1.6. Población

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el año 2010, la población de Camilo Ponce Enríquez es de 21.998. (INEC, 2010)

1.7. Geología

La geología en la hoja Machala a la que corresponde la ubicación de la relavera; según el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM), corresponde a una zona montañosa en donde es destacable la presencia de rocas de la época del paleozoico inferior hasta el holoceno. (INIGEMM, 1980)

Para complementar, Panta y Laubacher manifiestan que las formaciones geológicas que dieron las condiciones necesarias para la presencia de oro en el sector son de origen epigenético y relacionado al magmatismo granodiorítico, por la evolución geológica metalogénica así tenemos:

- Génesis del arco-isla, mineralización aurífera volcanogénica.
- Removilización de la mineralización aurífera por los procesos de metamorfismo y probablemente al momento de la acreción del arco al margen continental ecuatoriano.
- Intrusión de plutones granodioríticos también mineralizados en oro y/o removilización de oro de los basaltos.
- Removilización en vetas del oro de la Formación Macuchi y de los intrusivos durante las fases tectónicas Neógenas que deforman la Cordillera Occidental genéticamente relacionadas al magmatismo Macuchi y al magnetismo granodiorítico. (Panta & laubacher, 1994)

1.8. Tectónica

Camilo Ponce Enríquez está localizada en el Distrito Azuay, en la zona oriental de la cordillera occidental, es un área geológicamente joven con aproximadamente 90 millones de años. (Germi, 2013)

1.9. Mineralización

El INIGEMM afirma que la zona de Camilo Ponce Enríquez cumple varias condiciones geológicas que desarrollaron en un alto grado de mineralización metálica y los procesos magmáticos dieron lugar a concentraciones de oro, plata, cobre y metales de alto interés comercial. Los tipos de mineralización del sector son:

- Depósitos de pórfidos, stocks de Riolita a Andesita, comúnmente apreciables en complejos intrusivos.

- Depósitos epitermales asociados con calderas, fracturas regionales y stock de riolita del Cinturón Gañarín.
- Depósitos mesotermales, vetas, brechas, diatremas, con mineralizaciones metálicas.
- Depósitos combinados epi-mesotermales, vetas localmente ricas en oro.
- Sulfuros masivos, de un origen exhalativo de baja temperatura. (INNIGEM, SF)

1.10. Origen de la actividad minera en Camilo Ponce Enríquez

Fabián Sandoval manifiesta que el surgimiento de la pequeña minería en Camilo Ponce Enríquez se originó en la década de los 80, debido a un fuerte temporal de lluvia el cual afectó y obligó a los habitantes a buscar una nueva forma de subsistencia como fue la obtención de oro, de este modo los pequeños mineros formaron cooperativas que crecieron debido a esta actividad. (Sandoval, 2001), por lo que la minería se convirtió en tradición de la zona.

Actualmente es una base de la economía de Ponce Enríquez en donde la población está involucrada directa o indirectamente.

1.11. Antecedentes de los relaves en el Ecuador

La historia extractiva de minerales en el Ecuador tiene tradición en ciertas regiones del país. Se originó y desarrolló como pequeña minería y minería artesanal, a comparación de la minería tecnificada que relativamente es joven. Los procesos mineros originalmente no tuvieron gran control ambiental ni monitoreo, debido a que la normativa en el Ecuador en un inicio no estaba correctamente enfocada y tenía pocos procesos de control y gestión.

Para comenzar nos basaremos en el Banco Central del Ecuador (BCE) y su comunicado del Reporte de minería del año 2017 que nos habla sobre la minería en el País y enfatiza en que esta no es una actividad regularizada ni controlada con anterioridad sino que el

establecimiento de leyes y organismos reguladores fueron implementados por primera vez en 1991, año en el que entró en vigencia la primera Ley de Minería (BCE, 2017)

Es así como a partir de los primeros reglamentos el Gobierno del Ecuador efectúa planes de manejo de las diferentes etapas de la actividad minera, entre estos planes de control está el establecimiento de los parámetros ambientales en los que se debe ejecutar el tratamiento de los materiales originados en la actividad.

La historia de los residuos mineros en el país es muy conflictiva, puesto que estos han generado varios problemas y han sido foco de contaminación, por lo que las leyes y reglamentos han sido modificados en la última década para proteger y mejorar la correcta gestión de estos.

Estudios realizados en relaves han concluido que la mala gestión de los residuos de operaciones mineras en su mayoría artesanales, que no han recibido un tratamiento y terminan siendo depósitos de sulfuros generados por la pirita, pirrotina y enfatiza que estos son muy comunes en los depósitos de relaves en el Ecuador, en especial en el sector de la Ponce Enríquez (Peña & Menéndez, 2016)

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de explotación minera.

Conjunto de actividades destinadas a la extracción de minerales de la corteza terrestre sean a cielo abierto o en subterráneo, la distribución de minerales se encuentra en diferentes tipos de rocas, paisajes y ambientes. (Alonso, 2014)

De igual manera se define a la explotación minera como, el conjunto de actividades socioeconómicas llevadas a cabo a fin de obtener recursos de un yacimiento mineral (Merino, 2011)

2.2. Definición de relave.

Relave se define como un producto molido, que se obtiene luego de la explotación de la roca; El mineral de interés que se recupera corresponde a una pequeña cantidad del volumen total del material que se utilizó, en porcentaje más del 98 % del material es descartado, al tener un valor muy pequeño se lo deposita en los relaves. (MinisterioMineriaChile, 2018)

Complementaremos esta definición de la Guía de EIAs que nos manifiesta que los minerales de alto grado en yacimientos están constituidos por un volumen mínimo y en su mayoría comprenden materiales no metálicos que luego del proceso de beneficio son denominados relave. (Elaw, 2010)

2.3. Elementos que constituyen los relaves.

Para tener claro cómo funciona una relavera vamos a usar las definiciones de Nelson Ramírez sobre los elementos que conforman una relavera y qué función cumple cada uno:

- **Cubeta:** es el lugar donde se depositarán las arenas con agua, producto de la producción, el volumen de la cubeta determina el tiempo de vida de la relavera.
- **Muro:** es la zona estabilizadora que recibe las cargas que se ejercen dentro de los depósitos de relaves
- **Sistema de descarga:** es el mecanismo por el cual se depositan los residuos en la cubeta, este puede o no tener variantes para clasificación.
- **Sistema de drenaje:** es el sistema por el cual se deprime el nivel freático, a fin de evitar la saturación del sistema.
- **Zona de impermeabilización:** los relaves son compuestos con altas cargas químicas peligrosas, por lo tanto, es indispensable tener los depósitos aislados del suelo, esto se consigue con el aislamiento a través de membranas.
- **Canales:** son construcciones de seguridad que aíslan las laderas de la escorrentía a fin de que no afecte el depósito.
- **Zona de berma:** es la parte del muro de contención con el punto más elevado.
- **Nivel freático:** es la cota superior del nivel del agua en el depósito.
- **Muro inicial:** construcción para control de la revancha en la operación.
- **Muro de pie:** constituye el soporte de la parte inferior del depósito.

- **Desfogues de seguridad:** son construidos alrededor del depósito a fin de evacuar aguas que pudiesen afectar la estabilidad de este. (Ramírez, 2007)

Para complementar las partes que conforman la relavera y la función de cada una, ver el esquema de procesos Figura 2.1.

