



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**EVALUACIÓN GEOLÓGICA MEDIANTE PERFORACIÓN**  
**DIAMANTINA DEL PROYECTO BONGARÁ – ZONA MINA**  
**CHICA, REGIÓN AMAZONAS**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. YONY BELU ENRIQUEZ TAPIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

*A mis padres Leandra TAPIA y Rubén ENRIQUEZ, por su gran ejemplo de perseverancia y superación, por todo el apoyo que me han brindado durante mi formación como persona y como profesional y por haber inculcado desde siempre valores y fortaleza para mi crecimiento personal.*

*A mi amada esposa Gleni Yaneth y a mis hijas Dayana y Daisy, por el cariño y amor que me muestran día a día, por el apoyo y motivación constante para alcanzar nuevas metas.*

***Yony Enriquez***



## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios que me ha dado fortaleza para cumplir con mis objetivos, a mi Alma Mater, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, a los catedráticos por haber impartido conocimientos valiosos durante mi formación profesional, en particular a mi Director de Tesis M.Sc. Newton V. MACHACA CUSILAYME por su aporte y sugerencias durante la realización del presente trabajo de Investigación.

A la Empresa MINERA FORRESTER S.A.C., por haber permitido formar parte de su equipo profesional en su Proyecto de Exploración, por todo el apoyo brindado, que hacen realidad el desarrollo del presente trabajo de investigación y así contribuir en el conocimiento Geológico del Proyecto Bongará.

*Yony Enriquez*



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 16**

**ABSTRACT..... 17**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. ANTECEDENTES ..... 18**

**1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 20**

**1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 20**

**1.4. HIPÓTESIS ..... 21**

**1.5. OBJETIVOS..... 21**

1.5.1. Objetivo General..... 21

1.5.2. Objetivos Específicos ..... 21

**1.6. JUSTIFICACIÓN..... 21**

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. YACIMIENTOS TIPO MISSISSIPPI VALLEY ..... 23**

2.1.1. Generalidades..... 23

2.1.2. Características de Yacimientos Tipo MVT ..... 24

2.1.3. Potencial Económico de los Yacimientos Tipo MVT ..... 26

2.1.4. Situación Tectónica..... 27

2.1.5. Texturas y Estructuras ..... 29



2.1.6. Alteraciones Asociadas.....	29
2.1.7. Edad de los Depósitos MVT.....	30
<b>2.2. DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X.....</b>	<b>30</b>
<b>2.3. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL.....</b>	<b>32</b>
<b>2.4. PERFORACIÓN DIAMANTINA.....</b>	<b>32</b>
<b>2.5. EQUIPO DE PERFORACIÓN.....</b>	<b>33</b>
2.5.1. Sonda de Perforación.....	33
2.5.2. Sarta de Perforación.....	33
2.5.3. Corona de Perforación.....	33
2.5.4. Escariador ( <i>Remer Shell</i> ).....	34
2.5.5. Barras de Perforación.....	34
2.5.6. Barras de Revestimiento ( <i>Casing</i> ).....	34
2.5.7. Barril Porta Testigos ( <i>Corel Barrel</i> ).....	34
2.5.8. Bomba de Lodos.....	35
<b>2.6. RECURSOS Y RESERVAS DE MINERAL.....</b>	<b>35</b>
2.6.1. Recurso Mineral.....	35
2.6.2. Recurso Mineral Inferido.....	35
2.6.3. Recurso Mineral Indicado.....	36
2.6.4. Recurso Mineral Medido.....	36
2.6.5. Reserva.....	36
2.6.6. Reserva Mineral Probable.....	37
2.6.7. Reserva Mineral Probada.....	37
2.6.8. Cubicación y Cálculos de Reservas.....	37
2.6.9. Métodos Para la Cubicación de Recursos y Reservas.....	37
2.6.10. Métodos Clásicos o Geométricos.....	38
2.6.11. Métodos Modernos o Geoestadísticos.....	39
2.6.12. Elementos de la Cubicación de Reservas.....	39



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>41</b>
3.2.1. Tipo de Investigación.....	41
3.2.2. Nivel de Investigación .....	41
3.2.3. Métodos de Investigación. ....	41
3.2.4. Diseño de la Investigación.....	42
3.2.5. Población, Muestra y Muestreo .....	42
3.2.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	42
3.2.7. Aseguramiento y Control de Calidad.....	45
3.2.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	46

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

<b>4.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2. GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>50</b>
<b>4.3. HIDROGRAFÍA.....</b>	<b>51</b>
4.3.1. Red Hidrográfica Regional .....	51
4.3.2. Red Hidrográfica Local .....	52
<b>4.4. CLIMA Y VEGETACIÓN.....</b>	<b>53</b>
<b>4.5. GEOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>54</b>
4.5.1. Estratigrafía.....	54
4.5.2. Geología Estructural .....	62
<b>4.6. GEOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>63</b>
4.6.1. Geomorfología.....	67
4.6.2. Litoestratigrafía.....	68
4.6.3. Geología Estructural .....	70



4.6.4. Ambiente Geotectónico y Metalogenético .....	73
4.6.5. Geología Económica.....	75

## CAPÍTULO V

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

<b>5.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL PROYECTO BONGARÁ, ZONA MINA CHICA.....</b>	<b>84</b>
5.1.1. Caracterización Litológica, Estructural y Textural.....	84
5.1.2. Caracterización y Distribución de la Mineralización a Escala del Yacimiento.....	86
5.1.3. Petrografía, Mineragrafía y Difractometría de Rayos X Semicuantitativo. ..	88
5.1.4. Resultados de los Estudios Microscópicos .....	93
<b>5.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTROLES DE MINERALIZACIÓN DEL PROYECTO BONGARÁ, ZONA MINA CHICA .....</b>	<b>93</b>
5.2.1. Control Estratigráfico .....	93
5.2.2. Control Litológico.....	94
5.2.3. Control Estructural.....	95
<b>5.3. ESTIMACIÓN DE RECURSOS.....</b>	<b>96</b>
5.3.1. Resumen de Recursos Minerales .....	96
5.3.2. Recursos Indicados .....	97
5.3.3. Recursos Inferidos .....	98
5.3.4. Software .....	99
5.3.5. Geoquímica.....	99
5.3.6. Exploración.....	102
5.3.7. Perforación.....	104
5.3.8. Preparación, Análisis y Seguridad de Muestras.....	108
5.3.9. Base de Datos.....	109



<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>113</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>114</b>
<b>VIII. REFERENCIAS .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>120</b>

**Área** : Geología de Minas

**Tema** : Evaluación Geológica de Yacimientos Metálicos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 14 de julio del 2021.



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización de los depósitos y distritos MVT en el mundo. ....	24
<b>Figura 2.</b> Frecuencia de ocurrencias de tipo MVT en la escala de edad geológica. ....	25
<b>Figura 3.</b> Contexto Tectónico Antes y Después de la Colisión y Formación de Depósito MVT.....	28
<b>Figura 4.</b> Mapa de Ubicación del proyecto Bongará – zona Mina Chica.....	49
<b>Figura 5.</b> Relieve típico de las diferentes zonas del área de proyecto Bongará.....	51
<b>Figura 6.</b> Mapa geológico regional del área de estudio mostrando las ocurrencias minerales conocidas. ....	61
<b>Figura 7.</b> Mapa geológico del Distrito Minero Bongará.....	65
<b>Figura 8.</b> Sección Esquemática Mina Grande – Río Cristal. ....	66
<b>Figura 9.</b> Columna estratigráfica del proyecto Bongará. ....	70
<b>Figura 10.</b> Mapa estructural y de lineamientos del proyecto Bongará. ....	72
<b>Figura 11.</b> Cuenca antepaís y ocurrencia de depósitos MVT. ....	73
<b>Figura 12.</b> Mapa Metalogénico del Perú. ....	74
<b>Figura 13.</b> Evolución tectónica de la cuenca Pucará Norte. ....	75
<b>Figura 14.</b> Imágenes de muestras representativas de minerales de zinc de tipo no sulfuros supergénicos.....	79
<b>Figura 15.</b> Mineralización típica de hemimorfita e hidrocincita con alta ley de zinc en Mina Chica.....	79
<b>Figura 16.</b> Zona de alteración dolomítica en el sector Mina Chica – Proyecto Bongará. ....	80
<b>Figura 17.</b> Paragénesis de los minerales hidrotermales y supergénicos en la mineralización del yacimiento Bongará.....	82



<b>Figura 18.</b> En la imagen se observa una muestra de dolomita brechada perteneciente al sondeaje MCH-18-048 del sector Mina Chica, con mineralización de óxidos de Zn en las cavidades de disolución. ....	84
<b>Figura 19.</b> Muestras de core con texturas y estructuras más significativas del Sector Mina Chica .....	85
<b>Figura 20.</b> Características de mineralización de óxidos de zinc en Mina Chica. ....	86
<b>Figura 21.</b> Vista en planta de la mineralización mayor a 10% de Zn en el Proyecto Bongará. ....	87
<b>Figura 22.</b> Vista Isométrica de la configuración topográfica actual del yacimiento Bongará, mostrando la mineralización de Zn. ....	88
<b>Figura 23.</b> Fotomicrografías de la Muestra M-1, Zona Mina Chica.....	89
<b>Figura 24.</b> Difractograma de DRX Muestra M-1, Zona Mina Chica. ....	91
<b>Figura 25.</b> Fotomicrografías de la Muestra M-2, Zona Mina Chica.....	91
<b>Figura 26.</b> Difractograma de DRX Muestra M-2, Zona Mina Chica. ....	92
<b>Figura 27.</b> Control estratigráfico de mineralización de zinc en el Proyecto Bongará. .	94
<b>Figura 28.</b> Zona de contacto entre calizas y dolomitas, en la parte superior caliza gris inalterada y parte inferior dolomita con mineralización de zinc.....	95
<b>Figura 29.</b> Curva de Cut-Off de Zn-Tonelaje para Recursos Indicados. ....	97
<b>Figura 30.</b> Curva de Cut-Off de Zn-Tonelaje para Recursos Inferidos. ....	98
<b>Figura 31.</b> Mapa de muestreo geoquímico superficial zona Mina Chica. ....	100
<b>Figura 32.</b> Mapa de sondajes con principales valores de Zn, donde también se observan los puntos de muestreo geoquímico superficial en la zona Mina Chica. ...	101
<b>Figura 33.</b> Sección C-C' zona Mina Chica proyecto Bongará. ....	102
<b>Figura 34.</b> Levantamiento topográfico de sondajes históricos en Bongará, previo al programa de perforación. ....	104
<b>Figura 35.</b> Proceso de instalación de la máquina perforadora en Mina Chica. ....	105



<b>Figura 36.</b> Ejecución del programa de perforación diamantina en el Proyecto Bongará, trabajo realizado por la empresa Energold Drilling S.A.C. ....	105
<b>Figura 37.</b> Mineralización representativa en el proyecto Bongará – Mina Chica.. ..	107
<b>Figura 38.</b> Almacenamiento y preparación de muestras en el proyecto Bongará.....	109
<b>Figura 39.</b> Vista en planta 3D de los depósitos de zinc del proyecto Bongará.....	112



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resumen de Las Características de los Depósitos MVT. ....	26
<b>Tabla 2.</b> Equipos y Materiales Para el Desarrollo del Proyecto. ....	40
<b>Tabla 3.</b> Acceso al Proyecto Bongará – Zona Mina Chica. ....	50
<b>Tabla 4.</b> Cuencas Hidrográficas de la Región Amazonas. ....	52
<b>Tabla 5.</b> Estratigráfica Regional-Amazonas. ....	60
<b>Tabla 6.</b> Configuración del Modelo de Bloque de la Zona Mina Chica ....	96
<b>Tabla 7.</b> Recurso Mineral Indicado Para el Proyecto Bongará (Cutt off 10% Zn). ....	97
<b>Tabla 8.</b> Recurso Mineral Inferido Para el Proyecto Bongará (Cut-Off 10% Zn). ....	98
<b>Tabla 9.</b> Valores Típicos de Zn en Calicatas y Trincheras en Mina Chica. ....	103
<b>Tabla 10.</b> Resumen del Programa de Perforación en el Proyecto Bongará. ....	106
<b>Tabla 11.</b> Intersecciones Seleccionadas del Programa de Perforación. ....	107
<b>Tabla 12.</b> Tipos de Datos Utilizados en la Estimación de Recursos Minerales. ....	110



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>N</b>	: Norte (Punto cardinal)
<b>S</b>	: Sur (Punto cardinal)
<b>E</b>	: Este (Punto cardinal)
<b>W</b>	: Oeste (Punto cardinal)
<b>NW</b>	: Nor Oeste
<b>SE</b>	: Sur Este
<b>NE</b>	: Nor Este
<b>SW</b>	: Sur Oeste
<b>GPS</b>	: Sistema de Posicionamiento Global
<b>WGS 84</b>	: World Geodetic System 1984
<b>UTM</b>	: Universal Transverse Mercator
<b>SAC</b>	: Sociedad Anónima Cerrada
<b>INGEMMET</b>	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
<b>WGM</b>	: Watts, Griffis and McOuat
<b>MVT</b>	: <i>Mississippi Valley Type</i>
<b>MCH</b>	: Mina Chica
<b>TM</b>	: Toneladas Métricas
<b>Pot</b>	: Potencia
<b>Rb</b>	: Rumbo
<b>Dip</b>	: Buzamiento
<b>Depth</b>	: Profundidad
<b>HOLE_ID</b>	: Código de sondaje
<b>DDH</b>	: <i>Diamond Drill Hole</i>



<b>Und</b>	: Unidad
<b>Gr</b>	: gramos
<b>Lbs</b>	: Libras
<b>g/t</b>	: Gramos por tonelada
<b>Km</b>	: Kilómetro
<b>Pe</b>	: Peso específico
<b>AM</b>	: Ancho de minado
<b>T/m<sup>3</sup></b>	: Toneladas por metro cúbico
<b>m</b>	: Metro
<b>mm</b>	: Milímetros
<b>m.s.n.m.</b>	: Metros sobre el nivel del mar
<b>HAS</b>	: Hectáreas.
<b>Ma</b>	: Millones de años
<b>Zn</b>	: Zinc
<b>Pb</b>	: Plomo
<b>Mn</b>	: Manganeso
<b>Fe</b>	: Hierro
<b>Sm</b>	: Smithsonita
<b>Hm</b>	: Hemimorfita
<b>Hyd</b>	: Hidrocincita
<b>Cal</b>	: Calcita
<b>CC</b>	: Calcita concrecionada
<b>Qz</b>	: Cuarzo
<b>Py</b>	: Pirita
<b>Bx</b>	: Brecha



<b>LS</b>	: <i>Limestone</i>
<b>RQD</b>	: Designación de Calidad de Roca
<b>Fm</b>	: Formación
<b>Dep</b>	: Depósito
<b>Prof</b>	: Profundidad
<b>UV</b>	: Ultravioleta
<b>QA</b>	: Aseguramiento de calidad
<b>QC</b>	: Control de Calidad
<b>NI</b>	: Instrumento Nacional
<b>SAMREC</b>	: Código Sudafricano para la Notificación de Recursos Minerales y Reservas Minerales



## RESUMEN

El Proyecto Bongará se encuentra ubicado en la parte Norte del Perú, Región Amazonas, Provincia de Bongará, Distrito de Yambrasbamba. Distritalmente Bongará es un yacimiento tipo *Mississippi Valley* (MVT). La escasa existencia de información sobre la geología de este tipo de yacimientos en el norte del Perú y la necesidad de conocer el potencial de mineralización existente han motivado a realizar la investigación. El principal objetivo es caracterizar la geología y delimitar las zonas con mineralización de zinc en área de Mina Chica del Proyecto Bongará, mediante los trabajos de perforación diamantina. La metodología en el presente estudio es de tipo descriptivo mediante el uso de los datos geológicos, geoquímicos y estructurales, procesamiento e interpretación de datos obtenidos en la perforación diamantina. Para el presente estudio se ejecutó 53 sondajes, 2327.90 metros de perforación diamantina y un total de 1358 muestras con análisis geoquímico, trabajo de campo realizado en el año 2018. Como resultado del presente estudio se identificaron como principales minerales la hemimorfita, hidrocincita y la smithsonita alojados en calizas dolomitizadas perteneciente a la formación Condorsinga que presentan texturas y estructuras favorables como brechas tectónicas, brechas de colapso y craquelamiento; siendo la falla Chiriaco la estructura principal que controla la mineralización. La estimación de recursos para la zona Mina Chica dio como resultado Recursos Inferidos 252,000 Toneladas Métricas con una ley promedio de 16.9% de Zn y Recurso Mineral Indicado 339,000 Toneladas Métricas con una ley promedio de 19.3% de Zn que incrementa significativamente al inventario de recursos minerales del proyecto Bongará.

**Palabras Clave:** Dolomita, Evaluación Geológica, Mineralización, Perforación Diamantina, Sulfuros.



## ABSTRACT

The Bongará Project is located in the northern part of Peru, Amazonas Region, Bongará Province, Yambrasbamba District. Districtally, Bongará is a Mississippi Valley-type (MVT) deposit. The scarce existence of information on the geology of this type of deposits in northern Peru and the need to know the existing mineralization potential have motivated to carry out the research. The main objective is to identify and evaluate the geological characteristics and to delimit the zones with zinc mineralization in the Mina Chica zone of the Bongará Project, by means of diamond drilling. The methodology in this study is descriptive by using geological, geochemical and structural data, processing and interpretation of data obtained from diamond drilling. For the present study, 2,327.90 meters of diamond drilling, 53 drill holes and a total of 1,358 samples with geochemical analysis, field work carried out in 2018. As a result of the present study, hemimorphite, hydrozincite and smithsonite were identified as main minerals hosted in dolomitized limestones belonging to the Condorsinga formation, which present favorable textures and structures such as tectonic breccias, collapse breccias and cracking; being the Chiriaco fault the main structure that controls the mineralization. The resource estimation for the Mina Chica zone resulted in Inferred Resources 252,000 Metric Tons with an average grade of 16.9 % of Zn and Indicated Mineral Resource 339,000 Metric Tons with an average grade of 19.3 % of Zn that significantly increases the inventory of mineral resource of the Bongará project.

**Keywords:** Dolomite, Geological Evaluation, Mineralization, Diamond Drill, Sulfides.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

Perú es uno de los pocos países en el mundo que cuenta con una riqueza geológica y una extensa variedad de yacimientos, entre ellos los *Mississippi Valley Type* (MVT) al que pertenece el proyecto Bongará, este tipo de yacimientos están asociados básicamente a rocas carbonatadas del Grupo Pucará, con mineralización epigenética, y han sido descubiertos gracias al avance tecnológico de la geología.

En el año 2017, *Zinc One Resources Inc.*, inicia con trabajos de exploración por intermedio de su subsidiaria Minera Forrester S.A.C. con la finalidad de validar datos existentes, ampliar zonas mineralizadas e incrementar el potencial de recursos minerales. Los trabajos de exploración en el proyecto Bongará, zona Mina Chica se han desarrollado en dos etapas, la primera consistente en cartografiado geológico y toma de muestras geoquímicas en superficie que han sido realizadas durante el segundo semestre del año 2017, y en base a estos resultados se programó una segunda etapa de trabajos exploratorios consistentes en perforación diamantina que se desarrolló en el primer semestre del 2018, un total de 53 sondajes que suman 2,327.9 metros de longitud, distribuidas en 18 plataformas. Paralelamente se ha cumplido con el trabajo de logueo geológico de testigos de perforación y el muestreo geoquímico correspondiente.

El área del proyecto Bongará es conocida y estudiada por su mineralización de óxidos de zinc, fue descubierto por el geólogo canadiense William Menges en el año 1973. La propiedad fue explorada posteriormente por varias compañías que inició con Noranda Explorations Company desde 1974 a 1984, Canper Resources en 1986, posteriormente Solitario Resources desde 1993 por intermedio de su subsidiaria Cía.



Minera Los Tapados, quienes como actividad exploratoria ejecutaron más de 400 calicatas que confirmaron una mineralización de alta ley de zinc en forma de óxidos y silicatos, en el año 2004 a 2005 Cementos Pacasmayo S.A. ejecuta un programa de exploración para confirmar resultados de trabajos anteriores mediante perforación diamantina, quienes en marzo del 2005 culminaron la campaña perforando 2000 metros de longitud total distribuidos en más de 60 taladros, en el año 2007-2008 el proyecto Bongará entra en producción Operada por Minera Corianta S.A. subsidiaria de Cementos Pacasmayo S.A., pero posteriormente se cierra debido a la crisis financiera mundial y la disminución simultánea del precio del zinc.

La presente investigación es producto de los trabajos realizados durante la campaña de exploración consistente en trabajos en superficie y perforación diamantina. El objetivo principal del presente trabajo de investigación fue de evaluar las características geológicas del proyecto Bongará zona Mina Chica, con la información obtenida se ha puesto principal énfasis en determinar la litología hospedante, la mineralización y las características texturales en los niveles favorables, además la determinación de controles geológicos del yacimiento, para finalmente culminar con la evaluación de recursos minerales existentes en la zona Mina Chica, cuyos resultados serán fundamentales en los objetivos de la empresa para ampliar los recursos minerales del proyecto Bongará y evaluar su viabilidad.

La metodología que se utilizó en este análisis es el método exploratorio. Este método implica la recopilación y presentación sistemática de datos para dar una idea clara del proyecto Bongará, donde el análisis e interpretación de la información geológica obtenida fue fundamental para definir, entender las características geológicas y mineralógicas del yacimiento, elaborar guías de prospección y exploración de yacimientos MVT, en particular del tipo “no sulfuros”.



## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Proyecto Bongará es un yacimiento *Mississippi Valley Type* (MVT), emplazado en las secuencias carbonatadas del Grupo Pucará, es importante conocer y entender las características geológicas y su relación con las estructuras que controlan la mineralización.

El proyecto Bongará y en particular la zona Mina Chica, muestra importante mineralización de zinc, denominado “no sulfuros”. La mineralización que ocurre en superficie es mayormente como relleno producto de meteorización de cavidades cársticas, los minerales económicos de zinc observados en superficie consisten principalmente de hidrocincita y hemimorfita, y en menor proporción smithsonita.

La importancia de conocer mejor las características geológicas y la existencia de recursos minerales han motivado a la empresa Minera Forrester S.A.C. realizar los trabajos de exploración mediante Perforación Diamantina en la zona Mina Chica del proyecto Bongará.

## 1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad existe escasa información de las características geológicas y controles de mineralización del yacimiento *Mississippi Valley Type* con mineralización de zinc denominado “no sulfuros” en el proyecto Bongará, en particular en la zona Mina Chica localizados en el Norte del Perú, adicionalmente la necesidad es de conocer el potencial de mineralización y aumentar los recursos en el proyecto Bongará. Motivo por el cual es necesario plantear el siguiente problema a investigar:

¿Cuáles son las características geológicas, controles de mineralización y los recursos minerales del proyecto Bongará, zona Mica?



## **1.4. HIPÓTESIS**

Con la información obtenida de la perforación diamantina, se podrán evaluar y definir las características geológicas del yacimiento, además el estudio también permitirá determinar la existencia de recursos de mineral económico en el sector Mina Chica del proyecto Bongará.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo General**

Describir la geología, controles y evaluar recursos minerales del proyecto Bongará, zona Mina Chica a través de las perforaciones diamantinas.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar la geología del proyecto Bongará, zona Mina Chica.
- Identificar los controles de mineralización en el proyecto Bongará, zona Mina Chica.
- Evaluar los Recursos Minerales existentes en el proyecto Bongará, zona Mina Chica.

## **1.6. JUSTIFICACIÓN**

El proyecto Bongará, zona Mina Chica presenta mineralización de zinc muy interesante en superficie, la distribución irregular de la mineralización en superficie y su ocurrencia de depósitos poco conocidos denominados no sulfuros de zinc, nos lleva a investigar el yacimiento, a través de una evaluación geológica de datos de superficie, análisis geoquímico y petrográfico de muestras, la interpretación de dicha información nos permitió una correcta definición de las principales características existente en el proyecto.



Este trabajo de investigación contempló la ejecución de una campaña de perforación diamantina en la zona Mina Chica, cuya información nos permitió definir mejor la distribución de la mineralización tanto vertical y horizontalmente, determinar los controles de mineralización y estimar los recursos minerales existentes que serán imprescindibles para las siguientes etapas de exploración y una posterior etapa de explotación del yacimiento.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. YACIMIENTOS TIPO MISSISSIPPI VALLEY

##### 2.1.1. Generalidades

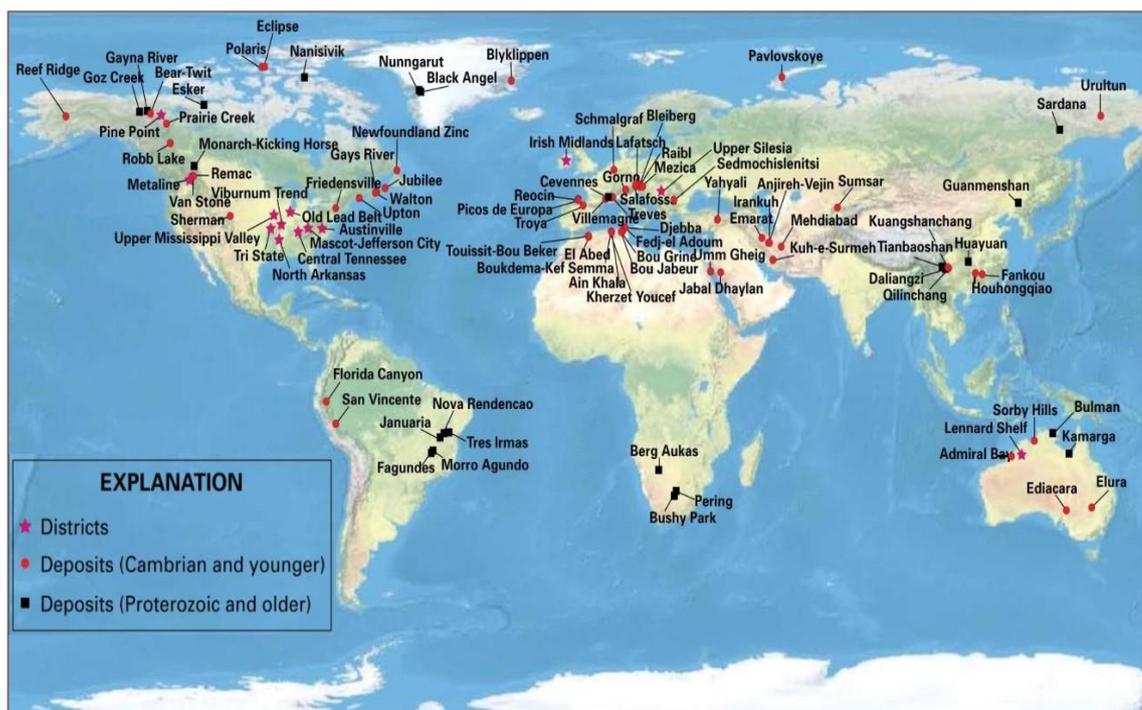
El término “*Mississippi Valley-Type*” fue inicialmente utilizado en referencia al conjunto de depósitos de Zn-Pb localizadas en la cuenca del río Mississippi, en el centro de los Estados Unidos. Las características básicas que definen este tipo de depósitos son aspectos químicos y geológicos muy generales, por lo que ha sido posible clasificar numerosos depósitos de Zn-Pb-F y otras sustancias dentro de la tipología MVT. Junto con los depósitos singenéticos de metales base encajados en sedimentos (VMS, Sedex), los depósitos de tipo MVT constituían a finales de los años 80 el 65% de las reservas mundiales de zinc y el 77% de las de Plomo. (Tritlla & otros, 2006).

