



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

TITULACIÓN DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

**Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente de la  
Herradura - Chinapintza**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

**AUTORA:** Espinoza Maldonado, Jessica Karina

**DIRECTOR:** Sanmartín Gutiérrez, Víctor Aurelio, Mg.

LOJA – ECUADOR

2014

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN**

Magister.

Sanmartín Gutiérrez Víctor Aurelio

DOCENTE EN LA TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente de la Herradura – Chinapintza, realizado por Espinoza Maldonado Jessica Karina, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por ello se aprueba la presentación del mismo.

Loja, octubre de 2014

f) .....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Espinoza Maldonado Jessica Karina declaro ser autora del presente trabajo de fin de titulación: Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente de la Herradura – Chinapintza, de la Titulación en Ingeniería en Geología y Minas, siendo Víctor Aurelio Sanmartín Gutiérrez, director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

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. ....  
Jessica Espinoza M.  
1104778756

## **DEDICATORIA**

Al concluir con una más de mis etapas académicas, dedico este proyecto a Dios, quien me ha bendecido y guiado en cada día de mi vida, a mi hijo Rafael Ortega, que es la luz de mis ojos, la inspiración, el orgullo y mi razón de ser; a mi esposo Marco Ortega, que es mi apoyo y mi pilar importante en cada momento; a mis papas Eloísa Maldonado y José Espinoza, que han sido mi ejemplo a seguir, y las personas que me han impulsado y apoyado a seguir mis sueños; a mis hermanos Susana Espinoza y Patricio Espinoza, que siempre han estado para ayudarme, apoyarme y siempre escucharme en todo momento; a mis tíos y familia política, que han sabido apoyarme y darme sus consejos. A mis amigos y compañeros que han sido un apoyo en la culminación de mi tesis.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Técnica Particular de Loja, que me acogió para mi formación profesional y personal, en especial al Departamento de Geología y Minas, que cuenta con personal capacitado, que le gusta ayudar y compartir de una manera desinteresada sus conocimientos, a todos ellos gracias.

Agradezco a Dios por darme la vida, salud, sabiduría y a personas tan buenas a mi lado.

Agradezco a mi director de tesis, Víctor Sanmartín, que supo compartir sus conocimientos y tiempo, durante todo el desarrollo de la tesis.

Agradezco a mis compañeros porque de una u otra manera supimos compartir conocimiento que nos ayudó a desarrollar nuestra tesis.

Agradezco a mis papas por todo el apoyo que me han dado toda mi vida, la vida me quedaría corta para devolverles todo lo que me han sabido dar.

Agradezco a mi esposo e hijo, por la paciencia que me han tenido, y el apoyo que he recibido por ustedes dos, los amo mucho.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |     |
|--|-----|
| APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN .....                 | ii  |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....                              | iii |
| DEDICATORIA .....  | iv  |
| AGRADECIMIENTO .....   | v   |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS .....   | vi  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | ix  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | ix  |
| ÍNDICE DE FOTOS.....   | x   |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS .....   | xi  |
| ÍNDICE DE CURVAS .....   | xii |
| RESUMEN EJECUTIVO .....  | 1   |
| ABSTRACT .....   | 2   |
| INTRODUCCIÓN .....   | 3   |
| CAPITULO I.....  | 5   |
| GENERALIDADES.....   | 5   |
| 1.1. Antecedentes. ....  | 6   |
| 1.2. Justificación. ....   | 7   |
| 1.3. Objetivos.....  | 9   |
| 1.3.1. Objetivo General.....   | 9   |
| 1.3.2. Objetivos Específicos. ....   | 9   |
| CAPITULO II.....   | 10  |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS – GEOGRÁFICAS DEL DISTRITO MINERO<br>CHINAPINTZA ..... | 10  |

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Localización geográfica y acceso.....                      | 11 |
| 2.2. Clima.....   | 12 |
| 2.3. Flora y Fauna.....   | 13 |
| 2.4. Relieve.....   | 13 |
| 2.5. Hidrografía.....   | 14 |
| 2.6. Población de la Zona y Población Minera.....               | 15 |
| CAPITULO III.....   | 16 |
| GEOLOGÍA DEL DISTRITO MINERO CHINAPINTZA.....                   | 16 |
| 3.1. Geología regional.....                                     | 17 |
| 3.1.1. Unidad Isimanchi (CM).....                               | 17 |
| 3.1.2. Unidad Piuntza (TrP).....                                | 17 |
| 3.1.3. Unidad Misahuallí (JKM).....                             | 17 |
| 3.1.4. Formación Hollín (KH).....                               | 18 |
| 3.1.5. Batolito de Zamora (J2?).....                            | 18 |
| 3.1.6. Intrusivo Chinapintza (CZ?).....                         | 18 |
| 3.2. Geología Local.....  | 19 |
| 3.2.1. Rocas Subvolcánicas (Cretácico Med.-Sup.).....           | 20 |
| 3.2.2. Rocas Metamórficas (Jurásico Sup. a Cretácico Inf.)..... | 21 |
| 3.2.3. Intrusivos (Jurásico Inf.-Med.).....                     | 22 |
| 3.2.4. Intrusivo Subvolcánico (Cretácico Medio).....            | 23 |
| CAPITULO IV.....  | 25 |
| MÉTODOS DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA.....                      | 25 |
| 4.1. Mesa Vibratoria.....                                       | 26 |
| 4.1.1. Gamella.....   | 26 |
| 4.1.2. Mesa de Sacudida.....                                    | 26 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2. Concentración Centrifuga Knelson MD3. ....          | 27 |
| CAPITULO V.....  | 29 |
| MÉTODOS Y MATERIALES .....                               | 29 |
| 5.1. Muestreo.....                                       | 30 |
| 5.2. Preparación de la muestra. ....                     | 32 |
| 5.2.1. Trituración de las muestras.....                  | 32 |
| 5.3. Análisis Mineralógico. ....                         | 33 |
| 5.3.1. Sección Pulida.....                               | 33 |
| 5.4. Análisis Granulométrico. ....                       | 34 |
| 5.5. Análisis Químico. ....                              | 35 |
| 5.5.1. Fusión – Copelación.....                          | 36 |
| 5.5.2. Digestión .....                                   | 37 |
| 5.5.3. Lectura de las muestras .....                     | 38 |
| 5.6. Concentración Centrifuga Knelson.....               | 39 |
| 5.7. Concentración Gravimétrica con Mesa Vibratoria..... | 41 |
| 5.8. Etapas de los Ensayos Experimentales. ....          | 42 |
| CAPITULO VI.....   | 46 |
| DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....                            | 46 |
| 6.1. Caracterización del mineral. ....                   | 47 |
| 6.1.1. Mineralogía de la muestra. ....                   | 47 |
| 6.1.2. Peso específico. ....                             | 52 |
| 6.1.3. Granulometría inicial de la muestra. ....         | 53 |
| 6.1.4. Análisis químico de cabeza. ....                  | 54 |
| 6.2. Tiempo óptimo de molienda. ....                     | 55 |
| 6.2.1. Tiempo óptimo de molienda Mesa Vibratoria.....    | 56 |



|   |    |
|---|----|
| 6.2.2. Tiempo óptimo de molienda Knelson.....                                       | 58 |
| 6.2.3. Tiempo óptimo de molienda Mesa vibratoria - Knelson.....                     | 60 |
| 6.3. Mesa Vibratoria.....   | 62 |
| 6.3.1. Recuperación de oro. ....  | 62 |
| 6.4. Knelson.....   | 64 |
| 6.4.1. Recalculo del balance metalúrgico de Au Knelson. ....                        | 64 |
| 6.4.2. Recuperación de Au. ....   | 67 |
| 6.5. Mesa Vibratoria – Knelson. ....  | 71 |
| 6.5.1. Recalculo del balance metalúrgico de Au en Mesa vibratoria –<br>Knelson..... | 71 |
| 6.5.2. Recuperación de oro. ....  | 71 |
| CONCLUSIONES .....  | 73 |
| RECOMENDACIONES .....   | 74 |
| BIBLIOGRAFÍA .....  | 75 |

### ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación Geográfica del Distrito Chinapintza..... | 11 |
| <b>Figura 2.</b> Ruta de acceso Loja-Chinapintza.....               | 12 |

### ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Población de asentamiento de personas en Chinapintza.....            | 15 |
| <b>Tabla 2.</b> Datos de la curva de calibración del equipo.....                     | 39 |
| <b>Tabla 3.</b> Análisis de los porcentajes de mineral existentes en la muestra..... | 47 |
| <b>Tabla 4.</b> Análisis de los porcentajes de mineral existentes en la muestra..... | 48 |
| <b>Tabla 5.</b> Análisis de los porcentajes de mineral existentes en la muestra..... | 49 |
| <b>Tabla 6.</b> Análisis de los porcentajes de mineral existentes en la muestra..... | 51 |
| <b>Tabla 7.</b> Peso específico de la muestras Chinapintza – Herradura.....          | 53 |

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Tabla 8.</b>  | Análisis granulométrico para la determinación del $D_{80}$ .....                       | 53 |
| <b>Tabla 9.</b>  | Análisis químico de cabeza.....  | 55 |
| <b>Tabla 10.</b> | Tiempo óptimo de molienda para el ensayo en mesa vibratoria.....                       | 56 |
| <b>Tabla 11.</b> | Tiempo óptimo de molienda para el ensayo en Knelson.....                               | 58 |
| <b>Tabla 12.</b> | Tiempo óptimo de molienda para el ensayo combinado (mesa vibratoria –<br>Knelson)..... | 60 |
| <b>Tabla 13.</b> | Balance metalúrgico de Au para el ensayo en mesa vibratoria.....                       | 62 |
| <b>Tabla 14.</b> | Balance metalúrgico de Au para el ensayo en Knelson<br>a malla 180.....                | 65 |
| <b>Tabla 15.</b> | Balance metalúrgico de Au para el ensayo en Knelson<br>a malla 200.....                | 65 |
| <b>Tabla 16.</b> | Balance metalúrgico de Au para el ensayo en Knelson<br>a malla 225.....                | 66 |
| <b>Tabla 17.</b> | Balance metalúrgico de Au para el ensayo en Knelson.....                               | 67 |
| <b>Tabla 18.</b> | Balance metalúrgico de Au para el ensayo en Mesa vibratoria –<br>Knelson.....          | 71 |
| <b>Tabla 19.</b> | Balance metalúrgico de Au para el ensayo combinado Mesa<br>vibratoria.....             | 71 |
| <b>Tabla 20.</b> | Balance metalúrgico de Au para el ensayo combinado Knelson.....                        | 71 |

## ÍNDICE DE FOTOS

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Foto 1.</b>  | Río Nangaritzta.....                          | 15 |
| <b>Foto 2.</b>  | Mecanismo interno del Knelson MD3.....        | 28 |
| <b>Foto 3.</b>  | Muestras dentro de la mina.....               | 30 |
| <b>Foto 4.</b>  | Muestreo dentro de mina.....                  | 31 |
| <b>Foto 5.</b>  | Mina en Chinapintza – Herradura.....          | 31 |
| <b>Foto 6.</b>  | Triturador Retsch BB2.....                    | 32 |
| <b>Foto 7.</b>  | Homogenización y cuarteo de las muestras..... | 33 |
| <b>Foto 8.</b>  | Sección Pulida.....                           | 34 |
| <b>Foto 9.</b>  | Análisis granulométrico.....                  | 35 |
| <b>Foto 10.</b> | Fusión Copelación.....                        | 37 |
| <b>Foto 11.</b> | Digestión.....                                | 38 |
| <b>Foto 12.</b> | Lectura de las muestras.....                  | 39 |

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>Foto 13.</b> | Knelson MD3.....   | 40 |
| <b>Foto 14.</b> | Procesos de separación de la Mesa Vibratoria.....                | 42 |
| <b>Foto 15.</b> | Muestra usada para la sección pulida.....                        | 48 |
| <b>Foto 16.</b> | Muestra para el análisis petrográfico.....                       | 49 |
| <b>Foto 17.</b> | Muestra de minerales bajo el microscopio con luz polarizada..... | 50 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Grafico 1.</b>  | Difractogramas de los porcentajes de minerales<br>existentes en la muestra.....                       | 52 |
| <b>Grafico 2.</b>  | Curva granulométrica y determinación del $D_{80}$ .....   | 54 |
| <b>Grafico 3.</b>  | Curva granulométrica y determinación del $D_{80}$ a 15 minutos.....                                   | 56 |
| <b>Grafico 4.</b>  | Curva granulométrica y determinación del $D_{80}$ a 20 minutos.....                                   | 57 |
| <b>Grafico 5.</b>  | Curva granulométrica y determinación del $D_{80}$ a 25 minutos.....                                   | 57 |
| <b>Grafico 6.</b>  | Curva granulométrica y determinación del $D_{80}$ a 25 minutos.....                                   | 58 |
| <b>Grafico 7.</b>  | Curva granulométrica y determinación del $D_{80}$ a 30 minutos.....                                   | 59 |
| <b>Grafico 8.</b>  | Curva granulométrica y determinación del $D_{80}$ a 35 minutos.....                                   | 59 |
| <b>Grafico 9.</b>  | Curva granulométrica y determinación del $D_{80}$ a 20 minutos.....                                   | 61 |
| <b>Grafico 10.</b> | Curva granulométrica y determinación del $D_{80}$ a 25 minutos.....                                   | 61 |
| <b>Grafico 11.</b> | Porcentajes de recuperación de Au de los diferentes tipos<br>de mallas usados en mesa vibratoria..... | 63 |
| <b>Grafico 12.</b> | Porcentajes de recuperación de Au de los diferentes tipos<br>de mallas y PSI usados en Knelson.....   | 70 |

## ÍNDICE DE CURVAS

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Curva 1.</b> | Efecto del número de malla en función a la recuperación y la ley del concentrado de cada número de malla..... | 63 |
| <b>Curva 2.</b> | Efecto de los PSI en función a la recuperación y la ley de Au.....  | 67 |
| <b>Curva 3.</b> | Efecto de los PSI en función a la recuperación y la ley de Au.....  | 68 |
| <b>Curva 4.</b> | Efecto de los PSI en función a la recuperación y la ley de Au.....  | 68 |
| <b>Curva 5.</b> | Curva del porcentaje de recuperación de Au y la ley de Au en las diferentes granulometrías en Knelson.....    | 69 |

## RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación impulsada por el Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja, está orientada a la aplicación de métodos gravimétricos de recuperación de oro con materia de mina del distrito de Chinapintza.

El trabajo se desarrolló desde la visita y toma de muestras en la mina del distrito Herradura – Chinapintza de donde se tomó material de veta, así como un correcto análisis de laboratorio y un análisis de gabinete.

Al aplicar los ensayos metalúrgicos de Knelson y mesa vibratoria por separado y combinado, nos permiten determinar el porcentaje de recuperación de oro.

El proyecto de investigación contribuye a generar información sobre la aplicación de los ensayos metalúrgicos en la minería, tomando en cuenta que estos no son agresivos con el medio ambiente y sus resultados al aplicarlos son factibles y favorables.

**PALABRAS CLAVES:** Métodos gravimétricos, laboratorio, ensayo metalúrgico, Knelson, mesa vibratoria, análisis mineralógico, análisis químico, análisis granulométricos, Geología y Minas – Tesis.

## **ABSTRACT**

This research sponsored by the Department of Mines and Geology and Civil Engineering at the Technical University of Loja, is aimed at the application of gravimetric methods for gold recovery with regard to mine Chinapintza district.

The work was developed from the tour and sampling at the Herradura mine district - where Chinapintza vein material and proper laboratory tests and analysis took office.

By applying metallurgical tests and shaking table Knelson separately and combined, allow us to determine the percent recovery of gold.

The research project contributes to information about applying the mining metallurgical testing, taking into account that these are not aggressive to the environment and to apply their results are feasible and favorable.

**KEYWORDS:** gravimetric methods, laboratory, metallurgical testing, Knelson, vibrating table, mineralogical analysis, chemical analysis, grain size analysis, Geology and Mines - Theses.

## INTRODUCCIÓN

El tema de la presente investigación consiste en la aplicación de métodos gravimétricos en material traído del Distrito Minero de Chinapintza, con la finalidad de erradicar el uso de mercurio en el sector, ya que este es nocivo y contamina el medio ambiente.

De esta manera, el capítulo I contiene los antecedentes, la justificación y los objetivos que se utilizó para la realización de la presente investigación.

El capítulo II contiene la localización geográfica y el acceso al Distrito Minero Chinapintza, así como el clima, la flora y la fauna, relieve, la hidrografía, el número de población y mineros que habitan en el sector.

El capítulo III contiene la geología regional y local del sector de estudio, detallando los periodos/épocas, formaciones y mineralización de cada una de estas.

El capítulo IV contiene los métodos de concentración gravimétrica, estos son Mesa Vibratoria y Knelson, donde se detalla de forma resumida su concepto y procedimientos.

El capítulo V contiene los métodos que se aplican en el proyecto, detallando los procedimientos a seguir para cada ensayo; así como los materiales usados en cada procedimiento.

En el capítulo VI se detalla los resultados obtenidos, con sus respectivas discusiones de los diferentes análisis y ensayos realizados en los laboratorios.

El capítulo VII contiene las conclusiones determinadas para este estudio en base a los objetivos planteados, los mismos que se cumplen; además de las recomendaciones que se hacen para mitigar algunos problemas que se encuentren.

Es importante la presente investigación ya que nos permite encontrar nuevas maneras que sirvan para la extracción del oro sin el uso de contaminantes que solo perjudican el medio y sus alrededores.

El uso del mercurio es el problema que afecta a la pequeña minería y al distrito minero Chinapintza, es por ello que en vista de esta problemática se plantea métodos gravimétricos que son económicos y sirven para la extracción del oro e incluso pueden mejorar su rendimiento o ley.

La metodología utilizada para llevar a cabo la presente investigación estuvo basada en tres partes: primero se efectúa el trabajo de campo para obtener información y muestras suficientes que nos sirvan para el desarrollo del proyecto, luego se efectúa el trabajo de laboratorio que nos sirve para realizar los diferentes análisis y ensayos para poder cumplir con los objetivos planteados y por último se realiza el análisis de gabinete que contiene las tablas y gráficas de los datos obtenidos del laboratorio.



## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

## **1.1. Antecedentes.**

La minería en el Ecuador se remota a partir de las primeras comunidades existentes en nuestro país, que de manera empírica llevaron a cabo los actos de minería.

En la actualidad la minería es considerada como el pilar fundamental en la economía nacional, posee grandes e importantes yacimientos minerales, sobretodo en la parte Sur de nuestro país.

La explotación y beneficios de los recursos minerales en la actualidad están dedicados a la recuperación de oro, plata y cobre, que se están explotando en todos los distritos mineros de nuestro país.

De acuerdo con cifras de la Cámara de Minería, en el Ecuador existen importantes reservas de minerales como oro (71.667 millones de onzas), plata (3.702 millones) y cobre (75.370 millones de toneladas métricas). Esas reservas podrían reportar al país alrededor de 200.000 millones de dólares antes de agotarse.

Todos los yacimientos del Suroriente ecuatoriano, están relacionados a un arco volcánico continental de edad jurásica. (Paladines & Soto, 2010).

Chinapintza fue uno de los primeros yacimientos encontrados en los años 80. Esta área mineralizada forma parte de una enorme provincia aurífera, localizada en las Cordilleras Orientales de los Andes centrales y nórdicos.

Los métodos aplicados en la recuperación del mineral de oro en este distrito minero son muy deficientes debido a la falta de conocimientos técnicos por parte de los mineros, la mayor parte de esta población se dedica a la minería artesanal, la misma que puede afectar a las comunidades y degradar el medio ambiente.

La minería artesanal puede contaminar los ríos por el uso del mercurio, la construcción de represas improvisadas y empíricas, la acumulación de sedimentos, las malas condiciones sanitarias y los desechos arrojados en los ríos; otro factor que afecta al medio ambiente es el cierre inadecuado de minas ya que resulta en drenaje ácido de roca.

Resultado de todo esto, en el sector, se ve afectado principalmente el río Nangaritza, que es donde la quebrada Chinapintza desemboca llevando consigo mercurio y otros contaminantes.

