



---

---

---

# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

## ESCUELA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y MINAS

**“RENDIMIENTO DE LA FLOTACIÓN PARA  
CONCENTRAR SULFUROS MINERALES DE LOS  
RELAVES EN LOS DISTRITOS MINEROS DE  
PORTOVELO - ZARUMA, BELLA RICA Y SAN  
GERARDO ”**

OBTENCIÓN  
GEOLOGÍA

TESIS DE GRADO PREVIA A LA  
DEL TITULO DE INGENIERO EN  
Y MINAS

**AUTOR:**

*Jorge Rolando Alulima Morocho.*

**DIRECTOR:**

*Ing. Víctor Aurelio Sanmartín Gutiérrez.*

**LOJA – ECUADOR  
2009**



Ingeniero.

Víctor Sanmartín Gutiérrez.

**DOCENTE INVESTIGADOR DEL CENTRO DE BIOLOGÍA CELULAR Y MOLECULAR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

**CERTIFICA:**

Haber dirigido y revisado minuciosamente el presente trabajo de investigación, realizado por el señor Jorge Rolando Alulima Morocho, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología y Minas. La cual reúne la suficiente validez técnica e investigativa, por lo cual autorizo su presentación.

Loja, septiembre del 2009.

.....

Ing. Víctor Sanmartín Gutiérrez

**DIRECTOR DE TESIS**



## **CESIÓN DE DERECHO**

Yo, Jorge Rolando Alulima Morocho declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art.67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

F.....

Jorge Rolando Alulima Morocho



## AUTORÍA

En la presente investigación las herramientas intelectuales implementadas tales como: ideas, investigaciones, resultados, conclusiones, recomendaciones, son de única responsabilidad del Autor.

f.) .....

Jorge Rolando Alulima Morocho

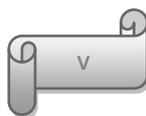


## **DEDICATORÍA**

Este trabajo se le dedico con inmenso amor a mi amada esposa María Jackeline, por haber sido el pilar fundamental de mi vida durante el transcurso de mis estudios y a mis hijas Ximena Ivanova y Ana Luisa que son bendiciones que me ha regalado Dios.

A mis padres, por haberme dado la vida, y por haberme enseñado a ser perseverante y además por su apoyo económico.

A los padres de mi esposa por haberme apoyado económicamente en los últimos años de mis estudios.





## AGRADECIMIENTO

Quiero dejar la constancia de mi sincero agradecimiento a las autoridades de la Universidad, a la Escuela de Geología y Minas, al Centro de Biología Celular y molecular por su apoyo en tema de investigación.

Al Ing. Víctor Aurelio Sanmartín Gutiérrez, director de esta Tesis. Quien con su conocimiento técnico científico y su interés investigativo incondicional supo dirigir acertadamente en mi trabajo investigativo.

Al Dr. Richar Banda y al Ing. José Tamay, por el aporte de sus sabios conocimientos impartidos durante el desarrollo investigativo.

A mis amigos y familiares que de una u otra forma me han brindado concejos e ideas importantes, los cuales se han hechos mercedores de mi estima y respeto que siempre les tendré presente en mis días.

El Autor



## INDICE

CERTIFICACIÓN.....	ii
CESIÓN DE DERECHO.....	iii
AUTORÍA.....	iv
DEDICATORÍA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
INDICE.....	vii
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>4</b>
2. CARACTERISTICAS FÍSICO- GEOGRÁFICAS DE LOS DISTRITOS MINEROS PORTOVELO-ZARUMA, BELLA RICA Y SAN GERARDO.....	4
2.1. DISTRITO MINERO PORTOVELO ZARUMA.....	4
2.1.1. UBICACIÓN.....	4
2.1.2. ACCESO.....	5
2.1.3. CLIMA Y CLIMATOLOGÍA.....	5
2.1.4. VEGETACIÓN.....	5
2.1.5. RELIEVE.....	5
2.1.6. HIDROGRAFÍA.....	6
2.1.7. POBLACIÓN DE LA ZONA Y POBLACIÓN MINERA.....	6
2.2. DISTRITO MINERO BELLA RICA.....	7
2.2.1. UBICACIÓN.....	7
2.2.2. ACCESO.....	7
2.2.3. CLIMA Y CLIMATOLOGÍA.....	8
2.2.4. VEGETACIÓN.....	8
2.2.5. RELIEVE.....	8
2.2.6. HIDROGRAFÍA.....	8
2.2.7. POBLACIÓN DE LA ZONA Y POBLACIÓN MINERA.....	8
2.3. DISTRITO MINERO SAN GERARDO.....	9
2.3.1. UBICACIÓN.....	9



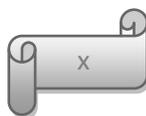
2.3.2. ACCESO.....	10
2.3.3. CLIMA Y CLIMATOLOGÍA.....	10
2.3.4. VEGETACIÓN.....	11
2.3.5. RELIEVE.....	11
2.3.6. HIDROGRAFÍA.....	11
2.3.7. POBLACIÓN DE LA ZONA Y POBLACIÓN MINERA.....	11
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>13</b>
3.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	13
3.1.1. PRE-GRUPO-SARAGURO.....	13
3.1.2. GRUPO SARAGURO.....	14
3.1.3. GRUPO POST SARAGURO.....	14
3.1.4. ESTRUCTURAS.....	14
3.1.5. MINERALIZACIÓN.....	15
3.2. GEOLOGÍA LOCAL DE LOS DISTRITOS MINEROS.....	17
3.2.1. GEOLOGÍA LOCAL DEL DISTRITO MINERO PORTOVELO ZARUMA...	17
3.2.1.1. Litología Encajante.....	17
3.2.1.2. Edad de la Mineralización.....	17
3.2.1.3. Entorno Geológico.....	17
3.2.1.4. Marco Tectónico.....	17
3.2.1.5. Mineralización.....	17
3.2.1.6. Textura/ Estructura.....	19
3.2.2. GEOLOGÍA LOCAL DEL DISTRITO MINERO BELLA RICA.....	19
3.2.2.1. Litología Encajante.....	19
3.2.2.2. Edad de la Mineralización.....	19
3.2.2.3. Entorno Geológico.....	19
3.2.2.4. Marco Tectónico.....	19
3.2.2.5. Mineralización.....	20
3.2.2.6. Textura/ Estructura.....	21
3.2.3. GEOLOGÍA LOCAL DEL DISTRITO MINERO SAN GERARDO.....	21
3.2.3.1. Litología Encajante.....	21
3.2.3.2. Edad de la Mineralización.....	21
3.2.3.3. Entorno Geológico.....	21
3.2.3.4. Marco Tectónico.....	21
3.2.3.5. Mineralización.....	22
3.2.3.6. Textura/ Estructura.....	22
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>24</b>



4. PRINCIPIOS FÍSICOS QUÍMICOS DE LA FLOTACIÓN.....	24
4.1. DEFINICIÓN.....	24
4.2. REACTIVOS DE FLOTACIÓN.....	24
4.2.1. Promotores o colectores.....	24
4.2.2. Espumadores.....	25
4.2.3. Modificadores de medio.....	26
4.3 VARIABLES OPERACIONALES RELEVANTES PARA EL PROCESO.....	27
4.3.1. Granulometría.....	27
4.3.2. Tipo de Reactivos.....	27
4.3.3. Dosificación de Reactivos.....	27
4.3.4. Densidad de Pulpa.....	27
4.3.5. Aireación.....	27
4.3.6. Regulación del pH.....	27
4.3.7. Tiempo de Residencia.....	28
4.3.8. Calidad del Agua.....	28
4.4. REACTIVOS UTILIZADOS EN LA FLOTACIÓN.....	28
4.4.1. Ditiófosfato o Aerrofloat 242.....	28
4.4.2. Silicato de Sodio ( $\text{SiO}_3\text{Na}_2$ ).....	28
4.4.3. Xantato Amílico de Potasio KAX(Z – 6).....	28
4.4.4. Aceite de Pino (Rs 370).....	29
4.4.5. Cal ( $\text{CaO}$ ).....	29
4.5. MINERALES PRESENTES EN LAS MENAS FLOTADAS.....	29
4.5.1. La Pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ).....	29
4.5.2. Pirita ( $\text{FeS}_2$ ).....	30
4.5.3. Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ).....	30
4.5.4. Arsenopirita o Mispíquel ( $\text{FeAsS}$ ).....	30
4.5.5. Galena $\text{PbS}$ .....	30
4.5.6. Esfalerita $\text{ZnS}$ .....	31
4.5.7. Marmatita ( $\text{Zn, Fe}$ )S.....	31
4.5.8. Minerales de ganga.....	31
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>32</b>
5. METODOS Y MATERIALES.....	32
5.1. MUESTREO.....	32
5.2. HOMEGENIZACIÓN Y CUARTEO.....	32
5.3. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL.....	33
5.3.1. Análisis mineralógico.....	33



5.3.2. Análisis químico.....	33
5.3.2.1. Fusión – Copelación.....	33
5.3.2.2 Lectura en absorción atómica.....	35
5.3.3. Determinación del peso específico de los relaves.....	37
5.3.4. Análisis granulométrico.....	39
5.4. OPTIMIZACIÓN DE LA MOLIENDA.....	40
5.4.1. Molienda.....	40
5.5. FLOTACIÓN.....	41
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>44</b>
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	44
6.1. ANÁLISIS MINERALÓGICO.....	44
6.2. ANALISIS QUÍMICO DE LOS RELAVES.....	47
6.3. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE RELAVES.....	48
6.4. OPTIMIZACIÓN DE LA MOLIENDA Y CARACTERIZACIÓN.....	48
6.4.1. Distrito minero Portovelo-Zaruma.....	48
6.4.2. Distrito minero Bella Rica.....	50
6.4.3. Distrito minero San Gerardo.....	52
6.5. BALANCES METALÚRGICOS Y RENDIMIENTO DE LA FLOTACIÓN.....	54
6.5.1. Portovelo – Zaruma.....	54
6.5.2. Bella Rica.....	56
6.5.3. San Gerardo.....	57
<b>CAPITULO VII.....</b>	<b>59</b>
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
7.1. CONCLUSIONES.....	59
7.2. RECONMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXOS.....	64
ANEXO 1. CÁLCULOS DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS RELAVES.....	64
Anexo 1.1. Distrito Minero Portovelo-Zaruma.....	64
Anexo 1.2. Distrito Minero Bella Rica.....	65
Anexo 1.3. Distrito Minero San Gerardo.....	65
ANEXO 2 Tabla N° 20. Serie de tamices de Estados Unidos y equivalentes de Tyler...	66
ANEXO 3. CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS DE OPTIMIZACIÓN DE LA	67





MOLIENDA.....	
Anexo 3.1. Portovelo-Zaruma.....	67
ANEXO 4: Protocolo sugerido por Enrique Carretero (Geobiotics).....	68
ANEXO 5: REPORTE DE LA DOSIFICACIÓN Y CONSUMO DE REACTIVOS DE FLOTACIÓN.....	69
Anexo 5.1. Dosificación de Reactivos.....	69
Anexo 5.2. Consumo de Reactivos.....	70
ANEXO 6. LECTURA DE MUESTRAS POR ABSORCIÓN ATÓMICA.....	70
Anexo 6.1 Distrito Portovelo-Zaruma.....	70
Anexo 6.2. Distrito Bella Rica.....	71
Anexo 7.3. Distrito San Gerardo.....	72



## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo fundamental determinar el rendimiento de concentrado de flotación para los relaves de los distritos mineros de: Portovelo – Zaruma, Bella Rica y San Gerardo, aplicando un protocolo de flotación sugerido por Enrique Carretero representante de Geobiotics (Chile) a diferentes granulometrías (d80 de: 180, 200, 220), para el cual fue necesario realizar varios ensayos.

Con el apoyo del Centro de Biología Celular y Molecular (CBCM) y de la Unidad de Civil y Geología (UCG) de la Universidad Técnica Particular de Loja, se realizó el muestreo de las zonas de estudio para su posterior análisis mineralógico, así como los respectivos ensayos de caracterización y flotación.

De acuerdo a los análisis mineralógico realizadas se determinó que la composición de estas menas de: Portovelo – Zaruma, Bella Rica y San Gerardo, son de tipo mesotermal, epitermal e hidrotermal caracterizándose estos por mineralizaciones de una gran variedad de sulfuros metálicos con asociaciones de minerales de ganga como: cuarzo, calcita, y óxidos producidos por la oxidación de los sulfuros. Además sus relaves poseen un elevado peso específico de 2,5; 2,7 y 2,6 respectivamente. Siendo el oro el principal mineral de interés económico para los mineros artesanales de estos distritos, lo cual operan con molineras poco eficientes, recuperándose este mineral en un tamaño de grano con un d80: 116,4; 71; 68,2 mallas por métodos tradicionales como: amalgamación, cianuración la fase libre que se encuentra dentro del cuarzo y dificultando la recuperación de la fase que se encuentra encapsulada dentro de estructura cristalina de los sulfuros, denominándose a este como oro refractario. El mineral de Portovelo Zaruma presenta menos refractabilidad.

En el análisis químico de muestras para la determinación del contenido de oro, se realizó ensayos de fusión – copelación y lecturas en absorción atómica, en su respectivo orden se determinó la ley de cabeza de Au de estos relaves como son: 1,17; 2,28 y 5,35ppm.

Los ensayos de molienda realizados a diferentes tiempos permitió determinar el tiempo óptimo de molienda para liberar el tamaño de partículas a un d80 de: 180, 200 y 220 mallas, luego se realizó sus respectivos ensayos de flotación mediante un protocolo o esquema establecido que consiste flotar por un periodo de 20 minutos dividido en 4 fracciones con un pH 9,5; obteniéndose mejores rendimientos de flotación en: Portovelo - Zaruma con una recuperación del 83,93% de Au en 197,2mallas; Bella Rica con una optima recuperación de 34,98% de Au en 204,6mallas y San Gerardo con una recuperación 50,04% de Au en 223,4mallas.



## 1.1. ANTECEDENTES

La minería en el Ecuador es considerada como uno de los pilares fundamentales en el futuro de la economía nacional, puesto que posee grandes yacimientos metálicos de suma importancia, entre ellos tenemos dos grandes depósitos ubicados en la provincia de Zamora Chinchipe como es el de Cobre Mirador y Fruta del Norte. Con la explotación de estos yacimientos se pretende dar giro al aporte del PIB con 60%, que actualmente es 1,2% <sup>[23]</sup>. La explotación y aprovechamiento de recursos minerales actualmente está dedicada a la recuperación de oro, plata, que se están dando en los diferentes distritos mineros con una producción total durante el año 2.005 de 5'337.675,07gr/año de oro <sup>[23]</sup> y una cantidad casi similar de plata, de esta cantidad la mayor producción de oro se dan en los sectores mineros ubicados en: El Oro con 4'166.992,93gr/año y en el Azuay, con 432.886,77gr/año, produciendo un total de 4'599.879,7gr/año, la cual representa el 86,17% de la producción de oro en el país, destacando que el porcentaje de producción para la provincia de El Oro es de 78,06% y para el Azuay 8,11%. <sup>[23]</sup>

Los métodos empleados en la recuperación o beneficio de los minerales auríferos aplicados en estos distritos mineros son muy deficientes debido a la falta de conocimientos técnicos, ya que la mayor parte de la población minera se dedica solamente a una minería artesanal, el mismo que representa grandes niveles de contaminación en los tres principales vectores ambientales como: agua, aire, suelo, siendo estos contaminados por el uso inadecuado de reactivos, el mal manejo de relaves y de las aguas provenientes de las minas, siendo así las principales fuentes de contaminación de los efluentes del Río Puyango en Portovelo – Zaruma<sup>[2]</sup>; de los Ríos: Siete, Guanache en Bella Rica; de los Ríos: Tenguel, Chico en San Gerardo.<sup>[13]</sup>

Considerando los niveles de recuperación de minerales auríferos en los diferentes distritos mineros, es aproximadamente el 40% obtenido en la concentración gravimétrica mediante la amalgamación, después de la amalgamación estos relaves son cianurados, la recuperación total oscila entre 60 y 75%, pasando en los relaves el 25 a 40% de ley mineral, por altas concentraciones de mineral refractario que poseen estas menas es difícil llegar al 90 % o 93% de recuperación mineral. <sup>[1]</sup>

La flotación es un método físico-químico que se encuentra dentro del sistema de clasificación sólido-sólido y líquido-líquido, <sup>[16]</sup> además es un proceso de separación de materias de distinto origen que se efectúa a partir de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas, mediante reactivos e inyección de burbujas de aire dentro de una solución acuosa. <sup>[16]</sup>



La granulometría óptima para la recuperación de mineral dentro de los métodos de flotación se considera 200 Mesh, además también dependen de su composición mineralógica.

Los yacimientos minerales de nuestro país, la mayoría son de origen hidrotermal dentro del cual se encuentra los yacimientos de Portovelo – Zaruma, Bella Rica y San Gerardo, que en su composición mineral contienen un 15% de sulfuros,<sup>[7]</sup> siendo estos una área de gran importancia a ser recuperados por procesos de flotación diferencial y selectiva.<sup>[1]</sup>

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

- ★ Determinar el rendimiento de concentrado de flotación de relaves a diferentes granulometrías aplicando un protocolo establecido.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ★ Caracterización de las muestras de minerales.
- ★ Determinar tiempos de molienda.
- ★ Flotar a diferentes granulometrías bajo un protocolo Geobiotics los relaves de los distritos mineros.
- ★ Hacer los balances metalúrgicos y evaluar el rendimiento de concentrados de flotación.



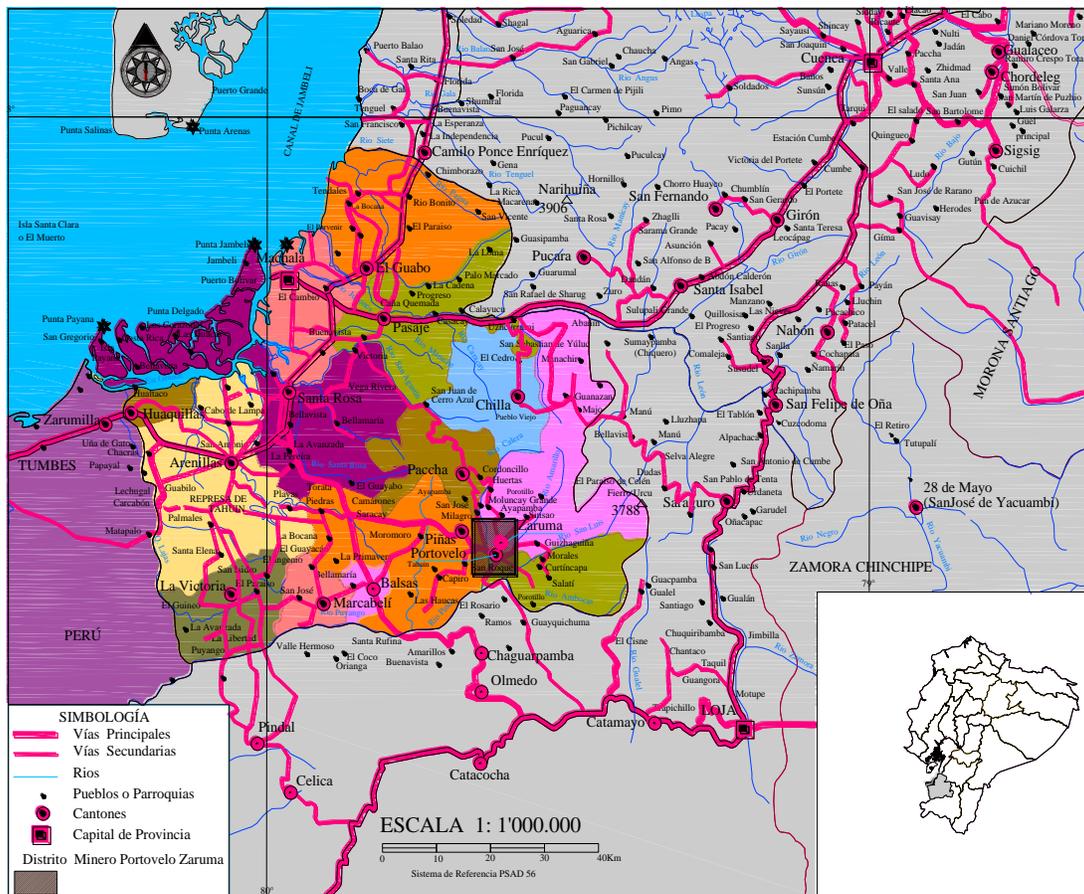
## CAPITULO II

### 2. CARACTERISTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LOS DISTRITOS MINEROS PORTOVELO –ZARUMA, BELLA RICA Y SAN GERARDO

#### 2.1. DISTRITO MINERO PORTOVELO – ZARUMA

##### 2.1.1. UBICACIÓN

El distrito aurífero de Portovelo – Zaruma, está localizado en el cinturón volcánogénico de Mullepungo en el flanco occidental de la Cordillera Real de los Andes, en la provincia de el Oro, en los cantones de Portovelo, Zaruma, Atahualpa, al extremo suroeste del país,<sup>[6-12]</sup> con las siguientes coordenadas UTM (654506, 9589381, 700, msnm). La región mineralizada comprende los yacimientos de Portovelo, Zaruma, Minas Nuevas y Ayapamba, se extiende continuamente 15Km. en sentido N – S, 4Km. en dirección E-W y 1.6Km. en sentido vertical<sup>[14]</sup>. Las plantas de beneficio están ubicadas a lo largo de los ríos Amarillo (El Salado), Calera (El Pache-Puente Buza). (Ver mapa N° 1).