Las mineralizaciones generalmente denominadas como *Mississippi Valley-type* (MVT) son epigenéticas, normalmente estratoligadas y están formadas a partir de soluciones hidrotermales de baja temperatura y presión, con o sin la presencia de hidrocarburos. (Tritlla & otros, 2006).

En el Perú este tipo de yacimiento está representado por el yacimiento San Vicente, Shalipayco (Cerro de Pasco), Mal paso-Huallpachina (Junín), Bongará (Amazonas).

La franja de rocas carbonatadas del Grupo Pucará es un importante metalotecto que alberga importantes yacimientos de Zn-Pb (Ag) de tipo MVT. Estas franjas se extienden desde Abancay hacia parte de la cordillera occidental y oriental se va hasta la región Amazonas en el norte del Perú. (Kalinaj, 2009).

En la actualidad hay un consenso entre los investigadores de todo el mundo sobre la característica epigenética de la mineralización, así como también de los mecanismos de flujo de los fluidos mineralizantes, el régimen tectónico al que corresponden, y los procesos de precipitación. Debido a que estos depósitos guardan en común un conjunto de características geológicas y geoquímicas muy amplias, se ha podido incluir dentro de esta tipología MVT a un conjunto de mineralizaciones muy similares que aparecen a nivel mundial. (Sánchez, 1995).



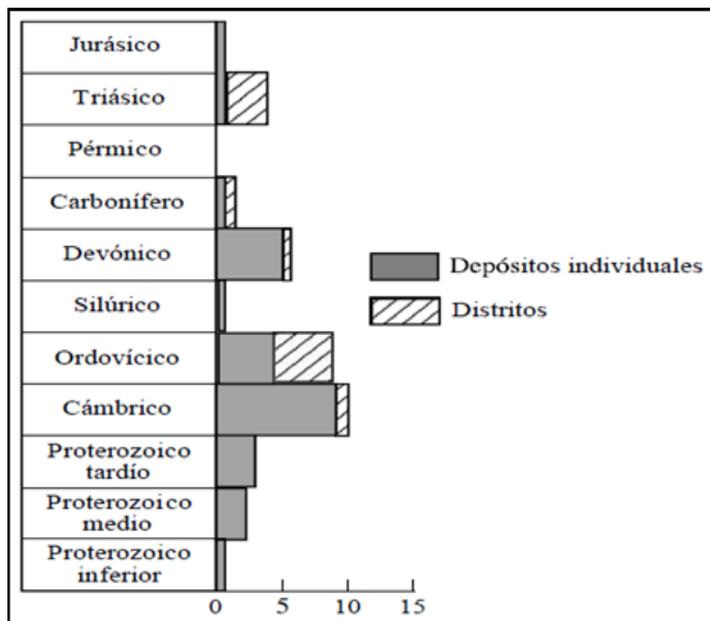
**Figura 1.** Localización de los depósitos y distritos MVT en el mundo (Leach, D. et al., 2010).

### 2.1.2. Características de Yacimientos Tipo MVT

A continuación se enumeran las características diagnosticadas más importantes de los depósitos MVT (Leach et al., 2001):

- Son yacimientos epigenéticos y estratoligados.
- No están asociados con actividad ígnea.
- Son almacenados principalmente en dolomitas y calizas, raramente en areniscas.

- d) Ocurren en secuencias de plataformas carbonatadas, comúnmente en los flancos de las cuencas, sobre pilares tectónicos o arcos entre tales cuencas.
- e) Las rocas carbonatadas que los contienen no presentan metamorfismo.
- f) Los minerales que predominan son la esfalerita, galena, pirita, marcasita, dolomita y calcita, mientras que la barita y fluorita son escasas.
- g) Muchos depósitos están en distritos que cubren cientos de kilómetros cuadrados, y algunos forman provincias metalogénicas.
- h) Se formaron a profundidades someras (menos de 1.5 km) y a presiones que no exceden unos cientos de atmósferas.



**Figura 2.** Frecuencia de ocurrencias de tipo MVT en la escala de edad geológica (Leach, D. et al., 2010).

La composición de la mineralogía de la mena tipo MVT es simple y comprende a los sulfuros de zinc, plomo, cobre y hierro en proporciones extremadamente variable. Adicionalmente acompañada por cantidades menores de plata, cadmio, germanio, galio, indio, baritina y fluorita que se recuperan en algunos yacimientos MVT en el mundo. Los procesos de alteración relacionados con el origen de los yacimientos tipo MVT son

principalmente dolomitización, silicificación, brechamiento y posteriormente disolución y recristalización. (Kalinaj, 2009).

Cabe destacar a: (Anderson & Macqueen, 1982), (Kisvarsanyi, Grant, Pratt, & Koenig, 1983), (Sverjensky, 1986), (Sangster, 1995), (Leach & Sangster, Mississippi Valley-type lead-zinc, 1993), (Tritlla & Canals, Mineralizaciones estratoligadas de metales base en carbonatos y rocas siliciclásticas, 1997) quienes describen las principales características de los Mississippi Valley Type (MVT):

**Tabla 1.** Resumen de Las Características de los Depósitos MVT.

Depósitos Mississippi Valley Type (MVT)	
Parámetros	Características
Hospedante	Dolomita, raramente caliza, arenisca
Mineralización	Epigenética (strata-bound)
Morfología	Zonas de brechas y de sustitución masiva (reemplazamiento)
Controles	Transiciones calcáreo/dolomita, brechas de colapso, fallas, topografía de basamento
Actividad Ígnea	No está asociada a la mineralización, no tienen relación con la actividad magmática hidrotermal
Mecanismos de deposición	Mixtura de fluidos
Ambiente	Marino superficial o poco profundo
Mineralogía	Sp, gn, py, mc, dol, calc, qtz
Alteración Hidrotermal	Dolomitización y brechamiento, disolución de la roca huésped
Temperatura	70°C – 200°C
Salinidad	10 – 30% peso eq Na Cl
Origen del Azufre (S)	H <sub>2</sub> O de mar, evaporitas, materia orgánica

*Fuente:* Robles, I., 2018.

### 2.1.3. Potencial Económico de los Yacimientos Tipo MVT

Los yacimientos tipo MVT son generalmente de baja ley (2-6% Zn y 1-3% Pb) y no exceden 13% de sulfuros combinados (Zn+Pb). Los yacimientos tipo MVT rara



vez se presentan como yacimientos individuales, más bien su mismo origen determina que estos forman distritos con varios yacimientos individuales. A pesar que el tamaño de los yacimientos tipo MVT no se puede comparar con el de SEDEX, es importante reconocer que estos siempre ocurren en un “cluster” de varios yacimientos formando distritos o hasta provincia metalogénicas. Esta característica distingue a los yacimientos tipo MVT de otros tipos de yacimientos de metales base considerando que el potencial total de un distrito MVT puede alcanzar más de 1,000 millones de toneladas, número comparable incluyendo mayor que el potencial de los yacimientos tipo SEDEX (Kalinaj, 2009).

El yacimiento Bongará ocurre dentro de un distrito denominado como cuenca Pucará con numerosas ocurrencias tipo MVT confirmadas a lo largo de una franja con dimensiones 900 x 25 km que se extiende desde el río Santa Aguada en la frontera con Ecuador hasta Junín. (Kalinaj, 2009).

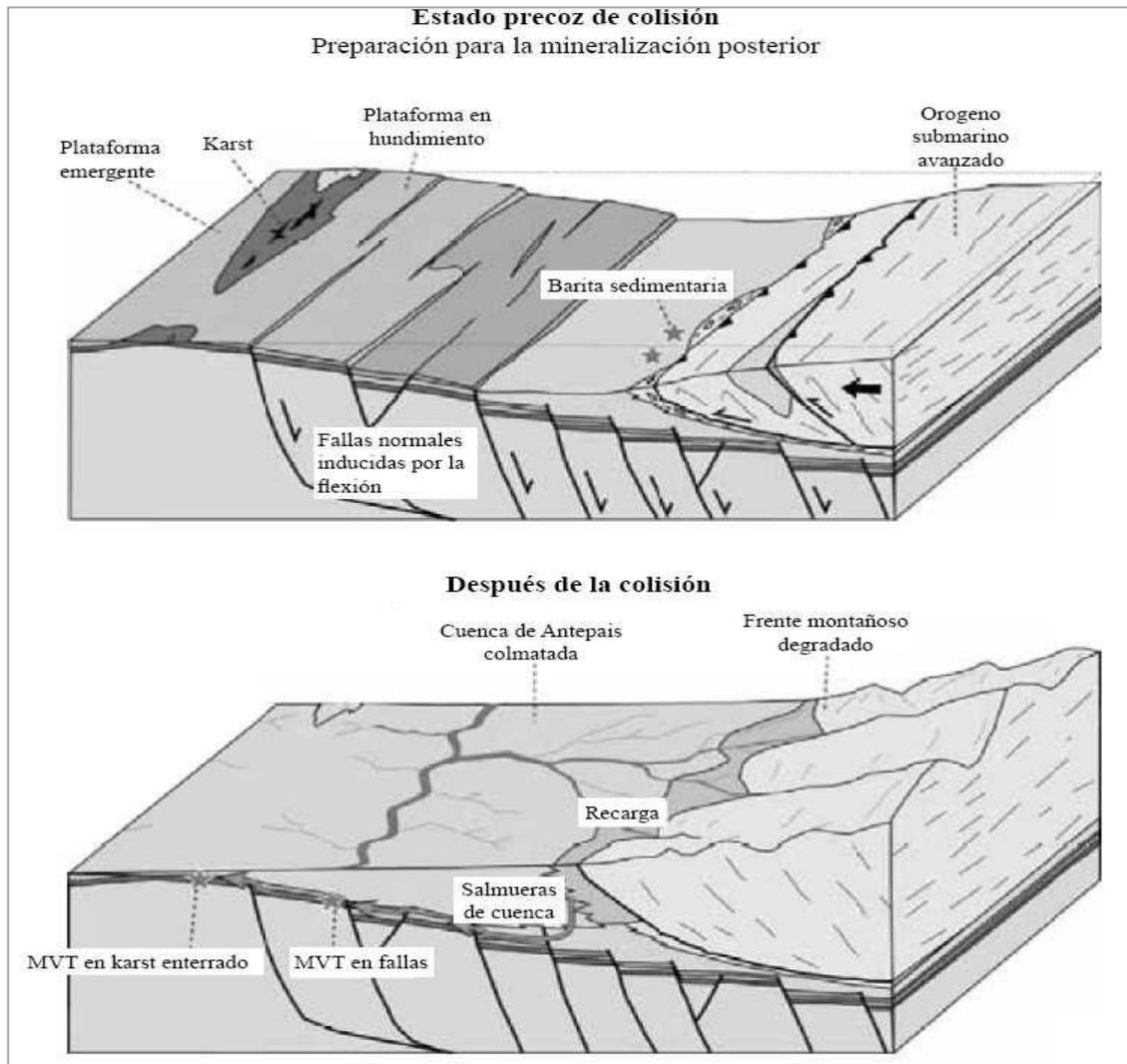
#### **2.1.4. Situación Tectónica**

Bradley & Leach, (2003) relacionan enlaces genéticos entre mineralización MVT y procesos tectónicos a escala regional y global.

Es ahora claro que los depósitos tipo MVT son el producto de enormes sistemas hidrotermales que mineralizan grandes áreas principalmente en los bordes de cuencas donde la migración de fluidos interactúa con rocas calcáreas.

En Norte América, los depósitos tipo MVT han sido atribuidos a una migración de fluidos de gran escala principalmente durante un proceso orogénico convergente. El modelo de flujo topográfico asociado con la migración de fluidos en un adecuado régimen tectónico puede describir mejor la mineralización de los MVT.

Otros ejemplos en Australia, Europa y el norte de África atribuyen el mecanismo de migración de fluidos mineralizantes a ambientes compresivos.



**Figura 3.** Contexto Tectónico Antes y Después de la Colisión y Formación de Depósito MVT (Bradley & Leach, 2003)

*Nota:* Bloque diagrama mostrando la evolución de una cuenca de antepaís (Bradley y Leach, 2003). El bloque de la parte superior muestra como durante la convergencia de placas, un cinturón de plegamiento submarino cabalga al margen pasivo, formándose así una cuenca de antepaís. La convergencia de las placas causa que esta situación migre en dirección a la cuenca de antepaís. Esta cuenca no se colmata debido a que el depocentro de la misma migra a medida que la deformación avanza. La posición de los depósitos de barita se basa en la posición en la que se hallan depósitos similares en los Ouachitas (Maynard & Okita 1991). En el bloque-diagrama de la parte inferior, la convergencia de placas ya ha cesado y la cuenca de antepaís ha acabado colmatándose de sedimentos, creando las condiciones



hidrológicas idóneas para la formación yacimientos de tipo MVT. Esta sería una situación similar a la que dio origen a los depósitos de la región de Ozark. (Bradley & Leach, 2003)

### **2.1.5. Texturas y Estructuras**

En estos depósitos es frecuente encontrar texturas relacionadas con el relleno de espacios vacíos (drusas, geodas), tanto de aquellos que ya existían en la roca encajonante (cavidades kársticas, porosidades primarias, etc.) como de los generados por el mismo proceso mineralizante (Dzulinski & Sass-Gustkiewickz, 1985). Los minerales que precipitan en estos espacios vacíos presentan texturas que van desde grandes cristales idiomórficos (decimétricos y, ocasionalmente métricos, hasta estructuras bandeadas con formas botroidales, constituidas por pequeños cristales alotriomórficos.

Las estructuras que hospedan la mineralización corresponden comúnmente a zonas fuertemente dolomitizadas y brechadas y en algunos casos estas zonas denotan diseños lineales que sugieren un control estructural. (Bradley & Leach, 2003)

### **2.1.6. Alteraciones Asociadas**

Las alteraciones hidrotermales en estos depósitos, debido a la capacidad tamponadora de la roca encajonante, son muy poco variadas en comparación con las que presentan las rocas sílico-alumínicas (Tornos, 1997). El cambio mineralógico más extendido consiste en la dolomitización de la roca encajonante, si bien también pueden aparecer silicificaciones y/o muscovitizaciones. Los MVT, tal y como ya se ha comentado, encajan en calizas o en dolomías, si bien estas últimas son dominantes. En distritos como Pine Point (Canadá) y Silesia (Polonia) todo el distrito está encajado en una amplia zona discordante de dolomía secundaria fuera de la cual la roca regional es una caliza; en otros distritos la dolomía secundaria aparece de forma local y se encuentra rodeando las zonas mineralizadas.



### **2.1.7. Edad de los Depósitos MVT**

Anderson & Mcqueen (1988) indicaron que el conocimiento preciso de la edad de formación de los depósitos de tipo MVT constituía el reto más importante que se tenía que afrontar ya que en este residía la clave para poder validar los modelos conceptuales y numéricos sobre la génesis de estos depósitos. No obstante, el fechamiento preciso en estos depósitos es sumamente complicado tanto por el carácter estratoligado de los mismos como por la paragénesis que presentan. En el primer caso, estos yacimientos encajan en rocas que ya han sufrido procesos diagenéticos y que actúan como canales de circulación (paleoacuíferos) de los fluidos mineralizantes. Debido a que en algunos casos las cuencas son intracratónicas, resulta muy difícil acotar la edad de los depósitos ya que estos pueden ser sensiblemente más jóvenes que las rocas que los encajan. Un problema añadido es que los minerales relacionados con la formación de los depósitos no suelen contener cantidades apreciables de ciertos elementos (Re, Sm, Rb, U, Th, K, etc.) por lo que la utilización de métodos radiométricos convencionales basados en la desintegración de isótopos radioactivos es muy limitada o nula.

### **2.2. DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X**

La radiación X fue descubierta por el físico alemán Roentgen en el año 1895. Los alemanes Laue, Knipping y Friedrich, y el inglés W. L. Bragg, en el año 1912, aclararon la naturaleza de los RX y los fenómenos que se producen cuando éstos inciden sobre un cristal.

Un descubrimiento importante fue que los cristales actúan como una red difractante tridimensional frente a la radiación electromagnética de los RX, cuyas longitudes de onda son parecidas a las distancias interplanares de los cristales (Wolf,



1980). Con estos descubrimientos se comprobó el carácter ondulatorio de los RX y se empezaron a desarrollar los métodos de difracción.

Según Wolf (1980), la difracción es un fenómeno de dispersión de RX en donde participan todos los átomos de la sustancia irradiada. Ya que existe un ordenamiento periódico de los átomos en una estructura cristalina, los rayos dispersados en distintos átomos llevan entre si un cierto desfase. Interfiriendo estos rayos dispersados en su trayectoria posterior, son extinguidos porque su diferencia de fases  $\Delta\lambda = (n=1,2,3\dots)$ , y solo en algunas direcciones, donde las diferencias de fases son  $\Delta\lambda = n\lambda$  se forman rayos difractados por interferencia constructiva. Las condiciones para la interferencia constructiva, es decir para una diferencia de fase  $n\lambda$  entre ondas diferentes, se cumple sólo cuando:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

n: número entero denominado orden de difracción.

$\lambda$ : longitud de onda del haz incidente de rayos X.

d: distancia entre los planos difractantes, es decir, la distancia entre los planos reticulares sobre el cual incide la radiación.

$\theta$ : ángulo de incidencia (ángulo de Bragg) medido entre los planos en consideración y el haz incidente.

Esta ecuación es conocida como la Ley de Bragg, siendo fundamental para la DRX. Según Wolf (1980), se definió que la DRX en una muestra cristalina produce un campo de interferencias de RX, es decir, un campo de rayos difractados. Este campo se compone de todas las interferencias producidas por los grupos de planos reticulares



que se encuentran en la muestra y está caracterizado por la distribución o ubicación de las interferencias frente al haz incidente y las intensidades de dichas interferencias.

### **2.3. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL**

La alteración hidrotermal es la repuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio del ambiente, en términos químicos y termales, por causa de agua, vapor o gas. La alteración hidrotermal es un proceso que ocurre cuando las fases minerales se transforman, existe un crecimiento de nuevos minerales, se diluyen o precipitan minerales, todo esto como producto del intercambio iónico entre los minerales constituyentes de la roca y el fluido caliente. (Maksaev, 2001).

### **2.4. PERFORACIÓN DIAMANTINA**

La perforación diamantina es un método de perforación rotatorio que se utiliza para extraer muestras de núcleo de rocas y suelos. Sus aplicaciones más comunes se pueden encontrar en investigaciones mineras, geológicas o con fines de cimentación profunda en obras de ingeniería. La designación de diamantina se debe a que utiliza una corona de acero con diamantes industriales integrados a una matriz de carburo de tungsteno para excavar. (Salas, 2016).

La perforación diamantina no consiste simplemente en hacer el pozo si no en recuperar los testigos. Esto se logra gracias a que las brocas tienen una forma cilíndrica con un área en el interior que no es perforada y el cual es recuperado a través de los tubos interiores especialmente diseñados para este propósito, junto a las demás herramientas que soportan el sistema. En la actualidad esta tarea se hace con el sistema *Wire Line*, el cual la función principal es recuperar el testigo a diferentes profundidades. (Zapana, 2013).



## **2.5. EQUIPO DE PERFORACIÓN**

### **2.5.1. Sonda de Perforación**

Consiste en un motor de 20 a 140 HP que acciona un sistema de transmisión de rotación a un cabezal, que en su interior se encuentra la tubería de perforación y en cuyo extremo se encuentra la corona diamantina. El cabezal tiene la autonomía de rotar en 360° en un plano vertical, que permite efectuar perforaciones con la inclinación que se requiera. El avance está activado por un sistema hidráulico mediante pistones ubicados en el cabezal de la máquina, con distancias de 1,5 m perforados. (Salas, 2016).

### **2.5.2. Sarta de Perforación**

La columna o sarta de perforación es la encargada de transmitir y soportar las fuerzas axiales y de torsión, guiar y colocar la trayectoria del pozo y permitir la circulación de fluidos para enfriar el pozo y enfriar la barrena. Cuenta con los siguientes componentes: corona, escariador, estabilizador tubo interior, tubo exterior, porta-candado, candado, porta-resorte, resorte, seguro, tubo interior, y culatín. (Salas, 2016).

### **2.5.3. Corona de Perforación**

Las coronas o brocas son uno de los constituyentes esenciales de una perforación diamantina y se usan de diferentes dimensiones, de acuerdo al testigo que se quiere extraer de los taladros. Existen diferentes tipos de coronas, según la función que desempeñan: brocas de carburo de tungsteno, brocas de carburo de tungsteno triturado, brocas con diamantes, brocas con diamantes insertados, brocas con diamantes impregnados. Se perforan con brocas de diferentes series de acuerdo al comportamiento y dureza de las rocas. (Zapana, 2013).



#### **2.5.4. Escariador (*Remer Shell*)**

El escariador o ensanchador va ubicado inmediatamente después de la corona donde su primera función es conservar el diámetro nominal de la perforación a lo largo del pozo con la finalidad de permitir que una nueva corona sea bajada al pozo sin atascarse. La segunda función es estabilizar el barril porta testigo protegiendo con esto el desgaste excesivo en el extremo inferior y evitar las oscilaciones de la corona. (Salas, 2016).

#### **2.5.5. Barras de Perforación**

Son tubos de aceros especiales con roscas en sus extremos y de diámetro externo inferior al de la corona correspondiente, ya que por ese espacio asciende la inyección que lleva la roca molida desde el fondo del pozo. En la parte inferior, las barras van enroscadas al barril saca testigos. (Salas, 2016).

#### **2.5.6. Barras de Revestimiento (*Casing*)**

Las barras o tuberías de revestimiento cumplen con la función principal de estabilizar el material de recubrimiento y las formaciones no estables con tendencia a derrumbe, además cuenta con un diámetro mayor a las barras de perforación. (Salas, 2016).

#### **2.5.7. Barril Porta Testigos (*Corel Barrel*)**

Para un sistema de perforación por cable *wireline* el barril porta testigo almacena la muestra de testigo en el tubo interior que la corona diamantada corta desde la roca, permitiendo extraer la muestra del fondo del pozo sin necesidad de extraer todo el sistema de perforación. Todos los barriles porta testigo mediante cable *wireline* incluyen los siguientes componentes principales: Culatín, porta-resorte, resorte, seguro, tubo interior. (Salas, 2016).



### **2.5.8. Bomba de Lodos**

La función principal de la bomba de lodos o de lavado es hacer circular los medios de lavado en la sarta de perforación desde la fuente de lodos hasta el fondo del pozo. La bomba de lavado utilizada comúnmente en la perforación con recuperación de testigo es la bomba de acción simple con tres cilindros, la característica principal de esta bomba es brindar un flujo de líquido parejo constante con un mínimo de fluctuación. (Salas, 2016).

## **2.6. RECURSOS Y RESERVAS DE MINERAL**

### **2.6.1. Recurso Mineral**

Es una concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco en o sobre la corteza terrestre (un depósito) en tal cantidad y forma que razonablemente es prospecto para su extracción económica. La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y continuidad de un Recurso Mineral se conocen o se estiman o interpretan de datos geológicos específicos y conocimiento del depósito. Los recursos minerales se subdividen, de acuerdo a su creciente confianza geológica en categorías de Inferidos, Indicados y Medidos. Las porciones de un depósito que no son un prospecto un potencial razonable para una eventual extracción económica no deben incluirse en un Recurso Mineral. (Maksaev, 2001).

### **2.6.2. Recurso Mineral Inferido**

Es la parte de un recurso mineral para el cual se ha estimado el tonelaje, ley y contenido mineral se han estimado con un bajo nivel de confianza. Se infiere y se supone a partir de características geológicas, pero no se ha verificado su continuidad geológica y/o ley. Se basa en información de calidad incierta o de poca confiabilidad obtenida por técnicas apropiadas de afloramientos, trincheras, cateos, labores y sondajes. Un Recurso



Mineral Inferido tiene el nivel de confianza más bajo que aquel que se aplica a un Recurso Mineral Indicado. (Maksaev, 2001).

### **2.6.3. Recurso Mineral Indicado**

Es aquella parte de un Recurso Mineral para el que el tonelaje, densidad, forma, características físicas y contenido mineral pueden ser estimados con un nivel de confianza razonable. Está basado en exploración, muestreo y análisis obtenidos por las técnicas apropiadas de afloramientos, trincheras, cateos, labores y perforaciones. Las ubicaciones de las muestras están ampliamente distribuidas o el espaciamiento es inadecuado para confirmar la continuidad geológica y/o continuidad de ley, pero están suficientemente espaciadas como para suponer la continuidad. Un Recurso Mineral Indicado tiene un grado de confianza menor que el de un Recurso Mineral Medido, pero tiene un nivel de confianza más alto que el de un recurso Mineral Inferido. (Maksaev, 2001).

### **2.6.4. Recurso Mineral Medido**

Es la parte de un Recurso Mineral para el cual se han estimado con un alto nivel de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Está basado en exploración detallada y confiable, la información del muestreo y análisis se han obtenido mediante técnicas apropiadas de ubicaciones tales como afloramientos, trincheras, cateos, labores y sondajes. Las ubicaciones están estrechamente espaciadas lo suficiente para confirmar continuidad geológica y/o de ley. (Maksaev, 2001).

### **2.6.5. Reserva**

Es todo material mineral que se considera explotable bajo las condiciones existentes incluyendo costo, precio, tecnología y circunstancias locales. Ella incluye



materiales de dilución y considera pérdidas que puedan ocurrir durante la explotación del material. Las Reservas Minerales se subdividen en orden de aumento de confianza en Reservas Minerales Probables y Reservas Minerales Probadas. (Maksaev, 2001).

#### **2.6.6. Reserva Mineral Probable**

Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Indicado y, en algunas circunstancias, de Recursos Minerales Medidos. Ella incluye los materiales de dilución y considera las pérdidas que pueden ocurrir cuando el mineral es minado. (Oyarzun, 2011).

#### **2.6.7. Reserva Mineral Probada**

Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido. Ella incluye los materiales de dilución y considera las pérdidas que pueden ocurrir cuando el mineral es minado. (Oyarzun, 2011).

