



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



EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL SISTEMA DE VETAS
CUPRIFERAS EN EL PROYECTO ALEXANDER 9K CARAVELI -
AREQUIPA

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LEON ESCOBEDO DAYANARA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2019



NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL SISTEMA
DE VETAS CUPRIFERAS EN EL PROYECT
O ALEXANDER 9K CARAVELI - AREQUIP**

AUTOR

LEON ESCOBEDO DAYANARA

RECuento DE PALABRAS

20965 Words

RECuento DE CARACTERES

120088 Characters

RECuento DE PÁGINAS

118 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.4MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 29, 2022 9:37 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 29, 2022 9:40 AM GMT-5

● 18% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)



Firmado digitalmente por LLERENA
PEREDO Georges Florencio FAU
20145486170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29.04.2022 09:48:57 -05:00



DEDICATORIA

Dedicado a Dios por su infinito Amor y protección.

A mis padres Antonio e Ysabel, por su apoyo incondicional en mi formación profesional, a mis hermanas Yessica y Brescia por su compañía y alegría durante esta etapa, a Elmer por siempre apoyarme y alentarme a luchar por mis sueños.



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios y a mis padres quienes siempre confiaron en mí, a Elmer, Yessica y Brescia.

A la Universidad Nacional del Altiplano por permitir lograr mi formación profesional, a cada uno de los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Geológica por los conocimientos brindados durante 5 años universitarios.

A mis amigos de la Universidad por los momentos compartidos durante esta etapa

A las empresas que me dieron oportunidades laborales y autorizaron el estudio para la redacción de la presente tesis.



INDICE GENERAL

Pag

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 14

ABSTRACT..... 15

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 17

1.2. ANTECEDENTES 18

1.3. HIPOTESIS 19

1.3.1. Hipótesis general 19

1.3.2. Hipótesis específicas 19

1.4. JUSTIFICACION 20

1.5. OBJETIVOS 20

1.5.1. Objetivos Generales..... 20

1.5.2. Objetivos Específicos 20

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GEOMORFOLOGIA 21

2.1.1. Cordillera de la costa 21

2.1.2. Llanura Costanera..... 22

2.1.3. Dunas 22

2.1.4. Drenajes 23



| | |
|---|-----------|
| 2.1.5. Quebradas | 23 |
| 2.1.6. Depresión Preandina..... | 23 |
| 2.2. ESTRATIGRAFIA..... | 24 |
| 2.2.1. Precámbriano | 24 |
| 2.2.2. Cambriano | 25 |
| 2.2.3. Jurásico | 26 |
| 2.2.4. Cretácico..... | 27 |
| 2.2.5. Neógeno..... | 28 |
| 2.2.6. Cuaternario | 29 |
| 2.3. EVENTOS TECTONICOS | 30 |
| 2.4. METALOGENIA DEL SECTOR NAZCA – CHALA..... | 31 |
| 2.4.1. Franja de depósitos Fe-Cu-Au (IOCG) – Skarn del Jurásico cretácico 31 | |
| 2.4.2. Franja de depósitos Fe-Cu-Au (IOCG) del Cretácico | 32 |
| 2.5. YACIMIENTOS IOCG – COBREPAMPA | 32 |
| 2.5.1. Monzonita Cobrepampa | 33 |
| 2.6. GEOLOGIA ESTRUCTURAL | 34 |
| 2.6.1. Domo de Marcona | 35 |
| 2.6.2. Plegamiento Del Macizo Andino | 35 |
| 2.6.3. Fallamiento | 36 |
| 2.7. SISTEMA DE FRACTURAMIENTO DE RIEDEL | 38 |
| 2.8. TEORIA DE FRACTURAMIENTO DE ANDERSON | 40 |
| 2.9. EXTENSION Y COMPRESIÓN EN ZONAS DE FALLA | 40 |
| 2.10. GEOQUIMICA Y QA/QC | 42 |
| 2.10.1. Muestreo Geoquímico en Rocas..... | 42 |
| 2.10.2. Tratamiento estadístico de datos Geoquímicos | 42 |
| 2.10.3. QA/QC..... | 43 |
| 2.11. RECURSOS MINERALES..... | 44 |



| | |
|--|----|
| 2.11.1. Recurso Mineral Inferido | 44 |
| 2.11.2. Determinación de Recursos Potenciales Inferido por método convencional..... | 45 |
| 2.11.3. Magmatismo | 45 |

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|---|-----------|
| 3.1. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO | 47 |
| 3.1.1. Ubicación del proyecto..... | 47 |
| 3.1.2. Accesibilidad | 47 |
| 3.1.3. Clima | 48 |
| 3.1.4. Flora y fauna..... | 48 |
| 3.1.5. Estratigrafía Local | 49 |
| 3.2. MATERIALES Y EQUIPOS | 52 |
| 3.3. METODOLOGIA DE TRABAJO | 53 |
| 3.3.1. Trabajos de Gabinete previos a la etapa de campo..... | 54 |
| 3.3.2. Trabajos de Campo..... | 56 |
| 3.3.3. Trabajos de gabinete posterior a la etapa de campo | 62 |

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | |
|---|-----------|
| 4.1. ANALISIS ESTRUCTURAL | 65 |
| 4.1.1. Metodología del Análisis..... | 65 |
| 4.1.2. Recopilación de Datos | 65 |
| 4.1.3. Análisis Estructural Zona 1 | 66 |
| 4.1.4. Análisis Estructural Zona 2 | 69 |
| 4.1.5. Análisis Estructural Zona 3 | 72 |
| 4.1.6. Análisis Estructural Zona 4 | 75 |
| 4.1.7. Interpretación Estructural de todo el Proyecto Alexander 9K..... | 78 |
| 4.2. CARACTERIZACIÓN MINERALOGICA Y MINERAGRAFICA..... | 81 |



| | |
|--|------------|
| 4.2.1. Alteraciones Hidrotermales | 81 |
| 4.2.2. Mineralogía..... | 83 |
| 4.2.3. Paragénesis Mineralógica del Proyecto Alexander 9K | 86 |
| 4.2.4. Mineralización | 88 |
| 4.2.5. Controles de Mineralización..... | 101 |
| 4.3. ESTIMACION DE RECURSOS POTENCIALES INFERIDOS_VETA | |
| ARGENTINA | 103 |
| 4.3.1. Anomalías Geoquímicas en Superficie | 103 |
| 4.3.2. Matriz de correlación Pearson y gráficos de dispersión..... | 105 |
| 4.3.3. Calculo de Tonelaje Veta Argentina | 108 |
| 4.3.4. Calculo del porcentaje de Cobre -Veta Argentina..... | 108 |
| V. CONCLUSIONES..... | 112 |
| VI. RECOMENDACIONES | 113 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 114 |
| ANEXOS..... | 118 |

ÁREA: Geología y Minería

TEMA: Evaluación Geológica

FECHA DE SUSTENTACION: 26 de diciembre del 2019



ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|--|----|
| Figura 1: | Cordillera de la costa y llanura Costera | 21 |
| Figura 2: | Geomorfología de dunas | 22 |
| Figura 3: | Quebradas drenaje, campamento. | 23 |
| Figura 4: | Modelo de fracturamiento de Riedel izquierdo Modificado de (Sylvester, 1988) | 39 |
| Figura 5: | Cuadro de estructuras asociadas que podemos encontrar en una zona de falla a diferentes escalas..... | 39 |
| Figura 6: | Modelo de Anderson para ubicar esfuerzos en fallas principales..... | 40 |
| Figura 7: | Izq.: resumen para situaciones de extensión - compresión de una zona de falla, Der: implicaciones para la probabilidad de encontrar grandes o pequeñas masas minerales. | 41 |
| Figura 8: | Columna estratigráfica Local | 52 |
| Figura 9: | Mapa base para cartografiado Geologico..... | 54 |
| Figura 10: | Imagen Raster para crear curvas de nivel | 55 |
| Figura 11: | Curvas Topográficas, visualizando los polígonos de concesiones | 55 |
| Figura 12: | Topografía Superficial 3D | 56 |
| Figura 13: | Cartografiado Geológico correspondiente a la hoja 3..... | 57 |
| Figura 14: | Cartografiado Geológica correspondiente a la hoja 4..... | 57 |
| Figura 15: | Muestras embolsadas para su traslado de campo hacia el almacén | 58 |
| Figura 16: | Fotografía junto a los muestreros que apoyaron en el presente trabajo. | 59 |
| Figura 17: | Muestras duplicadas vs originales..... | 61 |
| Figura 18: | Código de muestra de control | 61 |
| Figura 19: | Muestras almacenadas en sacos para enviar a laboratorio..... | 62 |
| Figura 20: | Distribución de datos de azimut en diagrama de rosas - zona 1. | 66 |



| | |
|---|----|
| Figura 21: Diagrama de esfuerzos zona 1-Faultkin..... | 67 |
| Figura 22: Orientación de los esfuerzos según modelo de Anderson..... | 68 |
| Figura 23: Interpretación con dirección de esfuerzos y tipo de fractura | 68 |
| Figura 24: Distribución de datos de azimut - zona 2..... | 69 |
| Figura 25: Diagrama de esfuerzos zona 2-Faultkin..... | 70 |
| Figura 26: Orientación de esfuerzos según el modelo de Anderson | 71 |
| Figura 27: Interpretación con dirección de esfuerzos y tipo de fractura | 71 |
| Figura 28: Distribución de datos de azimut - zona 3..... | 72 |
| Figura 29: Diagrama de esfuerzos zona 3-Faultkin..... | 73 |
| Figura 30: Orientación de esfuerzos según el modelo de Anderson –zona 3..... | 74 |
| Figura 31: Interpretación con dirección de esfuerzos y tipo de fractura. | 74 |
| Figura 32: Distribución de datos de azimut - zona 4..... | 75 |
| Figura 33: Diagrama de esfuerzos zona 4-Faultkin..... | 76 |
| Figura 34: Orientación de esfuerzos según el modelo de Anderson | 77 |
| Figura 35: Interpretación con dirección de esfuerzos y tipo de fractura. | 77 |
| Figura 36: Distribución de datos de azimut - Alexander 9K..... | 78 |
| Figura 37: Diagrama de esfuerzos Alexander 9K-Faultkin..... | 79 |
| Figura 38: Orientación de esfuerzos según el modelo de Anderson – Alexander 9K.. | 80 |
| Figura 39: Interpretación con dirección de esfuerzos y tipo de fractura- Modelo de fracturamiento Riedel Izquierdo - Alexander 9K. | 80 |
| Figura 40: Posible paragénesis del proyecto Alexander 9K..... | 86 |
| Figura 41: Zonación de alteración en yacimientos IOCG | 87 |
| Figura 42: Estructura mineralizada fuertemente oxidada..... | 88 |
| Figura 43: Mena cuprita | 89 |
| Figura 44: Mena Covelina | 90 |



| | |
|--|-----|
| Figura 45: Crisocola | 91 |
| Figura 46: Bornita..... | 92 |
| Figura 47: Calcopirita..... | 93 |
| Figura 48: Muestra A para análisis en laboratorio | 94 |
| Figura 49: Descripción microscópica de la muestra A..... | 94 |
| Figura 50: Descripción de minerales microscópicos en lámina de sección pulida- muestra A | 95 |
| Figura 51: Muestra B para análisis en laboratorio..... | 98 |
| Figura 52: Descripción microscópica de la muestra B | 98 |
| Figura 53: Descripción de minerales microscópicos en lámina de sección pulida- muestra B. | 99 |
| Figura 54: Falla dextral que desplaza a las vetas principales | 102 |
| Figura 55: Brechamiento Hidrotermal..... | 102 |
| Figura 56: Valores geoquímicos de Cu en ppm | 104 |
| Figura 57: Valores geoquímicos de Fe en % | 104 |
| Figura 58: Valores Geoquímicos de Ag en ppm | 105 |
| Figura 59: Correlación de Cu-Ag (Muy buena correlación) | 107 |
| Figura 60: Correlación de Cu-Ni (Buena correlación) | 107 |
| Figura 61: Correlación de Cu-Fe (Moderada correlación) | 107 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|--|-----|
| Tabla 1 | Tabla de Ubicación | 47 |
| Tabla 2 | Accesibilidad al proyecto Alexander 9K | 48 |
| Tabla 3 | Materiales y Equipos..... | 53 |
| Tabla 4 | Muestras para tomar control de duplicado o gemelas..... | 60 |
| Tabla 5 | Muestras de control duplicadas o gemelas..... | 60 |
| Tabla 6 | Data Estructural para Faultkin zona 1 | 67 |
| Tabla 7 | Datos estructurales para Faultkin zona 2 | 70 |
| Tabla 8 | Datos Estructurales para Faultkin zona 3..... | 73 |
| Tabla 9 | Datos Estructurales para Faultkin zona 4..... | 76 |
| Tabla 10 | Datos Estructurales para Faultkin - Proyecto Alexander 9K..... | 79 |
| Tabla 11 | Rango de Anomalías Geoquímicas Cu, Fe, Ag | 103 |
| Tabla 12 | Matriz Correlación de Pearson de 10 elementos principales en Superficie | 106 |
| Tabla 13 | Matriz Correlación de Pearson de 10 elementos principales en interior Mina. | 106 |
| Tabla 14 | Cálculo de tonelaje por bloques en la veta Argentina..... | 108 |
| Tabla 15 | Composito de leyes para el bloque 1 | 109 |
| Tabla 16 | Composito de leyes para el bloque 2 | 109 |
| Tabla 17 | Composito de leyes para el bloque 3 | 110 |
| Tabla 18 | Composito de leyes para el bloque 4 | 110 |
| Tabla 19 | Resultado de Potencial Mineral de la veta Argentina..... | 111 |



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|-------------|---|
| INGEMMET | : Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico |
| WGS84 | : World Geodetic System 84 – Sistema Geodésico Mundial 1984 |
| UTM | : Universal Transverse Mercator |
| GPS | : Sistema de Posicionamiento Global |
| Cu | : Cobre |
| Fe | : Hierro |
| Ag | : Plata |
| Mo | : Molibdeno |
| HCl | : Ácido clorhídrico |
| msnm | : Metros sobre el nivel del mar |
| m | : Metros |
| et al | : Y otros |
| Has | : Hectáreas |
| mm | : milímetro |
| m | : metro |
| Km | : Kilometro |
| MA | : Millones de años |
| QA/QC | : Quality Assurance/ Quality Control |
| N | : Norte |
| S | : Sur |
| E | : Este |
| W | : Oeste |
| O | : Oeste |
| ONE | : Oeste Norte Oeste |
| ESE | : Este Sur Este |
| Js-La | : Jurásico Superior - Labra |
| Ks-li/mz | : Cretácico Superior-Linga/Monzonita |
| Ks-ti/to-gd | : Cretácico Superior-Tiabaya/Tonalita-Granodiorita |



| | |
|-----------|-------------------------------|
| Nm-na/agl | : Neógeno - Nazca/Aglomerados |
| Nm-na/tbk | : Neógeno – Nazca/Tobas |
| Qh-co | : Cuaternario-Coluvial. |
| Qh-e | : Cuaternario/Eólico |
| Dip | : Buzamiento |
| Dip dir | : Dirección de buzamiento |
| Mt | : Magnetita |
| Cp | : Calcopirita |
| Py | : Pirita |
| Bn | : Bornita |
| Pb | : Plomo |
| Ppm | : Partes por millón |
| Tm | : Toneladas metricas |



RESUMEN

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la franja metalogénica de depósitos Cu–Fe–Au (IOCG) del Jurásico medio a superior en la Costa Sur del Perú, políticamente se encuentra ubicado en el distrito de Bella Unión, Provincia de Caravelí, Región Arequipa, aproximadamente a unos 60 Km de la ciudad de Nazca. El objetivo principal es la evaluación geológica de sistema de vetas cupríferas en el proyecto, para la identificación de características geológicas, definir un modelo estructural y la identificación de recursos potencialmente inferidos de la veta Argentina. El presente trabajo se desarrolló en tres etapas: a) trabajos previos a la etapa de campo, en esta etapa se hace la recopilación de información y elaboración de mapas base para el cartografiado b) Trabajos en campo, en esta etapa se efectúa el cartografiado geológico, el muestreo geoquímico, la recolección de datos estructurales c) la etapa final corresponde al análisis e interpretación de los datos obtenidos en campo. La mineralogía, está controlada por la presencia de sulfuros y óxidos de Cobre. En ciertas zonas se aprecia brechamiento asociado a óxidos de hierro, con venillas de calcita y cristales de turmalina. La roca encajonante es la cuarzomonzonita de color gris rosada, con niveles pórfido dioríticos de grano fino. Se interpreta que el proyecto Alexander 9K, está relacionado a una asociación de depósitos de Oxido de Fe, Cu y Au. El modelo estructural propuesto, está basado en la teoría de fracturamiento de Anderson. Los recursos potenciales inferidos de la veta Argentina son 1.117,000 t @ 3.54 % Cu; Todos los datos obtenidos en campo y laboratorio fueron representados en mapas.

Palabras Clave

Evaluación Geológica, Sistema Estructural, Vetas Cupríferas.



ABSTRACT

The study area is located within the metallogenetic strip of Cu – Fe – Au (IOCG) deposits of the Middle to Upper Jurassic on the South Coast of Peru, politically located in the district of Bella Unión, Caravelí Province, Region Arequipa, approximately 60 km from the city of Nazca. The main objective is the geological evaluation of the copper vein system in the project, to identify the geological characteristics, define a structural model and identify the potential resources inferred from the Argentine vein.; development in three stages: a) work prior to the field stage, in this stage the information is compiled and the base maps are prepared for the mapping b) Field work, in this stage the geological mapping is carried out, the sampling geochemical, the collection of structural data such c) post-field work, the final stage corresponds to the analysis and interpretation of data obtained in the field. Mineralogy is controlled by the presence in a greater amount of copper sulphides and oxides. In certain areas there is a gap associated with iron oxides, with calcite veins and tourmaline crystals. The encasing rock is pinkish gray quartzomonzonite, with fine-grained dioritic porphyry levels, is interpreted that the Alexander 9K project is related to an association of Oxide deposits of Fe, Cu and Au (IOCG). . The proposed structural model is based on Anderson's fracturing theory and the Riedel fracturing system. The potential resources inferred from the Argentine vein are 1,117,000 t @ 3.54% Cu; All data obtained in the field and laboratory were represented on maps.

Keywords

Geological Evaluation, Structural System, Cupric Veins.



CAPITULO I

INTRODUCCION

El presente trabajo “Evaluación Geológica del Sistema de Vetas Cupríferas en el proyecto Alexander 9K”, aportará significativamente en las decisiones de inversión económica; es por ello que la investigación se justifica en realizar los trabajos de cartografiado geológico, muestreo de canales, toma de datos estructurales y la elaboración de mapas. Con el análisis e interpretación de la geología Estructural y tomando como modelos las teorías de fracturamiento de Riedel y Anderson, será posible definir un modelo estructural; la identificación de características mineralógicas y Mineragráficas, permitirá relacionar al proyecto a una asociación de depósitos de Oxido de Fe, Cu y Au (IOCG); mediante el cálculo de tonelaje y ley ponderada de la veta argentina, se podrá estimar los recursos minerales inferidos. La metodología utilizada en la presente investigación es de carácter Cuantitativo y Cualitativo, con un alcance descriptivo y explicativo; en este caso se desarrolló en tres etapas: a) trabajos de gabinete previos a la etapa de campo, b) trabajos en campo, c) trabajos posteriores a la etapa de campo. Es preciso mencionar que la investigación se basa en un Objetivo General, el cual es: evaluar geológicamente el Sistema de Vetas Cupríferas y los objetivos específicos: a) desarrollar el Análisis e interpretación estructural, b) Caracterizar mineralógica y mineragráficamente el sistema de Vetas Cupríferas, c) Calcular el tonelaje y ley ponderada de la veta Argentina.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Perú se consolida como una de las economías más atractivas para la inversión minera, es por ello que la EMPRESA MINERA SEPTENTRION SAC. Busca invertir en el proyecto Alexander 9K, el cual se encuentra en la franja metalogenética de depósitos Cu–Fe–Au (IOCG) del Jurásico medio a superior en la Costa Sur del Perú; sin embargo, no se ha realizado un estudio geológico detallado.

El estudio de evaluación geológica del sistema de vetas Cupríferas en el proyecto Alexander 9K, puede llegar a predecir la continuidad y potencia de las vetas, a lo largo de todo el proyecto, también se podrá identificar las zonas de mayor interés económico y reconocer el potencial de recursos minerales en la veta Argentina.

Es necesario identificar el tipo de yacimiento, definir los esfuerzos de los sistemas de mineralización y estimar los recursos potenciales inferidos en la veta Argentina.

De acuerdo al planteamiento del problema se formulan las siguientes preguntas

- ¿Es posible identificar los esfuerzos de los sistemas estructurales que dieron lugar a la mineralización y crear un modelo estructural?
- ¿Cuáles son las características mineralógicas y mineragráficas, que definan el tipo de yacimiento al que está asociado el proyecto Alexander 9K?
- ¿Mediante el cálculo de ley y tonelaje, se podrá conocer los recursos minerales inferidos de la veta Argentina.



1.2. ANTECEDENTES

(Contreras M. , 2014) Definición del contexto estratigráfico, magmático y estructural del yacimiento Pampa de Pongo para construir el modelo geológico y tectónico. Bella Unión – Caravelí – Arequipa. Tesis desarrollada con el fin de identificar nuevos blancos exploratorios en uno de los Yacimientos de hierro más grandes del mundo, con 3GT @ 40% Fe y valores de Cu, se han identificado cinco eventos tectónicos predominantemente extensionales. Los eventos iniciales generaron tres sistemas de fallas, que modelaron la configuración estructural inicial de la zona de estudio; los eventos posteriores han reactivado los sistemas de fallas, generando la configuración actual.

Cobrepampa: magmatismo asociado y características metalogenética; cobre pampa es un depósito de cobre ubicado en Acarí (Caravelí-Arequipa). La mineralización se emplaza en pórfidos dioríticos, petromineralogicamente se tiene epidotización con diseminaciones de calcopirita, pirita y bornita, gangas de cuarzo y calcita con hematita acicular. El magmatismo es calcoalcalino con K. El intrusivo cobre pampa evoluciona por fraccionamiento y contaminación en una corteza más delgada que la superunidad Linga. (Valencia, Arcos, Chumbe, & Marchena , 2019)

Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca. Durante el cretáceo medio o superior tuvo lugar la intrusión de grandes masas hipabisales, a lo largo del margen occidental de la cuenca andina, localmente conocido como Volcánico Intrusivo Bella Unión, asociado a soluciones de Cobre. Con la tectogenésis del cretáceo tardío o principios del cenozoico, se produjeron fallamientos de gran magnitud en la orla continental, seguidos por la ascension de la Andesita Tunga e inicio de la intrusión de las diferentes unidades del batolito de la Costa, asociadas a la mineralización hierro - cobre y en parte Oro. (Caldas, 1978)



Actualmente el proyecto Alexander 9K es propiedad del Señor Miguel Aybar Molina, quien trabaja en la denominación de pequeña minería, en promedio la extracción de mineral es de 250 Tn diarias, de las cuales se realiza un pallaqueo, quedando 30 Tn para su transporte a planta con una ley % 3-4 Cu, éstos trabajos lo realizan de manera convencional; sin embargo, para mejorar los procesos de trabajo es necesario asociarse con inversionistas, es así que la EMPRESA MINERA SEPTENTRION SAC se interesa en evaluar éste proyecto que abarca un área de 970 has.