Mapa N° 1: Ubicación del Distrito Minero Portovelo –Zaruma (fuente: digitalizado en base a imagen del IGM).



### **2.1.2. ACCESO**

El acceso al distrito minero Potovelo – Zaruma, se lo puede realizar desde la ciudad de Machala capital provincial del Oro, por una vía de primer orden; Machala-Zaracay-Piñas-Portovelo y desde la provincia de Loja por una vía de segundo orden que une las Chinchas – Zambí-Portovelo, en donde también se puede llegar por vía aérea desde la capital del Ecuador hasta la ciudad de Machala o hasta la ciudad de Loja: mediante las siguientes rutas, Quito-Loja y Quito-Machala, para luego tomar las rutas terrestres antes descritas.

### **2.1.3. CLIMA Y CLIMATOLOGÍA**

El clima en Portovelo-Zaruma es subtropical-semihúmedo, con una temporalidad pronunciada con dos estaciones bien marcadas: Una estación húmeda con fuertes precipitaciones durante los meses de diciembre a mayo y una estación seca en los meses de junio a noviembre. La temperatura oscila con un mínimo de 18 °C a un máximo de 24°C, con un promedio anual de 22 °C. <sup>[3-21]</sup>

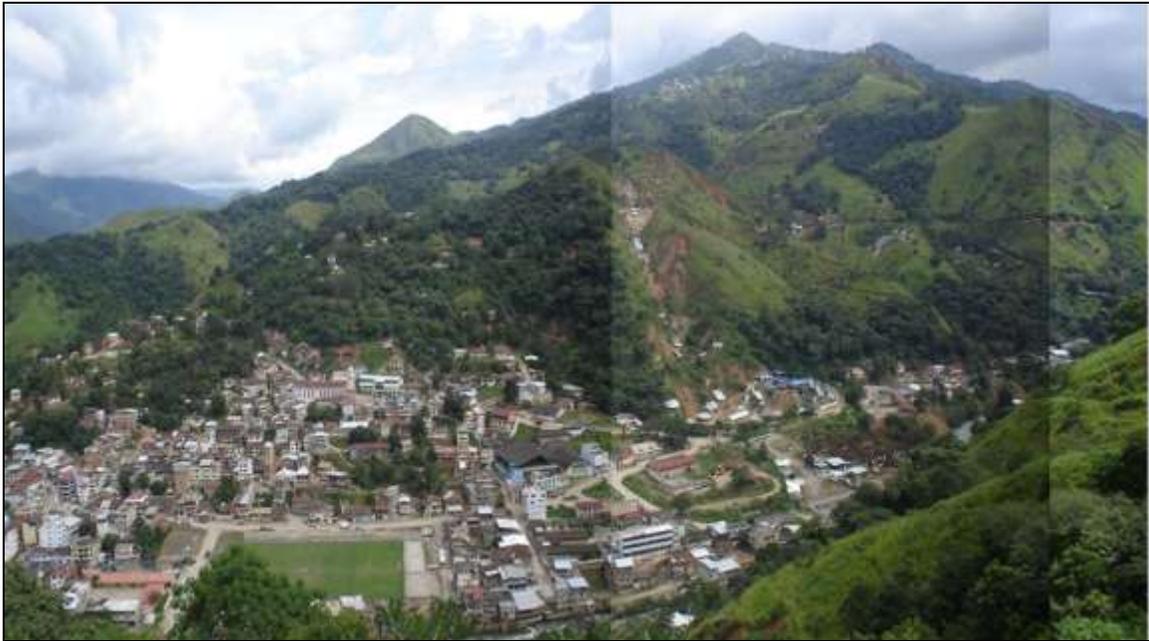
### **2.1.4. VEGETACIÓN**

La vegetación se encuentra relacionada con la geología y topografía, siendo escasa en las áreas de afloramiento de las rocas metamórficas del grupo Tahuin al sur de la zona. Las rocas volcánicas del grupo Célica soportan suelos fértiles que llevan una vegetación más rica. La vegetación en la parte baja (ribera del río) es caracterizada por arbustos y gramíneas que disfrutan de la humedad y fertilidad de la plana aluvial, la vegetación de las laderas está compuesta de pastizales degradados. Los bosques nativos remanentes y los del monte alto son caracterizados por una gran diversidad de especies y sirven como bosques protectores del área. Estos bosques proporcionan refugio a la vida silvestre de alto valor ecológico, pero que se ven cada vez más degradados. <sup>[3-6]</sup>

En la Imagen N° 1 se observan gran cantidad de bosque a lo largo de los riachuelos de un color verde oscuro producto de la abundante materia orgánica asentadas sobre rocas Volcánicas Portovelo.

### **2.1.5. RELIEVE**

El relieve en el sector de Portovelo y Zaruma es accidentado que varían entre los 600 y 1.600 metros sobre el nivel del mar. Hacia el norte de Zaruma asciende bruscamente hasta alcanzar la cordillera de Chilla con 3.500 msnm. <sup>[3-6]</sup> (Ver imagen N° 1).



**Imagen N° 1: Vista panorámica del Distrito Minero Portovelo - Zaruma (Foto: El Autor).**

#### **2.1.6. HIDROGRAFÍA**

La cuenca del río Puyango está formada de sus ríos tributarios; Calera, Amarillo y Pindo, San Luis, que ocupa una gran extensión cuyas fuentes nacen en la cordillera Fierro Urcu y Chilla que se encuentran limitando a las poblaciones de Portovelo-Zaruma. Los tramos inferiores de la cuenca, hidrográfica, primero denominado Río Pindo hasta sector donde cruza la vía panamericana Loja- Machala desde aquí en adelante denominado Río Puyango, se ensancha hacia el suroeste, llega al Perú a 55Km de ambas poblaciones mineras tomando el nombre del Río Tumbes, y alcanza finalmente el mar hacia el oeste. El río es comparativamente ancho con gran volumen de agua durante la época de invierno. <sup>[3-6]</sup>

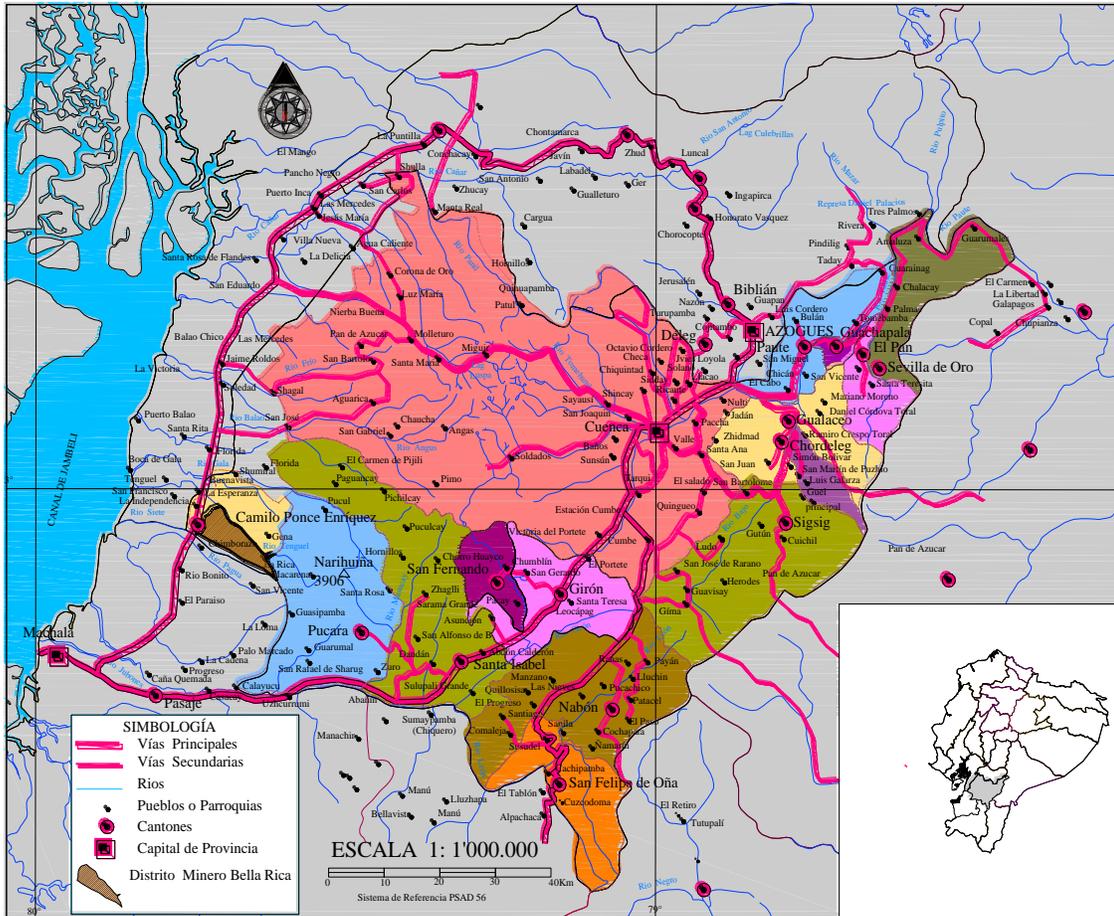
#### **2.1.7. POBLACIÓN DE LA ZONA Y POBLACIÓN MINERA**

Según el VI censo de población y V de vivienda de 2.002 por el INEC, en los cantones de Portovelo existían 11.024 habitantes con una tasa de crecimiento de 0,7% y Zaruma existían 23.407 personas con una tasa de crecimiento de -0,1 respectivamente, lo que suma un total de 40.956 personas. Tomando en cuenta el crecimiento de la población y el saldo positivo de migración, la cifra para el año 2.010 debe acercarse a 60.000 personas. <sup>[22]</sup>

## 2.2. DISTRITO MINERO BELLA RICA

### 2.2.1. UBICACIÓN

El distrito aurífero Bella Rica se encuentra localizado al sur de la Cordillera Occidental, en el Cantón Ponce Enriquez, en el extremo suroccidental de la provincia del Azuay en una montaña limitado por el Río Siete al Sur y el Río Tenguel al norte, a una altura de 300 a 1.300 m.s.n.m. dentro de la formación geológica Macuchi. <sup>[12-20]</sup> (Ver mapa N° 2).



Mapa N° 2: Ubicación del Distrito Minero Bella Rica (Fuente: digitalizado en Base a imagen del IGM).

### 2.2.2. ACCESO

El acceso al distrito Minero Bella Rica, se lo puede realizar mediante vía aérea por la rutas: Quito –Guayaquil, Quito - Machala, para luego tomar la ruta por vía terrestre hasta el Cantón Camilo Ponce Enriquez por la panamericana que une a las ciudades de Guayaquil y Machala. <sup>[20]</sup>



### **2.2.3. CLIMA Y CLIMATOLOGÍA**

El clima del Distrito Minero Bella Rica, es tropical a subtropical húmedo, extendiéndose desde los 300msnm hasta los 1300msnm, en las partes bajas la temperatura es de 23° a 36°C, en las partes altas la temperatura va desde 16° a 20°C, con dos estaciones bien marcada en el año, una estación lluviosa con fuertes precipitaciones durante los meses de diciembre a mayo y una estación seca en los meses de junio a noviembre, la cantidad de precipitaciones van incrementando en sentido oeste a este, por esta razón hay más cantidad de precipitación en Bella Rica que en la ciudad de Guayaquil.<sup>[21]</sup>

### **2.2.4. VEGETACIÓN**

La vegetación está relacionada con la estructura del suelo compuestos por potentes estratos de arcillas lateritas y por la abundante precipitaciones que existe en el lugar se extienden grandes árboles típicos de un bosque tropical y matorrales en las partes más altas de cordillera Bella Rica.<sup>[13]</sup>

### **2.2.5. RELIEVE**

El relieve se caracteriza por ser muy pronunciado en las partes montañosas y cerca de la margen de los ríos tiende a formar valles en U desde unos 200msnm hasta los 1200msnm en la cordillera de Bella Rica.<sup>[13]</sup>

### **2.2.6. HIDROGRAFÍA**

El distrito aurífero de Bella Rica es el atributario de dos cuencas Hidrográficas naciendo de esta cordillera los efluentes como Estero Guanache, Río Nueve de Octubre y Río Fermín que desembocan en el Km 15 del Río Siete en el sur, este Río tiene 30 km de longitud y desemboca en el estrecho de Jambeli, siendo el principal portador de las aguas residuales de la Población de Ponce Enriquez y del área minera de Bella Rica.<sup>[13-20]</sup>

Los efluentes que se van a la parte noroccidental que desembocan en el Río Tenguel corresponde a la Quebrada Caña Quemada que arrastra las aguas de las operaciones mineras de Muyuyacu y Veinticuatro de Enero. Además este río es el menos contaminado con respecto a los Ríos: Chico, Siete y Guanache; sus aguas corren paralelamente con estos hasta desembocar en el estrecho de Jambelí.<sup>[13-20]</sup>

### **2.2.7. POBLACIÓN DE LA ZONA Y POBLACIÓN MINERA**

La población de Bella Rica está caracterizada por ser personas activas dentro de la producción minera, de acuerdo a las estadísticas mineras realizadas por la DINAMI en el



año 2.005, existían 1.269 personas que trabajan dentro de esta actividad sumado las cargas familiares más las personas que habitan y se dedican a otras actividades como el comercio y servicios extras, dan un total de 2.000 personas. <sup>[22]</sup>

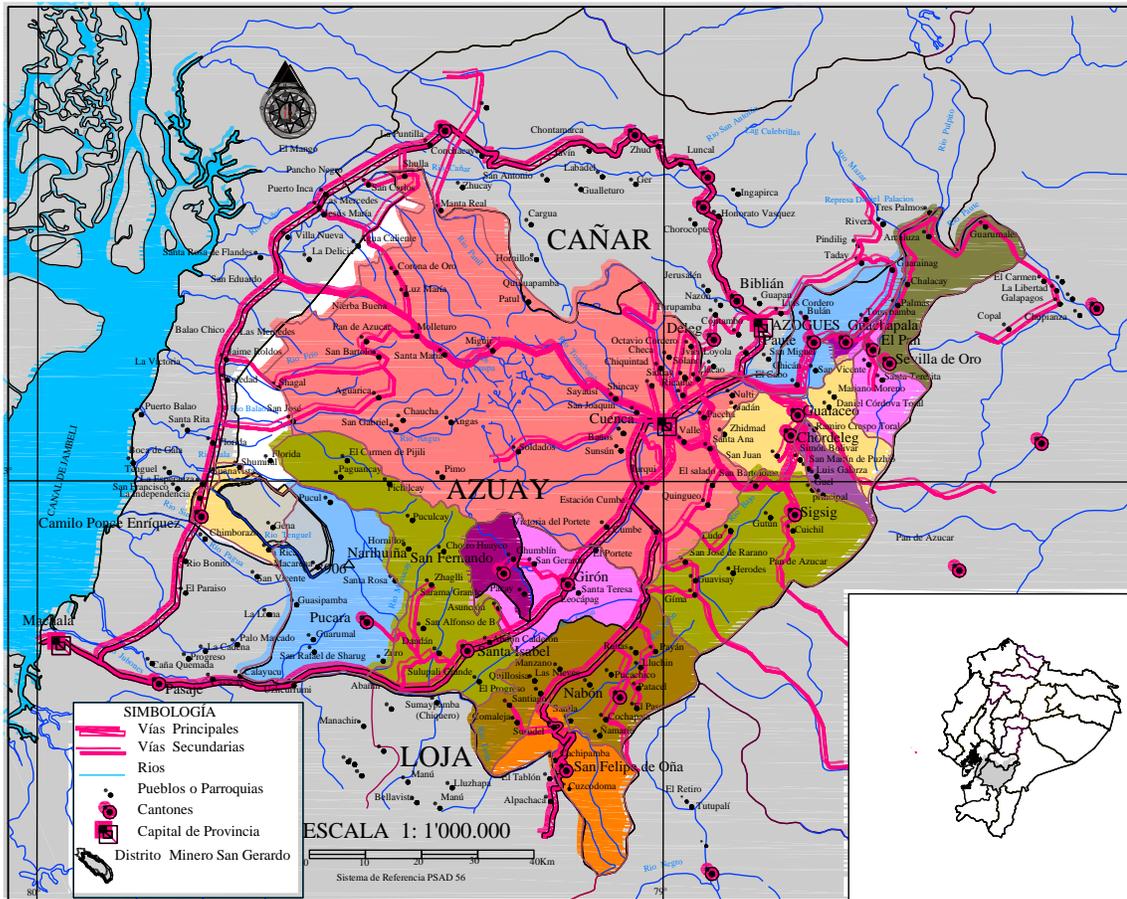


Imagen N° 2: Vista Panorámica de la Población de Bella Rica (Foto: El Autor).

## 2.3. DISTRITO MINERO SAN GERARDO

### 2.3.1. UBICACIÓN

El distrito aurífero de San Gerardo se encuentra localizado en la Cordillera Occidental, en la parte Suroccidental de la Provincia del Azuay, en el cantón Pucara y Camilo Ponce Enríquez, se encuentra limitado al Sur por la falla del Río Tenguel, al Norte por la falla del Río Chico, la mayor cantidad de plantas de tratamiento de minerales están ubicadas a lo largo de los efluentes del Río Chico. <sup>[12-20]</sup> (Ver mapa N° 3).



Mapa N° 3: Ubicación del Distrito Minero San Gerardo (Fuente: Digitalizado en base Imagen del IGM).

### 2.3.2. ACCESO

El acceso al distrito aurífero San Gerardo, se lo puede realizar desde la ciudad de Quito por vía aérea mediante las siguientes rutas; Quito - Guayaquil, Quito - Machala, después se realiza mediante transporte terrestre hasta la entrada a la Parroquia de Shumiral por una vía panamericana que une a las ciudades de Machala y Guayaquil. [20]

### 2.3.3. CLIMA Y CLIMATOLOGÍA

El clima en el distrito de San Gerardo es tropical a subtropical húmedo, extendiéndose desde los 300 hasta los 2.500m.s.n.m. en las partes bajas con una temperatura de 23° a 36°C, en las partes altas con una temperatura entre 14° a 20°C, con dos estaciones bien marcada en el año, una estación lluviosa con fuertes precipitaciones durante los meses de diciembre a mayo y una estación seca en los meses de junio a noviembre, la cantidad de



precipitaciones van incrementando en sentido Oeste a Este, por esta razón hay más cantidad de precipitación en San Gerardo que en la ciudad de Guayaquil. <sup>[13]</sup>

#### **2.3.4. VEGETACIÓN**

La vegetación está relacionada con la estructura del suelo, compuestos de potentes estratos de arcillas lateritas y por la abundante precipitaciones que existe en el lugar se extienden grandes árboles típicos de un bosque tropical, arbustos y en las partes más altas de cordillera Occidental matorrales. <sup>[13]</sup> (Ver Imagen N° 3).

#### **2.3.5. RELIEVE**

El relieve en se caracteriza por ser muy pronunciado en las partes montañosas y cerca de la margen de los ríos tiende a formar valles en V, se extiende 100 hasta los 2.500m.s.n.m. en la Cordillera Occidental. <sup>[13-20]</sup> (Ver Imagen N° 3).

#### **2.3.6. HIDROGRAFÍA**

El distrito aurífero de San Gerardo es el atributario de dos Cuencas Hidrográficas naciendo de esta cordillera los afluentes como los Esteros Guagua Coca y Cadial que desembocan al Sur, en el Río Tenguel desemboca en el estrecho de Jambeli. Los efluentes que se van a la parte Noroccidental desembocan en el Río Chico es la quebrada: Las Paralelas que arrastra las aguas de las operaciones mineras de San Gerardo, San Antonio, La Fortuna, luego con más atributarios forma el Río Chico y luego desemboca en el Río Gala, sus aguas hasta desembocar en el estrecho de Jambelí. <sup>[13-20]</sup>

#### **2.3.7. POBLACIÓN DE LA ZONA Y POBLACIÓN MINERA**

La población del distrito minero San Gerardo está caracterizada por ser personas activas dentro de la producción minera, de acuerdo a las estadísticas mineras realizadas por la DINAMI en el año 2.005, existen 381 personas que trabajan dentro de esta actividad sumado las cargas familiares más las personas que habitan y se dedican otras actividades como el comercio y servicios extras dan un total de 1.000 personas. <sup>[22]</sup>



**Imagen N° 3: Vista panorámica del sector la Fortuna parte baja del distrito minero San Gerardo (Foto: El Autor).**



## CAPITULO III

### 3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

Según los estudios realizados por **PRODEMINCA**,<sup>[12]</sup> los distritos mineros; Bella Rica, San Gerardo en conjunto con otras áreas por su similitud y periodo de evolución son agrupados en un solo cuerpo mineralizado (aurífero) denominado *Distrito del Azuay*, ocupa la parte occidental de la provincia del Azuay, mientras que el distrito minero de Portovelo – Zaruma se encuentra en la prolongación Noroeste de la provincial del Oro; situada en la parte Suroccidental que ocupa parte de la cordillera Real y de la cordillera Occidental.<sup>[12]</sup>

La evolución geocronológica de los distritos Portovelo – Zaruma, Bella Rica y San Gerardo empieza desde el Paleozoico – Triásico del Cratón de Guyana (Escudo Brasileño), pertenecientes a una parte de los terrenos: Loja, Alao, Chaucha y Pallatanga, que han sido acrecionados durante el Cretácico, los sistemas de fallas están controlando la evolución geológica y la vez están limitando a los diferentes terrenos, durante el Cenozoico estuvo dominada por magmatismo calco – alcalina y sedimentación, ocupando un 80% de los afloramientos.<sup>[12]</sup> (Ver mapa N° 4).