El método gravimétrico es un proceso físicos que nos permite separar los minerales o partículas de igual tamaño o densidad. Su finalidad es que las partículas se mantengan ligeramente apartadas para que así logren separarse idealmente en capas de minerales densos y ligeros.

## **1.2. Justificación.**

La minería artesanal y de pequeña escala es la minería practicada por individuos, grupos o comunidades de personas que usualmente de manera informal la practican.

El uso de mercurio en circuito abierto es el problema que sin duda acarrea las mayores pérdidas de mercurio en la producción de oro. Los molinos y amalgamación simultánea, pierden entre 5 y 10 kg de mercurio y en casos extremos hasta 25 kg para recuperar 1 kg de oro.

El mercurio se usa para separar y extraer el oro de las rocas en las que se encuentra, su mecanismo consiste en adherirse al oro, formando una amalgama que facilita su separación de la roca. Luego se calienta la amalgama para que se evapore el mercurio y quede el oro.

Chinapintza es un sector que desde los años 80 aproximadamente, su actividad económica principal, es la extracción de oro de una forma artesanal. La finalidad del proyecto es usar nuevas formas de extracción del mineral de oro de una manera menos agresiva y amable para el medio ambiente. Es por ello que la presente investigación se realiza con la necesidad de buscar y conocer nuevas maneras de extracción del mineral de oro, aplicando nuevas tecnologías metalúrgicas, como son concentración centrífuga con Knelson y mesa vibratoria, para ello se realizara análisis mineralógicos y químicos, para contar con información detallada de los minerales y leyes existentes en el lugar de estudio.

Para poder resolver el problema de contaminación que aqueja a la Herradura – Chinapintza, con el proyecto se pretende aplicar métodos gravimétricos de concentración que no contamina. Estos métodos nos permiten separar minerales de igual tamaño o densidades, el fluido utilizado es el agua. La finalidad de la gravimetría es que las partículas se mantengan ligeramente apartadas para que así logren separarse idealmente en capas de minerales densos y ligeros.

Los ensayos metalúrgicos a usarse son: mesa vibratoria y concentración centrífuga Knelson.

La mesa vibratoria es considerada de modo general, el equipo más eficiente para el tratamiento de materiales con granulometría fina. Es un equipo muy utilizado en la limpieza de concentrado primario o secundario de menas de oro libre y menas aluviales. Al aplicar la mesa vibratoria lo que vamos a obtener es la clasificación de partículas minerales de acuerdo a su tamaño.

Concentración centrífuga Knelson, recupera partículas de oro de tamaños que van desde  $\frac{1}{4}$ " (0,64cm) hasta aproximadamente 1 micrón. El concentrador centrífugo Knelson, consiste de un cono perforado con anillos internos, que gira a alta velocidad. La alimentación, que en general debe ser inferior a  $\frac{1}{4}$ ", es introducida como pulpa (20-40% sólidos en peso) por un conducto localizado en la parte central de la base del cono. Las partículas, al alcanzar la base del cono, son impulsadas para las paredes laterales por la acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación del cono. Se forma un lecho de volumen constante en los anillos, los cuales retienen las partículas más pesadas, mientras que las más livianas son expulsadas del lecho y arrastradas por arriba de los anillos para el área de descarga de relaves en la parte superior del cono (Eyzaquirre G.).

Las técnicas metalúrgicas que usaremos se las realizará primero de manera individual para obtener el rendimiento de cada método, para luego unirlos y verificar el rendimiento y sacar las conclusiones de las técnicas usadas.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Aplicar métodos gravimétricos de recuperación de oro, como mesa vibratoria y concentración centrífuga Knelson, estimando los porcentajes de rendimiento.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Caracterización de las muestras
- Análisis mineralógico de la mena mediante sección pulida
- Análisis químico de cabeza
- Análisis granulométrico
- Evaluar el rendimiento en concentración por Knelson
- Evaluar el rendimiento en concentración por Mesa Vibratoria

## **CAPITULO II**

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS – GEOGRÁFICAS DEL DISTRITO MINERO CHINAPINTZA**

## 2.1. Localización geográfica y acceso.

Chinapintza está ubicada al Noreste de la Cordillera del Cóndor en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Paquisha, limitado con el vecino país de Perú. Esta zona políticamente pertenece a la parroquia Nuevo Quito (Figura 1).

Chinapintza está ubicada en el Sureste del Ecuador a 134 km desde la ciudad de Loja y 35 km desde la ciudad de Zamora

El acceso al distrito de Chinapintza por vía terrestre se lo puede realizar desde la ciudad de Zamora por la Troncal Amazónica (E45) o desde la ciudad de Loja por la Transversal Sur (E50). La vía aérea es otra vía de acceso, este tipo de transporte se lo realiza desde Guayaquil o Quito hasta Cumbaratza, de ahí hay 78 km hasta Chinapintza por transporte terrestre (Figura 2).



Figura 1.-Ubicación Geográfica del Distrito Chinapintza  
Fuente: Espinoza, 2014

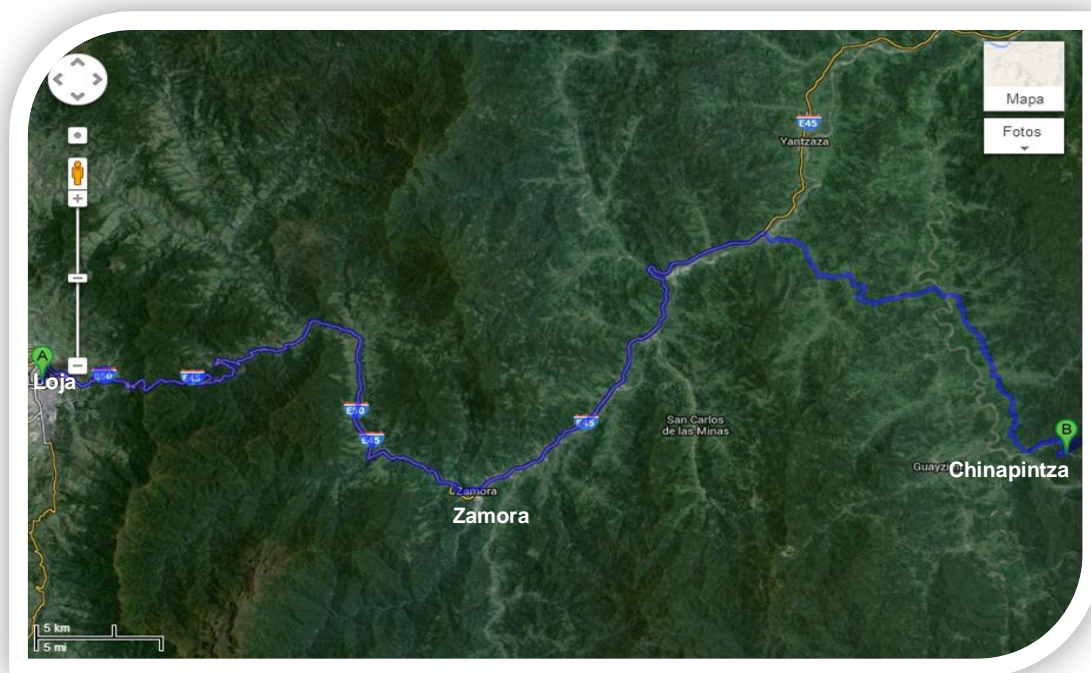


Figura 2.- Ruta de acceso Loja-Chinapintza  
Fuente: Espinoza, 2014

## 2.2. Clima

Chinapintza se ubica en la región amazónica húmeda subtropical. Según datos de PREDESUR, presenta una precipitación anual entre 2000 y 3000 mm. Se encuentra a una altura promedio de 846 m.s.n.m.

La temperatura según la media de ecuación térmica presenta un valor medio anual de 18 y 20°C, no existe a nivel mensual un valor de alteración significativo puesto que la oscilación térmica es de  $\pm 1,7^{\circ}\text{C}$ , entre los meses cálidos aproximadamente 18,7°C y el mes más frío 16°C.

La precipitación media normal generada durante el año (enero - diciembre) en el sector es de 2850 mm; siendo los meses más lluviosos abril, mayo y junio con valores entre 300,5 a 291,4 mm, el mes menos lluvioso presenta un valor de 201,8 mm, oscilando entre 201,8 y 300,5 mm correspondiente al mes de julio; la época seca se produce entre los meses de octubre y noviembre.



La humedad relativa tiene un valor aproximado del 91%. Debido a la humedad alta, los valores de evaporación del suelo son bajos. El lugar presenta regiones isométricas con valores anuales mínimas (PREDESUR 1996).

La clasificación climática según Köppen para el área de asentamiento minero “Chinapintza” se ha caracterizado de la siguiente manera:

- \* Le corresponde a la zona, templado-lluvioso (c), teniendo un tipo de clima templado de ambiente húmedo (cf) y caracterizado por tener inviernos lluviosos y veranos relativamente muy cortos durante el año.

### **2.3. Flora y Fauna.**

Chinapintza cuenta en su mayor parte con una variedad de especies tanto vegetal como animal.

Las especies forestales más abundantes son: cedro, laurel, seique, la palma y la chonta. También cuenta con bosque natural de exuberante vegetación.

Las especies animales más comunes de la zona son: la yamala, la guatusa, el amingo, la boa, el corroncho, el tigrillo, la danta, etc. (ESPOL)

### **2.4. Relieve.**

El relieve se caracteriza por ser irregular, ya que está dominado por dos tipos de paisajes, el primero es un amplio valle con elevaciones de 1200 m hasta 9000 m.; con formaciones de coluviales y aluviales, los mismos que se han formado por efecto del agua, arrastrando y acumulan gran cantidad de clastos y arenas, generalmente estas son gravas auríferas.

El segundo paisaje contiene elevaciones de 2600 m que corresponde a la zona alta de la Cordillera del Cóndor. Esta zona en su mayoría contiene amplia vegetación. (Jimenez, 2006)

## **2.5. Hidrografía.**

En el distrito de Chinapintza su principal efluente es la quebrada Chinapintza que desemboca en el río Nangaritzta, el cual se origina en la parte Sur de la provincia de Zamora Chinchipe y corre hacia el Norte a lo largo del lado occidental de la Cordillera del Cóndor hasta unirse con el río Zamora (Aguirre, 2002).

El río Nangaritzta escurre sus aguas con dirección Sur – Norte y recoge en su margen derecha todos los sistemas de drenaje que descienden de la Cordillera del Cóndor; y por su margen izquierdo recibe drenajes importantes que se forman en la Cordillera Tzunantza, como son los ríos Chumbiriatza, Numpatakaime.

El río Nangaritzta al igual que el río Yacuambi son considerados regionalmente como los más importantes ya que aportan gran cantidad de volumen de agua al Zamora, el cual se une más adelante con el río Namangonza para luego formar el Santiago, el mismo que desemboca en el majestuoso Amazonas.

La subcuenca del río Conguime forma parte de la Cordillera del Cóndor la cual junto a otras microcuencas como la del río Machinaza (Ecuador) y río Comaina (Perú), forman una importante red hídrica microregional. Sus aguas van de Este a Oeste y desembocan en el río Nangaritzta, donde sus principales afluentes son las quebradas Chinapintza, La Pangui, Piedras Blancas y Guanguitza.



*Foto 1.- Rio Nangaritzza  
Fuente: Espinoza, 2014*

## **2.6. Población de la Zona y Población Minera.**

La población existente en Chinapintza se la puede considerar como fluctuante ya que en la actualidad existe ingreso de personas de otros lugares como Colombia y Perú que ingresan con el afán de trabajar en la actividad minera.

La población minera del distrito Chinapintza se considera inestable debido a la migración de personas que buscan trabajar en minas o trabajar por jornadas.

Dentro de la población minera de Chinapintza trabajan unas 50 familias que con un ingreso promedio de 450 USD/mes, aportan a la economía local y provincial, con un monto promedio de 25 mil dólares mensuales (MBS). En Chinapintza los habitantes también se dedican al comercio y a la explotación de madera.

*Tabla 1.- Población de asentamiento de personas en Chinapintza*

| <b>POBLACIÓN</b>     | <b>NÚMERO</b>  |
|----------------------|----------------|
| Población de la Zona | 550 habitantes |
| Población Minera     | 50 familias    |

*Fuente: Ministerio de Bienestar Social (MBS)*

### **CAPITULO III**

## **GEOLOGÍA DEL DISTRITO MINERO CHINAPINTZA**

### **3.1. Geología regional.**

A continuación se detalla la geología regional presente en el campo minero Chinapintza (Figura 3).

#### **3.1.1. Unidad Isimanchi (CM).**

Consiste en filitas de bajo grado y mármoles (Litherland et al, 1994), alrededor del pueblo de Isimanchi en el extremo S de la Cordillera y hacia el N hasta el Oriente de Valladolid y Porvenir. Cabalgada hacia el W por las pegmatitas de Sabanilla y limitada hacia el E por el batolito de Zamora. El sitio desarrolla colinas espectaculares con escenarios típicamente Kársticos. Evidencia estructural y escasa paleontológica sugiere una edad pre Jurásica, posiblemente Carbonífera, se la puede correlacionar estratigráficamente con la Formación Macúma (Prodeminca, 2000), que está en discordancia con la formación Pumbuitza

#### **3.1.2. Unidad Piuntza (TrP).**

La Unidad Piuntza es de aproximadamente 500 m de espesor y se compone de areniscas, lutitas, calizas, tobas, y andesitas corrientes, de edad Triásico Superior Jurásica inferior 230 – 220 Ma. (INIGEMM)

#### **3.1.3. Unidad Misahuallí (JKM).**

Esta unidad esta irregularmente expuesto en la zona Subandina, es equivalente lateral del miembro inferior y medio de la formación Chapiza. Esta formación es parte de un cinturón de volcanismo Jurásico calco- alcalinos que se extiende desde el Norte de Chile hasta Colombia (Romeufet, 1995). Conformada de rocas volcánicas como lavas, piroclastos calco-alcalinos y capas rojas de 2000 m. Según nuevos datos radiométricos, su edad abarca el intervalo Liásico tardío-Jurásico superior temprano 190-150 Ma. (Aspden, 1992).

Está asociada a la actividad tectónica Jurásica como parte efusiva de la intrusión de los batolitos Abitagua, Azafrán y Rosa Florida (Aspden, 1992).

#### **3.1.4. Formación Hollín (KH).**

Esta formación se ubica en las cuencas hidrográficas de los ríos Zamora y Nangaritza. La formación Hollín está formada por dos formas, la primera está formada por pequeñas unidades discontinuas que se localizan aguas arriba del cantón Yanzatza y en la segunda forma, se distribuyen indistintamente en toda la cuenca. Conjuntamente con la Formación Napo, ocupan una superficie de 170.419 ha, que significa el 16,1 % de la provincia.

La formación Hollín es de edad Cretácea Inferior, conformada básicamente de areniscas, cuarzosas blancas porosas de grano medio a grueso, maciza o con estratificación cruzada, mostrando a veces "ripple marks" (onduladas), con una potencia entre 35 a 200 m. A veces hay capas guijarrosas delgadas e intercalaciones de lutitas arenosas oscuras, localmente micáceas y también de lutitas carbonosas negras en la parte superior de la sección. En afloramientos hay bastantes impregnaciones de asfalto. En el Norte y Este, existen reservorios petroleros principales del Oriente.

#### **3.1.5 Batolito de Zamora (J2?).**

El Batolito de Zamora es un complejo intrusivo que se ubica en el extremo SE del Ecuador. Tiene unas dimensiones aproximadas de 200 km de largo y 50 km de ancho. Compuesto por granodioritas y dioritas no deformadas. Su edad es del Jurásico 950 – 1500 Ma. (INIGEMM)

#### **3.1.6. Intrusivo Chinapintza (CZ?).**

El intrusivo Chinapintza está en la parte oriental de nuestro país, representado por granodioritas, dioritas y pórfidos. Su edad es del Cenozoico 59 – 1.8 Ma. (INIGEMM)

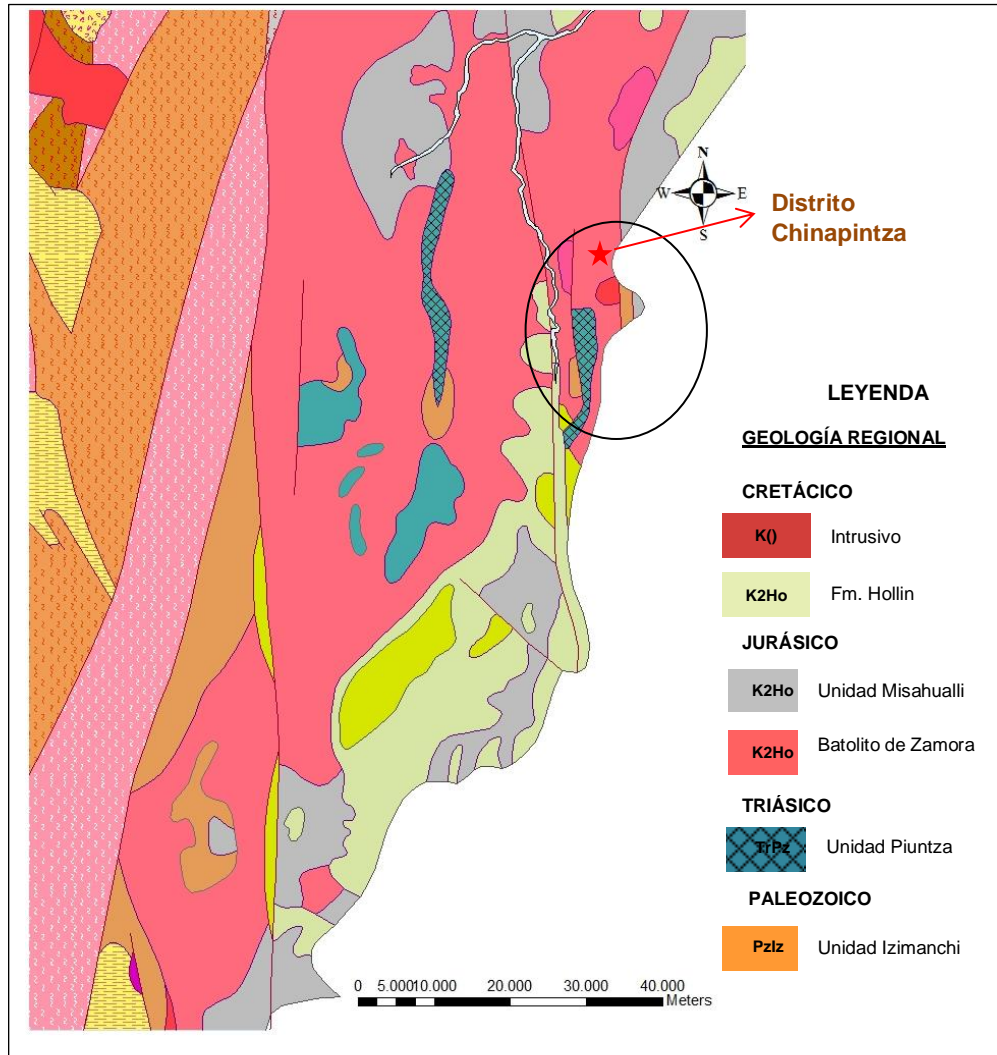


Figura 3.- Geología Regional de Zamora Chinchipe

Fuente: Tomada y Modificada del INIGEMM 2010

### 3.2. Geología Local.

Según información y datos tomados de tesis (Leonardo Calle, 2014) realizadas en el distrito Chinapintza-Herradura, se puede describir la geología local del sitio de estudio (Figura 4).

### **3.2.1. Rocas Subvolcánicas (Cretácico Med.-Sup.).**

Este grupo está constituido principalmente por pórfido de composición riolíticos a andesítico, unos se presentan en pequeños cuerpos y otros como diques que atraviesan al pórfido de Chinapintza

#### **a) Pórfido Andesítico.**

Es un cuerpo subvolcánico con un aproximado de 50 a 150 metros de ancho y 450 metros de largo, extendiéndose en dirección NNW, generalmente intruido dentro del cuerpo Pórfido de Chinapintza, en la parte Este de la Herradura presenta una coloración gris verdosa de grano medio a fino generalmente porfídica con 30-35 % de fenocristales de hornblendas, augitas <5 %, y plagioclasas andesíticas >40 %, la matriz es afanítica compuesta de feldespatos y arcillas y presenta menor cantidad de cuarzo <1 %. Localmente tiene estructuras de stockworks rellenas con óxido de hierro y manganeso, y un diseminado local de pirita alrededor de la zona de falla, lo que a veces le da un aspecto teñido de rojizo a naranja al igual que la meteorización de sus anfíboles y piroxenos.