1.3. HIPOTESIS

1.3.1. Hipótesis general

La evaluación geológica del sistema de vetas cupríferas en el proyecto Alexander 9K, nos permitirá identificar las características mineralógicas y minerográficas de la zona, se podrá definir un modelo estructural de mineralización e identificar los recursos potenciales inferidos de mineral en la veta Argentina.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Con el análisis e interpretación de la geología Estructural y tomando como modelos las teorías de fracturamiento de Riedel y Anderson, es posible realizar un modelo estructural para el proyecto.
- La identificación de características mineralógicas y Minerográficas, permite postular que el proyecto Alexander 9K, está relacionado a una asociación de depósitos de Oxido de Fe, Cu y Au (IOCG).
- El cálculo de tonelaje y ley ponderada de la veta Argentina, será fundamental para estimar los recursos minerales inferidos.



1.4. JUSTIFICACION

La presente investigación se justifica en realizar los trabajos de cartografiado geológico, muestreo de canales, toma de datos estructurales y la elaboración de mapas geológicos, para identificar características mineralógicas y mineragráficas, crear un modelo estructural y estimar los recursos de mineral inferido, los cuales aportaran significativamente en las decisiones de inversión económica, es preciso mencionar que este estudio es base para posteriores trabajos o estudios geológicos en la zona.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivos Generales

Evaluar Geológicamente el Sistema de Vetas Cupríferas en el Proyecto Alexander 9K.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar el Análisis e interpretación estructural, tomando como modelos las teorías de fracturamiento de Riedel y Anderson, para la creación de un modelo estructural.
- Caracterizar Mineralógica y Mineragráficamente el Sistema de Vetas Cupríferas, mediante el cual se puede definir el tipo de yacimiento asociado al proyecto Alexander 9K.
- Calcular el tonelaje y ley ponderada de la veta Argentina, para estimar sus recursos minerales inferidos.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GEOMORFOLOGIA

Existe una vasta extensión de tierra en la región costera, abarcando desde los relieves llanos y desérticos de los planos costeros hasta los relieves bajos del noroeste de la región andina. Las principales características geomorfológicas de la zona costera son: la cordillera de la costa, la planicie costera, las tierras bajas preandinas, las faldas de la cordillera occidental. (**Ver Anexos: Mapa Geomorfológica**)

2.1.1. Cordillera de la costa

Esta cadena de cerros de baja elevación se extiende paralela al mar entre Ilo y la Península de Paracas, con un ancho de 5 a 20 kilómetros, alcanzando altitudes de 1000msnm. Geológicamente hablando, se compone de basalto cristalino y granito rojo antiguo cubierto por una serie de depósitos fósiles. Limita al oeste con la costa, que en la mayoría de los casos está formada por acantilados con una altura media de 50 a 100 metros. El borde oriental está menos definido y tiende al fondo costero. (Caldas, 1978)



Figura 1: Cordillera de la costa y llanura Costera

Fuente: Fotografía tomada en el proyecto Alexander 9K, desde el lado SSE.

2.1.2. Llanura Costanera

Se encuentran al este de la Cordillera de la Costa, tienen topografía plana a ligeramente ondulada, sus altitudes varían entre 250 y 700 msnm. Los límites occidental y oriental, están controlados por los sistemas de fallas Treinta Libras y Cerrillos-Bella Unión. En el medio de ambas fallas, existen lineamientos de dirección N-S que podrían corresponder a fallas de cizallas de un movimiento dextral, de las fallas que limitan esta morfo estructura. (Macharé, 1987)

2.1.3. Dunas

Es una acumulación de arena en los desiertos debido al viento y dunas con capas sueltas y homogéneas. Pueden ser creados por cambios en el viento o por cambios en la cantidad de arena. Cuando hay viento de la dirección dominante, las dunas tienen forma de C con una cara convexa contra el viento dominante. Estas dunas son a menudo avanzadas, movidas y empujadas por el viento, y la arena fina y seca surge de la erosión del impacto constante del viento sobre la roca, y con el tiempo se rompe en pequeños pedazos y se convierte en grava. (Davila, 2011)



Figura 2: Geomorfología de dunas

Fuente: Fotografía tomada mirando hacia el NE del proyecto

2.1.4. Drenajes

El sistema de drenaje en esta zona consiste en muchas corrientes de agua seca y ondulante en forma de bifurcaciones. Las precipitaciones son escasas o casi inexistentes en la zona; Sin embargo, existen efectos cambiarios que eventualmente se reanudarán una vez al año. (Davila, 2011).

2.1.5. Quebradas

Estrechos valles que se encuentran encajonados por montañas cuyas laderas descienden de forma pronunciada en superficie. En la zona de estudio las quebradas son aprovechadas para crear caminos de acceso y campamentos (Davila, 2011)

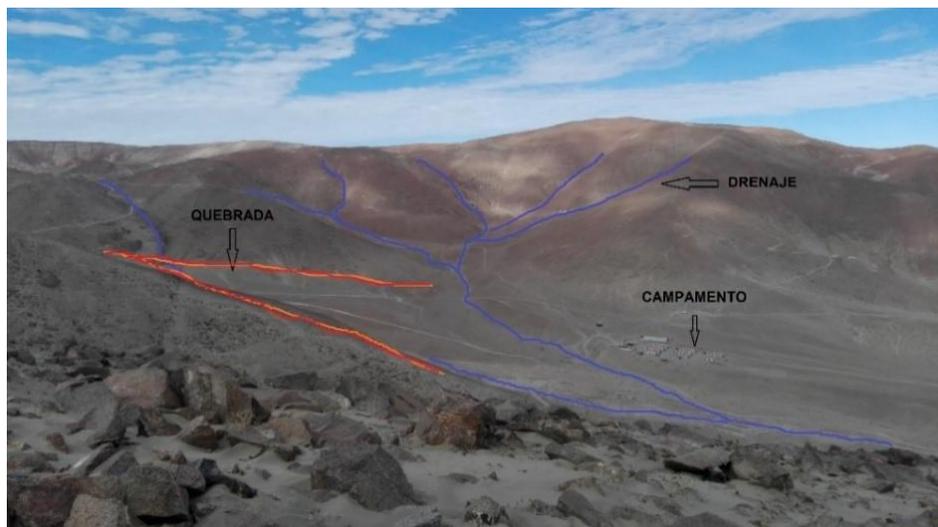


Figura 3: Quebradas drenaje, campamento.

Fuente: Fotografía mirando hacia el SE del proyecto

2.1.6. Depresión Preandina

Se denomina así a la peneplanicie comprendida entre Cordillera de la Costa y el frente andino, hundida entre un sistema de fallas aproximadamente paralelas, con un recorrido noroeste – sureste que corresponde a la prolongación a la llanura preandina. (Newell, 1956), o pampa costanera, como comúnmente se conoce el llano que constituye la orla continental entre Pisco y el sur de Nazca, después de las pampas de Poroma se



angosta para terminar bruscamente contra el macizo de Huricangana, su recorrido es continuo entre los cerros de Tunga y Huasipara. (Caldas, 1978)

Ésta depresión se encuentra rellena con gravas y arenas marinas y aluviales, relacionadas genéticamente al desarrollo de las terrazas marinas, que se observan en las pampas de Poroma y de los Cerrillos, más al sureste solo existen algunas terrazas en forma de aisladas mesetas, debido a la acción destructiva de los procesos fluviales, de las cuales caben mencionarse las que conforman las pampas de los Cerrillos, Pajayuna, Jahuay y las pampas de Bella Unión. Estribaciones de la Cordillera Occidental (Ries, 1976)

Se encuentran al este de la Cordillera de la Costa, tienen topografía plana a ligeramente ondulada, sus altitudes varían entre 250 y 700 msnm. Los límites occidental y oriental, están controlados por los sistemas de fallas Treinta Libras y Cerrillos-Bella Unión. En el medio de ambas fallas, existen lineamientos de dirección N-S que podrían corresponder a fallas de cizallas de un movimiento dextral, de las fallas que limitan esta morfo estructura. (Leon, Antenor, Rosell, Torres, & De la Cruz Matos, 2008).

2.2. ESTRATIGRAFIA

2.2.1. Precámbriano

2.2.1.1. Complejo basal de la Costa (Pe-gn)

Está conformado litológicamente por ortogneis y esquistos. conformado de ortogneis y esquistos. La composición mineral del ortogneis es principalmente granito, que se convierte en granodiorita. Gneis está interrumpido por terraplenes basales y pegmatitas. Los esquistos (sericíticos y cloríticos) constituyen los miembros más estrechos de las rocas metamórficas del complejo Basal de la costa. La edad del complejo base de la costa va desde el año 1420 al 1160 dC de la Era Mesozoica.. (Contreras M. , 2014).



2.2.2. Cambriano

2.2.2.1. Formación Chiquerío

La formación rocosa está formada por agregados con bordes inferiores redondeados de gneis y granito gnessoide, con diámetros que van desde los 3 mm. hasta 30 cm; Y las aristas del mármol dolomita, rodeadas de una fina matriz de lutita, en la que al microscopio se reconocen principalmente los minerales feldespato y cuarzo, seguidos de esferoides, cereza, circón, titi y clorita, con una secuencia de 800 a 1000 m.

La Formación Chiquerío es única en el Perú por sus características litológicas y su posición estratigráfica. Se le considera como perteneciente al Neoproterozoico (Chew, y otros, 2007)

2.2.2.2. Formación San Juan

A medida que el contacto se vuelve aparente en la Formación Chiquerío, se trata de una secuencia rocosa formada por tres componentes: el fondo comienza con capas delgadas de piedra caliza, seguidas de capas de mármol dolomítico fuertemente fracturado; La concentración intermedia consiste en rocas intercaladas con cuarcita; La parte superior está hecha de bolas dolomíticas. El espesor de esta estructura se estima en unos 1000 m. (Caldas, 1978)

La Formación San Juan al igual que la Formación Chiquerío son únicas por su naturaleza y posición. Se le considera perteneciente al Neoproterozoico. (Injoque & Romero, 1986)

2.2.2.3. Formación Marcona

En la discordia angular en el complejo basal de la costa o en la Formación Chiquerío, existe una secuencia litológica compuesta por tres miembros: la parte inferior comienza con fuertes capas de conglomerado, con rocas de formaciones anteriores,



seguidas de fuertes bancos de mármol. caliza; La concentración intermedia consiste en capas delgadas de vellosidades de clorito y esquisto, intercaladas con cuarcita; Las partes superiores consisten en bancos de majestuosa dolomita de mármol. El espesor de esta unidad rocosa se estima en unos 1000 m (Contreras M. , 2014)

La Formación Marcona es el principal metalotecto del distrito minero de Marcona, en esta Formación se emplazaron los cuerpos de magnetita descubiertos en la Mina Marcona y en el Proyecto Pampa de Pongo. La Formación está intruída por el Batolito San Nicolás, considerado emplazado en el Siluriano; por lo que, la Formación Marcona tendría que ser más antigua, es decir, pre Siluriana (Chara, 2000)

2.2.3. Jurásico

2.2.3.1. Formación Guaneros (Js - g)

En el cerro Portachuillo existe un área salpicada de volcanes y afloramientos sedimentarios calcáreos, que forman la base de la unidad. Se diferencian de los volcanes que forman chocolate por su taxonomía falsa reconocible, una mayor proporción de niveles filiales y su naturaleza interconectada a través de múltiples horizontes. El espesor total se estima en unos 2600 m. Los fósiles identificables se encontraron únicamente en dos horizontes, el horizonte inferior se ubica cerca del horizonte y sobresale 4 km al noroeste de los Cerros Portachuillo, los cuales contienen las especies que han sido clasificadas como similares. Corresponde al pueblo Bajú. El horizonte superior sobresale por encima de la colina de Mata Kabalu, delimitado con el Baghusian central más alto. La edad de la Formación Guaneros varía, por región, del Bajociano al Oxfordiano

2.2.3.2. Batolito de San Nicolás

El Batolito de San Nicolás se ubica en la Cordillera de la Costa, donde ingresa al complejo Costa Basal ya las formaciones Chiquerío, San Juan y Marcona. Incluyen monzogranitos y granodioritas (Caldas, 1978). Los mozogranitos ocupan la parte central



del Batolito, mientras que los monzogranitos rodean a la Granodiorita. Ries (1976), utilizando el método K-Ar, obtuvo de $442 \pm 10,4$ Ma a $421 \pm 10,9$ Ma en granito en el Cuadrilátero de San Juan (documento 30-N); (Chara J., 2000), también utilizando el método K-Ar, obtuvo un tiempo de vida de 408 ± 11 Ma en el granito arena Cuaternario de Ica. Por lo tanto, el sitio de San Nicolás se considera un batolito desde el período Silúrico hasta el Devónico temprano. (Chara J. , 2000)

2.2.4. Cretácico

2.2.4.1. Grupo Yura (*JsKi-yu*).

Regionalmente solo ocurren afloramientos de las formaciones Cachíos, que están bastante falladas, plegadas y ha sido mapeado como una sola unidad. La parte alta, llamada Formación Hualhuaní, aflora principalmente en el cuadrángulo de Pausa, con un espesor de 250m. La Formación Gramadal se presenta bastante delgada y lenticular, en paquetes de 5 a 8 m de espesor y está incluida en las unidades inferiores. Labra (Pecho, 1983).

2.2.4.2. Formación Copara

En ligera discordancia angular sobre la Formación Yauca, la Formación Copara está conformada por: conglomerados y areniscas feldespáticas, grauvacas azulinas a verdosas, areniscas y lutitas rojas en capas delgadas; seguida por aglomerados y flujos brechosos, para finalmente terminar en un nuevo evento volcánico intrusivo, al que se le denominó Volcánico Intrusivo Bella Unión. El espesor de la formación se estima en unos 1000 m. De acuerdo a los estudios de fósiles encontrados en la zona, se le considera como perteneciente al Aptiano – Albiano.

2.2.4.3. Super unidad Linga

En los afloramientos orientales de Ica, cerca de los sedimentos de San Pedro y Kansas, hay diorita de granos grande o mediano con muy pocas vetas de óxido de hierro



y crisocola. También se ha identificado una diorita gigante de grano medio-grosso en Orión, al noreste de Chala. En los afloramientos del sureste de la mina Copribamba, al sureste de Nazca, se aprecia la monzonita rosa-gris con diorita de pórfido de grano fino. En los afloramientos del este de Yauca, cerca de la mina Chaparral, hay monzogranito de grano medio con máfica. En los afloramientos de Chaparra, cerca de las minas Torrecillas, San Silvestre y Poroja, se tiene monzogranito pórfido de grano grueso a medio.

2.2.4.4. *Super Unidad Tiabaya (Ks-gd-ti)*

Es la unidad que constituye la segunda en orden de amplitud en el Batolito, siendo de naturaleza mayormente granodiorítica, el afloramiento se desplaza en forma de una faja con más de 20 Km de ancho y 90 Km de largo. Otra de las características de esta Súper unidad es la presencia más constante de xenolitos redondeados, de grano fino, con diámetros de 5 a 15 cm. Y abundantes diques de composición microdiorítico. (Zuñiga, 2014)

2.2.5. Neógeno

En el área estudiada no se exponen unidades Paleógenos, posiblemente debido a que la región se encontraba en condiciones subaéreas. La transgresión marina del Mioceno permitió la depositación de la Formación Pisco, el cual se extendió hasta el flanco occidental de los Andes durante el Plioceno. (Contreras M. , 2014)

2.2.5.1. *Batolito de la Costa*

Están conformados por dioritas, tonalitas, monzonitas e intrusivos menores de microdioritas y/o gabrodioritas. Las dioritas se localizan en el frente occidental del Batolito y son cortados por diques dacíticos, seguidos hacia el Este por tonalitas, y adentrándose a la cordillera occidental las monzonitas. Los intrusivos menores se exponen en las Etribaciones de la Cordillera Occidental y en la Depresión Ica-Nazca, como pequeños stocks y apófisis, intruyendo las Formaciones Marcona, Rio Grande,



Yauca y Copara. Las dioritas son cortadas por vetas de magnetita y actinolita (Mina Hierro Acarí) y las monzonitas son cortadas por vetas de magnetita, actinolita y sulfuros de cobre (Mina artesanal Cobre Pampa).

2.2.5.2. Grupo Nazca (Ti - na)

Secuencia de rocas volcano-sedimentarias que afloran extensamente sobre la altiplanicie al este de Nazca. La parte alta del Grupo Nazca, conocida como Tobas Nazca. Litológicamente, las tobas presentan un rango composicional que varía desde riolitas a dacitas. Se han efectuado dataciones del Grupo Nazca en las unidades tobáceas de la base y el tope llegándose a establecer que por lo menos su edad está comprendida entre 18 y 22 M.A., correspondiente al Mioceno inferior.

2.2.5.3. Formación Pisco

En discordancia erosional sobre unidades Paleozoicas o Mesozoicas, la Formación Pisco litológicamente se compone de areniscas conglomerádicas, en bancos anchos con horizontes conchíferos triturados, continuadas por areniscas amarillas finas con capas ferruginosas, entrecruzadas por un sistema de venillas de yeso. Asimismo, se observa capas de diatomitas blancas, intercaladas con arcillas bentoníticas, areniscas tufáceas grises, y cenizas re trabajadas. El espesor de la formación se estima en aproximadamente 500 m. De acuerdo a los estudios de fósiles encontrados, se le considera como perteneciente al Mioceno (Caldas, 1978)

2.2.6. Cuaternario

2.2.6.1. Depósitos Aluviales y Eluviales (Q - al)

Bajo este nombre se agrupa a los depósitos clásticos transportados por medio acuoso y acumulados en las quebradas. Los depósitos acumulados en el fondo de las quebradas consisten en conglomerados gruesos intercalados con arena, limo y arcilla, están bien expuestos en los cortes de los ríos y al pie de las terrazas.



2.2.6.2. Depósitos Eólicos (Q - e)

En la zona costera están ampliamente distribuidos una serie de depósitos eólicos. Los más antiguos, conforman extensos mantos de arena de escaso espesor, que no pasan de un metro en las áreas de mayor acumulación. Las arenas son de grano grueso y color gris oscuro, debido a su alto contenido de ferromagnesianos. Estos depósitos presentan, generalmente, una superficie ondulada a manera de rizaduras de corriente orientadas. (Acosta, Rodriguez , Flores , & Huanacuni , 2011).

2.2.6.3. Depósitos Marinos (Q - m)

En el litoral se exponen los depósitos cuaternarios marinos recientes. Su distribución está limitada mayormente a zonas ubicadas en los extremos internos de las bahías, que resultan favorables para la deposición de materiales. Los depósitos más notables se encuentran en la Bahía de Paracas, Lagunillas y Bahía de la Independencia.

2.3. EVENTOS TECTONICOS

Se han identificado cinco eventos tectónicos, predominantemente extensionales, que han controlado la sedimentación, el magmatismo, y la mineralización en el área. Los eventos iniciales generaron tres sistemas de fallas, que modelaron la configuración estructural inicial de la zona de estudio, y que fueron reactivados por los eventos posteriores, generando la configuración actual.

El primer sistema está compuesto por fallas transcurrentes sinestrales con componente normal, con rumbos NO-SE e inclinaciones que dependen de su ubicación en el sistema de horst y graben de dirección NESO Se generaron a inicios del Jurásico Medio; algunas fallas pre-jurásicas se reactivaron en este periodo Todas se reactivaron en el Mioceno medio. El segundo sistema está compuesto por fallas normales, con rumbos ONO-ESE e inclinaciones al NE. Se unen al primer sistema de fallas, al cual su origen



está ligado. El tercer sistema está compuesto por fallas transcurrentes dextrales con componente normal, con rumbos NE-SO e inclinaciones que dependen de la ubicación en el sistema de horst y graben de dirección NE-SO. Se generaron a finales del Cretácico Inferior, antes de la mineralización en Pampa de Pongo. Posteriormente se reactivaron en el Eoceno (Contreras M. , 2014).

2.4. METALOGENIA DEL SECTOR NAZCA – CHALA

Los depósitos de Fe-Cu-Au, en la región de Nazca-Chala, están distribuidos entre la Cordillera de la Costa y las estribaciones de la Cordillera Occidental, presentan contenidos y/o estilos de mineralización propios en cada unidad. Las formas de emplazamiento, las asociaciones mineralógicas y tonelaje, así mismo la edad de mineralización, permiten diferenciar los depósitos de Fe-Cu-Au en dos franjas metalogénica (Carlotto, y otros, 2009)

2.4.1. Franja de depósitos Fe-Cu-Au (IOCG) – Skarn del Jurásico cretácico

Abarca las unidades morfoestructurales de la Cordillera de la Costa, Llanuras Costeras y la Depresión Ica-Nazca. En esta franja están los depósitos más grandes de Fe-Cu-Au y están compuestos por las minas Marcona (1.9Gt @ 55.4% Fe), Mina Justa (413Mt @ 0.79% Cu) y el proyecto Pampa de Pongo (3Gt @ 40 % Fe); (Calvo , y otros, 2012).

Las edades de mineralización determinadas en Marcona (162-159 MA; mineralización de Fe) y Mina justa (99-95 MA; mineralización de Cu), están en el rango del Jurásico Superior al Cretácico Superior (Injoque, J, 2002); y en Pampa de Pongo la mineralización se desarrolló posterior al emplazamiento de los primeros pulsos del Batolito de la Costa.



2.4.2. Franja de depósitos Fe-Cu-Au (IOCG) del Cretácico

Se encuentra al este de la Falla Cerrillos-Bella Unión, en las estribaciones de la Cordillera Occidental, relacionadas a dioritas y monzonitas del Batolito de la Costa. Los estilos de la mineralización se presentan en vetas, y en algunos casos en mantos y cuerpos (Vidal, Injoque, & Mukasa S, 1990). Dentro de esta franja, los depósitos son diferenciados en dos grupos.

- Depósito relacionado a mineralización de Fe: Hierro Acarí (40Mt @ 66% Fe), asociado a dioritas.
- Depósito relacionado a mineralización de Cu y Fe: Cobrepampa (~5Mt @ 2- 5% Cu), asociado a monzonitas.