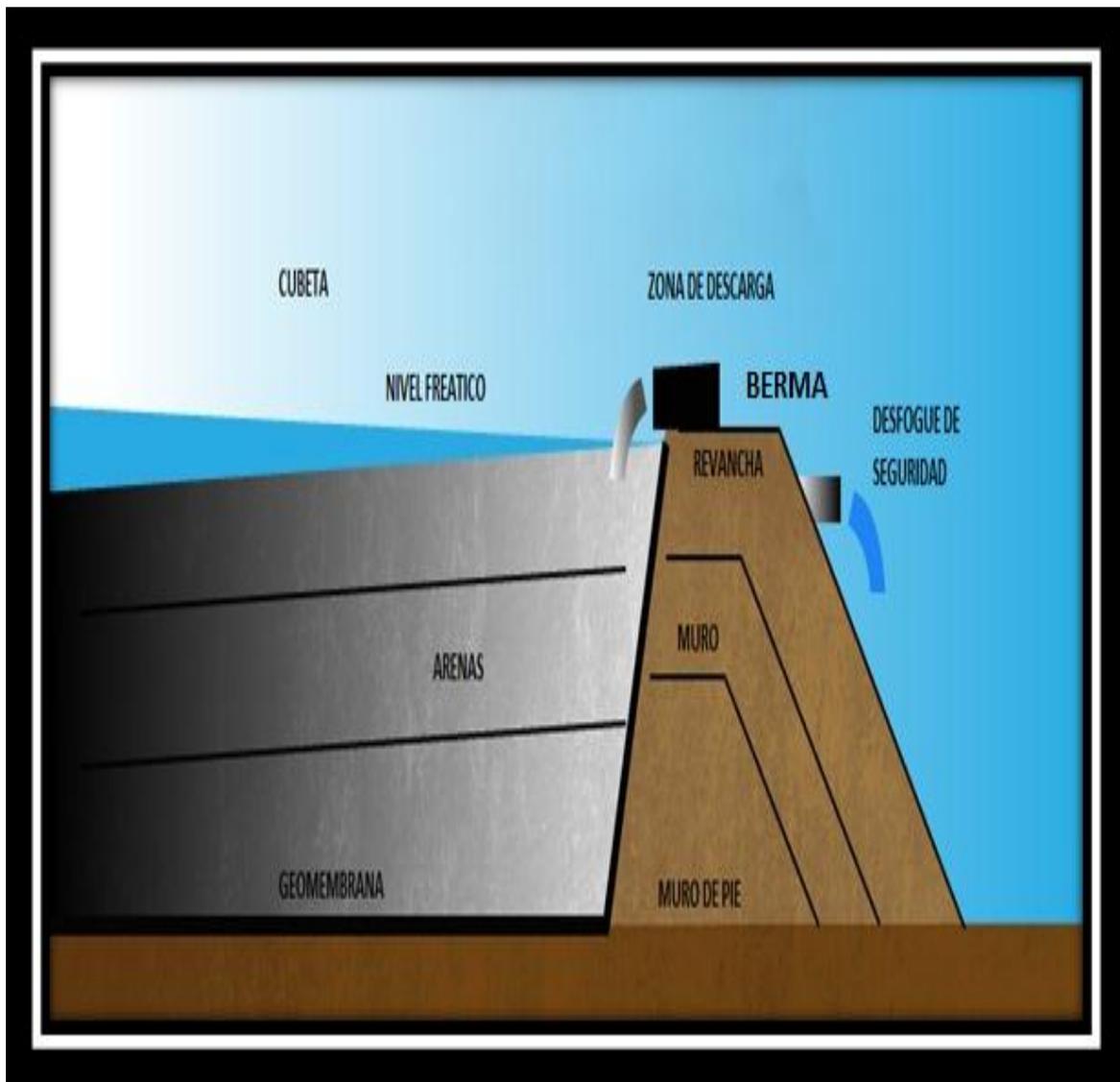


Figura 2.1. Esquematización partes y procesos en la relavera.

2.4. Productos que se encuentran en un relave.

Según el Ministerio de Minería de Chile un relave está compuesto de material producto de la roca proveniente de la explotación, el mismo que albergaba el mineral de interés. (MinisterioMineriaChile, 2018)

En este caso se extrajo como mineral de interés: oro, por el método de flotación el relave está compuesto de la roca que albergaba el metal y de los productos químicos utilizados en el proceso.

En consecuencia, la variación de productos en los relaves cambiará según su origen y tratamiento de planta de beneficio, los productos de relaves pueden ser considerados un punto de atención, puesto que cualquier fuga de los componentes de este puede causar graves impactos dañinos y ser causal de problemas aún más graves, por lo que al trabajar con estos productos se debe tomar en cuenta todas las normativas de seguridad ambiental para evitar la fuga de estos productos.

Además, se debe tener en consideración que el drenaje ácido y la lixiviación contaminante es la fuente más importante de impactos en la calidad de agua relacionadas con la minería metálica. (Elaw, 2010)

El drenaje ácido conocido como (DAM) se produce cuando los sulfatos de las rocas son expuestos al aire libre o al agua, esto se puede presentar en excavaciones a tajo abierto o en vetas de minas subterráneas. Cuando el agua alcanza cierto nivel de acidez, un tipo de bacteria común llamada Tiobacilus Ferrooxidante, puede aparecer acelerando los procesos de oxidación y acidificación, lixiviando aún más los residuos de metales de desecho. (Lyon, 1993)

2.5. Tipos de relaves.

Entre los diferentes procesos de la industria minera se diferencian varios tipos de relaves los cuales serán descritos a continuación:

- **Tranque:** Este es producto del hidrociclón y constituye dos etapas una gruesa y una fina, la primera se utilizará como estructura de soporte, mientras que la más fina será adyacente a la primera. Ver imagen en la (Figura 2.2).



Figura 2.2. Depósito de relave Tranque.

Fuente: (Palma, 2016)

- **Embalse:** recibe su nombre por estar ubicado en un área cuya geología faculte la construcción del relave y termine ayudando a su estructura, de esta manera los componentes del lugar sirven como muro, la variante es la creación artificial del embalse por medio de material colindante. Ver en la (Figura 2.3)



Figura 2.3. Depósito de relave en Embalse.

Fuente: (Palma, 2016)

- **Espesado:** La base de este proceso es la utilización de un sedimentador a fin de separar el material grueso y aislar la parte líquida de la sólida, luego esta agua puede ser reutilizada en procesos de la minería. Ver en la (Figura 2.4).



Figura 2.4. Depósito de relave Espesado.

Fuente: (Palma, 2016)

- **Filtrado:** Similar al proceso anterior a fin de evitar tener humedad de más del 20% dentro de la pasta que compone los relaves. Ver la imagen de relave filtrado en la (Figura 2.5).



Figura 2.5. Depósito de relave Filtrado.

Fuente: (Palma, 2016)

- **Pasta:** Resultado de la composición de materiales finos con bajos niveles de agua, su aspecto es pastoso y denso, es apreciable su contextura en la imagen de depósito en Pasta en la (Figura 2.6).



Figura 2.6. Depósito de relave en Pasta.

Fuente: (Palma, 2016)

- **Otros:** Variaciones en procesos de túnel, labores abandonadas y demás, ver la imagen de la (Figura 2.7), (Sernageomin)



Figura 2.7. Depósitos de relave: Varios.

Fuente: (Palma, 2016)

2.6. Definición de ley mineral

El ministerio de minería de Chile manifiesta que la ley mineral: “se refiere a la concentración de oro, plata, cobre, estaño, etc. presente en las rocas y en el material mineralizado de un yacimiento”. (MinisterioMineriaChile, 2018)

La ley de oro es la cantidad de este, dentro de un área delimitada que contenga porcentajes de un metal que lo pudiesen hacer de interés industrial, en nuestro caso el área es la relavera.

La definición del Servicio Geológico Mexicano (SGM) que nos define la ley mineral en dos partes:

- **Ley media:** se define como el porcentaje en gramos por tonelada del elemento de interés dentro del área del yacimiento.
- **Ley de corte:** es la concentración que debe tener el mineral a explotar para que sea económicamente rentable. (SGM, 2017)

2.7. Definición de evaluación de recursos

Los recursos mineros son elementos que se encuentran en la naturaleza, por ciertas condiciones geológicas, morfológicas y demás se presentan en una mayor cantidad dentro de un área definida, por lo que llegan a ser de interés para la industria extractiva. Para determinar si estos recursos pueden ser una fuente de riqueza se los evalúa con criterios y metodologías minero-económicas, estimando las reservas, realizando proyecciones y estudios que viabilizaran o descartaran el proyecto.

Además, la evaluación de recursos minerales está definida como un conjunto de análisis, a través de estudios estadísticos que permitan la representación de concentraciones anómalas de metales preciosos, estos datos son procesados dentro de los parámetros de modelación matemática. (Jimeno & Bustillos, 1997)

2.8. Definición de reproceso de minas inactivas y relaves

Comprende todas las actividades de reactivación de proyectos antiguos, por lo general relaves de minas, que ya no están en operación o abandonadas, también comprende la evaluación de relavera para futuras utilizaciones según su factibilidad de ser explotadas.

El reinicio de la actividad minera en depósitos antiguos busca una manera amigable con el medio ambiente de extraer recursos metálicos, a través de tecnologías mejoradas que hacen posible la obtención de ellos, evitando las fases de la minería generales, al simplemente ser un reprocesamiento de un material que está depositado evitando ciertos valores y haciendo a la misma rentable y ambientalmente responsable. (Elaw, 2010)

Por lo tanto, la reactivación estará iniciada cuando el proceso de beneficio de dicho relave vuelva a estar en funcionamiento, este no necesariamente tiene que volver a la planta de origen sino puede ser transportado o procesado por otro método de beneficio, este reproceso es posible debido a que las nuevas tecnologías metalurgias viabilizan la recuperación.

2.9. Riesgos al trabajar con relaves

El mayor riesgo al trabajar con relaves es el dañar de cualquier manera la estructura que funciona como aislante del depósito y pueda generar derrames hacia el subsuelo, si esto llegase a suceder los elementos tóxicos se filtrarían hasta llegar a las aguas subterráneas generando drenaje ácido, el mismo que tiene graves impactos tanto para el ser humano como para el ecosistema.

El manual de ELAS nos dice que el riesgo de generar filtraciones hacia el suelo es aislar de manera efectiva a través de una membrana impermeabilizante. (Elaw, 2010)

La membrana que cumple la función de aislante es conocida como geomembrana o geo sintética, un ejemplo de este sistema se puede ver en la imagen de sistema de impermeabilización de la relavera en la figura 3.3.

2.10. Estudios realizados en relaves producto de cianuración y flotación en la obtención de oro.

Estudios realizados sobre los procesos de cianuración y flotación como el titulado “*The Management of Cyanide in Gold Extraction*” en el que se analiza la incidencia de la cianuración en la industria del oro, manifiesta que el cianuro es poseedor de una elevada capacidad de reacción con otros químicos lo que permite la dilución del mineral y es efectivo en depósitos de baja ley, los procesos de cianuración en sus diferentes versiones son denominados procesos hidrometalúrgicos.

El diluir el oro dentro de estas soluciones se lo conoce como proceso de lixiviación. Los procesos de cianuración y flotación se pueden combinar a fin de mejorar la recuperación, así se obtienen mejores resultados, una vez que el mineral es extraído en las plantas mineras, los demás componentes de estos y el estéril se recoge con los residuos sólidos y es enviado al relave.