#### **b) Pórfido Riolítico.**

Aflora en la parte SW de la Herradura, como un cuerpo porfídico de fase ácida, este cuerpo tiene una dirección NNW, con unos 200 metros de largo, y 50 metros de ancho, es de color blanquecino a amarillento (leucocrata), petrográficamente presentan fenocristales de micas blancas (moscovita?, 5-8 %), feldespatos y plagioclasas sanidinas <5 %; en la mayoría de los casos el pórfido riolítico presenta alteraciones argílicas y está relacionada estructuralmente con la geología económica del sector, al igual que los diques porfídicos.

#### **c) Dique de pórfido Riolítico.**

Se presentan en forma de pequeños cuerpos cortando al pórfido de Chinapintza, los espesores pueden ir desde los 10-40 metros, su longitud puede exceder algunas decenas de metros, se presentan en todas las direcciones pero los más frecuente están en una



orientación NNW, encontrándose asociados a las estructuras falladas y mineralizadas, además se puede observar un dique relacionado a stockworks de cuarzo + sulfuros con mineralización de oro? y cobre secundario, y otros con diseminaciones de sulfuros de pirita; en el área de estudio se pudo identificar dos tipos de diques riolíticos diferentes que han sido afectados de forma hidrotermal y meteórica, estos son:

- \* *Dique riolítico* de color blanquecino-amarillento con fenocristales de cuarzo (10-15 %) y feldespatos (>40 %), en una matriz silificada con o sin piritas, la misma que ha sido lixiviada y reemplazada por óxidos e hidróxidos de hierro y sus oquedades rellenas por arcillas, por causa de la silificación que han sufrido algunos cuerpos.
- \* *Dique riolítico* intensamente silificado, se presenta relacionado a stockworks de vetas de cuarzo masivo o en drusas, con sulfuros de metales base de Fe - Zn - Pb y Cu con mineralizaciones de Au? y Cu secundario, presenta un diseminado de piritas-esfaleritas-calcopiritas y frecuentemente se observa hematitas y limonitas a través de las paredes de las fracturas, debido al aporte notorio de óxidos e hidróxidos de hierro desde la profundidad.

Estas intrusiones hipohabisales menores han mostrado ser un papel importante para el control geológico económico en el área de estudio, por su relación estructural directa con la mineralización.

### **3.2.2. Rocas Metamórficas (Jurásico Sup. a Cretácico Inf.).**

Está representado por una faja de rocas básicas anfibolitizadas de dirección NNW-SSE situado a lo largo del borde occidental del área de estudio separando al complejo intrusivo plutónico del subvolcánico, y se puede observar otra faja de esquistos paralela más hacia el Oeste flotando dentro de la granodiorita; la faja metamórfica más cercana al área de estudio tiende a desaparecer en sus extremos, haciendo que la granodiorita al Sur entre en contacto discordante directo con el pórfido subvolcánico de composición riolítico del Campamento Mirador, y al Norte con el Pórfido de Chinapintza.

### **a) Esquistos Anfibolíticos.**

Esta roca principalmente aflora en la parte Oeste del área de estudio; consiste en volcanitas máficas anfibolitizadas (esquistos anfibolíticos), presenta una textura nematoblástica de hornblendas (cristales de anfíboles prismáticos o aciculares paralelos en una sola dirección), con feldespatos y cuarzo fino; se las puede correlacionar con las volcanitas de composición andesíticas a andesitas-basálticas de la Unidad Misahuallí del Jurásico Sup. a Cretácico Inf., es decir que esta roca inicialmente ha sufrido una deformación plástica, por tal razón la evidencia de su textura; para el origen de esta roca se suma el metamorfismo de contacto, desarrollado dentro de un estrecho cinturón de esquistosidad dinámica entre el Batolito de Zamora y el margen Oeste del pórfido de Chinapintza, en su borde Oeste de contacto se puede apreciar los lentes de granodiorita sobrecorridas en los planos de esquistosidad del esquistos. Localmente los esquistos presentan vetillas de cuarzo en stockworks con pirita fina y óxidos de hierro entre sus fracturas.

### **3.2.3. Intrusivos (Jurásico Inf.-Med.).**

El intrusivo está compuesta principalmente por una roca ígnea intrusiva de composición granodiorítica, que representa el emplazamiento del Batolito de Zamora en flanco Oeste del área de estudio, se conoce que este tipo de rocas, brindan un ambiente positivo para la búsqueda y estudio de depósitos de interés económico en la actualidad, como los pórfidos de Cu-Au.

### **a) Granodiorita.**

Es una roca intermedia de composición calco-alkalino, tiene una edad Jurásica Inf.-Med. y forma parte del complejo intrusivo-plutónico del batolito de Zamora. Se localizado al Oeste del área de estudio, al Norte entra en contacto discordante directo con el complejo subvolcánico del Cretácico Superior a Terciario, dominado por el Pórfido de Chinapintza, pero al centro y Sur los separa una franja de volcanitas metamórfizadas de la Unidad Misahualli (esquistos anfibolíticos).

La granodiorita presenta una textura fanerítica, representada por una porción de minerales máficos ferromagnesianos entre biotitas y hornblendas, predominando las biotitas (8-10 %) que las hornblendas (<5 %), y su restante representado por minerales claros de cuarzo (<20 %), feldespatos potásico (10-15 %), plagioclasa oligoclasa (20-25 %). La granodiorita se ve afectada por diversas alteraciones que va de sericíticas a arcillas, por sectores se presenta propilítica con minerales de piritas, cloritas y epidotas, y localmente potásica con biotitas secundaria; además, la granodiorita se presenta en algunas partes muy tectonizada desde el borde Oeste del área de estudio, con planos diaclasamiento de buzamientos fuertes; las granodioritas por el clima de la zona se ven muy meteorizada a arcillas de color crema a blanquecina y otras de color naranja por la composición de sus minerales oscuros.

#### **3.2.4. Intrusivo Subvolcánico (Crétacico Medio).**

La roca contempla a un intrusivo post-magmático de alto nivel dominado por el Pórfido de Chinapintza, representado por una roca subvolcánica de composición intermedia dacítica a riodacítico, la cual está atravesada por cuerpos pequeños subvolcánicos de menor dimensión descritos anteriormente, estos cuerpos de menor dimensión están encajando dentro del pórfido y controlan estructuralmente la mineralización del sistema de vetas de Chinapintza.

##### **a) Granodiorita.**

Este cuerpo está íntimamente relacionado con el Pórfido de Chinapintza, es la parte central de la zona de estudio mapeada y está ligada directamente con la mineralización, la roca presenta una coloración gris claro a verdosa con textura porfídica de grano medio a grueso; se pudo diferenciar dos tipos de alteraciones en la roca por su mineralogía, pero al momento del mapeo de campo y de la interpretación de los resultados, se la asocio como una sola litología para toda el área que abarcaba la misma, ya que el pórfido alterado muchas de las veces fue confundido con la granodiorita de grano medio a grueso, lo que dificultaba la delimitación e interpretación de los contactos litológicos *in situ*. A continuación detallaremos la litología aflorante por su alteración hidrotermal presente en la roca y por su localización:

1. El primer cuerpo se observa en el sector de La Herradura, la roca presenta una mineralogía compuesta de fenocristales de cuarzo (<25 %), inclusiones de calcita entre los feldespatos potásicos (Adularia, 20-25 %) y las plagioclasas sódicas (30-35 %); en sí, la roca en esta zona se observa seritizada y argilitizada.

2. El otro cuerpo aflorante bordea al primer cuerpo y se la puede apreciar en la población de Chinapintza, presenta la misma composición con fenocristales de cuarzo, feldespatos y plagioclasas, pero tiene un menor porcentaje de anfíboles de hornblenda (8-10 %), que están pasando a cloritas; se podría decir que en esta zona la roca esta propilitizada.

Además, se observa que todo el cuerpo del pórfido presenta un fuerte vetilleo en stockworks de cuarzo-piritas y diseminado de piritas finas en toda la roca, las vetas que encajan en este cuerpo principalmente presentan un bandeamiento relleno por lo general de sulfuros de piritas – galenas – esfaleritas y calcopiritas con Oro-Plata (Electrum), con más presencia de ganga de cuarzo y carbonatos (rodocrosita y calcita).

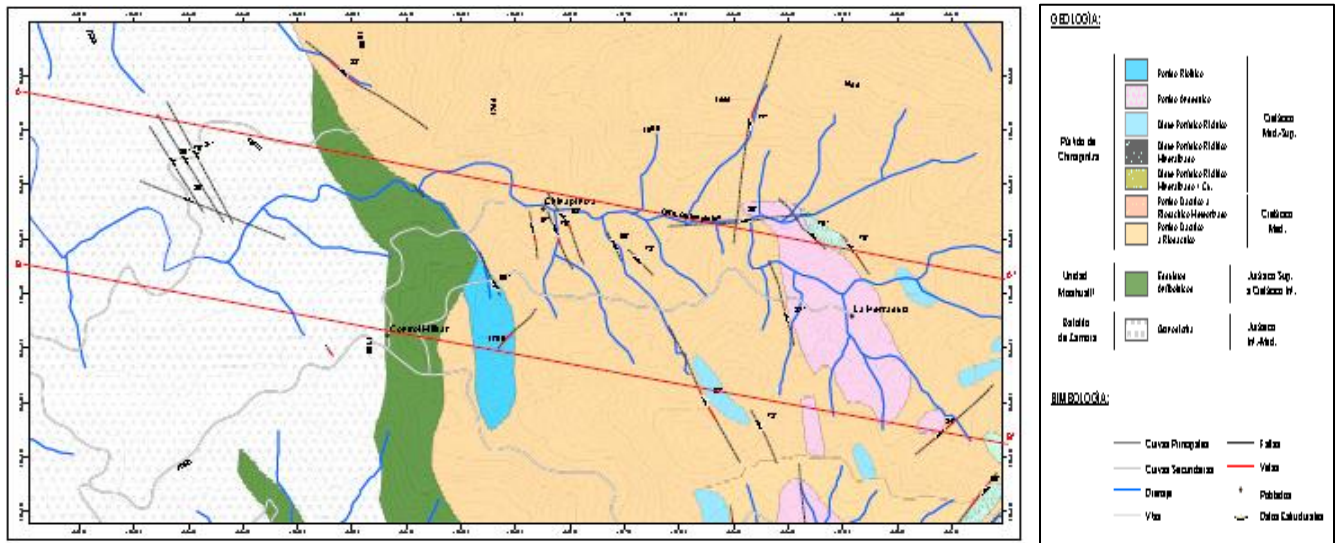


Figura 4.- Geología Local de Chinapintza - Herradura

Fuente: Tesis Leonardo Calle

## **CAPITULO IV**

### **MÉTODOS DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA**

La gravimetría separa minerales de igual tamaño o densidades; la finalidad de esta es que las partículas se mantengan ligeramente apartadas para que así logren separarse idealmente en capas de minerales densos y ligeros.

#### **4.1. Mesa Vibratoria.**

La mesa vibratoria o mesa de sacudida, es considerada como concentrador de sacudida, donde se puede variar tanto la inclinación de la mesa, como las sacudidas que pueden ser desde 5 hasta 50 sacudidas o más.

Los concentradores de sacudida son máquinas de separación por gravedad empleadas en el tratamiento de géneros relativamente finos. De acuerdo a los tamaños de las partículas a las que se adaptan, estas máquinas se dividen naturalmente en dos grupos, cada uno representado por el prototipo movido a manos y el mecánico. En el caso de las arenas gruesas está representada por *la gamella manual* y *la mesa de sacudidas*, y las arenas finas representada por *la placa* y *el vanner*.

##### **4.1.1. Gamella.**

El tipo mejor construido de gamella es de plancha de hierro ligera, rígida, con el borde arrollado alrededor de una varilla consistente para evitar cualquier distorsión. Desde el punto de vista funcional la operación abarca una serie de estratificaciones que se alternan con concentraciones por lámina.

##### **4.1.2. Mesa de Sacudida.**

Es considerada como una gamella mecanizada de marcha continua. La mesa vibratoria o de sacudida se utiliza desde hace varias décadas, siendo un equipamiento diseminado por todo el mundo para la concentración gravitacional de menas. Es considerada de modo general el equipo más eficiente para el tratamiento de materiales con granulometría gruesa. Su limitación es la baja capacidad de procesamiento (menos de 2 t/h). Es un equipamiento muy utilizado en la limpieza de concentrado primario o secundario de menas de oro libre y menas aluvionares.

#### **4.1.2.1. Mesa de Sacudida Neumática.**

Es la mesa en la que insufla (sopla) aire a través de un tejido poroso que constituye el tablero recubierto de listones, con lo que al someter a las sacudidas, la capa fluida de sólidos en seco, se mueven a lo largo del tablero por un sacudimiento de inversión rápida.

#### **4.2. Concentración Centrifuga Knelson MD3.**

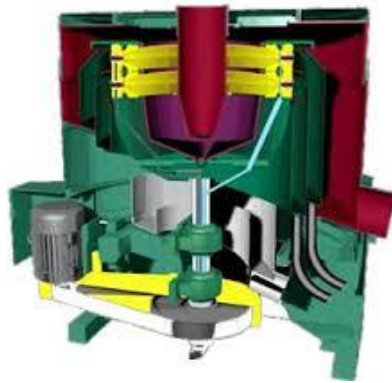
El concentrador Knelson recupera partículas de oro de tamaños que van desde 0,25 micrón hasta aproximadamente 1 micrón. El concentrador Knelson MD3 tiene una capacidad de 50 kg/hora.

El mecanismo del concentrador es utilizar la fuerza centrífuga para compactar el material en el cono y a este se introduce en el sistema agua a presión, contrabalanceando la fuerza centrífuga en el cono de concentración.

El campo centrífugo en el concentrador varía con el diámetro superior del cono y de la inclinación de las aberturas del mismo. Así, en los anillos inferiores, hay una tendencia a recuperar las partículas mayores del mineral de mayor densidad, en cuanto a los anillos superiores, donde el radio del cono es mayor (es decir, mayor fuerza centrífuga), allí los minerales más finos aún pueden ser recuperados. La compactación del material del lecho se evita por la inyección de agua a través de los hoyos en los anillos (el agua es inyectada dentro del cono a través de un ensamble de perforaciones, de aproximadamente 800  $\mu\text{m}$  de diámetro, los cuales son practicados en forma tangencial en la pared del cono y a la misma altura dentro de cada espacio inter-riffles). El agua es alimentada a partir de una camisa de agua fija externa al cono. Esta agua fluidiza el lecho de concentrado permitiendo que las partículas más densas, inclusive finas, penetren en el lecho, bajo la acción de la fuerza centrífuga, varias veces superior a la fuerza de gravedad.

Para que el funcionamiento del concentrador Knelson MD3 sea óptimo, se toma en cuenta características propias del mineral como es su mineralogía y el tamaño de grano (# de malla). Las variaciones que se pueden hacer son los PSI (van de 0-10), el tipo de cono que varían dependiendo de la asociación mineralogía del material (oro libre y oro asociado), las fuerzas G's y el caudal.

Durante la operación de estos concentradores todas las partículas están sujetas a una fuerza equivalente a 60 G's, que es lo que permite que el concentrador pueda recuperar partículas finas.



*Foto 2.- Mecanismo interno del Knelson MD3*  
*Fuente: Internet*



## **CAPITULO V**

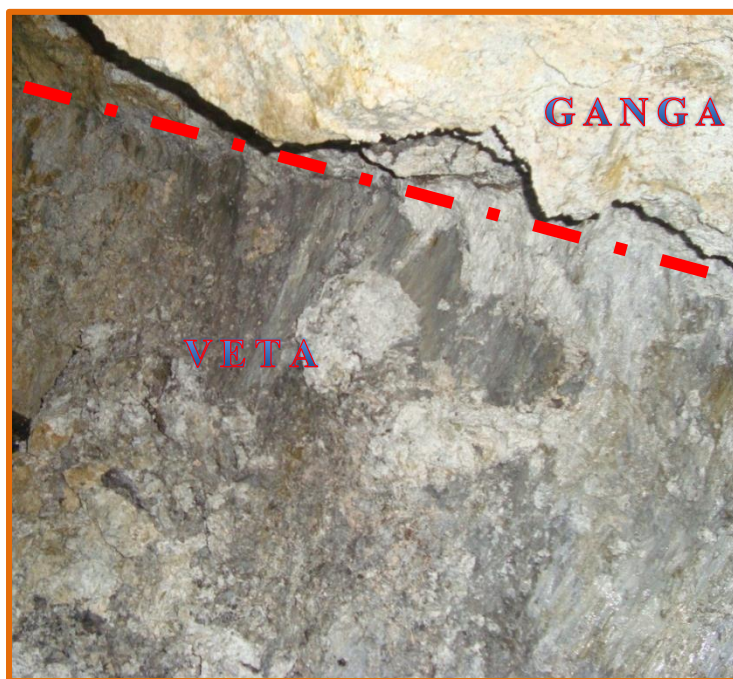
### **MÉTODOS Y MATERIALES**

## 5.1. Muestreo.

El método a usarse es el **método por puntos** el mismo que se lo aplica para cuerpos de gran potencia, y con distribución irregular de mineralización o sea cuerpos masivos y diseminados con estratificación fina y jaspeada. Es recomendado este método por la facilidad al obtener la muestra.

Para desarrollar el trabajo de campo se realizó una salida, donde se pudo recopilar muestras suficientes y representativas de veta y ganga dentro de la mina del distrito Herradura-Chinapintza.

En el Distrito Minero de Chinapintza – Herradura tomamos las muestras dentro de la mina, donde, utilizando el método de muestreo por puntos, se recolectaron muestras representativas de la veta como del material de ganga (Foto 3 y 4).



*Foto 3.- Muestras dentro de la mina. Se tomó muestras de ganga como de la veta mineralizada. También se puede apreciar la falla Reina del cisne con dirección E-WSW y buzamiento 68 ° SE (dato tomado de tesis de Leonardo Calle)*

*Fuente: Espinoza, 2014*



Foto 4.- Muestreo dentro de mina  
Fuente: Espinoza, 2014

La mina donde se recolecto las muestras (Foto 5), está ubicada en la Herradura – Chinapintza, ubicada en las coordenadas: 769650 E – 9554042 N – 1100 Z



Foto 5.- Mina en Chinapintza – Herradura  
Fuente: Espinoza, 2014

## 5.2. Preparación de la muestra.

### 5.2.1. Trituración de las muestras.

Las muestras traídas del Distrito Minero Chinapintza fueron trituradas en el equipo Retsch modelo BB2 (Foto 6) a un tamaño adecuado capaz de pasar por la malla #10, disgregadas y finalmente homogenizadas, formando una mezcla uniforme para luego cuartear (Foto 7), quedándonos con aproximadamente 800 – 2000 g para los respectivos ensayos de análisis químico, análisis mineralógico y análisis granulométrico, el resto de la muestra va a stock para los diferentes ensayos metalúrgicos como son mesa vibratoria y concentración Knelson.



Foto 6.- Triturador Retsch BB2  
Fuente: Espinoza, 2014





Foto 7.- Homogenización y cuarteo de las muestras  
Fuente: Espinoza, 2014

### 5.3. Análisis Mineralógico.

#### 5.3.1. Sección Pulida.

Para el desarrollo de la sección pulida se utiliza la cortadora marca Lapro, para darle la forma cuadrada a la muestras, la pulidora Grinder – Polisher con sus respectivas lijas de diferente enumeración, y el equipo de sistema al vacío.