2.5. YACIMIENTOS IOCG – COBREPAMPA

Localizada en el distrito de Acarí, provincia de Caravelí, región Arequipa. Sus coordenadas UTM son 533839E y 8317895 N, Datum WGS84, Zona 18 sur, en la hoja topográfica 31-n (Acarí). Es accesible desde el poblado de Bella Unión a través de una carretera 27 kilómetros al norte de dicho poblado. En el área afloran rocas del Batolito de la Costa de la Superunidad Linga, que en este sector es conocido como Monzonita Cobrepampa, que describe más a un pórfido diorita. Hacia el este tenemos las tobas y conglomerados del Grupo Nazca. Actualmente es propiedad de la Compañía Minera Cobreña. La alteración predominante es la propilitización con calcita, clorita, epidota y pirita, seguida de una débil alteración potásica en venillas milimétricas. El control estructural ha condicionado el emplazamiento de la mineralización con dos sistemas principales de fallamiento, NO-SE el mineralizado, y posteriormente E-O que produjo la dispersión de las vetas. La mineralización de Cu y Fe comprende una serie de vetas paralelas de azimut N310° y alto buzamiento, con longitudes que pueden alcanzar los 2 km y ancho variable de 5 a 50 cm, rellenan el craquelado de lazos cimoides formando



clavos y cuerpos mineralizados. (Injoque, J, 2002). Por información proporcionada por los trabajadores de la minera tienen una ley promedio de Cu 14% y una producción diaria de 14 toneladas aproximadamente. (Valencia , Lozada, Leon, & Marchena , 2018)

2.5.1. Monzonita Cobrepampa

Se denomina así al Plutón que está vinculado a la mayor parte de la mineralización de cobre en el cuadrángulo de Acarí. Se encuentra emplazado a lo largo de una franja NO – SE, su ancho es de 15Km ingresa al cuadrángulo de Jaqui por el sureste, haciendo una estructura algo arqueada aproximadamente coincide con la deflexión de la cadena andina, la cual en este sector varía de N10°O a E-O. (Caldas, 1978)

Esta intrusión conjuntamente con la Diorita de Acarí es la más importante del área estudiada, desde el punto de vista económico. Está cruzada por un sistema de vetas de cobre con rumbo promedio N 70° O, que a su vez son invasores de las rocas encajonantes, le siguen en importancia las del grupo Yura, luego la Diorita Acarí y la Tonalita Calapampa. La monzonita cuarcífera gris-rosada es la roca principal, varía en las porciones marginales a una adamelita rosada cuyos diques cruzan a las rocas caja. Ciertas porciones, principalmente del techo, están constituidas por una roca híbrida grisácea a partir de dioritas y tonalitas. El proceso de hibridización se distingue más claramente en los sectores del cerro Conchudo y Purísima, donde la roca está cruzada por diques NO – SE de adamelita asociados a vetas de cobre en los contactos, afectando también a la tonalita Calapampa hacia el sureste. (Caldas, 1978)

La composición mineralógica de la monzonita cuarcífera es 30-35 % de ortosa, 40-45% de plagioclasas (andesina) y 4-8% de cuarzo; los minerales accesorios son clinopiroxeno, biotita, apatita y esfena; y, los secundarios: uralita y turmalina negra. La adamelita marginal se compone de 35-40% de ortosa, 30-35% de plagioclasa y 15-20% de cuarzo; los minerales accesorios son biotita, clinopiroxeno, apatita, zircón y minerales



opacos; y, los secundarios son prehnita, uralita, clorita, turmalina y otros. Dentro de algunas plagioclasas se localizan inclusiones solidas de biotita, minerales opacos y zircón. Asimismo, aparte de dichos feldespatos están zonados y sus núcleos, generalmente se encuentran alterados. Podría postularse una relación genética areal entre mineralizaciones de hierro y cobre, ya que en Hierro Acarí las vetas de magnetita se encuentran rodeadas por yacimientos de cobre, asociación muy común en otras provincias metalogénicas (Dunnin, 1970). Por otro lado, la actinolita es el mineral común en ambos tipos de vetas y en las de cobre son frecuentes la magnetita y especularita (Guizado & Rodriguez, 1971)

De esto se podría deducir que la diorita Acarí y la Monzonita Cobrepampa podrían ser parte de un proceso de diferenciación magmática, donde el mayor volumen de menas de hierro está relacionado a las unidades más básicas y el de cobre a las más ácidas, vinculadas posiblemente a un proceso de segregación y difusión de sodio y potasio (Hudson, 1979), por el hecho de que en las proximidades de las vetas de magnetita, las plagioclasas de la Diorita Acarí se encuentran bastante albitizadas y las menas de cobre están asociadas a la monzonita cuarcífera y adamelita. (Caldas, 1978)

2.6. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las estructuras que se han formado en el área están vinculadas al desarrollo tectónico de esta parte de la orla continental del Perú en un tiempo bastante prolongado, de lo cual solo se tienen escasas y limitadas evidencias directas. Entre los acontecimientos tectónicos más importantes que afectaron la zona de estudio, en orden decreciente de edad son los siguientes: (Caldas, 1978)

- Domo de Marcona, Plegamientos en el macizo andino, Fallas de desplazamiento de rumbo, Fallas gravitacionales, Tectónica reciente



2.6.1. Domo de Marcona

La formación Marcona y rocas jurásicas envolventes varían de rumbo progresivamente desde la quebrada de Jahuay y hasta el cañón del río Grande, de más o menos N 45° O, pasando por E – O a N 45° E, siguiendo además una amplia estructura arqueada con inclinaciones hacia afuera. (Caldas, 1978)

Estas características permiten postular la existencia de una gran estructura dómica en esta latitud, de la cual sólo una porción periclinal oriental se puede observar directamente. La mayor parte se halla cubierta por el océano pacífico. (Caldas, 1978)

La formación del Domo de Marcona parece estar relacionada a efectos compresivos de dirección NO – SE, dando como resultado una estructura transversal a la tendencia andina. (Caldas, 1978)

2.6.2. Plegamiento Del Macizo Andino

En el área cubierta por los cuadrángulos San Juan, Acarí, no se observan pliegues de extensiones considerables, probablemente por el intenso fallamiento que ha afectado la región, de modo que las unidades buzcan indistintamente a uno y otro lado de los bloques de falla. (Caldas, 1978)

Los rumbos de las unidades mesozoicas a lo largo del frente andino tienen un rumbo general N45° O, formando un homoclinal con buzamiento al noreste. En el sector noreste existe una pequeña deflexión de las estructuras, pasando de dirección N-S a dirección N 45° O. ambas franjas forman un sinclinorio, algo enmascarado debido al emplazamiento del Batolito de la Costa y a las cubiertas de masas de arena, a ambos lados de la quebrada Carbonera. (Caldas, 1978)

2.6.3. Fallamiento

La región está afectada por una típica tectónica de fallamiento en bloques y aunque el diseño es algo caótico es posible distinguir tres franjas estructurales principales. (Caldas, 1978)

- **Franja central**

El desarrollo de la franja central fue el resultado de la colisión de dos bloques rígidos: la cordillera de la Costa y el macizo andino, separados por una zona de debilidad ahora ocupada por la depresión preandina. (Caldas, 1978)

- **Falla Tunga**, Presenta características de falla normal, sin embargo, es una falla dextral, se extiende por el noreste, hasta las cercanías de Pisco. (Caldas, 1978)
- **Falla treinta libras**, Es ligeramente paralela a la falla Tunga, abarca desde el norte en la pampa de treinta libras, pone en contacto la formación Rio grande, de rumbo general este –oeste a noreste, la falla treinta libras como la falla Tunga son fallas de desplazamiento dextral. (Caldas, 1978)
- **Falla los Cerrillos – Bella Unión**, Es posible que la falla los Cerrillos sea la continuidad de la falla Bella Unión, la falla los Cerrillos parece prolongarse por el noroeste, limitando al frente Andino, lo cual indica un importante papel en el desarrollo morfo – tectónico actual. (Caldas, 1978).

- **Franja Occidental**

Los fallamientos del flanco occidental de la Cordillera de la Costa tienen una tendencia general N 50° - 60° O, a diferencia de las fallas de la franja central que tienen un rumbo promedio N 45° O. En algunos casos ambas forman un sistema conjugado. (Caldas, 1978)



- **Sector de san Fernando**, Todas las fallas de este sector son gravitacionales y los bloques descendidos, junto a las fallas de la franja central, hacen que la cordillera de la costa tenga las características de un gran horst intensamente fallado, sin embargo no es raro encontrar fallas con el bloque oriental descendido. La mayoría de las cuales de acuerdo a sus rumbos, tienden a conectarse con las fallas de dirección N 50° - 60° del área de Marcona. (Caldas, 1978)

- **Franja Oriental**

Esta franja constituye en realidad el macizo andino. Los fallamientos de esta franja son gravitacionales y en la mayoría de los casos los bloques descendidos son los orientales. (Caldas, 1978)

- **Fallas longitudinales**, Entre las fallas de dirección NO –SE se pueden distinguir dos categorías, de acuerdo al movimiento de las cajas: deslizamiento hacia el noreste y deslizamiento hacia el sureste. (Caldas, 1978)
- **Fallas Transversales**, Los fallamientos de rumbo NE – SO, tienen extensiones limitadas entre las fallas longitudinales, por otro lado es probable que algunas fallas transversales tengan un movimiento con componentes horizontales, como parece ocurrir en la pampa de las clavelinas, donde desplazan a las fallas treinta libras y Cerrillos. (Caldas, 1978)

- **Tectónica Reciente**

Entre los rasgos de movimientos bastante recientes, se tiene el desarrollo algo intermitente de las terrazas marinas San Juan – Yauca, así como la reactivación de fallas que afectan a dichas superficies de erosión, lo que significa que la región ha sido tectónicamente activa en tiempos recientes. (Caldas, 1978)



Por otro lado, la presencia de terrazas marinas a niveles cercanos a 1000m, implica movimientos de línea de costa bastante anormales con respecto al resto de la costa sur del país, ya que no se tiene conocimiento de la existencia de superficie de abrasión Pleistoceno reciente a tales altitudes, lo que significaría que el bloque de la Cordillera de la Costa, comprendido entre el río Grande y la quebrada Jahuay, ha sufrido un mayor levantamiento que las áreas vecinas. Mediciones y estudios comparativos detallados futuros deberán conducir a conclusiones más significativas. (Caldas, 1978)

2.7. SISTEMA DE FRACTURAMIENTO DE RIEDEL

El modelo de RIEDEL explica la deformación dentro de una zona que sufre las fuerzas correspondientes a una falla de rumbo. Riedel originalmente solo se refiere a una escala de decímetros. Pero más tarde su modelo fue adoptado a escalas de kilómetros. (Rojas, 2012). Mediante modelos experimentales y observaciones geológicas se ha establecido que cuando una zona se somete a una deformación por cizallamiento en un dominio de cizalla simple, en la cobertura se forma comúnmente un patrón predecible de cinco juegos o familias de fracturas (Sylvester, 1988).

- Cizallas Riedel, denotadas con la letra R, también referidas como fallas sintéticas de desplazamiento lateral.
- Cizallas Riedel conjugadas, indicadas con R' , o fallas antitéticas de desplazamiento lateral.
- Cizalla P o fallas sintéticas secundarias de desplazamiento lateral, simétrico a R; también conocidas como fallas Tchalenko – Skempton.
- Fracturas extensionales T o fallas normales.
- Cizallas y/o fallas paralelas a la zona de desplazamiento principal.

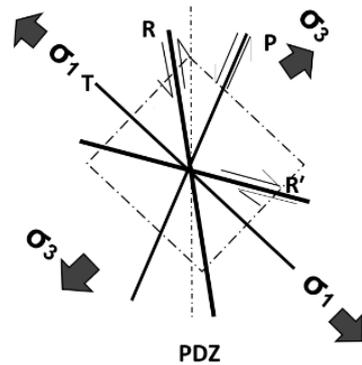


Figura 4: Modelo de fracturamiento de Riedel izquierdo Modificado de (Sylvester, 1988)

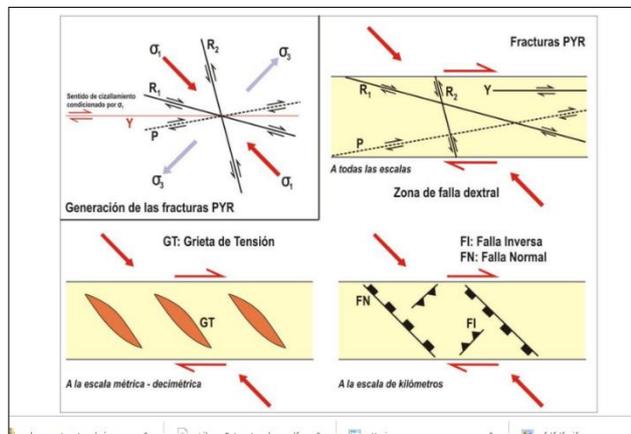


Figura 5: Cuadro de estructuras asociadas que podemos encontrar en una zona de falla a diferentes escalas.

Fuente: (Oyarzun & Lillo, 2013)

La relación angular entre los distintos juegos de fallas de un sistema Riedel se da de la siguiente manera. Las fallas maestras aparecen en un ángulo de 45° con respecto a σ_1 . El sentido de desplazamiento de las cizallas R y P es el mismo que el de las fallas maestras mientras que el de las fallas R' es opuesto (Sylvester, 1988). Así por ejemplo, en un sistema con fallas maestras izquierdas, tanto R como P serán igualmente cizallas izquierda pero R' será derecha.

2.8. TEORIA DE FRACTURAMIENTO DE ANDERSON

Esta teoría predice que se formarán fallas normales cuando la tensión longitudinal sea máxima, errores inversos cuando la tensión longitudinal sea mínima y falla por cortante debido a la tensión longitudinal media. La teoría también predice que los defectos se formarán en dos familias de conjugados, que las fallas de deslizamiento directo serán perpendiculares y que los defectos normales serán más recesivos que los defectos inversos. Luego porque el ángulo que forman con el máximo esfuerzo debe estar entre 25° y 35° . Por tanto, el valor máximo de referencia será de 55° . (Martinez Catalán, 2003).

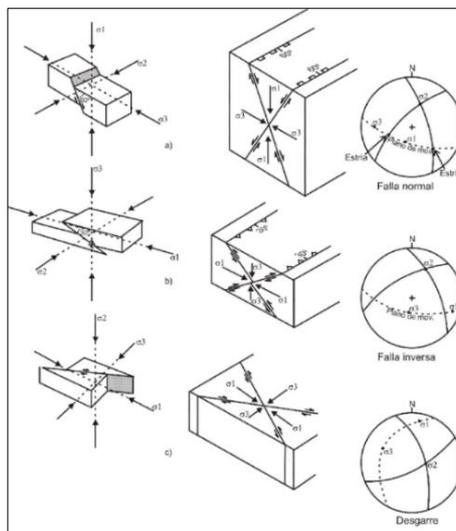


Figura 6: Modelo de Anderson para ubicar esfuerzos en fallas principales.

Fuente: (Gomez & Babin, 2010)

2.9. EXTENSION Y COMPRESIÓN EN ZONAS DE FALLA

El movimiento de las fallas a lo largo de superficies perfectamente planas (cosa poco común en la naturaleza) se desarrolla sin complicaciones, ya que una pared se desliza sobre la otra sin interferencias. En estas condiciones, la ocurrencia de bifurcaciones desde la falla principal es muy pequeña o incluso inexistente. Sin embargo, si un error provoca una curvatura repentina o continua, aparecen situaciones complejas que dan lugar a procesos de elongación o acortamiento. La curvatura de los defectos se

puede describir en términos de curvaturas (Davis & Reynolds, 1996). Las áreas de extensión (pliegues de liberación, áreas de estiramiento) tienden a crear vacíos, mientras que las áreas de penetración cerrada (retención de pliegues, áreas de compresión) son sitios donde el acortamiento crea una superposición. Hablamos de cerrar intersecciones cuando el movimiento de uno de los bloques a lo largo de la línea de falla es “opuesto” a la curva. Por el contrario, si el movimiento "elimina" la masa de una curva, diríamos que es una curva abierta. Desde el punto de vista de la exploración de yacimientos minerales, las cavidades abiertas son las más interesantes, ya que en estos sitios se crean vacíos y, por lo tanto, las soluciones hidrotermales pueden difundirse fácilmente. Además, a escala regional, una curva abierta es ideal para desarrollar pequeñas intrusiones en condiciones extendidas..

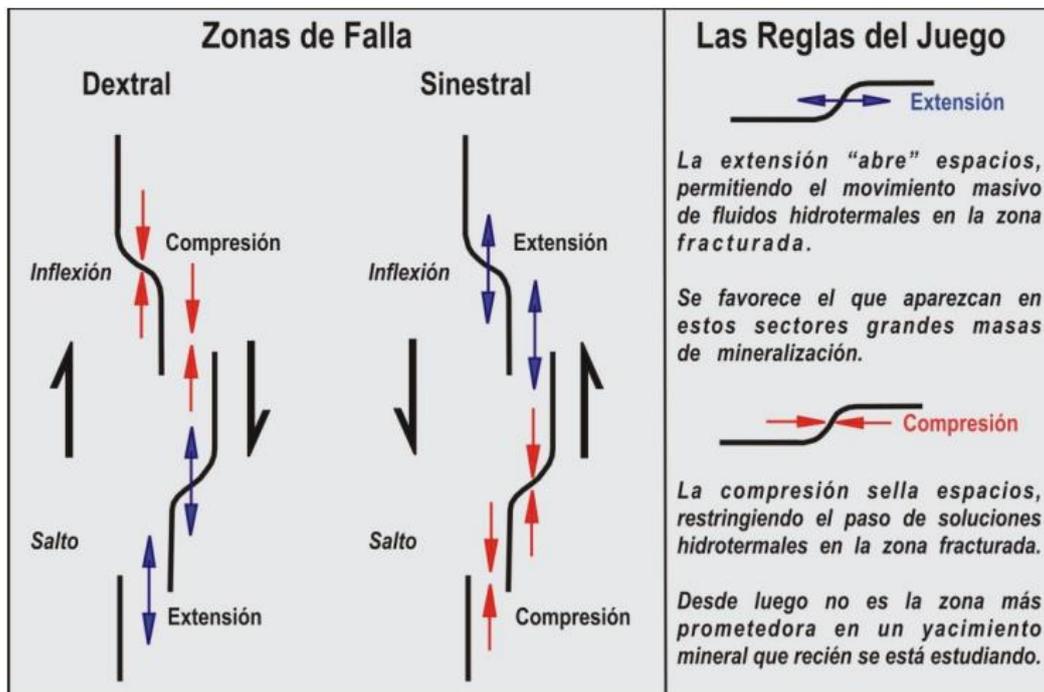


Figura 7: Izq.: resumen para situaciones de extensión - compresión de una zona de falla, Der: implicaciones para la probabilidad de encontrar grandes o pequeñas masas minerales.

Fuente: (Oyarzun & Lillo, 2013)



2.10. GEOQUIMICA Y QA/QC

2.10.1. Muestreo Geoquímico en Rocas

Es la operación que consiste en sacar una parte del material, cuyo valor se desea conocer. Esta parte se llama muestra y debe tener un valor representativo, lo más aproximado posible del que realmente tiene el total, de acuerdo al grado de exactitud requerido.

El grado de exactitud requerido depende de la cantidad de muestras tomada y de localidad de la misma; mientras mayor sea el número de ellas, mayor exactitud alcanzaremos, pero mayor será el costo de operación. Partiendo del principio conocido que una muestra es una porción pequeña, representativa de un conjunto o masa mayor, se deduce teóricamente al menos, que esa pequeña porción debe reunir las mismas características y propiedades del material representado y estar de acuerdo con el grado de exactitud requerido en base a la calidad y al número de muestras.

Sin duda la buena recolección de muestras ayuda fuertemente al estudio prospectivo de una región, de aquí la necesidad de recolectar buenas muestras que sean representativas del lugar. Siempre se procura que los fragmentos sean los más “frescos” posibles, se debe recolectar muestras representativas típicas de la roca. (Levinson, 1980).

2.10.2. Tratamiento estadístico de datos Geoquímicos

El proceso de interpretación final casi siempre involucra la puesta en práctica de algunos procedimientos estadísticos y/o gráficos siempre en cuando los estudios de orientación han sido incapaces de definir todos los criterios interpretativos con una precisión suficiente. Su selección y secuencia de aplicación en un estudio geoquímico serán influenciadas por la naturaleza del estudio tanto como la filosofía de la interpretación aceptada



La aplicación efectiva de procedimiento estadístico a los datos geoquímicos es dependiente sobre el programa correcto, y propone la aplicación apropiada del muestreo y las fases analíticas, el tratamiento estadístico avanzado de un conjunto de datos podría ser un ejercicio insulso cuando la representatividad y calidad es inadecuada; sin embargo, con tal de que sus limitaciones se aprecien totalmente, las técnicas estadísticas constituyen herramientas útiles y a menudo poderosas para el análisis de datos geoquímicos.

Gran parte de la estadística aplicada tiene que ver con la organización, presentación y resumen de los datos. La primera fase de la interpretación geoquímica consiste en condensar grandes cantidades de datos numéricos y extraer de ellos la información esencial.

2.10.3. QA/QC

Un continuo cuidado a los principios básicos del diseño del programa, la planificación, y la aplicación del muestreo óptimo; la preparación de la muestra, técnicas analíticas y la interpretación, no aseguran la anulación del error.

El entrenamiento apropiado del personal de campo y laboratorio, mantenimiento y funcionamiento apropiado del equipo de laboratorio, y la dirección eficiente del proyecto puede ayudar a minimizar este riesgo; Sin embargo, la posibilidad de error humano y técnico debe reconocerse, de hecho los estudios sugieren que alrededor de 3-6% de los datos analíticos en la exploración rutinaria padezcan de alguna forma de grandes errores.

Es por consiguiente que todos los programas de exploración geoquímica incluyen procedimientos efectivos de control de calidad que permiten descubrir los problemas potenciales y corregirlos.



La fiabilidad de los datos geoquímicos es evaluada en términos de exactitud y precisión, la exactitud es una medida de cómo el valor determinado es verdadero y es dependiente en azar y en error sistemático. Por otro lado la precisión es una medida de reproducibilidad de las determinaciones analíticas y se relaciona exclusivamente al error aleatorio (Lloyd, 1998).

2.11. RECURSOS MINERALES

Un recurso mineral es una concentración u ocurrencia de material sólido de interés económico dentro o sobre la corteza terrestre en tal forma, ley (o calidad) y cantidad que hay expectativas razonables para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, ley (o calidad), continuidad y otras características geológicas de un recurso mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencia y conocimiento geológico específico, incluyendo muestreo. Los recursos minerales se subdividen en orden de creciente confianza geológica en las categorías inferido, indicado y medido. (JORC, 2012)

2.11.1. Recurso Mineral Inferido

Un recurso Mineral inferido es aquella parte de un recurso Mineral en la que la cantidad y ley (o calidad) se estima sobre la base de evidencia geológica y muestreo limitados. La evidencia geológica es suficiente para suponer pero no verificar la continuidad geológica y de ley (o calidad). Se basa en información de exploración, muestreo y pruebas recogidas a través de técnicas apropiadas de ubicaciones tales como afloramientos, trincheras y labores. (JORC, 2012).

Un recurso Mineral inferido tiene un nivel de confianza más bajo que el que se aplica a un recurso Mineral Indicado y no se debe convertir a reserva de mena. Es razonable esperar que la mayoría de los Recursos Minerales Inferidos pudieran ser



elevados a la categoría de recursos Minerales Indicados como resultado de exploración continuada.

2.11.2. Determinación de Recursos Potenciales Inferido por método convencional

En el cálculo de los recursos potenciales de un determinado depósito mineral, una de las formulas ampliamente usadas es:

$$T = A \times BD \times Th \times Fc$$

Donde:

T: Cantidad de recursos (toneladas)

A: Área de influencia de una sección

BD: Densidad del material en el macizo

Th: Espesor del depósito en esa área de influencia (metros).

Fc: Factor de castigo

El área de influencia se obtiene de un plano o sección del depósito geológicamente definido. Los métodos convencionales habitualmente usados son: contornos de espesor, contruidos manualmente sobre plano, polígono, triangulo, secciones o una malla aleatoria. La elección de cada método dependerá de la forma, dimensiones y complejidad del depósito mineral y del tipo, dimensiones y patrón de muestreo. (Alfaro, 2007)

2.11.3. Magmatismo

El origen de un yacimiento magmático está condicionado a una serie de condiciones favorables que son parte de eventos petrogenéticos, los cuales dejan su firma característica en el magmatismo generado, la característica de la zona de estudio es



principalmente la evolución por fraccionamiento y/o contaminación, además se tiene un patrón subparalelo al intrusivo de la Superunidad Linga (Batolito de la Costa), lo que indica que el fraccionamiento fue predominante a la generación de los magmas. Estos magmas se generaron en una corteza más delgada que la Superunidad Linga, ocasionando un ascenso mediante sistemas de fallas corticales, los sistemas de fallas facilitaron el espacio para albergar depósitos minerales.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación del proyecto

El proyecto Alexander 9 K está ubicado en la costa sur del Perú, aproximadamente a 150km al sur de la ciudad de Nazca y a 530 km de la ciudad de Lima. La coordenada UTM (WGS 84 - Zona 18L) del punto central es 8 321000N - 536 000E. Políticamente está ubicada en el distrito de Bella Unión, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa. Geográficamente se localiza en el cuadrángulo de Acarí (31 n), a una altura promedio de 500 msnm. (**Ver Anexos: Mapa de Ubicación**).