#### **2.6.8. Cubicación y Cálculos de Reservas**

Esta consiste en calcular, con el mínimo error posible, la cantidad de mineral existente en el yacimiento. Las reservas que se estiman en esta fase inicial son las geológicas o in situ, posteriormente se tienen en cuenta las condiciones como son los factores de diseño de explotación, método de explotación, recuperación, dilución, elementos traza, etc.

#### **2.6.9. Métodos Para la Cubicación de Recursos y Reservas**

Existen dos tipos de métodos usados para la estimación de recursos y reservas, cuya aplicación depende de las características del yacimiento, estos métodos son los siguientes:

## 2.6.10. Métodos Clásicos o Geométricos

Son los que se usan tradicionalmente, se basan fundamentalmente en los principios de interpretación de las variables entre dos puntos contiguos de muestreo, lo que determina la construcción de los bloques geométricos a los que se le asignan las leyes medias para la estimación de recursos.

Las características principales de este método son sencillos, se basan en criterios comúnmente geométricos, están siendo superados por los métodos modernos, la variabilidad es extrema.

Los principios de interpretación de este método son los siguientes:

- El principio de los cambios graduales presupone que los valores de una variable (ancho, ley, etc.) varían gradual y continuamente a lo largo de la línea recta que une dos puntos de muestreo contiguos.
- El principio de muestras vecinas más cercanas admite que el valor de la variable de interés en un punto no muestreado es igual al valor de la variable en el punto más próximo.
- El último de los principios permite la extrapolación de los valores conocidos en los puntos de muestreo a puntos o zonas alejadas sobre la base del conocimiento geológico o por analogía con yacimientos similares.

Todos estos principios de interpretación son utilizados para la subdivisión del yacimiento mineral en bloques o sectores, los cuales son evaluados individualmente y posteriormente integrados para determinar los recursos totales del yacimiento.

Los tipos de métodos clásicos o geométricos que se utilizan para la estimación de recursos y reservas son:

- Media aritmética.



- Bloques geológicos.
- Bloques de explotación.
- Perfiles.
- Polígonos.
- Triángulos.

#### **2.6.11. Métodos Modernos o Geoestadísticos**

Los métodos modernos o geoestadísticos son más exactos y ofrecen una información más completa que los métodos clásicos. Sin embargo, se requiere una formación académica especializada, software adecuado lo cual permiten realizar estimaciones en bloques más pequeños, se basan en procedimientos matemáticos de interpolación local y emplean datos de los sondeos y calicatas.

Las características de los métodos modernos son los siguientes:

- Se han desarrollado ampliamente en los últimos años.
- Están dirigidos a informatizar los métodos clásicos.
- Con el uso de la geoestadística, los métodos son más potentes.
- Realizar estimaciones en bloques más pequeños.
- Procedimientos matemáticos de interpolación local.

#### **2.6.12. Elementos de la Cubicación de Reservas**

Es el conjunto de consideraciones que permiten aproximar la cantidad de mineral susceptible de explotación económica.

- Contacto geológico
- Contacto mineralógico
- Contacto económico

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

Para el presente proyecto de investigación de utilizaron los siguientes equipos y materiales, tanto en campo y gabinete que a continuación se detallan:

**Tabla 2.** Equipos y Materiales Para el Desarrollo del Proyecto.

RECURSOS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Infraestructura	Campamento minero	1 und.
	Laboratorio	Multiple
Equipos	GPS Garmin	2 und.
	Brújula Bunton	2 und.
	Laptop	2 und.
	Estación total	1 und.
	Perforadora diamantina Hidrocorp Serie 2	1 und.
	Cortadora de Testigos Norton Clipper CM35	1 und.
	Microscopio óptico marca LEITZ	1 und.
	Microscopio electrónico Quanta 200 marca FEI	1 und.
	Horno UTD-1295 para secado de muestras	1 und.
	Balanza digital	1 und.
Herramientas	Picota de geólogo	2 und.
	Lupa de 20X acromática	2 und.
	Wincha métrica de 50 m	1 und.
	Calibrador Vernier	1 und.
Materiales	Bolsa de muestreo	16 paquetes
	Talonario de muestreo	8 paquetes
	Mochila de lona	4 und.
	Ácido clorhídrico	100 ml.
	Solución Zinc Zap	2 L.

*Fuente:* Elaboración Propia.



## **3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1. Tipo de Investigación**

La investigación según su propósito es aplicada.

### **3.2.2. Nivel de Investigación**

Según su nivel de profundización es una investigación cuantitativa, ya que este método parte del estudio de fenómenos poco estudiados, no se apoya tanto en la teoría, sino en la recolección de datos que permitan detectar patrones para dar explicación a dichos fenómenos; con los dichos resultados se puede caracterizar mejor el depósito mineral del área para incrementar el conocimiento del distrito minero.

### **3.2.3. Métodos de Investigación.**

El método de investigación fue cuantitativa donde se pudo tener un conocimiento general de la percepción de las características geológicas del depósito *Mississippi Valley Type* del proyecto Bongará – zona Mina Chica, Región Amazonas.

- Los primeros trabajos consistieron en la recopilación y elaboración de mapas geológicos, secciones geológicas interpretativas, columnas estratigráficas, esquemas, tablas, figuras, etc.
- Análisis de sondajes diamantinos, registros de sondajes (logueo), descripción macroscópica, microscópica de rocas y minerales; para conocer la litología, alteración, ensambles y caracterización petromineraográfica.
- Análisis e interpretación de datos metalogenéticos, geológicos, estratigráficos, sedimentológicos, estructurales, litológicos, texturales y mineralógicos.
- Conceptualización del modelo geológico del yacimiento y la evaluación de recursos minerales existentes.



### **3.2.4. Diseño de la Investigación**

El diseño de investigación fue transversal, el trabajo es de exploración se realizó en base a la observación como un proceso sistemático de obtención, recopilación y registro de datos empíricos de las características geológicas del Depósito *Mississippi Valley Type* del proyecto Bongará – zona Mina Chica, Región Amazonas.

### **3.2.5. Población, Muestra y Muestreo**

La población pertenece al ámbito espacial del proyecto Bongará – zona Mina Chica, Región Amazonas.

Las muestras tomadas corresponden a fragmentos de rocas y minerales expuestas en la superficie y a muestras de testigos de perforación diamantina de los interceptos más representativos, para el análisis geoquímico se han considerado 67 muestras de superficie y 1341 muestras de sondajes, de la misma forma se envió a laboratorio 2 muestras del sector Mina Chica para el análisis petrominerográfico y difracción de rayos X.

### **3.2.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.2.6.1. Recopilación de Información**

La recopilación de información del área de estudio es el primer paso para comenzar el proceso de exploración que consiste en obtener la información geológica, estudios previos realizados en el proyecto, recopilación de mapas topográficos y geológicos, imágenes satelitales y otras informaciones necesarias.

En el proyecto Bongará fue fundamental contar con la información obtenida de estudios anteriores de prospección y exploración realizadas en áreas adyacentes al sector Mina Chica.



### 3.2.6.2. Perforación Diamantina

Es importante que una vez finalizado las técnicas de prospección previas se debe haber definido una zona de anomalías que necesite ser estudiada con mayor precisión. La manera de conocer más al detalle el terreno que presenta tales anomalías es tomar muestras en profundidad en la zona a estudiar, por medio de la perforación diamantina.

La perforación diamantina es una de las más importantes técnicas de exploración que proporciona la mayor parte de la información que nos permite localizar y definir el valor económico de una mineralización. El cuidadoso registro de las muestras de testigos de sondajes ayuda a delinear la geometría y el cálculo del volumen de mineral y proporciona importantes datos estructurales.

Los testigos recuperados contienen valiosa información para el geólogo en la exploración de yacimientos metálicos para la realización de diferentes estudios, estimación de recursos, cubicación de los yacimientos minerales; proporcionándoles además valiosa información para el diseño del sistema de explotación a aplicar.

En la zona Mina Chica del proyecto Bongará se completaron con la perforación de 53 sondajes y un total de 2327.9 m. La perforación fue realizada con un núcleo de diámetro HQ, con el fin de delimitar las zonas mineralizadas y las dimensiones de áreas mineralizadas que ayudaron realizar la estimación de recursos.

La empresa prestadora de servicios para la campaña de perforación en el proyecto Bongará fue *Energold Drilling* Perú S.A.C., realizó los trabajos con máquinas perforadoras portables Hidrocorp de la Serie 2, su bajo peso de estas máquinas facilita el desplazamiento en lugares agrestes del proyecto. Se registró la recuperación de testigos para intervalos de muestreo durante la gran parte de la perforación diamantina



y reporta un valor de recuperación del 84%, los tramos mineralizados son bastante fracturados y en algunos casos hasta deleznable por lo que el valor del RQD es de 0 a 20%.

➤ **Logueo Geológico**

El logueo geológico es un proceso en el cual se registra toda la información que nos brinden los testigos de perforación, principalmente las características geológicas como: litología, alteración, mineralización, detalles estructurales. Otros datos que se incluyen son el porcentaje de recuperación, los datos de calidad de la roca (RQD) y el registro gráfico.

➤ **Corte de Testigos**

El testigo de perforación es cortado longitudinalmente utilizando un disco de diamante, siendo éste el método estándar de trabajo, este método a pesar de ser relativamente cara y lenta es la mejor manera de obtener una muestra representativa.

➤ **Muestreo de Testigos**

Una vez realizado el registro geológico y geotécnico a detalle, el geólogo encargado define los intervalos de muestreo tomando en cuenta principalmente el grado de mineralización, en tramos con mineralización débil a moderado se determina sistemáticamente cada 2 m, y en tramos con mayor intensidad de mineralización los intervalos se pueden reducir hasta 0.20 m de longitud.

Las muestras obtenidas de cada intervalo son introducidas a una bolsa de muestreo, debidamente codificadas para su posterior envío al laboratorio.



### 3.2.7. Aseguramiento y Control de Calidad

El objetivo principal del aseguramiento y control de calidad (QA/QC por sus siglas en inglés) relacionada con la exploración geológica y minera, es la práctica de técnicas apropiadas de prevención con énfasis en el muestreo, la preparación y análisis de las muestras para construir una base de datos con mínimos errores.

Para el caso del proyecto Bongará para garantizar el aseguramiento y control de calidad se ha elaborado e implementado protocolos de trabajo antes de iniciar con las diferentes actividades como es el traslado de muestras desde las plataformas hasta el almacén de testigos, logeo, corte de testigos, muestreo, etc.

#### 3.2.7.1. Muestras de Control de Calidad

Son aquellas muestras que son insertados en los lotes de muestras que se envían a laboratorio, con el fin de detectar y controlar los errores en los procesos de muestreo, preparación mecánica en laboratorio y análisis de muestras geoquímicas.

Los tipos de muestras de control QA/QC que se inserta en el muestreo de testigos de perforación son:

- **Muestra Estándar:** Las muestras estándares son muestras certificadas con valores conocidos de elementos determinados; permiten evaluar la exactitud.
- **Muestra Duplicado:** Son muestras repetidas de un mismo lugar, en perforación diamantina se consigue cortando el testigo en dos partes iguales guiándose de la mineralización; esto permite evaluar la precisión.
- **Muestra Blanco:** Son muestras estériles que contienen valores bajos niveles de concentraciones de minerales, permiten evaluar la contaminación.



### 3.2.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Se obtuvo datos o informaciones de las características geológicas del depósito *Mississippi Valley Type* del proyecto Bongará – zona Mina Chica, Región Amazonas utilizando técnicas como la cartografía geológica, elaboración de columnas estratigráficas, secciones geológicas interpretativas y con la información obtenida en el gabinete y en el campo se conceptualizó el modelo geológico y la evaluación de los recursos minerales existentes.

Se ha realizado el análisis de datos para ser utilizado en la estimación de recursos y se determinó que el resultado de las muestras de superficie fue suficientemente similares a los de perforación diamantina para permitir su inclusión en el cálculo de recursos inferidos, sin embargo, para la estimación de recursos indicados fueron utilizados solo datos de perforación diamantina.

Se realizó el modelado digital usando el software GEMS 6.7.4, las interpretaciones se basaron en una serie de secciones verticales en varias orientaciones, así como en vistas de planta utilizando separaciones de elevación de 5 m, además se consideró la litología y el grado de mineralización de Zn, en este caso se utilizó como límite 5% de Zn.

La estimación de recursos minerales en Mina Chica se realizó utilizando el modelo de bloques y las leyes interpolados mediante el método *kriging*, herramientas disponibles en la versión 6.7.4 del software Geovia GEMS.

#### 3.2.8.1. Software Utilizados

- **ArcGIS Desktop:** ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar



sistemas de información geográfica (SIG). En particular en el proyecto Bongará este software mediante sus componentes *ArcMap*, *ArcCatalog* y *Arctoolbox* se utilizó para crear mapas topográficos, mapas de muestreo geoquímico, mapas de isovalores y mapa de distribución de sondajes, además, con ArcGIS se puede crear y administrar de una manera muy eficiente una base de datos.

- **Geovia GEMS:** Este software se ha utilizado para el modelado y estimación de recursos en el proyecto Bongará. Con la exclusiva base de datos centralizada de GEMS, disponemos con el acceso inmediato a datos geológicos. Además, el avanzado motor de conversión de modelo de bloques permite a los usuarios colaborar mediante distintos paquetes de software que proporcionan una conversión directa entre los distintos formatos de modelo de bloques. La seguridad y la auditoría de los datos de GEMS proporcionan la funcionalidad necesaria para mejorar el cumplimiento con las regulaciones industriales como JORC, SAMREC y NI 43-101.



## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El Proyecto Bongará está situado en la parte Este de la Cordillera Oriental de los Andes, políticamente se encuentra ubicado en la parte norte del territorio peruano, en el Distrito de Yambrasbamba, Provincia Bongará, Región Amazonas, dentro de los terrenos superficiales de la Comunidad Campesina de Yambrasbamba, siendo éste el poblado más cercano al proyecto.

Geográficamente el proyecto se localiza en la Zona 18, y el Datum de referencia utilizado en el presente trabajo de investigación es el WGS84, las coordenadas UTM de la zona central del proyecto son 170800 Este y 9368800 Norte, a una altitud que varía desde los 1800 m.s.n.m. hasta 2400 m.s.n.m.

Existen dos rutas principales de acceso al proyecto, la primera es Juliaca-Lima, Lima-Jaén por vía aérea, continuando por vía terrestre la ruta Jaén-Bagua-Pedro Ruiz-Pomacochas hasta el desvío al poblado de Yambrasbamba a través de la carretera asfaltada Fernando Belaunde Terry.

Otra ruta alterna consiste en viajar de Juliaca-Lima y Lima-Tarapoto por vía aérea y luego tomar la vía terrestre a través de la carretera asfaltada Fernando Belaunde Terry, recorriendo las localidades de Tarapoto-Moyobamba-Rioja-Nueva Cajamarca-Desvío Yambrasbamba, finalmente llegando a la localidad de Yambrasbamba que es el poblado más cercano, desde donde se puede acceder hasta el proyecto Bongará a través de una carretera afirmada con un recorrido de 14.6 kilómetros.



**Figura 4.** Mapa de Ubicación del proyecto Bongará – zona Mina Chica (Elaboración propia).

**Tabla 3.** Acceso al Proyecto Bongará – Zona Mina Chica.

ACCESIBILIDAD AL PROYECTO BONGARÁ (VÍA TERRESTRE)			
RUTA	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (Horas)	CARRETERA
Puno-Lima	1330	23	Asfaltada
Lima-Chiclayo	775	11	Asfaltada
Chiclayo-Bagua Grande	329	4.5	Asfaltada
Bagua Grande-Pedro Ruiz	71	2.5	Asfaltada
Pedro Ruiz-Pomacochas	35	1.5	Asfaltada
Pomacochas-Desvío Yambrasbamba	13	0.5	Asfaltada
Desvío Yambrasbamba- Yambrasbamba	7	0.2	Afirmada
Yambrasbamba-Proyecto	14.5	1	Afirmada
<b>TOTAL</b>	<b>2574.5</b>	<b>44.2</b>	

*Fuente:* Elaboración propia.

## 4.2. GEOMORFOLOGÍA

El área del proyecto se ubica en la cordillera oriental flanco oeste, zona conocida como ceja de selva o selva alta. La geomorfología de la zona está constituida por la cadena cordillerana Oriental de los Andes con altitudes menores de 3500 m.s.n.m. Relieves altos representan cadenas y picos rocosos con topografía abrupta de composición caliza o cuarcita mientras las zonas topográficas bajas se desarrollaron en rocas más suaves, areniscas y lodolitas con preferencia. La superficie está cubierta por densa vegetación correspondiente a zona de faja de selva o selva alta constituida mayormente por árboles y arbustos. La densidad de la vegetación dificulta la penetración de luz de sol y el secado del suelo por tal razón la mayor parte de año el terreno permanece húmedo y lodoso. El valle principal está formado por el río Imasa que actúa como el principal drenaje natural de la región, cuyas aguas fluyen hacia el río Ucayali.

El área del proyecto Bongará se extiende sobre los cerros de poca elevación (1850 m hasta 2200 m.s.n.m.) entre las cadenas empinadas y los valles caracterizándose por tener morfología ondulada con taludes entre 10 a 35°.



**Figura 5.** Relieve típico de las diferentes zonas del área de proyecto Bongará.

### 4.3. HIDROGRAFÍA

#### 4.3.1. Red Hidrográfica Regional

La red hidrográfica de la región Amazonas está constituida por un sector de la cuenca del río Marañón, siendo sus afluentes principales por la margen izquierda los ríos: Cenepa y Santiago y por la margen derecha los ríos Utcubamba, Imaza-Chiriaco y Nieva. Estos últimos son alimentados por las continuas precipitaciones pluviales que ocurren en la Cordillera Oriental. Además, a la región Amazonas pertenece un pequeño sector de la parte alta de la cuenca del río Mayo y de la cuenca del Huayabamba, cuyas aguas drenan principalmente territorios de la región San Martín y que originan en el flanco Subandino; entre ellos tenemos a los ríos San Antonio, Ventilla, Huambo, entre otros.

El caudal de los ríos es muy variable durante todo el año y dependen de la intensidad de las lluvias. En la Tabla 4 se presenta las principales cuencas de la región Amazonas.

**Tabla 4.** Cuencas Hidrográficas de la Región Amazonas.

Cuenca	Area (ha)
Cuenca del Marañón	4'205,038.00
Cuenca del Cenepa	683,197.00
Cuenca del Santiago	771,764.00
Cuenca del Utcubamba	644,317.00
Cuenca del Chiriaco	355,758.00
Cuenca del Nieva	357,350.00
Cuenca del Huallaga	536, 499.00

*Fuente:* ZEE del Departamento de Amazonas – Hidrografía (GRA – IIAP, 2010).

### 4.3.2. Red Hidrográfica Local

#### 4.3.2.1. Microcuenca Quebrada Campamento

La quebrada Campamento tiene su nacimiento en la elevación 2,250 m.s.n.m., se clasifica como quebrada de flujo permanente cuya dirección de flujo de agua discurre de NW a SE; dicha quebrada pertenece al sistema hidrográfico de la subcuenca del río Metal, y este a su vez a la cuenca del río Imaza que se zonifica dentro de la cuenca hidrográfica del Atlántico.

La microcuenca de la quebrada campamento tiene un área de drenaje de 135.22 km<sup>2</sup>, asimismo el cauce principal tiene una longitud de 1.6 km y una pendiente moderada de 14.7%.

#### 4.3.2.2. Subcuenca Quebrada Hierbabuena

La quebrada Hierbabuena tiene su nacimiento en la elevación 2,150 m.s.n.m., se clasifica como quebrada de flujo permanente cuya dirección de flujo de agua discurre de



NW a SE, dicha quebrada pertenece al sistema hidrográfico de la subcuenca del río Imaza, y este a su vez a la subcuenca del río Chiriaco ubicada dentro de la cuenca del río Marañón, que se zonifica dentro de la cuenca hidrográfica del Atlántico,

La subcuenca hidrográfica de la quebrada Hierbabuena, tiene un área de 315.11 km<sup>2</sup>; el cauce principal tiene una longitud de 2.8 km y una pendiente promedio de 16.3%. La quebrada es accidentada y en consecuencia su potencial erosivo es sumamente alto.

#### **4.3.2.3. Subcuenca Quebrada Tres Hermanos**

La quebrada Tres Hermanos constituye un cuerpo hídrico de régimen permanente con regímenes de caudales variables, cuyas zonas de recarga son los acuíferos cársticos que se emplazan debajo del estrato orgánico y la vegetación emplazada superficialmente. La quebrada se desarrolla predominantemente sobre la formación geológica Condorsinga, esta formación es una característica representativa de su geología local.

La quebrada Tres Hermanos tiene un área de drenaje de 1,157.25 km<sup>2</sup>; asimismo, el cauce principal tiene una longitud de 4.32 km y una pendiente moderada de 10.07%. Las aguas superficiales del cauce de la cuenca alta de la quebrada escurren sobre la llanura amazónica. En la cuenca intermedia y baja se aprecia la presencia de manantiales que afloran en el cauce y en las laderas.

#### **4.4. CLIMA Y VEGETACIÓN**

El área del Proyecto Bongará se extiende sobre elevaciones que varía desde 1600 hasta 2300 m.s.n.m., el clima se caracteriza por ser semicálido, por la variación de altitud y morfología la temperatura oscila entre 14° a 21°C, los días son calurosos y las noches templadas y frescas; las temperaturas máximas se registran entre octubre y enero y las mínimas entre mayo y agosto, con una variación entre el día y la noche.



Las precipitaciones pluviales son intensas ente diciembre-abril y durante el resto del año es variable, ocasionando el desarrollo de una exuberante vegetación, caracterizada por una gran variedad de especies vegetales con árboles de mediana y baja altura, asociados a abundantes helechos, epifitas, musgos y bromelias. En este paisaje también se ubican las formaciones vegetales denominadas aguajales, principalmente en áreas depresionadas.

## **4.5. GEOLOGÍA REGIONAL**

### **4.5.1. Estratigrafía**

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la región de Amazonas tienen edades que comprenden desde el Precámbrico (800 m.a.) hasta nuestros tiempos (Cuaternario Reciente).

#### **4.5.1.1. Complejo Metamórfico Marañón (Precambriano)**

Las rocas más antiguas del área cercana al proyecto, corresponden al “Complejo del Marañón”; descritos por Wilson & Reyes Rivera (1964), en el cuadrángulo de Pataz.

Está conformada por rocas metamórficas con una dirección preferencial NW-SE, destacan la presencia de esquistos micáceos, gneis, pizarras, cuarcitas y filitas, aflora en el extremo Suroeste y Sureste de la hoja de Bagua Grande. La polideformación de acuerdo a las observaciones de las texturas, estructuras y minerales componentes se considera que tanto los esquistos y gneis son el resultado de un polimetamorfismo de facies esquistos verdes-anfibolitas que corresponden a los niveles de mesozona a catazona. (Sánchez, 1995).

#### **4.5.1.2. Grupo Mitu (Paleozoico)**

El Grupo Mitu cartografiado en el área de estudio, consiste esencialmente de rocas clásticas continentales que ocurre en estratos medianos a gruesos y que se diferencian



fácilmente por su color rojo y su resistencia a la erosión; su distribución es amplia en los cuadrángulos de Bolívar, Leimebamba, Paccha, la parte sur de Chachapoyas y Bagua Grande donde se encuentra como afloramientos casi continuos que ocupan gran extensión de las Cordilleras Oriental y Yasgolga. (Sánchez, 1995).

Durante el Pérmico Superior ocurrió un levantamiento, seguido de erosión, y el geoanticlinal del Marañón fue expuesto a superficie, mediante una tectónica distensiva, acompañada de la formación de rifts de orientación N-S, y gravens y semigravens, que constituyen la base para la sedimentación Mitu del Permo-triásico. (Martinez, 2010).

#### **4.5.1.3. Grupo Pucará (Mesozoico)**

Las secuencias sedimentarias de rocas carbonatadas de Grupo Pucará son divididas en tres unidades estratigráficas: Formación Chambará, Formación Aramachay y Formación Condorsinga. Esta secuencia de rocas carbonatadas es un importante metalotecto que alberga importantes yacimientos de Zn-Pb de tipo MVT en el Perú, y se extienden a lo largo de más de 1,500 km y espesor de las mismas sobre hasta 1,200 m sugiere la formación de una cuenca con subsidencia rápida. Considerando la edad de transgresión Noriana y edad de Jurásico inferior hasta Jurásico medio se puede estimar que la formación de la cuenca Pucara duró entre 30 y 35 millones de años. Existen solo pocas evidencias de actividad volcánica durante la deposición de rocas sedimentarias de Grupo Pucará particularmente en el flanco NW de la cuenca donde en etapas tardías durante la deposición de la Formación Condorsinga se identificó andesitas basálticas y basaltos alcalinos sugiriendo la existencia de volcanismo en la parte Oeste de la cuenca. Solamente en el extremo norte y extremo sur de la cuenca Pucará se encuentran expuestas rocas volcánicas de edad Liásica, Formación Mochumi Viejo y Grupo Chocolate. (Harrison & Fontboté, 1990).



#### **4.5.1.4. Formación Chambará (Noriano - Retiano)**

La Formación Chambará es la unidad estratigráfica con más extensión en la región fuera del Proyecto Bongará. La potencia de la unidad alcanza los 620m variando en composición desde 200m de rocas lodolíticas en la base de la unidad seguida por 150m de rocas dolomíticas. La parte superior de espesor de 350m hasta 400m representa rocas de poca profundidad con presencia de caliza, lodolitas, chert y lodolitas ricas en bitumen. No se observan facies lagunares y facies sabkha tan comunes en parte central de la cuenca Pucará. A pesar de la presencia mayormente rocas de bajas profundidades se aprecian también rocas de plataformas abiertas sugiriendo oscilación de fondo de cuenca sumergiendo temporalmente el fondo de cuenca a profundidades mayores. Tanto en la parte central de la cuenca y en la parte norte, la Formación Chambará es el huésped principal de ocurrencias de mineralización tipo MVT. (Kalinaj, 2009).

#### **4.5.1.5. Formación Aramachay (Retiano Superior - Sinemuriano)**

Rocas de la Formación Aramachay sobreyacen las lodolitas y calizas de Formación Chambará. El contacto entre ambas formaciones es una transición de facies continua sin discordancias angulares. Se aprecian rocas sedimentarias recristalizadas de grano fino de composición sílice y arcilla con intercalaciones de chert y caliza. La transición a las rocas sobreyacentes de la Formación Condorsinga es facial considerando el cambio brusco de facies de calizas bituminosas y esquistos a calizas gris. Las secuencias sedimentarias de Formación Aramachay alcanzan un grosor de 50m hasta 120m. La composición de las rocas no es favorable para hospedar yacimientos tipo MVT y no se conoce ocurrencia de este tipo de mineralización en Formación Aramachay en ninguna parte de la cuenca Pucará. (Kalinaj, 2009).