Dentro de estos depósitos se producen varios fenómenos y reacciones, tanto por propiedades físicas como químicas, en las que la sedimentación será una de las más importantes. Otra de las acciones físicas es la decantación, la cual permite que el agua pueda ser extraída para ser reutilizada y devuelta al sistema para evitar los altos consumos del líquido. El estudio demostró también que el cianuro en los depósitos de relaves se descompone de manera natural y llega a tener una destrucción casi completa en 100 días.

Los riesgos del cianuro están marcados por la posibilidad que estos en altas concentraciones tengan fugas hacia fuentes hídricas, ya que pueden afectar a las comunidades cercanas, flora, fauna y a los trabajadores de la empresa; uno de los lugares donde prestar mayor atención son los depósitos de relave ya que es aquí donde encontramos estos compuestos en altos volúmenes, es por ello que el estudio recomienda tratar los cianuros presentes antes de depositarlos. (Londson, Hagelstein, & Muder, 2001).

Francisco Lara Monge en su publicación sobre los procesos de Cianuración explica, como el cianuro en la historia de la minería lleva muchas etapas evolutivas, en donde las aplicaciones entre estáticas y dinámicas variaron mucho los porcentajes de recuperación, más el tiempo de tratamiento afectará de igual manera el desempeño, tecnologías de la última década aumentaron los procesos y los mejoraron significativamente. (Lara, 2015).

De igual manera Valderrama manifiesta que la minería para obtención de oro, plata y molibdeno, a través de flotación es un proceso que genera enormes volúmenes de relaves, por lo que varios procesos de oxidación residual se producen, el estudio ejemplifica la necesidad de tratar estos depósitos estabilizándolos para evitar daños ecológicos, el relave estudiado ubicado en Chile perteneciente a la Empresa Nacional de Minería cuenta con 30.000.000 de toneladas de material acumuladas desde 1974 por lo que concluye que es un gran banco mineral así propone el reprocesamiento manifestando que el tratamiento para la recuperación de metales en relaves es un sistema que no implica gastos de

extracción, chancado, molienda y procesamiento lo que representa un flujo de caja positivo, el resultado concluyó que las pruebas cinéticas de flotación permiten recuperar un 93,4% de metales y deja como resultado un 0,8 % de pirita en los relaves lo que es un impacto ambiental positivo y deja una ganancia económica que mejora el flujo de caja de la empresa. (Valderrama, 2015)

2.11. Recuperación de metales valiosos a partir de relaves.

La industria minera en el Ecuador inició sus actividades de una manera experimental, con procesos inadecuados, en consecuencia, la recuperación de recursos metálicos fue muy pobre, por lo que grandes cantidades de mineral fueron desechadas, actualmente estos desechos reposan en depósitos que están abandonados y son considerados como material sin valor. (Sandoval, 2001)

Con relación a esto Bruce manifiesta que, gran cantidad de recursos mineros metálicos están depositados y pueden ser aprovechados, para ello es necesario la evaluación de los relaves de la misma manera que se evalúa un yacimiento mineral, al considerar la parte económica y tener cuidado con el manejo de estos residuos. (Bruce et al , 2011)

Los proyectos mineros que han recuperado minerales en relaves, han encontrado en estos una cantidad de recursos que le dan un valor económico a algo que se consideraba desperdicio, como ejemplo tenemos estudios realizados en los relaves de la mina Mouteh, ubicada al Sur-Oeste de Teherán, en una de las principales áreas de extracción de Irán, que luego de evaluar su depósito de colas de relave recupero 776 kg de oro. (Dehghani et al, 2009)

- **Definición del Método Fire Assay**

También conocido como el método de ensayo al fuego, es un sistema que busca crear fusión de la muestra a estudiar, mediante fundentes y reactivos; esta obtiene dos fases líquidas, una escoria de silicatos y una metálica basada en plomo que es el encargado de colectar el metal de interés oro o plata. (INGEMMET, s.f.)

- **Definición de Absorción atómica**

La absorción atómica se basa en la medida de la absorbancia de una radiación electromagnética a una longitud de onda característica del elemento a medir. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes.

La cantidad de fotones absorbidos está determinada por la ley de Beer, que relaciona esta pérdida de poder radiante, con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores. (Castro, 2000)

CAPITULO III

ANÁLISIS DE LA RELAVERA

3.1. Geometría de la piscina de relaves.

La relavera está construida de una manera amorfa y no mantiene dimensiones simétricas.

Las dimensiones de la relavera vistas en planta se pueden ver en la Figura 3.1

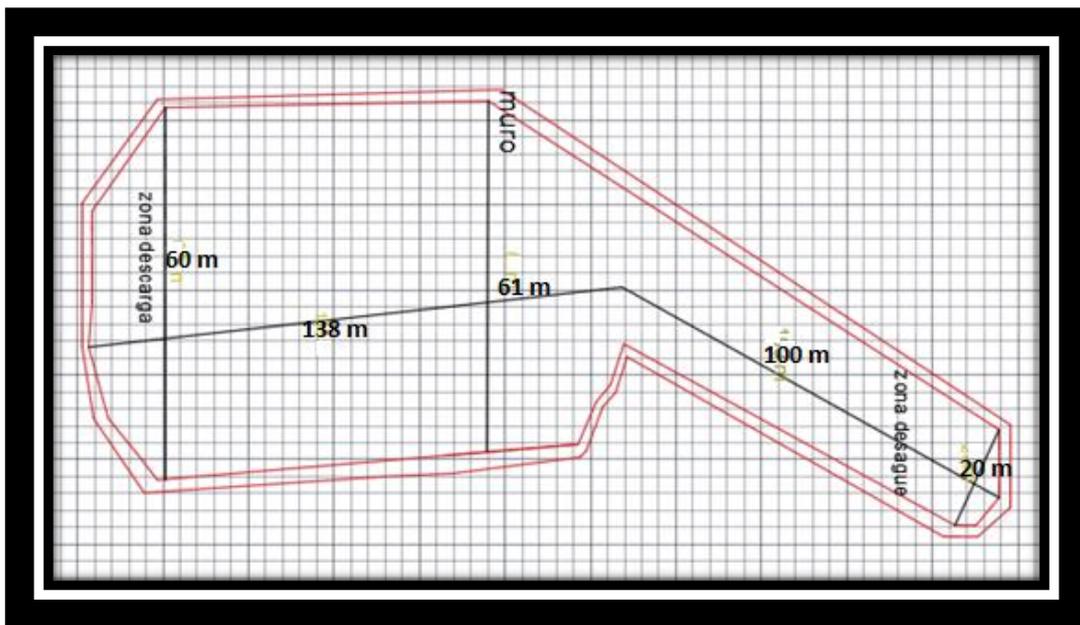


Figura 3.1. Vista relavera.

3.1.1. Diseño

Según el manual de construcción de la empresa PRODUMIN S.A., la relavera fue construida bajo criterios del diseño del eje central y bajo el sistema de aguas arriba.

(PRODUMIN, 2012)

El diseño de la relavera cuenta con un sistema de control de drenaje interno que ayuda a la sedimentación del material grueso y separe a forma de playa las arenas del líquido hacia aguas abajo.

3.1.2. Especificaciones

Las especificaciones técnicas y medidas de la relavera se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas de la relavera.

Base	8797.10 m
Cresta	122241.25 m
Perímetro base	538.4 m
Perímetro cresta	577 m
Altura del muro de embalse	9 m
Ángulo talud externo	55 °
Berma	4,5 – 5 m
Borde	0.5 – 0.6 m

Las alturas de construcción de la ficha técnica se muestran en la Tabla 3.2, tabla de alturas más importantes.

Tabla 3.2. Medidas más importantes.

Profundidad máxima	20 m
Profundidad fase 1	9 m
Cota Oeste arranque	99 m
Cota Este arranque	105 m
Diferencia altura socavón	6 m

3.1.3. Desfogue principal

El sistema de desfogue está construido en hormigón con un volumen de aproximadamente de 1m x 1m x2m, en el interior de esta se encuentra tubería de Ploricluro de Vinilo (PVC) con adaptaciones para su funcionamiento, la imagen al desfogue corresponde a la Figura 3.2.



Figura 3.2. Desfogue principal de la relavera de PRODUMIN

3.1.4. Impermeabilización

El aislamiento del relave es sumamente importante ya que no puede existir ninguna fuga hacia el exterior.

Según datos de construcción el área de geomembrana utilizada es de 12.829 metros cuadrados, la misma está distribuida en la base, talud y borde de esta. (PRODUMIN, 2012)

La geomembrana utilizada en la relavera es de tipo Polietileno de Alta Densidad (HDPE), la geomembrana es protectora de rayos ultravioleta, imagen apreciable en la Figura 3.3.

Además, la relavera está diseñada con un recubrimiento de arcilla sobre la geomembrana, a fin de evitar lesiones que comprometan su hermeticidad.



Figura 3.3. Sistema de impermeabilización de una relavera.

3.1.5. Drenaje perimetral y subdrenaje interior

Para control de los niveles de agua, la relavera tiene un sistema de drenes y subdrenes que sirven de conductores del agua hacia el vertedero de la misma, para su construcción se utilizó tubería corrugada perforada de 120 mm con una cobertura de ripio que sirve como filtro, la longitud de los drenes es de 240 m y los subdrenes 216 m. (PRODUMIN, 2012)

3.1.6. Vida de la relavera

La vida útil de la relavera vendrá definida por la producción de la mina y la capacidad en construcción de la relavera, que es de 220.000 toneladas, los datos operativos se aprecian en la Tabla 3.3, donde se calcula la capacidad de almacenamiento frente al tiempo según la producción de la planta.