Tabla 1
Tabla de Ubicación

| UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL PROYECTO | |
|--|---------|
| NORTE: | 8321000 |
| ESTE: | 536000 |
| ZONA: | 18 S |
| ALTITUD: | 1500 |
| DATUM: | WGS 84 |

Elaboración propia

3.1.2. Accesibilidad

El acceso al proyecto Alexander 9K se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Lima según el siguiente itinerario.

Tabla 2
Accesibilidad al proyecto Alexander 9K

| Trayecto | Km | Tiempo | Carretera | Estado |
|-----------------------------------|-----|------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Lima- Nazca | 450 | 07:20 Hrs sur | Panamericana | Asfaltada |
| Nazca- desvió | 46 | 00:30 Hrs sur | Panamericana | Asfaltada |
| Desvio- Proy. Alexander 9K. | 100 | 01:30 Hrs | Acceso al proyecto Alexander 9K | Trocha afirmada |

Elaboración Propia

3.1.3. Clima

El área de estudio presenta un clima desierto, caracterizado por ser de tipo árido y semi Cálido con bajas precipitaciones y temperaturas medias; ésta característica ecológica abarca desde el litoral costero hasta los 1000 msnm. La humedad relativa y la temperatura media anual se encuentran alrededor de 70% y 25 °C respectivamente.

Durante invierno y primavera las zonas con altitudes mayores a 500 msnm, están cubiertas por neblinas intensas, lo cual permite el desarrollo de las llamadas “lomas”, y así favoreciendo un eventual desarrollo de vegetación.

3.1.4. Flora y fauna

La vegetación en la zona de estudio es muy escasa, sin embargo hay presencia de vegetación típica de la zona desértica como por ejemplo: el molle, huarangos, chilcos y cactus. En cuanto a la fauna se tiene lagartijas, zorros, buitres, gallinazos, entre otros.



3.1.5. Estratigrafía Local

3.1.5.1. Grupo Yura

- **Formación labra (Js-La)**

Pertenece al grupo Yura, se encuentra suprayacendo a la formación cachíos e infrayaciendo a la formación Gramadal inicialmente fue estudiada por (Jenks, 1945). Esta unidad se encuentra distribuida en la parte NE del proyecto, constituida por areniscas cuarzosas gris claras a blanquecinas y violáceas en paquetes medianos a gruesos, con intercalaciones delgadas de limolitas y lutitas gris violáceas y blanquecinas finamente laminadas en la base de la sección. (Arcos & Calderon, 2017)

Su constitución litológica consta hacia la parte inferior es de areniscas, areniscas cuarcíticas de grano fino a medio, de color gris blanquecinas en superficie fresca, y de color amarillo rojizo en superficie intemperizada, se presentan en bancos de hasta 2.0 m de potencia, es de estratificación cruzada, y con presencia de restos de plantas, los granos son bien seleccionados, son de cuarzo detrítico de forma redondeada, con poco contenido de granos de feldespato. En algunos sectores presenta areniscas interestratificadas con lutitas gris oscuras a gris claras.

De acuerdo a su posición estratigráfica y la presencia de fósiles determinados por (Vargas, 1978). Se le asigna una edad Kimeridgiano-Neocomiano.

3.1.5.2. Batolito de la Costa

- **Superunidad Linga - Monzonita (Ks-li/mz)**

La súper unidad Linga, después de los gabros y gabrodioritas primarias, corresponde a los emplazamientos más antiguos del Segmento Arequipa, en el área de estudio están bien expuestos desde el cuadrángulo de Chala hasta el cuadrángulo de Jaquí. La litología predominante de la Súper-unidad es la monzonita, pero tiene variaciones



internas, aun con contactos definidos y discordantes entre el monzogabro, monzodiorita, tonalita, granodiorita; presenta las siguientes características texturales (Agar, 1985); tamaño granular variable, plagioclasas tabulares verde pálidas, hornblenda anhedral, poca biotita, y feldespatos potásicos rojos.

Edad de emplazamiento: La Super-unidad Linga corresponde a las intrusiones más antiguas del segmento Arequipa. Las dataciones radiométricas indican una edad de emplazamiento de 97 MA. (Cobbing, 1978), por tanto, la edad de intrusión fue desde Cretáceo inferior hasta superior.

- **Superunidad Tiabaya - Granodiorita Tiabaya (Ks-Ti/to-gd)**

Definidas como un cuerpo intrusivo de orientación NW-SE, la cual intruye al complejo Granodiorita-Tonalita Incahuasi. Su composición varía de tonalita potásica a granodiorita, en superficie es de color gris rojiza, de grano medio, inequigranular, con una composición estimada de plagioclasa (50%), cuarzo (30%), hornblenda (10%), biotita (5%) y otros (5%). (Acosta J., 2006), han definido a esta Superunidad en el cuadrángulo de Caravelí (32p-II) como un complejo de rocas tonalíticas-granodioríticas y monzodioríticas con cristales bien desarrollados de hornblenda.

Determinaron mediante el método de K-Ar que la Superunidad Tiabaya, en general, tiene una edad de 80 M.A. Por otro lado, hasta que estudios detallados sean realizados en esta Superunidad, se considera prudente tomar como referencia las dataciones de (Cobbing, 1978).

3.1.5.3. Grupo Nazca

Litológicamente, el Grupo Nazca está constituido por tobas blanco-amarillentas y en parte rosadas de grano medio a grueso y composición riolítica, dacítica en bancos gruesos con marcada disyunción columnar. Las edades radiométricas de 22.4, 20.5, 23.2,



y 18.7 Ma, permiten ubicar a esta secuencia en el Mioceno temprano, de esta manera, cronológicamente es más antigua que la Formación Caudalosa y más joven que el Grupo Castrovirreyna o su equivalente Tacaza. En la zona de estudio se encuentran como aglomerados volcánicos caóticos y tobas de cristales blanquecinos. (Acosta, Rodríguez , Flores , & Huanacuni , 2011).

- **Sección Inferior (Nm-na/agl)**

Compuesta por conglomerados basales polimícticos gris claros subredondeados en una matriz arenosa tobácea. Los clastos son de naturaleza volcánica, intrusiva y cuarcítica a los que suprayace una secuencia de areniscas volcánicas blanquecinas de grano fino a medio mal clasificados en estratos delgados a medianos. (De la Cruz, 2003)

- **Sección Superior (Nm-na/tbk).**

Representada por una toba cristalolítica gris clara, con predominio de cristales de plagioclasa y de biotita alterada. Se observan niveles restringidos de tobas de cristales de color púrpura con tonos blanquecinos a rosáceos. (De la Cruz, 2003)

3.1.5.4. Depósitos Recientes

- **Depósitos Coluviales (Qh-co)**

Representan los materiales que se ubican en las diferentes laderas adenañas a los cursos fluviales, son materiales incoherentes mal seleccionados de matriz limo – arenosa y con clastos subangulosos. (De la Cruz, 2003)

- **Depósitos eólicos (Qh-e)**

Son acumulaciones de arena depositados por el viento sobre las extensas planicies que conforman la penillanura costera. Ocurren como mantos de arena de unos pocos metros de espesor o como dunas tipo barján, aisladas, sobrepuestas o alineadas, en

constante migración, describiendo ondulaciones locales. Las arenas son de grano medio a grueso y de color gris oscuro por su contenido de minerales ferromagnesianos o arenas finas cuarzosas de color más claro y de mayor movilidad. En el área donde se desarrollará el proyecto, esta unidad litológica se desarrolla en la extensa planicie, distribuida mayormente en la parte norte y este del área de estudio.

La cubierta eólica en el cual las arenas están depositadas a una altura de 1800 msnm. Estas arenas eólicas son de composición cuarzosas, con regular contenido de ferromagnesianos. (De la Cruz, 2003). (Ver Anexos: *Mapa Geológico Proyecto Alexander 9K*).

| ERATEMA | SISTEMA | SERIE | Unidades litológicas | | | DESCRIPCION |
|-----------|-------------|----------|----------------------|----------------------|-----------|---|
| CENOZOICA | Cuaternario | Holocena | Depósitos recientes | Depósitos Eólicos | Qh-e | Arenas cuarzosas de grano medio a fino depósitos eólicos. |
| | | | | Depósitos Coluviales | Qh-co | Depósitos de bloques mal clasificados en matriz limo arcillosa |
| | Neogeno | Miocena | Grupo Nazca | Tobas | Nm-na/tbk | Tobas de cristales blanquecino |
| | | | | Aglomerados | Nm-na/agl | Aglomerados Volcánicos Caóticos |
| MESOZOICA | Cretácico | Superior | Batolito de la Costa | Super-unidad Tiabaya | Ks-ti/gd | Granodiorita |
| | | | | Super-unidad Linga | Ks-li/mz | Monzonita |
| | Jurásico | Superior | Grupo Yura | Formacion Labra | Js/La | Areniscas cuarzosas grises en estratos tabulares intercalados con limo arcillas |

Figura 8: Columna estratigráfica Local

Fuente: Elaboración propia

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos utilizados para el presente trabajo se dividen en tres grupos, 1) humano, 2) equipos e instrumentos y 3) materiales de escritorio, los cuales son presentados en el siguiente cuadro.

Tabla 3
Materiales y Equipos

| RECURSOS | | | | |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| HUMANOS | EQUIPOS E INSTRUMENTOS | MARCA y/o MODELO | MATERIAL DE ESCRITORIO | MARCA y/o MODELO |
| Geólogo (1) | GPS (2) | GARMIN | Laptop (2) | Toshiba/Lenovo |
| Asistente (1) | Brújula (2) | BRUNTON | Impresora (1) | Epson L4150 |
| Chofer (1) | Picota (2) | Estwing E3-22P 22oz | Protactor (2) | Westcott |
| Muestreros (5) | Lupa 20X (2) | Iwamoto acromatic | Escalímetro (2) | General |
| Alimentación | Lupa 10X (2) | 10x Bausch y Lomb | Tablero de campo (2) | Mínex |
| Agua | Libreta de campo (2) | Rite in the Rain | Lápices de color (12) | Faber Castell |
| | Lápiz de dureza (2) | General USA | | |
| | Cámara fotográfica (1) | Canon G9X | | |
| | EPP | MSA the Safety Company | | |
| | Bolsa de muestreo (350) | Mínex | | |
| | Precinto (350) | General | | |
| | Saquillo (35) | Metálico | | |
| | Camioneta 4X4 (1) | Ford Ranger 2017 | | |
| | Comba (5) | Truper de 4 libras | | |
| | Cinzel (5) | General | | |

Fuente: elaboración propia

3.3. METODOLOGIA DE TRABAJO

En este capítulo se describen técnicas empleadas para realizar la investigación.

Donde se llevó a cabo un cartografiado geológico a escala 1:5000, se recopilieron datos estructurales como Az, Bz, Pitch, también se realizó el muestreo geoquímico en vetas.

La metodología para el presente trabajo de investigación, es de carácter cualitativo y cuantitativo, con un alcance descriptivo, explicativo; (Hernandez, 2014), todo ello mediante la recopilación, procesamiento e interpretación de datos. Los trabajos en general se realizaron en tres etapas, las cuales son:

3.3.1. Trabajos de Gabinete previos a la etapa de campo

Esta primera etapa se realizó en el mes de Junio del año 2018, en la ciudad de Nazca y en el proyecto Alexander 9K.

Se hizo una recopilación y análisis de información geológica existente de la zona. Ésta información fue adquirida de libros, reportes, informes y tesis, de instituciones como INGEMMET, Sociedad Geológica del Perú, entre otros. Se elaboró mapas base a partir de imágenes satelitales para el mapeo geológico, a una escala 1/5000, utilizando el software Arcgis y Google Earth. Para la obtención de curvas topográficas se utilizó información de MINAM (Imágenes Áster). Para posteriormente procesarlas en el software Geológico ArcGis. Una vez sistematizado los mapas base, se planificaron los tiempos de trabajo para el reconocimiento geológico de la zona y se ubicaron zonas probables de muestreo.

Tratamiento de imágenes satelitales: Los mapas base fueron procesados en el software ArcGIS, a partir de imágenes satelitales de Google Earth, debido al gran extensión de área, se dividió la zona en 10 hojas de mapeo. A una escala de 1:5000.

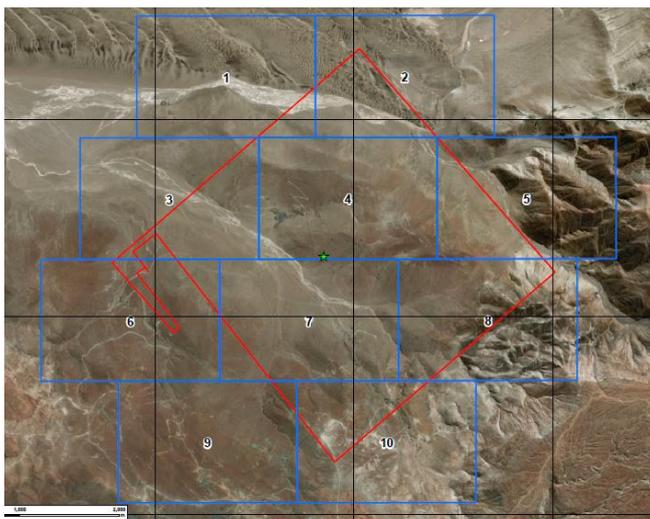


Figura 9: Mapa base para cartografiado Geologico

Fuente: elaboración propia a partir de imágenes satelitales

- ***Creación de Curvas Topográficas***

Se descargó una imagen Áster de la página web MINAM, especificando la ubicación del proyecto Alexander, de código (ASTGTM_S16W075_dem). Después se transformó la imagen a curvas de nivel usando la extensión ArcTool Box de Arcgis.

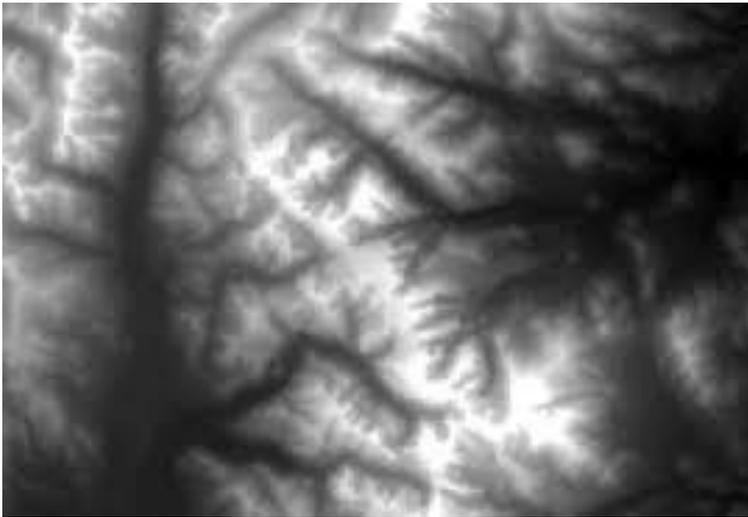


Figura 10: Imagen Raster para crear curvas de nivel

Fuente: MINAM

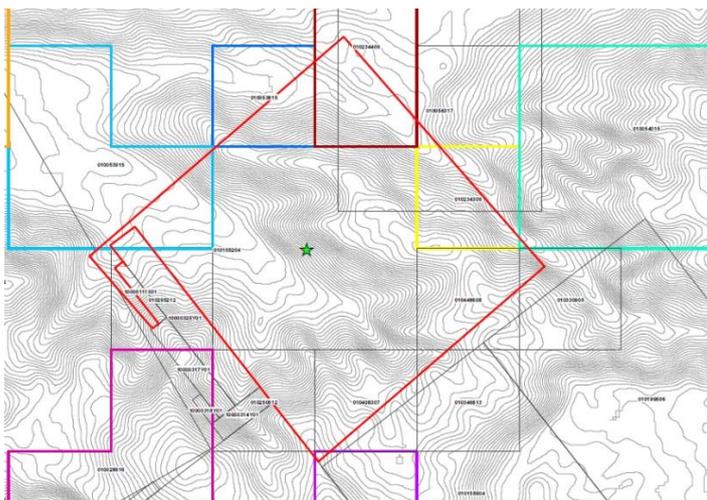


Figura 11: Curvas Topográficas, visualizando los polígonos de concesiones

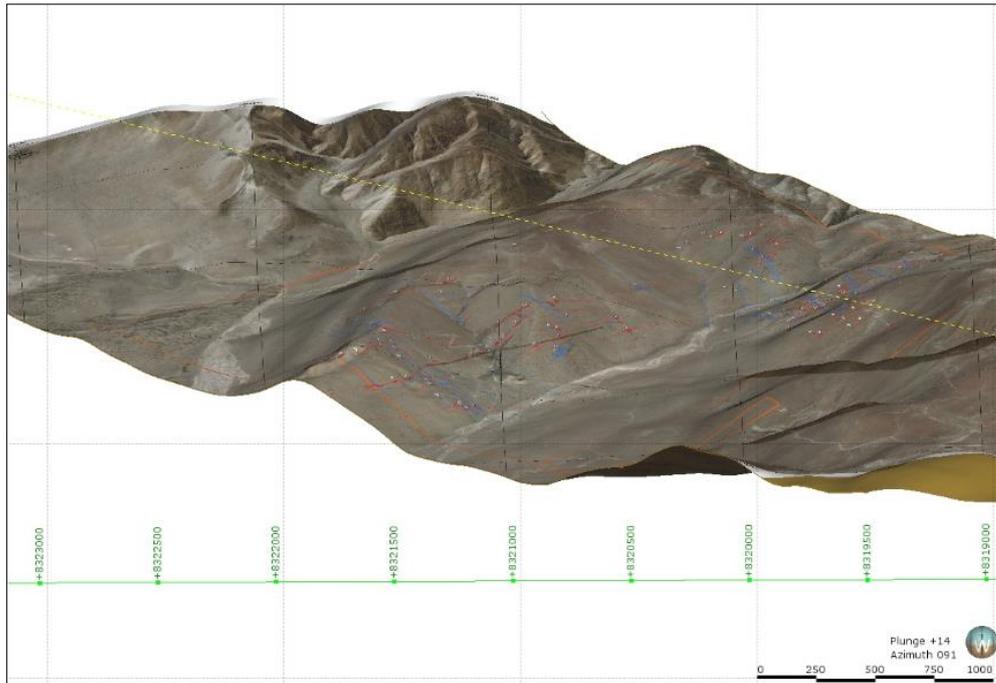


Figura 12: Topografía Superficial 3D

Fuente: Elaboracion propia

3.3.2. Trabajos de Campo

Esta etapa comprende los trabajos realizados entre Julio y Agosto del 2018, en el área del Proyecto Alexander 9K.

Se realizó un cartografiado del sistema de vetas y características estructurales

3.3.2.1. Cartografiado Geológico

Los puntos de observación fueron descritos y ploteados en el mapa base, los datos fueron recolectados usando brújula y GPS, los datos recolectados son los siguientes: Azimut, Buzamiento, Pitch. La caracterización mineralógica y litológica fue descrita en la libreta geológica, las fallas y vetas fueron esquematizadas en el mapa base.

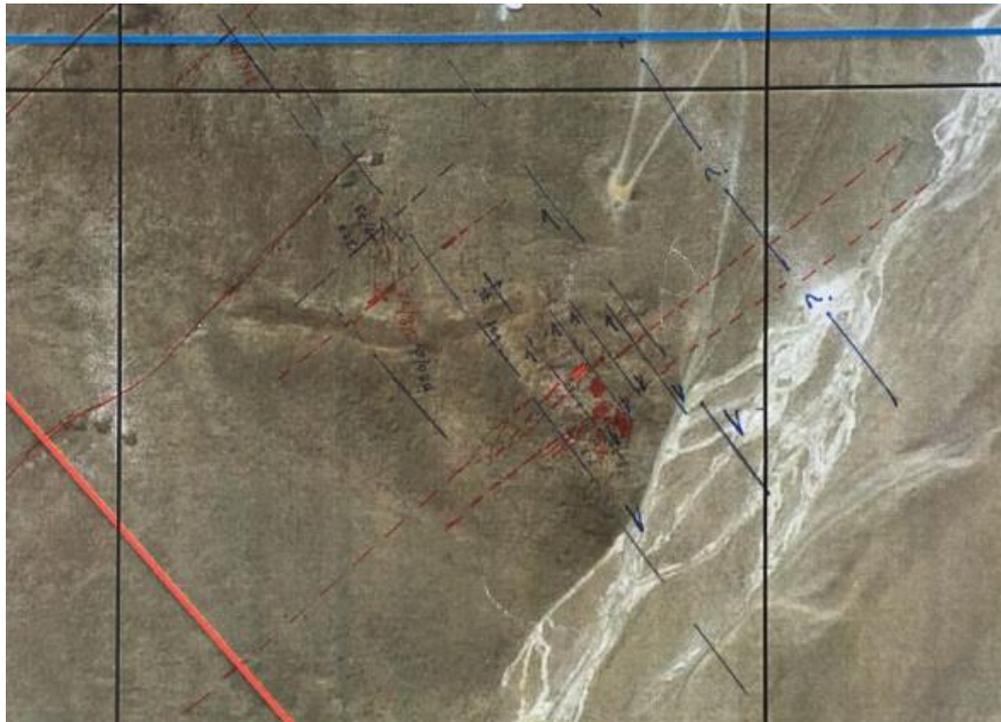


Figura 13: Cartografiado Geológico correspondiente a la hoja 3

Elaboracion propia

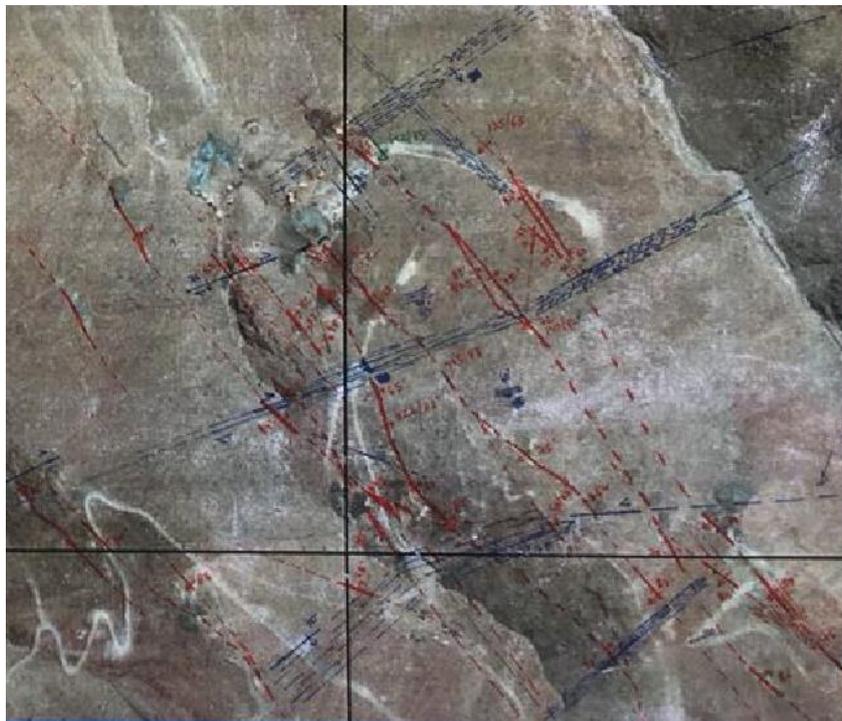


Figura 14: Cartografiado Geológica correspondiente a la hoja 4

Fuente: Elaboracion propia

3.3.2.2. Muestreo Geológico

El muestreo geológico se realizó tanto en superficie como en interior mina, obteniendo en total 302 muestras incluyendo muestras gemelas con un peso promedio de 3kg a 5kg. En interior mina se recolectaron 135 muestras de 107 canales distribuidos sistemáticamente cada 5m y en superficie se recolectaron 157 muestras de 147 canales distribuidos aleatoriamente dentro del entorno de estudio.