#### 3.1.1. PRE-GRUPO-SARAGURO

El terreno Chaucha está constituido de rocas metamórficas de edad Paleozoica –Cretácico, con el predominio de metasedimentos siliciclásticos, como: filita, pizarras, psamitas y conglomerados, también se encuentran facies metamórficas de grado bajo a muy bajo como: esquistos verdes bajos a sub-esquistos verdes, facies metamórficas más altas como: esquistos biotíticos, ortogneises con granate y esquistos azules, estas últimas están intercaladas y yuxtapuestas con estas rocas de grado bajo. Está limitado por el Sistema de fallas Bulubulú por el Noroeste y la zona de falla de Girón en el Sureste, constituyendo el basamento en la mayor parte del área, sólo está expuesto en ventanas falladas a lo largo del sistema de fallas Bulubulu y como enclaves de techo dentro de y en los márgenes del Batolito Chaucha, además es considerado como un prisma de acreción pegado al arco de la cordillera Real durante el Cretácico Inferior.<sup>[5-12]</sup>

El terreno Pallatanga está constituida por la Unidad Pallatanga, la cual conforma un segmento de corteza oceánica de edad pre-Senoniense, tiene una asociación ofiolítica dominada por una gruesa secuencia de basaltos masivos y almohadillados con hialoclastitas, intercalaciones de cherts, e intrusiones gabroicas y ultrabásicas. Las lavas basálticas muestran alteración hidrotermal penetrativa suave. En el área de Molleturo, los



basaltos de Pallatanga están fallados contra y tectónicamente intercalados con sedimentos de la Unidad Yunguilla, en el NW del distrito

El Grupo Angamarca, está formado por un relleno de cuenca siliciclástico de edad Paleocena-Eocena, que engrosa su tamaño de grano hacia el techo, de areniscas, siltitas y argilitas turbidíticas con intercalaciones de tobas intermedias, se encuentran aflorando en la esquina NW del Distrito Azuay, limitado por fallas entre la Unidad Pallatanga y la Unidad Macuchi al NW. <sup>[5-12]</sup>

El Terreno Alao comprende una secuencia de arco de isla oceánico Jurásica de basaltos masivos, andesitas basálticas y rocas verdes con intercalaciones de esquistos verdes esquistos grafiticos, esquistos pelíticos, cuarcitas y mármoles situado entre las zonas de falla de Girón y Baños, ubicado en la parte Este del Terreno Chaucha. <sup>[5-12]</sup>

El Terreno Loja, situado al E de la Zona de Falla de Baños y la Falla de Catamayo, comprende las rocas metasedimentarias semipelíticas Paleozoicas de procedencia continental de las Unidades Chiguinda y Agoyán en las que se ha emplazado el granito de tipo-S de Tres Lagunas. <sup>[5-12]</sup>

### **3.1.2. GRUPO SARAGURO**

El Grupo Saraguro, ocupa un 60% del Distrito Azuay con un ambiente deposicional subaereo aunque aparecen secuencias subacuáticas localmente, tiene una potencia de 3km de espesor que, en general, yace plana o ondula suavemente, formada por tobas andesíticas a riolíticas y lavas con rocas sedimentarias subordinadas, de edad Eoceno tardío a Mioceno Medio, comprende dos divisiones mayores: una secuencia inferior predominantemente andesítica-dacítica de edad Eoceno tardío a Oligoceno tardío y otra superior del Oligoceno tardío al Mioceno medio de tobas de flujo de cenizas riolíticas. <sup>[5-12]</sup>

### **3.1.3. GRUPO POST SARAGURO**

La Formación Santa Isabel de edad Mioceno Temprano (**MioSI**), está constituido por lavas y brechas tobáceas andesíticas con vetas de calcita su espesor varia de 400m en el Rio Rircay a 100m. Se encuentra situada en el área de Santa Isabel y Girón, bordeando y localmente interdigitando al Grupo Ayancay. <sup>[5-12]</sup>

### **3.1.4. ESTRUCTURAS**

Dentro del Distrito Azuay hay tres órdenes de fallas:

- Estructuras regionales de rumbo andino que representan límites de terrenos litotectónicos mayores y son el principal control de los patrones magmáticos, metalogenéticos y sedimentarios. <sup>[5-12]</sup>

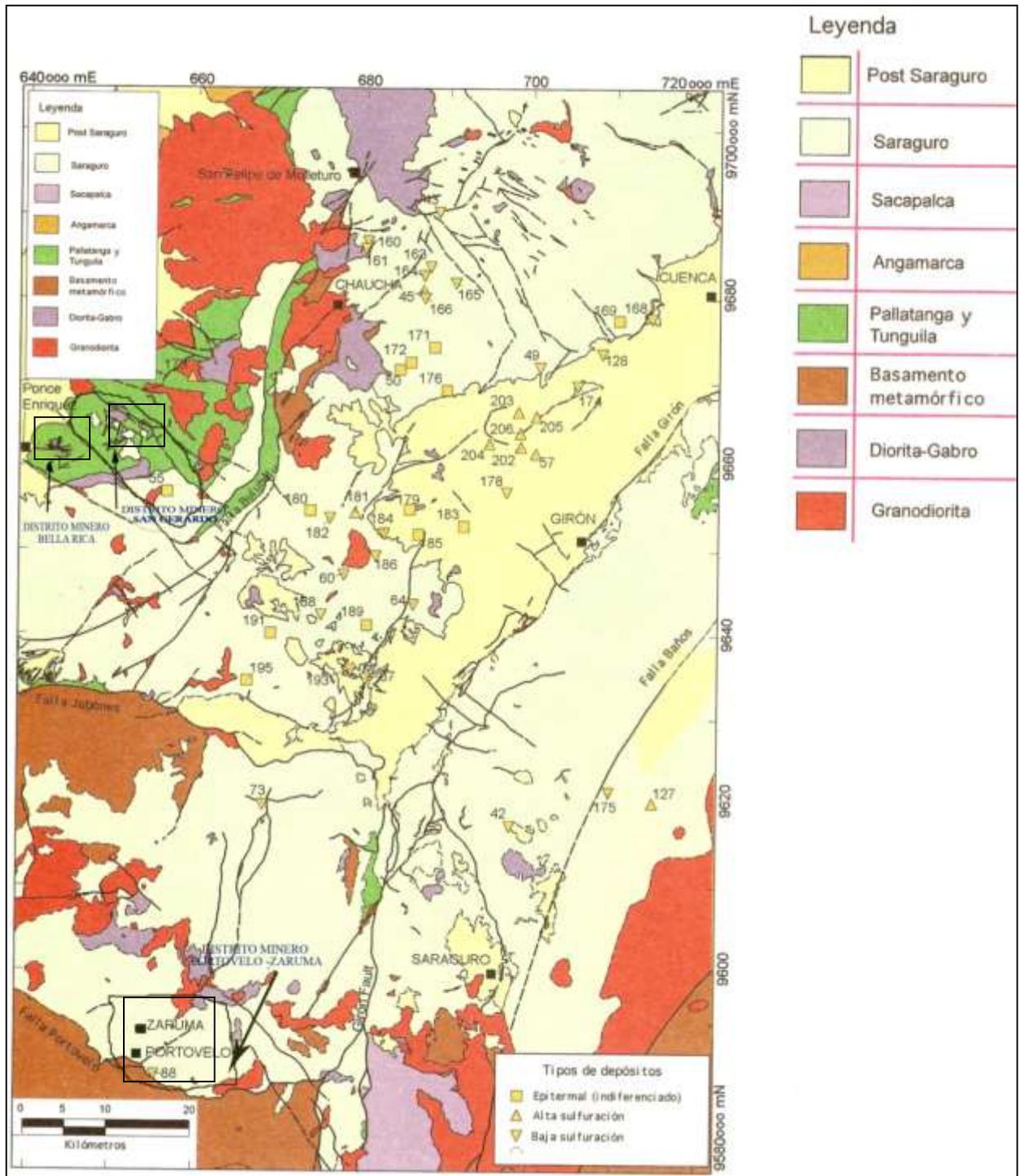


- Fallas transversales mayores de rumbos E- W y NW-SE que subdividen lo terrenos en bloques caracterizados por diferentes niveles de erosión y por tanto determinan en gran medida la conservación de los sistemas mineralizantes.<sup>[12]</sup>
- Estructuras subordinadas N-S, NE-SW y NNW-SSE que frecuentemente controlan la situación y/o alojan la mineralización.<sup>[12]</sup>
- El Sistema de Fallas Piñas-Portovelo yuxtapone los estratos descendidos de Saraguro en el N con el Complejo Metamórfico de El Oro. Pratt et al. (1997) ha estimado un desplazamiento vertical de al menos 3km entre Piñas y Zaruma.<sup>[12]</sup>
- La Falla de Río Chico, en el campo minero de San Gerardo, está rellena de serpentinita, y es interpretada como un cabalgamiento inicial vergente al NE que localizó posteriores movimientos subverticales senestrales en dirección extensión.<sup>[12]</sup>

### 3.1.5. MINERALIZACIÓN

Las ocurrencias minerales dentro de los distrito mineros de Portovelo-Zaruma, Bella Rica, San Gerardo están relacionadas directamente con la actividad magmática y/o las fallas.

- Mineralización de estilo pórfido de Cu +/- Mo +/- Au. Ej. Gaby-Papa Grande, Chaucha y Fierro Urcu.
- Chimeneas de brechas mesotermales ricas en turmalina relacionadas con intrusiones y diques; asociados con los márgenes de terrenos y falla crustales profundas. Ej. Cinturón Tres Chorreras-La Playa y Mina Peggy.<sup>[12]</sup>
- Vetas epi-mesotermales auríferas relacionadas con intrusiones y depósitos de brechas. Muestran evidencias de estilos transicionales o superimposición de mineralización epitermal y mesotermal. Ej. las áreas mineras históricamente importantes de Zaruma-Portovelo y Bella Rica.<sup>[12]</sup>



Mapa N° 4: Geología Regional del Distrito Minero del Azuay (Fuente: Modificado en base mapa geológico de Prodemínca “fig 2.2 pag 51 Tomo I”).



## **3.2. GEOLOGÍA LOCAL DE LOS DISTRITOS MINEROS**

### **3.2.1. GEOLOGÍA LOCAL DEL DISTRITO MINERO PORTOVELO ZARUMA**

#### **3.2.1.1. Litología Encajante**

Lavas basalto-andesíticas, andesíticas, tobas andesíticas y dacíticas.<sup>[12]</sup>

#### **3.2.1.2. Edad de la Mineralización.- Terciario Tardío (15 Ma).<sup>[5-12]</sup>**

#### **3.2.1.3. Entorno Geológico**

Una secuencia volcánica calco-alcalino dominado por andesitas (Unidad Portovelo) que forma una parte del Grupo Saraguro dominado por tobas dacíticas a riolíticas de edad Terciario Medio (Oligoceno) e intruido por stocks subvolcanicos de riolita y cuerpos de granodiorita de edad Oligoceno Tardío a Mioceno Temprano.<sup>[12]</sup> (Ver mapa N° 5).

#### **3.2.1.4. Marco Tectónico**

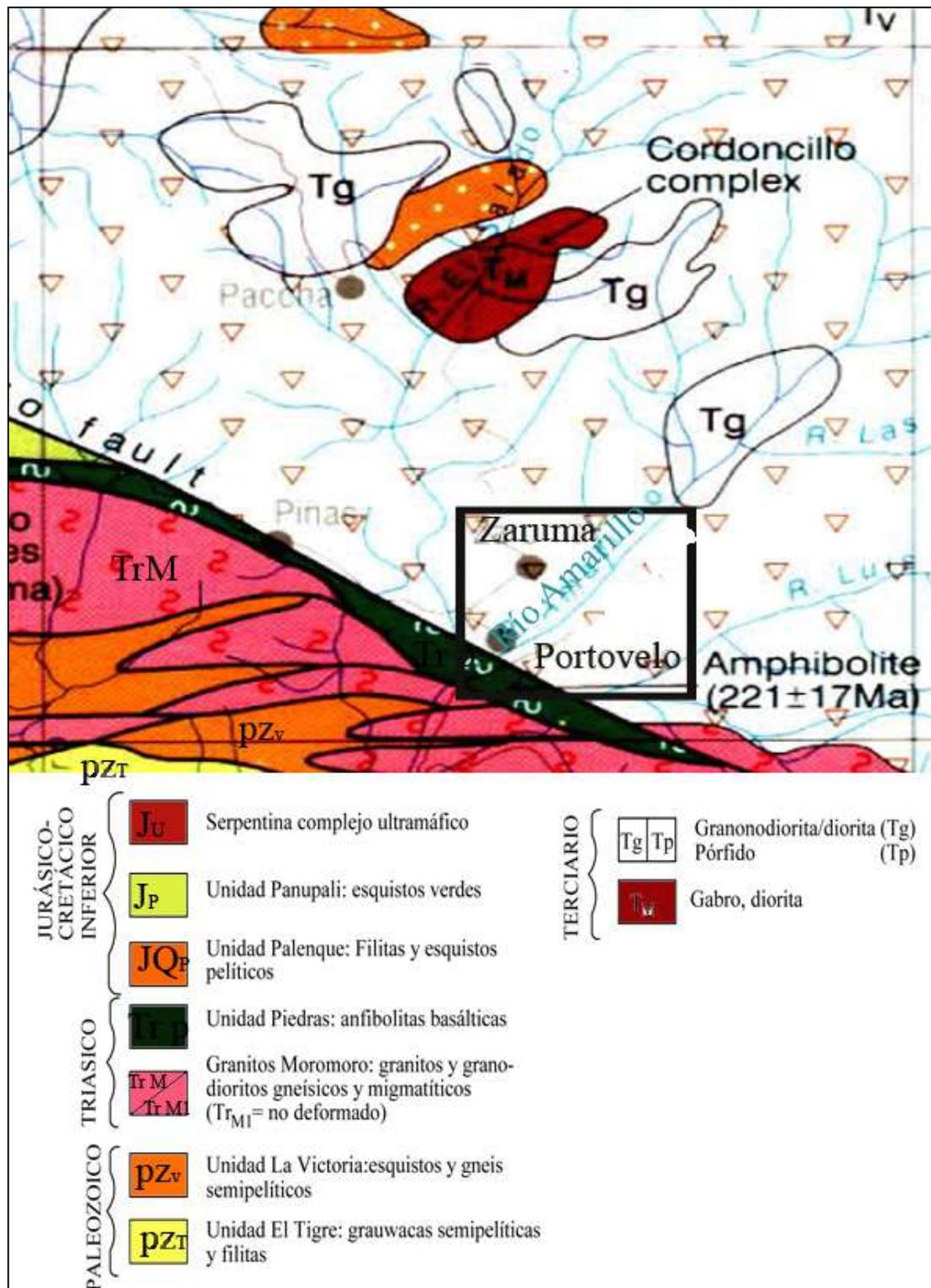
Terreno volcánico calco-alcalino subyacente por corteza continental. Este basamento pre-Mesozoico llamado el Complejo Metamórfico El Oro está expuesto al sur de la falla Piñas - Portovelo y dentro de ventanas en el Grupo Saraguro. El sistema Zaruma-Portovelo está delimitado al Norte y Sur por dos fallas principales de rumbo NW (fallas Piñas y Puente Busa-Palestina).<sup>[12]</sup>

Estas fallas muestran movimiento dextral-normal. Hay un juego conjugado de fallas de rumbo NE con desplazamiento lateral-izquierdo. También ha sido reportado una serie de estructuras subcirculares concéntricas relacionado con un centro volcánico. La mineralización está alojada en estructuras de rumbo N-S.<sup>[12]</sup>

#### **3.2.1.5. Mineralización**

Sistemas de vetas mineralizados que extiende continuamente por más de 15km N-S con una anchura máxima de 4km. y extensión vertical de 1.4km; la potencia de las vetas principales varía entre 0.2 y 2.7 metros con un promedio de 1.3 metros.<sup>[12-]</sup>

La mayoría de vetas toman un rumbo N-S con buzamientos de 40-90° al Este pero localmente pasa al NW-SE. Los sistemas de vetas están cortados por fallas transversales con rumbo NE y desplazados por fallas normales con buzamiento de bajo ángulo hacia el Oeste.<sup>[12]</sup>



Mapa N° 5: Geología del Distrito Minero Portovelo – Zaruma a Escala 1:1'000.000 ( Fuente: Mapa Geológico del Ecuador 1994).



### **3.2.1.6. Textura/ Estructura**

Mineralización de veta muestra características típicas de relleno de fisuras abiertas (estructuras de peine, colloformes, textura de cinta y drusas) y refleja ciclos de deposición respetivos.

Hay dos fases principales de mineralización superpuestas: mesotermal (rico en metales bases) y epitermal (rico en metales preciosas). Localmente las vetas epitermales tiene fragmentos de asociación mineralógica mesotermal. <sup>[12]</sup>

## **3.2.2. GEOLOGÍA LOCAL DEL DISTRITO MINERO BELLA RICA**

### **3.2.2.1. Litología encajante**

La litología está constituida por basaltos toleíticos lávicos masivos y almohadillas, hialoclastitas de composición andesítica – basáltica e intrusiones básicos subvolcánicas contemporáneas. <sup>[12]</sup> (Ver mapa N° 6).

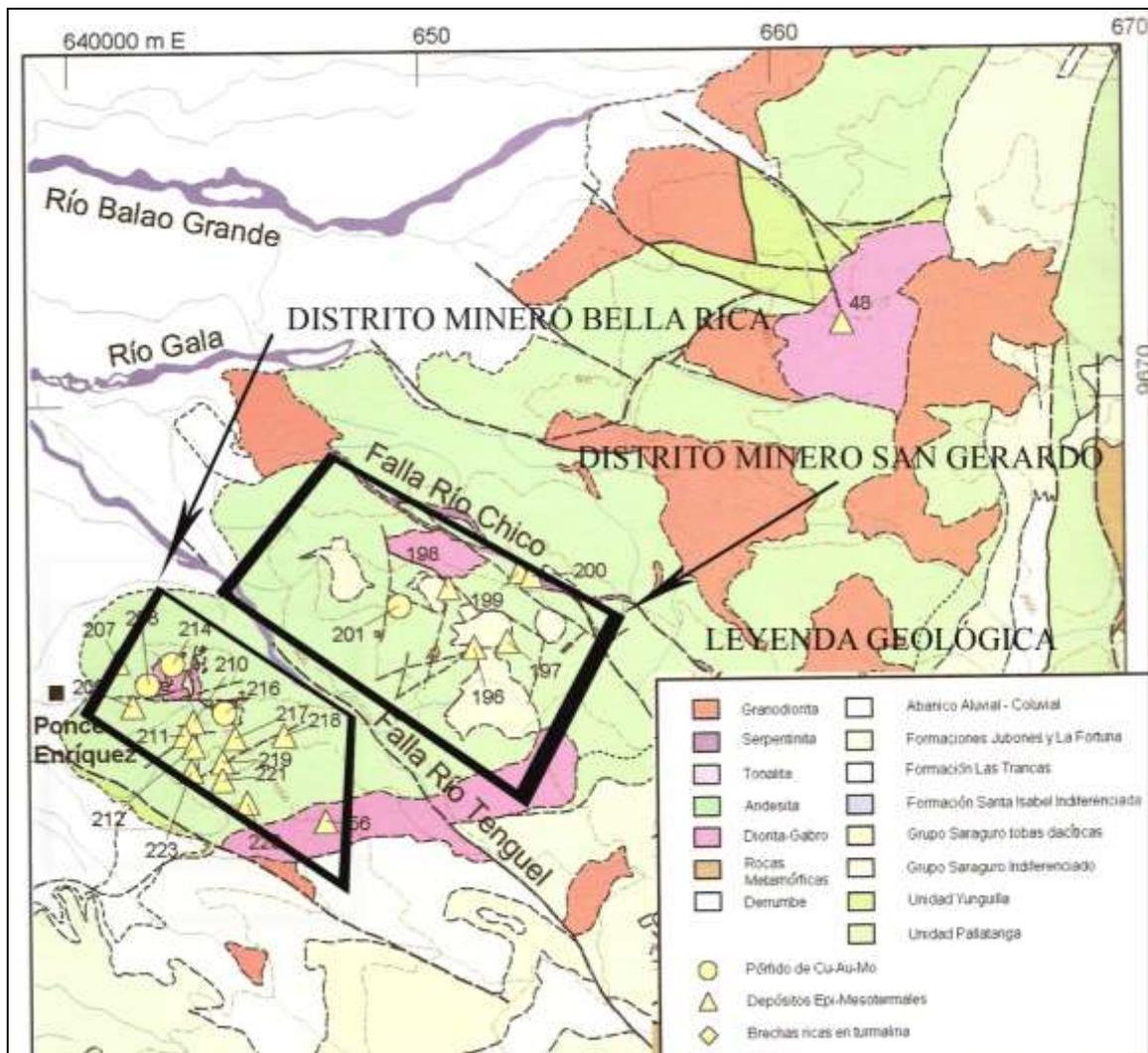
### **3.2.2.2. Edad de la mineralización.- Terciario Tardío?**

### **3.2.2.3. Entorno Geológico**

Una secuencia basáltica (Basaltos de Bella Rica) de la Unidad Pallatanga de edad Cretacico Medio-temprano y espesor de más de 1km. intruido por varios cuerpos de cuarzo-diorita a microtonalita porfídica (ej. Gaby, Guadalupe, Papa Grande) de edad Terciario Tardío, hacia el este esta Unidad está cubierta discordantemente por volcanitas calco-alcalinas subaereas del Grupo Saraguro de edad Terciario Media-tardío. <sup>[12]</sup>

### **3.2.2.4. Marco Tectónico**

Terreno oceánico fragmentado por sobrecorrimientos de bajo ángulo con buzamiento SSW, fallas de rumbo NW-SE (Río Tenguel, Rio Margarita) los cuales delimitan el Distrito Minero Bella Rica componente de movimiento dextral pre-cenozoico y senestral durante el Cenozoico), E-W y NE-SW (movimiento normal-senestral) que separa dominios de diferente niveles estructurales, NNE-SSW a lo largo de la cual se han emplazado diques de pórfido y de N-S a NNW-SSE con movimiento normal-dextral los cuales forman el sistema de vetas. <sup>[12]</sup>



**Mapa N° 6:** Geología local del Distrito Minero Bella Rica y San Gerardo (Fuente: mapa modificado en base a la figura 4.1 pag. 102 Tomo IV de Prodeminca)

### 3.2.2.5. Mineralización

Sistema de vetas mineralizadas de rumbo NNW y buzamiento hacia el Este ( $28-82^\circ$ ) que se extiende 3km. y alcanza una máxima anchura de 1.3km. <sup>[12]</sup>

La mayoría de vetas tienen un dirección N-S y son verticales o subverticales pero pueden variar hasta WNW-ESE con inclinaciones bajas a moderadas y muestran inflexiones abiertas en forma de Z. <sup>[12]</sup>



En el bloque al norte de la falla del Río Guanache (E-W) lo cual muestra un nivel mas erosionado y profundo las vetas son relativamente escasas y localizadas a lo largo de los contactos. <sup>[12]</sup>

### **3.2.2.6. Textura/ Estructura**

Los sistemas de vetas mineralizadas se anastomosan, forman abanicos imbricadas (colas de caballo) y localmente dúplexes extensionales de escala métrica a decamétrica. Las vetas muestran estructuras de cinta con lentes de sulfuro masivo y reemplazamientos de inclusiones y ventanas de la roca encajante. Son vetas complejas de multietapa con deslizamiento y brechificación intermineral y recristalización. Hay rellenos de fisuras dilatados y ejemplos de coliformes, cavidades drusiformes y texturas de peine principalmente en las fases tardías. Rellenos e impregnaciones las (diseminaciones y reemplazamientos totales) de las matrices de la brechas hidrotermales, “Stockworks” de fracturas y vetillas finas de pirita asociado con las vetas y brechas en la vecinidad de los porfíidos. <sup>[12]</sup>

## **3.2.3. GEOLOGÍA LOCAL DEL DISTRITO MINERO SAN GERARDO**

### **3.2.3.1. Litología Encajante**

Basaltos toleíticos lávicas, masivos y almohadillados, hialoclastitas, volcanoclastitas de composición andesítica-basáltica y cherts y a un nivel más alto volcanitas andesíticas-dácíticas (tobas y brechas) y complejos riodacíticas de lavas, tobas, brechas y intrusiones subvolcánicos. <sup>[12]</sup> (Ver mapa N° 7).