Tabla 3.3. Tabla de Capacidad volumétrica de los relaves en el tiempo

PRODUCCCIÓN DIARIA (t)	PRODUCCCIÓN MENSUAL (t)	PRODUCCCIÓN ANUAL (t)	VIDA EN AÑOS
60	1800	21600	10,18
70	2100	25200	8,73
80	2400	28800	7,63
90	2700	32400	6,79
100	3000	36000	6,11
110	3300	39600	5,55

3.1.7. Transporte de relave para su depósito

Los relaves para analizar en este estudio son procedentes de la planta de beneficio de la empresa PRODUMIN S.A, a través de un sistema de mineraducto gravimétrico que aprovecha las pendientes de localización de la misma construido con policluro de vinilo.

3.1.8. Muro de seguridad

El muro de seguridad exterior de la relavera fue construido manualmente, con saquillos previamente rellenos con las mismas arenas del relave, apilados y recubiertos con

geomembrana, con una altura de 0,5 m la función de estos es la de dar seguridad, ya que delimita claramente la piscina y la presión que ejerce sobre la berma, sirve para disminuir las presiones que los relaves ejercen sobre el muro.

3.2. Origen de los relaves

3.2.1 Proceso de la planta de beneficio

La planta de beneficio de la empresa PRODUMIN S.A., opera con dos trituradoras una primaria y secundaria, cinco molinos chilenos, y cuenta con dos circuitos de flotación, el primero es un circuito 5 celdas serrano de 6 x 6 m, y el otro es una celda Denver sp18.

Secuencia de procesos dentro de la planta de beneficio en la Figura 3.4 esquema de procesos.



Figura 3.4. Esquema de procesos.

3.2.2 Datos operacionales.

La Tabla 3.4 contiene las leyes y porcentajes que se generan en los procesos de obtención de oro en la planta y los relaves generados, los datos obtenidos fueron recolectados en base a resultados de laboratorio en el mes de agosto del 2018, tomando muestras para comprobar los valores de la recuperación operativa actual de la planta.

Tabla 3.4. Datos operacionales.

Día	Toneladas	Ley cabeza (g/t)	Toneladas	Ley concentrada (g/t)	Colas (t)	Ley de Colas (g/t)	Oro depositado (gramos)
	Tratadas		recuperadas				
2	70	9,5	8,75	40	61,25	0,5	30,625
5	80	13	10	44	70	0,8	56
7	75	4	9,375	46	65,625	0,25	16,40625
10	85	3	10,625	32	74,375	0,2	14,875
13	78	2,5	9,75	42	68,25	0,6	40,95
18	82	6	10,25	38	71,75	0,35	25,1125
21	80	8.5	10	40	70	0,5	35
27	80	4	10	35	70	0,4	28
RESULTADOS	630	6	9,84375	39,625	551,25	0,45	246,96875

3.2.3. Diagrama de recuperación minera.

El diagrama correspondiente a la Figura 3.5, es un ejemplo del sistema de recuperación y procesos de la planta de beneficio.

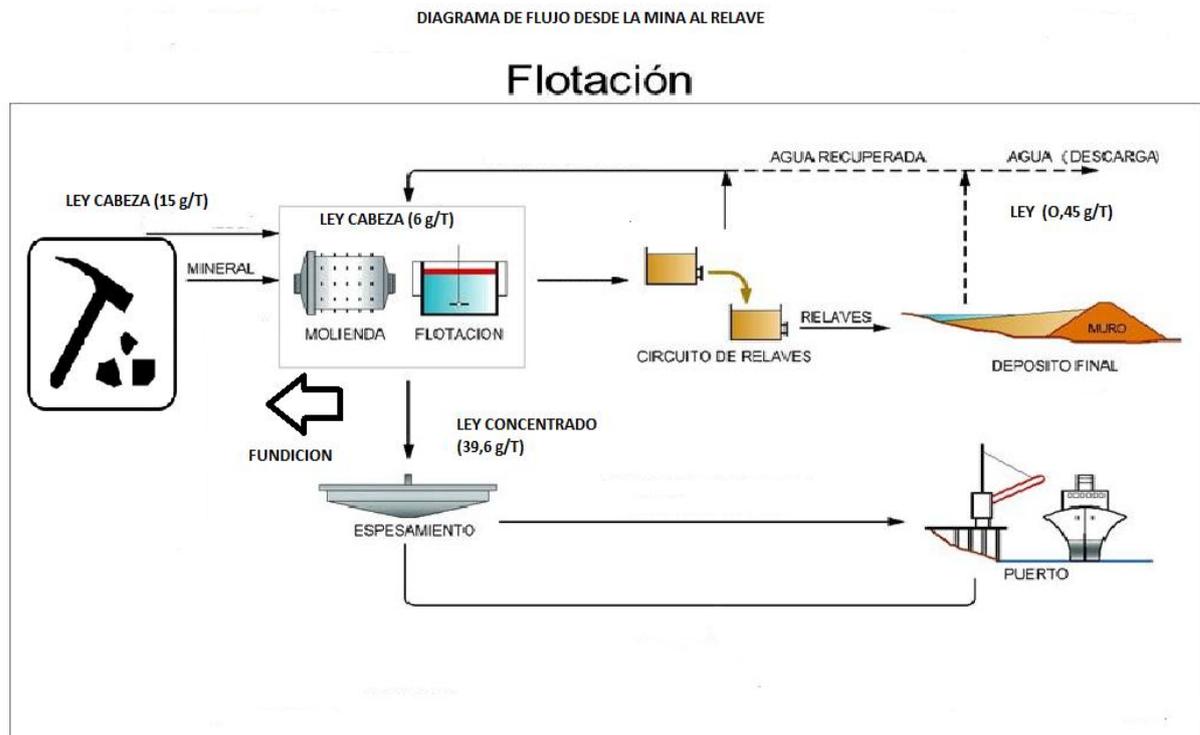


Figura 3.5. Esquema de procesos con leyes.

3.3. Volúmenes

La planta de beneficio opera un promedio de 2.500 t/mes de los cuales la relación de la ratio corresponde a 8 a 1, es decir por cada 8 toneladas de material procesado una tonelada tiene valor y el restante es transportado a la piscina, el material que no va a la relavera es procesado en la planta.

El volumen del presente estudio es de 253.368 toneladas, esto significa que la relavera ya supero su capacidad en construcción que es de 220.000 toneladas.

3.4 Operación del sistema de transporte.

Las pulpas obtenidas del sistema tienen un 45 % de sólidos y un 55 % de líquidos, los mismos que son separados por medio de carbón activado, la criba disminuye la concentración de sólidos a un 30 %, esta pulpa final, es la que es transportada utilizando el conducto de gravedad hasta la relavera.

3.4.1 Tendido y ducto

Las tuberías instaladas en el sistema de transporte son de estructura sólida de 4 pulgadas de diámetro, el flujo de transporte por día varía de 60 a 70 toneladas dependiendo la producción.

El conducto cuenta con dos cámaras para romper la presión, posicionadas a 500 m de altura la una de la otra, generada por la distancia del sistema, las pendientes que constituyen la tubería son altas están aproximadamente a 70° lo que mantiene un flujo constante y evita saturaciones.

3.5 Características físicas de los relaves

El porcentaje de sólidos en las colas, producto de la planta de beneficio es de un 30 a un 35%, la densidad en la pulpa varía de 1,89 a 2 kg/m³, a simple vista el producto es pastoso de color gris.

La muestra seca presenta una composición arenosa bastante pulverizada, no presenta olor a diferencia de relaves de cianuración que son bastante fuertes.

3.6 Productos que componen los relaves de la planta de beneficio

Los productos que conforman las colas de relave son metales como: oro, plata, cobre, arsénico, hierro, residuos de reactivos de flotación, xantatos, ditiofosfatos, aerofloat, espumantes, agua. (PRODUMIN, 2017)

CAPITULO IV

MUESTREO Y DETERMINACIÓN DE LA LEY DE ORO

4.1. Delimitación del área a muestrear.

El área elegida fue la más antigua la cual no ha tenido mayor monitoreo, a diferencia de la nueva que es controlada periódicamente y está inundada por las descargas de la planta por lo que el acceso a ella es un riesgo y por seguridad y la dificultad de acceso se restringió, las medidas longitudinales del área delimitada y las alturas se pueden ver en la Figura 5.1.

4.1.1 Área a muestrear

Empezaremos enfatizando que la relavera de la empresa PRODUMIN S.A., está saturada por lo que labores de vaciado se iniciaron en el presente año, la empresa consideró necesaria la separación de esta en dos partes y la dividió a través de la construcción de un muro.

El muro fue construido con las mismas arenas de los relaves y tiene un espesor de 4 m, la empresa adecuó, preparó y seco el área de interés lo que facilitó la recolección de las muestras en un área de 8.349 metros cuadrados.

4.2. Determinación del número de muestras

La elección del número de muestras fue definida por varios factores como: metodología de muestreo, tipo de evaluación a realizar en la relavera, costo de los análisis de laboratorio, costo de la maquinaria para obtención de la muestra dimensión y volúmenes a estudiar.

4.2.1. Malla de muestreo

La malla de muestreo cuenta con 60 puntos en total distribuidos en dos estratos, cada nivel cuenta con una distribución que se superpone 30 puntos, distribuidos en horizontal cada 19.71 m, cuatro puntos en vertical cada 15 m y dos puntos ubicados a 30 metros a la izquierda y a la derecha del eje central, las potencias de los estratos son de 10 m el primer nivel y 7 m el segundo siendo el bloque superior el nivel 1 y el inferior el nivel 2, las dimensiones y alturas importantes corresponden a la Figura 5.1.