Figura 15: muestras embolsadas para su traslado de campo hacia el almacén

Fuente: Fotografía tomada en el proyecto Alexander 9K

Para realizar la extracción de muestras se contó con la ayuda de 5 obreros autorizados por el dueño de la empresa, éstos obreros fueron capacitados en temas de muestreo desde la limpieza de los canales, la cantidad y tamaño de muestra a extraer, el uso de herramientas y el cuidado de las muestras durante su traslado. (**Ver Anexos: Código de Muestras Ubicadas en cada saco**).



Figura 16: Fotografía junto a los muestreros que apoyaron en el presente trabajo.

Fuente: propia

3.3.2.3. Aseguramiento y Control de calidad (QA/QC)

Para dar confiabilidad a los datos obtenidos durante el muestreo y validar los resultados de laboratorio se utilizaron muestras de control certificadas con valores de elementos conocidos y muestras gemelas o duplicadas de un mismo lugar obtenidas en campo.

- **Precisión:** Para determinar el grado de precisión se introdujo 10 muestras duplicadas o gemelas, las cuales fueron recolectadas en campo. Estas muestras fueron tomadas para controlar la efectividad del muestreo, primero se tomó la muestra original, luego en el mismo punto se tomó la muestra gemela. A continuación se presentan datos de los elementos Cu, Fe y Ag



Tabla 4
Muestras para tomar control de duplicado o gemelas

| SAMPLE | COD | Wgt_Kg | Cu_ppm | Ag_ppm | Fe_% | Cu_% |
|-----------|----------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 201806027 | ORIGINAL | 5.66 | 47290 | 9 | 23.47 | 4.729 |
| 201806048 | ORIGINAL | 6.21 | 10940 | 1.4 | 8.02 | 1.094 |
| 201806062 | ORIGINAL | 3.97 | 8167 | 0.7 | 13.49 | 0.8167 |
| 201806112 | ORIGINAL | 3.87 | 52000 | 0.5 | 12.43 | 5.2 |
| 201806146 | ORIGINAL | 4.79 | 11370 | 0.7 | 18.41 | 1.137 |
| 201806168 | ORIGINAL | 2.93 | 4041 | 0.2 | 30.4 | 0.4041 |
| 201806188 | ORIGINAL | 2.78 | 3782 | 0.1 | 9.06 | 0.3782 |
| 201806209 | ORIGINAL | 3.98 | 10890 | 0.5 | 9.22 | 1.089 |
| 201806286 | ORIGINAL | 3.88 | 63390 | 11.3 | 21.8 | 6.339 |
| 201806332 | ORIGINAL | 2.75 | 11460 | 0.2 | 5.42 | 1.146 |

• Fuente: Elaboración propia a partir de leyes geoquímicas

•

Tabla 5
Muestras de control duplicadas o gemelas

| SAMPLE | COD | Wgt_Kg | Cu_ppm | Ag_ppm | Fe_% | Cu_% |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 201806028 | GEMELA | 5.37 | 46490 | 8.3 | 22.61 | 4.649 |
| 201806049 | GEMELA | 5.08 | 13050 | 2 | 9.35 | 1.305 |
| 201806063 | GEMELA | 3.93 | 8081 | 0.8 | 13.34 | 0.8081 |
| 201806113 | GEMELA | 4.15 | 35380 | 0.5 | 13.5 | 3.538 |
| 201806147 | GEMELA | 4.21 | 8333 | 0.6 | 17.45 | 0.8333 |
| 201806169 | GEMELA | 3.83 | 5438 | 0.3 | 29.81 | 0.5438 |
| 201806189 | GEMELA | 3.6 | 4280 | 0.2 | 7.52 | 0.428 |
| 201806210 | GEMELA | 3.56 | 6630 | 0.7 | 8.14 | 0.663 |
| 201806287 | GEMELA | 3.15 | 98870 | 21.2 | 18.38 | 9.887 |
| 201806333 | GEMELA | 3.12 | 14030 | 0.1 | 4.95 | 1.403 |

Fuente: Elaboración propia a partir de leyes geoquímicas

Finalmente los resultados muestran una efectividad en la etapa de muestreo.

Ejemplo se muestra el cuadro de precisión para el % de Cu, donde las leyes

geoquímicas de la muestra gemela o duplicada son iguales o muy cercanas a las leyes de

las muestras originales.

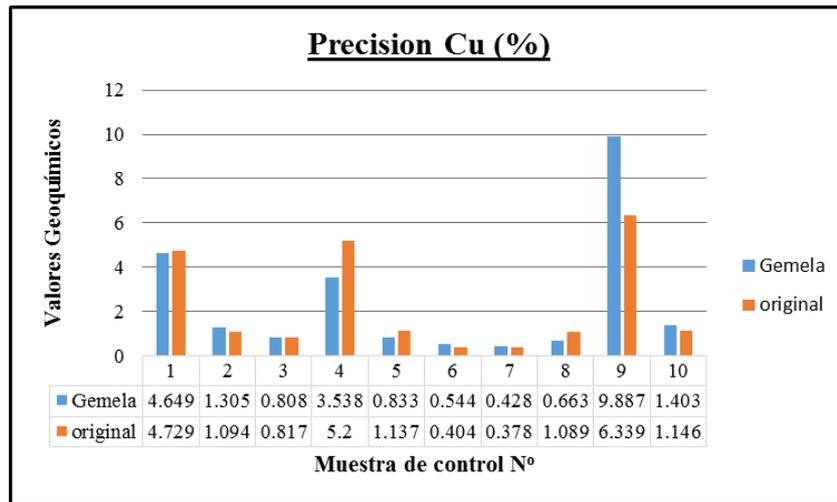


Figura 17: Muestras duplicadas vs originales.

Fuente: Elaboración propia

- **Exactitud:** Para determinar el grado de exactitud se han empleado 10 muestras de estándares altos y 10 muestras de estándares bajos proporcionadas.
- **Contaminación:** Para saber si nuestras muestras han sufrido alguna contaminación se han empleado muestras estériles o blancas que contienen bajos niveles de concentración de elementos, 10 muestras de blanco grueso y 9 muestras de blanco fino.



Figura 18: Código de muestra de control

Finalmente la cantidad de muestras enviadas para análisis geoquímico incluyendo estándares, blancos y gemelas son 341, se almacenaron 10 muestras en un saco minero haciendo un total de 34 sacos.



Figura 19: Muestras almacenadas en sacos para enviar a laboratorio.

Fuente: Propia

3.3.3. Trabajos de gabinete posterior a la etapa de campo

Toda la información recolectada en campo, fue representada en mapas geológico, de alteraciones, estructural, geomorfológico, utilizando un sistema de información geográfica, el mapa fue digitalizado sobre la base de la imagen satelital georreferenciada.

3.3.3.1. Análisis Estructural

El Análisis estructural se realizó dividiendo el área del proyecto en 4 zonas de mayor importancia económica; Zona A, Zona B, Zona C y Zona D, en cada zona se hizo interpretación según el modelo de Riedel y análisis cinemático de esfuerzos de Anderson, finalmente con estos resultados se obtuvo el modelo estructural de todo el proyecto Alexander 9K.

Con los datos estructurales Buzamiento (DIP) y dirección de Buzamiento (DIP DIR) se hizo la distribución de datos en la red estereográfica del software Dips, obteniendo como resultado la orientación de polos y planos principales; también se tuvo



como resultado las orientaciones principales, representadas en el diagrama de rosas como agrupaciones de datos.

Para el análisis cinemático de fallas (Rumbo, Normal, Inversa), en cada zona, se utilizó el software estructural faultkin con la finalidad de determinar la dirección de esfuerzos (σ_1 y σ_3). Las mediciones estructurales ploteados en el software son: Azimut (AZ), Buzamiento (BZ), Pitch, Dirección de Movimiento (DIR MOV).

3.3.3.2. *Caracterización Mineralógica y Mineragráfica*

En esta etapa se identificó la paragénesis y zoneamiento vertical del proyecto, en base a muestras de mineral tomadas en campo y secciones delgadas analizadas en el laboratorio de INGEMMET.

Las muestras macroscópicas recolectadas en superficie e Interior mina, fueron identificadas por el color, raya, brillo y dureza; para el análisis microscópico, se envió una muestra representativa al laboratorio de INGEMMET; con esta información de minerales, se hizo una comparación con el “Modelo de zonación de alteración en yacimientos IOCG” (Hitzman, Oreskes, & Eunadi, 1992); también se pudo definir la secuencia paragenética de los minerales.

3.3.3.3. *Estimación de recursos Inferidos _ veta Argentina*

- **Análisis Multielemental**

Los análisis geoquímicos de las 341 muestras fueron realizados en el laboratorio **Inspectorate Services Perú S.A.C.**, se realizó un análisis de 44 elementos por ICP-OES Digestión regia en muestras de Exploración Geoquímica (AR301_CLL). Aquellos elementos que superaron los límites de detección del método AR301_CLL como el caso del Cobre, fueron analizados por digestión agua regia y finalización absorción atómica (2-ACID/AA). Nivel Mena. (**Ver Anexos: Presupuesto Inspectorate Perú Service SAC**).



La información obtenida por laboratorio fue procesada en el software EXCEL, expresándolo en leyes (ppm), se utilizaron datos geoquímicos de 292 muestras sin contar las que utilizamos como muestras de control.

Para la estimación de recursos minerales inferidos en la veta Argentina, se elaboró una sección longitudinal, en la cual se tienen identificados 4 clavos mineralizados.

Con la siguiente formula, se determina la cantidad de toneladas de mineral:

$$Tm = \text{Largo} \times \text{Altura} \times \text{Densidad} \times \text{Potencia} \times \text{Factor cast.}$$

El porcentaje de leyes se obtiene de la SUMAPRODUCTO de las Leyes dividido entre la longitud total de las muestras, estas muestras se recolectaron dentro de los bloques elegidos.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANALISIS ESTRUCTURAL

Las principales estructuras mineralizadas en el Proyecto Alexander 9K, están emplazadas en un lineamiento NO – SE con buzamiento de alto ángulo hacia el NE, estos fueron los conductos para los fluidos mineralizantes.

En base al Análisis estructural del proyecto Alexander 9K se determina un modelo estructural, que podrá ser aplicado a nivel local y regional.

4.1.1. Metodología del Análisis

El Análisis estructural se realizó dividiendo el área del proyecto en 4 zonas de mayor importancia económica; Zona A, Zona B, Zona C y Zona D cada zona con su interpretación según Riedel, finalmente con estos resultados se obtuvo el modelo estructural de todo el proyecto Alexander 9K.

4.1.2. Recopilación de Datos

Los datos estructurales tomados en campo fueron reconocidos en vetas, fallas, planos de falla, fracturas y venillas. Estos datos fueron procesados en el software Dips para generar diagrama de distribución de polos y planos, diagrama de rosas que sirvió en la interpretación del sistema Riedel.

Se elaboró una tabla Excel la cual contiene azimut, buzamiento, dirección de buzamiento y coordenadas geográficas Este y Norte con sistema WGS 84. En las zonas donde se encontró estrías de falla se determinó la dirección de movimiento (Dextral/sinestral)

4.1.3. Análisis Estructural Zona 1

Las estructuras principales son veta A, veta B(Argentina) , veta C, Veta D, veta G y fallas acompañada de fracturamientos.

4.1.3.1. Distribución y representación gráfica de datos

Con los datos estructurales Buzamiento (DIP) y dirección de Buzamiento (DIP DIR) se realizó su distribución de datos en la red estereográfica del software Dips, obteniendo como resultado la orientación de polos y planos principales; también se tuvo como resultado las orientaciones principales, representadas en el diagrama de rosas como agrupaciones de datos. *(Ver Anexos: Data procesada para el análisis Estructural por zonas).*

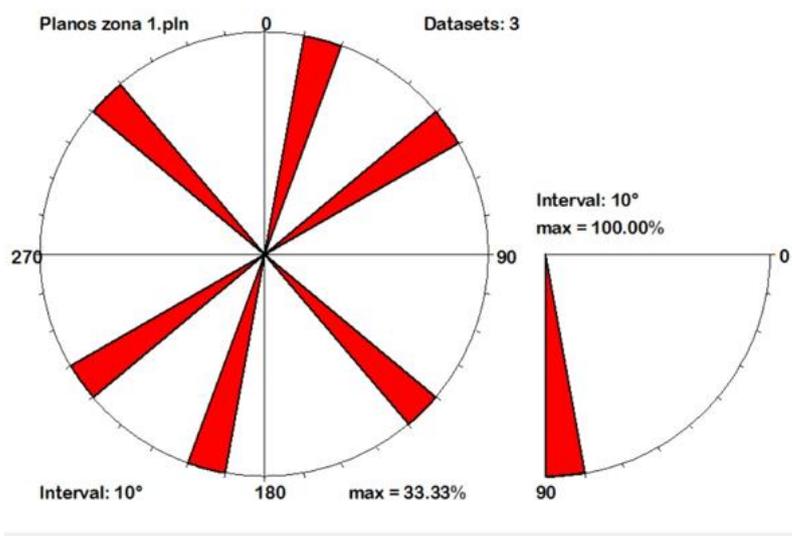


Figura 20: Distribución de datos de azimut en diagrama de rosas - zona 1.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2. Análisis Cinemático de Esfuerzos zona 1

Este análisis se basa en el estudio del movimiento de fallas (Rumbo, Normal, Inversa), para este caso de la zona 1 se tomaron datos estructurales de estrías reconocidas en la veta A, fracturamiento cerca a la veta y falla que desplaza a la veta A.

Para tal análisis se usó el software estructural faultkin con la finalidad de determinar la dirección de esfuerzos (σ_1 y σ_3). Las mediciones estructurales ploteados en el software son: Azimut (AZ), Buzamiento (BZ), Pitch, Dirección de Movimiento (DIR MOV) que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6
Data Estructural para Faultkin zona 1

| ID | AZ | BZ | PITCH | DIR MOV | ESTE | NORTE | COTA | ESTRUCTURA |
|----|-----|----|-------|-----------|--------|---------|------|----------------|
| 1 | 315 | 87 | 152 | Sinestral | 534935 | 8321330 | 1502 | Veta A |
| 2 | 015 | 88 | 145 | Sinestral | 535272 | 8321488 | 1611 | Falla |
| 3 | 055 | 82 | 028 | Dextral | 535130 | 8321502 | 1593 | Fracturamiento |

Fuente: Elaboración propia

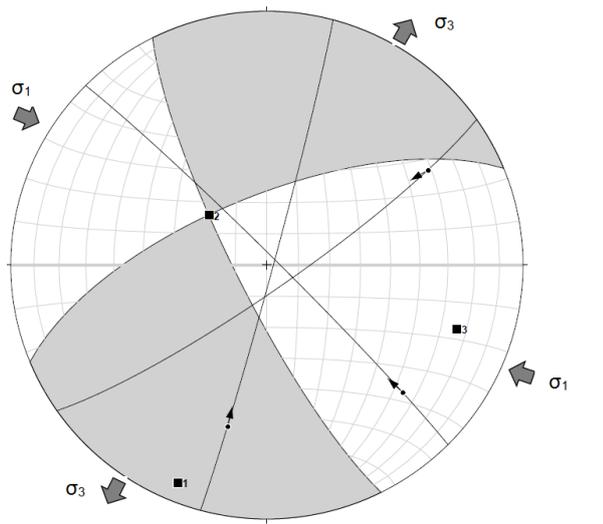


Figura 21: Diagrama de esfuerzos zona 1-Faultkin

Fuente: Elaboración propia

- Fallamiento Compresional (σ_1): Mayor esfuerzo = Vetas principales = Sistema Sinestral
- Fallamiento Tensional (σ_3): Menor esfuerzo = Fallas principales = Sistema Dextral

4.1.3.3. Interpretación

Según la distribución de datos en el diagrama de rosas, las estructuras muestran mayor tendencia en la dirección NW-SE, Azimut 315° el cual es el primer sistema de fracturamiento principal igual que las estructuras mineralizadas, el segundo sistema de fracturamiento es de 55° NE no presenta mineralización; sin embargo desplaza a las vetas principales.

Para esta interpretación se toma como modelo el sistema de fracturamiento de Riedel izquierdo, donde el sentido de movimiento principal es sinistral y la falla tensional es dextral.

SISTEMA I: 315° NE, SISTEMA II: 55° NE

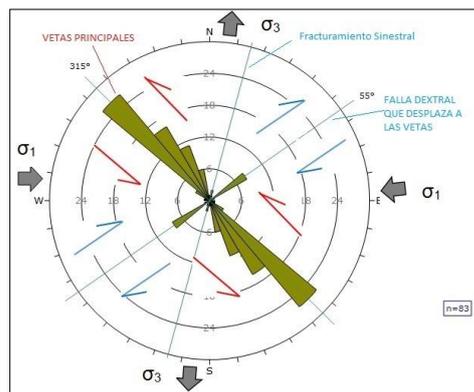


Figura 22: Orientación de los esfuerzos según modelo de Anderson.

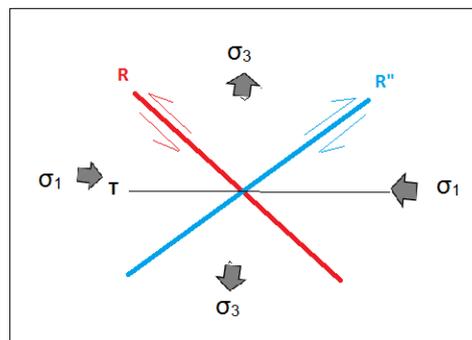


Figura 23: Interpretación con dirección de esfuerzos y tipo de fractura

4.1.4. Análisis Estructural Zona 2

Esta zona 2 está ubicado en el lado NNO del proyecto, las estructuras principales son veta B (Argentina), veta C, veta D, y fallas.

4.1.4.1. Distribución y representación gráfica de datos

A continuación, se muestra la distribución de datos Dip y Dip dir en la red estereográfica del software dips, obteniendo como resultado la orientación de polos y planos principales, también se tuvo como resultado las orientaciones principales, representadas en el diagrama de rosas como agrupaciones de datos.

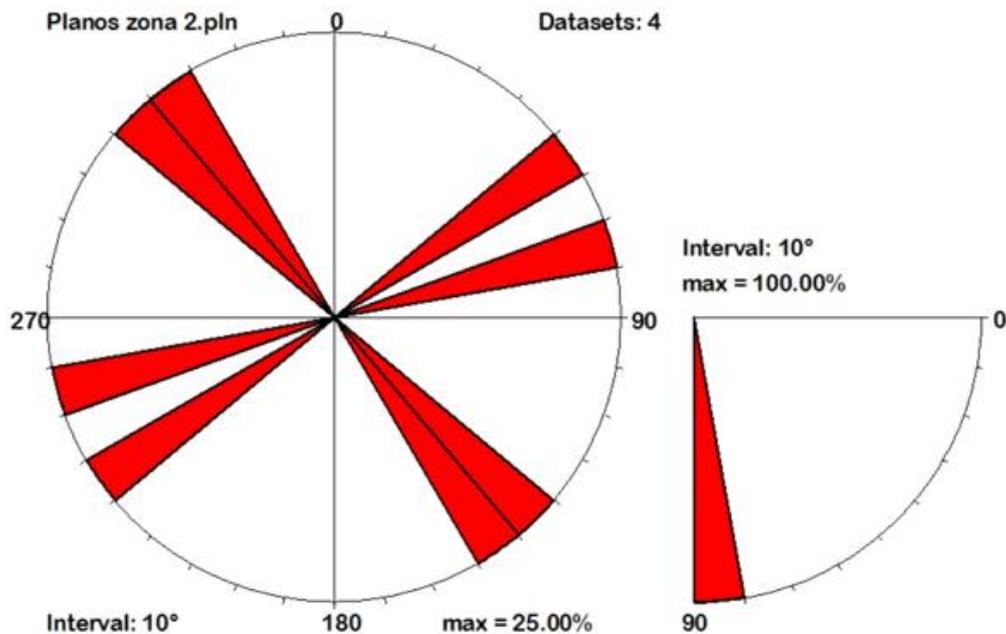


Figura 24: Distribución de datos de azimut - zona 2

Fuente: Elaboración propia

4.1.4.2. Análisis Cinemático de Esfuerzos Zona 2

Para este caso de la zona 2 se tomaron datos estructurales de estrías reconocidas en la veta B, veta C, fracturamiento cerca a la veta y falla que desplaza a las vetas B y C

Tabla 7
Datos estructurales para Faultkin zona 2

| ID | AZ | BZ | PITCH | DIR MOV | ESTE | NORTE | COTA | ESTRUCTURA |
|----|-----|----|-------|-----------|--------|---------|------|--------------------|
| 1 | 315 | 84 | 152 | Sinestral | 535408 | 8321218 | 1517 | Veta B (Argentina) |
| 2 | 325 | 87 | 150 | Sinestral | 535855 | 8320879 | 1657 | Veta C |
| 3 | 054 | 88 | 30 | Dextral | 535665 | 8320916 | 1588 | Fracturamiento |
| 4 | 075 | 80 | 28 | Dextral | 535528 | 8320992 | 1506 | Falla |

Fuente: Elaboración propia

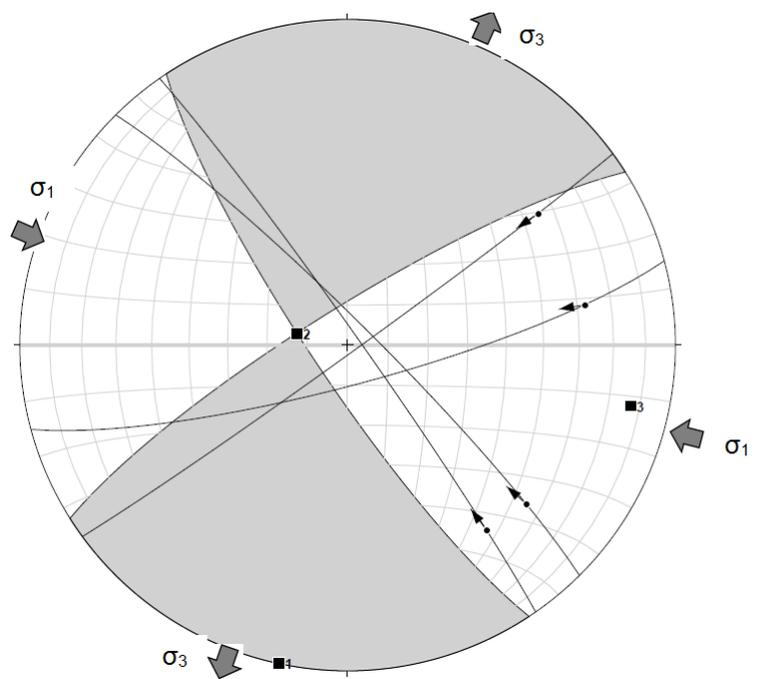


Figura 25: Diagrama de esfuerzos zona 2-Faultkin

Fuente: Elaboración propia

4.1.4.3. Interpretación

Según la distribución de datos en el diagrama de rosas, las estructuras muestran mayor tendencia en la dirección NW-SE, Azimut 315° y NW-SE 325° estos sistemas de fracturamiento son coincidentes con las estructuras mineralizadas, el tercer y cuarto

sistema de fracturamiento tienen dirección NE-SW con azimut 54° 75° , éstos últimos sistemas coinciden con las fallas que desplazan a las vetas principales.