##### a) Procedimiento para el desarrollo de la sección pulida.

La muestra escogida, se la cortar en forma cuadrada (3x2 cm), luego se pule una cara de la muestra en las lijas # 180, 200, 400, 600 y 800, estas dos últimas nos ayudan a quitar rayas provocadas por las lijas anteriores (Foto 8, a); ya la muestra pulida y sin ninguna raya, se procede a secar por 24 horas (Foto 8, b); pasado el tiempo se prepara 5 ml de resina y 1 ml de endurecedor (relación 5:1), en los vasos de papel previstos para ello, se coloca la muestra en la briqueta y lentamente, con la finalidad de no formar burbujas, colocamos la resina preparada, hasta la mitad de la briqueta, se deja en el sistema al vacío por 24 horas o hasta que seque la resina, se pule en los paños de suspensión de diamante de 0,001 a 0,006  $\mu\text{m}$ , para eliminar excesos de resina o minerales abrasivos, finalmente se lleva analizar en el microscopio.



Foto 8.- Sección Pulida: a) Pulido de la muestra, b) Muestra pulida y seca  
Fuente: Espinoza, 2014

## **b) Análisis Microscópico**

Para el análisis mineralógico se procede a realizar primero el análisis de manera macroscópica de los minerales y luego microscópica con ayuda del microscopio Olympus BH2-HLSH y del programa analySIS getIT que nos ayuda a captar las fotos en digital.

En el análisis microscopio se toma en cuenta la magnitud, color, brillo, dureza, clivaje y maclado, de los minerales vistos en el microscopio, para poder determinar qué tipo de mineral es; cuando se determina el mineral y se lo enfoca con la cámara del microscopio (abrir el clavo en la parte derecha del microscopio), se enciende el respectivo programa, se capta la imagen y se guarda, para luego describir en forma textual los minerales existentes en la foto.

## **5.4. Análisis Granulométrico.**

### **5.4.1. Equipo utilizado.**

Para el ensayo granulométrico en húmedo se utiliza el Vibratamiz Retsch y para el ensayo granulométrico en seco se usó el Vibratamiz Retsch As 200 bajo la norma ASTM, equipado con una serie de tamices que van desde el #18 al 400, los mismos que se usan para hacer los ensayos en húmedo (agua) y en seco.

#### 5.4.2. Procedimiento.

Lo obtenido de la molienda a diferentes tiempos, se somete al ensayo en húmedo y en seco. Se pesa 250 g y con ayuda del vibratamiz se procede a realizar el ensayo en húmedo. Para hacer el ensayo en húmedo se usa los tamices # 400 y cubierto con los tamices 35, 120 y 325, estos son sometidos al vibratamiz por 15 min. Pasado este tiempo se procede a sedimentar por 24 horas las lamas, luego se procede a drenar, secar y pesar las lamas (Foto 9). El material quedado en los tamices (400, 35, 120 y 325), se seca, se pesa, y se procede a realizar el ensayo en seco, donde se usa los tamices 10, 18, 35, 60, 120, 230, 325 y 400 previamente pesados (Foto 9), luego se pesa cada tamiz con la muestra y se resta el peso del tamiz vacío, obteniendo así el peso real de la muestra en cada tamiz. Estos datos y los de las lamas nos sirven para las curvas granulométricas.



Foto 9.- Análisis granulométrico: a) Análisis granulométrico en húmedo, b) Análisis granulométrico en seco  
Fuente: Espinoza, 2014

#### 5.5. Análisis Químico.

Para el análisis químico, las muestras fueron sometidas a fusión copelación para luego ser leídas mediante espectrometría de absorción atómica de llama.

### **5.5.1. Fusión – Copelación**

#### **a) Equipo utilizado.**

Para la realización el ensayo de fusión – copelación se usa dos muflas de corriente eléctrica con serie N° LN/3 35/90 (fusión) y N° LN/3 34/90 (copelación), a temperatura 1000°C mufla de fusión y 900°C mufla de copelación.

#### **b) Procedimiento.**

De la muestra ya preparada se homogeniza y se procede a pesar 50 g para ser pulverizada, de los cuales se usaran 25 g en el caso de relaves y 10 g en el caso de concentrado, más 75 g de mezcla fundente, la misma que contiene: 40 Litargilio, 25 CO<sub>3</sub>Na, 10 Borax y 3 Harina.

En el crisol se procede a poner la mezcla fundente (Foto 10, a) y los 25 ó 10 g previamente tostados a 500 °C por una hora, con la finalidad de eliminar los sulfuros, se mezcla homogéneamente y se coloca 1,5 ml de Nitrato de Plata (AgNO<sub>3</sub>) (Foto 10, b), para separar la escoria del plomo; se mete la mezcla en la mufla de fusión por 1 hora ó 1:30 horas (Foto 10, c). Ya pasado el tiempo se saca los crisoles de la mufla y se descarga el material para ser puesto en las payoneras previamente calentadas (Foto 10, e), se deja enfriar y a la muestra se la golpea con la finalidad de desprender la escoria (Borasilicatos) del plomo, al mismo que le damos una forma cuadrada para ponerla en las copelas, a las que se las introduce en la mufla de copelación, durante 3 horas a 4 horas dependiendo del número de muestras que se coloque en la mufla (Foto 10, f); pasado el tiempo se obtiene el dore, el mismo que se lo digesta.



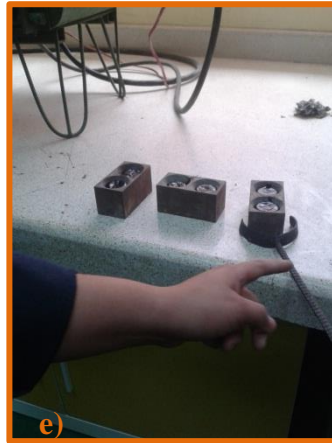


Foto 10.- Fusión Copelación: a) Mezcla Fundente, b) Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), c) Proceso de fusión, d) Colocación de la muestra fundida en las payoneras , e) Producto de la Fusión y enfriamiento en las payoneras (escoria y regulo) , f) Muestras copeladas (perlas mineralizadas de Au, Ag)

Fuente: Espinoza, 2014

### 5.5.2. Digestión

#### a) Equipo utilizado.

Para la digestión se necesita una plancha calentadora con agitación magnética marca IKAMAG RET – GS (Foto 11), la misma que nos ayuda a calentar y a digerir las muestras.

### **b) Procedimiento.**

La perla ya copelada se la somete a agua regia, que consiste en una mezcla de Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y Ácido Clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) en una proporción 1:3 respectivamente (Foto 11). Durante media hora se ataca la perla con 3 ml de Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), con la finalidad de eliminar la plata asociado al oro, pasado el tiempo se coloca los 9 ml de Ácido Clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) formando finalmente el agua regia; se espera hasta que se disuelva la perla completamente, luego se procede a aforar en un balón de 25 ml, se filtra con papel filtro al vacío, para luego proceder a hacer la lectura de absorción atómica.



Foto 11.- Digestión: a) Ácido Nítrico y Ácido Clorhídrico, b) Plancha calentadora, c) Digestión de la perla en Agua Regia.  
Fuente: Espinoza, 2014

### **5.5.3. Lectura de las muestras**

#### **a) Equipo utilizado.**

Las muestras digestadas se proceden a leer en el Departamento de Química Laboratorio de Análisis Instrumental, con el equipo AAnalyst 400 modelo PerkinElmer y el programa WinLab 32 AA Flame el mismo que nos ayuda a dar los datos del porcentaje de oro existen en la muestra.

#### **b) Calibración.**

Construimos la curva de calibración, representando la absorbancia frente a la concentración. Calculamos la ecuación de la recta por el método de los mínimos

cuadrados. Los datos de la absorbancia para las distintas concentraciones son los siguientes:

*Tabla 2: Datos de la curva de calibración del equipo.*

|    | <b>Absorbancia</b> | <b>Concentración</b> |
|----|--------------------|----------------------|
| M2 | 0.1247             | 1                    |
| M3 | 0.2431             | 2                    |
| M4 | 0.4773             | 4                    |

*Fuente: Laboratorio de Análisis Industrial*

### **c) Procedimiento.**

Ya calibrado el equipo y digerida la muestra, se procede realizar la lectura de las mismas (Foto12). En el caso de que las muestras sobrepasen los rango de calibración del equipo, se procede a diluir la muestra en un balón de 100 ml, donde se mide 10 ml de muestra y se afora con agua destilada.



*Foto 12.- Lectura de las muestras: a) Equipo de Espectrometría de absorción atómica de llama, b) Programa de lectura de datos.*  
*Fuente: Espinoza, 2014*

## **5.6. Concentración Centrifuga Knelson.**

### **a) Equipo utilizado.**

El equipo utilizado es el Concentrador Gravimétrico Knelson MD3 (Foto 13), el mismo que recupera partículas de oro de tamaños que van desde 0,25" hasta aproximadamente 1 micrón. Su capacidad aproximada de alimentación es de 25 kg por hora.



*Foto 13.- Knelson MD3.  
Fuente: Espinoza, 2014*

### **b) Procedimiento.**

En primera instancia se arma el equipo, se prepara dos baldes, uno para los relaves y otro para el concentrado, luego se pesa 1,5 kg de muestras diluida en agua (pulpa), para la alimentación del Knelson. Se abre las llaves del caudal del equipo, luego el grifo de agua y se enciende el equipo, se ajusta los PSI a los que se va a trabajar y se procede a alimentar, ya pasado todo el material, se apaga al mismo tiempo tanto la llaves de agua como el equipo, después se cierra las llaves del caudal del equipo. Procedemos a abrir la llave que dreña el agua estancada en el cono, ya drenada toda el agua, se cierra la llave, sacamos el cono y con la manguera fijada en el equipo lavamos el cono, en el balde de material concentrado, con la finalidad de sacar todo el material quedado en el mismo. Finalmente con la misma manguera lavamos el equipo para que todo el material pase al balde de los relaves.

## **5.7. Concentración Gravimétrica con Mesa Vibratoria.**

### ***a) Equipo utilizado.***

La Mesa Vibratoria cuenta con cierta inclinación, con movimiento oscilatorio esencialmente vertical a la corriente de sólidos y fluidos, la fuente de energía que mueve la mesa es un motor eléctrico que la controla. La Mesa Vibratoria Genco 15-S es el equipo que se va utilizar para el presente trabajo; está diseñada para soportar carga constantes de hasta 10 kg/hora.

### ***b) Procedimiento.***

Se prepara tres baldes, los mismos que se colocan debajo de la mesa donde se va a recibir cada una de las diferentes fracciones procesadas como son: concentrados, mixtos y livianos; luego se pesa 3 kg de muestra y se lo diluye en agua (pulpa), con la finalidad de que no queden grumos de material al momento de la alimentación, consiguiendo de esta forma una alimentación constante y homogénea, luego fijamos la inclinación de la mesa. Procedemos a encender el equipo, fijamos a 50 vibraciones oscilatorias y regulamos el caudal de alimentación de agua; se alimenta en la tolva superior de la mesa, la pulpa, de una manera constante, otra persona va controlando que no se unan los diferentes tipos de fracciones cuando está en movimiento la mesa vibratoria, ya pasado todo el material, dejamos por un tiempo la mesa encendida para que todo el material sea evacuado, se cierra las llaves y se apaga el equipo. (Foto 14)

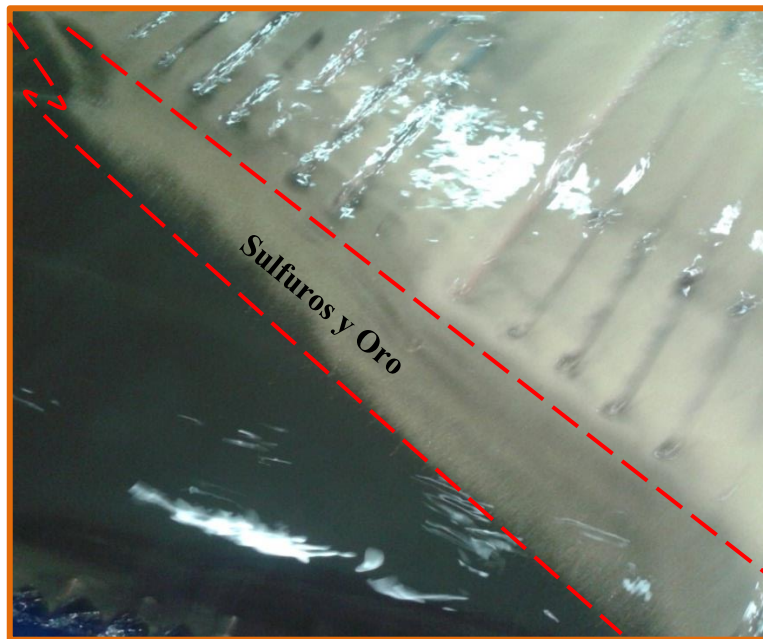
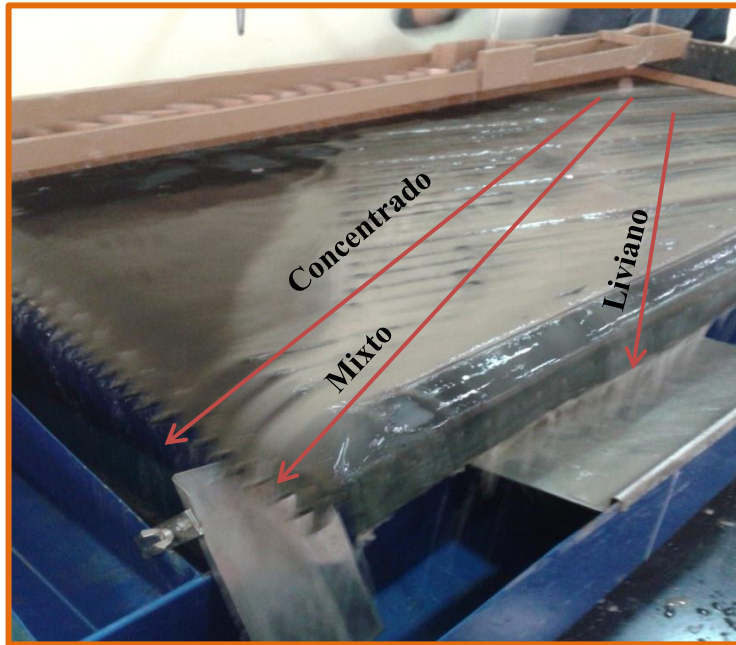


Foto 14.- Procesos de separación de la Mesa Vibratoria.  
Fuente: Espinoza, 2014

### 5.8. Etapas de los Ensayos Experimentales.

En el presente trabajo se utilizará bloques experimentales, los cuales ayudarán a evaluar el porcentaje de oro recuperado en cada ensayo metalúrgico, se realizarán dos repeticiones para cada ensayo.



Las variables independientes que se tomarán a consideración en el diseño experimental son: tamaño de grano (TG) en el ensayo en Mesa vibratoria y presión (PSI) – tamaño de grano (TG) en el ensayo Knelson.

A continuación se muestra el esquema del diseño experimental y su respectiva nomenclatura.

### ***Mesa Vibratoria***

*1° Etapa. Tamaño de Grano*

*Variable Independiente:* Tamaño de grano (126,168, 180. Número de malla ASTM).

*Variable Dependiente:* % de oro recuperado

*Variable Constante:* Caudal, inclinación, vibraciones oscilatorias

*Esquema*

*TG:* Tamaño de Grano

*N° de Repeticiones:* 2

*Total de Ensayo:* TG x N°R

$$3 \times 2 = 6$$

### ***Knelson***

*1° Etapa. Tamaño de Grano*

*Variable Independiente:* Tamaño de grano (180,200, 225. Número de malla ASTM).

*Variable Dependiente:* % de oro recuperado

*Variable Constante:* Fuerzas G', PSI

*Esquema*

*TG:* Tamaño de Grano

*N° de Repeticiones:* 2

*Total de Ensayo:* TG x N°R

$$3 \times 2 = 6$$

*2° Etapa. PSI*

*Variable Independiente: PSI (2 PSI, 3PSI, 4PSI).*

*Variable Dependiente: % de oro recuperado*

*Variable Constante: Tamaño de grano, fuerzas G'.*

*Esquema*

*PSI: Presión*

*N° de Repeticiones: 2*

*Total de Ensayo: PSI x N°R*

$$3 \times 2 = 6$$

***Mesa Vibratoria – Knelson***

*1° Etapa. (Mesa Vibratoria)*

*Se escogió las mejores condiciones de la etapa 1 en mesa vibratoria, la misma que fue 168 número de malla.*

*Esquema*

*TG: Tamaño de Grano*

*N° de Repeticiones: 1*

*Total de Ensayo: TG x N°R*

$$1 \times 1 = 1$$

*2° Etapa Caudal (Knelson)*

*Se escogió las mejores condiciones de la etapa 1 - 2 en el ensayo en Knelson, los mismos que fueron 180 número de malla y 2PSI.*

*Esquema*

*PSI: Presión*

*TG: Tamaño de Grano*

*N° de Repeticiones: 1*

*Total de Ensayo: PSI x TG x N°R*

$$1 \times 1 \times 1 = 1$$

Los datos obtenidos en el diseño experimental serán sometidos a un análisis estadístico y un balance metalúrgico donde se utilizará un promedio y una desviación estándar de los



valores obtenidos en los ensayos (Mesa Vibratoria, Knelson y Mesa Vibratoria - Knelson), para luego poder representar los resultado en tablas y gráficas.

## **CAPITULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

## 6.1. Caracterización del mineral.

La caracterización del mineral nos sirve para tener noción de las propiedades físicas y químicas del material a usarse, para así saber cómo tratarlo correctamente.

### 6.1.1. Mineralogía de la muestra.

Con el análisis mineralógico tanto macroscópicamente como microscópicamente podemos determinar, como está asociada la mineralogía del material, si el oro esta en esta libre o no y en ciertos casos que otro mineral de interés se puede encontrar.

#### a) Análisis macroscópicamente.

Este análisis nos sirve para poder tener una idea de los minerales macroscópicos existentes en la muestra (foto 15) y poder determinar el porcentaje de los minerales existentes (Tabla 3).

*Tabla 3: Análisis de los porcentajes de mineral existentes en la muestra.*

| <b>Mineral</b> | <b>Composición</b>                | <b>% en la muestras</b> |
|----------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Plagioclasa    | Plagioclasa                       | 10 – 8 %                |
| Cuarzo         | Qz                                | 15 – 11 %               |
| Calcopirita    | CuFeS <sub>2</sub>                | 25 – 19 %               |
| Bornita        | Cu <sub>5</sub> FeS               | 15 – 10 %               |
| Esfalerita     | SZn                               | 30 – 25 %               |
| Ortoclasa      | KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> | 5 – 3 %                 |

*Fuente: Espinoza, 2014*

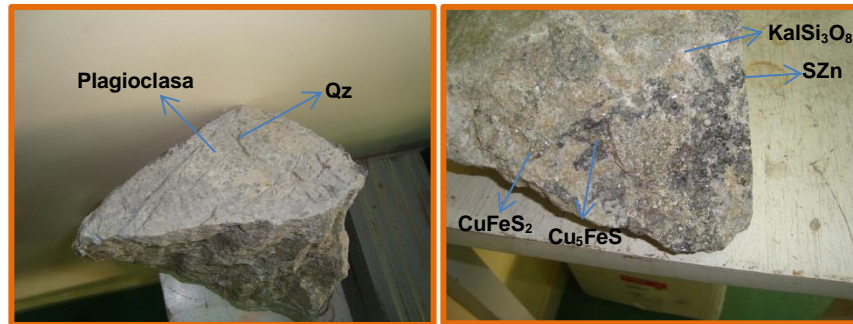


Foto 15.- Muestra usada para la sección pulida.  
Fuente: Espinoza, 2014

### b) Análisis microscópico.

El siguiente análisis lo realizamos con el microscopio petrográfico para tener una perspectiva bajo microscopio de los minerales en su forma nativa (Foto 16), y los porcentaje existentes (Tabla 4).

Tabla 4: Análisis de los porcentajes de mineral existentes en la muestra.

| Mineral          | Composición      | % en la muestras |
|------------------|------------------|------------------|
| Ferromagnesianos | Ferromagnesianos | 9 – 5 %          |
| Ortoclasa        | $KAlSi_3O_8$     | 7 – 10 %         |
| Calcopirita      | $CuFeS_2$        | 15 – 10 %        |
| Pirita           | $FeS_2$          | 8 – 5 %          |
| Bornita          | $Cu_5FeS$        | 10 – 7 %         |
| Galena           | SPb              | 13 – 8 %         |
| Esfalerita       | SZn              | 20 – 13 %        |
| Plagioclasa      | Plagioclasa      | 8 – 2 %          |
| Cuarzo           | Qz               | 10 – 8 %         |

Fuente: Espinoza, 2014



Foto 16.- Muestra para el análisis petrográfico.  
Fuente: Espinoza, 2014

**c) Análisis microscópico en sección pulida.**

Para el análisis microscópico se realizó dos briqueta de sección pulida, pudiendo determinar más a detalle los minerales y sus características (Foto 17), así como sus porcentajes existentes. (Tabla 5).