### **3.2.3.2. Edad de la Mineralización.- Terciario Tardío.**

### **3.2.3.3. Entorno Geológico**

Una secuencia basáltica (Basaltos de Bella Rica) con cuerpos de gabro y serpentinita contemporánea de la Unidad Pallatanga de edad Cretácico Medio-temprano. Complejos extrusivo-intrusivo riodacítico y volcanoclasticos andesíticos-dácitos con sedimentos siliclasticos incluyendo brecha conglomerados (riodacítas retrabajados) superyacentes forman relictos exteriores del Grupo Saraguro (edad Terciario Medio-tardío) en las partes más altas. <sup>[5-12]</sup>

### **3.2.3.4. Marco Tectónico**

Terreno ofiolítico superpuesto con magmatismo calco-alcalino entre las fallas de Río Tenguel y Río Chico con rumbo NW. Sector caracterizado por amontonado tectónico por sobrecorrimientos y fallas inversas con buzamiento SW. Fallamiento conjugado (NE-SW y NW-SE) con movimiento tanto normal como inversa dentro los bloques de



sobrecorrimiento. Algunas rampas de sobrecorrimiento están localizadas a lo largo de contactos con cuerpos de riodacita. Fracturas de la segunda orden relacionada con las rampas buzanan NE y SW. <sup>[12]</sup>

### **3.2.3.5. Mineralización**

Varios sistemas de vetas mineralizados:

Sector El Encanto: vetas de rumbo dominante NW-SE y buzamiento al Noreste (10-48°).

Sector Tres Cruces/Qda. Las Minas: vetas de rumbo ENE y buzamiento al SSE (18-46°).

Sector Las Paralelas: vetas de rumbo NNW con buzamiento al ENE (36°) localmente pasa al NW.

Sector La Fortuna: vetas de los rumbos NNW-SSE con buzamientos al WNW (40-85°), NW-SE hasta WNW-ESE con buzamientos cada lado de (10-60°) <sup>[12]</sup>

### **3.2.3.6. Textura Estructura**

Hay dos estilos de mineralización de veta: (i) vetas tensionales planas, y (ii) vetas dilatacionales de falla ('crack-seal'). Vetas de falla tienen zonas de deslizamiento y brechificación. Las estructuras mineralizadas comúnmente tienen dos o más vetas paralelas que muestra textura de cinta multi-etapa y una forma lenticular ('pinch & swell'). Estructuras incluyen dúplexes, espuelas, juegos anastomizados y colas de caballo. "Stockworks" de vetillas finas han desarrollado dentro (entre las vetas principales) y próximo a las zonas mineralizadas. Sulfuros reemplazan las películas/pantallas de roca intraveta y también en la forma de diseminaciones finas asociado con los "stockworks", hay mucho desplazamiento de vetas por fallas post-mineral paralelo y oblicua a las zonas mineralizadas. <sup>[12]</sup>





## CAPITULO IV

### 4. PRINCIPIOS FÍSICOS QUÍMICOS DE LA FLOTACIÓN

#### 4.1. DEFINICIÓN

La flotación es un método físico químico, que se encuentra dentro del sistema de clasificación sólido-sólido y líquido-líquido,<sup>[16]</sup> es un proceso de separación de materias de distinto origen que se efectúa a partir de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas, mediante reactivos e inyección de burbujas de aire dentro de una solución acuosa.<sup>[9]</sup>

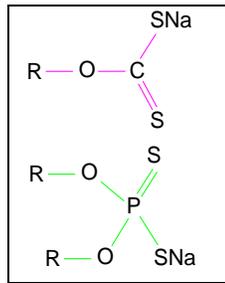
La flotación se realiza en una cámara abierta en la parte superior y provista de agitación, mediante la inyección de aire que permite la creación y dispersión de burbujas finas de aire a través de la suspensión agitada para formar una espuma que se eleva a la parte superior de la cámara (celda). Las partículas que se humectan fácilmente con agua (hidrofílicas) tienden a permanecer en la suspensión de agua, y las que no lo hacen (hidrofóbicas) tienden a recolectarse en la entrecara burbuja aire-agua y se elevan a la superficie, unidas a las burbujas de aire. Por consiguiente, las diferencias en las propiedades químicas de superficie fuertes y que se han roto tienden a ser no polares y no se pueden humedecer fácilmente. Las sustancias como por ejemplo el grafito y el talco son ejemplos de sólidos que se pueden romper fácilmente a lo largo de los planos de las placas con uniones químicas fuertes; naturalmente, estos sólidos son flotables.<sup>[16]</sup>

#### 4.2. REACTIVOS DE FLOTACIÓN

Los reactivos de flotación son sustancias orgánicas que promueven, intensifican y modifican las condiciones óptimas del mecanismo físico-químico del proceso.<sup>[16]</sup>

##### 4.2.1. Promotores o colectores

Estos reactivos proporcionan a los minerales que van a flotar un recubrimiento repelente al agua y ávido de aire, que se adhiere a una burbuja de aire. Los colectores típicos para la flotación de sulfuros metálicos y metales nativos son los xantatos y los ditiofosfatos.<sup>[16]</sup>



**Gráfico N°1. Estructura básica de un Ditioposfato (Fuente: Perry).**

Donde R es un grupo alquílico de dos a seis átomos de carbono. El colector ionizado se absorbe en una superficie de un mineral de sulfuro con enlace a través de los átomos de Azufre. El grupo alquílico proporciona el recubrimiento repelente al agua. En general, se utilizan cantidades del orden de  $(0.05 \text{ a } 1.0) \times 10^{-4}$  kg reactivo/ kg mineral (0.01 a 0.2 libras de reactivo/ tonelada de mineral).<sup>[16]</sup>

Se utilizan ácidos grasos crudos o refinados y sus jabones, sulfonatos de petróleo y ácidos grasos sulfonatados como colectores en la flotación de espatoflúo, roca fosfórica, mineral de hierro y otros materiales no metálicos. En esas operaciones, las dosificaciones de los reactivos son mucho más altas, del orden de  $(1.0 \text{ a } 10.0) \times 10^{-4}$  kg de reactivo / kg de mineral (0.2 a 2lb / ton de mineral).<sup>[16]</sup>

Se utilizan mucho los colectores catiónicos, como aminas grasas y sales de aminas, para la flotación de cuarzo, potasa y minerales de silicatos, en cantidades de  $(0.5 \text{ a } 5) \times 10^{-4}$  kg/kg (0.1 a 1.0 lb /ton).<sup>[16]</sup>

El combustóleo y el queroseno se emplean como colectores para carbón, grafito, azufre y molibdenita, puesto que los adsorben con facilidad esos materiales naturalmente hidrofóbicos. De hecho, con frecuencia se pueden utilizar un espumador para la flotación de esos minerales. Esos hidrocarburos se emplean también como expansores o diluyentes en la flotación de materiales no metálicos, con sulfonatos, ácidos grasos y aminas grasas.<sup>[16]</sup>

#### **4.2.2. Espumadores**

Los espumadores que se utilizan con frecuencia son el aceite de pino, el ácido cresílico, el éter de polipropilén glicol y alcoholes alifáticos de 5 a 8 carbonos, como metilisobutilcarbinol y alcohol metilamílico. Las cantidades de espumadores que se requieren suelen ser de  $(0.05 \text{ a } 1.0) \times 10^{-4}$  kg/kg (0.01 a 0.2lb/ton).<sup>[16]</sup>



### 4.2.3. Modificadores de medio

Los modificadores de la flotación incluyen varias clases de productos químicos, a saber:

- **Activadores:** Se utilizan para lograr que la superficie de un mineral se preste al recubrimiento con el colector; se utiliza el ión de cobre para activar a la esfalerita (ZnS), haciendo que su superficie sea capaz de absorber un xantato o un colector de ditiofosfato. Se emplea sulfuro de sodio para recubrir minerales oxidados de cobre y plomo, para que floten mediante un colector de mineral de sulfuro. <sup>[16]</sup>
- **Reguladores:** de la alcalinidad se emplean reguladores como cal sosa cáustica, cenizas de sosa y ácido sulfúrico para controlar y ajustar el pH, que es un factor importante en muchas separaciones por flotación. <sup>[16]</sup>
- **Depresivos:** Los reactivos depresivos ayudan en la selectividad (la precisión de la separación) o impiden que floten minerales que no se desean. Son característicos el cianuro de sodio o de calcio para deprimir a la pirita (FeS<sub>2</sub>) mientras que se hacen flotar la galena (PbS), la esfalerita (ZnS) o los sulfuros de cobre y el sulfato de zinc para deprimir ZnS, y flotar el PbS; el ferrocianuro de sodio para deprimir sulfuros de cobre, mientras flota la molibdenita (MoS<sub>2</sub>); cal para deprimir pirita; silicato de sodio para deprimir cuarzo; quebracho (tanino o ácido tánico) para deprimir la calcita (CaCO<sub>3</sub>) durante la flotación de fluorita (CaF<sub>2</sub>); sulfunatos de lignina y dextrinas para deprimir grafito y talco durante la flotación de sulfuro. <sup>[16]</sup>
- **Dispersores o defloculantes:** Son importantes para controlar lodos que a veces obstaculizan la selectividad y aumento de reactivos. Con este fin se utilizan cenizas de sosa, cal, silicato de sodio y sulfonatos de lignina. <sup>[16]</sup>

Las cantidades de agentes modificadores que se utilizan varían entre  $0.25 \times 10^{-4}$  kg/kg (0.05lb/ton) y  $(25 \text{ o } 50) \times 10^{-4}$  kg/kg (5 o 10 lb/ton), dependiendo del reactivo y el problema metalúrgico. <sup>[16]</sup>



### **4.3. VARIABLES OPERACIONALES RELEVANTES PARA EL PROCESO**

Algunas de las variables de mayor importancia para el proceso de flotación son:

#### **4.3.1. Granulometría**

Adquiere gran importancia en el proceso de la flotación, debido que para una óptima recuperación de las especies minerales de concentrado depende principalmente del tamaño de grano, normalmente las plantas de beneficio operan con un d80 de 200mallas. <sup>[6-9]</sup>

#### **4.3.2. Tipo de Reactivos**

Los reactivos pueden clasificarse en colectores, espumantes y modificadores. La eficiencia del proceso dependerá de la selección de la mejor fórmula de reactivos. <sup>[6-9]</sup>

#### **4.3.3. Dosificación de Reactivos**

La cantidad de reactivos requerida en el proceso dependerá de las pruebas metalúrgicas preliminares y del balance económico desprendido de la evaluación de los consumos. <sup>[6-9]</sup>

#### **4.3.4. Densidad de Pulpa**

El porcentaje de sólidos óptimo para el proceso es del 33%, tiene influencia en el tiempo de residencia del mineral en los circuitos. <sup>[6-9]</sup>

#### **4.3.5. Aireación**

La aireación permitirá aumentar o retardar la flotación en beneficio de la recuperación o de la ley respectivamente. El aire es uno de los tres elementos imprescindibles en el proceso de flotación, junto con el mineral y el agua. <sup>[6-9]</sup>

#### **4.3.6. Regulación del pH**

La flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Cada fórmula de reactivos tiene un pH óptimo ambiente en el cual se obtendría el mejor resultado operacional. <sup>[6-9]</sup>



#### **4.3.7. Tiempo de Residencia**

El tiempo de residencia dependerá de la cinética de flotación de los minerales de la cinética de acción de reactivos, del volumen de las celdas, del porcentaje de sólidos de las pulpas en las celdas y de las cargas circulantes. <sup>[6-9]</sup>

#### **4.3.8. Calidad del Agua**

En las Plantas la disponibilidad de agua es un problema. Normalmente se utiliza el agua de recirculación de espesadores que contiene cantidades residuales de reactivos y sólidos en suspensión, con las consecuencias respectivas derivadas por este flujo de recirculación. Este proceso de recirculación se lo realiza con el propósito de evitar la contaminación de efluentes de quebradas y ríos. Además no se utiliza agua industrial en este proceso debido a que encarece los costos de producción. <sup>[16]</sup>

### **4.4. REACTIVOS UTILIZADOS EN LA FLOTACIÓN**

#### **4.4.1. Ditifosfato o Aerofloat 242**

El ácido fosfocresílico o di-crosil -di-thio-fosfórico es un compuesto fabricado por la American Cyanamid C. Son colectores cuyo grupo solidofilico incluye S bivalente y que se produce por la reacción del pentasulfuro de fósforo con alcohol, fenol, thio alcohol, nitruros. <sup>[24]</sup>

#### **4.4.2. Silicato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )**

Depresor utilizado para deprimir menas polimetálicas con un alto contenido de sílice, su uso es común en las flotaciones de colas o relaves antiguos, que contienen una elevada proporción de arcilla muy fina. También se usa en las flotaciones de oro y de molibdenita cuando la ganga cuarzosa está muy pulverizada y con tendencia a levantarse con la espuma. <sup>[18-24]</sup>

#### **4.4.3. Xantato Amílico de Potasio KAX (Z – 6)**

Reactivo poderoso y el menos selectivo, usado generalmente en circuitos de acción rápida y sobre todo en el tratamiento de minerales de Zinc, marmatíticos, oro nativo y los sulfuros auríferos. Es usado también en circuitos de flotación con una acidez moderada. <sup>[18-24]</sup>



El xantato trabaja mejor a pH ligeramente mayor (8,5 – 9,0), pero a un nivel más alto se aprecia el efecto depresor de la cal. El consumo estimado para una eficiente recuperación se estima en 0.080 kg/TM.

#### 4.4.4. Aceite de Pino (Rs 370)

Es un reactivo usado en los procesos de concentración de minerales por flotación que actúa como espumante, regulador de espuma y como colaborador en la recolección de especies mineralizadas tales como: oro nativo, plata, y la gran variedad de sulfuros auríferos. Sin embargo tiene el inconveniente que carece de selectividad, es decir tiende a levantar todas las partículas metálicas. <sup>[18-24]</sup>

#### 4.4.5. Cal (CaO)

Es un modificador de medio que se utiliza para aumentar la alcalinidad o el pH de las pulpas. <sup>[24]</sup> Tiene un efecto depresor sobre las partículas de ganga (parte no valiosa del mineral reduciendo la posibilidad de que floten, pero antes de producir ese efecto, la cal neutraliza la acidez de la pulpa y precipita las sales disueltas en el agua. La cal impide que los minerales piritosos (especialmente pirrotita y marcasita) eleven la acidez durante la molienda. Después de neutralizar la pulpa y precipitar los compuestos dañinos solubles, el resto de la cal comienza a actuar como depresor de las gangas y posteriormente de la pirita de hierro, si sigue aumentándose la dosis, impide que flote el plomo y puede también impedir que flote el oro. Además la cal actúa como aglomerante o floculador de las lamas muy finas y dado que es muy barata, hay tendencia a exagerar su uso. <sup>[18-24]</sup>

### 4.5. MINERALES PRESENTES EN LAS MENAS FLOTADAS

Los minerales a ser flotados dentro de los distritos mineros de Portovelo – Zaruma, Bella Rica y San Gerardo, que se pueden ver en el Capítulo VI mediante el análisis mineralógico son los siguientes:

#### 4.5.1. La pirrotita ( $Fe_{1-x}S$ )

Es uno de los sulfuros de hierro más abundantes. Se encuentra en la naturaleza comúnmente asociada a la pentlandita, al cuarzo, a la ankerita, a la pirita, calcopirita y otros sulfuros. Su estructura cristalina influye en la flotación y en sus características magnéticas. El magnetismo de la pirrotita es muy bajo cuando  $x = 0$  (hexagonal). <sup>[15]</sup>



La flotabilidad natural se debe a la formación de azufre en la superficie mineral. Este azufre es fuertemente hidrofóbico y permanece estable por largos tiempos aún a pH's alcalinos, la flotabilidad incrementa de monoclinico a hexagonal.<sup>[15]</sup>

La pirrotita tiene flotabilidad natural a pH's ácidos. Incrementa su recuperación cuando se le agrega iones activadores y colectores. En general se recomienda flotar a pH's entre ácido y neutro.<sup>[16]</sup>

Generalmente, la flotabilidad de la pirrotita es considerada con similares características que la de los otros sulfuros de hierro conocidos, pirita y arsenopirita. Suelen usarse colectores como el mercaptobenzotiazol, ditiofosfatos, monotiofosfatos, tionocarbamatos y dialkyl sulfuros a pH's menores de 7 y xantatos a pH's mayores 10.<sup>[15]</sup>

#### **4.5.2. Pirita ( $\text{FeS}_2$ )**

La pirita es el sulfuro más corriente y extendido en nuestro país forma parte de casi todos yacimientos minerales. En flotación la pirita es hidrofóbica cuando su superficie no está oxidada flota muy fácilmente con el KAX (Z-6).<sup>[15]</sup>

#### **4.5.3. Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ )**

Se encuentra formando parte de las mineralizaciones de sulfuros, en el distrito Portovelo-Zaruma se encuentra formando parte de la mineralización convirtiéndose en ciertos sectores como un mineral económico, en los Distritos Bella Rica y San Gerardo se encuentra en menor proporción en su mineralización, sus condiciones de flotación es similar a los demás sulfuros.<sup>[15]</sup>

#### **4.5.4. Arsenopirita o Mispíquel ( $\text{FeAsS}$ )**

Forma parte de la mineralización en su mayor proporción en las menas de Bella Rica y San Gerardo, su flotabilidad es idéntica a la descrita en la Pirrotita.<sup>[15-17]</sup>

#### **4.5.5. Galena $\text{PbS}$**

La galena es un sulfuro muy corriente que se encuentra asociado a la blenda, pirita, marcasita, calcopirita cerusita anglesita, dolomita, calcita, cuarzo baritina y fluoritas.<sup>[25]</sup> En el distrito minero Portovelo - Zaruma este mineral constituye uno de los minerales principales de la mena, la galena tiene propiedades similares que los demás sulfuros (pirrotita).<sup>[6-15]</sup>



#### **4.5.6. Esfalerita ZnS**

Mineral denominado blenda o esfalerita, de color caramelo o negrusco. Se encuentra asociado a los demás sulfuros como la galena, pirita, cuarzo, calcita en la mena de Portovelo Zaruma, y a la arsenopirita, marmatita, pirita, calcita, cuarzo, epidota, esto para la mena Bella Rica y San Gerardo. Tiene buena flotabilidad con los xantatos. <sup>[6-25]</sup>

#### **4.5.7. Marmatita (Zn, Fe)S**

Mineral de color negruzco por la presencia de hierro, se encuentra asociado a los sulfuros auríferos se distinguen en una concentración considerable en las menas de Bella Rica, San Gerardo y en pocas cantidades en la mena de Portovelo-Zaruma. <sup>[10-25]</sup>

Su flotabilidad es similar al proceso de flotación para los demás sulfuros.