#### **4.5.1.6. Formación Condorsinga (Sinemuriano Superior - Torciano)**

La unidad estratigráfica superior del Grupo Pucara, Formación Condorsinga conforma una secuencia monótona de caliza color gris hasta gris oscuro con intercalaciones de limo-arcillas gris y gris verduzco. La secuencia media y superior presenta la ocurrencia de dolomías por lo que es la más importante para la prospección en la zona Bongará–Cristal ya que aloja los afloramientos mineralizados de Zn-Pb. El grosor de la secuencia alcanza localmente hasta 150-200m, de acuerdo a la información obtenida mediante los sondeos realizados en las primeras campañas de exploración. La composición de rocas sugiere ambiente de aguas poco profundas a pesar que las formaciones lagunares o evaporitas comunes en parte central de la cuenca Pucará son ausentes en la parte norte. La mineralización de óxidos de Zn en el yacimiento Bongará es hospedado por las rocas de esta secuencia estratigráfica como producto de oxidación de cuerpos mineralizados tipo MVT emplazados en la misma. (Kalinaj, 2009).

#### **4.5.1.7. Formación Corontachaca (Jurásico medio- Jurásico Superior)**

Se ha designado así a una secuencia de brechas y brechas-conglomerados, esencialmente calcáreos, conformados por fragmentos angulosos y subredondeados de calizas, en una matriz fuertemente cementada de material calcáreo. Esta unidad se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular a las calizas de la Formación Condorsinga e infrayacen en relación similar a las sedimentitas rojas de la Formación Sarayaquillo. (Sánchez, 1995).

#### **4.5.1.8. Formación Sarayaquillo (Jurásico Superior)**

La Formación Sarayaquillo consiste principalmente de lodolitas, limoltas y areniscas rojas intercalados en estratos medios. En la parte superior se intercalan areniscas gris claras en estratos de grosores variables, desde algunos centímetros hasta un metro.



Ocasionalmente, se pueden encontrar conglomerados mal clasificados, polimícticos, de extensión reducida; ello se observa en el extremo Noroeste de la Hoja Bagua Grande, cuya continuación se nota en el corte del Pongo de Rentema. (Sánchez, 1995).

#### **4.5.1.9. Formación Goyllarisquizga (Jurásico Superior)**

Es la secuencia clástica que infrayace a las rocas calcáreas del Albiano tal como fue definido por Wilson (1984), en el Perú central. En el sector estudiado se ha cartografiado como Grupo Goyllarisquizga indiviso a la secuencia silíceo clástica de areniscas cuarzosas, limoarcillitas grises que se encuentran ampliamente distribuidas en las esquinas suroeste de los cuadrángulos de Paccha y Bolívar, en el flanco izquierdo del Marañón y que se extienden hacia el Levante hasta el río Utcubamba sobreyaciendo indistintamente y en discordancia angular a las rocas pre-cretáceas.

#### **4.5.1.10. Formación Chonta (Jurásico Superior)**

Esta unidad fue definida por Morán & Fyfe (1933), quienes escribieron como una secuencia de 400 m de caliza de color gris clara a beige con intercalaciones de margas, arcillas y areniscas; descritas en la Isla Chonta en el río Pachitea.

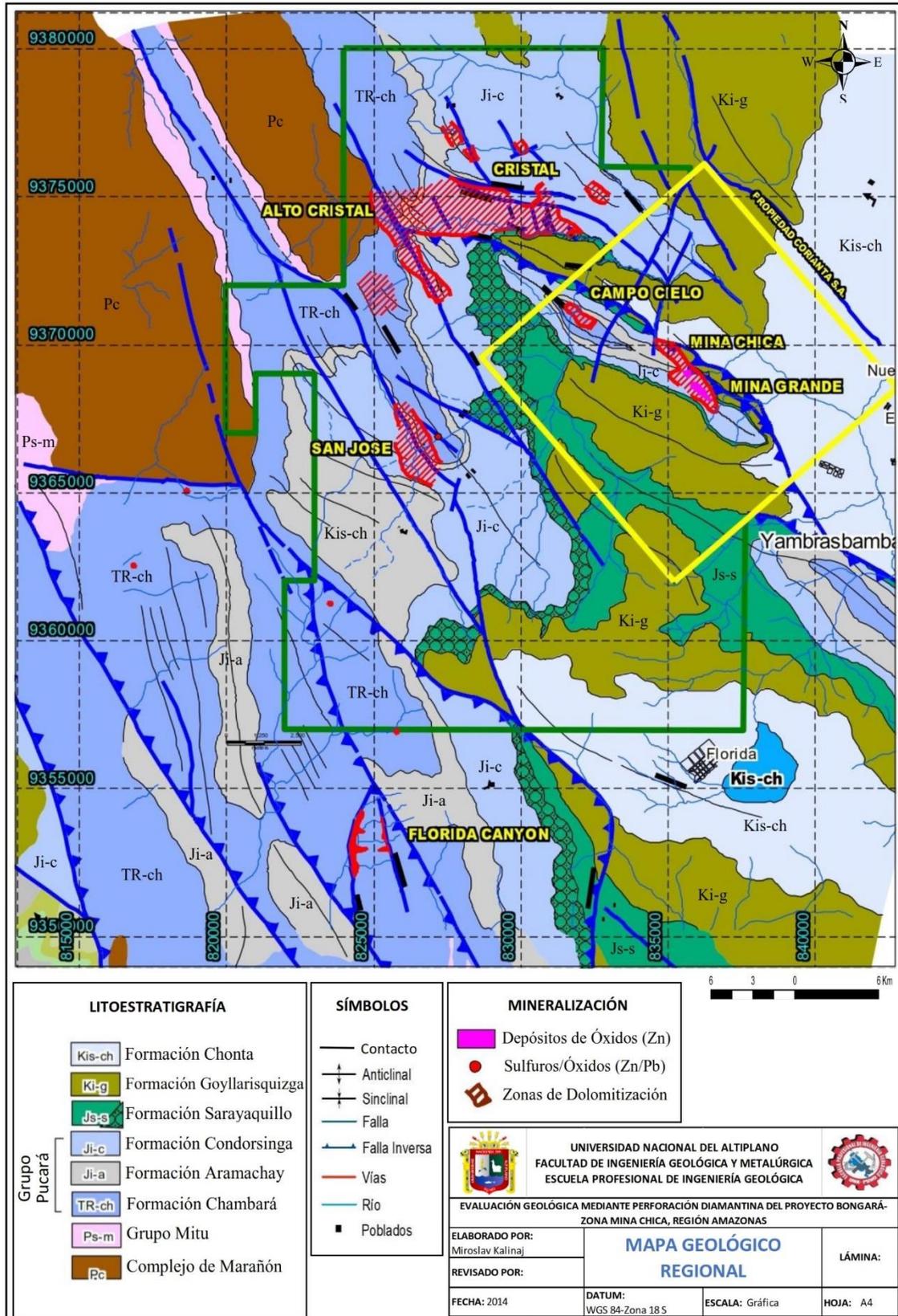


La litología de la Formación Chonta consiste de una intercalación de lodolitas, limolitas y caliza. La secuencia sedimentaria empieza con horizontes de limoarcillita en la base con transición a calizas gris clara; la secuencia continúa con horizontes de chert e intercalaciones de limoarcillitas bituminosas.

**Tabla 5.** Estratigráfica Regional-Amazonas.

ERA SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	SUPERFICIE (HA)	
CENOZOICO	Cuaternario	Dep. fluviales recientes	93,662.00	
		Holocena	Dep. aluviales	19,732.00
			Subrecientes	
		Pleistocena	Dep. Palustres Lacustres	35,165.00
	Dep. Aluviales Pleistocénicos		23,734.00	
	Neógeno	Pliocena	Fm. Nieva	47,369.00
			Fm. Bellavista	1,308.00
		Miocena	Fm. Ipurruro	288,374.00
	Fm. Inguilpata		7,445.00	
	Paleógeno	Oligocena	Fm. El Milagro	22,480.00
			Fm. Cajaruro	2,033.00
			Fm. Chambira	214,493.00
		Paleocena	Fm. Pozo	37,432.00
			Fm. Yarahuango	156,733.00
		Fm. Chota	18,979.00	
MESOZOICO	Cretácico	Fm. Cashiyacu, Huspayacu y Casablanca	56,602.00	
		Superior	Fm. Vivian	673.00
			Fm. Celendín	37,926.00
		Medio	Fm. Cajamarca	10,053.00
			Grupo Quiliquiñan	36,474.00
			Grupo Pullucana	85,993.00
	Fm. Chonta		581,017.00	
	Jurásico	Inferior	Fm. Chulec	24,469.00
			Grupo Oriente	438,985.00
		Superior	Grupo Goyllarisquizga	267,480.00
			Fm. Sarayaquillo	262,728.00
	Triásico	Inferior	Plutones de la Cordillera del Cóndor	179,961.00
		Superior	Fm. Oyotún	60,056.00
	PALEOZOICA	Pérmico	Inferior	Grupo Pucará
Superior			Grupo Mítu	303,508.00
Carbonífero		Superior	Fm. Lavasén	14,470.00
			Grupo Ambo	50,877.00
		Inferior	Intrusivo Chanchillo	22,498.00
Ordovícico		Inferior	Intrusivo Balsas-Inquilpata	4,794.00
			Fm. Contaya	5,759.00
PRECÁMBRICO		Complejo Marañón	233,067.00	

**Fuente:** ZEE del departamento de Amazonas – Geología (GRA – IIAP, 2010).



**Figura 6.** Mapa geológico regional del área de estudio mostrando las ocurrencias minerales conocidas (Kalinaj, 2009).



#### 4.5.2. Geología Estructural

El marco estructural regional está principalmente definido por estructuras de orientación Andina NO – SE originadas durante la formación de la cuenca Pucará a partir de Noriano. Las etapas tempranas de la formación de la cuenca se caracterizan por subsidencia de la cuenca a lo largo de fallas normales paralelas al borde de escudo brasileño formando un graben. Al progresar la subsidencia continuó con más velocidad en la parte Este de la cuenca Pucará provocando así un cambio de simetría de graben a un semi-graben asimétrico. La elevación gradual de la presión litostática de la columna sedimentaria a la velocidad de deposición provocó procesos de alteración de sedimentos mediante diagénesis cambiando la textura de las rocas a una textura más granular y por sí más permeable para las soluciones mineralizantes. Las fallas al borde de graben sufrieron múltiples reactivaciones durante la sedimentación de rocas carbonatadas sirviendo, así como conductos de las soluciones mineralizantes necesarias para la formación de los yacimientos tipo MVT. (Kalinaj, 2009).

El fallamiento frágil está representado por una dirección preferencial andino y la estructura principal de este tipo considerada a la Falla Chiriaco. Originalmente la falla normal, esta estructura de envergadura regional fue reactivada a régimen inverso por los eventos tectónicos andinos durante el Terciario dando origen a las estructuras secundarias de la Falla Chiriaco como las fallas Tihuja, Oso y Farallón de régimen normal y de rumbo. La falla Chiriaco fue reconocida a lo largo de más de 17Km con dirección NW-SE con un azimut que varía entre 100° a 130°. En su extremo SE a la Falla Chiriaco corresponde al cabalgamiento del paquete sedimentario de las Formaciones Condorsinga, Sarayaquillo y el Grupo Goyllarisquizga sobre la Formación Chonta, conformando el anticlinal volcado de Mina Grande, asimismo este movimiento compresivo generó estructuras sintéticas favorables para la mineralización en las zonas de Mina Grande y Mina Chica.



El fallamiento dúctil fue originado por los esfuerzos relacionados con la formación de los sinclinales y anticlinales delimitados por los bordes de la cuenca pull-apart de Pomacocha. Se distinguen pliegues abiertos y cerrados de dirección preferencial de eje axial NW-SE. (Kalinaj, 2009).

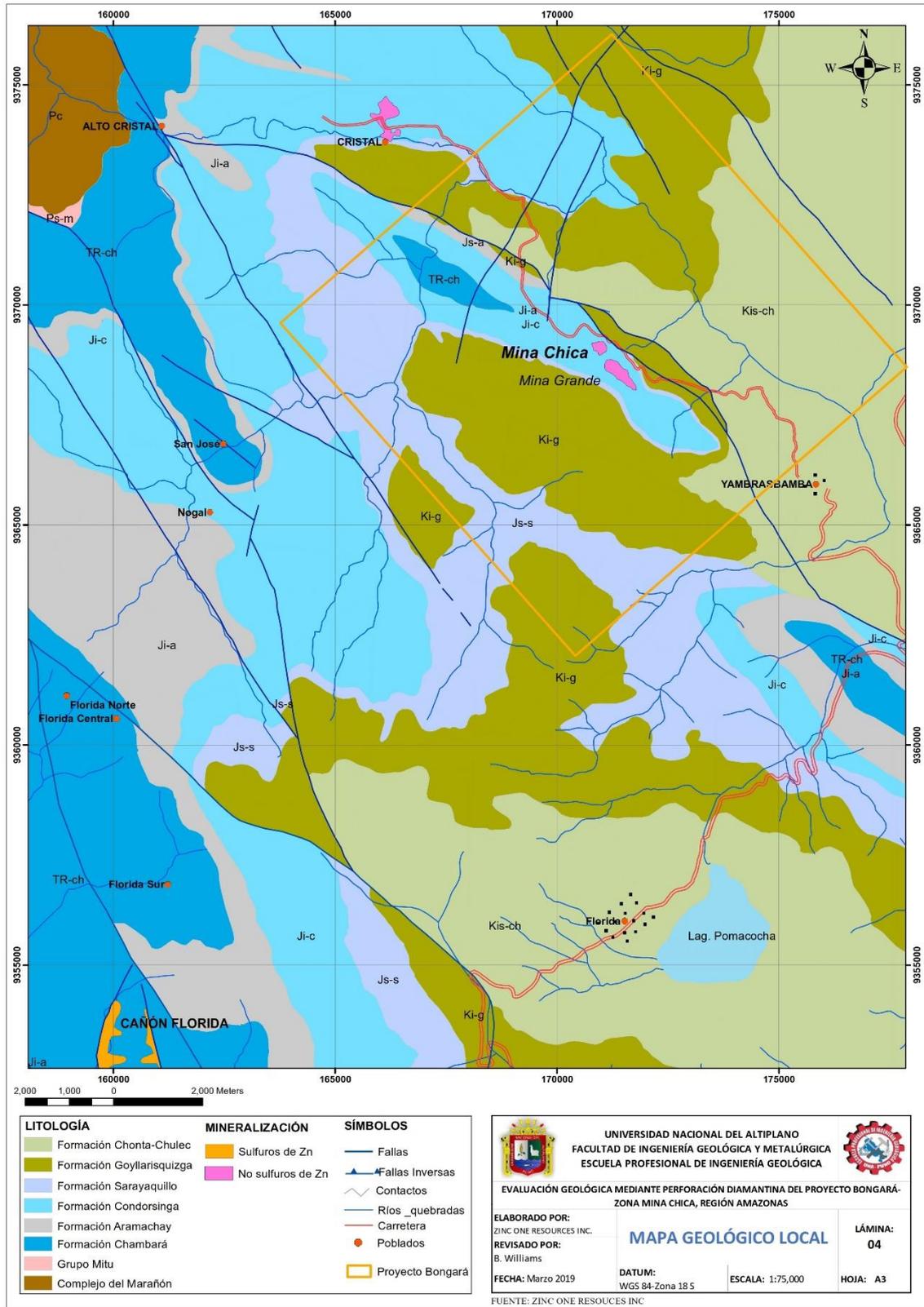
Los pliegues abiertos son de mayor distribución en la zona con flancos que buzan entre 10° y 25°, conformando así anticlinales y sinclinales abiertos mientras los pliegues cerrados constituyen como ejemplo el anticlinal de Mina Grande de dirección de eje axial 300°. Este anticlinal se encuentra segmentada en tres zonas por fallas de rumbo NE-SW. Hacia el NW presenta una geometría simétrica en cuyo núcleo afloran las calizas grises y niveles dolomitizados de la Formación Chambará, mientras la parte media ubicada en las inmediaciones de la “Casa de Ramón” representa un anticlinal volcado convergencia al SW, cuyo núcleo está constituido por lutitas negras de la Formación Aramachay y hacia al SE en la zona de Mina Grande vuelve a su posición normal constituido por las calizas y dolomías de la Formación Condorsinga. Estos cambios de convergencia son producto de una compresión diferencial del fallamiento inverso Chiriaco controlados por bloques rígidos asociados a lineamientos N-S. (Kalinaj, 2009).

#### **4.6. GEOLOGÍA LOCAL**

El yacimiento Bongará ocurre en las calizas micríticas de grano fino tipo “*wackestone*” y en menor proporción “*packestone*” de color gris oscuro a beige localmente karstificadas de formación Condorsinga. Subyacente a las secuencias carbonatadas de la Formación Condorsinga se encuentran calizas bituminosas fosilíferas y pizarras de Formación Aramachay. La Formación Condorsinga y la Formación Aramachay son miembro superior e intermedio respectivamente del Grupo Pucará y ambas unidades estratigráficas no se consideran como litologías más favorables para hospedar mineralización tipo MVT. (Rodríguez, 2008).



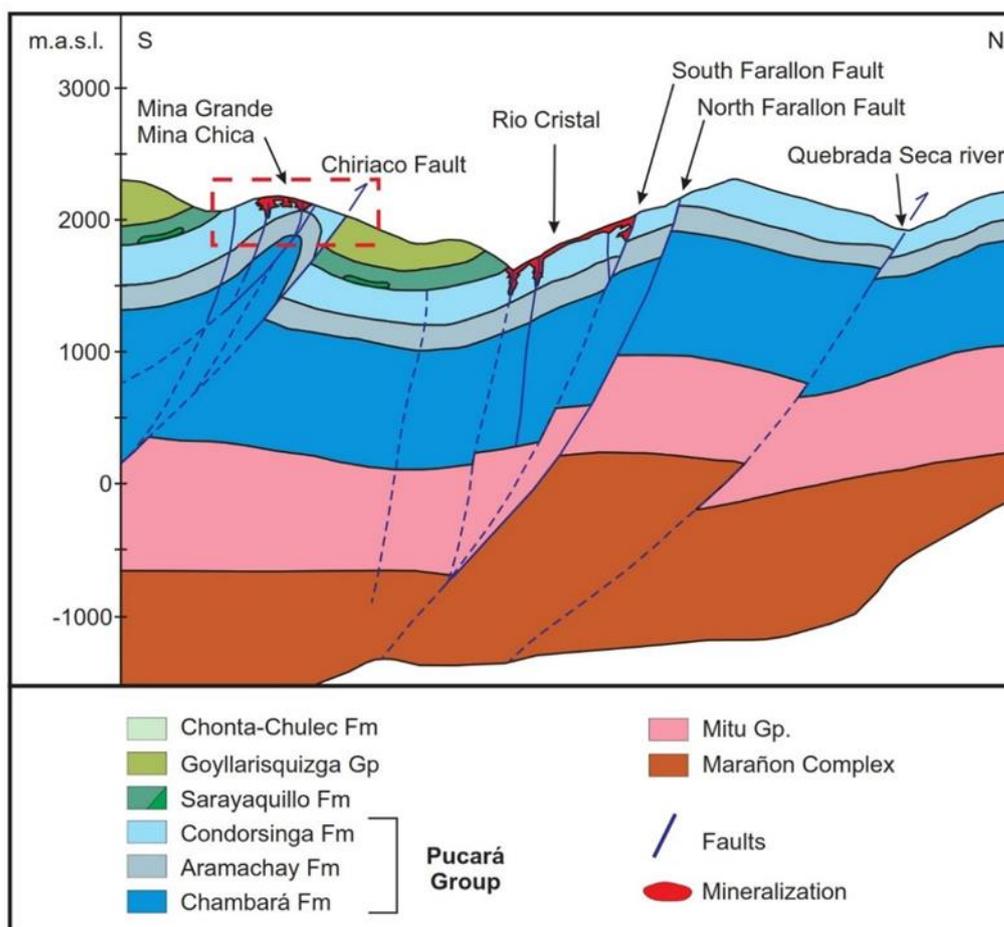
El miembro inferior del Grupo Pucará, Formación Chambará, la litología huésped más propicia para los depósitos de tipo MVT en el área, no se identificó en el yacimiento Bongará y según las secciones geológicas debería encontrarse recién en la profundidad de 400 hasta 500m bajo la superficie actual de Mina Grande. Es probable, que en la zona denominada Campo Cielo y Hierba Buena ubicados a lo largo del tren NW entre Mina Grande y Cristal, las litologías favorables de la Formación Chambará podrían encontrarse en las profundidades relativamente menores gracias a la falla Chiriaco. (Rodríguez, 2008).



**Figura 7.** Mapa Geológico del Distrito Minero Bongará (modificado de Albert & Workman, 2019).

Los altos topográficos prominentes con las paredes abruptas dentro del área de principal interés y sus alrededores están conformados por las lutitas y areniscas de grano fino de la Formación Sarayaquillo sobreyacentes a la Formación Condorsinga a lo largo de un contacto discordante mientras las cuarcitas con alto contenido de bitumen se asignan a Formación Goyllarisquizga. En algunos afloramientos se observó conglomerado calcáreo de Formación Corontochaca directamente en el contacto con las calizas de Formación Condorsinga y lutitas de Formación Sarayaquillo indicando así un contacto erosional entre las dos unidades.

Las rocas más jóvenes en la zona del proyecto Bongará consisten en intercalaciones de lodolitas, limolitas y la caliza de Formación Chonta de edad cretácea.



**Figura 8.** Sección Esquemática Mina Grande – Río Cristal (Arfé, et al., 2017).



#### **4.6.1. Geomorfología**

En el área de estudio, existen valles en diverso estado de evolución cuyas características del fondo y los flancos son condicionados por la litología y la estructura geológica.

##### **4.6.1.1. Valle Sinclinal Imaza o Chiriaco**

El tramo superior del Imaza discurre con un curso meandriforme encausado dentro de un pliegue sinclinal en la formación Chonta, que se encuentra al SE de Jumbilla. Este valle tiene una forma alargada y sus contornos se asemejan a una pluma de ave. Sus flancos son asimétricos, tienen pendientes moderadas entre  $25^{\circ}$  a  $45^{\circ}$ . Su fondo plano está tapizado por depósitos recientes y alcanzan hasta 1.5 km. de ancho. Las nacientes de este valle se encuentran en la cordillera de Piscohuañuna o Ventilla.

##### **4.6.1.2 Ladera Cordillerana**

Corresponde a las partes más bajas de la cadena longitudinal subandina, cuyas laderas no son tan altas ni empinadas; las partes más orientales representan un paso transicional hacia las lomadas y depresiones. Esta unidad geomorfológica tiene superficie moderada con pendientes bajas y sin rasgos fisiográficos importantes. Está cubierta de una vegetación exuberante. Los valles son transversales de recorrido corto y con secciones transversales en “V”.

##### **4.6.1.3. Lomadas**

Esta unidad constituye una transición entre la planicie que forman la depresión y la ladera subandina. Son superficies de formas suaves y onduladas, de baja pendiente y altitud, con un sistema de drenaje sub-paralelo e irregular, constituido por pequeños riachuelos de recorrido sinuoso, con escasos afloramientos rocosos y con suelos bastante desarrollados sobre los que ha crecido abundante vegetación.



#### **4.6.1.4. Depresión**

Esta unidad geomorfológica es una superficie subhorizontal a manera de una cuenca de deposición. Está conformada por rocas continentales del Neógeno y depósitos coluviales, aluviales y fluviales recientes que se manifiestan en terrazas que son erosionadas fácilmente cuando se incrementan las lluvias. El origen de estas depresiones se considera relacionado a estructuras sinclinales amplias y fallas que han sufrido un relleno paulatino, especialmente durante el Neógeno al Cuaternario.

#### **4.6.2. Litoestratigrafía**

El yacimiento Bongará es hospedado por las calizas de Formación Condorsinga, que es miembro superior del Grupo Pucará de edad Triásico hasta Jurásico. El miembro inferior del Grupo Pucará, Formación Chambará, no fue identificada en el yacimiento aún. Lutitas y areniscas de grano fino sobreyacentes al Grupo Pucará en el contacto directo con las secuencias carbonatadas pertenecen a la unidad estratigráfica Sarayaquillo mientras las cuarcitas con alto contenido de bitúmen se asignan a Formación Goyallarisquizga formando prominentes altos topográficos con las paredes abruptas dentro de la zona. En algunos afloramientos se observó conglomerado calcáreo de Formación Corontachaca directamente en el contacto de calizas de Formación Condorsinga y lutitas de Formación Sarayaquillo indicando así un contacto erosional entre las dos unidades.

El proceso de dolomitización de las facies oolíticas y pelíticas de las calizas de Formación Condorsinga es común con variedades de texturas desde la textura masiva de grano fino hasta recristalización gruesa con “manchas” de dolomita irregulares y en algunos casos con evidente control estratigráfico. Las partes de caliza de Formación



Condorsinga con recristalización gruesa resulta ser el huésped ideal de la mineralización tipo sulfuros observados en el proyecto Cristal próximamente 8km a N-NW de Bongará.

La litología favorable de Formación Condorsinga se encuentra expuesta en dirección NW-SE desde Mina Grande en un tren continuo hasta el Río Cristal. La secuencia se encuentra fuertemente plegada formando un prominente anticlinal asimétrico con inclinación de plano de eje al NE y un ligero plunge del eje al SE cortado con un significativo desplazamiento en el flanco Este a lo largo de la falla inversa Yambrasbamba - Bongará con el buzamiento al SW. Pequeños pliegues observados en la cumbre de anticlinal relacionados con el fallamiento transcurrente muestran un plunge al SE. En las cercanías de Río Cristal las secuencias de Formación Condorsinga desaparecen bajo la cobertura de cuarcitas de Formación Goyallarisquizga y reaparecen en el lado norte de anticlinal ubicado en el lado norte de Río Cristal, pero con un cambio de rumbo del eje de anticlinal a E-W en comparación con NW-SE en la zona de Bongará (Figura 9).

Las rocas más jóvenes en la zona del proyecto Bongará se encuentran intercalaciones de lodolita, limolita y la caliza de Formación Chonta de edad Cretácico.

Sistema	Columna	Unidad	Descripción Litológica
Cretácico	Superior	Fm. Chonta	Calizas y margas.
	Inferior	Gp. Goyllariquizga 300-500 m	Secuencia de areniscas blancas de grano medio a grueso, deleznales.
Jurásico	Superior	Fm. Sarayaquillo +/- 200 m	Conglomerados polimícticos, intercalación de lodolitas, limolitas y limoarcillitas color rojizo.
	Inferior	Fm. Condorsinga +/- 300 m	Calizas y dolomitas gris claro con venillas de calcita, con relleno de mineralización de zinc en espacios abiertos.
		Fm. Aramachay +/- 200 m	Calizas de grano fino y bituminoso con menores intercalaciones de caliza de grano fino nodular.
Triásico	Superior	Fm. Chamberá > 1000 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Micritas y biomicritas con horizontes fosilíferas.</li> <li>- Calizas de grano fino con mineralización de Zinc en espacios abiertos (fallas, fracturas y brechas).</li> <li>- Calizas dolomíticas.</li> </ul>
	Inferior	Gp. Mitu	Areniscas y conglomerados polimícticos de color rojizo.
Precámbrico		Complejo Marañón	Micaesquistos gris verdosos y metasedimentos fuertemente foliadas cortadas por diques ácidos.
		BONGARÁ (Mina Chica). Cañón Florida.	Fallas. Facies heterópicas.