Para esta interpretación se toma como modelo el sistema de fracturamiento de Riedel izquierdo, donde el sentido de movimiento principal es sinestral y la falla tensional es dextral.

SISTEMA I: 315° NE

SISTEMA III: 54° NE

SISTEMA II: 325° NE

SISTEMA IV: 75° NE

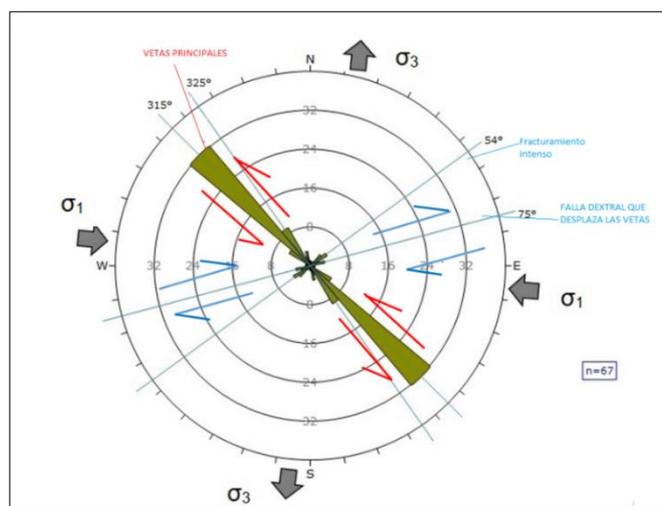


Figura 26: Orientación de esfuerzos según el modelo de Anderson

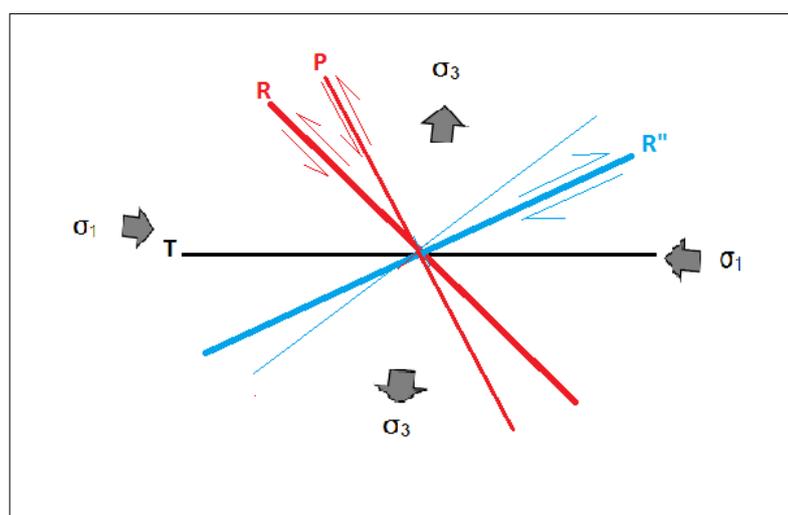


Figura 27: Interpretación con dirección de esfuerzos y tipo de fractura

4.1.5. Análisis Estructural Zona 3

Esta zona se ubica en el lado SSE del proyecto, las estructuras principales son la veta B (Argentina), veta C, venillas y fallas.

4.1.5.1. Distribución y representación Gráfica de datos

A continuación se muestra la distribución de datos Dip y Dip dir en la red estereográfica del software dips, obteniendo como resultado la orientación de polos y planos principales, también se tuvo como resultado las orientaciones principales, representadas en el diagrama de rosas como agrupaciones de datos.

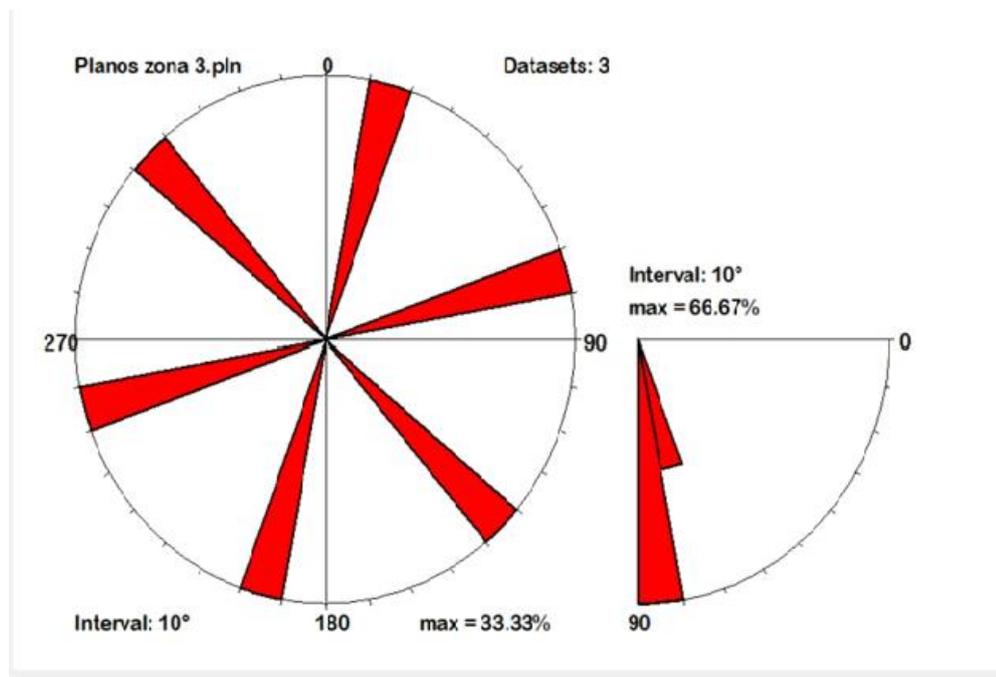


Figura 28: Distribución de datos de azimut - zona 3

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.2. Análisis Cinemático de Esfuerzos zona 3

Para este caso de la zona 3 se tomaron datos estructurales de estrías reconocidas en la veta B, falla desplazada y falla que desplaza a la veta B.

Tabla 8
Datos Estructurales para Faulkin zona 3

| ID | AZ | BZ | PITCH | DIR MOV | ESTE | NORTE | COTA | ESTRUCTURA |
|----|-----|----|-------|------------|--------|---------|------|--------------------|
| 1 | 315 | 87 | 150 | Sinestral | 536390 | 8320037 | 1531 | Veta B (Argentina) |
| 2 | 015 | 75 | 140 | Sinestral | 536213 | 8320330 | 1524 | Falla Desplazada |
| 3 | 075 | 82 | 32 | Dextral | 536372 | 8319965 | 1545 | Falla |

Fuente: Elaboración propia

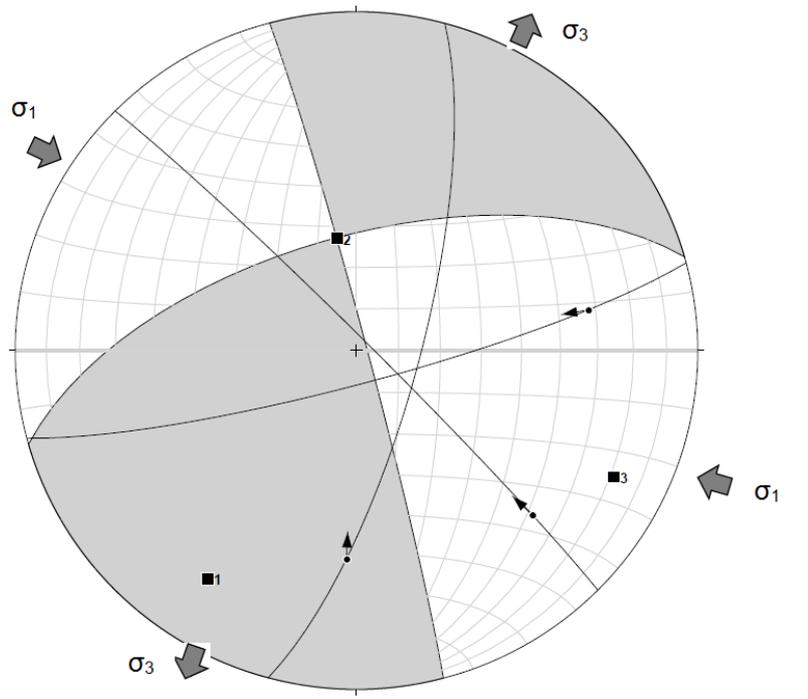


Figura 29: Diagrama de esfuerzos zona 3-Faultkin

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.3. Interpretación

Según la distribución de datos en el diagrama de rosas, las estructuras muestran mayor tendencia en la dirección NW-SE, Azimut 315°, éste sistema de fracturamiento coincide con las estructuras mineralizadas, el segundo sistema de fracturamiento tiene dirección NEE-SWW con azimut 75°, coincidente con las fallas dextrales que desplazan a las vetas; el tercer sistema de fracturamiento tiene dirección NNE-SSW de 15° éste último sistema coincide con los fracturamientos sinestrales.

Para esta interpretación se toma como modelo el sistema de fracturamiento Riedel izquierdo, donde el sentido de movimiento principal es sinistral y la falla tensional es dextral.

SISTEMA I: 315° NE

Sigma 1(σ_1): Mayor esfuerzo

SISTEMA II: 75° NE

Sigma 3(σ_3): Menor esfuerzo SISTEMA III: 15° NE

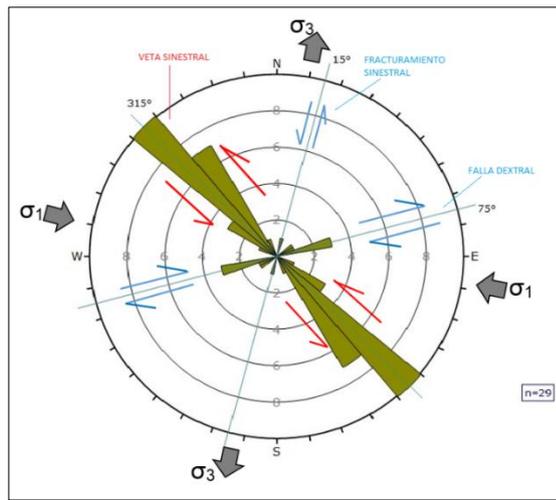


Figura 30: Orientación de esfuerzos según el modelo de Anderson –zona 3.

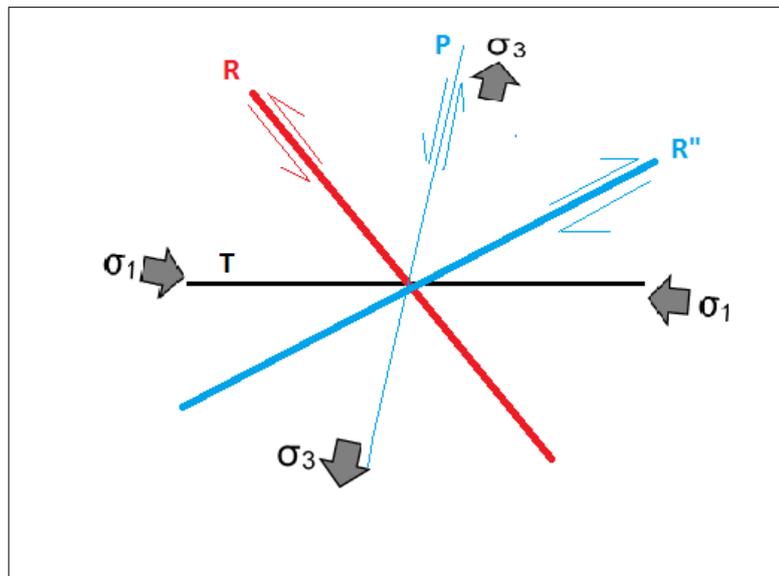


Figura 31: Interpretación con dirección de esfuerzos y tipo de fractura.

4.1.6. Análisis Estructural Zona 4

Esta zona se encuentra en el lado S del proyecto, las estructuras principales son veta E, veta F, Veta G, veta H, veta I, fallas y fracturamientos.

4.1.6.1. Distribución y representación gráfica de datos

A continuación se muestra la distribución de datos Dip y Dip dir en la red estereográfica del software dips, obteniendo como resultado la orientación de polos y planos principales, también se tuvo como resultado las orientaciones principales, representadas en el diagrama de rosas como agrupaciones de datos.

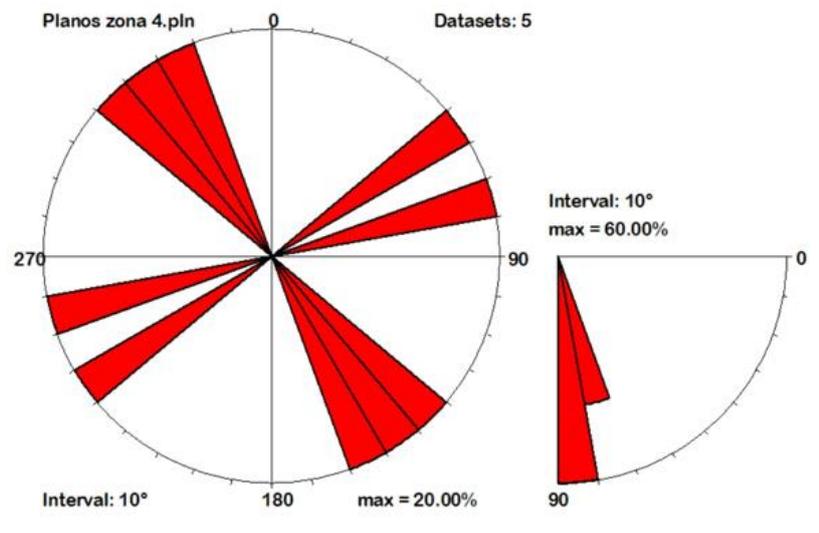


Figura 32: Distribución de datos de azimuth - zona 4

Fuente: Elaboración propia

4.1.6.2. Análisis Cinemático de Esfuerzos zona 4

Para este caso de la zona 4 se tomaron datos estructurales de estrías reconocidas en la veta E,G F, fracturamiento cerca a la veta G y falla que desplaza a la veta G.

Tabla 9
Datos Estructurales para Faultkin zona 4

| ID | AZ | BZ | PITCH | DIR MOV | ESTE | NORTE | COTA | ESTRUCTURA |
|----|-----|----|-------|-----------|--------|---------|------|----------------|
| 1 | 315 | 84 | 149 | Sinistral | 537102 | 8320452 | 1693 | Veta E |
| 2 | 325 | 86 | 148 | Sinistral | 536009 | 8319832 | 1506 | Veta G |
| 3 | 336 | 76 | 146 | Sinistral | 536030 | 8319717 | 1560 | Veta F |
| 4 | 55 | 75 | 28 | Dextral | 536035 | 8319881 | 1498 | Fracturamiento |
| 5 | 75 | 83 | 30 | Dextral | 536062 | 8319727 | 1568 | Falla |

Fuente: *Elaboración propia*

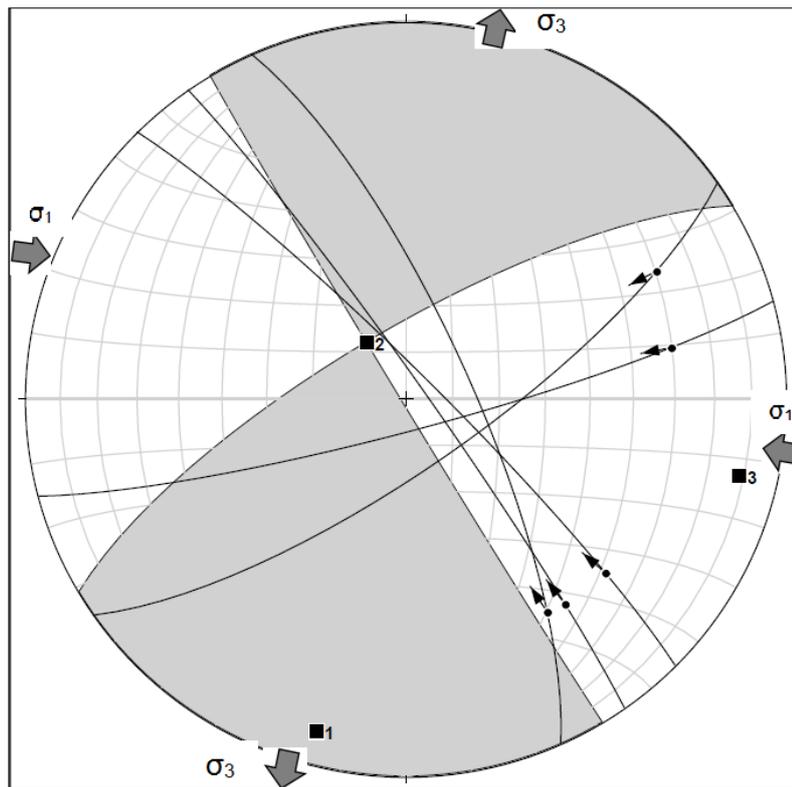


Figura 33: *Diagrama de esfuerzos zona 4-Faultkin*

Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo a los resultados se tiene un fallamiento de desgarre, asociado a un sistema compresional – Extensional, que muestran σ_1 y σ_3 horizontal y σ_2 vertical, esto define:

- Fallamiento Compresional (σ_1): Mayor esfuerzo = Vetas principales = Sistema Sinistral
- Fallamiento Tensional (σ_3): Menor esfuerzo = Vetas principales = Sistema Dextral

4.1.6.3. Interpretación

Según la distribución de datos en el diagrama de rosas, las estructuras muestran mayor tendencia en la dirección NW-SE, Azimut 315°, 325° y 336° estos sistemas de fracturamiento son coincidentes con las estructuras mineralizadas, el cuarto y quinto sistema de fracturamiento tienen dirección NE-SW con azimut 55° y 75°, éstos últimos sistemas coinciden con las fallas que desplazan a las vetas principales.

SISTEMA I: 315° NE

SISTEMA III: 336° NE

SISTEMA IV: 75° NE

SISTEMA II: 325° NE

SISTEMA IV: 55° NE

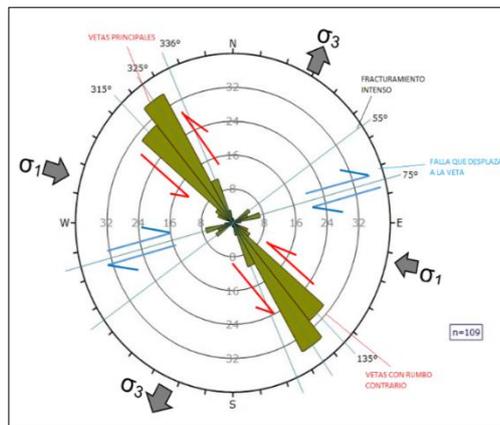


Figura 34: Orientación de esfuerzos según el modelo de Anderson

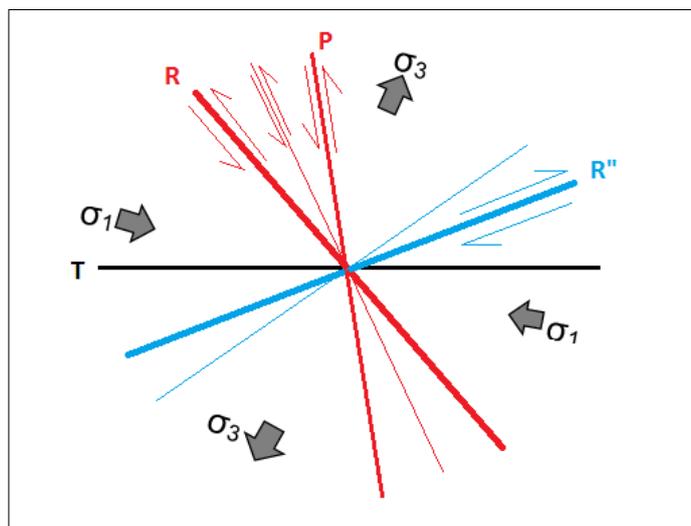


Figura 35: Interpretación con dirección de esfuerzos y tipo de fractura.

4.1.7. Interpretación Estructural de todo el Proyecto Alexander 9K

Para hacer el análisis estructural del Proyecto Alexander 9K, se unen las cuatro zonas para conjugar un solo resultado.

4.1.7.1. Distribución y representación gráfica de datos

A continuación, se muestra la distribución de datos Dip y Dip dir en la red estereográfica del software dips, obteniendo como resultado la orientación de polos y planos principales, también se tuvo como resultado las orientaciones principales, representadas en el diagrama de rosas como agrupaciones de datos.

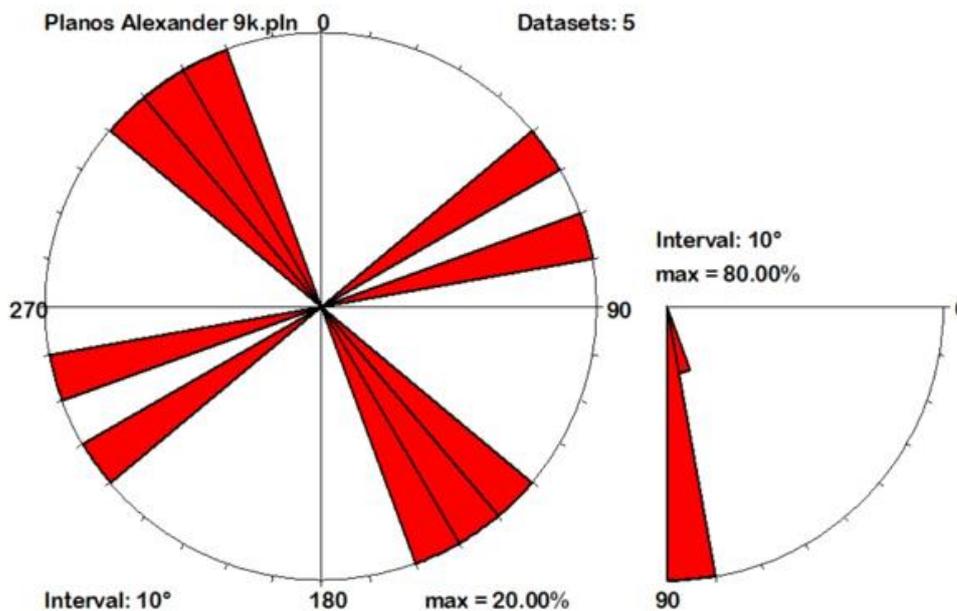


Figura 36: Distribución de datos de azimut - Alexander 9K.

Fuente: Elaboración propia

4.1.7.2. Análisis Cinemático de Esfuerzos Proyecto Alexander 9K

Este análisis se basa en el estudio del movimiento de fallas (Rumbo, Normal, Inversa), para este caso se tomaron datos estructurales de las cuatro zonas, con el fin de obtener dirección de esfuerzos de todo el proyecto Alexander 9K.