Tabla 5: Análisis de los porcentajes de mineral existentes en la muestra.

| Mineral     | Composición   | % en la muestras |
|-------------|---------------|------------------|
| Ortoclasa   | $KAlSi_3O_8$  | 3 – 1 %          |
| Calcopirita | $CuFeS_2$     | 30 – 25 %        |
| Pirita      | $FeS_2$       | 8 – 5 %          |
| Bornita     | $Cu_5FeS$     | 15 – 13 %        |
| Galena      | SPb           | 5 – 3 %          |
| Esfalerita  | SZn           | 22 – 15 %        |
| Plagioclasa | Plagioclasa   | 6 – 3 %          |
| Cuarzo      | Qz            | 8 – 5 %          |
| Pirrotina   | Sulfuro de Fe | 3 – 1 %          |

Fuente: Espinoza, 2014

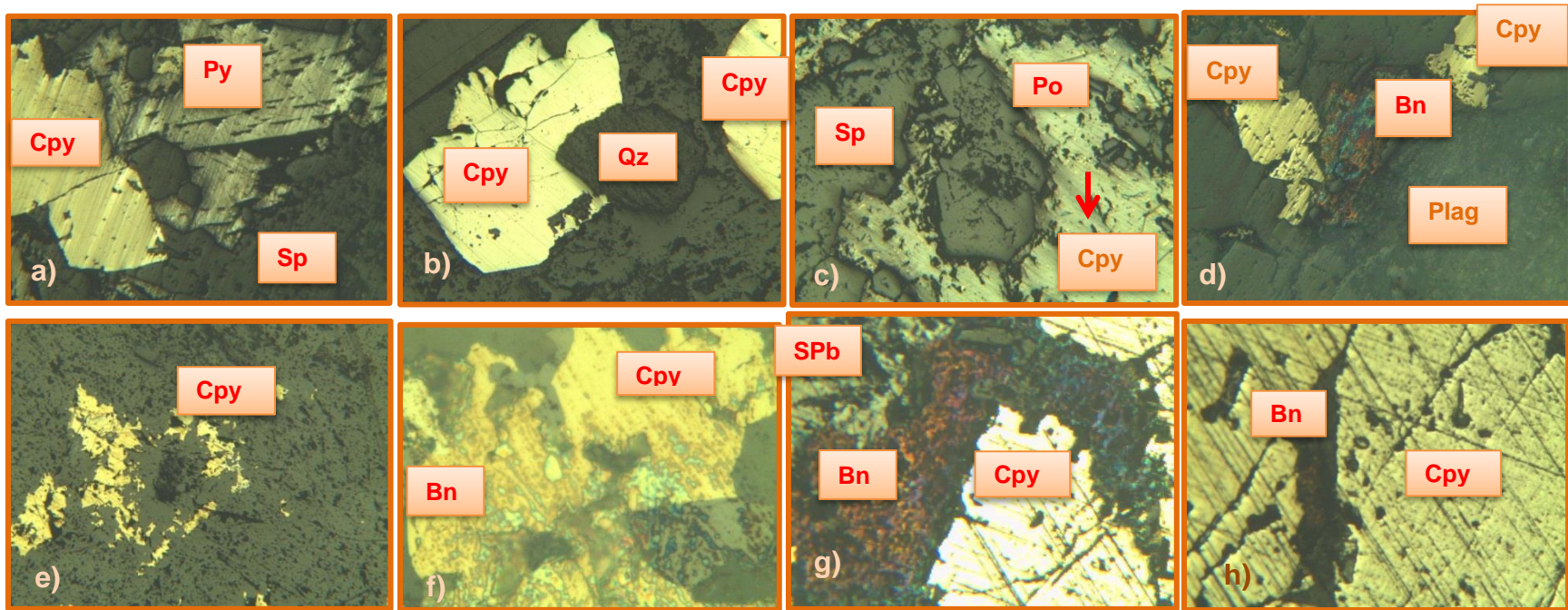


Foto 17.- Muestra de minerales bajo el microscopio con luz polarizada: a) Contacto entre pirita (Py) y calcopirita (Cpy) con inclusiones de soluciones hidrotermales, b) Calcopirita (Cpy) con un cristal de cuarzo (Qz), c) Esfalerita (Sp) e inclusiones de pirita (Py) en la pirrotina (Po), d) Calcopirita (Cpy) con bornita y plagioclasas, e) Calcopirita (Cpy) alterada por soluciones hidrotermales, f) Vista de la muestra anterior (e) con el objetivo 100, se nota que su cambio de color más intenso se debe a los procesos hidrotermales (Bornita (Bn)), g) La bornita (Bn) está afectando a la calcopirita, h) Se nota un stockworks de soluciones mineralizadas (bornita (Bn)) dentro de la calcopirita (Cpy).

Fuente: Espinoza, 2014

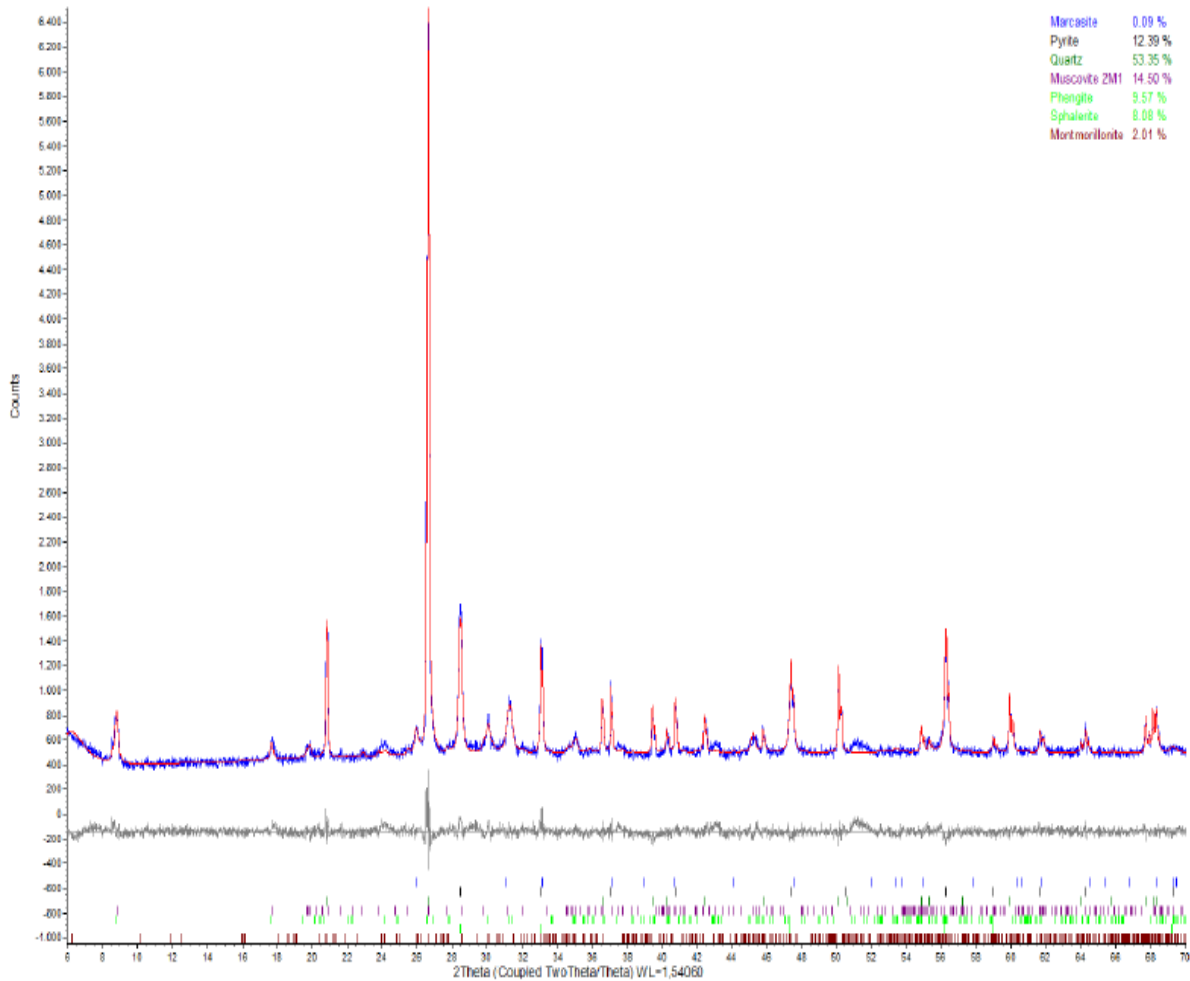
**d) Análisis de difracción.**

Con el análisis de difracción nos ayudamos de la tecnología para que los resultados sean más a detalle y así podemos corroborar los minerales existentes en la muestra (Grafica 1) y sus porcentajes (Tabla 6).

*Tabla 6: Análisis de los porcentajes de mineral existentes en la muestra.*

| <b>Mineral</b>  | <b>% en la muestras</b> |
|-----------------|-------------------------|
| Marcasita       | 0,09 %                  |
| Moscovita       | 14,50 %                 |
| Pirita          | 12,39 %                 |
| Pengita         | 9,57 %                  |
| Montmorillonita | 2,01 %                  |
| Esfalerita      | 8,08%                   |
| Cuarzo          | 53,35 %                 |

*Fuente: Proinstra*



*Grafico 1: Difractogramas de los porcentajes de minerales existentes en la muestra.*

*Fuente: Proinstra*

Dentro de los cuatro tipos de análisis mineralógicos, los minerales hallados en la muestra de estudio, coinciden con los minerales encontrados en estudios anteriormente realizados en la zona. (Calle 2014).

### **6.1.2. Peso específico.**

Para de la caracterización física del material se toma en cuenta su peso específico. Se realizan tres pruebas para así poder sacar una media (Tabla 7) Anexo 2.



Tabla 7: Peso específico de la muestras Chinapintza - Herradura

| N° de Ensayos   | Peso del picnómetro vacío (g) | Peso del picnómetro con muestra (g) | Peso del picnómetro con muestra con agua (g) | Peso del picnómetro con agua (g) | Peso específico (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|--|----------------------------------|--------------------------------------|
| 1               | 8,97                          | 9,38                                | 19,96  | 19,68                            | 3,15                                 |
| 2               | 8,97                          | 9,36                                | 19,98  | 19,72                            | 3                                    |
| 3               | 8,97                          | 9,31                                | 19,92  | 19,70                            | 2,83                                 |
| <b>PROMEDIO</b> |                               |                                     |  |                                  | 2,99                                 |

Fuente: Espinoza, 2014

El peso específico promediado de la muestra Chinapintza – Herradura es de 2,99 g/cm<sup>3</sup>, que se encuentra dentro del rango obtenido en estudios realizados por Chávez (2008.), que presenta el valor de 2,66 g/cm<sup>3</sup>.

### 6.1.3. Granulometría inicial de la muestra.

El análisis granulométrico inicial nos ayuda a determinar el tamaño de grano luego de la trituración. Se determinan el D<sub>80</sub> (Tabla 8 – Grafico 2), y el número de malla en relación a la tabla de serie de tamices de Estados Unidos (Anexo 3), que en este caso es a malla 16,98.

Tabla 8: Análisis granulométrico para la determinación del D<sub>80</sub>

| Nro.Malla    | Abertura,µm | Peso,gr       | Peso,% | Acum.retenid % | Acum.pasant% |
|--------------|-------------|---------------|--------|----------------|--------------|
| 1            | 2000        | 1,16          | 0,48   | 0,48           | 99,52        |
| 2            | 1000        | 58,26         | 23,87  | 24,35          | 75,65        |
| 3            | 500         | 36,69         | 15,04  | 39,38          | 60,62        |
| 4            | 250         | 36,82         | 15,09  | 54,47          | 45,53        |
| 5            | 125         | 30            | 12,29  | 66,77          | 33,23        |
| 6            | 74          | 16,74         | 6,86   | 73,63          | 26,37        |
| 7            | 63          | 7,53          | 3,09   | 76,71          | 23,29        |
| 8            | 45          | 6,31          | 2,59   | 79,30          | 20,70        |
| 9            | 37          | 1,13          | 0,46   | 79,76          | 20,24        |
| -400         | 0           | 0,04          | 0,02   | 79,78          | 20,22        |
| Lamas        |             | 49,35         | 20,22  | 100,00         | 0,00         |
| <b>Total</b> |             | <b>244,03</b> |        |                |              |

Fuente: Espinoza, 2014



ANALISTA: Jessica Espinoza Maldonado

TEMA: Diseño Geometalúrgico de las Zonas Mineras de Nambija y  
Chinapintza

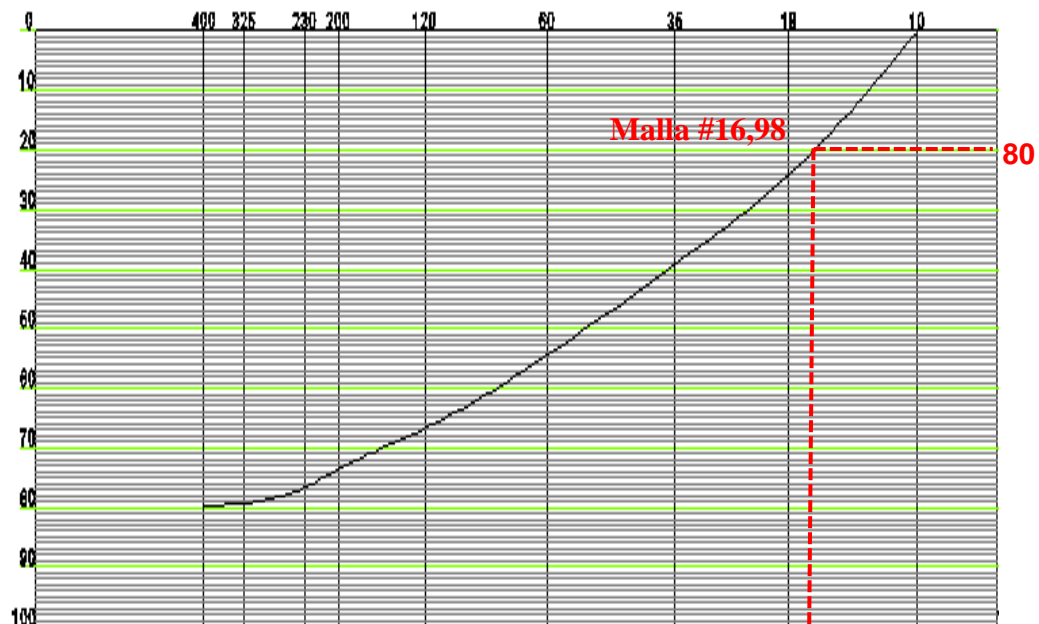


Grafico 2: Curva granulométrica y determinación del  $D_{80}$

Fuente: Espinoza, 2014

#### 6.1.4. Análisis químico de cabeza.

El análisis químico de cabeza se lo realiza con material fresco, mediante el método de absorción atómico que nos da datos de ley inicial de oro y otros minerales que puedan influenciar en los procesos de ensayo a realizarse.

Tabla 9: Análisis químico de cabeza.

| Mineral | Resultado g/t |
|---------|---------------|
| Plomo   | 251           |
| Cobre   | 510           |
| Hierro  | 47900         |
| Plata   | 1,3           |
| Zinc    | 10270         |
| Oro     | 8,91          |

Fuente: Espinoza, 2014

Los datos en la tabla de análisis químico de cabeza son parecidos a los obtenidos en otros trabajos realizados en la zona de estudio (Guerrero 2014). Como se observa en la tabla, la ley de cabeza de oro es de 8,91 g/t, muy parecida a ley resultante en los trabajos realizados por PRODEMİNCA (Clarke 1989), en la que la ley de cabeza fue de 11 g/t. También observamos otros minerales de interés que tienen una alta ley como la plata (1,3 g/t), cobre (5101,3 g/t), plomo (251 1,3 g/t) y el Zinc (10270 g/t).

## 6.2. Tiempo óptimo de molienda.

Se realizan varios ensayos a diferentes tiempos con la finalidad de encontrar el tamaño de grano más idóneo. Mesa vibratoria (Tabla 10 – Grafico 3, 4, 5), Knelson (Tabla 11 – Grafico 6, 7,8) y el ensayo combinado (Mesa vibratoria – Knelson) (Tabla 12 – Grafico 9, 10).

### 6.2.1. Tiempo óptimo de molienda Mesa Vibratoria.

Tabla 10: Tiempo óptimo de molienda para el ensayo en mesa vibratoria.

| Tiempo de Molienda |                         | 15 minutos     | 20 minutos     | 25 minutos     |
|--------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Nro.Malla          | Abertura, $\mu\text{m}$ | Acum.retenid % | Acum.retenid % | Acum.retenid % |
| 1                  | 2000                    | 0,00           | 0,0            | 0,0            |
| 2                  | 1000                    | 0,30           | 0,3            | 0,1            |
| 3                  | 500                     | 0,36           | 0,3            | 0,2            |
| 4                  | 250                     | 1,50           | 0,7            | 0,6            |
| 5                  | 125                     | 17,60          | 10,35          | 7,91           |
| 6                  | 74                      | 38,42          | 28,88          | 25,19          |
| 7                  | 63                      | 46,14          | 39,12          | 35,38          |
| 8                  | 45                      | 55,52          | 47,79          | 45,54          |
| 9                  | 37                      | 57,49          | 49,39          | 47,31          |
| -400               | 0                       | 57,63          | 49,43          | 47,41          |
| TOTAL              |                         | 100,00         | 100,00         | 100,00         |

Fuente: Espinoza, 2014



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES Y METALURGIA**  
**EXTRACTIVA – UCG**