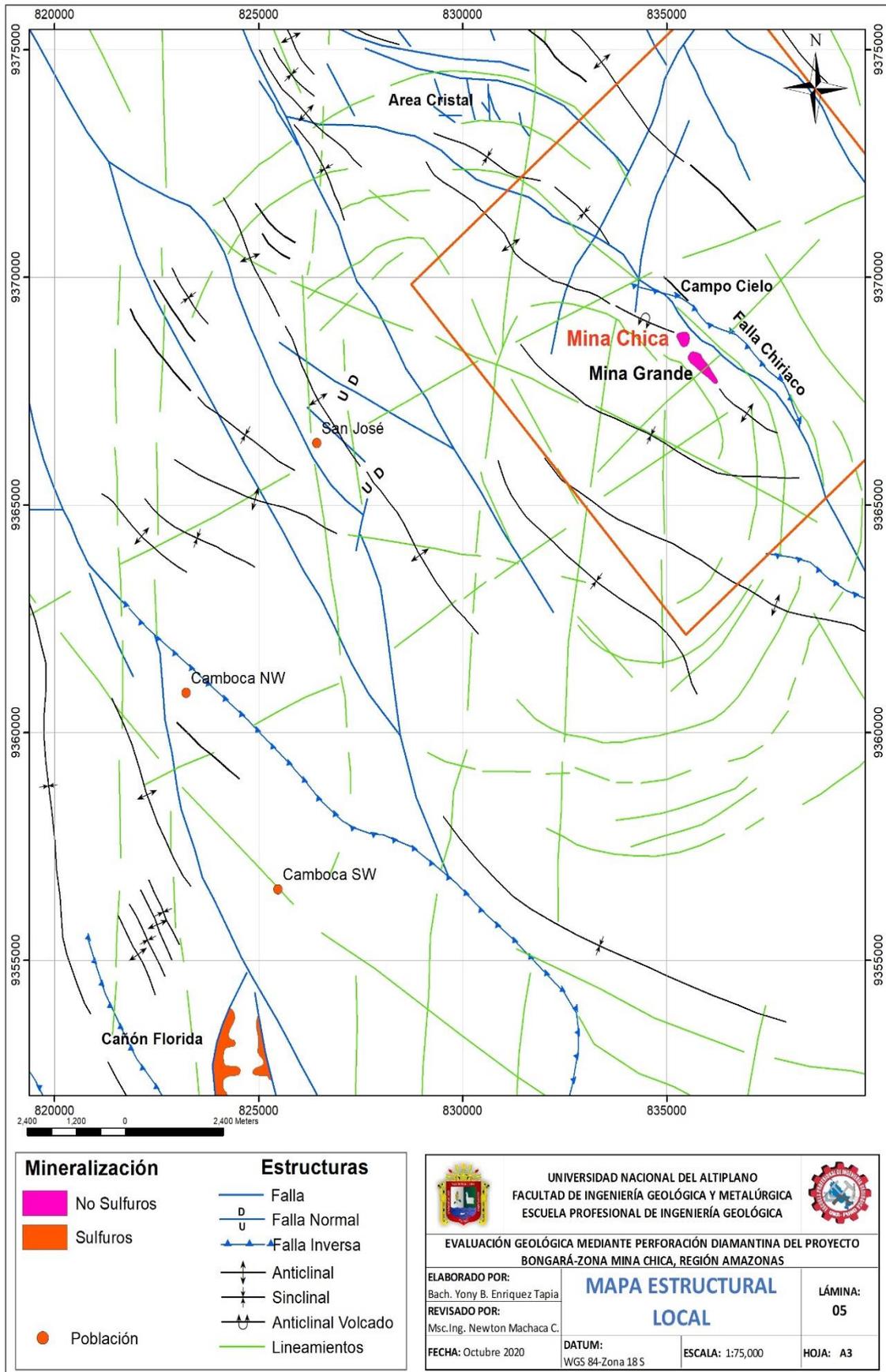
Figura 9. Columna estratigráfica del proyecto Bongará (Arfé, et al., 2017).

#### 4.6.3. Geología Estructural

La estructura principal que controla la mineralización en la zona de Mina Chica es una falla principal de dirección NW-SE, estructura que delimita el área mineralizado hacia el Noreste. Esta falla crea cuerpos mineralizados irregulares que tienen la misma dirección como la falla principal, y al mismo tiempo, estos son controlados por fallas secundarias (tensionales). La Pared del pie de la mineralización es principalmente definido por un contacto de falla. La litología de la roca huésped en esta área es principalmente la caliza dolomitizada y las arcillas limosas.



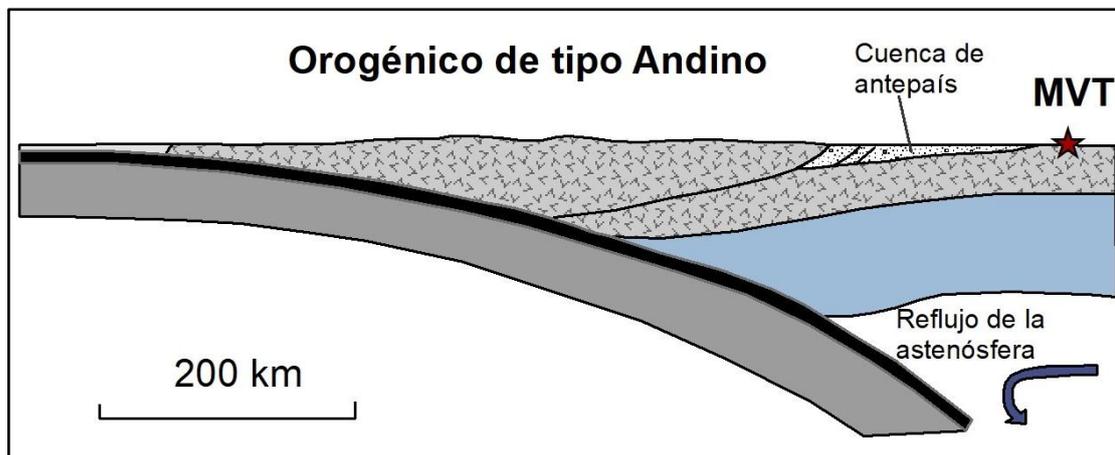
En el área del proyecto la secuencia se encuentra fuertemente plegada formando un prominente anticlinal asimétrico con inclinación de plano de eje al NE y un ligero plunge del eje al SE cortado con un significativo desplazamiento en el flanco Este a lo largo de la falla inversa Yambrasbamba - Bongará con el buzamiento al SW. Pequeños pliegues observados en la cumbre de anticlinal relacionados con el fallamiento transcurrente muestran un plunge al SE.



**Figura 10.** Mapa estructural y de lineamientos del proyecto Bongará (Elaboración propia).

#### 4.6.4. Ambiente Geotectónico y Metalogenético

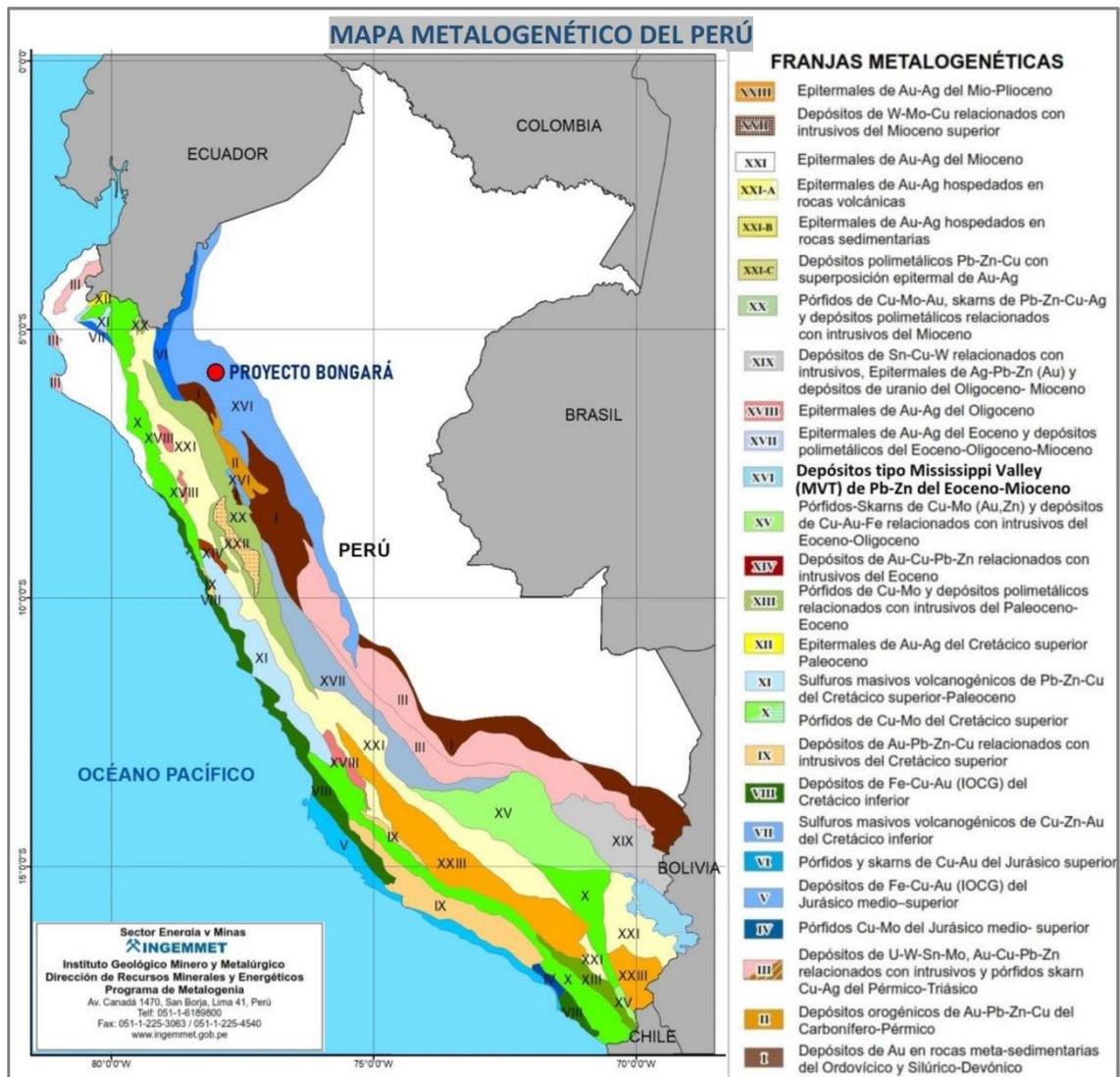
En el ámbito regional el proyecto Bongará - zona Mina Chica se enmarca en la zona límite de la Cordillera Oriental y la Faja Subandina enmarcado en la cuenca antepaís del orógeno andino (ver Figura 11).



**Figura 11.** Cuenca antepaís y ocurrencia de depósitos MVT (Bradley & Leach, 2003).

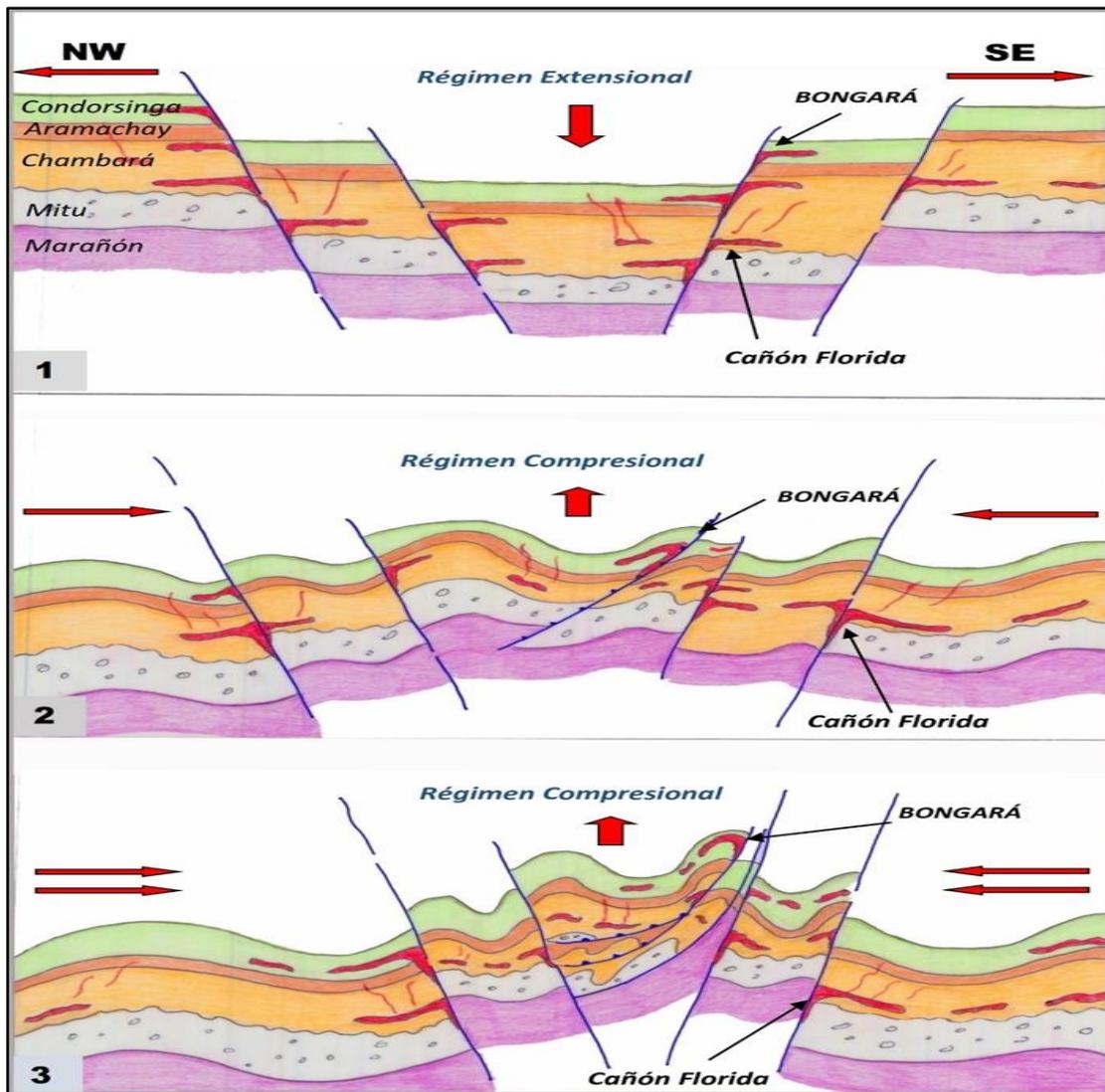
La Cordillera de los Andes tiene como basamento rocas metamórficas del Proterozoico, sobre las que se acumularon secuencias sedimentarias que fueron deformadas por la Tectónica Hercínica Paleozoica, a la cual estuvieron asociadas intrusiones plutónicas y volcanismo hasta el Paleozoico superior.

La mineralización de zinc en el área de Bongará está alojado dentro de la Cuenca Pucará al Noroeste de Perú, con una forma alargada que se extiende por más de 1000 km en todo del territorio con una tendencia NNW, la cuenca corresponde a la franja de depósitos tipo *Mississippi Valley* (MVT) de Pb-Zn del Eoceno-Mioceno. Las rocas carbonatadas pertenecientes a las secuencias inferiores de Grupo Pucará son consideradas como litología receptiva más favorable en territorio peruano como huéspedes de yacimientos de sulfuros de Zn y Pb tipo MVT de los cuales resulta la formación de yacimientos de óxidos de Zn tipo Bongará y Cristal.



**Figura 12.** Mapa Metalogénico del Perú (Modificado de Quispe J. et al., 2017).

En el marco regional más amplio se presentan formaciones de edad Permiana hasta Triásica inferior representado por el basamento metamórfico del Complejo Maraón seguido por conglomerados o brechas basales del Grupo Mitu en la base de Grupo Pucará. En los últimos años se está considerando como posible fuente de los metales base a las brechas basales de Grupo Mitu. La presencia de fallas sin-sedimentarias es indispensable para la formación de yacimientos tipo MVT así mismo como la presencia de las texturas permeables de las rocas huéspedes.



**Figura 13.** Evolución tectónica de la cuenca Pucará Norte (Rodríguez, J., 2008).

#### 4.6.5. Geología Económica

Los minerales económicos de Zinc en el proyecto Bongará consisten principalmente de smithsonita, hidrocincita y hemimorfita como minerales de mena, las concentraciones importantes de mineralización de zinc están constituidos por cuerpos irregulares de dirección SE-NW que están alineadas a las principales estructuras como fallas principales y plegamientos. La mineralización de sulfuro MVT original en el yacimiento Mina Chica se ha oxidado y ahora se presenta como hidrocincita (mineral de óxido de zinc), smithsonita (mineral carbonato de zinc), hemimorfita (mineral de silicato de zinc).

#### 4.6.5.1. Mineralogía

La mineralogía de las estructuras y cuerpos mineralizados en el proyecto Bongará están constituidos por minerales de mena y ganga que se ha observado macroscópicamente.

##### Minerales de Mena

Son minerales de valores comerciales asociados a los yacimientos y la explotación minera está supeditada a estos minerales útiles, cuyas características macroscópicas principales se han podido observar al realizar este estudio, en el Proyecto Bongará se tiene los siguientes minerales:

- **Hidrocincita ( $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$ ).**- La hidrocincita es un mineral de formación secundaria en las zonas de oxidación de los depósitos de minerales del zinc, presenta un color blanco de diferentes tonalidades, rara vez forma cristales y lo normal es encontrarlo como masas terrosas o costras. En el proyecto Bongará la hidrocincita ocurre en fracturas, cavidades y como diseminaciones en la matriz de dolomita y caliza dolomitizada.
- **Hemimorfita ( $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$ ).**- La hemimorfita es un mineral del grupo de los silicatos y un hábito cristalino mamelar, masivo o estalactítico. En el proyecto la hemimorfita es mayormente incoloro en agregados botroidales y se encuentra asociada a la smithsonita.
- **Smithsonita ( $ZnCO_3$ ).**- La smithsonita es un carbonato de zinc anhidro, que cristaliza en el sistema romboédrico. Es un mineral secundario, que suele encontrarse asociado a la hidrocincita y a la hemimorfita, formadas



como producto de alteración de la esfalerita. En el proyecto la smithsonita presenta un color rojo-pardo, se puede confundir con óxidos de hierro pero efervesce, y se encuentra diseminada en la matriz de las dolomías.

### **Minerales de Ganga**

Asociado con los minerales de mena, se encuentran constituyendo el cuerpo mineralizado, los principales minerales de ganga son las siguientes:

- **Dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).**- Es un mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio. Se produce una sustitución por intercambio iónico del calcio por magnesio en la roca caliza. Es un importante mineral de ganga en contacto con los minerales de mena en el yacimiento. Se considera como mineral principal de las rocas llamadas dolomías, son de colores pardo amarillento, de brillo vítreo a perlado, dureza 3,5 a 4 en la escala de Mosh y su sistema de cristalización es el trigonal.
- **Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).**- Es un mineral más común en la superficie, es esencial en las rocas calcáreas y es efervescente frente al ácido clorhídrico. En el proyecto Bongará la calcita comúnmente se encuentra como venillas y relleno de cavidades en las calizas frescas, y en los cuerpos mineralizados en parte está reemplazado por minerales de Zn (hidrocincita).

#### **4.6.5.2. Mineralización**

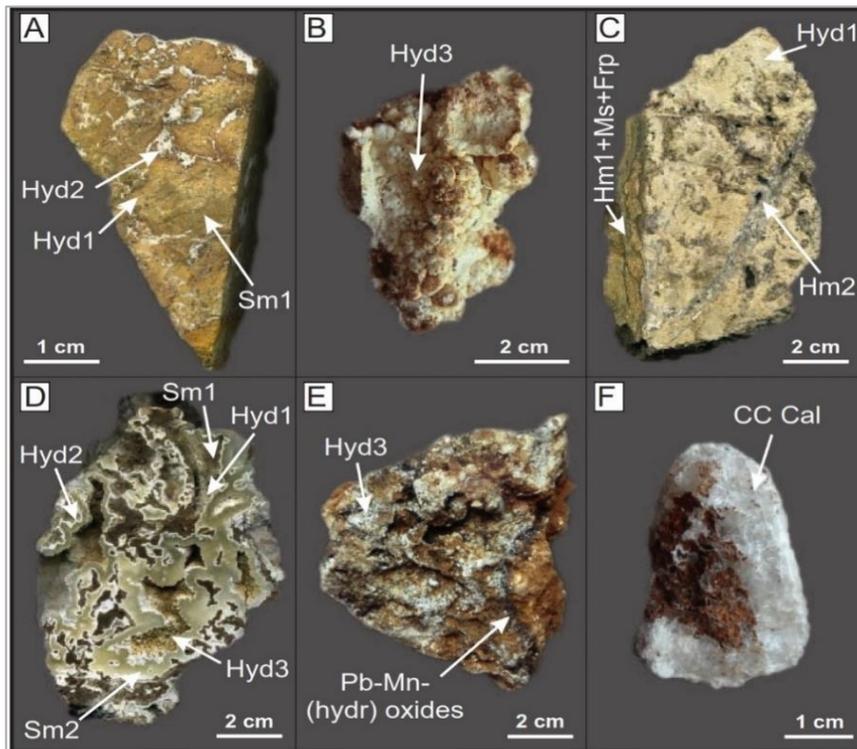
La mineralización de alta ley es el producto de oxidación de los sulfuros primarios por una parte con un enriquecimiento secundario originado por disolución de rocas calcáreas huéspedes; se observan varios tipos diferentes de mineralización en el área Mina Chica, la hidrocincita ocurre en fracturas, cavidades y diseminación en la matriz de la dolomita y caliza dolomitizada, la hemimorfita y la smithsonita presentan un color pardo con una textura limo-arenosa con un alto contenido de hierro y una mayor densidad



respecto a otras zonas mineralizadas. La presencia de remanentes de sulfuros de Pb (galena) observada en algunos sondajes diamantinos apoya el concepto de oxidación in situ, mientras la ausencia de sulfuros de Zn se explica con la baja estabilidad de esfalerita en la zona de oxidación en comparación con la estabilidad de la galena.

Otra característica que se observa en esta zona es la presencia de brechas tectónicas que en algunos casos se encuentran con mineralización de Zn. Estos se atribuyen a fallas que permitieron que las aguas ácidas que contenían Zn ingresaran a las rocas permeables donde reaccionaron con el carbonato para depositar minerales de óxidos y carbonatos de Zn.

Dentro de la clasificación genética de los yacimientos de óxidos de zinc el yacimiento Bongará representa un tipo híbrido de tipo de reemplazamiento de roca encajonante y relleno kárstico, en sentido de última clasificación de yacimientos de óxidos de Zn (Hitzman, 2003). El proceso de oxidación de cuerpos mineralizados de sulfuros fue posible gracias a la exposición de la mineralización en el eje de anticlinal NW – SE y fuerte levantamiento a lo largo de la falla inversa Yambrasbamba – Bongará. La posterior erosión de los horizontes de caliza sobreyaciendo y protegiendo los sulfuros y exposición de los mismos a oxígeno atmosférico y precipitaciones pluviales fue el factor crucial en la formación de mineralización de óxidos de Zn.



**Figura 14.** Imágenes de muestras representativas de minerales de zinc de tipo no sulfuros supergénicos (Arfé, et al., 2017).

La roca hospedante de la mineralización observada en el sector Mina Chica consiste básicamente de dolomías de grano grueso cristalizadas de colores marrones claros a oscuros, con relleno de minerales oxidados de zinc en colores blancos a manera de rellenos de fracturas, cavidades, venillas finas y diseminaciones finas en los intersticios de los cristales de dolomita.



**Figura 15.** Mineralización típica de hemimorfita e hidrocincita con alta ley de zinc en Mina Chica.

#### 4.6.5.3. Alteraciones

En la zona de Mina chica la dolomitización es la principal alteración observada en la roca hospedante y representa un ambiente muy favorable para la mineralización de zinc. Periférico a la zona mineralizada tanto las calizas frescas y dolomitizadas comúnmente contienen calcita en venillas y como relleno de cavidades.

La zona de alteración está directamente relacionado a las principales estructuras mineralización y brechas de colapso donde la mineralización rica en smithsonita, hemimorfita e hidrocincita se da en cuerpos estratificados en horizontes dolomíticos, como relleno de fracturas, cavidades y diseminado. Los niveles de dolomitas de grano medio a grueso, están asociados a menudo a la mineralización de Zn particularmente en el sector de Mina Chica, de la misma forma en los alrededores de las zonas mineralizadas se observa la dolomitización con menor intensidad y débil mineralización.



**Figura 16.** Zona de alteración dolomítica en el sector Mina Chica – Proyecto Bongará.



#### 4.6.5.4. Paragénesis y Zoneamiento

El orden cronológico de depositación mineral se conoce como la secuencia paragenética o paragénesis de un depósito mineral, mientras que la distribución espacial se conoce como zonación. Las características mineralógicas de las muestras confirman una mineralización de sulfuro hipógeno que originalmente ocurrió en el área de Mina Grande-Mina Chica, y precedió a la formación de minerales supergénicas de óxidos de zinc. La roca hospedante caliza de la Formación Condorsinga es irregularmente dolomitizada por fluidos de origen hidrotermal (Radke y Mathis, 1980). La roca huésped es también cortado por venillas de calcita, indicios de esfalerita se originan entre los cristales de dolomita, otros sulfuros son la galena y raramente pirita. Se interpreta que la mineralización hipógena original en Bongará era un depósito MVT equivalente a sulfuros de Zn-Pb. Smithsonita (Sm1), asociada con hemimorfita (Hm1) y una primera fase de hidrocincita (hidrocincita esponjosa, Hyd1), precede a la deposición de calcita concrecionaria (CC Cal). CC Cal va acompañado de hidrocincita compacta (Hyd2), una segunda generación de hemimorfita (Hm2). Concreciones tardías de smithsonita (Sm2) e hidrocincita en forma de aguja (Hyd3), junto con goethita y óxidos de Mn rellenando cavidades, de lo descrito antes se puede establecer firmemente que los minerales supérgenas se derivan de la mineralización hipógena.