Las coordenadas de la malla de muestreo se aprecian en la Tabla 4.1, las coordenadas del nivel 1 y el nivel 2 son las mismas, puesto estas están superpuestas una sobre la otra.

Tabla 4.1. Coordenadas de los puntos nivel 1 y nivel 2.

Número	x	y
Centro	642244	9657086
1	642175	9657116,3
2	642198	9657116,3
3	642221	9657116,3
4	642244	9657116,3
5	642267	9657116,3
6	642290	9657116,3
7	642313	9657116,3
8	642175	9657096
9	642198	9657096
10	642221	9657096
11	642244	9657096
12	642267	9657096
13	642290	9657096
14	642313	9657096
15	642175	9657076
16	642198	9657076
17	642221	9657076
18	642244	9657076
19	642267	9657076
20	642290	9657076
21	642313	9657076
22	642175	9657055,8
23	642198	9657055,8
24	642221	9657055,8
25	642244	9657055,8
26	642267	9657055,8
27	642290	9657055,8
28	642313	9657055,8
29	642278,5	9657086
30	642209,05	9657086

La distribución de la malla se puede ver en la imagen de las (Figuras 4.1 y 4.2).

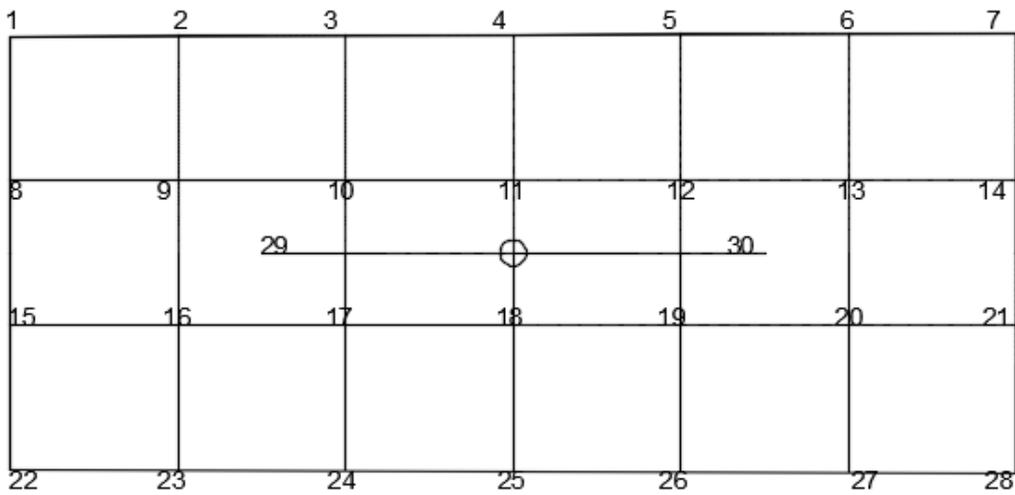
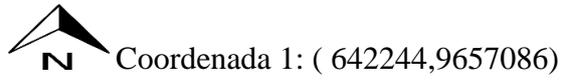


Figura 4.1. Malla de muestreo nivel 1.

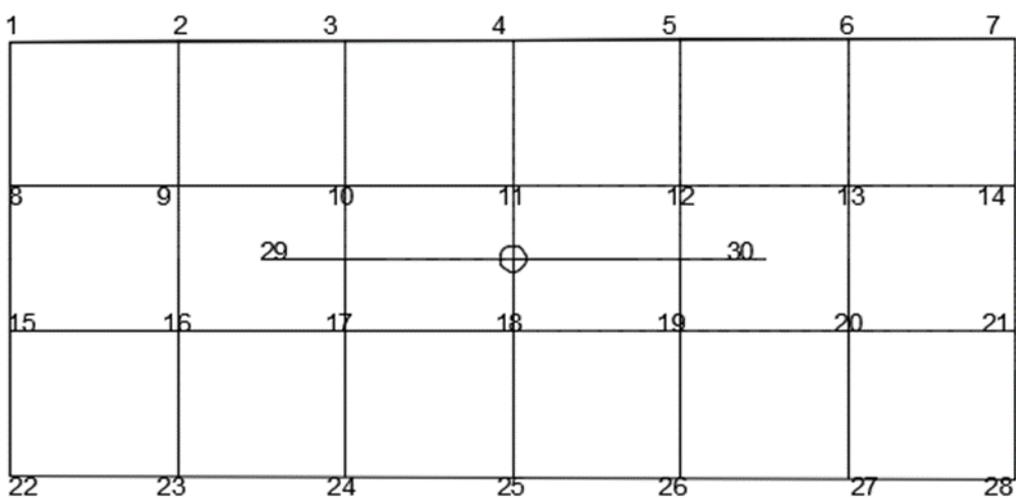
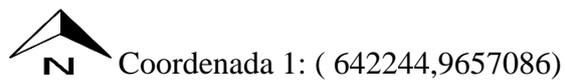


Figura 4.2. Malla de muestreo nivel 2.

4.3. Proceso de recolección de muestras

Para la recolección de muestras se utilizó una excavadora Caterpillar 320, la misma que ingresó a la relavera y extrajo material en diferentes niveles según las indicaciones de la malla de muestreo, el material obtenido se mezcló para tener un valor, luego este fue extraído de manera manual y empaquetado, enumerado para su posterior traslado al laboratorio, en ciertas áreas el ingreso de la máquina tenía dificultades por el fluido de la relavera y se ayudó con troncos como plataforma para tener acceso a los puntos exactos definidos previamente, se puede ver la toma de muestras en la Figura 4.3.



Figura 4.3. Proceso de toma de muestras.

4.4. Tratamiento de la muestra

Una vez obtenida la muestra, fue sellada en una funda plástica, enumerada y transportada al laboratorio donde se realizó el análisis por el método Fire Assay.

4.4.1 Procedimiento

- La muestra obtenida en campo fue colocada en el horno, el material se ubicó en bandejas de acero inoxidable y enumerado para su diferenciación, Figura 4.4.



Figura 4.4. Secado de muestras.

- El material ya seco fue roleado y homogenizado, para su posterior cuarteo, el proceso se realizó manualmente, correspondiente a la (figura 4.5).



Figura 4.5. Homogenización de muestras.

- La (Figura 4.6) corresponde a la preparación del fundente en donde se pesaron 20 gramos para colocarlos en el flux.



Figura 4.6. Preparación del flux.

- El flux o fundente fue preparado en el laboratorio con la siguiente fórmula:

Ácido nítrico preparado.

- A.C. Nítrico (HNO_3) = 200 ml.
- Agua (H_2O) = 800 ml.

Acetato de plomo.

- Acetato de Plomo = 140 g.
- Agua = 1400 ml.

Nitrato de Plata.

- Nitrato de plata (AgNO_3) = 25 g.
- Agua = 500ml

Fundente Preparado.

- Litargirio (PbO) = 2000 g
- Carbonato (Na_2CO_3) = 984g.
- Bórax = 295 g

Fundente preparado para Carbón.

- Litargirio (PbO) = 500 g.
 - Bórax = 200 g.
- El flux es pesado a relación de 40 gramos de fundente por 20 gramos de muestra, este es mezclado, se le agregó una cucharadita de harina, y 5 gotas de nitrato de plata, al final se colocó 40 gramos de Bórax ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), el compuesto fue depositado en crisoles de arcilla, ver en la Figura 4.7.



Figura 4.7. Preparación de la muestra en crisoles.

- El crisol fue introducido al horno a 1.060 grados centígrados y se lo dejó durante 60 minutos



Figura 4.8. Extracción de la muestra del horno.

- El crisol fue extraído y se obtuvo el régulo de su interior, el mismo que se depositó en el crisol refractario de copelación y se introdujo al horno durante 45-60 minutos dependiendo del tamaño del régulo, el proceso de extracción corresponde a la Figura 4.8.
- Una vez el óxido de plomo se evaporó, quedó como resultado un botón dore.
- Finalmente, el dore fue atacado con ácido nítrico y agua diluido a relación 4 a 1 lo que separa el oro de la plata, el oro fue pesado en una balanza de alta precisión Metler Toledo 3200 (Figura 4.9), finalmente se aplicaron los cálculos para determinar los valores por tonelada y se obtuvo el resultado final, las muestras tratadas también fueron procesadas en gemelo para comprobar su veracidad.



Figura 4.9. Pesado de la muestra en la balanza analítica.