Análisis Granulométrico

DIAGRAMA ASTM

ANALISTA: Jessica Espinoza Maldonado

TEMA: Diseño Geometalúrgico de las Zonas Mineras de Nambija y Chinapintza

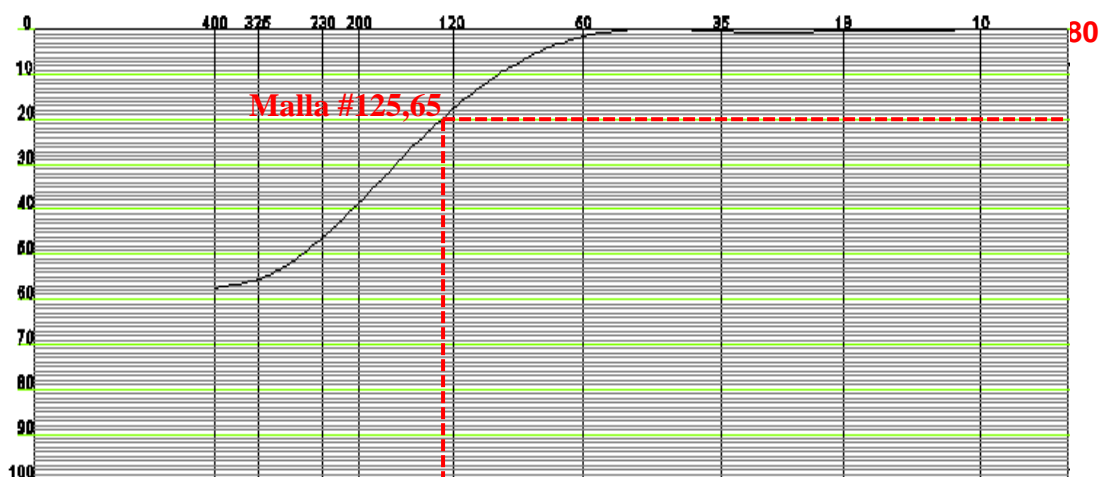


Grafico 3: Curva granulométrica y determinación del  $D_{80}$  a 15 minutos

Fuente: Espinoza, 2014



Análisis Granulométrico

DIAGRAMA ASTM

ANALISTA: Jessica Espinoza Maldonado

TEMA: Diseño Geometalúrgico de las Zonas Mineras de Nambija y Chinapintza

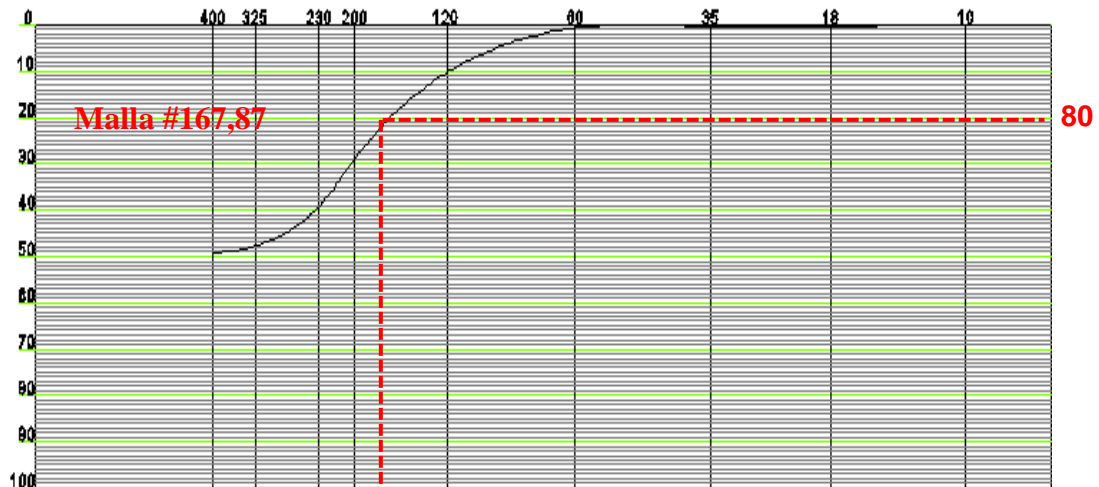


Gráfico 4: Curva granulométrica y determinación del  $D_{80}$  a 20 minutos

Fuente: Espinoza, 2014



Análisis Granulométrico

DIAGRAMA ASTM

ANALISTA: Jessica Espinoza Maldonado

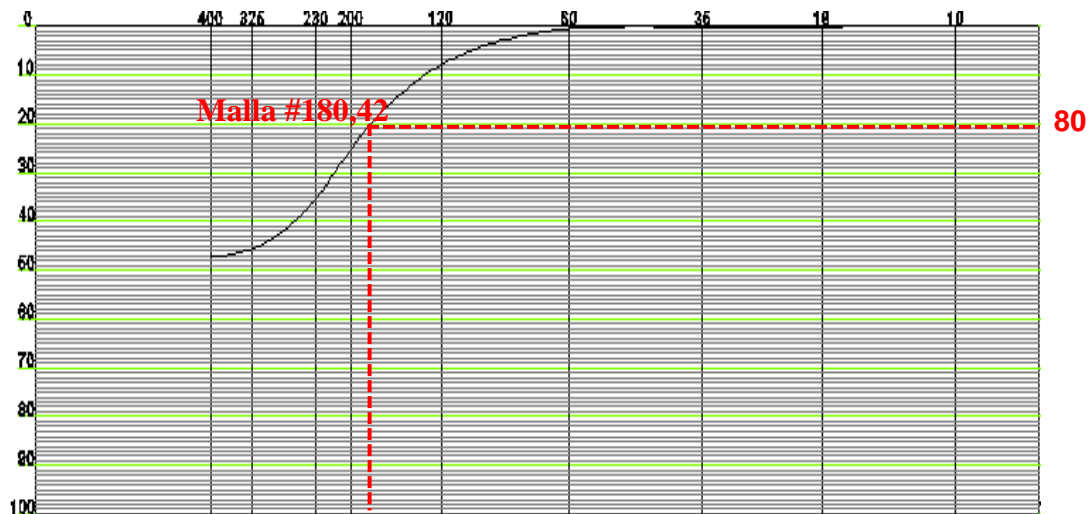


Gráfico 5: Curva granulométrica y determinación del  $D_{80}$  a 25 minutos

Fuente: Espinoza, 2014

Para el ensayo en mesa vibratoria, las gráficas que anteceden muestran los tiempos de molienda: 15', 20' y 25' con sus respectivos  $D_{80}$ , de los cuales se obtienen los siguientes resultados con números de mallas 126, 168 y 180 respectivamente.

### 6.2.2. Tiempo óptimo de molienda Knelson.

Tabla 11: Tiempo óptimo de molienda para el ensayo en Knelson.

| Tiempo de Molienda |                         | 25 minutos     | 30 minutos     | 35 minutos     |
|--------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Nro.Malla          | Abertura, $\mu\text{m}$ | Acum.retenid % | Acum.retenid % | Acum.retenid % |
| 1                  | 2000                    | 0,0            | 0,0            | 0,0            |
| 2                  | 1000                    | 0,1            | 0,3            | 0,2            |
| 3                  | 500                     | 0,2            | 0,4            | 0,2            |
| 4                  | 250                     | 0,6            | 0,9            | 0,4            |
| 5                  | 125                     | 7,91           | 7,45           | 2,89           |
| 6                  | 74                      | 25,19          | 21,69          | 14,30          |
| 7                  | 63                      | 35,38          | 32,97          | 24,11          |
| 8                  | 45                      | 45,54          | 43,85          | 34,68          |
| 9                  | 37                      | 47,31          | 46,19          | 37,10          |
| -400               | 0                       | 47,41          | 46,30          | 37,20          |
| TOTAL              |                         | 100,00         | 100,00         | 100,00         |

Fuente: Espinoza, 2014



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
 LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES Y METALURGIA  
 EXTRACTIVA – UCG



Análisis Granulométrico

DIAGRAMA ASTM

ANALISTA: Jessica Espinoza Maldonado

TEMA: Diseño Geometalúrgico de las Zonas Mineras de Nambija y Chinapintza

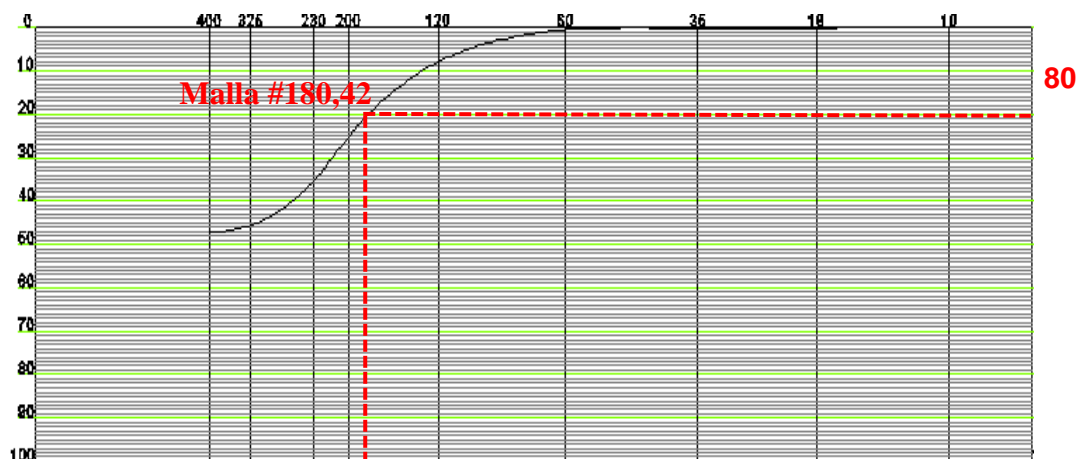


Gráfico 6: Curva granulométrica y determinación del  $D_{80}$  a 25 minutos

Fuente: Espinoza, 2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES Y METALURGIA  
EXTRACTIVA – UCG



Análisis Granulométrico

DIAGRAMA ASTM

ANALISTA: Jessica Espinoza Maldonado

TEMA: Diseño Geometalúrgico de las Zonas Mineras de Nambija y Chinapintza

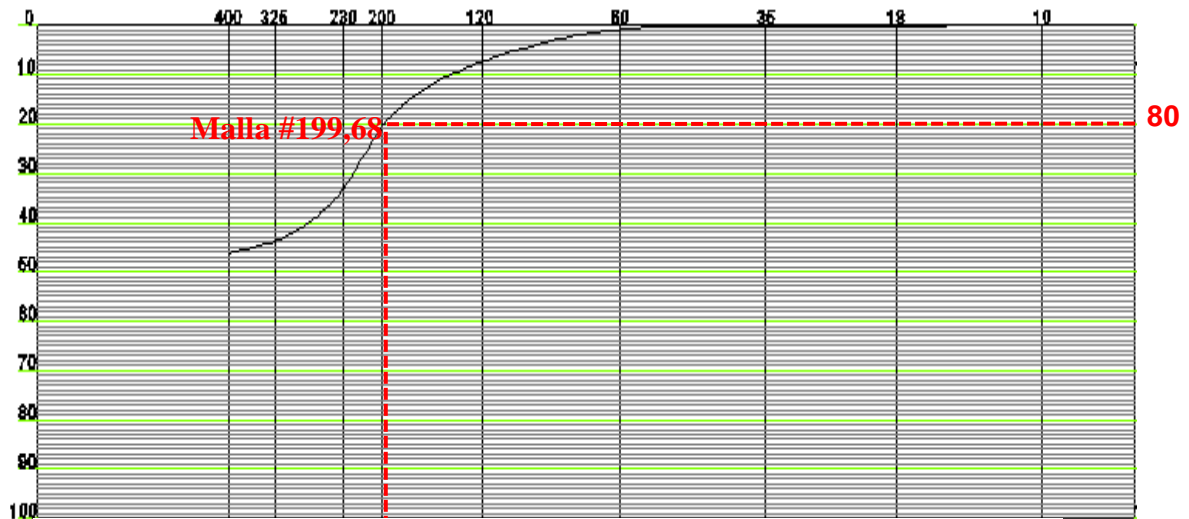


Grafico 7: Curva granulométrica y determinación del  $D_{80}$  a 30 minutos

Fuente: Espinoza, 2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES Y METALURGIA  
EXTRACTIVA – UCG



Análisis Granulométrico

DIAGRAMA ASTM

ANALISTA: Jessica Espinoza Maldonado

TEMA: Diseño Geometalúrgico de las Zonas Mineras de Nambija y Chinapintza

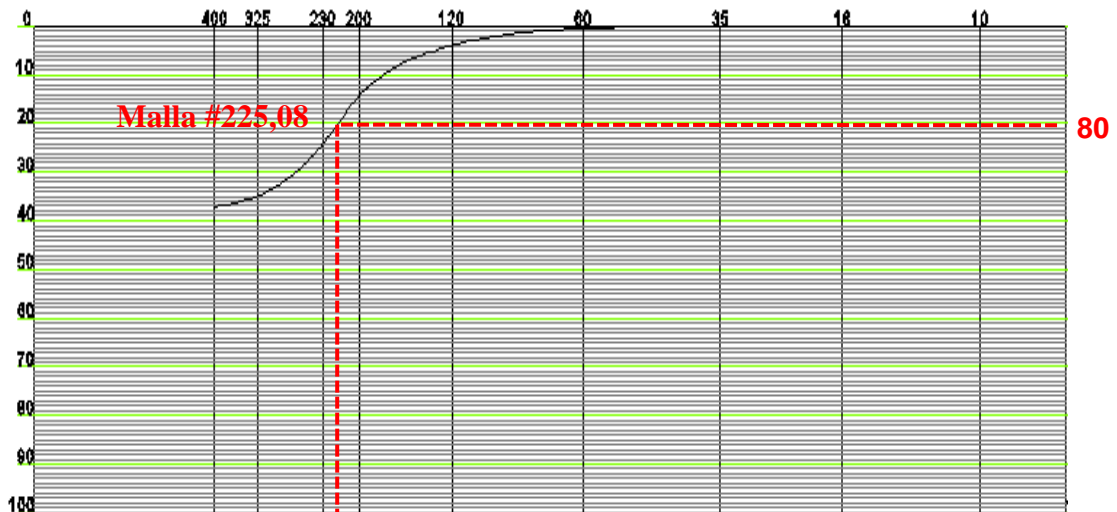


Grafico 8: Curva granulométrica y determinación del  $D_{80}$  a 35 minutos

Fuente: Espinoza, 2014

Para el ensayo en Knelson las gráficas anteriores muestran el  $D_{80}$  aplicado a los tiempos: 25', 30' y 35', con resultados en números de mallas de 180, 200, 225 respectivamente.

### 6.2.3. Tiempo óptimo de molienda Mesa vibratoria - Knelson.

Tabla 12: Tiempo óptimo de molienda para el ensayo combinado (mesa vibratoria – Knelson).

| Tiempo de Molienda |                         | 20 minutos<br>(Mesa vibratoria) | 25 minutos<br>(Knelson) |
|--------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Nro.Malla          | Abertura, $\mu\text{m}$ | Acum.retenid %                  | Acum.retenid %          |
| 1                  | 2000                    | 0,0                             | 0,0                     |
| 2                  | 1000                    | 0,3                             | 0,1                     |
| 3                  | 500                     | 0,3                             | 0,2                     |
| 4                  | 250                     | 0,7                             | 0,6                     |
| 5                  | 125                     | 10,35                           | 7,91                    |
| 6                  | 74                      | 28,88                           | 25,19                   |
| 7                  | 63                      | 39,12                           | 35,38                   |
| 8                  | 45                      | 47,79                           | 45,54                   |
| 9                  | 37                      | 49,39                           | 47,31                   |
| -400               | 0                       | 49,43                           | 47,41                   |
| TOTAL              |                         | 100,00                          | 100,00                  |

Fuente: Espinoza, 2014





Análisis Granulométrico

DIAGRAMA ASTM

ANALISTA: Jessica Espinoza Maldonado

TEMA: Diseño Geometalúrgico de las Zonas Mineras de Nambija y Chinapintza

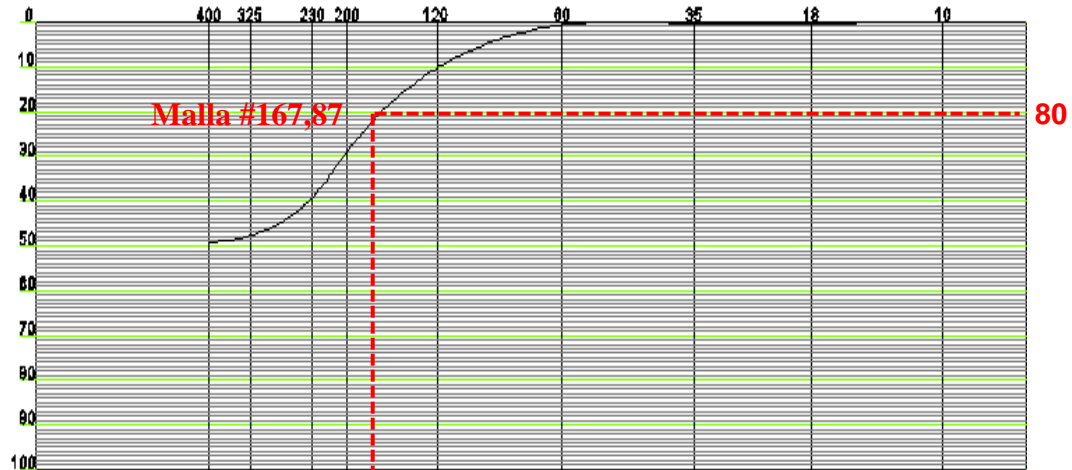


Grafico 9: Curva granulométrica y determinación del  $D_{80}$  a 20 minutos

Fuente: Espinoza, 2014



Análisis Granulométrico

DIAGRAMA ASTM

ANALISTA: Jessica Espinoza Maldonado

TEMA: Diseño Geometalúrgico de las Zonas Mineras de Nambija y Chinapintza

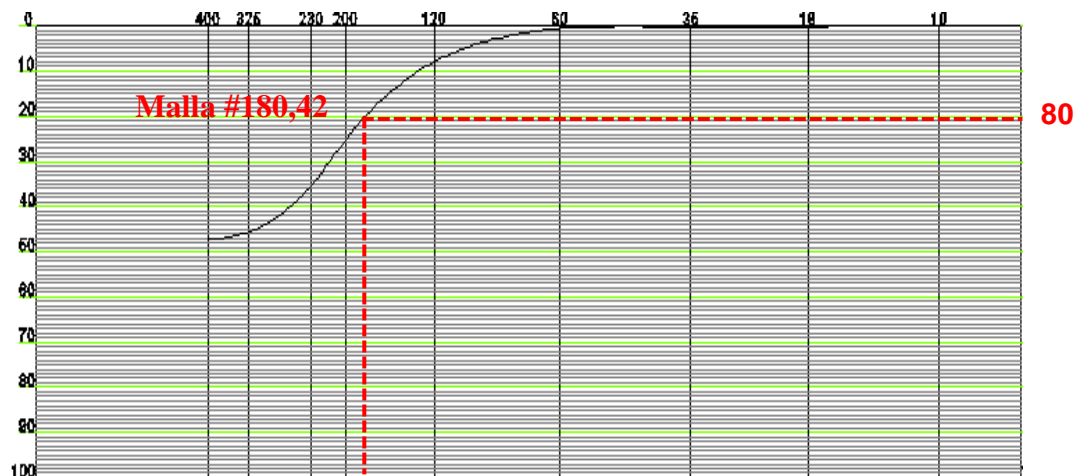


Grafico 10: Curva granulométrica y determinación del  $D_{80}$  a 25 minutos

Fuente: Espinoza, 2014

Para el ensayo combinado, el  $D_{80}$  aplicado a los tiempos y números de malla fueron: 20' con número de malla 168 en mesa vibratoria y 25' con número de malla 180 en Knelson.

### 6.3. Mesa Vibratoria.

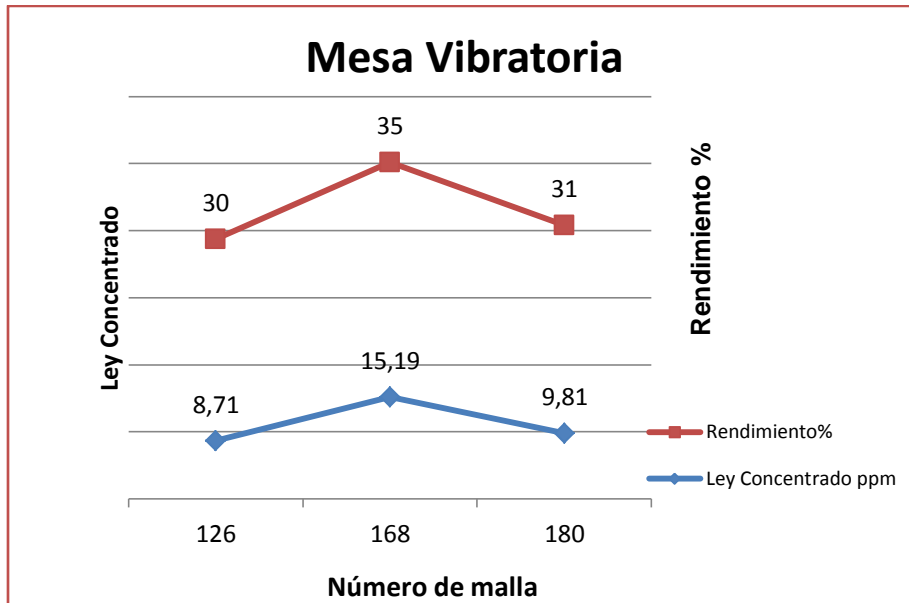
La variable para el ensayo en mesa vibratoria fue el tamaño de grano o número de malla: 126, 168 y 180, tomando en cuenta que se hizo un duplicado con la finalidad de corroborar los resultados.

#### 6.3.1. Recuperación de oro.

*Tabla 13: Balance metalúrgico de Au para el ensayo en mesa vibratoria.*

| <b>N° De MALLA</b> | <b>LEY DE CABEZA</b> | <b>LEY DE CONCENTRADOS (ppm)</b> | <b>RENDIMIENTO (%)</b> |
|--------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------|
| 126                | 8,91                 | 8,71                             | 30                     |
| 168                | 8,91                 | 15,19                            | 35                     |
| 180                | 8,91                 | 9,81                             | 31                     |

*Fuente: Espinoza, 2014*



Curva 1: Efecto del número de malla en función a la recuperación y la ley del concentrado de cada número de malla.