#### **4.5.8. Minerales de ganga**

Conformado por Cuarzo, calcita, andesita, andesita basáltica, son deprimidos con el Silicato de sodio y con la Cal. <sup>[10-25]</sup>

## CAPITULO V

### 5. METODOS Y MATERIALES

#### 5.1. MUESTREO

La recolección de las muestras representativas se realizó de las relaveras de acopio de mineral independientemente del tratamiento que realiza cada planta, estos relaves fueron obtenidos de los procesos de: molienda, cianuración, flotación, se recogió muestras de algunos puntos de cada relavera obteniéndose una porción aproximadamente de 20kg. (ver imagen N° 4).



**Imagen N° 4: Muestreo de relaves en la planta de beneficio de Expo Bonanza en San Antonio del distrito Minero San Gerardo (Foto: El Autor).**

#### 5.2. HOMOGENIZACIÓN Y CUARTEO DE MUESTRAS

Las muestras de relaves provenientes de los distritos mineros fueron secados, disgregados y finalmente homogenizados formando un compuesto y luego cuarteadas hasta quedarse con una muestra de 500g para los respectivos ensayos de análisis químico, peso específico y análisis granulométrico, el resto de la muestra va a stock para los diferentes ensayos de optimización del tiempo de molienda y las respectivas pruebas de flotación.

### 5.3. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL

De las muestras obtenidas en las plantas de beneficios de minerales de los diferentes distritos mineros, se procedió a realizar los siguientes análisis y ensayos: análisis mineralógico, análisis químico granulométrico, estandarización de curva de molienda para 180, 200, 220# de malla.

#### 5.3.1. Análisis mineralógico

En el análisis mineralógico se procedió a realizar el reconocimiento de los minerales de forma macroscópica y luego con la ayuda del microscopio Estereozoom, Stemi DV4 modelo Stand C de producción Alemana, tomando en cuenta las propiedades físicas de los minerales tales como: magnetismo, color, brillo, dureza, etc. (Ver imagen N° 5).



Imagen N° 5: Binocular Estereozoom Stemi DV4, para observación mineralógica de minerales y Rx encajante (Foto: El Autor).

#### 5.3.2. Análisis químico

##### 5.3.2.1. Fusión - copelación

###### ➤ Equipos utilizados

Para realizar los ensayos de fusión copelación, se utilizó dos muflas de corriente eléctrica, tipo LN3-3490; 220V; 9KW; 24<sup>a</sup>, temperatura máxima 1200°C horno de fusión, 1000°C horno de copelación 900°C, los cuales se encuentran ubicados en el laboratorio de Beneficio de Minerales. (Ver imagen N° 6).



Imagen N° 6. Se muestran los hornos para Fusión- Copelación (Foto: El Autor).

#### ➤ Procedimiento para la fusión

De las muestras preparadas se proceden a pulverizar 110g en un molino de discos, de esta muestra pulverizada se toma 30gr. con los siguientes fundentes que se detallan a continuación.

Muestra	30g
Litargirio	55g
Carbonato de sodio	27g
Bórax	13g
Harina	4g

En un crisol se colocan la muestra más la mezcla de fundentes, se homogeniza toda la mezcla, para luego colocarlos dentro de una mufla a una temperatura de 1.000°C. Cuando la temperatura del horno haya alcanzado los 1.000°C, se deja por 60 minutos y luego se saca los crisoles para descargar el material fundido en una payonera de acero previamente calentado en donde se enfría la muestra, quedando en la parte inferior el plomo y en la parte superior las escorias.

### ➤ Procedimiento para la copelación

El material fundido luego de haberse enfriado se procede a separar la escoria del régulo de plomo, con un martillo se procede a moldearlo hasta darle forma de un cubo, se lo coloca en una copela y se introduce en la mufla a una temperatura de 900°C, debe permanecer por el tiempo necesario hasta que el plomo se evapore y sea absorbido totalmente por la copela, obteniéndose finalmente un doré de Oro y Plata. (Ver imagen N° 7).

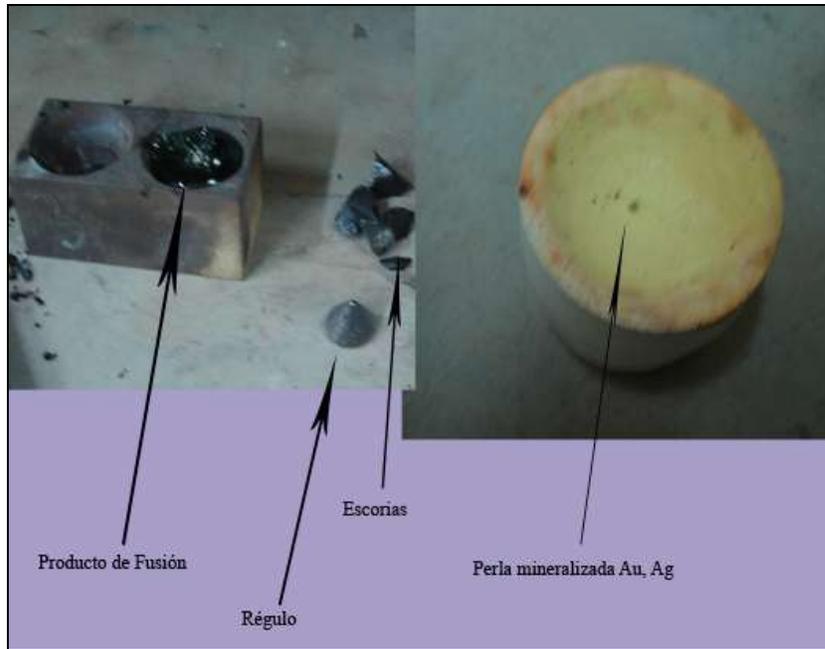


Imagen N° 7. Productos de los ensayos de fusión copelación (Foto: El Autor).

### 5.3.2.2. Lectura en Absorción atómica

#### ➤ Equipo utilizado

Con la gentileza del Sr. Gerardo Valarezo gerente de la empresa COMMIVARI S.A, ubicada en el sector el Pache del Canton Portovelo de la Provincia del Oro, se realizó los ensayos de absorción atómica con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica de marca BUCK Scientific modelo 210 VGP. (Ver imagen N° 8).



**Imagen N° 8: Equipo de absorción atómica momentos cuando se captura una lectura (Foto: El Autor).**

Para realizar las diluciones de las perlas provenientes de la copelación se utilizó un plato calentador de marca IKAMAG-RET-GS de corriente eléctrica alterna de 220V. (Ver imagen N° 9).



**Imagen N° 9: Se muestra un plato calentador (Foto: El Autor).**



### ➤ Procedimiento

Las perlas con contenido de Au- Ag, se coloca en un tubo de ensayo de 15ml, luego se añade 3ml de ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 71%, se coloca en baño maría, en un vaso de precipitación de 400ml se coloca 150ml de agua y se deja a  $50^\circ\text{C}$  hasta que la plata se disuelva completamente de la perla, luego se añade 9 ml de ácido Clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) 37% para formar el agua regia constituido 1ml de  $\text{HNO}_3$  y 3ml  $\text{HCl}$ , una vez disuelta la perla, esta solución se lleva a un balón de 25ml y se afora agua destilada, se agita hasta lograr una solución homogénea, se envasa en frascos plásticos de 30ml, para luego llevar a realizar las respectivas lecturas en absorción atómica. (Ver imagen N° 10).



Imagen N° 10: Botellas con solución aurífera, momentos antes de realizar las lecturas de absorción atómica (Foto: El Autor).

### 5.3.3. Determinación del peso específico de los relaves

La determinación del peso específico se lo realizó por el método del picnómetro.

#### ➤ Equipo utilizado

Para determinar el peso específico por el método del picnómetro se utilizó: un picnómetro de 5ml de capacidad, una balanza electrónica. (Ver imagen N° 11).



**Imagen N° 11: Determinación del peso específico en una muestra de relaves en el laboratorio de Microbiología (Foto: El Autor).**

➤ **Procedimiento**

Se pesa el picnómetro vacío y seco ( $P_1$ ), se adiciona un volumen de muestra no mayor al 25% de la capacidad del picnómetro para después pesarlo ( $P_2$ ), al picnómetro con muestra se le afora con agua y se pesa ( $P_4$ ), luego se lava el picnómetro, se adiciona agua y se pesa ( $P_3$ ), finalmente se procede a realizar los cálculos aplicando la siguiente fórmula

matemática: 
$$\gamma_e = \frac{(P_2 - P_1)}{(P_3 - P_1) - (P_4 - P_2)}$$

En donde:

$P_1$  = Peso del picnómetro vacío y seco

$P_2$  =  $P_1$  + peso de la muestra

$P_4$  =  $P_2$  + agua

$P_3$  =  $P_1$  + agua



### 5.3.4. Análisis granulométrico

#### ➤ Equipo utilizado

Los ensayos de granulometría de los relaves, se realizó en el Vibrotamíz Retsch bajo la norma ASTM, equipado con un juego de 8 tamices (10, 18, 35, 60, 120, 230, 325 y 400mallas), realizándose ensayos de granulometrías húmedas o deslamado y granulometría seca para determinar el tamaño de grano de los relaves de los distritos mineros. (Ver imagen N° 12).



Imagen N° 12: Ensayo Granulométrico de una muestra de relaves en el laboratorio de Beneficio de Minerales (Foto: El Autor).

#### ➤ Procedimiento

Con la ayuda de un vibrotamíz se procede a realizar la granulometría por vía húmeda mediante deslamado así como en seco; para la granulometría en húmedo se toma 250gr. y se somete al tamiz de 400 mallas para proteger este tamiz utilizamos los tamices 35,120 y 325, el material pasante a 400 mallas se deja sedimentar por 24 horas para posteriormente eliminar el agua y luego llevar a secar y pesar las lamas; el material que queda retenido sobre los tamices anteriormente indicados, se recogen en una bandeja y se secan, este material seco se somete a la serie de tamices estandarizados de la ASTM (10, 18, 35, 60,

120, 230, 325 y 400), por cuarto de hora con vibración intermitente se saca los tamices, se pesa los tamices con muestra y luego por diferencia de pesos de los tamices vacíos previamente pesados se obtienen los pesos de muestra en cada fracción, con estos datos y el de las lamas se hacen los cálculos respectivos y se grafica la curva granulométrica.

## 5.4. OPTIMIZACIÓN DE LA MOLIENDA

### 5.4.1. Molienda

#### ➤ Equipo Utilizado

Para realizar la molienda se utilizó: un molino de bolas Batch de laboratorio (9,8pulg. x 7.2 pulg.) modelo C560394, accionado por un motor eléctrico de ½HP, con una velocidad de rotación crítica de 74 rpm, con una carga de molienda 11.813,93gr. (Ver imagen N° 13)



**Imagen N° 13: Molino de bolas de laboratorio de beneficio de minerales (Foto: El Autor).**

#### ➤ Procedimiento

En el molino se adiciona 2500g de la muestra de relaves y 2500ml de agua, es decir a solución de pulpa del 50% de sólidos, se cierra la tapa del molino y se coloca sobre los rodillos para luego encender, se muele a diferentes tiempos de molienda, hasta determinar los tiempos óptimos mediante la caracterización de análisis granulométrico, esto se lo realizó para los tres distritos.

## 5.5. FLOTACIÓN

### ➤ Equipo utilizado

Para realizar los ensayos de flotación, se utilizó el equipo de laboratorio de Beneficio de Minerales de marca DENVER SALA, modelo D-12, que consta de dos rotores difusores de adaptación intercambiables, motor de velocidad constante y polea de transmisión de velocidad variable. Brazo y columna de sustentación de aluminio, tacómetro integral con indicador visual de la velocidad y control regulable de la aireación, posee celdas de acero inoxidable de varias capacidades. (Ver imagen N° 14).



Imagen N° 14: Celda de flotación con un peachímetro (Foto: El Autor).

### ➤ Procedimiento

La flotación de las muestras se lo realizó bajo un protocolo sugerido por Geobiotics el cual se lo describe a continuación: en la celda de flotación se agrega 3.750g y se adiciona 7.500ml de agua para obtener una dilución de pulpa del 33,33 % de sólidos, se toma el pH inicial y luego se ajusta a 9,5 con adición de cal, el pH se lo controla durante todo el proceso; se dosifica 250 g/t de silicato de sodio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 15g/t de ditiofosfato (aerofloat 242) se deja acondicionar por 10 min, luego se adiciona 10g/t de xantato amílico de



potasio (KAX = Z-6), 7,5g/t de aceite de pino (Rs 370) con 3 minutos de acondicionamiento, se abre la llave de paso de aire y se procede a flotar por 5 minutos recogiendo el concentrado en una bandeja y se cierra la llave de aire, luego adicionamos 5g/t de Z-6, 2,5g/t de Rs 370, se deja acondicionar por 1 minuto, se abre la llave de paso de aire, para flotar por 5 minutos, se recoge el concentrado en la bandeja y se cierra la llave de paso de aire; procedemos a adicionar 2,5g de Z-6, 2,5g/t de Rs 370, se deja acondicionar por 1 minuto, se abre la llave de paso de aire y se flota por 5 minutos, recolectando el concentrado en la misma bandeja, esta misma adición se lo hace con la última fracción y se procede de la misma manera en la fracción precedente.

El concentrado recolectado en la bandeja y el relave después de la flotación se secan y se pesan, luego se homogenizan y se cuarteán por separado para obtener una muestra para el análisis químico y el cálculo del balance metalúrgico. Los reactivos se dosifican en base a la cantidad de muestra tratada de 3.750g, estos pesos fueron diluidos y aforados en un balón de 100 ml.

#### ➤ Condiciones de Operación

Dilución de la pulpa	33,33%
pH	9,5
Tamaño de grano	180, 200 y 220 mallas
Peso de la muestra	3.750g
Volumen de agua	7.500ml
Rpm	750

#### ➤ Reactivos utilizados

Promotor	242 (Ditiofosfato)
Colector	KAX Z - 6 (Xantato Amflico de Potasio)
Depresor de sílice	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$ (Silicato de Sodio)
Espumante	RS370 (Aceite de Pino)
Modificador de medio	CaO (Cal)

#### ➤ Dosificación de Reactivos de Flotación

La dosificación de reactivos de flotación de acuerdo al protocolo sugerido Geobiotics, que se utilizó para los tres distritos se muestra en la siguiente tabla



Tabla N° 1. Dosificación de reactivos

ACTIVIDAD	Tiempo min.	Sólidos %	pH	Gramos por tonelada de cabeza			
				242 15g/ton	KAX Z6 20g/ton	RS 370 15g/ton	SiO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> 250gr/ton
Molienda	35	50	9,5				
Acondicionamiento	10	33,33	9,5				250
Acondicionamiento	3	33,33		15	10	7,5	
Fracción A	5						
Acondicionamiento	1	33,33	9,5		5	2,5	
Fracción B	5						
Acondicionamiento	1	33,33	9,5		2,5	2,5	
Fracción C	5						
Acondicionamiento	1	33,33	9,5		2,5	2,5	
Fracción D	5						

Tabla N° 2. Adiciones de los reactivos en solución (aforados en balones de 100ml)

ACTIVIDAD	Tiempo min.	Sólidos %	pH	Adiciones de los reactivos sobre 100ml de disolución			
				242 (ml)	KAX Z6 (ml)	RS 370 (ml)	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (ml)
Molienda	35	33,33	9,5	100			100
Acondicionamiento	10	33,33	9,5				
Acondicionamiento	3	33,33	9,5		50	50	
Fracción A	5						
Acondicionamiento	1	33,33	9,5		25	16,67	
Fracción B	5						
Acondicionamiento	1	33,33	9,5		12,5	16,67	
Fracción C	5						
Acondicionamiento	1	33,33	9,5		12,5	16,67	
Fracción D	5						

## CAPITULO VI

### 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 6.1. ANÁLISIS MINERALÓGICO

Tabla N° 3. Análisis de las muestras del Distrito Portovelo - Zaruma

Minerales primarios		Minerales secundarios		Minerales de ganga		Minerales económicos	
Nombre de min.	(%)	Nombre de min.	(%)	Nombre de min.	(%)	Nombre de min.	Ppm
Pirita	20	Bornita	3	Q (lechoso)	15	Oro	6*
Calcopirita	15	Hematites	5	Drusas de Q ( transparente)	5	Plata	12*
Esfalerita	10	Covelina	3	Calcita	2	Electrum	2*
Galena	10	Calcosina	2	Epidota	1		
Marcasita	5	Magnetita	2	Adularia	1		
		Malaquita	1				

\*Datos aproximados de las plantas de Beneficio.

La mineralización de Portovelo Zaruma es polimetálica, en donde el oro se encuentra en forma microscópica en estos sulfuros y en forma libre asociada al mineral de ganga cuarzo con clorita, hematita y calcita principalmente.

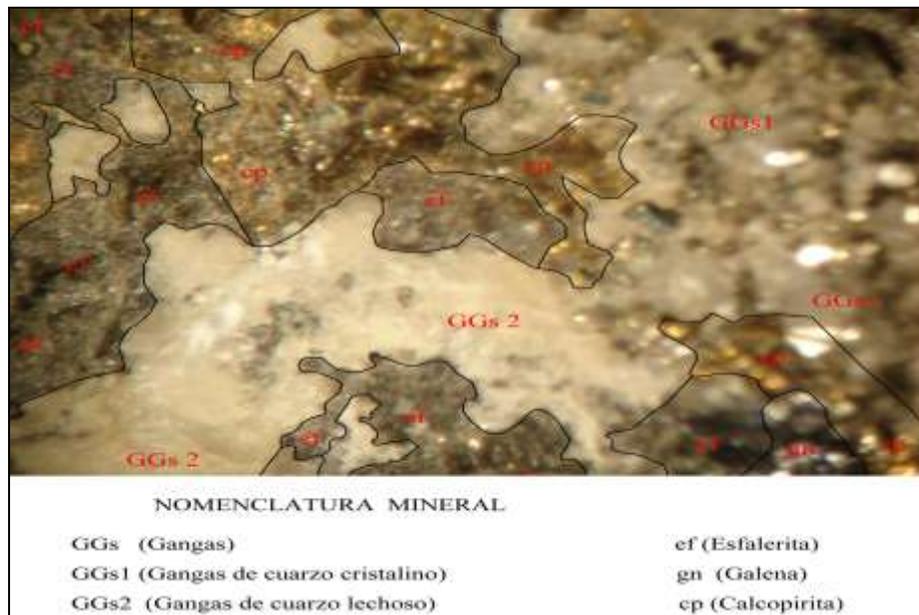


Imagen N° 15. Textura brechoide entre los minerales de sulfuros, muestra de la mena de COMMIVARI, Portovelo, (Foto: El Autor).

Tabla N° 4. Análisis de las muestras del Distrito Bella Rica

Minerales primarios		Minerales secundarios		Minerales de ganga		Minerales económicos	
Nombre de min.	(%)	Nombre de min.	(%)	Nombre de min.	(%)	Nombre de min.	Ppm
Arsenopirita	30	Escorodita	2,5	Q (transparente)	15	Oro	12*
Pirrotita	20	Bornita	1,5	Q (lechoso)	14	Plata	25*
Esfalerita	10	Marmatita	1	Calcita	0,5	Electrum	5*
Calcopirita	5			Epidota	0,5		

\*Datos aproximados de las plantas de beneficio.

La mineralización en Bella Rica es vetiforme, pero con minerales de textura masiva como la arsenopirita y la esfalerita que se encuentran en mayor proporción, los cristales bien definidos de mineral pirrotina en asociación con calcopirita; el oro se encuentra atrapada en la red cristalina de los sulfuros como: arsenopirita, pirrotita, esfalerita, y en menor cantidad en forma libre en las variedades de cuarzo y en asociación con calcita y epidota.

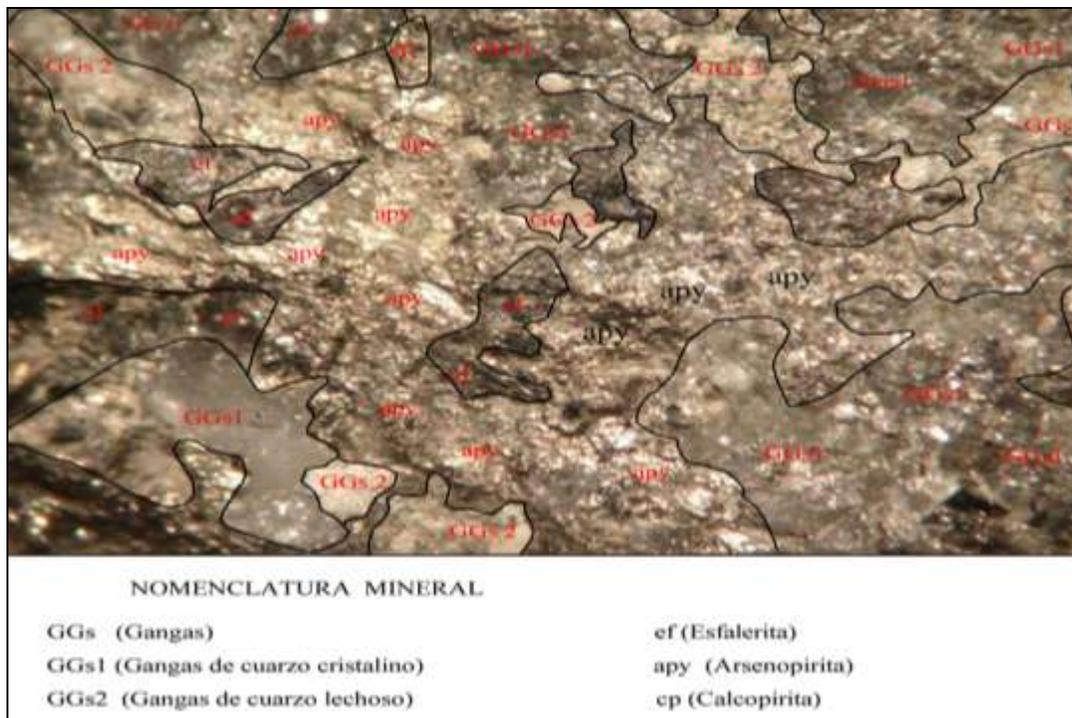


Imagen N° 16. Textura masiva de minerales arsenopirita, pirrotina y cuarzo. Muestra de la mena Unión Lojana, Bella Rica, (Foto: El Autor).