Para tal análisis se utilizó el software estructural faultkin con la finalidad de determinar la dirección de esfuerzos (σ_1 y σ_3). Las mediciones estructurales ploteados en el software son: Azimut (AZ), Buzamiento (BZ), Pitch, Dirección de Movimiento (DIR MOV) que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10
Datos Estructurales para Faultkin - Proyecto Alexander 9K

| ID | AZ | BZ | PITCH | DIR MOV |
|----|-----|----|-------|-----------|
| 1 | 315 | 86 | 149 | Sinestral |
| 2 | 325 | 87 | 148 | Sinestral |
| 3 | 336 | 77 | 146 | Sinestral |
| 4 | 55 | 80 | 28 | Dextral |
| 5 | 75 | 82 | 30 | Dextral |

Fuente: Elaboración propia

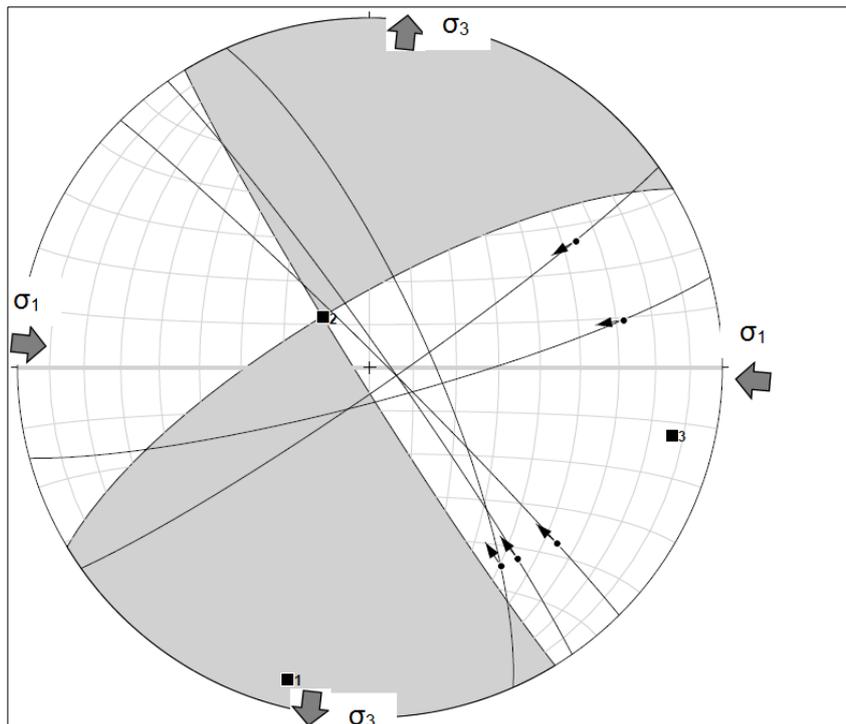


Figura 37: Diagrama de esfuerzos Alexander 9K-Faultkin

Fuente: Elaboración propia

4.1.7.3. Interpretación

Según la distribución de datos en el diagrama de rosas, las estructuras muestran mayor tendencia en la dirección NW-SE, Azimut 315°, 325° y 336° estos sistemas de fracturamiento son coincidentes con las estructuras mineralizadas, el cuarto y quinto sistema de fracturamiento tienen dirección NE-SW con azimut 55° y 75°, éstos últimos sistemas coinciden con las fallas que desplazan a las vetas principales.

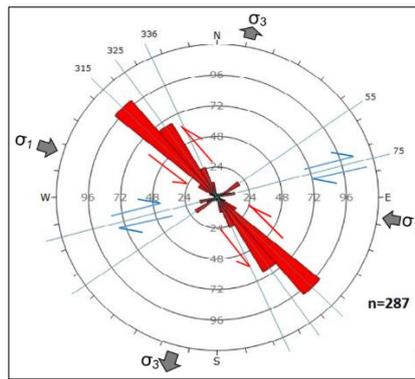


Figura 38: Orientación de esfuerzos según el modelo de Anderson – Alexander 9K.

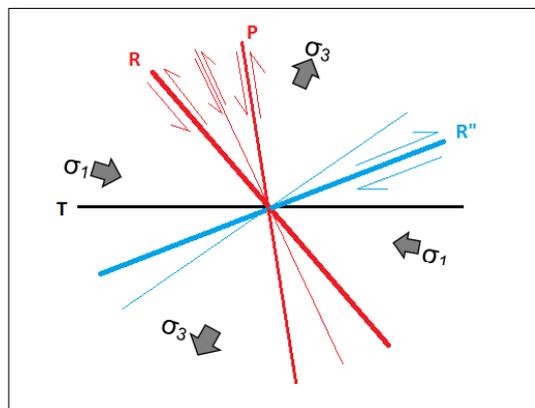


Figura 39: Interpretación con dirección de esfuerzos y tipo de fractura- Modelo de fracturamiento Riedel Izquierdo - Alexander 9K.

Por lo tanto, el estado de esfuerzos que formó los fracturamientos para dar lugar a la mineralización de vetas cupríferas en el proyecto Alexander 9K, es de rumbo con movimiento Sinistral. (**Ver Anexos: Modelo Estructural propuesto**).



Los sistemas de falla del proyecto Alexander 9K, se relacionan a los sistemas estructurales del proyecto Pampa de Pongo (Contreras M. , 2014), donde se identificó tres sistemas de falla, el primer sistema sinestral con componente normal, tiene rumbos NO – SE, el segundo sistema de fallas es normales con Rumbos ONO a ESE, el tercer sistema de fallas son transcurrentes dextrales con componente normal, tienen rumbos de NE a SW. Esta similitud, se debe a que ambos proyectos se encuentran dentro de la misma franja metalogenética.

4.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y MINERAGRAFICA

Las estructuras mineralizadas dentro del proyecto Alexander 9K se presentan en forma de vetas y lazos sigmoides con una dirección predominante de N315°, con longitud de hasta 300m y espesores que varían entre 0.30m y 2.60m.

4.2.1. Alteraciones Hidrotermales

La alteración hidrotermal es el cambio mineralógico, químico y textural de las rocas encajonantes circundantes a las estructuras mineralizadas. Es conocida también como metamorfismo hidrotermal, por tratarse de la recristalización que aparece con la influencia de soluciones hidrotermales que vienen del interior de la tierra. Específicamente, cuando las recristalizaciones se limitan a una pequeña área se conoce como alteración hidrotermal.

La alteración predominante en la roca huésped es la propilitización con calcita, clorita, epidota y piritita. (**Ver Anexos: Mapa de Alteraciones**).

4.2.1.1. Propilitica

Esta alteración ocurre por lo general como halo gradacional y distal de una alteración potásica. Esta alteración está representada principalmente por la asociación clorita-epidota con o sin albita, calcita, piritita, con minerales accesorios como cuarzo-



magnetita-illita. En zonas más distales se observan asociaciones de epidota-clorita-albita-carbonatos gradando a zonas progresivamente más ricas en clorita y zeolitas hidratadas formadas a bajas condiciones de temperatura. Ésta es la alteración predominante del proyecto Alexander 9K.

4.2.1.2. Alteración Potásica

Caracterizada principalmente por feldespato potásico y/o biotita, con minerales accesorios como cuarzo, magnetita, sericita, clorita, a veces están acompañados de una lixiviación de Ca y Na, es también la alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y biotita. El ensamble mineralógico es ortosa – cuarzo-biotita-magnetita; biotita-actinolita-cuarzo-magnetita. En el proyecto se aprecia como una débil alteración en venillas milimétricas.

4.2.1.3. Cuarzo –Sericita

Caracterizada principalmente por cuarzo y sericita con minerales accesorios como clorita, illita y pirita. Ocurre por la lixiviación de Na, Ca y Mg y el desarrollo de un metasomatismo potásico. Esta alteración ocurre en rocas de composición ácida intermedia reemplazando feldespatos especialmente plagioclasas y biotita. La sericita se encuentra formando venillas y su asociación característica (ensamble mineralógico) es: cuarzo-Sericita-Pirita (QSP).

4.2.1.4. Argílica

Se caracteriza por la formación de minerales arcillosos bajo un intenso metamorfismo de H, productos de la alteración de feldespatos y minerales máficos (hornblenda, biotita), esto ocurre bajo condiciones ácidas y por lixiviación de todos los cationes alcalinos.



4.2.1.5. Cloritización

Es el resultado de los minerales máficos presentes en las secuencias de lavas y en las unidades intrusivas dioríticos, por lo que estas obtienen una coloración verdosa intensa. Esta alteración generalmente está acompañada de otras alteraciones como propilitización. Se presenta en depósitos de sulfuros masivos galena-esfalerita-calcopirita.

4.2.1.6. Hematización

Es una alteración de intensidad fuerte; la hematita, carbonatos Fe, clorita ricos en Fe y anfíboles ricos en Fe son por lo general productos de alteración dominantes. La alteración rica en Fe está asociada con la mineralización que contiene F, Cu, U, Au, etc. la asociación actinolita-fluorita, siderita-magnetita-cuarzo-fluorita-sulfuros, formando sistemas de mineralización relacionados a la fase ácida de los complejos. El ensamble mineralógico es hematita terrosa micácea, especularita y siderita.

4.2.1.7. Alteración Supérgena

Los procesos supérgenos modifican significativamente la mineralogía de los cuerpos mineralizados de origen hidrotermal y afectan su metalurgia extractiva, además, pueden producir importantes enriquecimientos secundarios ya sea de Cu, Ag y Au

Cómo producto de la alteración en el proyecto Alexander 9K se observa arcillas de montmorillonita muy deleznable asociadas a limolitas (gohetita y hematita).

4.2.2. Mineralogía

La mineralogía de mena del área de estudio está constituida por Cu, en la zona de oxidación se tiene crisocola, malaquita, hematita y cuprita, la zona de sulfuros secundarios constituida por bornita, calcosina, covelina y calcopirita; una zona hipogena



con calcopirita y pirita, la magnetita y actinolita se encuentra diseminada en vetillas del intrusivo.

4.2.2.1. Minerales de Mena

- **Cobre**, Es el segundo metal en el desarrollo de la vida humana, también se conoce como metal rojo, se forma en zonas de oxidación de los yacimientos de sulfuro de cobre, generalmente se presentan en masas compactas o laminares.
- **Calcosina**, Mena de cobre, asociado a cuprita, malaquita, azurita, se forma en la zona de mineralización filoniana de sulfuros hidrotermales, asociado a la cuprita.
- **Cuprita**, Oxido de cobre con cristales cúbicos, brillo metálico adamantino de color rojo, este mineral se forma en la zona de oxidación de los yacimientos de cobre. Es una de las principales menas en el proyecto Alexander 9K.
- **Covelina**, Sulfuro de cobre que se presenta en masas laminares de color azul índigo, se encuentra en filones hidrotermales asociada a minerales de cobre, es una mena principal de cobre.
- **Crisocola**, Se forma en la zona de oxidación de los yacimientos de cobre, es mena de cobre, se presenta en masas estalactíticas e incrustaciones de color verde azulado

4.2.2.2. Óxidos

- **Malaquita**, Carbonato de cobre, se presenta en cristales aciculares y en agregados fibrosos. Se presenta también en estructuras zonadas. Se forma en zonas de oxidación de yacimientos cupríferos.
- **Gohetita**, Se observa principalmente en la zona de oxidación con los demás óxidos de hierro (limonita, jarosita, hematita) de coloración negra a marrón amarillenta, formando parches y patinas sobre limonitas e impregnaciones en fracturas, se observa en las vetas con mayor espesor y en las muestras de superficie.



- **Limonita**, Es un óxido de hierro hidratado, resultado de la alteración de la hematita, pirita y de otros minerales de hierro, su color es rojizo amarillento, algunas veces también se presenta bajo un aspecto terroso, se encuentra distribuida en el yacimiento Alexander 9K.

4.2.2.3. *Minerales de Ganga*

- **Cuarzo**, en la zona de estudio el cuarzo se encuentra asociado a las vetas

Mineral de ganga distribuido en el yacimiento, formador principal de la roca huésped, mineral accesorio de la alteración potásica, en el proyecto Alexander 9K se observa cuarzo hialino de textura brechada, de morfología acicular asociada a la calcopirita, en vetillas con alto contenido de hierro forma una zona de stockwork en la zona Sur Oeste del proyecto.

- **Pirita**, Sulfuro de hierro, se presenta en forma diseminada y como relleno en vetas y vetillas asociado a minerales de mena (calcopirita), se observan más cristalizados en compañía del cuarzo.
- **Calcita**, Mineral del grupo de los carbonatos, se presenta diseminada en la roca en bordes de alteración propilítica y en estructuras mineralizadas se presenta con textura masiva y bandeada de color blanco, la calcita también está asociado a cuarzo-rodosita, cuarzo-pirita, las cuales cortan a vetillas de cuarzo-pirita-especularita-galena-calcopirita.
- **Magnetita**, Mineral de hierro de color negro, marrón oscuro, presenta cristales de octaedros o rombododecaedros, se encontraron en mayor cantidad al lado sur del proyecto Alexander 9K, donde aparentemente disminuye la mineralización de Cu.
- **Turmalina**, Ciclosilicato se presenta en cristales prismáticos alargados del sistema trigonal, su color varia de incolora (acroita), azulado (indigolita), negro (turmalina),

castaño (dravita). Mineral accesorio de las rocas ígneas plutónicas acidas y metamórficas. Se le usa en la fabricación de manómetros, pinzas polarizantes y como gemas preciosas.

4.2.3. Paragénesis Mineralógica del Proyecto Alexander 9K

La paragénesis o secuencia paragenetica es el orden cronológico de depositación mineral. Es así que para su determinación se ha tomado como antecedentes estudios realizados por INGEMMET y descripciones de muestras macroscópicas tomadas en superficie.

En el siguiente cuadro se observa que quienes se depositan primero son la calcopirita y Pirita, después continúan depositándose la bornita, calcosina y covelina, seguidas por Malaquita, crisocola, cuprita y hematita; mientras que la magnetita y actinolita se encuentran en toda la secuencia paragenetica. Ésta secuencia se caracteriza por un reemplazo sucesivo de sulfuros ricos en Fe como la pirita por sulfuros ricos en Cu como la Covelina. Finalmente los minerales sulfurados son destruidos para modificar la estructura y composición mineralógica de las menas, lo cual tiene repercusión en la metalurgia extractiva de interés económico.

| | |
|-----------|----------|
| Abundante | ████████ |
| Moderado | ██████ |
| Escaso | ----- |

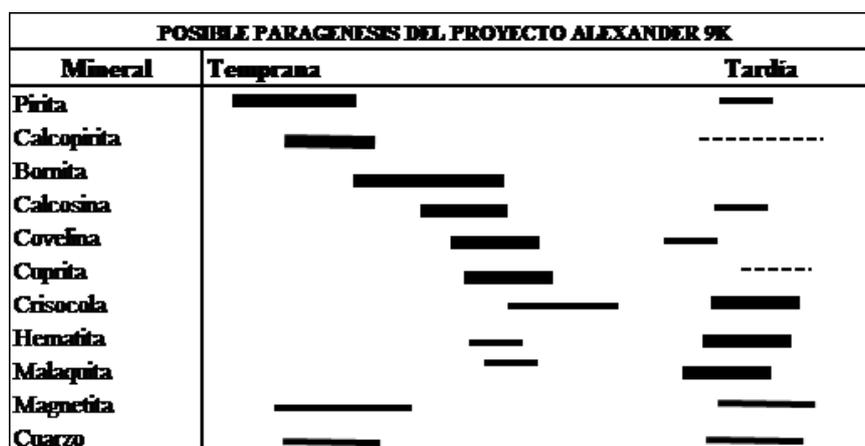


Figura 40: Posible paragénesis del proyecto Alexander 9K

Fuente: Elaboración propia a partir de los minerales encontrados en el proyecto.

4.2.3.1. Zoneamiento

La temperatura más alta y los minerales más solubles cerca del origen y la temperatura más baja con los minerales menos solubles lejos del origen. (Yanarico, 2012). En el área de estudio se presentan asociaciones metálicas de Cu-Fe-Ag-Au, donde los minerales están dispuestos en zonas alrededor del centro ígneo.

El zoneamiento vertical en el área de estudio está controlado por un sistema estructural, litológico y térmico los que facilitaron y enriquecieron la mineralización económica

- **Zona de oxidación:** crisocola, Malaquita, hematita y Cuprita.
- **Zona de sulfuros secundarios:** bornita, Calcosina, Covelina y Calcopirita.
- **Zona Hipogena:** Calcopirita y piritita.
- Magnetita y actinolita diseminado y en vetillas dentro de todo el yacimiento.

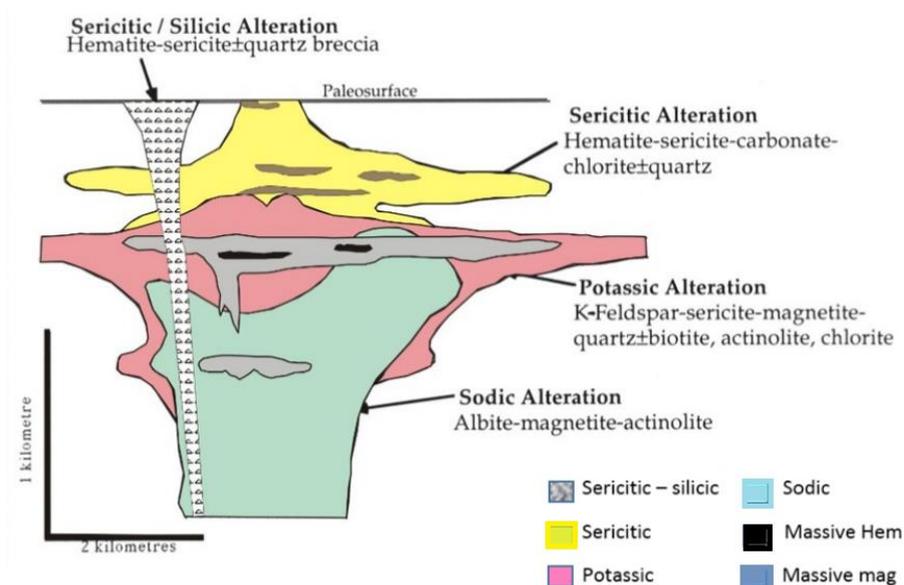


Figura 41: Zonación de alteración en yacimientos IOCG

Fuente: (Hitzman, Oreskes, & Eunadi, 1992)

Magnetita y actinolita diseminado y en vetillas dentro de todo el yacimiento.

El emplazamiento de mena de cobre en el proyecto Alexander 9K, está vinculada principalmente al Batolito de la Costa, cuya unidad principal es la Monzonita cuarcífera Cobrepampa, una de las intrusiones más jóvenes en este sector.

La roca encajonante (Monzonita de Cuarzo) son cortadas por vetas de magnetita, actinolita y sulfuros de cobre.

4.2.4. Mineralización

La mineralización se encuentra relleno de fracturas en forma de vetas que forma clavos y cuerpos mineralizados. Para el reconocimiento de minerales se describieron muestras macroscópicas y microscópicamente; se describió una muestra de la zona de sulfuros.



Figura 42: Estructura mineralizada fuertemente oxidada

Fuente: Fotografía de minerales oxidados en el proyecto Alexander 9K

4.2.4.1. Descripción Macroscópica

- **Cuprita**

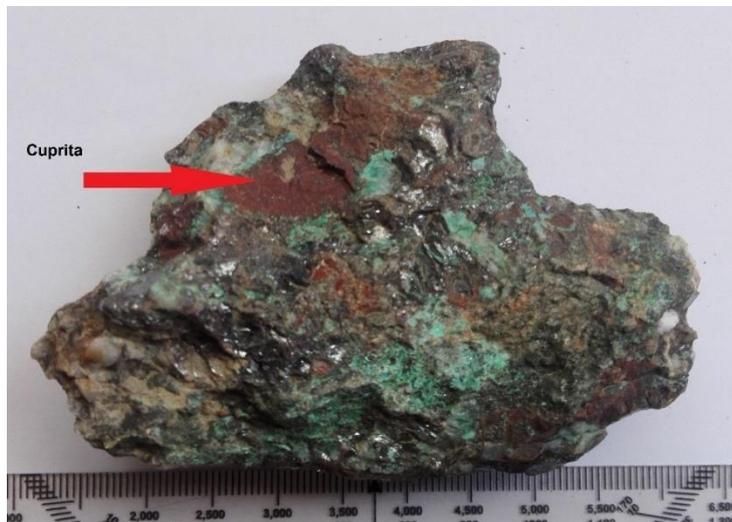


Figura 43: Mena cuprita

Fuente: Fotografía de una muestra tomada de la veta Argentina

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| FORMULA QUIMICA | Cu ₂ O |
| CLASE | Oxido |
| NOMBRE | Cuprita |
| COLOR | Rojo Oscuro |
| RAYA | Rojo castaño |
| BRILLO | De metálico a adiamantado |
| DUREZA | 3.5 a 4 |
| COMPOSICION QUIMICA | 88% Cu y algo de Fe |
| HABITO | Masivo |
| ORIGEN | Zona de oxidación superior |
| EMPLEO | Mena de Cu |

- **Covelina**



Figura 44: Mena Covelina

Fuente: Fotografía de una muestra tomada en la cancha de Mineral.

| | |
|----------------------------|--|
| FORMULA QUIMICA | CuS |
| CLASE | Sulfuros |
| NOMBRE | Covelina |
| COLOR | Azul añil |
| RAYA | Gris o negra |
| BRILLO | Metálico |
| DUREZA | 1.5 a 2 |
| COMPOSICION QUIMICA | 64% de Cu |
| HABITO | Masivo |
| GENESIS | Zona de enriquecimiento supergénico |
| EMPLEO | Mena menor de cobre |

- **Crisocola**



Figura 45: crisocola

Fuente: Fotografía de una muestra tomada en la parte superficial de la veta A

| | |
|----------------------------|---|
| FORMULA QUIMICA | (Cu ²⁺ , Al)H ₂ Si ₂ O ₅ (OH)nH ₂ O |
| CLASE | Silicato |
| NOMBRE | Crisocola |
| COLOR | Azul o verde |
| RAYA | Blanca |
| BRILLO | Vítreo |
| DUREZA | 2 a 4 |
| COMPOSICION QUIMICA | Sílice, óxidos, cobre, hierro |
| HABITO | Masivo |
| ORIGEN | Mineral Supérgeno |
| EMPLEO | Mena menor de Cu |

- **Bornita**

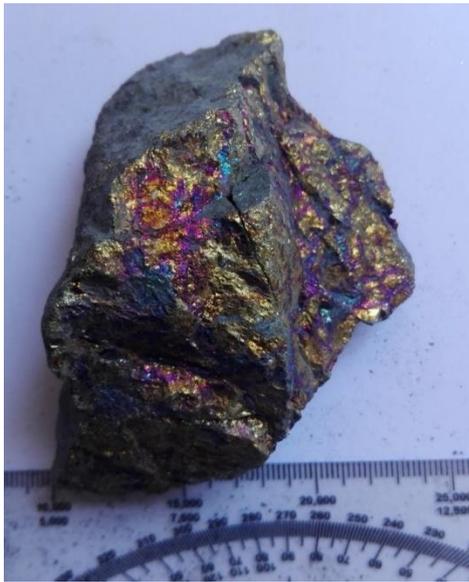


Figura 46: Bornita

Fuente: Fotografía de una muestra tomada en interior mina de la veta Argentina.

| | |
|----------------------------|---|
| FORMULA QUIMICA | Cu_5FeS_4 |
| CLASE | Sulfuros |
| NOMBRE | Bornita |
| COLOR | Rojo purpura, bronce pardo |
| RAYA | Negra |
| BRILLO | Metálico |
| DUREZA | 3 |
| COMPOSICION QUIMICA | 64%Cu, 11%Fe |
| HABITO | Masiva |
| ORIGEN | Producto de meteorización de sulfuros primarios |
| EMPLEO | Mena de cobre secundaria |

- **Calcopirita**



Figura 47: Calcopirita

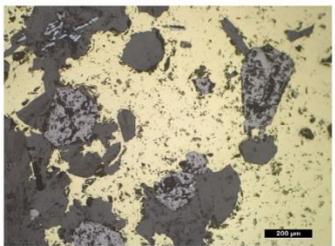
Fuente: Fotografía de una muestra tomada en cateo de la veta G

| | |
|----------------------------|---------------------------------|
| FORMULA QUIMICA | CuFeS ₂ |
| CLASE | Sulfuros |
| NOMBRE | Calcopirita |
| COLOR | Amarillo latón |
| RAYA | Negro verduzco |
| BRILLO | Metálico |
| DUREZA | 3.5 a 5 |
| COMPOSICION QUIMICA | 35% Cu, 30% Fe, 35% S. |
| HABITO | Masiva |
| ORIGEN | Hidrotermal de alta temperatura |
| EMPLEO | Mena importante de Cu |

4.2.4.2. Descripción microscópica en láminas delgadas

Se tomó una muestra de la zona de sulfuros, la cual se dividió en dos para su estudio microscópico, una muestra A y B.