Fuente: Espinoza, 2014

En la curva 1, nos muestra la recuperación de Au en el ensayo en mesa vibratoria, donde podemos ver que a malla 126 hay una recuperación de 30 % con ley del concentrado del 8,71 ppm, a malla 168 hay una recuperación de 35 % con ley de concentrado del 15,19 ppm, y a malla 180 con ley de concentrado igual a 9,81 ppm; de estos datos como vemos el mejor resultados de recuperación es a malla 168, el mismo que se tomara en cuenta para el ensayo combina.

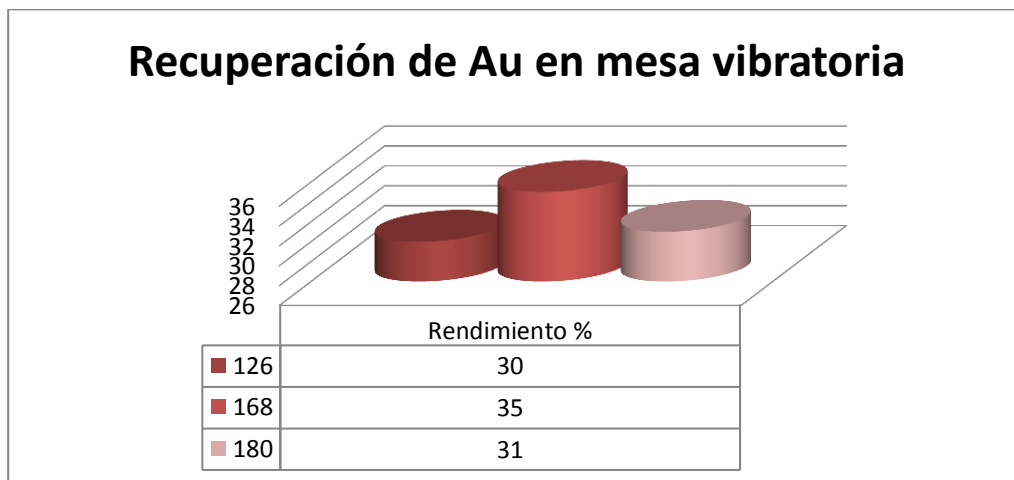


Grafico 11: Porcentajes de recuperación de Au de los diferentes tipos de mallas usados en mesa vibratoria.

Fuente: Espinoza, 2014

En la gráfica 11 podemos ver que los porcentajes de recuperación en mesa vibratoria van desde 30 % a 35 %, manteniendo constante tanto su inclinación, como los movimientos oscilatorios, siendo el mejor resultado en malla número 168 con un porcentaje de recuperación del 35 %. Tomando en cuenta el mejor resultado, podemos considerarlo moderado, en relación al trabajo realizado por Rodríguez (1996), donde se utilizó la mesa vibratoria con material del sector de Ponce Enríquez, su recuperación fue de 57 % a 60%, en este trabajo se optimiza la recuperación haciendo variaciones de algunos parámetros como el tamaño de grano y la inclinación de la mesa vibratoria, además debe tomarse en cuenta la mineralogía de Ponce Enríquez con respecto a Chinapintza, ya que los mismos son diferentes.

#### **6.4. Knelson.**

En el ensayo en Knelson se tomó variables como los PSI 2,3 y 4 y los tamaños de grano 180, 200 y 225.

##### ***6.4.1. Recalculo del balance metalúrgico de Au Knelson.***

En el recalcu de Au para el ensayo en Knelson, se toma en cuenta los datos de la primera pasada como la pasada de comprobación, esto nos ayuda a sacar la ley y el porcentaje de la recuperación total en los diferentes tipos de malla y PSI.

Tabla 14: Balance metalúrgico de Au para el ensayo en Knelson a malla 180.

| <b>25 min 2 PSI DUPLICADO (MALLA #180)</b> |                |              |             |              |
|--|----------------|--------------|-------------|--------------|
| PROCESOS                                   | PESO (g)       | Ley ppm      | mg          | REND(%)      |
| A  | 94,96          | 64,70        | 6,14        | 78,77        |
| B  | 15,37          | 9,37         | 0,14        | 1,85         |
| <b>A+B</b>                                 | <b>110,33</b>  | <b>56,99</b> | <b>6,29</b> | <b>80,61</b> |
| R  | 902,78         | 1,675        | 1,51        | 19,39        |
| <b>A+B+R</b>                               | <b>1013,11</b> | <b>7,70</b>  | <b>7,80</b> | <b>100</b>   |
| <b>25 min 3 PSI DUPLICADO (MALLA #180)</b> |                |              |             |              |
| PROCESOS                                   | PESO (g)       | Ley ppm      | mg          | REND(%)      |
| A  | 89,98          | 32,06        | 2,88        | 35,61        |
| B  | 8,99           | 7,09         | 0,06        | 0,79         |
| <b>A+B</b>                                 | <b>98,97</b>   | <b>63,53</b> | <b>6,29</b> | <b>77,61</b> |
| R  | 981,92         | 1,847        | 1,81        | 22,39        |
| <b>A+B+R</b>                               | <b>1080,89</b> | <b>7,50</b>  | <b>8,10</b> | <b>100</b>   |
| <b>25 min 4 PSI DUPLICADO (MALLA #180)</b> |                |              |             |              |
| PROCESOS                                   | PESO (g)       | Ley ppm      | mg          | REND(%)      |
| A  | 85,38          | 33,67        | 2,87        | 35,37        |
| B  | 3,59           | 4,89         | 0,02        | 0,22         |
| <b>A+B</b>                                 | <b>88,97</b>   | <b>70,68</b> | <b>6,29</b> | <b>77,36</b> |
| R  | 994,68         | 1,85         | 1,84        | 22,64        |
| <b>A+B+R</b>                               | <b>1083,65</b> | <b>7,50</b>  | <b>8,13</b> | <b>100</b>   |

Fuente: Espinoza, 2014

Tabla 15: Balance metalúrgico de Au para el ensayo en Knelson a malla 200.

| <b>30 min 2 PSI NORMA (MALLA #200)</b>     |                |              |             |              |
|--|----------------|--------------|-------------|--------------|
| PROCESOS                                   | PESO (g)       | Ley ppm      | mg          | REND (%)     |
| A  | 94,73          | 29,93        | 2,84        | 34,73        |
| B  | 19,51          | 8,41         | 0,16        | 2,01         |
| <b>A+B</b>                                 | <b>114,24</b>  | <b>55,04</b> | <b>6,29</b> | <b>77,03</b> |
| R  | 961,06         | 1,95         | 1,88        | 22,97        |
| <b>A+B+R</b>                               | <b>1075,30</b> | <b>7,59</b>  | <b>8,16</b> | <b>100</b>   |
| <b>30 min 3 PSI DUPLICADO (MALLA #200)</b> |                |              |             |              |
| PROCESOS                                   | PESO (g)       | Ley ppm      | mg          | REND (%)     |
| A  | 83,57          | 41,70        | 3,48        | 42,29        |
| B  | 9,80           | 11,21        | 0,11        | 1,33         |
| <b>A+B</b>                                 | <b>93,37</b>   | <b>67,34</b> | <b>6,29</b> | <b>76,31</b> |
| R  | 984,56         | 1,983        | 1,95        | 23,69        |
| <b>A+B+R</b>                               | <b>1077,93</b> | <b>7,64</b>  | <b>8,24</b> | <b>100</b>   |

| <b>30 min 4 PSI DUPLICADO (MALLA #200)</b> |                |              |             |              |
|--|----------------|--------------|-------------|--------------|
| PROCESOS                                   | PESO (g)       | Ley ppm      | mg          | REND (%)     |
| A  | 71,38          | 64,82        | 4,63        | 55,17        |
| B  | 5,22           | 7,53         | 0,04        | 0,47         |
| <b>A+B</b>                                 | <b>76,60</b>   | <b>82,09</b> | <b>6,29</b> | <b>74,98</b> |
| R  | 990,46         | 2,119        | 2,10        | 25,02        |
| <b>A+B+R</b>                               | <b>1067,06</b> | <b>7,86</b>  | <b>8,39</b> | <b>100</b>   |

Fuente: Espinoza, 2014

Tabla 16: Balance metalúrgico de Au para el ensayo en Knelson a malla 225.

| <b>35 min 2 PSI DUPLICADO (MALLA #225)</b> |                |               |             |              |
|--|----------------|---------------|-------------|--------------|
| PROCESOS                                   | PESO (g)       | Ley ppm       | mg          | REND (%)     |
| A  | 93,56          | 40,24         | 3,76        | 44,55        |
| B  | 18,36          | 13,74         | 0,25        | 2,99         |
| <b>A+B</b>                                 | <b>111,92</b>  | <b>56,18</b>  | <b>6,29</b> | <b>74,41</b> |
| R  | 954,32         | 2,266         | 2,16        | 25,59        |
| <b>A+B+R</b>                               | <b>1066,24</b> | <b>7,93</b>   | <b>8,45</b> | <b>100</b>   |
| <b>35 min 3 PSI DUPLICADO (MALLA #225)</b> |                |               |             |              |
| PROCESOS                                   | PESO (g)       | Ley ppm       | mg          | REND (%)     |
| A  | 65,94          | 45,09         | 2,97        | 35,57        |
| B  | 5,43           | 7,92          | 0,04        | 0,51         |
| <b>A+B</b>                                 | <b>71,37</b>   | <b>88,10</b>  | <b>6,29</b> | <b>75,22</b> |
| R  | 992,94         | 2,086         | 2,07        | 24,78        |
| <b>A+B+R</b>                               | <b>1064,31</b> | <b>7,85</b>   | <b>8,36</b> | <b>100</b>   |
| <b>35 min 4 PSI DUPLICADO (MALLA #225)</b> |                |               |             |              |
| PROCESOS                                   | PESO (g)       | Ley ppm       | mg          | REND (%)     |
| A  | 49,53          | 46,95         | 2,33        | 28,93        |
| B  | 2,10           | 1,88          | 0,00        | 0,05         |
| <b>A+B</b>                                 | <b>51,63</b>   | <b>121,79</b> | <b>6,29</b> | <b>78,24</b> |
| R  | 990,90         | 1,765         | 1,75        | 21,76        |
| <b>A+B+R</b>                               | <b>1042,53</b> | <b>7,71</b>   | <b>8,04</b> | <b>100</b>   |

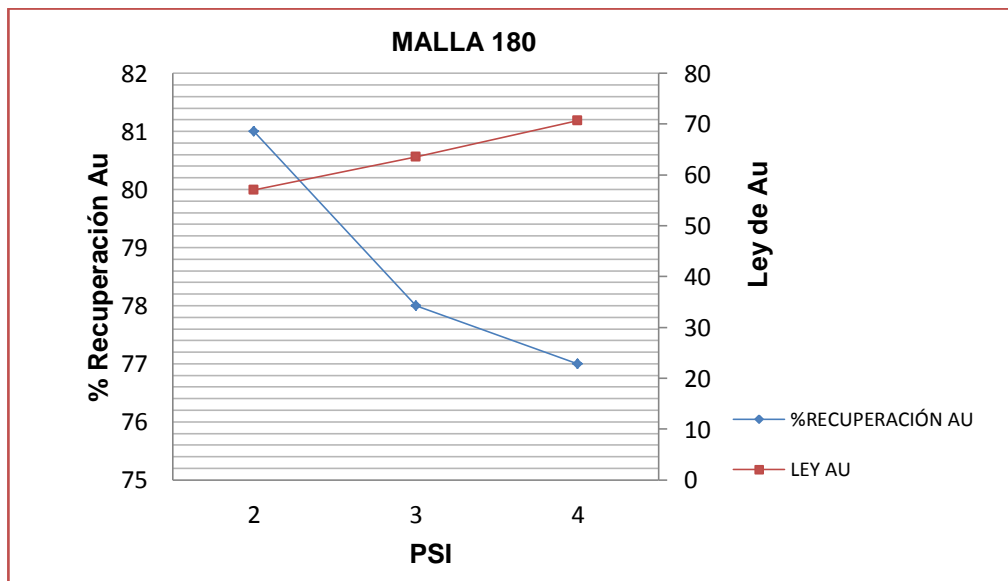
Fuente: Espinoza, 2014

### 6.4.2. Recuperación de Au.

Tabla 17: Balance metalúrgico de Au para el ensayo en Knelson.

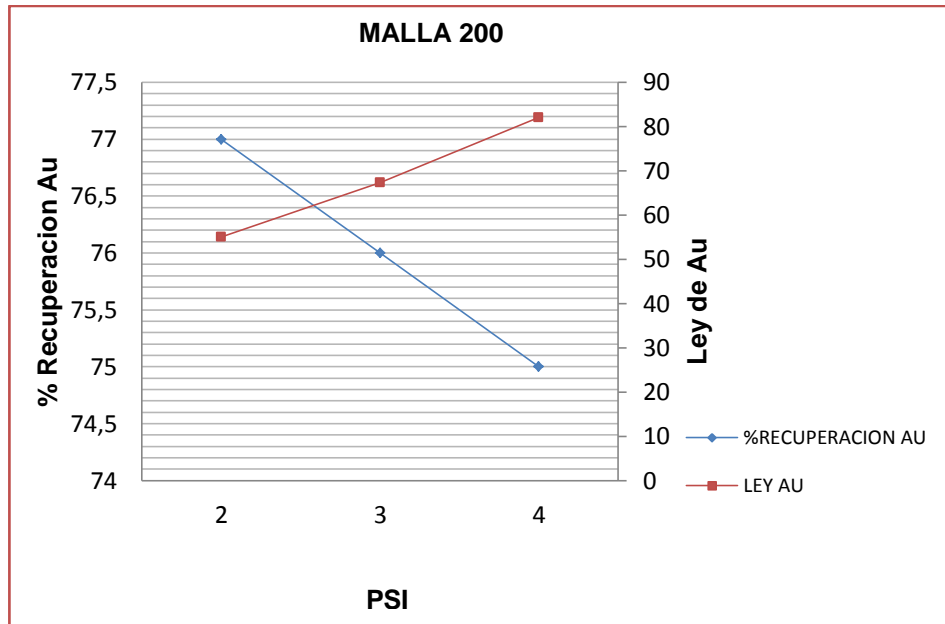
| N° De MALLA | LEY DE CABEZA | PSI | LEY DE CONCENTRADO (ppm) | RENDIMIENTO (%) |
|-------------|---------------|-----|--------------------------|-----------------|
| 180         | 8,91          | 2   | 56,99                    | 81              |
|             |               | 3   | 63,53                    | 78              |
|             |               | 4   | 70,68                    | 77              |
| 200         | 8,91          | 2   | 55,04                    | 77              |
|             |               | 3   | 67,34                    | 76              |
|             |               | 4   | 82,09                    | 75              |
| 223         | 8,91          | 2   | 56,18                    | 74              |
|             |               | 3   | 88,10                    | 75              |
|             |               | 4   | 121,79                   | 78              |

Fuente: Espinoza, 2014



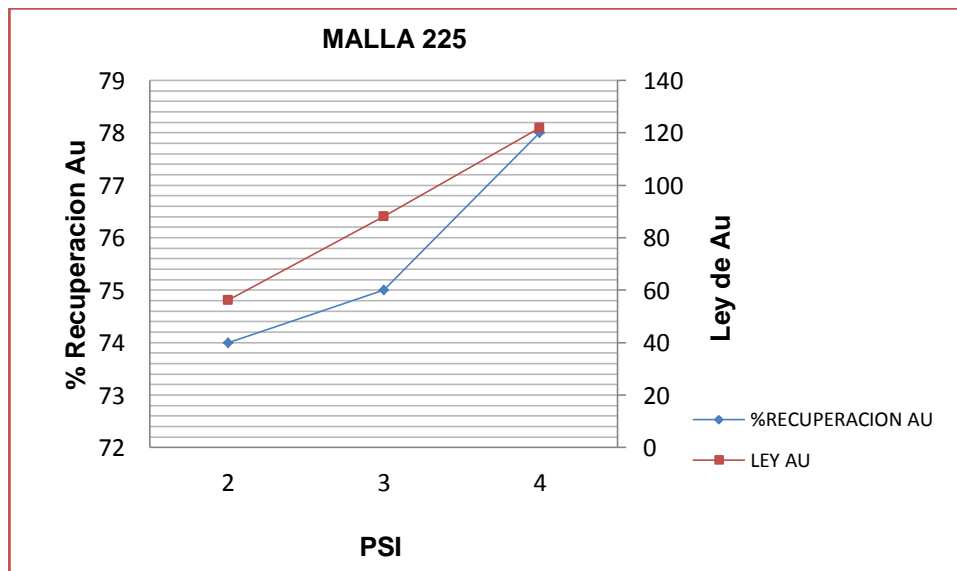
Curva 2: Efecto de los PSI en función a la recuperación y la ley de Au.

Fuente: Espinoza, 2014



Curva 3: Efecto de los PSI en función a la recuperación y la ley de Au.

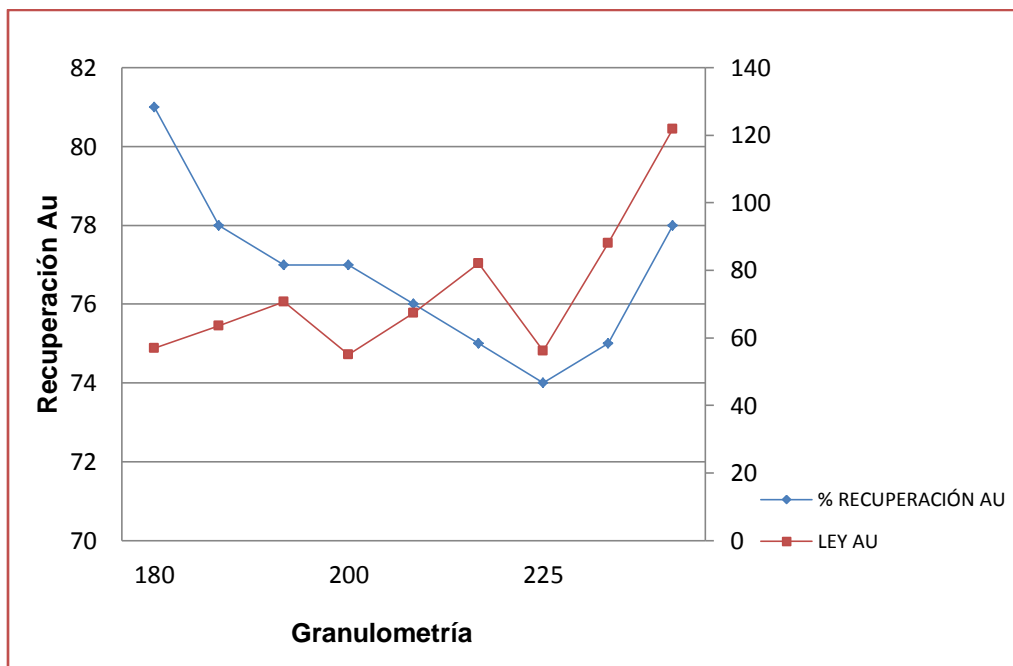
Fuente: Espinoza, 2014



Curva 4: Efecto de los PSI en función a la recuperación y la ley de Au.

Fuente: Espinoza, 2014





Curva 5: Curva del porcentaje de recuperación de Au y la ley de Au en las diferentes granulometrías en Knelson.

Fuente: Espinoza, 2014

De las curvas 2, 3 y 4, se deduce que a menor PSI hay una mayor recuperación de Au. De esta manera a 2 PSI se obtiene una recuperación del 81 %, con una ley de Au de 56,99 ppm. En la curva 5, se obtiene un aumento de recuperación de Au, cuando se disminuye la granulometría, que en este caso es malla 180, con recuperación del 81 %, y ley de Au de 56,99 ppm. En las curvas 2,3,4 y 5, se puede destacar que ley de oro es proporcional conforme se va aumento de número de malla y los PSI, pero el porcentaje de recuperación es inverso conforme se va disminuyendo tanto el número de malla como los PSI.