Tabla N° 5. Análisis de las muestras del Distrito San Gerardo

Minerales primarios		Minerales secundarios		Minerales de ganga		Minerales económicos	
Nombre de min.	(%)	Nombre de min.	(%)	Nombre de min.	(%)	Nombre de min.	Ppm
Arsenopirita	20	Bornita	5	Q (transparente)	30	Oro	25*
Calcopirita	15		5	Q (lechoso)	25	Plata	20*
Pirrotina	10			Calcita	0,5	Electrum	5*
				Epidota	0,5		
				Dolomita			

\*Datos aproximados de las plantas de beneficio.

La mineralización de San Gerardo es vetiforme con dos generaciones de cuarzo (cuarzo gris, lechoso granular) y vetilleo de mineral de calcita y dolomita, tiene marcasita que se encuentra en contactos de fallamiento (tipo gouge). El oro libre se encuentra asociado con la mineralización de cuarzo en la que se puede visualizar mediante la ayuda de un binocular Stmi DV4, pero también está asociado microscópicamente a la arsenopirita, calcopirita y pirrotina.

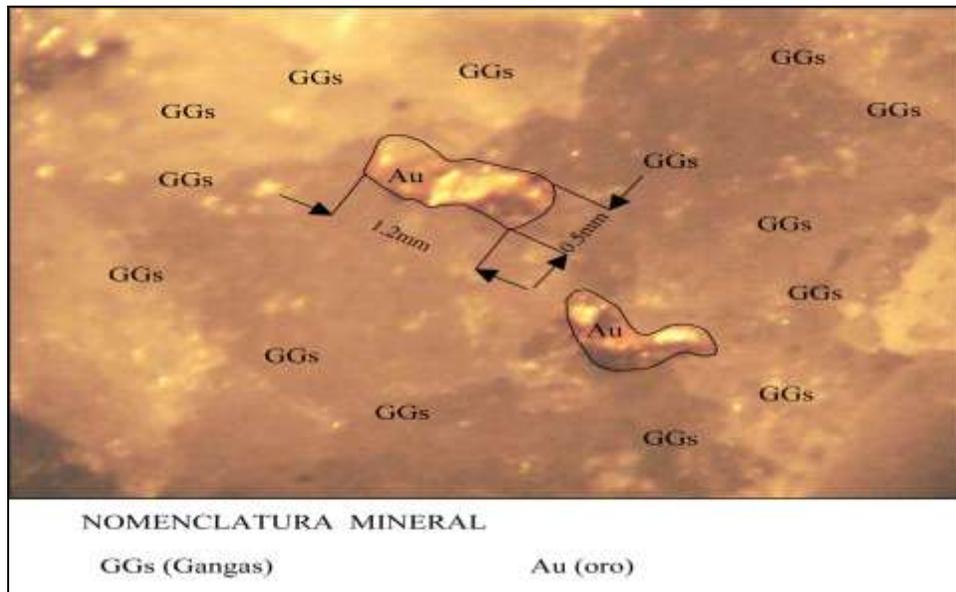


Imagen N°17. Con la ayuda de un binocular en 18 aumentos, se observa partículas de Au libre, asociado a una ganga de cuarzo-calcita (Foto: El Autor).

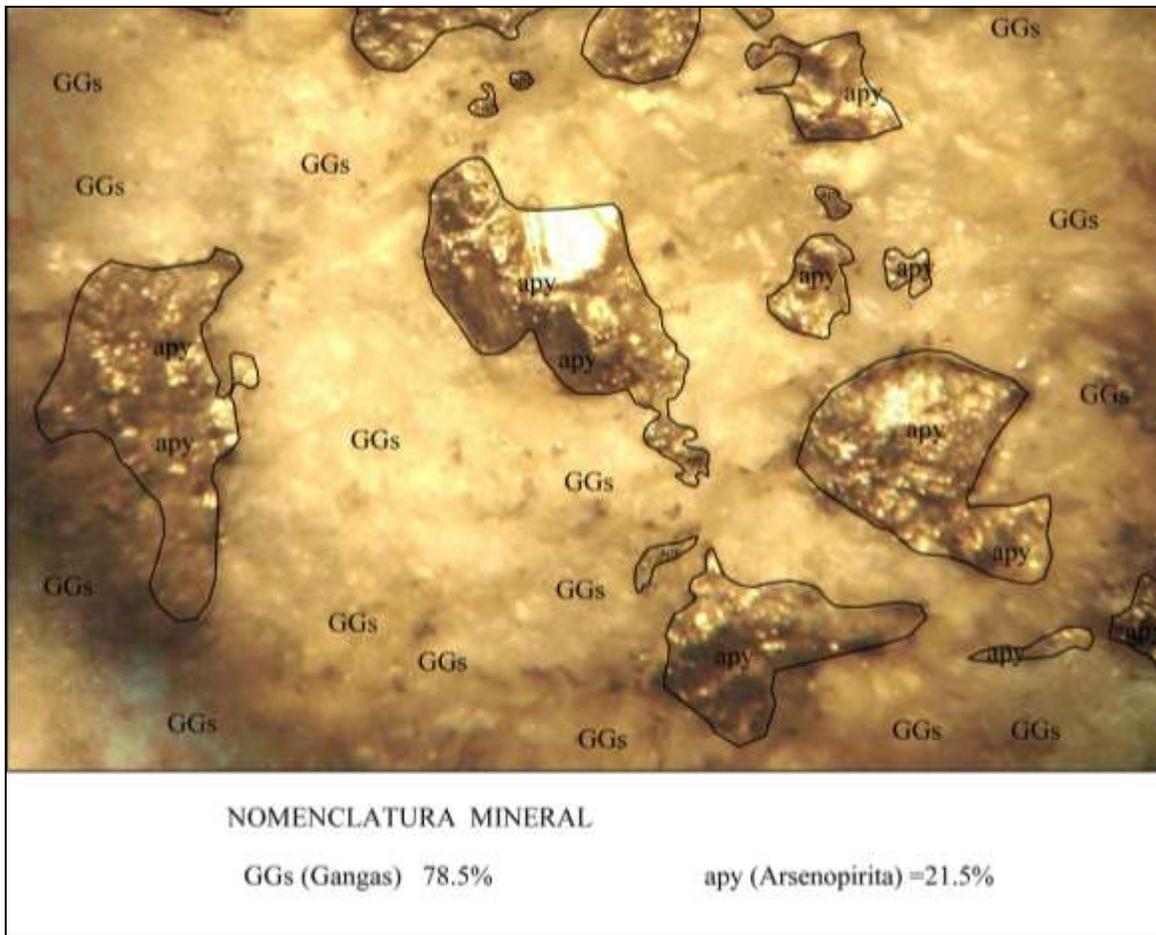


Imagen N° 18. Textura vetiforme con contenidos mayores de gangas de cuarzo, calcita con contenidos menores de sulfuros principalmente arsenopirita, mena analizada de AGRIMROC, San Gerardo (Foto: El Autor).

## 6.2. ANALISIS QUÍMICO DE LOS RELAVES

Tabla N° 6. Análisis químico de cabeza de la concentración de Au en los relaves

Distrito Minero	ley ppm (Au)
Portovelo - Zaruma	1,17
Bella Rica	2,28
San Gerardo	5,35

En la tabla N° 6. Se puede observar las concentraciones de entrada de Au para los distritos mineros: Portovelo -Zaruma , Bella Rica y San Gerardo.



### 6.3. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE RELAVES

Tabla N° 7. Determinación del peso específico

Distrito Minero	Peso específico
Portovelo – Zaruma	2,5
Bella – Rica	2,7
San Gerardo	2,6

En la tabla N° 7. Se observa los valores del peso específico realizados por el método del picnómetro, obteniendo un valor mayor para los relaves de Bella Rica, con respecto a San Gerardo y Portovelo - Zaruma.

### 6.4. OPTIMIZACIÓN DE LA MOLIENDA Y CARACTERIZACIÓN

#### 6.4.1. Distrito minero Portovelo - Zaruma

Tabla N° 8. Granulometrías a diferentes tiempos de molienda del relave

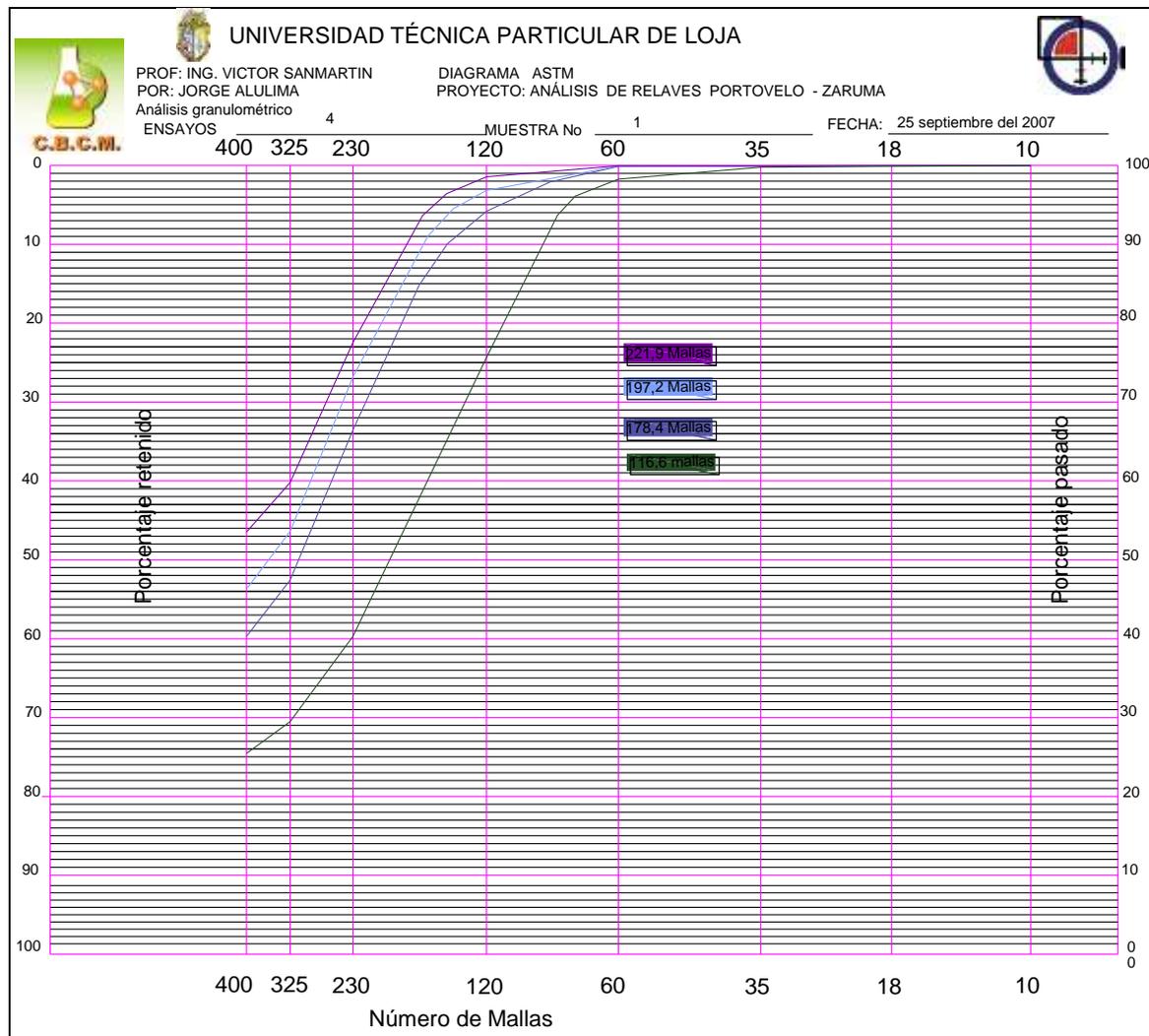
		0 minutos	28 minutos	42 minutos	60 minutos
Nro.Malla	Abertura (µm)	Acumulado retenido %	Acumulado retenido %	Acumulado retenido %	Acumulado retenido %
10	2.000	0,020	0,0040	0,0040	0,000
18	1.000	0,090	0,0080	0,0161	0,012
35	500	0,155	0,0120	0,0402	0,020
60	250	1,785	0,0522	0,0603	0,056
120	125	24,339	5,7516	3,2662	1,429
230	63	59,187	33,6344	26,7125	22,542
325	45	70,541	52,7032	46,4103	40,242
400	37	74,578	59,2896	53,6700	46,586
-400	0	75,146	59,8635	54,5820	47,148
TOTAL		100,0000	100,0000	100,0000	100,000

Tabla N° 9. D80 de los tiempos de molienda del relave

Tamices	d80 del relave inicial con los tiempos de molienda			
	0 minutos	28 minutos	42 minutos	60 minutos
N° de Malla	116,6	178,4	197,2	221,9
Abertura (µm)	129,07	84,10	75,29	65,97



Grafico N° 2. Curvas Granulométricas a diferentes tiempo de moliendas del Distrito Portovelo- Zaruma



En el gráfico N° 2. Podemos visualizar las curvas granulométricas de los ensayos de molienda con sus correspondientes  $d_{80}$ , que se corrobora con los datos de la tabla N° 9. La primera curva corresponde al ensayo granulométrico de 0 minutos de molienda que es el tamaño de grano del relave al que operan las plantas de beneficio de Portovelo - Zaruma con un  $d_{80} = 129,07\mu\text{m}$  equivalente a 116,6mallas, este resultado se obtiene mediante interpolación de datos de la tabla del Anexo -2 correspondiente a estudios realizados por Robbert Perry; de acuerdo a estos valores obtenidos, el tamaño de grano es grueso, por lo que fue necesario para liberar las partículas a las mallas de interés realizar moliendas a diferentes tiempos; la segunda curva granulométrica corresponde al ensayo 28 minutos de molienda con un  $d_{80} = 84,10\mu\text{m}$  (178,4 mallas); la tercera curva granulométrica



corresponde al ensayo de 42 minutos de molienda con un  $d_{80} = 75,29\mu\text{m}$  (197,2 mallas); la cuarta curva granulométrica corresponde 60 minutos molienda con un  $d_{80} = 65,97\mu\text{m}$  (221,9 mallas). Además se puede ver claramente en las curvas granulométricas que mientras mayor es el tiempo de molienda mayor es la liberación del tamaño de partículas; estos diferentes tamaños de granos serán utilizados para los ensayos de flotación programados.

#### 6.4.2. Distrito minero Bella Rica

Tabla N° 10. Granulometrías a diferentes tiempos de molienda del relave

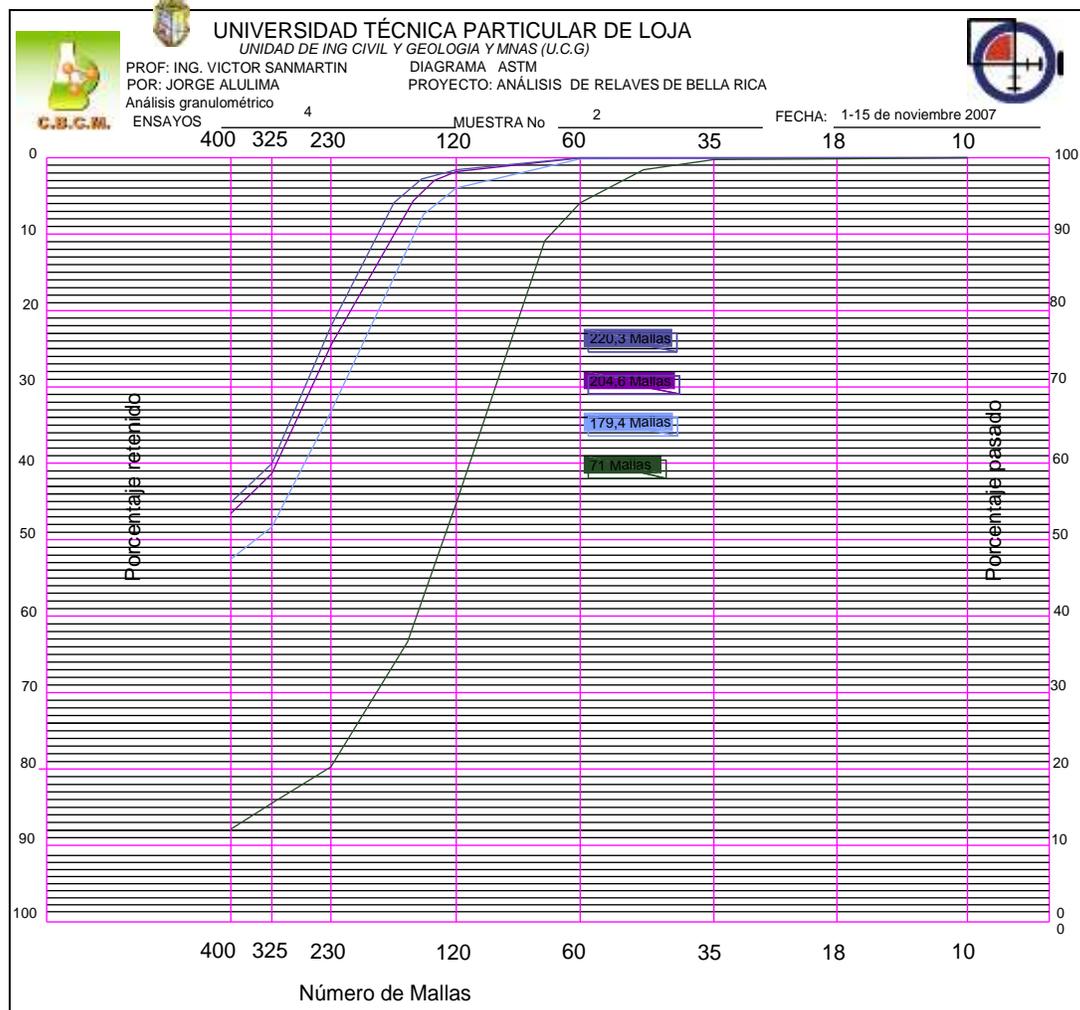
		0 minutos	65 minutos	78 minutos	92 minutos
Nro.Malla	Abertura ( $\mu\text{m}$ )	Acumulado retenido %	Acumulado retenido %	Acumulado retenido %	Acumulado retenido %
10	2.000	0,0160	0,0121	0,0121	0,0162
18	1.000	0,0481	0,0161	0,0282	0,0284
35	500	0,2763	0,0442	0,0523	0,0689
60	250	5,8428	0,1004	0,0965	0,4461
120	125	45,2885	3,9616	1,8459	1,5371
230	63	79,3440	33,3159	24,6642	22,1681
325	45	85,6874	48,2221	41,3939	40,0373
400	37	87,9300	52,5493	47,5991	45,5692
-400	0	88,2864	54,8596	48,8860	45,6057
TOTAL		100,0000	100,0000	100,0000	100,0000

Tabla N° 11.  $D_{80}$  de los tiempos de molienda del relave

Tamices	d80 del relave inicial con los tiempos de molienda			
	0 minutos	65 minutos	78 minutos	92 minutos
N° de Malla	71	179,4	204,6	220,3
Abertura ( $\mu\text{m}$ )	205,93	83,62	72,3	66,56



Grafico N° 3. Curvas Granulométricas a diferentes tiempo de moliendas del Distrito Bella - Rica



En el gráfico N° 3. Podemos observar las curvas granulométricas de los ensayos de molienda con sus respectivos  $d_{80}$ , que se constatan con los datos de la tabla N° 11. La primera curva corresponde al ensayo granulométrico de 0 minutos de molienda que es el tamaño de grano del relave al que operan las plantas de beneficio del distrito Bella Rica con un  $d_{80} = 205,93\mu\text{m}$  equivalente a 71 mallas, este resultado se obtiene mediante interpolación de datos de la tabla del Anexo -2 correspondiente a estudios realizados por Robbert Perry, de acuerdo a este resultado el tamaño de grano es grueso, por lo que fue necesario para liberar las partículas a las mallas de interés realizar moliendas a diferentes tiempos; la segunda curva granulométrica corresponde al ensayo 65 minutos de molienda con un  $d_{80} = 83,62 \mu\text{m}$  (179,4 mallas); la tercera curva granulométrica corresponde al ensayo de 78 minutos de molienda con un  $d_{80} = 72,3 \mu\text{m}$  (204,6 mallas); la cuarta curva granulométrica corresponde 92 minutos molienda con un  $d_{80} = 66,56\mu\text{m}$  (220,3 mallas).



Además se puede ver claramente en las curvas granulométricas que mientras mayor es el tiempo de molienda mayor es la liberación del tamaño de partículas; estos diferentes tamaños de granos serán utilizados para los ensayos de flotación programados.