- **Ley de oro por el método Fire Assay.**

Los valores de la ley de oro por el método Fire Assay son apreciables en la Tabla 4.2

Tabla 4.2. Leyes de oro de las muestras

NUMERO	x	y	ley nivel 1 g/t	ley nivel 2 g/t
P. CENTRAL	642244	9657086	1	0,5
1	642175	9657116,25	1	2,5
2	642198	9657116,25	1	3
3	642221	9657116,25	1,5	3,5
4	642244	9657116,25	0,5	2
5	642267	9657116,25	1,5	3
6	642290	9657116,25	0,9	3,5
7	642313	9657116,25	0,3	4,5
8	642175	9657096	0,4	4,5
9	642198	9657096	0	3,5
10	642221	9657096	0	2,5
11	642244	9657096	1	3
12	642267	9657096	1,5	2
13	642290	9657096	0,7	1,5
14	642313	9657096	1	2
15	642175	9657076	0,5	1,5
16	642198	9657076	0,5	1
17	642221	9657076	1,5	2
18	642244	9657076	0,5	2,5
19	642267	9657076	0,5	3,5
20	642290	9657076	1	1,5
21	642313	9657076	2	2,5
22	642175	9657055,75	2	2
23	642198	9657055,75	1,5	1,5
24	642221	9657055,75	1	3
25	642244	9657055,75	1,5	2,5
26	642267	9657055,75	0,5	3,5
27	642290	9657055,75	1	3
28	642313	9657055,75	0,5	2
29	642279	9657086	0,5	2,5
30	642209	9657086	0,5	1

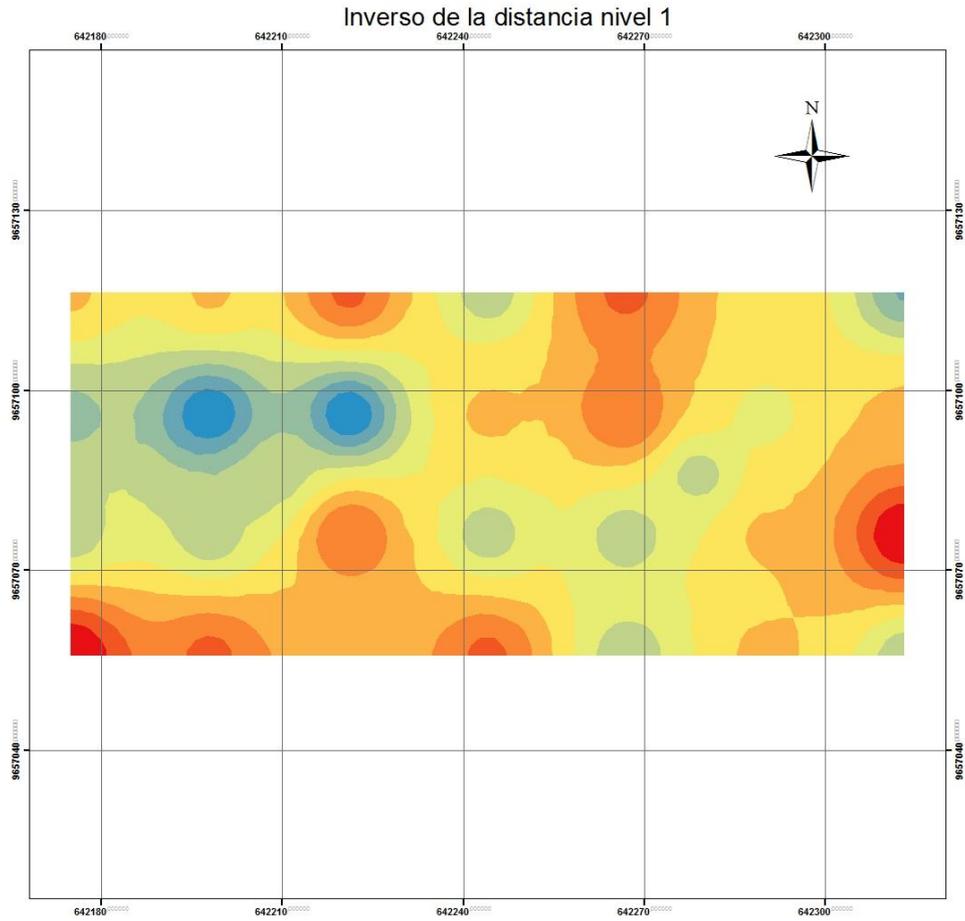
4.5. Comprobación

A manera de comprobar los resultados del método Fire Assay, la empresa se analizó 40 resultados aleatoriamente a través de absorción atómica, los valores obtenidos fueron similares por lo que son válidos para la determinación de la ley de oro, los valores comprobatorios se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Tabla comprobatoria método Fire Assay vs Absorción Atómica.

Código	LEY Au g/t	LEY Au ppm
	Fire Assay	Absorción atómica
P-001	2	1,85
P-002	2,5	2,54
P-003	0,5	0,52
P-004	0,5	0,48
P-005	0,5	0,53
P-006	1	1,02
P-007	2	2,04
P-008	1,5	1,63
P-009	1	0,94
P-010	2	2,01
P-011	2,5	2,47
P-012	3,5	3,58
P-013	1,5	1,52
P-014	2,5	2,42
P-015	2	2,02
P-016	1,5	1,53
P-017	3	3,08
P-018	2,5	2,61
P-019	3,5	3,42
P-020	3	2,95
P-021	2,5	2,57
P-022	3	3,03
P-023	3,5	3,56
P-024	2	2,18
P-025	3	3,04
P-026	3,5	3,53
P-027	4,5	4,6
P-028	4,5	4,57
P-029	3,5	3,44
P-030	2,5	2,53
P-031	3	3,05
P-032	2	2,12
P-033	1,5	1,54
P-034	2	2,06
P-035	2	2,13
P-036	1,5	1,53
P-037	1	1,06
P-038	1,5	1,46
P-039	0,5	0,42
P-040	1	0,9

Fuente: (PRODUMIN S.A, 2018)



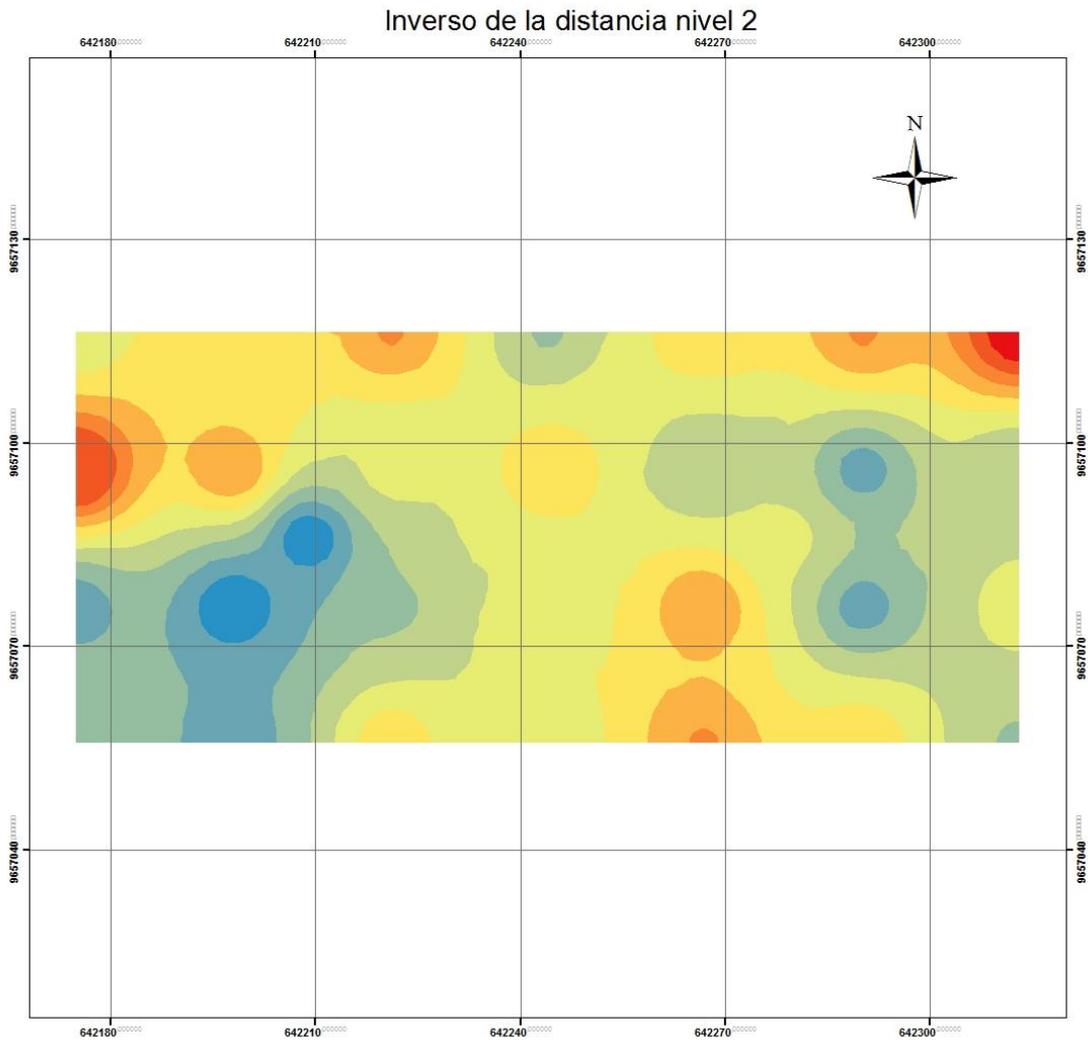
Legend

Inverso de la distancia 1		0,452053984 – 0,602018835
Prediction Map		0,602018835 – 0,771091273
[Coordenadas],[ley_1]		0,771091273 – 0,961705868
Filled Contours		0,961705868 – 1,17660739
		0 – 0,169072438
		0,169072438 – 0,31903729
		0,31903729 – 0,452053984
		1,17660739 – 1,41889031
		1,41889031 – 1,69204342
		1,69204342 – 2

	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD DEL AZUAI
DIS	26.09.2018	EFEM	
DIB	27.09.2018	EFEM	FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
REV	28.09.2018	CFAT	ESCUELA DE INGENIERIA EN MINAS

CUADRO INVERSO DE LA DISTANCIA PRIMER NIVEL

Figura 5.2. Inverso de la distancia nivel 1.