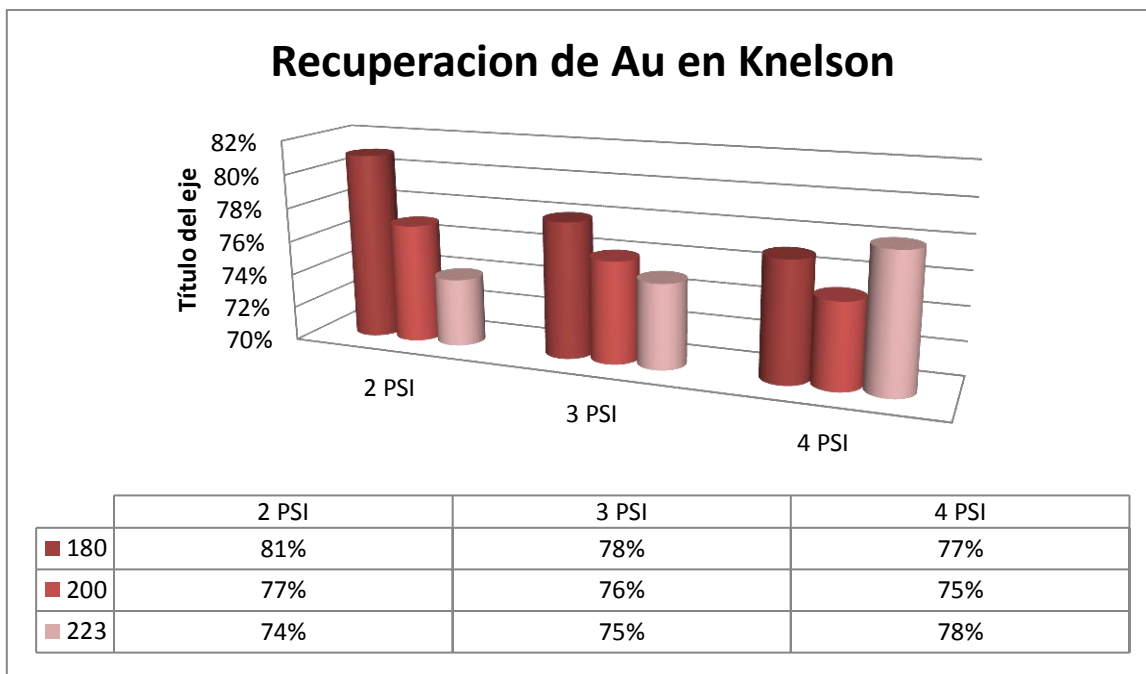


Grafico 12: Porcentajes de recuperación de Au de los diferentes tipos de mallas y PSI usados en Knelson.

Fuente: Espinoza, 2014

Como podemos ver en la gráfica 12, los porcentajes de recuperación de Au en el Knelson van desde 74 % a 81 %, recalcando que se varió tanto los PSI como el número de malla, siendo el mejor resultado a 2 PSI con número de malla 180, obteniendo 81% de recuperación de Au. Se consideraría esta recuperación como buena, si comparamos con el trabajo investigativo de Valderrama, et.al (2012), que utiliza un concentrador centrifugo Knelson, alcanzan recuperaciones de 89 % y si comparamos con otro trabajo realizado por Rodríguez (1996), cuya recuperación de oro es de 42 %, nuestro resultado se consideraría muy bueno; el equipo de concentración centrifuga utilizado por B. Rodríguez, fue un Knudsen Bowl.

## 6.5. Mesa Vibratoria – Knelson.

### 6.5.1. Recalculo del balance metalúrgico de Au en Mesa vibratoria – Knelson.

| COMBINADO |          |              |      |              |
|-----------|----------|--------------|------|--------------|
| PROCESOS  | PESO (g) | Ley ppm      | mg   | REND (%)     |
| A         | 100,92   | 34,68        | 3,50 | 37,59        |
| B         | 25,75    | 10,70        | 0,28 | 2,96         |
| A+B       | 126,67   | 49,64        | 6,29 | <b>67,54</b> |
| R         | 579,62   | 5,213        | 3,02 | 32,46        |
| A+B+R     | 706,29   | <b>13,18</b> | 9,31 | 100          |

Tabla 18: Balance metalúrgico de Au para el ensayo en Mesa vibratoria – Knelson.

Fuente: Espinoza, 2014

La tabla 18 muestra el porcentaje de recuperación al combinar los dos procedimientos (Mesa vibratoria – Knelson), que es del 68 %, con ley de Au de 13,18 ppm

### 6.5.2. Recuperación de oro.

| N° De MALLA | LEY DE CABEZA | LEY DEL CONCENTRADO (ppm) | RENDIMIENTO (%) |
|-------------|---------------|---------------------------|-----------------|
| 168         | 8,91          | 9,67                      | 27%             |

Tabla 19: Balance metalúrgico de Au para el ensayo combinado Mesa vibratoria.

Fuente: Espinoza, 2014

| N° De MALLA | LEY DE CABEZA | PSI | LEY DEL CONCENTRADO (ppm) | RENDIMIENTO (%) |
|-------------|---------------|-----|---------------------------|-----------------|
| 180         | 8,91          | 2   | 49,64                     | 68%             |

Tabla 20: Balance metalúrgico de Au para el ensayo combinado Knelson.

Fuente: Espinoza, 2014

En la tabla 19 se detalla todos los datos a tomarse en cuenta dentro del proceso de mesa vibratoria. Dentro de la tablas 20 se detalla, el porcentaje de Au recuperado al momento de combinar los dos tipos de procedimientos (mesa vibratoria-Knelson), que fue del 68 %, así como la ley de concentrado que es 49,64 ppm. Se consideraría la recuperación mala en relación al proyecto realizado por A. López, et.al 1999, donde se logró un 94 % de recuperación, al unir los dos métodos, tanto mesa vibratoria como el Knelson Falcon.

## CONCLUSIONES

- La mineralogía que predomina en el sector Chinapintza – Herradura, está asociada a una paragénesis mineralógica de metales como: calcopirita, esfalerita y bornita, que se consideran minerales primarios, y minerales secundarios como: cuarzo, plagioclasas y ortoclasas.
- El peso específico muestreado en el sector Herradura – Chinapintza es de 2,99 g/cm<sup>3</sup>.
- La ley de cabeza para el sector de estudio Chinapintza – Herradura es de Au 8,91 ppm, Cu 510 ppm, Zn 10270 ppm, Fe 47900 ppm, Ag 1,3 ppm, Pb 251 ppm.
- En el proceso de mesa vibratoria, la recuperación fue del 35 % con ley 15,19 ppm, tomando en cuentas las mejores condiciones como tamaño de grano a malla 168, las vibraciones oscilatorias (50) e inclinación constante.
- En el ensayo Knelson las condiciones adecuadas de operación son: tamaño de grano 180 mallas y 2 PSI, permitiendo una recuperación de 81 %, y una ley de concentrado de 56,99 ppm.
- En la combinación secuencial Mesa vibratoria – Knelson, se consideró las mejores condiciones de operación de estos procesos, anteriormente indicadas, donde se hace una remolienda de 4 minutos del concentrado en mesa vibratoria, para ajustar la mallas idónea en el ensayo en Knelson; obteniendo una recuperación global del 60 %, la misma que se consideraría buena, con una ley de 49,76 ppm

## RECOMENDACIONES

- La concentración en mesa vibratoria, luego de hacer los balances metalúrgicos, se recomienda pasar otra vez el material mixto, para aumentar la tasa de recuperación del oro.
- Para realizar los ensayos en Knelson, es recomendable iniciar desde 1 PSI o menos a malla 180, para obtener valores de recuperación favorables.
- A 225 malla, es recomendable probarse a 5 PSI con el objetivo de ver el comportamiento del mineral de Chinapintza, para verificar si el rendimiento y la ley, tienden aumentar o disminuir.
- En los ensayos de fusión – copelación, es conveniente tostar la muestra con la finalidad de eliminar sulfuros, y así obtener una mejor y rápida digestión de la perla.
- Si el concentrado de oro obtenido luego de la digestión de la perla es alto, es conveniente hacer la respectiva solución para obtener un resultado confiable.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alulima J. (2009). Rendimiento de la Flotación para Concentrar Sulfuros Minerales de los Relaves en los Distritos Mineros de Portovelo-Zaruma, Bella Rica y San Gerardo. Ecuador. (Tesis).
- Chávez A. (2008). Evaluación geológica del cuerpo mineralizado Soledad.
- Guerrero S. (1986). Búsqueda y Explotación de Yacimientos Minerales
- Jimenez J., Justo J. (1975). Geotecnia y Cimientos I. España –Madrid.
- Mateu J., Morell I. (2003). Geoestadística y Modelos Matemáticos en Hidrogeología. Jaume. Pag. 3-6
- López A., Ibarra A., Oliva S., Reyes J., (1999). Concentración gravimétrica centrífuga de oro y plata. Su implementación en el Circuito de molienda de minera el Pílon.
- Ministerio de Energía y Minas (2000). Evaluación de Distrito Minero del Ecuador Vol. V. Ecuador. UCP Prodeminca. ISBN – 9978 – 41 – 372 – 3.
- Oliveras I. (1979). Prospección Geoquímica. Guayaquil-Ecuador. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Naturales Escuela de Geología.
- Paladines A (1989). Zonificación Geotectónica y Metalogénia del Ecuador. Quito Ecuador. INEMIN.
- Paladines A. Soto J (2010). Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador. Ecuador.
- Perry R (2001). Manual de Ingeniería Química (6<sup>ta</sup> Edición). México.
- Rodríguez B. (1996). Estudio mineralógico de concentración gravimétrica y de flotación para la recuperación de oro a partir de arenas cianuradas de la campaña Orenas S.A.
- Skoog D., Holler F., Nieman T (2001). Principio de Análisis Instrumental (5<sup>ta</sup> edición). Madrid.
- Valderrama L., M. Santander<sup>1</sup>, J. Ossandon<sup>1</sup>, D. Olguín (2012). Recuperación de oro grueso en concentrador Centrifugo Knelson.
- Valdivieso D. (2013). Efecto del tamaño de grano, pH, tipo de colector de la flotabilidad del mineral de Skarn Aurífero de los condominios Norte y Sur del yacimiento mineral Nambija. (Tesis)

- Villachica C., Llamosas J., Villachica L. Tecnología para la obtención de oro sin mercurio en la minería de pequeña escala
- Welz B. Sperling M. (1999) Atomic Absorption Spectrometry. Germany.



### Anexo 1

#### Calculo de Molienda (peso de las bolas)

$$D_i = 0,18 \text{ m}$$

$$r = 0,09 \text{ m}$$

$$D_{ex} = 0,238 \text{ m}$$

$$h = 0,25 \text{ m}$$

$$v = \pi r^2 h$$

$$v = (3,1416)(0,09\text{m})^2(0,25\text{m})$$

$$v = 0,00636 \text{ m}^3$$

|                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| $1 \text{ m}^3$       | $4500 \text{ kg}$ |
| $0,00636 \text{ m}^3$ | $x$               |

$$x = 28,62 \text{ kg}$$

|                    |          |
|--------------------|----------|
| $28,62 \text{ kg}$ | $100 \%$ |
| $x$                | $40\%$   |

$$x = 11,448 \text{ kg}$$

$$x = 11448 \text{ g}$$

La carga de molienda o el peso de las bolas, que se necesita para el ensayo son 11448 g

## Anexo 2

### Calculo del Peso Específico

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

$P_1$  = Peso del picnómetro vacío

$P_2$  =  $P_1$  mas el peso de la muestras

$P_4$  =  $P_2$  mas agua

$P_3$  =  $P_1$  mas agua

#### Peso específico 1

$P_1$  = 8,97

$P_2$  = 9,38

$P_3$  = 19,68

$P_4$  = 19,96

$$\gamma_c = \frac{9,38 - 8,97}{(19,68 - 8,97) - (19,96 - 9,38)}$$

$$\gamma_c = 3,15 \text{ g/cm}^3$$

#### Peso específico 1

$P_1$  = 8,97

$P_2$  = 9,36

$P_3$  = 19,72

$P_4$  = 19,98

$$\gamma_c = \frac{9,36 - 8,97}{(19,72 - 8,97) - (19,98 - 9,36)}$$

$$\gamma_c = 3 \text{ g/cm}^3$$

#### Peso específico 1

$$P_1 = 8,97$$

$$P_2 = 9,31$$

$$P_3 = 19,70$$

$$P_4 = 19,92$$

$$\gamma_c = \frac{9,31 - 8,97}{(19,70 - 8,97) - (19,92 - 9,31)}$$

$$\gamma_c = 2,83 \text{ g/cm}^3$$

Sacando un promedio, el peso específico total es 2,99 g/cm<sup>3</sup>

### Anexo 3

Tabla 1: 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     | 0.88                 | 0.0035             | 0.064                        | 0.0025             | 170 malla                        |
| 74micras              | No. 200     | 0.74                 | 0.0029             | 0.053                        | 0.0021             | 200 malla                        |
| 63micras              | No. 230     | 0.63                 | 0.0025             | 0.044                        | 0.0017             | 250 malla                        |
| 53micras              | No. 270     | 0.53                 | 0.0021             | 0.037                        | 0.0015             | 270 malla                        |
| 44micras              | No. 325     | 0.44                 | 0.0017             | 0.030                        | 0.0012             | 325 malla                        |
| 37micras              | No. 400     | 0.37                 | 0.0015             | 0.025                        | 0.0010             | 400 malla                        |

## Anexo 4

### Calculo de Balance Metalúrgico de los ensayos en Knelson y Mesa Vibratoria

Se detalla los cálculos de los mejores rendimientos, tanto en Knelson como en Mesa Vibratoria.

#### KNELSON

##### Balance Metalúrgico

$$E=C+R$$

$$\overbrace{PxL}^E = \overbrace{PxL}^C + \overbrace{PxL}^R$$

##### Rendimiento

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

#### 25 MINUTOS

##### 2 PSI

$$1500g \times 0,00891mg/g = (94,96g \times 0,0647mg/g) + (1396g \times 0,001766mg/g)$$

$$13,365mg = 8,61mg$$

$$R = \frac{6,144 \text{ mg}}{13,365 \text{ mg}} \times 100$$

$$R= 46\%$$

#### 30 MINUTOS

##### 4 PSI

$$1500g \times 0,00891mg/g = (71,38g \times 0,06442mg/g) + (1425,25g \times 0,002522mg/g)$$

$$13,365mg = 8,19mg$$

$$R = \frac{4,599 \text{ mg}}{13,365 \text{ mg}} \times 100$$

$$R = 46\%$$

**35 MINUTOS**

**2 PSI**

$$1500\text{g} \times 0,00891\text{mg/g} = (93,56\text{g} \times 0,04058\text{mg/g}) + (1399,15\text{g} \times 0,002606\text{mg/g})$$

$$13,365\text{mg} = 7,44\text{mg}$$

$$R = \frac{3,797 \text{ mg}}{13,365 \text{ mg}} \times 100$$

$$R = 28\%$$

**MESA VIBRATORIA**

**Balance Metalúrgico**

$$E=C+M+L$$

$$\overbrace{PxL}^E = \overbrace{PxL}^C + \overbrace{PxL}^M + \overbrace{PxL}^L$$

**Rendimiento**

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

**25 MINUTOS**

$$3000\text{g} \times 0,00891\text{mg/g} = (608,66\text{g} \times 0,01519\text{mg/g}) + (866,84\text{g} \times 0,001327\text{mg/g}) + (1455,26\text{g} \times 0,000958\text{mg/g})$$

$$26,73\text{mg} = 11,79\text{mg}$$

$$R = \frac{6,144 \text{ mg}}{26,73 \text{ mg}} \times 100$$

$$R = 35\%$$

## Anexo 5

Tabla 2: Propiedades de minerales bajo el microscopio con luz reflejada (Sección pulida)

| <b>PROPIEDADES DE MINERALES BAJO EL MICROSCOPIO CON LUZ REFLEJADA</b> |   |  |  |   |   |
|---|---|--|--|---|---|
| <b>Propiedades</b>  | <b>Minerales Opacos</b>   |  |  |   |   |
|   | <b>Pirita</b>   | <b>Calcopirita</b>                               | <b>Esfalerita</b>  | <b>Galena</b>   | <b>Bornita</b>  |
| <b>Composición</b>  | FeS <sub>2</sub>  | CuFeS <sub>2</sub>                               | SZn  | SPb   | Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>  |
| <b>Sistema</b>  | Cubico  | Tetragonal                                       | Cubico   | Cubico  | Cubico, pseudocúbico  |
| <b>Dureza</b>   | 6 - 6,5   | 3,5 – 4  | 3,5  | 2,5 – 3   | 3   |
| <b>Pulido</b>   | Dureza alta (mal pulido)  | Dureza media                                     | Dureza alta (pulido bueno)   | Dureza baja (pulido delicado)   | Dureza baja (pulido bueno)  |
| <b>Color</b>  | Amarillo claro o crema  | Amarillo   | Gris   | Gris plomo  | Rojo de cobre, marrón bronce  |
| <b>Anisotropía</b>  | Isótropo  | Anisotropía débil                                | Isótropos  | Isótropos   | Anisotropía débil   |
| <b>Reflectividad</b>  | Alta (50 – 70%)   | Media (25 – 50%)                                 | Baja (15 – 25%)  | Media (25 – 50%)  | Media (25 – 50%)  |
| <b>Maclas</b>   | Irregular   | Lamelar  | Irregular  | Polisintética   | Lamelar   |
| <b>Minerales asociados</b>  | Asociado a la galena, calcopirita, esfalerita, pirrotita, arsenopirita, marcasita y sulfuros de yacimientos hidrotermales | Asociado a la galena, esfalerita, y en Rx ígneas | Pirita, calcopirita, marcasita, galena, estanita, arsenopirita, pirrotina, magnetita | Blenda, pirita, calcopirita, tetraédrita, tenantita, bournonita, argentita, pirargirita, arsenopirita, sulfosales de plomo, pirrotina, magnetita, Plata | Calcopirita, idaita, digenita, covelina, tetraedrita, tenantita, esfalerita |



|                             |   |  |   |  |  |
|-----------------------------|---|--|---|--|--|
| <b>Reemplazamiento</b>      | Puede ser reemplazado por pirrotita, marcasita, calcopirita, esfalerita, tetraédrica, bornita, enargita, calcosita, galena limonitas, arsenopirita, covelita, minerales de Ag, uranita, liernatita, galucodot, pentlandita. Reemplaza a calcopirita, saflorita, uraninita, óxidos de Fe y T | Puede ser reemplazado por los sulfuros bornita, calcocita, covelita, digenita; carbonatos tales como malaquita y azurita, y rara vez óxidos tales como cuprita. Calcopirita rara vez se encuentra en asociación con cobre nativo | Puede reemplazar pseudomórficamente a: marcasita, piritita o estar intercrecida con ellos. También reemplaza a pirrotina, arsonopirita, ilmenita, alabandita, tetraedrita; galena, calcosina, covelina, argentita, piritita, marcasita, electrum, plata, sulfosales de Ag-Sb. | Puede ser reemplazado por covelina, calcosina, plata, electrum, telururos de Ag y Au, argentita, arsenopirita, estanita, magnetita, esfalerita, piritita, bismuto, uraninita, estefanita | Puede ser reemplazada por covelita, calcosina, calcopirita, piritita, tetraedrita, galena, petchblenda, hematita                   |
| <b>Identificación clave</b> | El color blanco con tono amarillento, la alta reflectividad y dureza y mal pulido son los elementos más característicos.  | Por su aspecto no se puede confundir con ningún otro mineral, salvo con ejemplares masivos de piritita y marcasita, de los cuales se distingue muy bien, si no está alterado, por su color y brillo más intensos                 | La baja reflectividad, los abundantes reflejos internos y la débil dureza, permiten su determinación.   | El poder reflector elevado, los triángulos de arranque, el clivaje y color son característicos   | El color rosado café, la débil anisotropía y reflectividad y la degradación a color violeta, cuando se altera son característicos. |

Fuente: *Minerales de mena, se lo encuentras en* <[www2.udc.cl/~menas/pivot/entry.php?id](http://www2.udc.cl/~menas/pivot/entry.php?id)>.

Elaborado: Espinoza, 2014