### 6.4.3. Distrito Minero San Gerardo

Tabla N° 12. Granulometrías a diferentes tiempos de molienda del relave

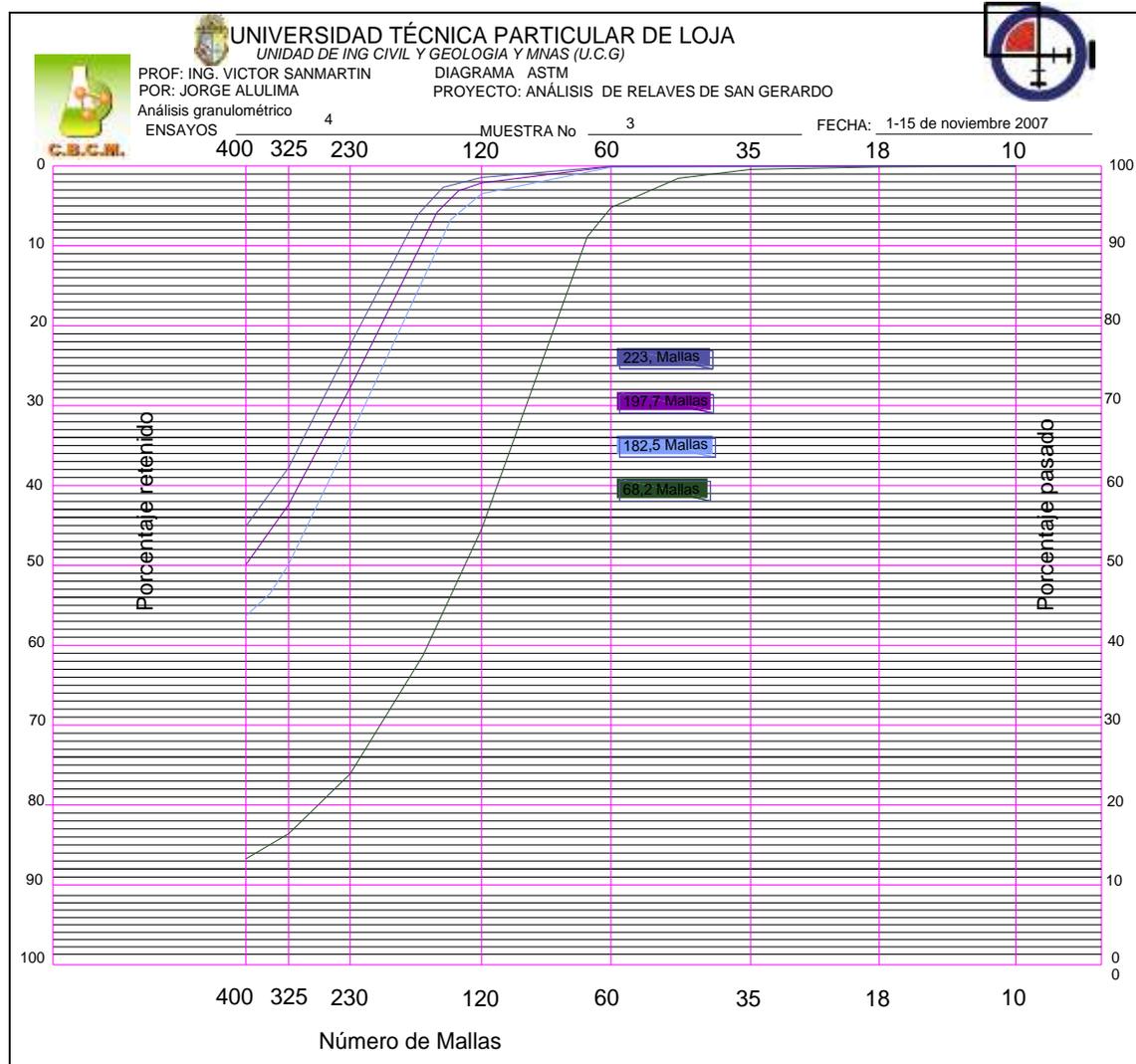
		<b>0 minutos</b>	<b>60 minutos</b>	<b>70 minutos</b>	<b>85 minutos</b>
<b>Nro.Malla</b>	<b>Abertura (µm)</b>	<b>Acumulado retenido %</b>	<b>Acumulado retenido %</b>	<b>Acumulado retenido %</b>	<b>Acumulado retenido %</b>
10	2.000	0,0000	0,012	0,000	0,0000
18	1.000	0,0688	0,016	0,008	0,0203
35	500	0,3360	0,040	0,008	0,0610
60	250	5,1123	0,076	0,012	0,3291
120	125	45,4442	3,453	2,153	1,3003
230	63	76,2518	33,814	27,711	22,3861
325	45	83,5539	49,885	42,321	37,8805
400	37	86,7598	57,287	49,950	46,1498
-400	0	88,0348	58,945	50,489	50,8554
<b>TOTAL</b>		<b>100,0000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,0000</b>

Tabla N° 13. D80 de los tiempos de molienda del relave

Tamices	d80 del relave inicial con los tiempos de molienda			
	0 minutos	60 minutos	70 minutos	85 minutos
N° de Malla	68,2	182,5	197,7	223,4
Abertura (µm)	215,93	82,19	75,05	65,43



Grafico N° 4. Curvas Granulométricas a diferentes tiempo de moliendas del Distrito San Gerardo



En el gráfico N° 4. Podemos visualizar las curvas granulométricas de los ensayos de molienda con sus respectivos  $d_{80}$ , que se constatan con los datos de la tabla N° 13. La primera curva corresponde al ensayo granulométrico de 0 minutos de molienda que es el tamaño de grano del relave al que operan las plantas de beneficio del distrito San Gerardo con un  $d_{80} = 215,93 \mu\text{m}$  equivalente a 68,2 mallas, este resultado se obtiene mediante interpolación de datos de la tabla del Anexo -2 correspondiente a estudios realizados por Robbert Perry, de acuerdo a este resultado el tamaño de grano es grueso, por lo que fue necesario para liberar las partículas a las mallas de interés realizar moliendas a diferentes tiempos; la segunda curva granulométrica corresponde al ensayo 60 minutos de molienda



con un  $d_{80} = 82,19 \mu\text{m}$  (182,5 mallas); la tercera curva granulométrica corresponde al ensayo de 70 minutos de molienda con un  $d_{80} = 75,05 \mu\text{m}$  (197,2 mallas); la cuarta curva granulométrica corresponde 85 minutos molienda con un  $d_{80} = 65,43 \mu\text{m}$  (221,9 mallas). Además se puede ver claramente en las curvas granulométricas que mientras mayor es el tiempo de molienda mayor es la liberación del tamaño de partículas; estos diferentes tamaños de granos serán utilizados para los ensayos de flotación programados.

## 6.5. BALANCES METALÚRGICOS Y RENDIMIENTO DE LA FLOTACIÓN

### 6.5.1. Portovelo – Zaruma

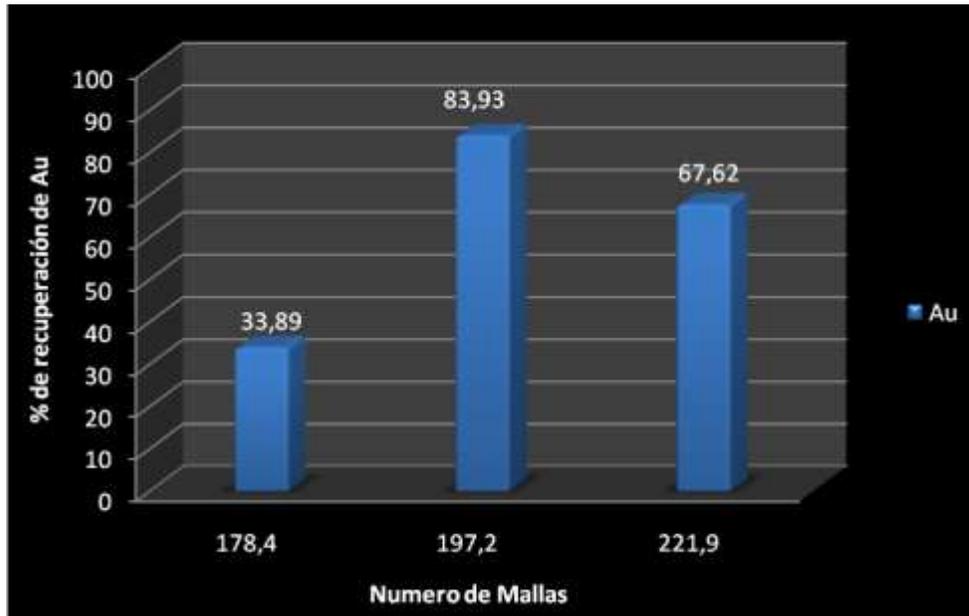
Tabla N° 14. Balances metalúrgicos de los ensayos de flotación a diferente número de mallas del distrito Minero Portovelo – Zaruma

N° de Mallas	Entrada (Au) mg	Concentrado (Au) mg	Relave (Au) mg	Total (Au) C + R	Balance $E \approx C+R$
178,4	4,39	1,49	2,84	4,33	$4,39 \approx 4,33$
197,2	4,39	3,68	1,62	5,31	$4,39 \approx 5,31$
221,9	4,39	2,97	1,23	4,20	$4,39 \approx 4,20$

Tabla 15. Rendimiento de recuperación de Au con diferentes números de malla

N° de Mallas	% recuperación Au
178,4	33,89
197,2	83,93
221,9	67,62

Grafico N° 5. % de recuperación Au



En el grafico N° 5. Observamos que el óptimo rendimiento de recuperación de Au en el proceso de flotación en los relaves del distrito minero Portovelo – Zaruma se da a un tamaño de grano de 197,2 mallas con un rendimiento del 83,93% de Au, considerando muy buena con respecto a los otros dos ensayos; a 221,9 mallas se tiene una recuperación del 67,62% de Au, que podríamos considerar deficiente, y a 178,4 mallas se tiene una recuperación del 33,89% de Au, que se considera como insuficiente. De acuerdo al mejor resultado obtenido en el rendimiento del concentrado de flotación, es considerada muy buena en comparación a investigaciones realizadas en este mismo sector que alcanzaron el 86,45% (**Guartán y Tamay 2002**).<sup>[6]</sup> Con respecto a la mineralización del yacimiento, se puede comprobar que el oro se encuentra en mayor cantidad en fase libre asociado al cuarzo, y en menor cantidad formando parte de los hidróxidos (hematita) y sulfuros (pirita), lo que facilita separarlo del cuarzo por molienda y luego concentrarlo por flotación. Además los reactivos de flotación sugeridos por el Protocolo de Geobiotics han dado buenos resultados en la recuperación de oro con este tipo de mineralogía, por lo que es recomendable utilizarlos.



### 6.5.2. Bella Rica

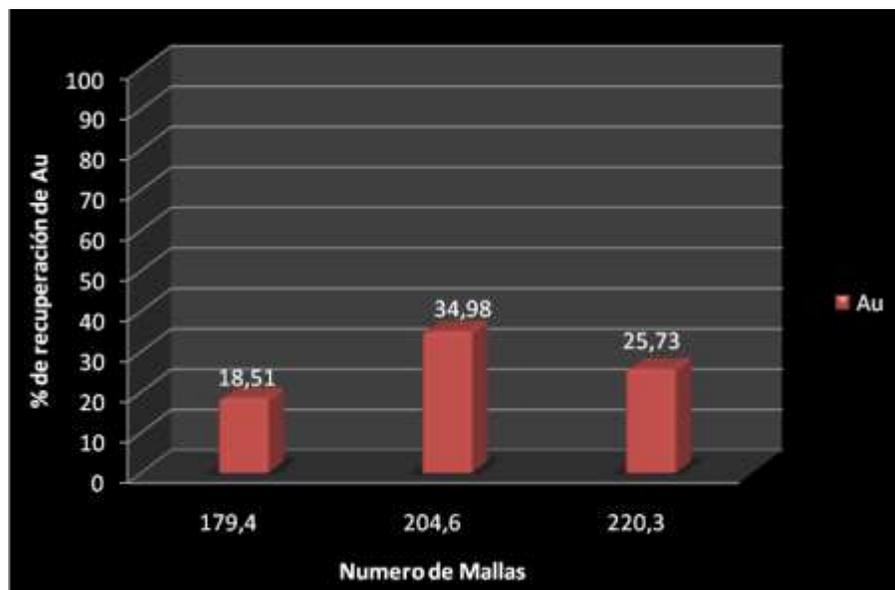
Tabla N° 16. Balances metalúrgicos de los ensayos de flotación a diferente número de mallas del distrito Minero Bella – Rica

N° de Mallas	Entrada (Au) mg	Concentrado (Au) mg	Relave (Au) mg	Total (Au) C + R	Balance E≈C+R
179,4	8,55	1,58	6,82	8,41	8,55≈8,41
204,6	8,55	2,99	3,22	6,21	8,55≈6,21
220,3	8,55	2,20	5,98	8,18	8,55≈8,18

Tabla 17. Rendimiento de recuperación de Au con diferentes números de malla

N° de Mallas	% recuperación de Au
179,4	18,51
204,6	34,98
220,3	25,73

Grafico N° 6. % de recuperación Au





En el gráfico N° 6. Observamos que la mejor recuperación de Au por el método de flotación para los relaves del distrito minero Bella Rica se da a un tamaño de grano de 204,6 mallas con un rendimiento del 34,98%, con respecto a los otros dos ensayos de 220,3 y 179,4 mallas que tiene una recuperación del 25,73 y 18,51% de Au respectivamente. Los valores obtenidos son considerados deficientes respecto a estudios similares que muestran que a 220 número de mallas se obtienen porcentajes de aproximadamente 89% (Parra y Miranda 2008),<sup>[15]</sup> esto es debido en primer lugar a que no se utilizó una combinación y dosificación adecuada de colectores, ya que para Bella Rica se utilizó el mismo protocolo sugerido por Geobiotics; en segundo lugar la mineralización del yacimiento está constituido por sulfuros masivos como arsenopirita, pirita, pirrotita, en la cual se encuentra encapsulado dentro de la estructura cristalina la mayor cantidad de oro; de acuerdo a estudios realizados para la refractabilidad de oro en la zona se ha determinado que existe un 70% (Ávila y Chapaca 2004);<sup>[1]</sup> y en menor cantidad asociado en forma libre al cuarzo, lo que dificulta liberar el metal por el proceso de molienda y por ende es evidente la dificultad de la flotabilidad de los minerales que contiene el oro, que es lo que interesa.

### 6.5.3. San Gerardo

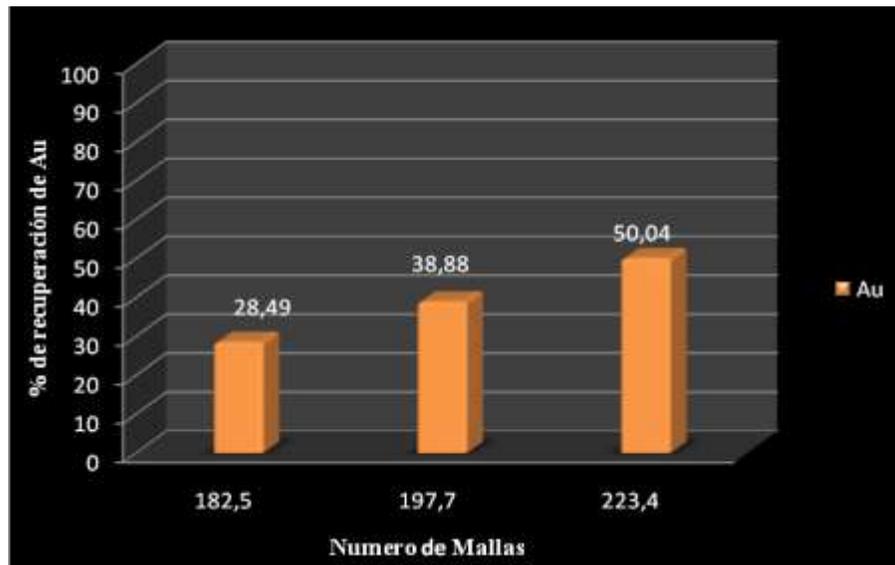
Tabla N° 18. Balances metalúrgicos de los ensayos de flotación a diferente número de mallas del distrito Minero San – Gerardo

N° de Mallas	Entrada (Au) mg	Concentrado (Au) mg	Relave (Au) mg	Total (Au) C + R	Balance E≈C+R
182,5	20,06	5,72	15,19	20,91	20,06≈20,91
197,7	20,06	7,80	11,79	19,59	20,06≈19,59
223,4	20,06	10,04	9,79	19,83	20,06≈19,83

Tabla 19. Rendimiento de recuperación de Au con diferentes números de malla

N° de Mallas	% de recuperación de Au
182,5	28,49
197,7	38,88
223,4	50,04

Gráfico N° 7. % de recuperación Au



En el gráfico N° 7. Observamos que la mayor recuperación de Au obtenida en los concentrados de sulfuros metálicos por el proceso de flotación de los relaves del distrito minero San Gerardo, se obtiene a una granulometría de 223,4 mallas un rendimiento del 50,04%, considerando buena con respecto a 197,7 y 182,5 mallas que tiene una recuperación del 38,88 y 28,49% de Au respectivamente. En comparación al resultado obtenido en 180 mallas es bajo con respecto a un estudio realizado por (Aramburú V, et al 2007)<sup>[2]</sup> a ese mismo número de malla y en una mineralogía similar obtienen un rendimiento del 59,11%. Además por su bajo rendimiento no es satisfactoria en comparación a investigaciones realizadas por (Parra y Miranda 2008)<sup>[15]</sup> que obtienen un 89% a 200 mallas; esto se debe a que el protocolo de flotación sugerido por Geobiotics, el promotor utilizado funciona bien para menas de cobre y no para este tipo de menas; así mismo la dosificación utilizada es baja.

Además se obtiene mejores resultados, que los valores logrados en el Distrito minero Bella Rica. Esto se debe a la mineralogía del yacimiento que juega un papel importante dentro de la flotación, ya que el contenido mineralógico en su mayor cantidad presenta dos generaciones de cuarzo y calcita con presencia de oro libre y bajo contenido de sulfuros como: arsenopirita, colcopirita, pirrotita, convirtiéndose en sulfuros importantes de recuperarlos debido a que dentro de sus estructuras cristalinas se encuentra una cantidad interesante de Au, de acuerdo a estudios realizados en el campo mineralógico es imprescindible su comparación entre los yacimientos de San Gerardo con respecto al de Bella Rica, ya que sus mineralogías son idénticas, pero los porcentajes de estos difieren en ambos yacimientos (PRODEMINCA 2000).<sup>[12]</sup>



## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. CONCLUSIONES

En el trabajo de investigación realizado a los relaves mediante el método de concentración flotación de los distritos mineros Portovelo –Zaruma, Bella Rica y San Gerardo, se puede concluir lo siguiente:

- La mineralización en los distritos mineros, está caracterizado por una gran variedad de sulfuros metálicos que se encuentran asociado a los minerales de ganga formando vetas: para la mena de Portovelo – Zaruma se caracteriza por las especies mineralógicas de galena-calcopirita-pirita-esfalerita asociado al cuarzo, calcita epidota, óxidos de hierro ( hematites y magnetita); Bella Rica caracterizada por Arsenopirita- pirita- pirrotita- esfalerita-marmatita-calcopirita asociado en menor cantidad al cuarzo, calcita, epidota y óxidos de hierro y San Gerardo está caracterizado por la arsenopirita – pirita- calcopirita, dominada por su parte por cuarzo y calcita.
- El análisis químico de cabeza de relaves de los tres distritos mineros nos determina una concentración de Au : Portovelo-Zaruma = 1,17ppm, Bella Rica =2,28ppm, San Gerardo = 5,35ppm.
- El peso específico de los relaves de los tres distritos mineros obtenido mediante el método del picnómetro es: Portovelo-Zaruma = 2,5; Bella Rica = 2,7; San Gerardo = 2,6.
- El análisis granulométrico para los tres distritos mineros nos da un tamaño de grano del orden siguiente: Portovelo – Zaruma  $d_{80} = 129,07\mu\text{m}$  (116,6mallas); Bella Rica con  $d_{80} = 205,93\mu\text{m}$  (71.1 mallas); San Gerardo con  $d_{80} = 215,93\mu\text{m}$  (68,2 mallas)
- En el distrito Minero Portovelo – Zaruma con una molienda de 42minutos se obtuvo un tamaño de grano de 197,2 mallas (75,29 $\mu\text{m}$ ) alcanzando un óptimo rendimiento de 83,93% en la flotación, con una ley de 7,3 ppm de Au en el concentrado.
- En el distrito minero Bella Rica con una molienda de 78minutos se obtuvo un tamaño de grano de 204,6 mallas (72,3  $\mu\text{m}$ ) alcanzo un optimo rendimiento de 34,98% en la flotación, con una ley de 8,48ppm de Au en el concentrado.



- En el distrito minero San Gerardo con una molienda de 85 minutos se obtuvieron un tamaño de grano 223,4 mallas alcanzando un óptimo rendimiento de 50,04%, en la flotación, con una ley de 20 ppm en el concentrado.