	ROCA HUESPED	ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN HIDROTHERMAL	MINERALIZACIÓN SUPÉRGENA
Roca huesped Caliza	=====		
Dolomitización		=====	
Pirita/marcasita		=====	
Esfalerita		=====	
Galena		=====	
Calcita		=====	
Goethita			=====
Smithsonita temprana (Sm1)			=====
Hemimorfita temprana(Hm1)			=====
Hidrocincita esponjosa (Hyd1)			=====
Calcita concrecionaria (CC Cal)			=====
Hemimorfita tardía (Hm2)			=====
Hidrocincita compacta (Hyd2)			=====
Smithsonita tardía (Sm2)			=====
Hidrocincita en forma de agujas (Hyd3)			=====
Mn-Pb-(Zn-Fe)-óxidos			=====

**Figura 17.** Paragénesis de los minerales hidrotermales y supergénicos en la mineralización del yacimiento Bongará (modificado de Arfé, et al., 2017).

El zoneamiento mineralógico en el yacimiento Bongará se presenta de la siguiente manera: 1) En la parte superior del yacimiento se tiene un desarrollo de prominentes cuerpos de gossan con mineralización débil de smithsonita y hemimorfita, cuerpos que originalmente fueron ricos en pirita, lo cual se puede asumir en base a estudios mineralógicos, de igual manera, estos estudios revelan presencia de relictos de pirita encapsuladas en hematita y goethita, siendo la presencia de pirita indispensable en el proceso de formación de los cuerpos de óxidos de Zn debido a la generación del ácido sulfúrico necesario para la desintegración de sulfuros de Zn y Pb; 2) Por debajo de los cuerpos de gossan encontramos una zona con mineralización de hidrocincita en fracturas, cavidades y disseminaciones en la matriz de caliza y caliza dolomitizada; 3) Así mismo es notable una zona con mineralización de hemimorfita y smithsonita de color pardo con textura limo-arenosa con un alto contenido de hierro y una mayor densidad respecto a otras zonas mineralizadas; y 4) Por último se puede distinguir una combinación de los dos primeros, es decir, la presencia de hidrocincita, hemimorfita y smithsonita donde la



hidrocincita rellena fracturas y cavidades, mientras que la hemimorfita se encuentra en forma masiva y como cristales diseminados en la matriz de la roca dolomitizada.

Una característica importante en esta zona es también la presencia de remanentes de sulfuro de Pb (galena) en algunos sondajes, sin embargo no se observan sulfuros de Zn debido a la fácil disolución de la esfalerita.

#### **4.6.5.5. Tipo de Yacimiento**

La mineralización de zinc en el proyecto Bongará está clasificada como un depósito *Mississippi Valley Type* (MVT) oxidado, denominado “no sulfuros” y está alojada principalmente en las calizas dolomitizadas. La mineralización también puede ocurrir como cuerpos tabulares con límites irregulares, que es una característica de la mineralización encontrada a lo largo de la periferia de las brechas, especialmente en Mina Chica.

## CAPÍTULO V

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL PROYECTO BONGARÁ, ZONA MINA CHICA.

##### 5.1.1. Caracterización Litológica, Estructural y Textural

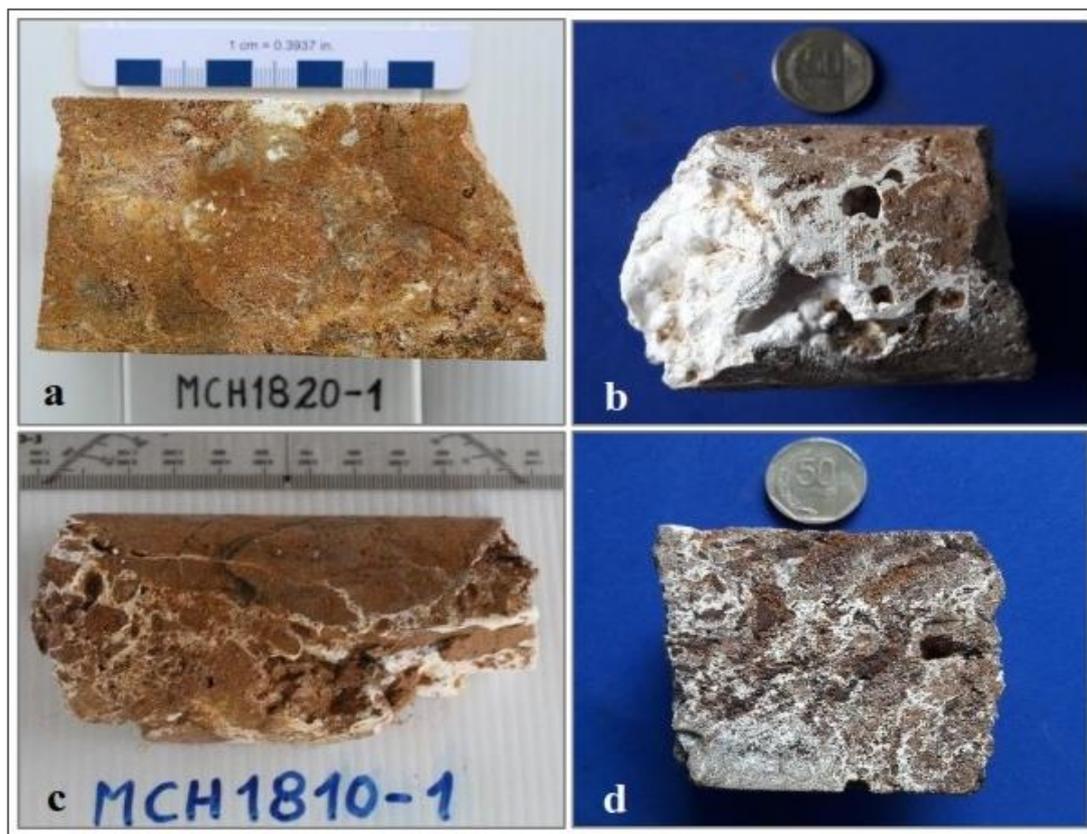
Los resultados de la fase de perforación diamantina en el proyecto Bongará y en particular en la zona Mina Chica evidencian la existencia de una litología con características estructurales y texturales favorables para la mineralización de zinc, además nos permite hacer una correlación con las estructuras mayores que se encuentran en superficie como es la falla principal Chiriaco y otras fallas secundarias que han creado cuerpos mineralizados, además estas estructuras controlan la mineralización de zinc. Las rocas con texturas más favorables para la mineralización de Zn son las de grano medio a grueso, así como se detalla más adelante en la sección de Datos Petrográficos.



**Figura 18.** En la imagen se observa una muestra de dolomita brechada perteneciente al sondaje MCH-18-048 del sector Mina Chica, con mineralización de óxidos de Zn en las cavidades de disolución.

Las perforaciones realizadas de manera sistemática para probar la mineralización conocida en superficie y ampliar hacia los márgenes exteriores de la zona Mina Chica, nos ha permitido conocer las principales texturas y estructuras relacionados a la mineralización mediante la descripción detallada de las muestras de perforación.

La litología de la unidad Condorsinga se encuentra dolomitizada, presentando texturas y estructuras favorables para la mineralización tales como: brechas tectónicas, brechas de colapso, craquelamiento, brechas en mosaico y dolomitas con porosidad primaria y secundaria, donde las cavidades de disolución están rellenas por minerales de zinc.

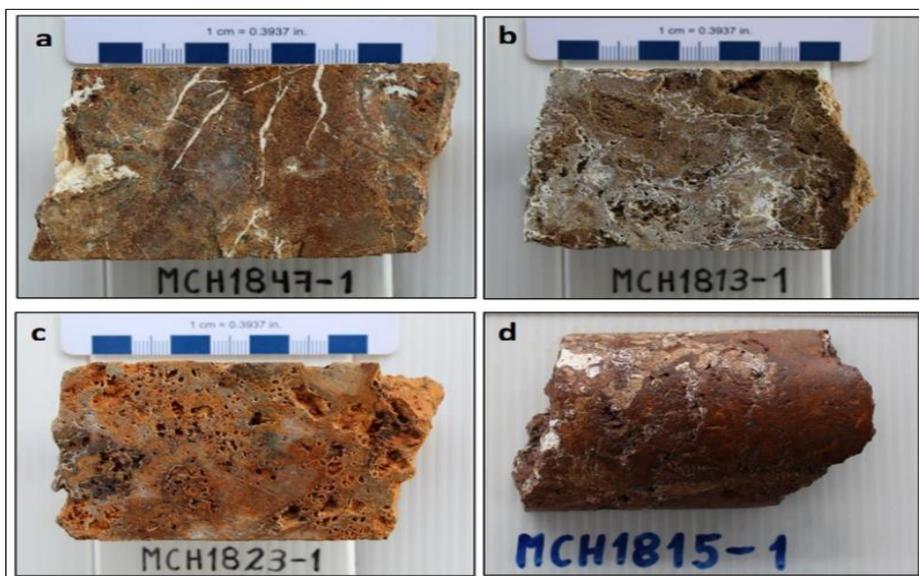


**Figura 19.** Muestras de core con texturas y estructuras más significativas del Sector Mina Chica, a) Dolomita de grano medio a grueso con porosidad primaria y débil mineralización de óxidos de zinc b) Se observa una muestra de dolomita con porosidad secundaria donde la mineralización de zinc rellena los espacios vacíos c) Brecha craquelada color pardo, con porosidad secundaria y fracturas rellenas de óxidos de zinc d) Brecha tectónica con fragmentos de dolomita y cavidades con mineralización de zinc.

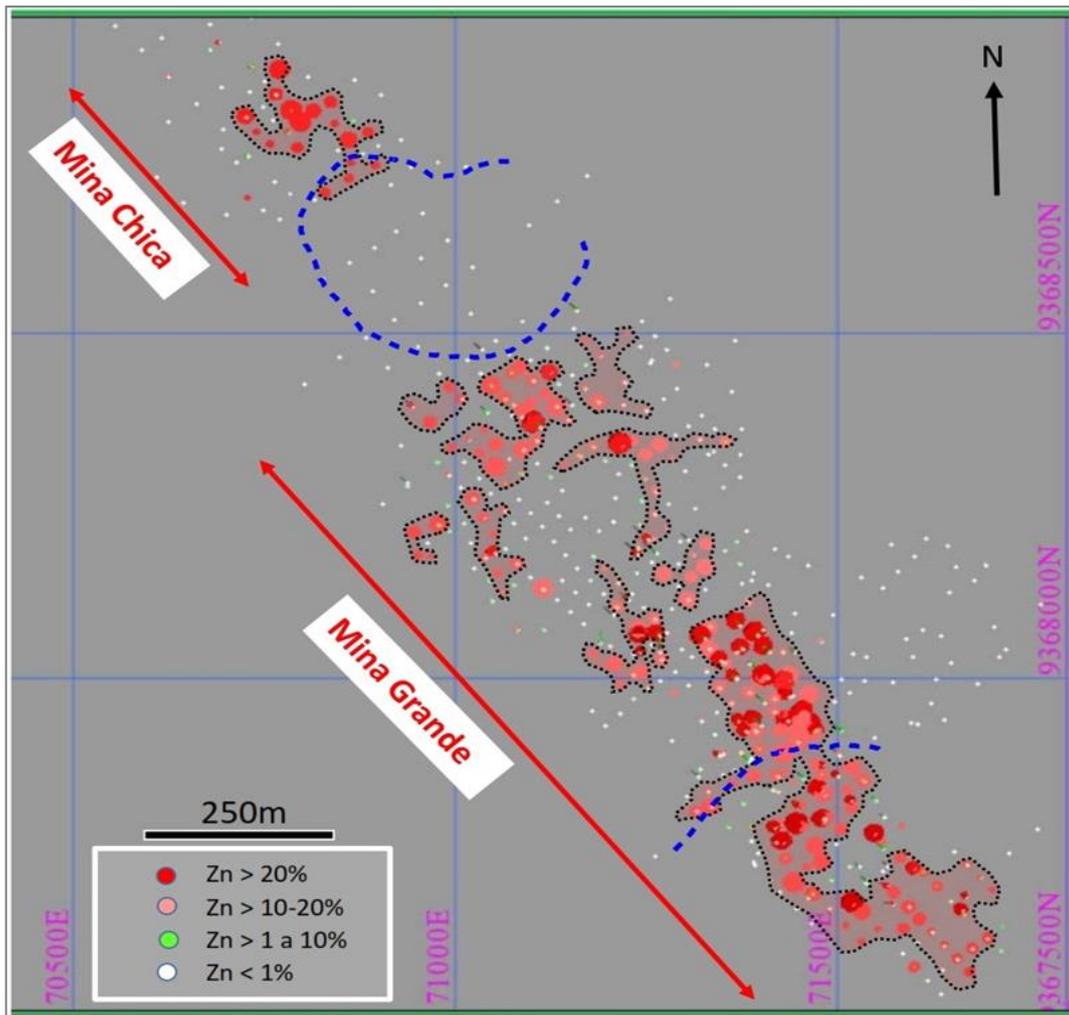
### 5.1.2. Caracterización y Distribución de la Mineralización a Escala del Yacimiento

El proyecto Bongará muestra dos zonas principales de mineralización de zinc, denominados “no sulfuros” en Mina Grande y Mina Chica, que conforman una zona mineralizada de 1.5 km de longitud y anchos de 0.2 a 0.3 km. La mineralización ocurre en superficie y profundizan en promedio 30 m, mayormente como relleno producto de meteorización de cavidades kársticas con pocas ocurrencias de depósitos de *gossan*, y están distribuidos en forma de cuerpos irregulares alargados desde el extremo SE de Mina Grande hasta el extremo NW de Mina Chica como se muestra en la figura 21.

Los minerales económicos de zinc, que se observa con la lupa consisten principalmente de hidrocincita y hemimorfita, y en menor proporción smithsonita, pirita, galena y óxidos de hierro. La smithsonita ocurre localmente y parece haber sido reemplazado por hidrocincita, la dolomita está presente principalmente en la roca hospedante.

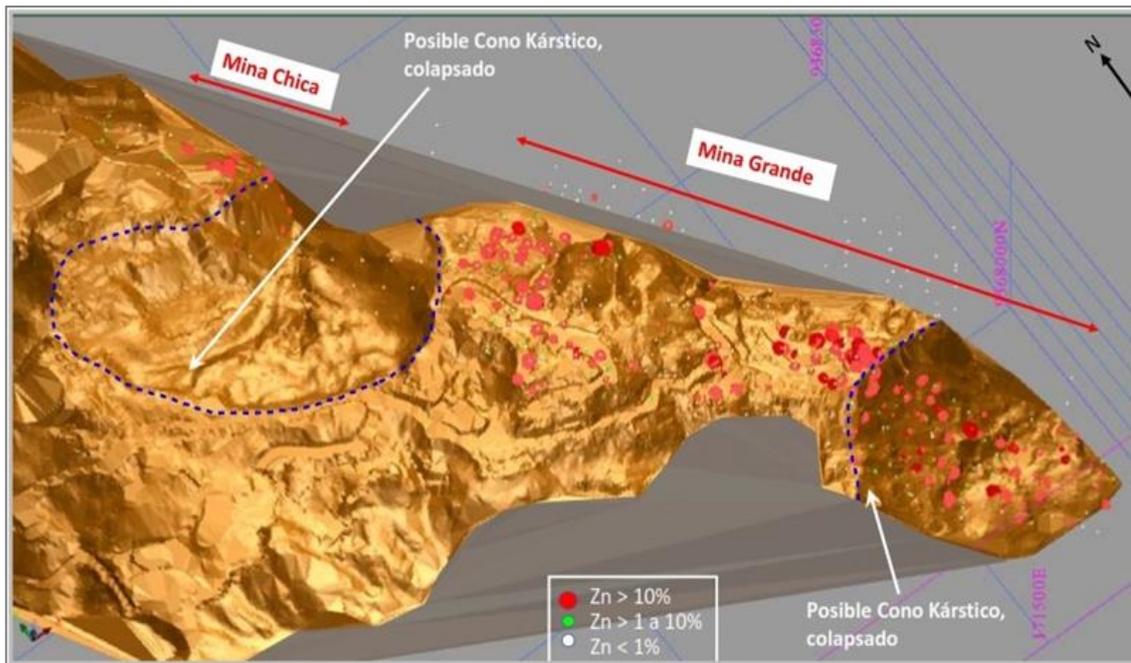


**Figura 20.** Características de mineralización de óxidos de zinc en Mina Chica. a) Mineralización de hidrocincita en venillas y cavidades, b) Hemimorfita diseminada en una matriz de dolomita, c) Débil mineralización de smithsonita en caliza dolomitizada y d) Gossan con mineralización de hidrocincita como parches, y smithsonita diseminada en matriz.



**Figura 21.** Vista en planta de la mineralización mayor a 10% de Zn en el Proyecto Bongará (Dávila D. et al., 2017).

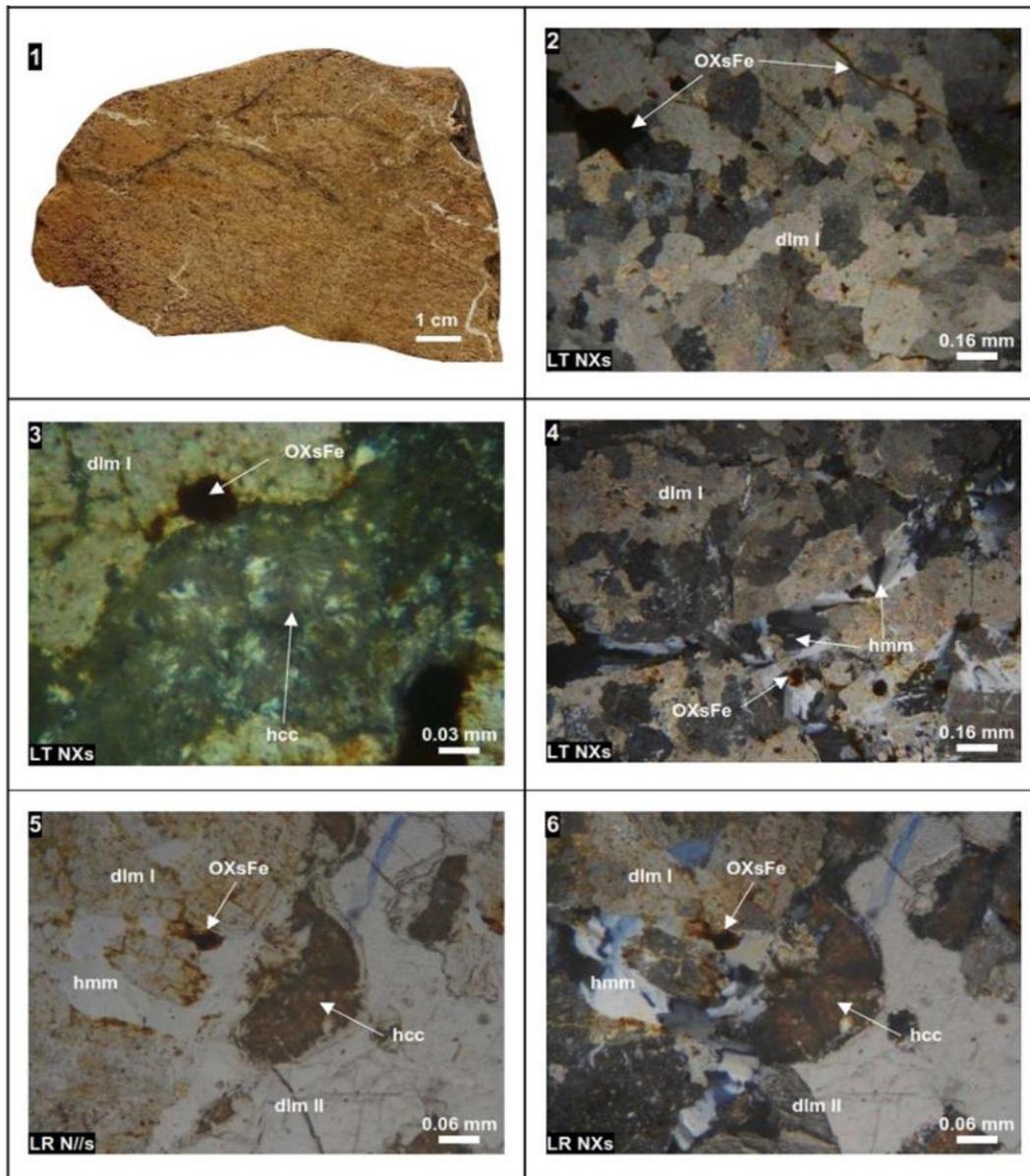
El modelado tridimensional de la topografía muestra dos zonas anómalas de superficie deprimidas (colapsadas), posiblemente asociadas a procesos kársticos que se desarrollan comúnmente en secuencias calcáreas. La primera depresión se encuentra entre Mina Grande y Mina Chica, y muestra una depresión semicircular con despegue al NE que erosiona la mineralización de zinc. Una segunda depresión se observa al extremo SE de Mina Grande, depresión aparentemente colapsada hacia el SE cuyo bloque descendido aún conserva una capa delgada mineralizada que ha persistido a la erosión.



**Figura 22.** Vista Isométrica de la configuración topográfica actual del yacimiento Bongará, mostrando la mineralización de Zn (Dávila D. et al., 2017).

### 5.1.3. Petrografía, Minerografía y Difractometría de Rayos X Semicuantitativo.

Se realizó el estudio petrográfico de dos muestras. Las muestras pertenecen al proyecto Bongará – Mina Chica y son de afloramiento de superficie. El estudio petrográfico fue realizado con el microscopio petrominerográfico MEIJI serie ML9430. Las muestras también fueron analizadas por DRX semicuantitativo, para ayudar en las interpretaciones petrográficas, esta técnica puede ser reconocida como convencional pero su aplicación es fundamental para la caracterización mineralógica de un yacimiento; así como para definir los distintos minerales que predominan dentro de un proceso metalúrgico.



**Figura 23.** Fotomicrografías de la Muestra M-1, Zona Mina Chica. 1) Muestra de mano. 2) Agregado de cristales romboédricos de dolomita I (dlm) con caras y aristas curvadas (*saddle dolomite*), nótese diseminaciones intersticiales y microvenillas de óxidos de hierro (OXsFe). 3) Parches de esferulitos de hidrocincita (hcc) reemplazando dolomita I. 4) agregado de cristales prismáticos largos y radiados de hemimorfita (hmm) en venillas. 5) Venillas de hemimorfita, hidrocincita (coloforme) y dolomita II, nótese la diferencia entre dolomitas por el aspecto sucio. 6) Misma vista de la fotomicrografía 5 en nícoles cruzados. (Dávila D. *et al.*, 2017)

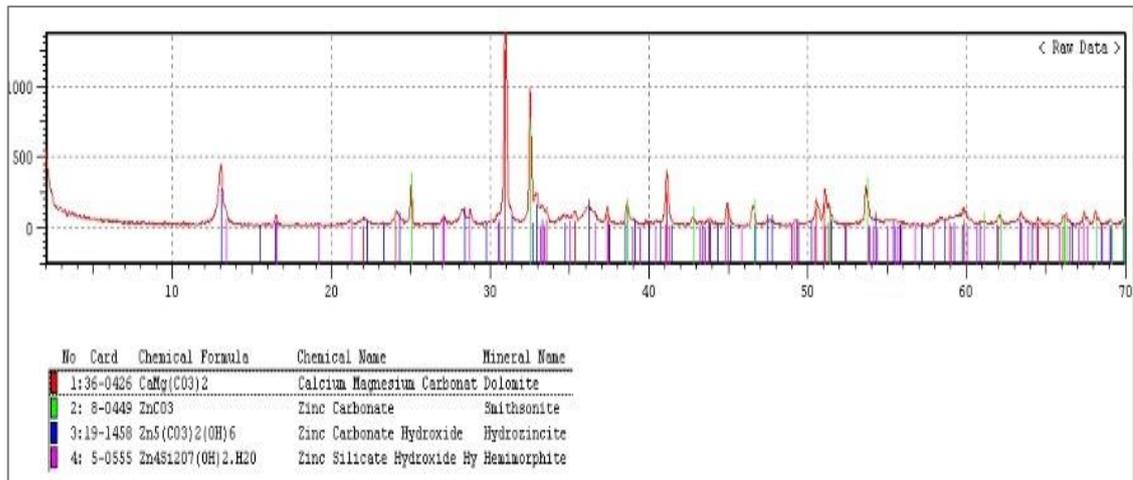


## *DATOS PETROGRÁFICOS*

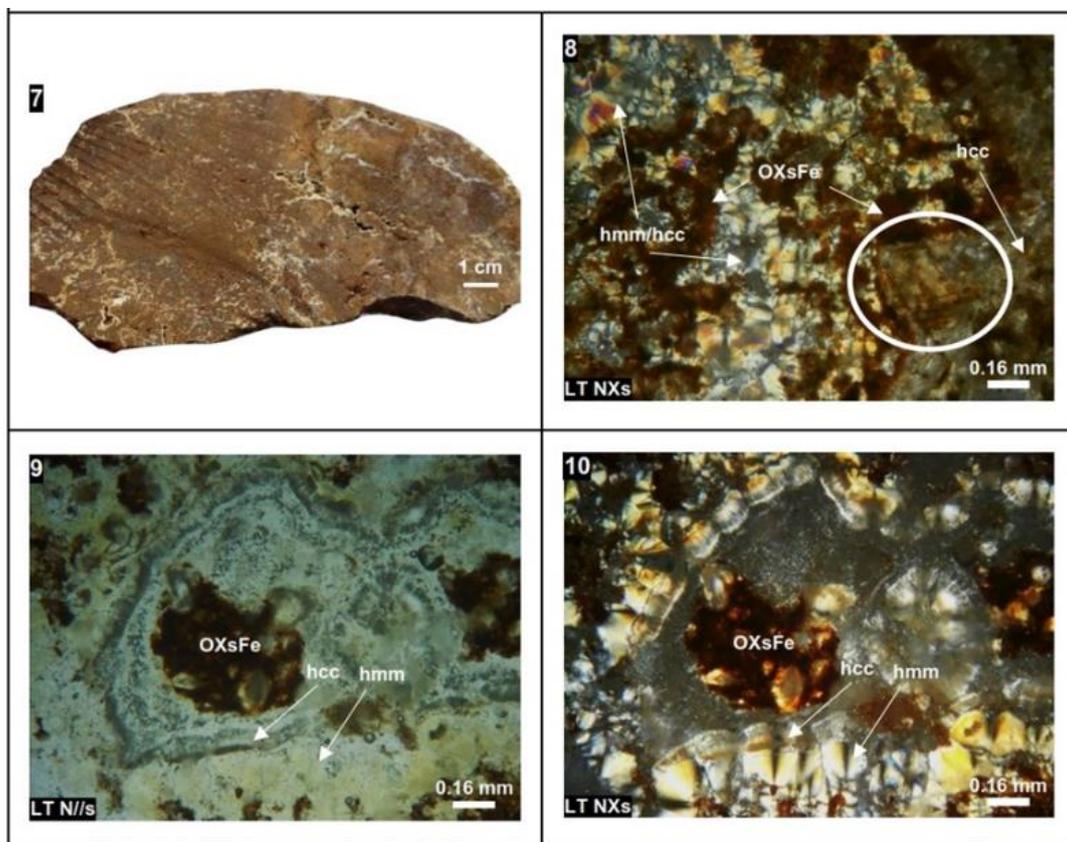
### **Muestra:** M-1

- **Litología:** Dolomía Epigenética.
- **Alteración:** Dolomita, minerales oxidados de zinc (hidrocincita y hemimorfita), y óxidos de hierro (hematita y goethita).
- **DRX semicuantitativo:** 52.78% Dolomita, 32.30% Smithsonita, 11.68% Hidrocincita, y 3.24% Hemimorfita
- **Descripción petrográfica:** Roca sedimentaria de textura microcristalina equigranular de grano grueso (500-1000 $\mu$ m) conformada por dolomita I en cristales euhedrales a subhedrales de hábito romboédrico con caras y aristas curvas (saddle dolomite), además presentan impurezas en diferentes proporciones. La roca presenta diseminaciones (<300 $\mu$ m) y microvenillas (<120 $\mu$ m) de óxidos de hierro (4%), hematina y goethita, también como impregnaciones en dolomita I.