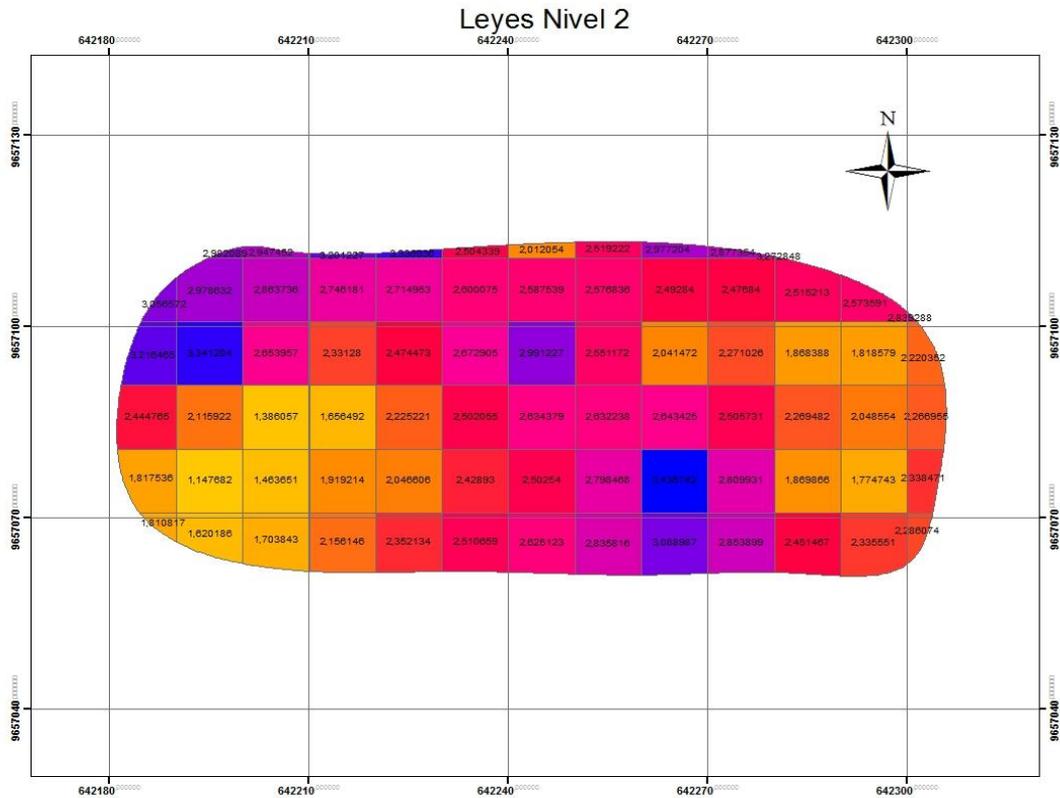
Legend



	FECHA	NOMBRE	
DIS	26/09/2018	EFEM	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DIB	27/09/2018	EFEM	FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
REV	28/09/2018	CFAT	ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS
CUADRO INVERSO DE LA DISTANCIA SEGUNDO NIVEL			

Figura 5.3. Inverso de la distancia nivel 2.

- La ley media de oro en el nivel 2 cuya volumen es de 138m x 60m x 7m, corresponde a la ley más alta siendo esta de 2,22 g/t.



Legend

Nivel2	
<all other values>	
GRID_CODE	
1,14768171	2,01205397
1,38605726	2,04147196
1,4636507	2,04660559
1,62018645	2,04855442
1,65649223	2,11592221
1,70384264	2,15614557
1,77474332	2,22035241
1,81081724	2,22522068
1,81753612	2,269549
1,81857884	2,26948214
1,86838806	2,26948214
1,86986649	2,27102637
1,91921413	2,28607416
	2,33127999
	2,3355515
	2,33847094
	2,35213375
	2,42892957
	2,44476461
	2,45146728
	2,47447276
	2,47684002
	2,49284005
	2,50205493
	2,50254035
	2,50433898
	2,50573087
	2,51065898
	2,51521349
	2,51922154
	2,55117249
	2,57359147
	2,57683635
	2,58753896
	2,60007501
	2,6251235
	2,63223815
	2,63437867
	2,64342523
	2,65395689
	2,67290497
	2,71495318
	2,74618149
	2,79846764
	2,8099308
	2,83581567
	2,83928847
	2,85389853
	2,86373615
	2,87735367
	2,94745231
	2,97720432
	2,9786315
	2,98208857
	2,99122667
	3,0565722
	3,08898664
	3,20122719
	3,216465
	3,27284837
	3,33693576
	3,3412044
	3,43674159

Figura 5.5. Polígono de los valores de las leyes por polígonos nivel 2.

5.3. Cálculo Reservas

Para el cálculo de reservas del nivel 1 se tomó un tamaño de bloque de 10m x 10m x 10 m, que corresponde a las medidas específicas tomadas dentro de la relavera, las dimensiones longitudinales corresponden a la Figura 5.1, el valor de las reservas de oro en el nivel 1 es de 107044,656 g de oro.

Los valores por bloques del nivel 1 son los correspondientes a la (Figura 5.6)

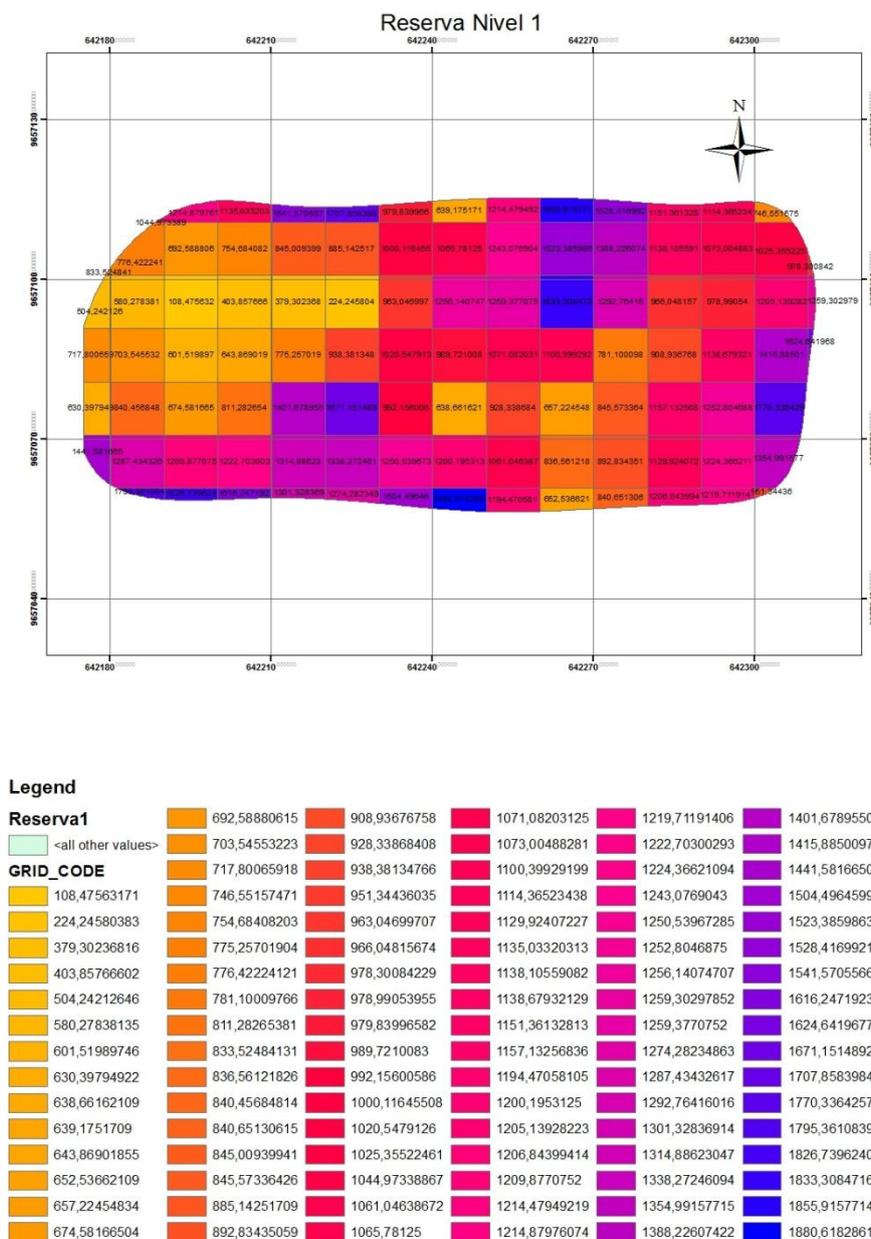


Figura 5.6. Polígono de los valores de las reservas por polígonos nivel 1.

- Vista en 3D del nivel 1 correspondiente al nivel superior Figura 5.8.

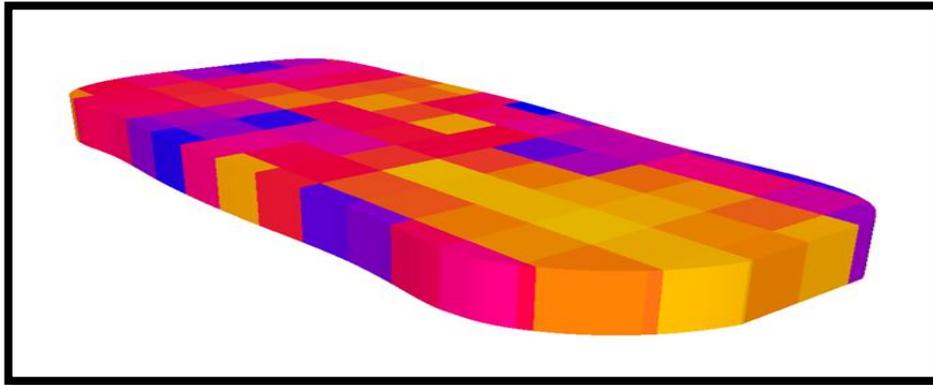


Figura 5.8. Nivel 1 en 3D.