## 7.2. RECOMENDACIONES

- En los relaves del distrito minero Portovelo – Zaruma, se recomienda flotar a pH 9 porque a pH superiores el oro se deprime; además por su composición mineralógica es aconsejable seguir utilizando la dosificación de reactivos establecida por Geobiotics.
- En los relaves del distrito minero Bella Rica y San Gerardo, se recomienda flotar a pH 6-7; esto se debe a que la flotabilidad de estos minerales sulfurados como la arsenopirita, pirrotita, piritita y calcopirita, es excelente a pH neutros y ligeramente ácidos.
- Se recomienda reemplazar el colector ditiofosfato 242 sugerido en el protocolo de Geobiotics por una combinación adecuada de colectores como el Aerofloat 4.037 que además tiene muy buena selectividad en este tipo de menas, para los casos de Bella Rica y San Gerardo.
- Para flotar los relaves de los distritos mineros de Bella Rica y San Gerardo, se recomienda incrementar la cantidad de la dosificación de reactivos sugeridos por el protocolo de Geobiotics, como colectores y espumantes.
- Se recomendaría realizar estudios de flotación a más detalle para cada uno de los distritos mineros Zaruma – Portovelo, Bella Rica y San Gerardo; esto significa probar diferentes pH, diferentes colectores etc.



## BIBLIOGRAFIA

1. Ávila M y Chapaca G (2004). Evaluación de las causas de la refractariedad de una arena relave de Orenas. Departamento de metalurgia extractiva. Escuela Politécnica Nacional Quito - Ecuador. VI International Conference on Clean Technologies for the Mining, University of Concepción – Chile.
2. Aramburú V, et al (2007). Recuperación de oro y plata de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo (pp. 28-37). Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol.10, N° 19. UNMSM 1561-0888.
3. Cenda (1996). Estudio Colectivo de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental en las Plantas de beneficio de Mineral Aurífero, PMSC - COSUDE, Loja.
4. Galán E (2004). Mineralogía Aplicada. España. Editorial Síntesis S.A. ISBN 84-9756-14-7.
5. Duque P (1995). Breve Léxico estratigráfico del Ecuador. Sistema de Información Geológica y Minera (SIM). Prodeminca.
6. Guartán J, Tamay J (2002). Optimización del Proceso de Recuperación de Oro Contenido en los Relaves de Molienda de la Planta Vivanco por el Método de Flotación – Cianuración. Ecuador. UTPL.
7. Guzmán L (2000). Aplicación Industrial de la Flotación y Cianuración de concentrados en el distrito San Gerardo provincia del Azuay. Escuela Politécnica Nacional.- Departamento de Metalurgia Extractivo. Universidad Católica de Lovaina Proyecto CIUF (Memorias de Desarrollo Minero Metalúrgico en el Ecuador).
8. Hocchleither R (1983). Minerales y Rocas. Una Guía de Identificación. España Ediciones Omega S.A. ISBN 84-282-0696-1.
9. Kirk, R, Othmer D (1962). Enciclopedia de Tecnología Química (1ª. ed.). Flotación (pp. 180-198) México D.F.: UTEHA. Tomo VIII.
10. Klein C, et al (1997). Manual de Mineralogía, (4ª. ed.). Capitulo: Mineralogía Sistemática.- Part I: Elementos Nativos, Sulfuros y Sulfosales (pp. 370-410). España. Editorial Reverté S.A. Tomo II, Cap. N° 10. ISBN -84-291-4607-5.
11. Ministerio de Energía y Minas junio (2007). El ABC de la Minería en el Ecuador. Dimedios.



12. Ministerio de Energía y Minas (2000). Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador Vol. I y IV. Ecuador. UCP Prodeminca. ISBN – 9978 – 41.371-5.
13. Ministerio de Energía y Minas (1998). Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental. Monitoreo de las Áreas Mineras en el Sur del Ecuador (1ª. ed.). Ecuador. UCP. Prodeminca. ISBN -9978- 40-872- x
14. Paladines A (1989). Zonificación Geotectónica y Metalogenia del Ecuador, Quito Ecuador, INEMIN.
15. Parra H y Miranda E (2008). Artículo: Flotación de un mineral que contiene oro asociado a pirrotita. El ingeniero de Mina. Proyecto Toromocho, Colegio de Ingenieros Minas del Perú revista N° 52 ( pp. 9-19).
16. Perry R. (2001) Manual del Ingeniero Químico (6ª. Ed.). Sección: Sistema de clasificación sólido-sólido y líquido-líquido.- Flotación (pp. 51-58). México. McGraw-Hill/Interamericana editores S.A. Tomo 2. ISBN-0-07-040479-7

#### **Referencias WEB.**

17. Fundamentos de Flotación. <http://www.alipso.com/monografias/flotacion/>
18. Manual de Minería. Estudios Mineros del Perú. S.A.C. [www.estudiosmineros.com](http://www.estudiosmineros.com)
19. Protocolo de flotación de minerales de cobre. <http://www.geobiotics.com/>
20. [www.igm.gov.ec](http://www.igm.gov.ec)
21. Características generales del clima en el Ecuador. Estudios climáticos. <http://www.inamhi.gov.ec/html/inicio.htm>
22. Difusión de resultados definitivos del VI censo de población y V de vivienda 2001- julio 2002. Fascículos de la Provincia del Oro y Azuay. <http://www.inec.gov.ec/web/guest/inicio>
23. Dirección Nacional de Minería. Gestión de seguimiento y control minero. Producción minera reportada en el año 2005. <http://www.mineriaecuador.com/Paginas/estadisticas.html>
24. Reactivos de flotación. <http://www.renasa.com.pe/xantatos.htm>



25. [www.requimich.cl/productos.html#RQ7001](http://www.requimich.cl/productos.html#RQ7001)
26. Vidalon J. Reactivos de flotación de minerales oxidados y no metálicos (2004).  
[http://www.wikilearning.com/flotacion\\_de\\_minerales\\_oxidados\\_de\\_plomo\\_resumen-wkccp-11649-1.htm](http://www.wikilearning.com/flotacion_de_minerales_oxidados_de_plomo_resumen-wkccp-11649-1.htm)



## ANEXOS

### ANEXO 1. CÁLCULO DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS RELAVES

#### Anexo 1.1. Distrito Minero Portovelo – Zaruma

$P_1$  = Peso del picnómetro vacío y seco

$P_2$  =  $P_1$  + peso de la muestra

$P_4$  =  $P_2$  + agua

$P_3$  =  $P_1$  + agua

ENSAYO #1

$P_1$  = 19,68

$P_2$  = 25,58

$P_4$  = 33,05

$P_3$  = 29,54

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

$$\gamma_e = \frac{(25,58 - 19,68)}{(29,54 - 19,68) - (33,05 - 25,58)} = \frac{5,9}{9,86 - 7,47} = 2,46$$

ENSAYO #2

$P_1$  = 19,66

$P_2$  = 25,75

$P_4$  = 33,20

$P_3$  = 29,54

$$\gamma_e = \frac{(25,75 - 19,66)}{(29,54 - 19,66) - (33,20 - 25,75)} = \frac{6,09}{9,88 - 7,45} = 2,506$$

ENSAYO #3

$P_1$  = 19,65

$P_2$  = 24,90

$P_4$  = 32,77

$P_3$  = 29,55

$$\gamma_e = \frac{(24,90 - 19,65)}{(29,55 - 19,65) - (32,77 - 24,90)} = \frac{6,09}{9,9 - 7,87} = 2,58$$



### Anexo 1.2. Distrito Bella Rica

ENSAYO #1

$$P_1 = 8,97$$

$$P_2 = 12,98$$

$$P_4 = 18,25$$

$$P_3 = 15,66$$

$$\gamma_e = \frac{(12,98 - 8,97)}{(15,66 - 8,97) - (18,25 - 12,98)} = \frac{4,01}{6,69 - 5,27} = 2,816$$

ENSAYO #2

$$P_1 = 8,96$$

$$P_2 = 13,78$$

$$P_4 = 18,69$$

$$P_3 = 15,60$$

$$\gamma_e = \frac{(13,78 - 8,96)}{(15,60 - 8,96) - (18,69 - 13,78)} = \frac{4,87}{6,64 - 4,91} = 2,815$$

### Anexos 1.3. Distrito San Gerardo

ENSAYO #1

$$P_1 = 8,96$$

$$P_2 = 12,53$$

$$P_4 = 17,87$$

$$P_3 = 15,60$$

$$\gamma_e = \frac{(12,53 - 8,96)}{(15,60 - 8,96) - (17,87 - 12,53)} = \frac{3,57}{6,64 - 5,34} = 2,746$$

ENSAYO #2

$$P_1 = 8,96$$

$$P_2 = 12,63$$

$$P_4 = 17,95$$

$$P_3 = 15,63$$

$$\gamma_e = \frac{(12,68 - 8,96)}{(15,63 - 8,96) - (17,95 - 12,68)} = \frac{3,72}{6,67 - 5,27} = 2,657$$



**ANEXO 2.** Tabla N° 20. Serie de tamices de Estados Unidos y equivalentes de Tyler  
(ASTM \_ E-11-61)

Designación del tamiz		Abertura de la malla		Diámetro nominal del alambre		Designación equivalente de Tyler
Estándar	Alternativa	mm.	In (equiv. Aprox.)	mm	In (equiv. Aprox.)	
107.6mm	4.24in.	107.6	4.24	6.40	0.2520	
101.6mm	4 in. †	101.6	4.00	6.30	0.2480	
90.5mm	3 ½ in.	90.5	3.5	6.08	0.2394	
76.1mm	3in.	76.1	3.00	5.80	0.2283	
64.0mm	2 ½ in	64.0	2.50	5.50	0.2165	
53.8mm	2.12in.	53.8	2.12	5.15	0.2028	
50.8mm	2 in. †	50.8	2.00	5.05	0.1988	
45.3mm	1 ¾ in.	45.3	1.75	4.85	0.1909	
38.1mm	1 ½ in.	38.1	1.50	4.59	0.1807	
32.0mm	1 ¼ in.	32.0	1.25	4.23	0.1665	
26.9mm	1.06 in.	26.9	1.06	3.90	0.1535	1.050 in
25.4mm	1 in. †	25.4	1.00	3.80	0.1496	
22.6mm	7/8 in.	22.6	0.875	3.50	0.1378	0.883 in
19.0mm	¾ in.	19.0	0.750	3.30	0.1299	0.742 in
16.0mm	5/8 in.	16.0	0.625	3.00	0.1181	0.624 in
13.5mm	0.530 in.	13.5	0.530	2.75	0.1083	0.525 in
12.7mm	½ in. †	12.7	0.500	2.67	0.1051	
11.2mm	7/16 in.	11.2	0.438	2.45	0.0965	0.441 in
9.51mm	3/8 in.	9.51	0.375	2.27	0.0894	0.371 in
8.00mm	5/16 in.	8.00	0.312	2.07	0.0815	2 ½ malla
6.73mm	0.265 in.	6.73	0.265	1.87	0.0736	3 malla
6.35mm	¼ in. †	6.35	0.250	1.82	0.0717	
5.66mm	No. 3 ½	5.66	0.223	1.68	0.0661	3 ½ malla
4.76mm	No. 4	4.76	0.187	1.54	0.0606	4 malla
4.00mm	No. 5	4.00	0.157	1.37	0.0539	5 malla
3.36mm	No. 6	3.36	0.132	1.23	0.0484	6 malla
2.83mm	No. 7	2.83	0.111	1.10	0.0430	7 malla
2.38mm	No. 8	2.38	0.0937	1.00	0.0394	8 malla
2.00mm	No. 10	2.00	0.0787	0.900	0.0354	9 malla
1.68mm	No. 12	1.68	0.0661	0.810	0.0319	10 malla
1.41mm	No. 14	1.41	0.0555	0.725	0.0285	12 malla
1.19mm	No. 16	1.19	0.0469	0.650	0.0256	14 malla
1.00mm	No. 18	1.00	0.0394	0.580	0.0228	16 malla
841micras	No. 20	0.841	0.0331	0.510	0.0201	20 malla
707micras	No. 25	0.707	0.0278	0.450	0.0177	24 malla
595micras	No. 30	0.595	0.0234	0.390	0.0154	28 malla
500micras	No. 35	0.500	0.0197	0.340	0.0134	32 malla
420micras	No. 40	0.420	0.0165	0.290	0.0114	35 malla
354micras	No. 45	0.354	0.0139	0.247	0.0097	42 malla
297micras	No. 50	0.297	0.0117	0.215	0.0085	48 malla
250micras	No. 60	0.250	0.0098	0.180	0.0071	60 malla
210micras	No. 70	0.210	0.0083	0.152	0.0060	65 malla
177micras	No. 80	0.177	0.0070	0.131	0.0052	80 malla
149micras	No. 100	0.149	0.0059	0.110	0.0043	100 malla
125micras	No. 120	0.125	0.0049	0.091	0.0036	115 malla
105micras	No. 140	0.105	0.0041	0.076	0.0030	150 malla
88micras	No. 170	0.088	0.0035	0.064	0.0025	170 malla
74micras	No. 200	0.074	0.0029	0.053	0.0021	200 malla
63micras	No. 230	0.063	0.0025	0.044	0.0017	250 malla
53micras	No. 270	0.053	0.0021	0.037	0.0015	270 malla
44micras	No. 325	0.044	0.0017	0.030	0.0012	325 malla
37micras	No. 400	0.037	0.0015	0.025	0.0010	400 malla

Fuente: Perry Robert (Manual del Ingeniero Químico)



### ANEXO 3. CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS DE OPTIMIZACIÓN DE LA MOLIENDA

#### Anexo 3.1. Portovelo - Zaruma

Tabla N° 21a. Modelo ejemplar para los cálculos de Granulometría del relave a 0 minutos de molienda

Nro.Malla	Abertura,µm	Peso,gr	peso,%	Acumulado retenido %	Acumulado Pasante %
10	2.000	0,05	0,02	0,020	100,0
18	1.000	0,17	0,07	0,090	99,9
35	500	0,16	0,07	0,155	99,8
60	250	3,99	1,63	1,785	98,2
120	125	55,2	22,55	24,339	75,7
230	63	85,29	34,85	59,187	40,8
325	45	27,79	11,35	70,541	29,5
+400	37	10,26	4,19	74,578	25,4
-400	0	1,39	0,57	75,146	24,9
Lamas		60,45	24,70	99,845	0,2
TOTAL		244,75	100,00		

Tabla N° 21b. Transformación de micrómetros a N° de Mallas

Coefficiente	Exponente	Respuesta	unidades
28.23	0.019	129.07	micrómetros
<i>Interpolación</i>			
<b>b</b>	100	149	<b>a</b>
<b>X</b>		129,07	<b>e</b>
<b>d</b>	120	125	<b>c</b>
Resultado		<b>116.6</b>	<b>Malla</b>

Abertura micrometros



#### **ANEXO 4: Protocolo sugerido por Enrique Carretero (Geobiotics)**

Un plan muy sencillo, válido sólo para una categoría de minerales, si tuviese más de una, habría que realizar las pruebas con cada una de estas categorías de minerales:

##### 1.- Ensayos de flotación exploratoria

##### 1.1.- Flotación de agotamiento

- Calibrar una molienda para un kilo de mineral, partiendo de muestra bajo malla 10, de manera de tener un producto molido de 60% bajo 200 mallas, y requerimiento de cal para llegar a pH 9.5
- Agregar a la molienda 15g/t de Isopropil etil tiocarbamato (323 o equivalente)
- En la celda de flotación para tener 30% de sólidos y pH 9.5
- Agregar 20g/t de Xantato Isopropílico de sodio (SF 113 o equivalente)
- Agregar 15g/t de espumante mezcla de 75% DF -250 y 25% MIBC
- Acondicionar tres minutos
- Flotar 20 minutos pero retirar concentrados cada 5 minutos (4). Si se requiere espumante, adicionar gotas durante la flotación y reportar su consumo. Si el nivel de la celda baja mucho, recuperar el nivel adicionando agua
- Observar las colas, si están muy piritosas o mineralizadas, agregar más Xentato, sin recuperar el pH y flotar otros 10 minutos.

Con las observaciones visuales de cada concentrado, decidir si juntarlos todos o analizarlos individualmente por oro, plata, cobre, zinc, fierro total y plomo, o cualquier otro valor metálico de interés.

##### 1.2.- Flotación de separación de Oro de Pirita

Se asume que el oro esta asociado a cuarzo y no a pirita y por flotación selectiva se podría tener un concentrado de oro de alta ley.

- Agregar a la molienda cal para llegar a pH 10.5
- Agregar 15g/t de Isopropil etil tiocarbamato (SF - 323)
- Acondicionar a pH 10.5, agregar 15g/t de mezcla espumante, y acondicionar por tres minutos
- Flotar 15 minutos, retirando concentrados cada cinco minutos.
- Analizar estos concentrados por oro, plata, cobre, plomo, zinc y fierro

##### 1.3.- Flotación diferencial

Se asume que se podría separar esfalerita de oro

- Repetir las flotación anterior, pero ajustando el pH a 5.5 a 6.5 con ácido sulfúrico, dependiendo del contenido de caliza, si fuese un exceso de ácido requerido, flotar a pH levemente inferior a 7, reportar el gasto de ácido



- Generar un solo concentrado de 10 minutos
- Agregar cal a las colas anteriores para tener pH 10.0
- Agregar 15g/t de Xantato
- Acondicionar por tres minutos
- Agregar espumante necesario
- Flotar 10 minutos, sacar un solo concentrado
- Analizar los concentrados por oro, Plata fierro, cobre zinc plomo y fierro total

## ANEXO 5. REPORTE DE LA DOSIFICACIÓN Y CONSUMO DE REACTIVOS DE FLOTACIÓN.

### Anexo 5.1. Dosificación de reactivos

La dosificación de reactivos viene especificada en g/t, la cantidad de reactivo a utilizar por peso de muestra se calcula con la siguiente expresión matemática:

$$X = \frac{R * WR}{Wt}$$

Donde:

R = cantidad de reactivo especificada g/t

WR = peso de la muestra

Wt = 1 de tonelada de peso

242 15g/t

$$X = \frac{R * WR}{Wt} = \frac{15g * 3750g}{1000000g} = \frac{56250g}{1000000} = 0.05625g$$

KAX 20gr

$$X = \frac{R * WR}{Wt} = \frac{20g * 3750g}{1000000g} = \frac{75000g}{1000000} = 0.075g$$

SiO<sub>3</sub>Na<sub>2</sub> 250gr

$$X = \frac{R * WR}{Wt} = \frac{250g * 3750g}{1000000g} = \frac{937500g}{1000000} = 0.9375g$$

RS 370 15gr

$$X = \frac{R * WR}{Wt} = \frac{15g * 3750g}{1000000g} = \frac{56250g}{1000000} = 0.05625g$$



## Anexo 5.2. Consumo de Reactivos

Tabla N° 22. Cantidad de reactivos utilizados.

Nro de ensayos	Nombre de reactivo	Peso (g) reactivo	Peso (g) total
27	242	0,05625	1,518
27	KAX Z-6	0,075	2,025
27	SiO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub>	0,9375	25,31
27	Rs 370	0,05625	1,518

## ANEXOS 6. LECTURAS DE LA MUESTRAS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

COMPANIA MINERA VALAREZO RIVERA (COMMIVARI S.A.)

EL PACHE – PORTOVELO, 09 de marzo de 2009

### Anexo 6.1. Distrito Portovelo-Zaruma

Tabla N° 23. Contenido en ppm de Au por muestra

N° de Muestra	Código de Muestra	Ley de Au (ppm)
1	PZ	1,17
2	PZ180AC	3,44
3	PZ180BC	5,58
4	PZ180CC	7,25
5	PZ180AR	0,86
6	PZ180BR	0
7	PZ180CR	0,47
8	PZ200AC	7,31
9	PZ200BC	5,21
10	PZ200CC	0,7
11	PZ200AR	0,5
12	PZ200BR	0
13	PZ200CR	0,56
14	PZ220AC	5,88
15	PZ220BC	5,86
16	PZ220CC	7,99
17	PZ220AR	0,38
18	PZ220BR	0,4
19	PZ220CR	0,43



COMPANIA MINERA VALAREZO RIVERA (COMMIVARI S.A.)

EL PACHE – PORTOVELO, 09 de marzo de 2009

**Anexo 6.2. Distrito Bella Rica**

Tabla N° 24. Contenido en ppm de Au por muestra

N° de Muestra	Código de Muestra	Ley de Au (ppm)
1	BR	2,28
2	BR180AC	6,35
3	BR180BC	7,8
4	BR 180CC	8,8
5	BR 180AR	1,28
6	BR 180BR	1,94
7	BR 180CR	1,53
8	BR 200AC	4,26
9	BR 200BC	4,28
10	BR 200CC	8,48
11	BR 200AR	1
12	BR 200BR	1,36
13	BR 200CR	0,95
14	BR 220AC	6,88
15	BR 220BC	3,71
16	BR 220CC	4,57
17	BR 220AR	0,94
18	BR 220BR	1,88
19	BR 220CR	1,37



COMPANIA MINERA VALAREZO RIVERA (COMMIVARI S.A.)

El Pache – Portovelo, 09 de marzo de 2009

**Anexo 6.3. Distrito San Gerardo**

Tabla N° 25. Contenido en ppm de Au por muestra

N° de Muestra	Código de Muestra	Ley de Au (ppm)
1	SG	5,35
2	SG180AC	8
3	SG180BC	16,8
4	SG180CC	10,23
5	SG 180AR	2
6	SG 180BR	4,44
7	SG180CR	4,4
8	SG200AC	31
9	SG200BC	23,25
10	SG200CC	5,9
11	SG 200AR	3,46
12	SG 200BR	3.19
13	SG200CR	3,3
14	SG220AC	20
15	SG220BC	13,5
16	SG220CC	9,75
17	SG 220AR	3,01
18	SG 220BR	3,63
19	SG220CR	4,94