La roca es cortada por venillas sinuosas y coloformes de hidrocincita (7%), hemimorfita (4%) y dolomita II (2%), estos minerales también ocurren intersticiales entre cristales de dolomita I. La hidrocincita presenta aspecto sucio y ocurre en agregados coloformes de esferulitos con colores de interferencia de alto orden, en su mayoría enmascarados; también ocurre reemplazando dolomita I. La hemimorfita es incolora y ocurre en agregados de cristales prismáticos largos y radiados con colores de interferencia de primer orden. La dolomita II es incolora y sin impurezas.



**Figura 24.** Difractograma de DRX Muestra M-1, Zona Mina Chica (Dávila D. et al., 2017).



**Figura 25.** Fotomicrografías de la Muestra M-2, Zona Mina Chica. 7) muestra de mano. 8) Textura *boxwork* rellena por crecimientos botroidales de hemimorfita (colores bajos de interferencia) e hidrocincita (colores altos de interferencia), además óxidos de hierro (goethita). También reemplazan la roca, nótese un molde de sección rómbica de dolomita, ver círculo blanco. 9) Nótese el aspecto sucio de hidrocincita que lo diferencia de hemimorfita en nícoles paralelos. 10) Misma vista de la fotomicrografía 9 en nícoles cruzados. (Dávila D. et al., 2017)

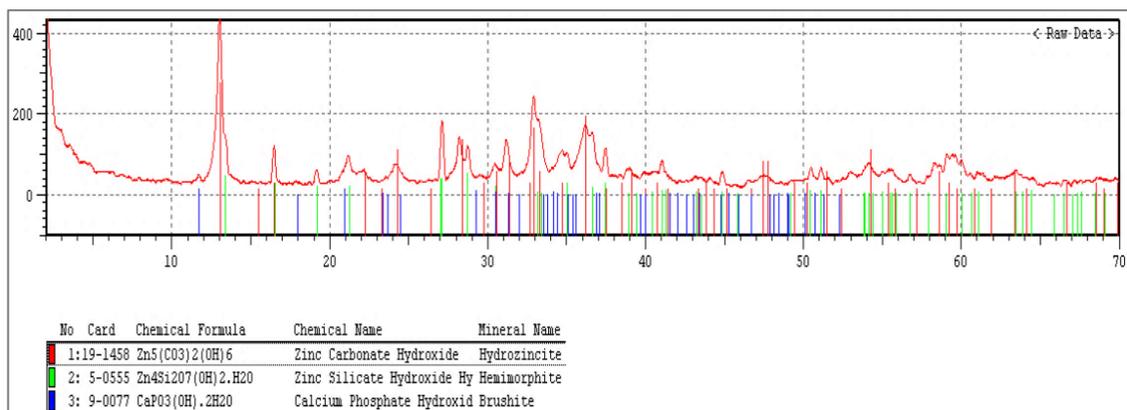
## DATOS PETROGRÁFICOS

### Muestra: M-2

- **Litología:** Gossan de Fe-Zn, protolito dolomía.
- **Alteración:** Minerales oxidados de zinc (hidrocincita y hemimorfita), y óxidos de hierro (hematita y goethita).
- **DRX semicuantitativo:** 58.93% Hidrocincita, 26.78% Amorfo, 11.43% Hemimorfita, y 2.86% Brushita.
- **Descripción petrográfica:** Roca relíctica de textura boxwork rellena por crecimientos botroidales de hemimorfita, hicrocincita y óxidos de hierro (goethita).

La hidrocincita es incolora, pero presenta aspecto sucio y ocurre en esferulitos con colores de interferencia de alto orden, pero muchas veces enmascarados La hemimorfita es incolora y esferulitos con colores de interferencia de primer orden.

Los pocos remantes de roca ocurren reemplazados principalmente por hidrocincita de aspecto sucio y abundantes impregnaciones de óxidos de hierro (hematina y goethita).



**Figura 26.** Difractograma de DRX Muestra M-2, Zona Mina Chica (Dávila D. et al., 2017).



#### **5.1.4. Resultados de los Estudios Microscópicos**

De lo observado bajo el microscopio en las muestras M-1 y M-2, se puede concluir que los tres principales minerales de zinc son:

- Smithsonita (rojo pardo, se puede confundir con óxidos de hierro, pero efervesce).
- Hidrocincita (blanco en agregados botroidales, además recordar que tiene fluorescencia blanco-azulada intensa con luz UV de  $\lambda$  corta que le permitiría diferenciarse claramente de otros minerales).
- Hemimorfita (mayormente incoloro en agregados botroidales pero también prismático radiados).

### **5.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTROLES DE MINERALIZACIÓN DEL PROYECTO BONGARÁ, ZONA MINA CHICA**

#### **5.2.1. Control Estratigráfico**

El yacimiento Bongará es hospedado por las calizas de Formación Condorsinga que es miembro del Grupo Pucará de edad Triásico hasta Jurásico. Las partes de caliza dolomitizada con recristalización gruesa y textura brechada resulta ser el huésped ideal de la mineralización de óxidos de zinc, esta litología se encuentra expuesta en rumbo NW-SE desde Mina Grande en un tren continuo hasta Campo Cielo.

La mineralización rica en smithsonita se da en cuerpos estratificados en horizontes dolomíticos, en algunas zonas la smithsonita y hemimorfita se encuentran como cemento de clastos constituidos por dolomita. La hidrocincita ocurre como relleno de fracturas y cavidades, y como diseminaciones en la matriz de dolomita.



**Figura 27.** Control estratigráfico de mineralización de zinc en el Proyecto Bongará. A) En la imagen se muestra un intervalo de nivel de caliza fresca con venillas de calcita, B) Intervalo correspondiente a un nivel de dolomías con mineralización de zinc de alta ley.

### 5.2.2. Control Litológico

La litología más favorable para la presencia de mineralización de zinc en la zona Mina Chica es la dolomía y caliza dolomitizada y recristalizado con importante porosidad y permeabilidad. Una roca menos alterada generalmente marca los límites exteriores de la mineralización. La caliza inalterada es esencialmente estéril de mineralización y forma los límites exteriores con mineralización de zinc, cuando se llega en forma lateral o vertical a la caliza gris el mineral llega a su fin, en los tramos cercanos a la superficie la concentración de óxidos de zinc se encuentra principalmente en la limoarcilla, también se tiene como guía al gossan, en la parte superior, siempre se presenta el óxido de hierro que sobreyace al óxido de zinc.



**Figura 28.** Zona de contacto entre calizas y dolomitas, en la parte superior caliza gris inalterada y parte inferior dolomita con mineralización de zinc.

### 5.2.3. Control Estructural

La estructura principal que controla la mineralización en la zona de Mina Chica es la falla Chiriaco de dirección NW-SE, estructura que delimita el área mineralizado hacia el Noreste. Esta falla crea cuerpos irregulares mineralizados que tienen la misma dirección como la falla principal, y al mismo tiempo, estos son controlados por fallas secundarias (tensionales).

Otra estructura a tomar en cuenta en el control de la mineralización es la presencia de un intenso plegamiento formando anticlinales y sinclinales. El anticlinal Mina Grande de dirección NW-SE ha favorecido la acumulación de minerales oxidados de zinc, donde los estratos más antiguos han sido expuestos a superficie por erosión y estos estratos en superficie presentan mineralización de óxidos de zinc.

### 5.3. ESTIMACIÓN DE RECURSOS

#### 5.3.1. Resumen de Recursos Minerales

La estimación de recursos minerales en el Proyecto Bongará fue realizada con el apoyo de la empresa consultora Watts, Griffis and McOuat Limited (“WGM”), una empresa independiente de consultores geológicos y mineros, todos los Recursos minerales estimados ocurren en zonas de carbonato polimetálico oxidado, con una mineralización de zinc y un considerable potencial económico. El cálculo de recursos realizado en el proyecto Bongará y en particular en la zona Mina Chica incrementa el potencial obtenidos en las diferentes áreas y a los recursos históricos existentes.

La estimación de recursos minerales se calculó utilizando la metodología kriging ordinaria, construyendo un modelo de bloques geológicos con dimensiones de 5x5x5 metros, además, se ha aplicado la ley de corte mínima de 10% de Zn y una densidad aparente de 1.90, la ley de corte establecido para estimaciones de recursos es similar a la utilizada para antecedentes de estimaciones históricos y cuando la propiedad estuvo en producción durante 2007-2008, los ensayos de zinc se limitaron al 40% de zinc.

**Tabla 6.** Configuración del Modelo de Bloque de la Zona Mina Chica

Dirección	Tamaño de bloque (m)	Número de bloques	Mínimo	Máximo
Este-Oeste	5	90	170,500 E	170,950 E
Norte-Sur	5	60	9,368,700 N	9,369,000 N
Vertical	5	40	2,100 elev	2,300 elev

*Fuente:* Reporte Técnico Proyecto Bongará (Albert & Workman, 2019).

Con una ley de corte de 10% de Zn, el proyecto de zinc Bongará alberga 822,000t de 18.8% de Zn y 1’339,700t de 16.8% de Zn según los recursos indicados e inferidos respectivamente. La mineralización de Zn ocurre como hidrocincita secundaria,

smithsonita y hemimorfita alojada en calizas brechadas dolomitizadas y altamente erosionadas.

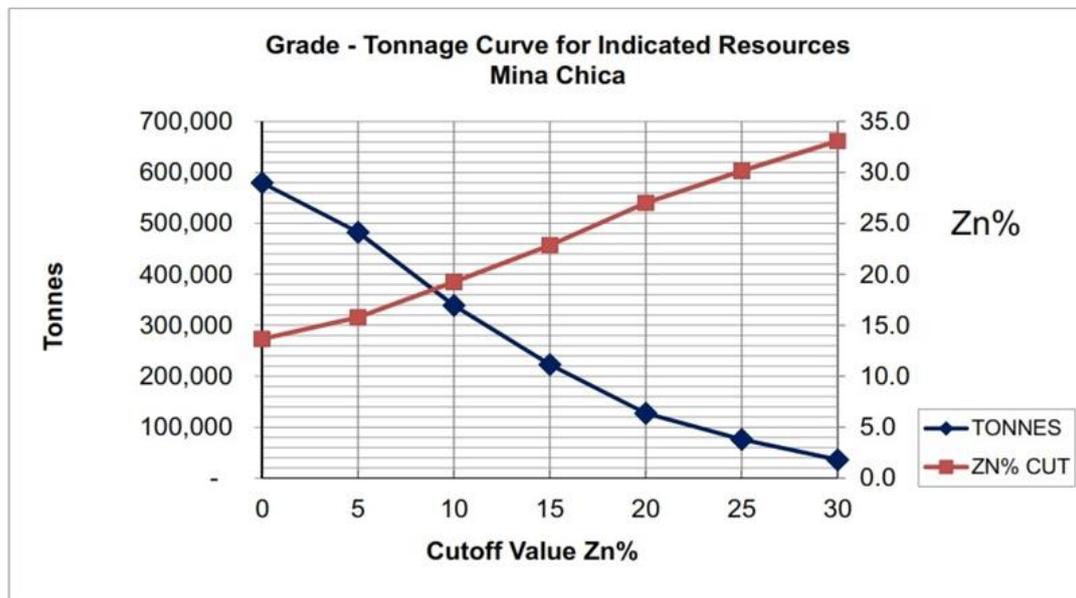
### 5.3.2. Recursos Indicados

Para realizar el cálculo de recursos indicados se han utilizado únicamente muestras de las perforaciones diamantinas. La estimación del recurso mineral indicado en las diferentes zonas del proyecto Bongará es resumida en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Recurso Mineral Indicado Para el Proyecto Bongará (*Cutt off* 10% Zn).

Depósito	Tonelaje	Zn (%)	Zn (Kg)	Zn (lbs)
Mina Chica	339,000	19.3	65,400,000	144,000,000
Mina Grande Sur	161,000	18.2	29,300,000	65,000,000
Mina Grande Centro	172,000	17.1	29,400,000	65,000,000
Mina Grande Norte	140,000	21.0	29,400,000	65,000,000
<b>TOTAL</b>	<b>822,000</b>	<b>18.9</b>	<b>155,000,000</b>	<b>342,000,000</b>

*Fuente:* Reporte Técnico Proyecto Bongará (Albert & Workman, 2019).



**Figura 29.** Curva de Cut-Off de Zn-Tonelaje para Recursos Indicados (Albert & Workman, 2019).

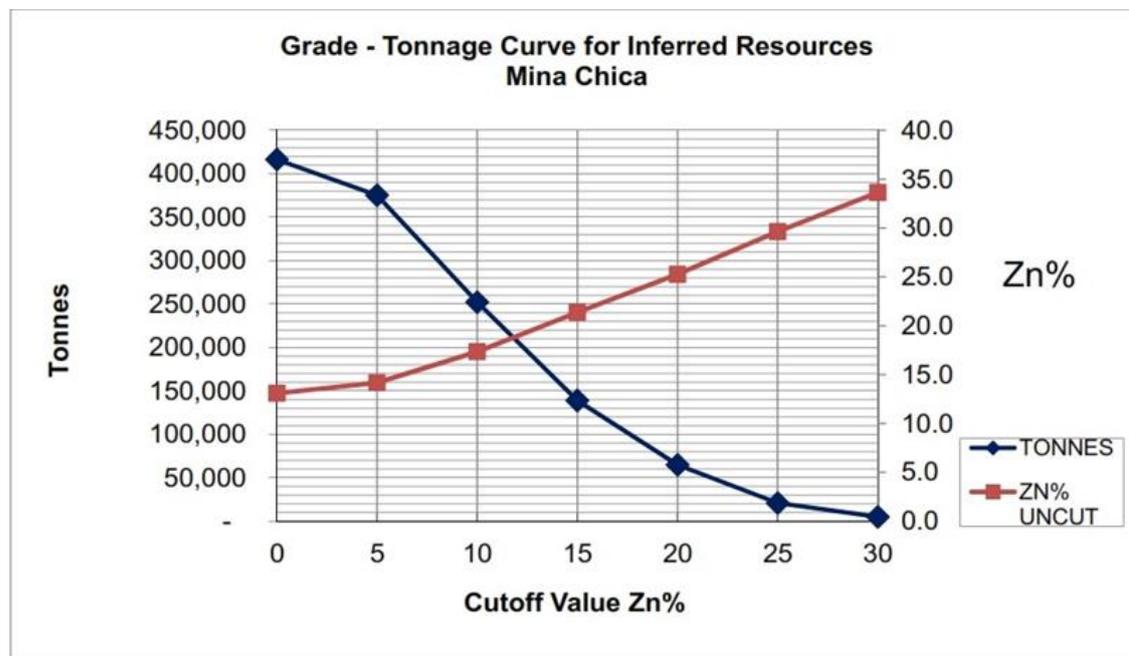
### 5.3.3. Recursos Inferidos

La estimación del Recurso Mineral Inferido en las diferentes zonas del proyecto Bongará se ha realizado utilizando muestras de testigos de perforación diamantina y muestras de superficie que fueron obtenidos mediante canales, trincheras y calicatas; la estimación de recursos inferidos obtenida en las diferentes zonas del proyecto Bongará es resumida en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Recurso Mineral Inferido Para el Proyecto Bongará (Cut-Off 10% Zn).

Depósito	Tonelaje	Zn (%)	Zn (Kg)	Zn (lbs)
Mina Chica	252,000	16.9	42,600,000	94,000,000
Mina Grande Sur	436,000	17.4	75,900,000	167,000,000
Mina Grande Centro	201,000	16.0	32,200,000	71,000,000
Mina Grande Norte	450,000	16.5	74,300,000	164,000,000
TOTAL	1,340,000	16.8	225,000,000	496,000,000

*Fuente:* Reporte Técnico Proyecto Bongará (Albert & Workman, 2019).



**Figura 30.** Curva de Cut-Off de Zn-Tonelaje para Recursos Inferidos (Albert & Workman, 2019).



### **5.3.4. Software**

La estimación de recursos minerales en los diferentes sectores del proyecto Bongará se realizó mediante el modelo de bloques con herramientas disponibles en la versión 6.7.4 del software Geovías GEMS.

### **5.3.5. Geoquímica**

#### **5.3.5.1. Geoquímica Superficial**

Con la finalidad de identificar las áreas principales de mineralización de zinc y establecer el programa de perforaciones diamantina en las diferentes zonas del proyecto Bongará, se realizó primero un muestreo aleatorio de rocas en los principales afloramientos, en total se han extraído 149 muestras y luego enviadas al laboratorio para su respectivo análisis geoquímico, en los resultados reportados por el laboratorio se observa mineralización de zinc de alta ley que alcanzan hasta un 51.41% Zn, estos resultados geoquímicos de muestras de superficie fueron fundamentales para establecer un acertado programa de perforación diamantina.

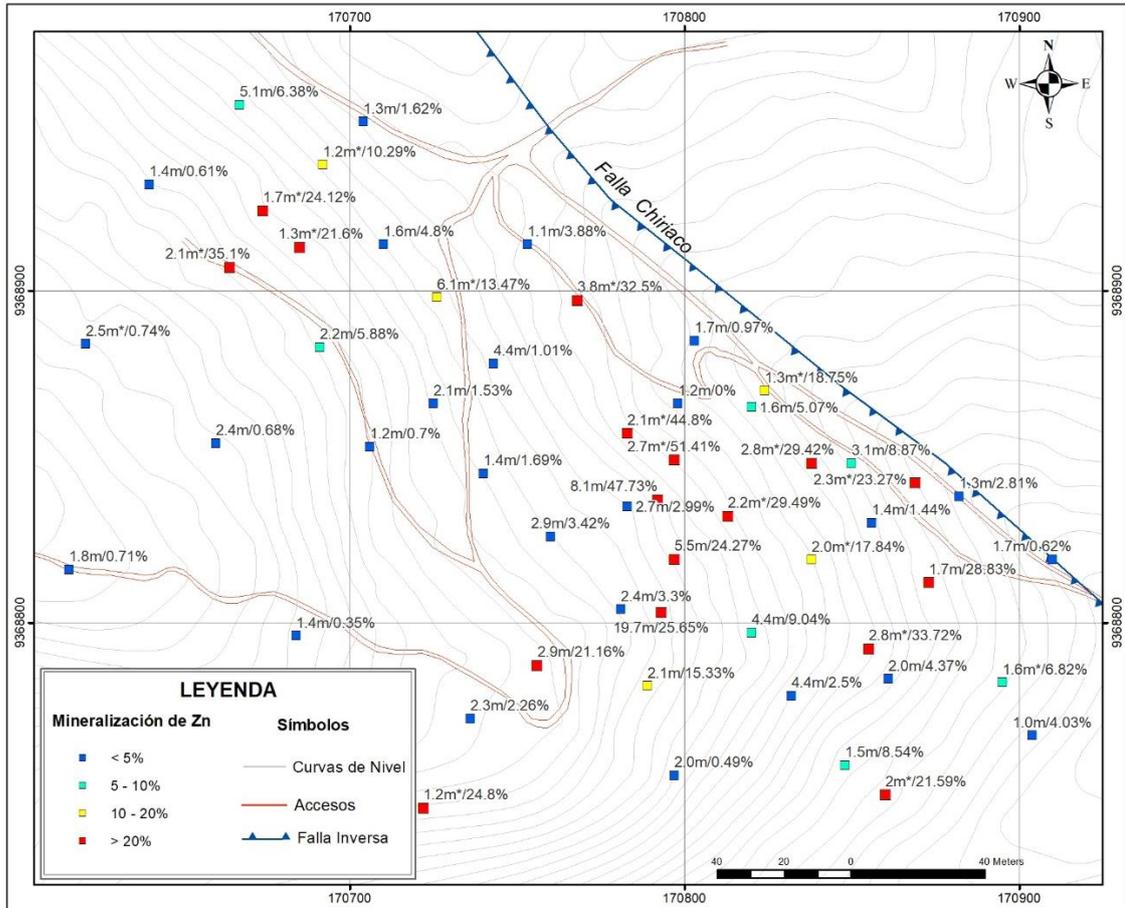
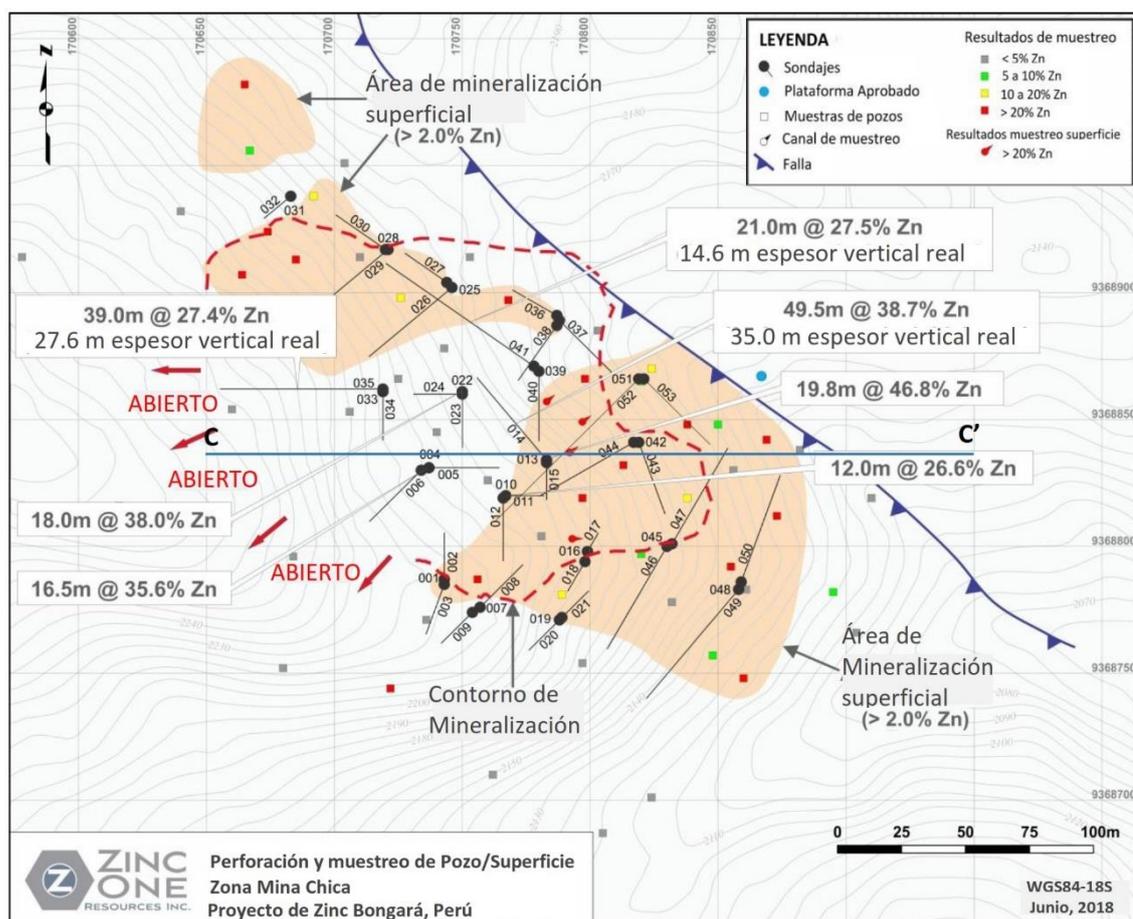


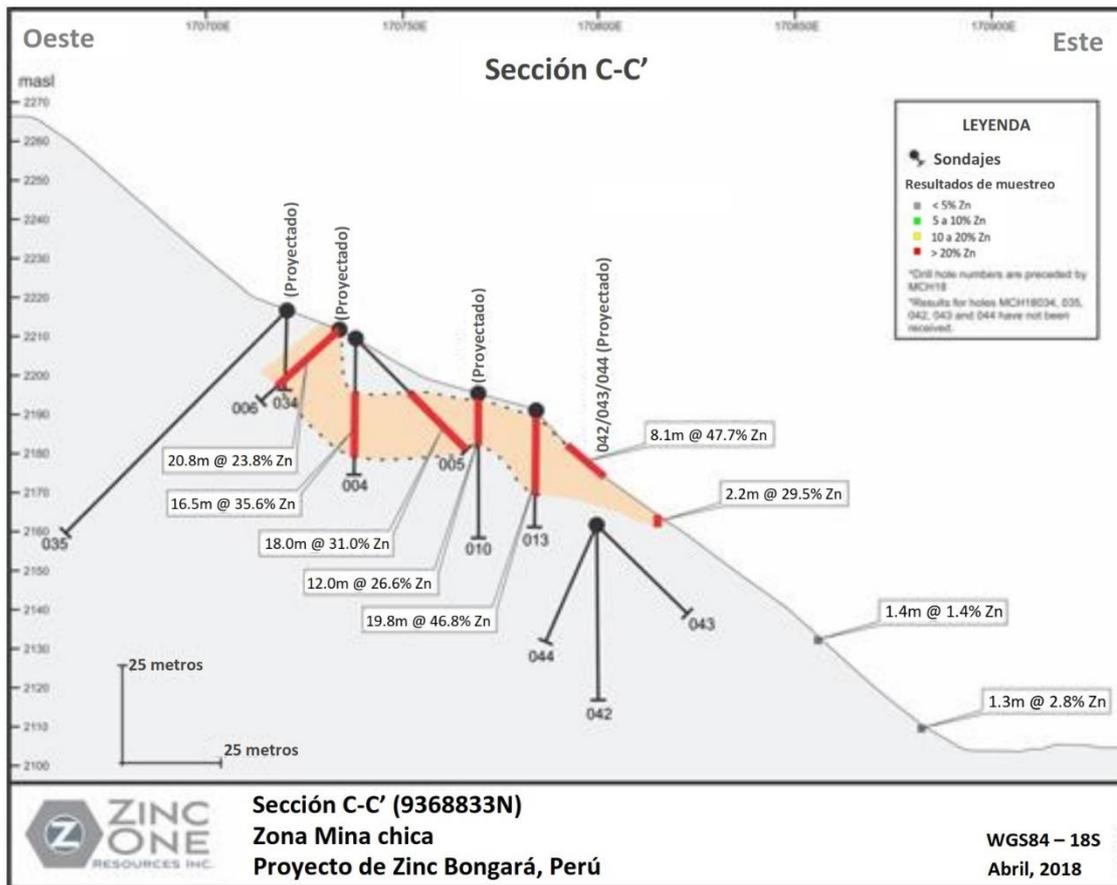
Figura 31. Mapa de muestreo geoquímico superficial zona Mina Chica.