- Vista en 3D del nivel 2 correspondiente al nivel inferior Figura 5.9.

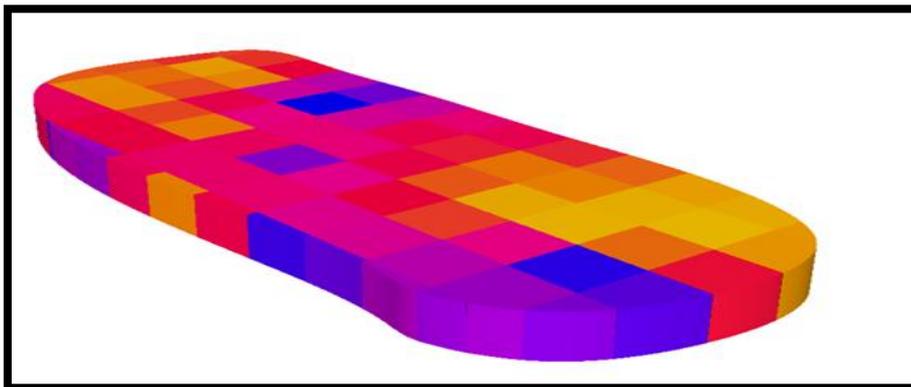


Figura 5.9. Nivel 2 en 3D.

- Vista en 3D de los niveles 1 y 2, ver en la imagen de la (Figura 5.10), relave total.

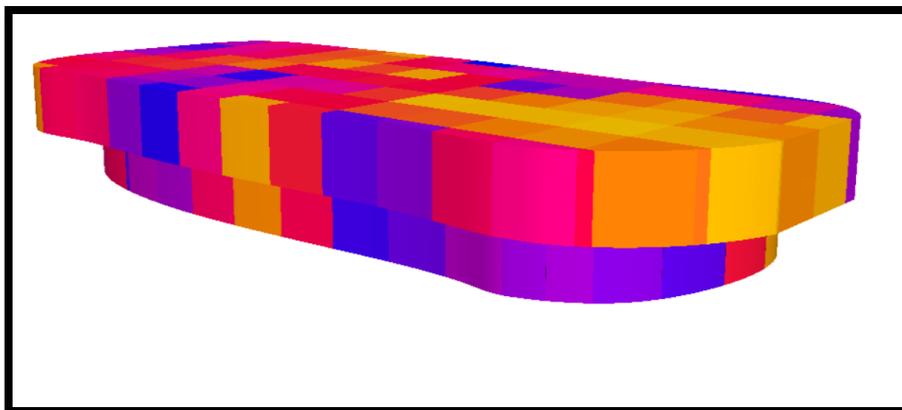


Figura 5.10. Relave total en 3D.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En base al estudio realizado en la empresa PRODUMIN S.A. se puede concluir:

- El sistema de beneficio mineral de la planta no recupera el mineral en su totalidad y existen pequeñas cantidades de oro que se escapa del circuito de flotación y termina en la relavera.
- El nivel superior, denominado nivel 1 tiene una reserva de: 107.044,656 gramos de oro, el nivel inferior denominado nivel 2 tiene una reserva de: 232.371, 654 gramos de oro.
- La reserva total, correspondiente a la sumatoria del nivel 1 y 2 es de: 339.416,31 gramos de oro, valores comprendidos dentro de las dimensiones de la malla de muestreo, sin embargo, la capacidad de la relavera es mayor, por lo que las reservas aumentarían al estudiar el depósito en su totalidad.
- La ley media del nivel 1, es la ley más baja siendo de 0,71 g/t, este nivel corresponde a las descargas de los últimos 3 años de la planta, aproximadamente desde el año 2015 en adelante.
- La ley media del nivel 2, es la ley más alta con 2,22 g/t siendo esta la parte más antigua del depósito correspondiente del año 2012 al 2015 aproximadamente.
- Los resultados obtenidos por el método Fire Assay y el de Absorción atómica son similares, por lo que cualquiera de los dos es útil para la realización de cálculos de evaluación de reservas.

Recomendaciones:

- Se recomienda realizar estudios económicos a fin de analizar la rentabilidad de la explotación de la relavera.
- Realizar estudios y ensayos de recuperación para arenas de baja ley con métodos de cianuración y flotación combinados.
- Incorporar planes de recolección sistemática para los futuros relaves, considerando un punto de inversión para cuando la metodología de recuperación de relaves los haga más valiosos.
- No mezclar los relaves actuales de flotación con productos de cianuración, si a futuro se llegase a reactivar dicho sistema por parte de la empresa.
- Realizar investigaciones en el campo metalúrgico que permita optimizar de una manera más efectiva la recuperación mineral.
- Realizar análisis de laboratorio en búsqueda de cuantificar otros metales de valor como plata, cobre, y especies peligrosas como mercurio.

BIBLIOGRAFÍA

- Alegria, D. (2014). *PROPUESTA DE MEJORA PARA LA PRODUCCION AURIFERA*. Quito: Facultad de ingeniería UCE.
- Alonso, R. (2014). BCE. (2017). *Reporte Minero*. Obtenido de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero012017.pdf>
- Belmar, M. (2015). *SECUENCIA DE EXPLOTACION Y LEYES DE CORTE*. Obtenido de INACAP: http://www.academia.edu/19286916/Leyes_de_mineria
- Bruce et al . (2011). *The Mining Association of Canada*. Obtenido de www.mining.ca
- Castro, R. (2000). *Principios Basicos de espectroscopía*. México: UACH.
- ClimateData. (2018). *Climate Data*. Recuperado el 20 de Mayo de 2018, de www.CLIMATE-DATA.ORG
- Dehghani et al. (2009). Recovery of gold from the Mouteh Gold Mine. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*.
- Ecometales. (2010). *Relaves, yacimientos del futuro*. Obtenido de Ecometales: <http://www.ecometales.cl/relaves-los-yacimientos-del-futuro/>
- Elaw. (2010). *GUIA PARA EVALUAR Elas*. Obtenido de elaw: www.elaw.org
- Germi, A. (2013). *CALCULO DE RESERVAS DE LA VETA PARAISO* . Guayaquil: ESPE.
- INEC. (2010). *Ecuador en cifras*. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/CPV_aplicativos/datos_generales_cpv/01camiloponceenriquez.pdf
- INGEMMET. (s.f.). *Instituto de Geológico Minero Metalúrgico*. Obtenido de <http://www.ingemmet.gob.pe>
- INIGEMM. (1980). *INSTITUTO NACIONAL GEOLOGICO MINERO METALURGICO*. Obtenido de <https://www.geoinvestigacion.gob.ec>
- INNIGEM. (SF). *MAPAS GEOLOGICOS*. Obtenido de Geo investigacion: https://www.geoinvestigacion.gob.ec/mapas/100K_r/HOJAS_GEOLOGICAS_100k/MAC_HALA_PSAD56_Z17S.compressed.pdf
- Jimeno, C., & Bustillos, M. (1997). *MANUAL DE EVALUACION Y DISEÑO DE EXPLOTACIONES MINERAS*. GRAFICO, ENTORNO.
- Lara, F. (2015). *PROCESOS DE CIANURACION*. Amalar: SBINTH.
- Londson, M., Hagelstein, k., & Muder, T. (Abril de 2001). *ICME*. (ICME, Productor) Recuperado el 2018, de Consejo internacional de metales y medio ambiente: www.icme.com
- Lyon. (1993). ManualPRODUMIN. (sf). Plan de manejo ambiental. PONCE ENRIQUEZ, Ecuador.
- Merino. (2011). MinisterioMineriaChile. (2018). Obtenido de <http://www.minmineria.gob.cl/>
- Palma. (2016). *Centro Minería*. Recuperado el 15 de Junio de 2018, de Todas estas imágenes tomadas de http://www.centromineria.pucv.cl/documentacion_pdf/Sr-Juan-Palma-Operaci%C3%B3n-y-Control-de-Tranques-de-Relaves.pdf
- Panta, & laubacher. (1994). *NUEVOS DATOS SOBRE LA GEOLOGIA Y EL POTENCIAL AURIFERO*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- PRODUMIN. (2012). PRODUMIN. (2017). Camilo Ponce.
- PRODUMIN S.A. (2018). *Informe Laboratorio PORDUMIN S.A*. Camilo Ponce Enríquez.
- Ramírez, N. (2007). (Sernageomin, Ed.)
- Sandoval, F. (2001). *MMSD*. Obtenido de <http://pubs.iied.org/pdfs/G00721.pdf>
- SGM. (2017). *SERVICIO GEOLOGICO MEXICANO*. Obtenido de <http://www.sgm.gob.mx>

Total, I. (s.f.). Obtenido de <https://impermeabilizaciontotal.com.pe/geomembrana-2/>
Valderrama. (2015). DESULFURACION DE RELAVE MEDIANTE FLTOACION DE DULFUROS DE
HIERRO. *HOLOS*.