### 5.3.5.2. Geoquímica de Sondajes

En el proyecto Bongará – zona Mina Chica se han ejecutado un total de 53 sondajes de perforación diamantina, cuyas muestras de los tramos con mineralización de interés fueron enviados al laboratorio para su respectivo análisis geoquímico, durante la campaña de exploración se han enviado 1341 muestras correspondientes a esta zona de los que se tiene resultados muy interesantes que corroboran lo encontrado en superficie, en los sondajes se observa intervalos considerables con valores  $> 20\%$  de Zn que se encuentran hospedados en dolomitas y delimitados por la falla Chiriaco hacia el Noreste.



**Figura 32.** Mapa de sondajes con principales valores de Zn, donde también se observan los puntos de muestreo geoquímico superficial en la zona Mina Chica (Modificado de Albert & Workman, 2019).



**Figura 33.** Sección C-C' zona Mina Chica proyecto Bongará (Modificado de Albert & Workman, 2019).

### 5.3.6. Exploración

Se realizó un programa integral de exploración en el proyecto Bongará, la fase inicial de trabajo se completó a fines de enero del 2018 y comprendió el levantamiento topográfico y la búsqueda para localizar y registrar las coordenadas de los collares de sondajes históricos, una tarea que necesariamente incluía conciliar las coordenadas de la cuadrícula antigua con una actualización y datos de GPS más fiables. Este programa de exploración incluyó volver a muestrear sistemáticamente las calicatas existentes seguidas de programas de muestreo mediante canales en Mina Chica y otras zonas. En particular, el trabajo en Mina Chica fue significativo ya que esta área no había sido muestreada previamente y la exploración superficial inicial se centró en un área donde se identificó la existencia de una densa cubierta vegetal. Altos valores de Zinc y hierro en los suelos

pueden resultar en un grado de toxicidad que impide el crecimiento de plantas y árboles. WGM tenía observado esto anteriormente alrededor de prospectos de alta ley en el cinturón de zinc Cuchumatanes cerca Huehuetenango, Guatemala y vio similitudes en el área de Bongará.

**Tabla 9.** Valores Típicos de Zn en Calicatas y Trincheras en Mina Chica.

Trinchera	Intervalo de Muestreo (m)			N° de Muestra	Zinc (%)	Descripción de Muestra
	De	A	Longitud			
C-007-17 (Mina Chica)	0.00	2.00	2.00	BOR-MCh-0193	16.7	Brecha Dolomita
	2.00	4.00	2.00	BOR-MCh-0194	29	Brecha Dolomita
	4.00	6.00	2.00	BOR-MCh-0197	43.65	Brecha Dolomita
	6.00	8.00	2.00	BOR-MCh-0198	37.83	Brecha Dolomita
	8.00	10.00	2.00	BOR-MCh-0201	37.7	Brecha Dolomita
	10.00	11.50	1.50	BOR-MCh-0202	29.9	Brecha Dolomita
	11.50	13.50	2.00	BOR-MCh-0203	17.95	Brecha Dolomita
	13.50	15.50	2.00	BOR-MCh-0204	23.3	Brecha Dolomita
	15.50	17.30	1.80	BOR-MCh-0206	6.41	Brecha Dolomita
17.30	19.70	2.40	BOR-MCh-0207	15.25	Brecha Dolomita	

*Fuente:* Elaboración propia.

El desarrollo de un modelo topográfico de superficie comenzó en julio del 2018 con el uso de un GPS diferencial y una instrumentación de estación total y se completó dos semanas después. Este trabajo fue seguido por un programa de perforación diamantina que se describe en detalle más adelante.



**Figura 34.** Levantamiento topográfico de sondajes históricos en Bongará, previo al programa de perforación.

### **5.3.7. Perforación**

Como se indica en la sección anterior, como un componente integral de su reciente programa de exploración, se completó 263 sondajes de perforación diamantina, totalizando 7,931 m, de los cuales 53 sondajes y un total de 2,327.9 m pertenecen a la zona Mina Chica. La perforación se realizó con el propósito de confirmar áreas conocidas de mineralización de zinc y principalmente explorar la zona Mina Chica que no habían sido perforadas previamente.

Los resultados de la campaña de perforación son altamente alentadores y colectivamente se define una zona de tendencia NW altamente mineralizada que se extiende hasta el proyecto Cristal. La perforación fue realizada con un núcleo de perforación de diámetro HQ espaciados a 35 metros de una plataforma a otra. La delimitación de la mineralización fue vital para determinar el tamaño y la geometría del depósito de zinc hoy para la estimación de recursos y el desarrollo de propósitos.

Resultados seleccionados indicativos de algunas de las mejores intersecciones de los programas de perforación diamantina se dan en la Tabla 11.



**Figura 35.** Proceso de instalación de la máquina perforadora en Mina Chica.



**Figura 36.** Ejecución del programa de perforación diamantina en el Proyecto Bongará, trabajo realizado por la empresa *Energold Drilling S.A.C.*



**Tabla 10.** Resumen del Programa de Perforación en el Proyecto Bongará.

Área	Sondajes	Metros	Descripción
Mina Chica	53	2,327.90	La perforación se realizó en un área cubierta de vegetación, donde se descubrió mineralización de zinc de alta ley en 200 m de largo con tendencia NW y 120 m de ancho hacia el Oeste.
Mina Grande Sur	95	2,328.40	El área tiene permiso de explotación vigente, presenta mineralización de óxidos de zinc de alta ley en un área de hasta 350 m en dirección N-S y hasta 200 m de ancho abierto hacia el sur.
Mina Grande Centro	64	2,237.30	El área fue parcialmente minada anteriormente, la perforación se centró en la delimitación de mineralización restante en la zona de hasta 100 m de ancho y aproximadamente 200 m con dirección NW-SE y abierto al Noreste.
Mina Grande Norte	15	449.80	Área también parcialmente minada, la perforación se centró en el área de la margen de la zona remediada en base a resultados de sondajes históricos.
Bongarita	36	587.20	La mineralización de óxido de zinc en esta área está alojada en suelos; la perforación delineó esta mineralización en un área aproximado de 100 m por 100 m.
<b>Total</b>	<b>263</b>	<b>7,930.60</b>	

*Fuente:* Elaboración propia.

Los resultados seleccionados indicativos de algunas de las mejores intersecciones de los programas de perforación en el proyecto Bongará se dan en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Intersecciones Seleccionadas del Programa de Perforación.

Área	Sondaje	Ancho (m)	Intersección
Mina Chica	MCH-18-013	19.8	46.8% Zn comenzando en 1.9 m de prof.
	MCH-18-014	49.5	38.7% Zn comenzando en 7.3 m de prof.
	MCH-18-035	39.0	27.4% Zn comenzando en 23.8 m de prof.
	MCH-18-041	21.0	27.5% Zn comenzando en 5.8 m de prof.
Mina Grande Sur	MGS-18-020	20.5	34.3% Zn comenzando en superficie
	MGS-18-055	33.7	24.2% Zn comenzando en 15.6 m de prof.
	MGS-18-066	16.5	26.5% Zn comenzando en superficie.
	MGS-18-077	18.0	30.0% Zn comenzando en 21.0 m de prof.
Mina Grande Centro	MGC-18-012	31.8	28.2% Zn comenzando en 18.0 m de prof.
	MGC-18-016	10.5	39.3% Zn comenzando en superficie
	MGC-18-051	18.1	24.1% Zn comenzando en 7.5 m de prof.
Mina Grande Norte	MGN-18-004	30.0	28.3% Zn comenzando en 4.5 m de prof.
	MGN-18-006	37.0	31.6% Zn comenzando en 5.0 m de prof.
	MGN-18-010	39.6	37.0% Zn comenzando en 3.7 m de prof.
	MGN-18-012	14.4	40.5% Zn comenzando en 3.0 m de prof.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 37.** Mineralización representativa en el proyecto Bongará – Mina Chica. A) En la imagen se observa la mineralización de alta ley > 20% Zn en el sondaje MCH-18-035, B) Mineralización de Zn representativa en el sondaje MCH-18-041, la mineralización de óxidos de zinc se encuentran hospedadas en dolomitas.



### 5.3.8. Preparación, Análisis y Seguridad de Muestras

Las muestras de perforación diamantina se colocan en una caja de plástico de 60 centímetros de largo que tienen cinco columnas. La recuperación de testigos, designación de la calidad de la roca (“RQD”) y logueo geológico son registrados, luego cada caja de testigos se fotografía y luego se muestrea con una espátula, si es suelo o roca muy erosionada o cortada con un disco de corona.

Durante el proceso de logueo geológico, los testigos de perforación que se identificaron como potencialmente mineralizados se clasificaron marcando el comienzo y el final de cada muestra y marcando una línea de corte a lo largo del eje central. En general, los intervalos de muestreo son de 1.5 metros en longitud, sin embargo, los intervalos de muestra no cruzan contactos geológicos o cambios importantes en los estilos de alteración o mineralización y, por lo tanto, algunas muestras pueden ser mayores o menores que esta longitud. Para garantizar que la muestra tomada fuera representativa de la muestra de testigo, la línea de corte generalmente es colocado de tal manera que estaba a lo largo del plano axial o normal a cualquier estructura en la muestra. Se colocó una etiqueta de muestra enumerada previamente en la parte final de cada muestra en la caja de testigos. Al finalizar el logueo las muestras de testigo se cortaron por la mitad con un disco de diamante, la mitad de la muestra de testigo se devolvió a la caja y la otra mitad es colocada a una bolsa de muestreo con una etiqueta de muestra y luego sellada con una cinta. Los conjuntos de muestras consecutivas fueron colocados en bolsas de mayor dimensión para su transporte al laboratorio para su análisis.

Para monitorear la preparación de la muestra y la calidad analítica, se insertó independientemente materiales de referencia certificados (“CMR”) como estándares de control de calidad, así como espacios en blanco, y muestras duplicadas, que juntas comprenden al menos el 20% del lote de muestras. Las primeras muestras del proyecto

se enviaron para preparación y análisis al laboratorio CERTIMIN de igual manera a ALS *Chemex* ambos ubicados en Lima donde se le asignaron números de seguimiento de laboratorio, se pesaron y se ingresaron los datos de registro en el sistema.



**Figura 38.** Almacenamiento y preparación de muestras en el proyecto Bongará.

Para mantener un nivel aceptable de seguridad en el proyecto, todas las cajas de muestras de testigos permanecieron abiertas en el lugar de perforación hasta se inspeccionadas por el geólogo después de lo cual fueron cerrados con una cinta y entregados diariamente a la instalación de registro central, una vez cortadas y las muestras permanecían en almacén hasta el momento en que fueron transportados al laboratorio para su análisis.

### **5.3.9. Base de Datos**

#### **5.3.9.1. Base de Datos de Muestreo de Superficie y Sondajes de Perforación**

La estimación de recursos minerales del proyecto Bongará se basan en los datos del reciente programa de exploración mediante perforación diamantina del año 2018, realizado por Zinc One, igualmente se ha considerado tajos y trincheras recientes, y

muestreos históricos para la zona de Mina Chica, para la zona de mina grande incluso se han considerado datos de superficie y de perforación diamantina correspondientes al año 2004-2005. Las bases de datos se subdividieron en conjuntos para permitir la estimación separada de los recursos minerales en las cuatro zonas del proyecto.

El sistema de coordenadas utilizado para cada zona del proyecto se basa en el Datum UTM WGS 84.

**Tabla 12.** Tipos de Datos Utilizados en la Estimación de Recursos Minerales.

Zona	Sondajes	Total metros	Muestras de superficie	Metros agregados
Mina Grande Sur y Mina Grande Centro	203	5,515.20	428	1,118.00
Mina Grande Norte	26	746.7	124	472.7
Mina Chica	53	2,327.90	150	494.9

*Fuente:* Reporte Técnico Proyecto Bongará (Albert & Workman, 2019).

### 5.3.9.2. Ensayos, Información Geológica y Otros Datos de Muestreo en Superficie y Sondajes

La base de datos preparado contiene la ubicación del sondaje, orientación, ubicación de las muestras, litología y datos de análisis geoquímico, datos de *Rock Quality Designation* (“RQD”) y los datos de recuperación de testigos; los datos de muestreo de superficie anterior a menudo carecían de datos litológicos, pero contenían datos para los demás campos similares a los de sondajes. Las bases de datos filtradas de perforaciones utilizadas por WGM para la estimación de recursos se produjeron utilizando una serie de filtros que definieron los sondajes por distribución de área y tipo de muestra (sondajes, canal, calicatas, Trincheras y pozos de control), solo los datos que pasan estos filtros se utilizaron para las estimaciones de recursos.



### **5.3.9.3 Densidad Aparente**

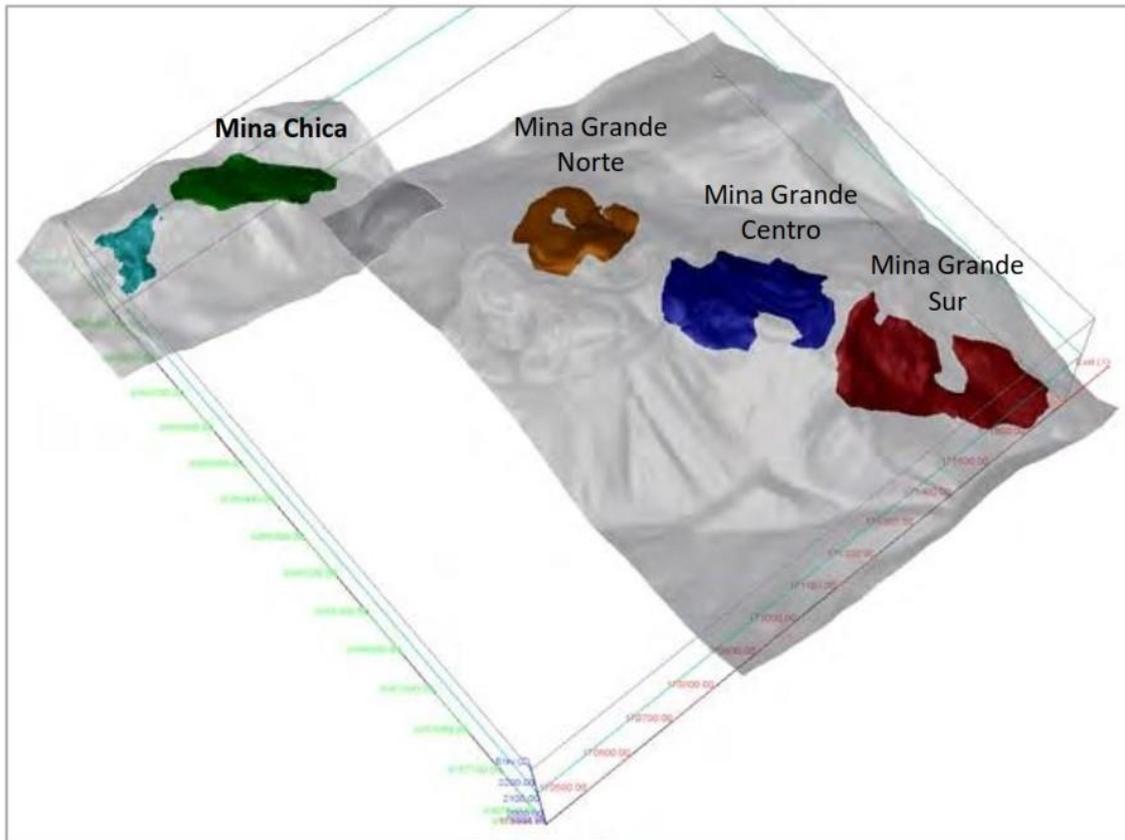
Una densidad aparente de  $1.90 \text{ T/m}^3$  se utilizó para realizar la estimación de recursos minerales, la medición de densidad en muestras se testigos mineralizados han sido realizados por los geólogos de proyecto.

Se pesaron 296 cajas de testigos con 957 m de muestras correspondientes a zonas mineralizadas de la perforación del 2018, calculando la densidad a partir del peso de la muestra basados en la longitud de intervalos y diámetro de los testigos, de igual manera se han realizado mediciones con muestras de testigos con un peso promedio de 200 g (secas), con el uso de un recipiente graduado se obtiene el volumen de la muestra mediante el método de desplazamiento de agua.

### **5.3.9.4. Topografía**

El proyecto Bongará contaba con una superficie topográfica digital con un intervalo de contorno de un metro a partir de las imágenes de satélite y que se utilizó como superficie para todas las estimaciones de recursos.

WGM valida los datos digitales, que reflejan razonablemente la superficie topográfica real.



**Figura 39.** Vista en planta 3D de los depósitos de zinc del proyecto Bongará (Albert & Workman, 2019).



## VI. CONCLUSIONES

- Por las características que presenta, Bongará es un yacimiento del tipo MVT con mineralización de zinc de alta ley, donde los minerales económicos consisten de hidrocincita, hemimorfita y smithsonita, minerales secundarios productos de oxidación de los sulfuros; las texturas en las rocas dolomitizadas favorables están relacionados con la alta porosidad, caracterizados principalmente por texturas wackestone, packstone y grainstone; asimismo, la mineralización ocurre en forma de cuerpos irregulares principalmente como relleno de cavidades kársticas, brechas tectónicas y brechas de colapso.
- Los principales controles de mineralización son el litológico, estratigráfico y estructural. La litología favorable que hospeda la mineralización de zinc en el yacimiento Bongará-zona Mina Chica es la secuencia de dolomías y caliza dolomitizada de la Formación Condorsinga que es miembro superior del Grupo Pucará, las estructuras principales que controlan la mineralización son la falla Chiriaco y el anticlinal Mina Grande, ambos con una dirección SE-NW, estas estructuras favorecieron para la acumulación de minerales oxidados de Zn.
- Como resultado de la ejecución de 53 sondajes con un total de 2327.90 metros de perforación diamantina en Mina Chica, se estimó 252,000 Toneladas Métricas de Recurso Mineral Inferido con una ley promedio de 16.9% de Zn y 339,000 Toneladas Métricas de Recurso Mineral Indicado con una ley promedio de 19.3% de Zn que incrementan significativamente al inventario total de recursos minerales del proyecto.



## VII. RECOMENDACIONES

- Considerar un programa de perforación complementaria hacia el sector Noroeste en la zona Mina Chica, este trabajo permitirá ampliar y delimitar el área mineralizada y así incrementar los recursos minerales en el proyecto.
- Se recomienda tener la base de información del proyecto con datos de densidad aparente para las principales litologías que hospedan la mineralización en las diferentes zonas que comprende el yacimiento, de igual manera, considerar los tipos de mineralización, datos de recuperación de muestras y RQD para los nuevos sondajes a realizarse.
- *Zinc One* ha desarrollado protocolos de control de calidad para las diferentes etapas de exploración, se deben continuar con el cumplimiento estos protocolos para garantizar la calidad de los datos.



## VIII. REFERENCIAS

- Albert, W., & Workman, P. (2019). *Technical Report On The Bongará Zinc Project for Zinc One Resources Inc.* Toronto: Watts, Griffis and McOuat.
- Anderson, G., & Macqueen, R. (1982). *Ore deposit models; 6, Mississippi Valley - type lead-zinc deposits.* . Canada: Geoscience.
- Arfé, G., Mondillo, N., Boni, M., Balassone, G., Joachimski, M., Mormone, A., & Di Palma, T. (2017). The karst hosted Mina Grande nonsulfide zinc deposit, Bongará district (Amazonas region, Perú). *Econ. Geol.* 112, 1089-1110.
- Bradley, D., & Leach, D. (2003). Tectonic controls of Mississippi Valley-type lead-zinc mineralization in orogenic forelands. *Mineralium Deposita*, 126-355.
- Candia, J. L. (2016). Estimación de Recursos de la Veta Vulcano con Perforación Diamantina, en Castrovirreyna-Huancavelica. (*Tesis de Grado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- David, L., Leach, Ryan, D., Taylor, Fey, Sharon, F., . . . Richard, W. S. (2010). *A Deposit Model for Mississippi Valley-Type Lead-Zinc Ores.* Virginia: Science for a changing world (USGS).
- Dávila, D. (2004). *Controles Regionales de Mineralización MVT Zn-Pb Chanchamayo y Cristal (Bongará).*
- Dávila, D., Alá, J., Oldham, L., & Díaz, M. (2017). *Proyecto Bongará Depósito de no Silfuros de Zn.* Informe Interno, Anglo Peruana Terra, Lima.
- Dzulinski, S., & Sass-Gustkiewicz, M. (1985). Hydrothermal Karst Phenomena as a Factor in The Formation of Mississippi Valley-tipe deposits, en Wolf, K.H. (ed.),



- Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits. *Amsterdam, Elsevier, 13*, 391-439.
- Eyre, S. (1998). *Geochemistry of Dolomitization and Zn-Pb Mineralization in the Rathdowney Trend, Ireland*. Londres: University of London, UK, Tesis Doctoral 220p.
- Harrison, & Fontboté. (1990). *Stratabound Ore Deposits in the Andes*. EE.UU.: View affiliations.
- INGEMMET. (1995). *Geología de los Cuadrángulos de Bagua Grande, Jumbilla, Lonya Grande, Chachapoyas, Rioja, Leimebamba y Bolivar*. Lima: Fimart S.A.
- Ipanaque, K. (2014). *Sedimentología y Estratigrafía de Secuencias Utilizando Registros Eléctricos en el Yacimiento Zn-Pb Tipo Mississippi Valley San Vicente, Junín-Perú (Tesis de Pregrado)*. Piura.
- Kalinaj, M. (2009). *Potencial Exploratorio en las 10,000 Hectáreas de Concesión de Corianta SA*. Lima: Corianta S.A.
- Kisvarsanyi, G., Grant, S., Pratt, W., & Koenig, J. (1983). *International Conference on Mississippi Valley Type Lead-Zinc Deposits*. University of Missouri.: Rolla.
- Leach, D. (2011). *Report of Observation and Discussions with Votorantim Metals on the Florida Canyon Project, Bongará area, Perú*. . Lima: Reporte interno.
- Leach, D. (2012). *Short Summary of Observations and Recommendations from a visit to the Florida Canyon Project – October*.
- Leach, D., & Sangster, D. (1993). Mississippi Valley-type lead-zinc. *Geological Association of Canada Special Paper*, 40, 289-314.



- Leach, D., Bradley, D., Lewchuk, M., Symons, D., Marsily, G., & Brannon, J. (2001). Mississippi Valley-type lead-zinc deposits through geological time: *Mineralium Deposita*, 711-740.
- Maksaev, V. (2001). *Curso de Metalogénesis*. Santiago de Chile.
- Martinez, A. N. (2010). El Magmatismo Permo-Triásico del grupo Chiyoi de Argentina y su Posible Vinculación con el Grupo Mitu del Perú. *Sociedad Geológica del Perú*, 937-940.
- Morán, R., & Fyfe, D. (1933). Geología de la Región del Bajo Pachitea Perú. *Bol. Of Dir. Minas e Indus*, 43-54.
- Oyarzun, R. (2011). *Introducción a la Geología de Minas*. Madrid: GEMM - aula2punto.net.
- Quispe, J., Carlotto, V., Macharé, J., & Chirif, H. (2017). *Mapa Metalogenético Del Perú*. Lima: INGEMMET.
- Robles, I. M. (2018). Geología y Mineralización del Depósito Mississippi Valley Type de Zn-Pb: Proyecto Cañón Florida, Norte de Perú. (*Tesis de Maestría*). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Rodriguez, J. (2008). *Informe Interno Para Corianta S.A.C. Proyecto Bongará*.
- Salas, A. (2016). Análisis y Mejora de la Calidad en el Proceso de Perforación Diamantina Utilizando la Metodología DMAIC. (*Memoria de Pregrado*). Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile.
- Sánchez, A. (1995). *Geología de los Cuadrángulos de Bagua Grande, Jumbilla, Lonya Grande, Chachapoyas, Rioja, Leimebamba y Bolivar*. Lima: INGEMMET.



- Sangster, D. (1995). Mississippi Valley-type lead-zinc. En O. Eckstrand, W. Sinclair, & R. Thorpe, *Geology of Canadian Mineral Deposit Types. Geological Survey of Canada, Geology of Canada.*, 253-261.
- Sverjensky, D. (1986). Genesis of Mississippi Valley-Type Lead-Zinc Desposits. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 177-199.
- Tornos, F. (1997). Asociaciones Minerales en Procesos de Alteración, Relleno Hidrotermal Sobre Roca Silicicoaluminicas, in Melgarejo, J.C. (ed), . *Atlas de Asociaciones Minerales en Lámina Delgada: Barcelona, Edición de la Universidad de Barcelona*, 249-272.
- Tritlla, J., & Canals, A. (1997). Mineralizaciones estratoligadas de metales base en carbonatos y rocas siliciclásticas. En J. M. (Ed.), *Atlas para el estudio de las asociaciones minerales en lámina delgada* (págs. 272-286). Barcelona: Ediciones de la Universidad de Barcelona.
- Tritlla, J., Levresse, G., Corona, R., Bannks, D., Lamadrid, H., & Bourdet, J. (2006). Depósitos de Pb-Zn-Cu-Ba-F-Sr epigenéticos estratoligados en series sedimentarias en relación con salmueras de cuenca: depósitos de tipo "Mississippi Valley" (MVT) y similares en México. *Sociedad Geológica Mexicana*, 103-139.
- Valdivia, W., Peña, D., & Chacaltana, C. (2014). *Mapa Geológico del Cuadrángulo de Jumbilla (12-h)*. Lima: INGEMMET.
- W., A. (2019). *TECHNICAL REPORT*. Watts, Griffis and McOuat Limited, Toronto.
- Wilson, J. (1984). *Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén*. Lima: INGEMMET.



- Wilson, J. J., & Reyes Rivera, L. (1964). *Geología del cuadrángulo de Pataz (Hoja 16-h) - [Boletín A 9]*. Lima: INGEMMET.
- Wolf, D. (1980). La Difractometría de Rayos X y su aplicación en la Geología y el estudio de materias primas. *El Ingeniero Geólogo*, 17.
- Zapana, R. W. (2013). Evaluación Geológica Mediante Sondajes Diamantinos del Skarn de Tinyag-Mina Izcaycruz. (*Tesis de Grado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Zorrilla, M. (1986). *Las Habilidades Básicas para la Investigación Social y Educativa*. México: Conmutador.



## ANEXOS

**A. PANEL FOTOGRÁFICO**

**B. LÁMINAS**