CODIGO DE MUESTRA: A

| Descripción Macroscópica | Descripción Microscópica |
|---|---|
|  <p>Figura 48: Muestra A para análisis en laboratorio</p> <p>Fuente: Laboratorio INGEMMET</p> |  <p>Figura 49: Descripción microscópica de la muestra A</p> <p>Fuente: Laboratorio INGEMMET</p> |
| <p>Muestra de estructura compacta, de color gris con tinte azulado, con parches amarillos y gris parduzco, compuesta por cristales de magnetita, calcopirita, pirita y parches de hematita, con diseminación de feldespato potásico, así como cloritas en finos agregados, y cristales prismáticos de turmalina. La muestra posee dureza fuerte y magnetismo.</p> | <p>Muestra de estructura conformada por cristales de magnetita, pirita, hematita y calcopirita. Como minerales de cobre secundario ocurren cristales de covelina y bornita. Se observan trazas de esfalerita asociados a calcopirita. Las texturas principales son de reemplazamiento y relleno</p> |

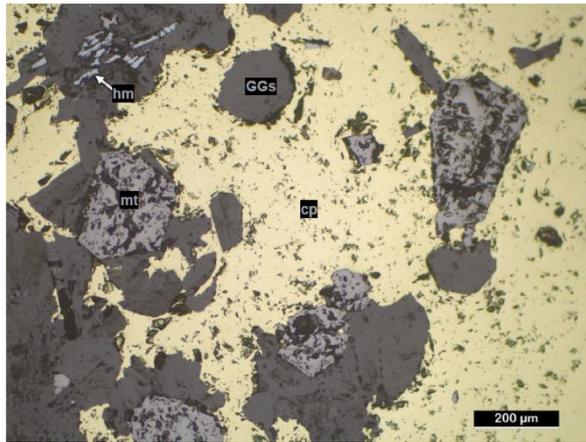
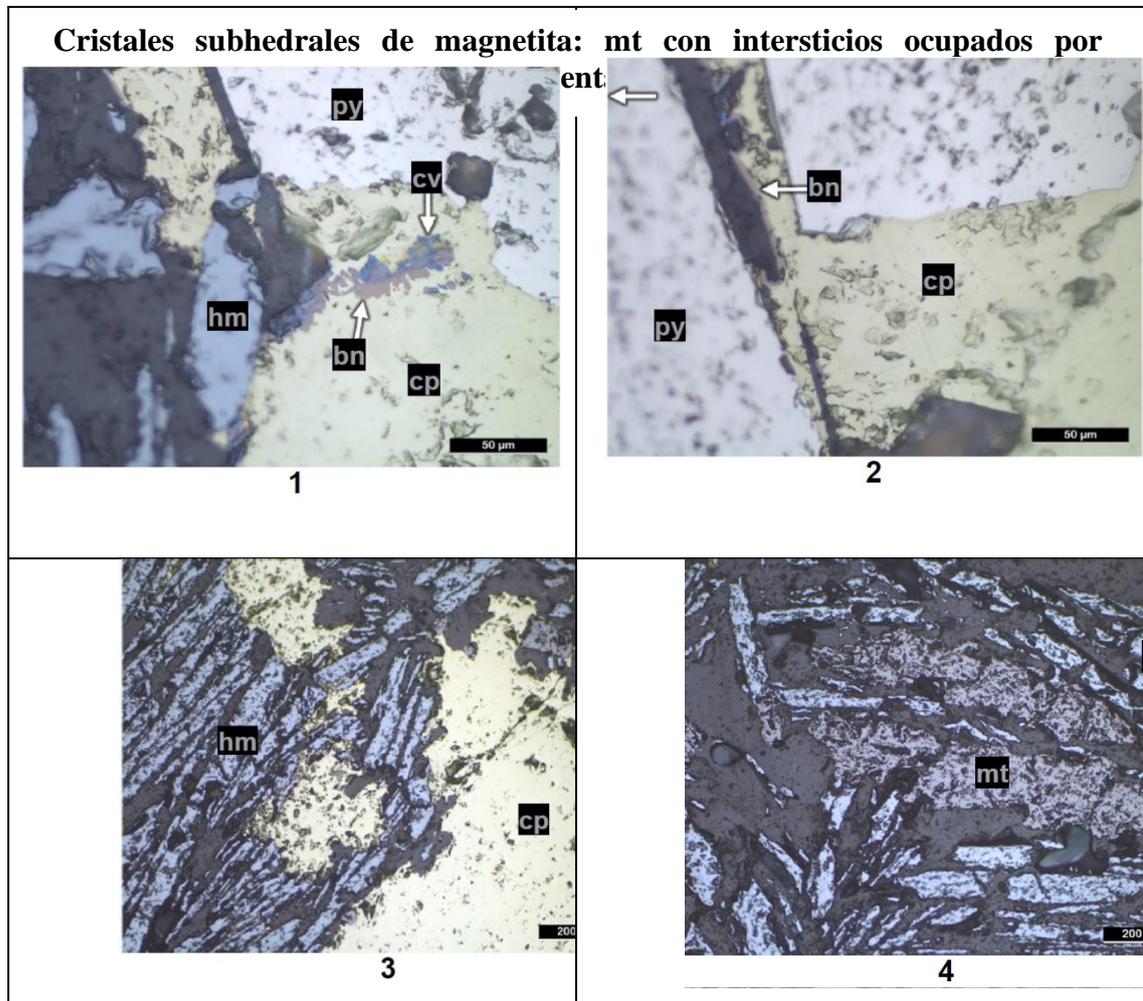
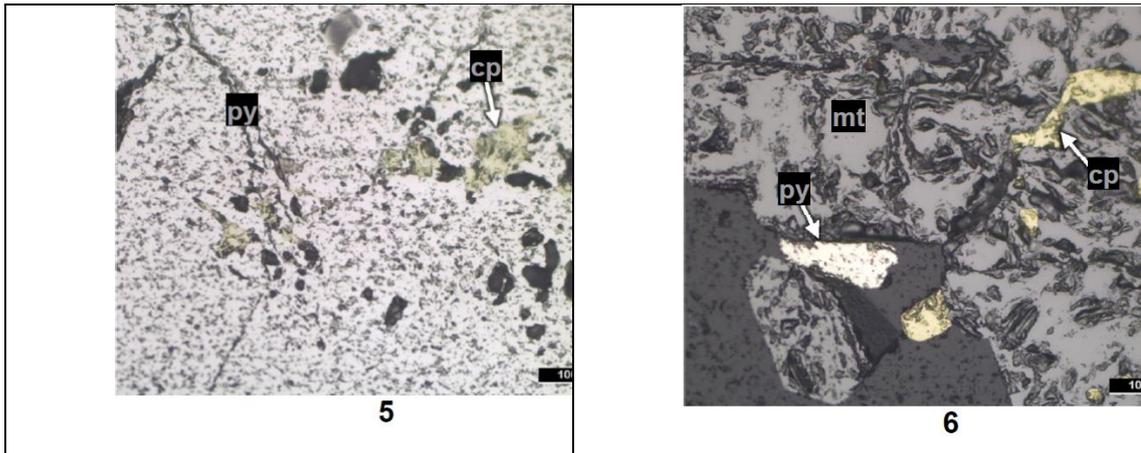


Figura 50: Descripción de minerales microscópicos en lámina de sección pulida- muestra A

Fuente: Laboratorio INGEMMET





Fotomicrografías: 1. Calcopirita: cp en fractura de pirita: py, alterada a bornita: bn y covelita: cv. 2. Cristal de pirita: py con espacios intersticiales ocupados por calcopirita: cp, la cual se encuentra alterada por los bordes a bornita: bn. 3. Detalle de la relación entre hematita: hm y calcopirita: cp, observándose que la última es cortante y rellena espacios de la primera. 4. Relictos de magnetita: mt con cristales laminares de hematita: hm (especularita). 5. Cristales de calcopirita incluidos en pirita: py, probablemente infiltrados a través de las microfrazuras que se observan en la parte superior de la imagen. 6. Cristal de pirita: py y cristales de calcopirita: cp en espacios intersticiales de magnetita: mt. Todas las microfotografías han sido tomadas en luz reflejada con nicols paralelos.

➤ **Descripción mineralógica de la muestra A**

- **Magnetita**, cristales subhedrales que se presentan mostrando formas rómbicas o hexagonales, en ocasiones irregulares (anhedrales). Se encuentran alterados a hematita, observándose algunos relictos entre las láminas de specularita. $\leq 2,40$ mm, 5%
- **Calcopirita**, cristales anhedrales con génesis posterior a magnetita y pirita. Se encuentran asociados a esfalerita, se encuentran alterados a covelita y bornita. En ocasiones se le observa incluido en pirita, probablemente por infiltración a través de microfrazuras secantes al plano de corte de la muestra. $\leq 8,24$ mm, 5%.



- **Hematita**, en su variedad especularita, ocurre con hábito laminar en cristales flexionados con tendencia a formar agregados subradiados. Son producto de alteración de magnetita, principalmente. $\leq 2,76$ mm, 4%.
- **Pirita**, idiomorfica, con formas romboidales, hexa y heptagonales. Ocurren probablemente posterior a magnetita (en teoría y por el hecho de que los cristales de pirita se pierden se adaptan a la forma de los de hematita en el contacto entre ellos). En sus fracturas se emplaza calcopirita. $\leq 2,68$ mm, 4%.
- **Esfalerita**, cristales anhedrales a menudo incluidos en cristales de pirita, por probable ingreso a través de microfracturas, además se encuentra asociada a calcopirita. $\leq 0,08$ mm, traza.
- **Covelina**, escasos cristales tabulares formados por alteración de calcopirita o bornita, ubicado en los bordes de calcopirita. $\leq 0,01$ mm, traza.
- **Bornita**, escasos cristales anhedrales formados por alteración de calcopirita ubicados en los bordes de la misma. $\leq 0,05$ mm, traza.
- **Gangas**, corresponde a la parte no metálica de la muestra, está conformada por cuarzo, feldespato potásico, cloritas, entre otros. 84%.

CODIGO DE MUESTRA: B

| Descripción Macroscópica | Descripción Microscópica |
|---|---|
|  <p>Figura 51: Muestra B para análisis en laboratorio</p> <p>Fuente: Laboratorio INGEMMET</p> |  <p>Figura 52: Descripción microscópica de la muestra B</p> <p>Fuente: Laboratorio INGEMMET</p> |
| <p>Muestra de estructura compacta, de color gris con tinte azulado, con parches amarillos y gris parduzco, compuesta por cristales de magnetita, calcopirita, pirita y parches de hematita, con diseminación de feldespato potásico, así como cloritas en finos agregados, y cristales prismáticos de turmalina. La muestra posee dureza fuerte y magnetismo.</p> | <p>Muestra de estructura conformada por cristales de magnetita, pirita y calcopirita. Hematita en su variedad especularita, se presenta alterando magnetita. Ocurren trazas de esfalerita asociada a calcopirita.</p> |

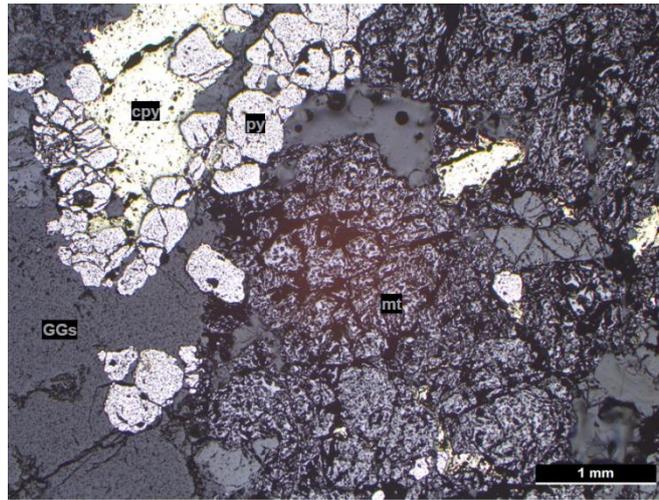
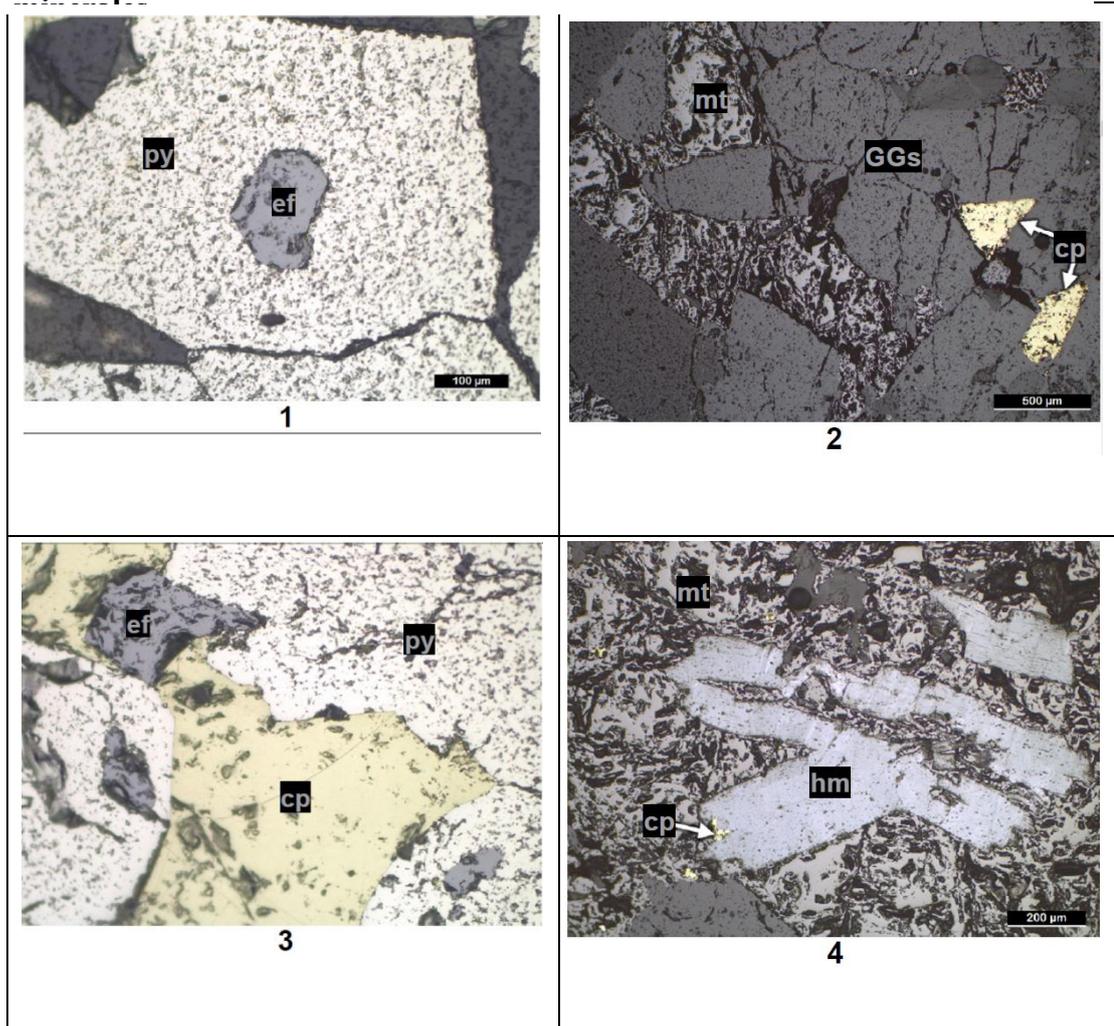
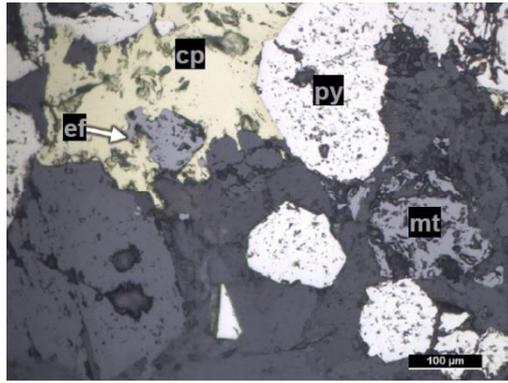


Figura 53: Descripción de minerales microscópicos en lámina de sección pulida- muestra B.

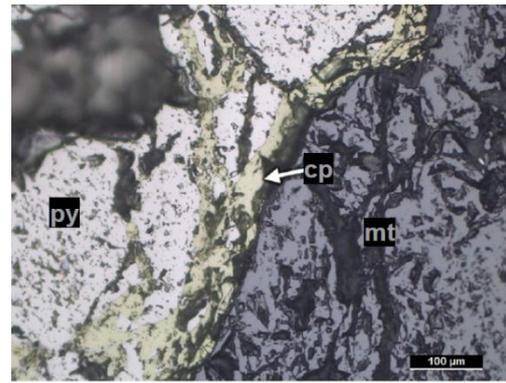
Fuente: Laboratorio INGEMMET

Cristales de magnetita con agregados de pirita tanto al exterior, como al interior de la misma. Calcopirita se presenta cubriendo espacios en ambos





5



6

Fotomicrografías: 1. Cristal subhedral de pirita: py con esfalerita: ef ubicada en su interior, probablemente introducida a través de una microfractura. 2. Cristales de hematita: hm y calcopirita: cpy rellenando espacios entre gangas: GGs. 3. Calcopirita rellenando espacios en pirita, con esfalerita asociada, algunas de las cuales se encuentran al interior de los cristales de pirita. 4. Cristales de hematita: hm (especularita) reemplazando parcialmente magnetita, así mismo, calcopirita se presenta en planos de clivaje de hematita. 5. Cristales de pirita y magnetita, con calcopirita y esfalerita intersticiales. 6. Detalle de intersticios ocupados por calcopirita, en cristales fracturados de una pirita, al lado de magnetita. Todas las fotomicrografías fueron tomadas en luz reflejada con nicols paralelos.

➤ **Descripción mineralógica de la muestra B**

- **Magnetita**, cristales de formas cuadrangulares, en ocasiones de aspecto masivo. Se observa como evento posterior a los minerales de ganga. $\leq 7,16$ mm, 13%.
- **Pirita**, idiomorfa, presentando formas hexagonales y en ocasiones, octogonales y cuadrangulares. No muestran una relación clara de génesis con magnetita, en ocasiones se encuentran fracturas y rellenos de calcopirita. $\leq 2,36$ mm, 6%.
- **Calcopirita**, se presenta con formas irregulares, de relleno, entre cristales de pirita y en fractura de ellos, además en intersticios de cristales de magnetita, y en planos de clivaje de hematita. Se encuentra asociada con esfalerita. $\leq 3,36$ mm, 3%.
- **Hematita**, en su variedad specularita, con habito laminar flexionado, se muestran como alteración de magnetita. $\leq 0,92$ mm, traza.



- **Esfalerita**, cristales anhedrales intercrecidos con calcopirita, ubicados en espacios en pirita, en ocasiones quedando incluidos en ella, probablemente por infiltración a través de microfracturas no visibles por el plano de corte de la muestra. $\leq 0,13$ mm, traza.
- **Gangas**, corresponde a la parte no metálica de la muestra, y está conformada por cuarzo, feldespatos potásicos, cristales prismáticos como la turmalina, entre otros. 79%.

4.2.5. Controles de Mineralización

4.2.5.1. Control Estructural

- 1er Sistema: Falla Sinistral NO-SE (315°) e inclinación hacia el NE, en el área de estudio representa al sistema de vetas principal.
- 2do Sistema: Falla Sinistral NNO-SSE (325°) e inclinación hacia el NE, que representa al segundo sistema de vetas principal que se une con el primer sistema.
- 3er Sistema: Falla Sinistral NNO-SSE (336°) e inclinaciones hacia el NE Y SO, que representa al tercer sistema de vetas con buzamiento en dos direcciones.
- 4to Sistema: Falla dextral NEE-SOO (55°), éste sistema de falla desplaza a las vetas del primer y segundo sistema.
- 5to Sistema: Falla dextral NEE-SOO (75°), éste sistema de fallas desplaza a todos los sistemas formados anteriormente.

4.2.5.2. Control Mineralógico

La ocurrencia de mineralización es por fractura con relleno, está controlada por la presencia de sulfuros y óxidos (Cuprita, Calcosina, Covelina, Crisocola, Calcopirita, Bornita, Malaquita, Cuarzo y Óxidos de Hierro). En ciertas zonas se aprecia brechamiento asociada a óxidos de hierro con venillas de calcita, cristales de turmalina y Cuarzo.



Figura 54: Falla dextral que desplaza a las vetas principales

Fuente: Fotografía tomada en el proyecto



Figura 55: Brechamiento Hidrotermal

Fuente: Fotografía mirando al NE en la zona sur del proyecto.

4.2.5.3. Control Litológico

La roca encajonante para la mineralización es la cuarzomonzonita presenta granos visibles de color gris rosada compuesta por ortosas y plagioclasas.



4.3. ESTIMACION DE RECURSOS POTENCIALES INFERIDOS_VETA

ARGENTINA

4.3.1. Anomalías Geoquímicas en Superficie

Para calcular los valores geoquímicos solo se utilizaron leyes de superficie, se elaboró un cuadro con el número de muestras por rangos, para los elementos de Cu, Fe y Ag, con el cual se pudo construir columnas de histogramas y mapa de valores geoquímicos en el software Arcgis. . (Ver Anexos: *Datos para mapa de anomalías en superficie*)

Tabla 11
Rango de Anomalías Geoquímicas Cu, Fe, Ag

| ANOMALÍA | Cu (ppm) | | ANOMALÍA | Fe (%) | | ANOMALÍA | Ag (ppm) | |
|--------------|------------------------|------------|--------------|--------------------|------------|--------------|-------------|------------|
| | Rango | Nº M | | Rango | Nº M | | Rango | Nº M |
| Rango 1 | 500 | 12 | Rango 1 | 5 | 16 | Rango 1 | 0.1 | 52 |
| Rango 2 | 1000 | 9 | Rango 2 | 8 | 45 | Rango 2 | 0.25 | 31 |
| Rango 3 | 2000 | 19 | Rango 3 | 10 | 30 | Rango 3 | 0.5 | 49 |
| Rango 4 | 4000 | 17 | Rango 4 | 12 | 25 | Rango 4 | 0.6 | 6 |
| Rango 5 | 8000 | 26 | Rango 5 | 14 | 18 | Rango 5 | 1 | 9 |
| Rango 6 | 16000 | 43 | Rango 6 | 16 | 6 | Rango 6 | 2 | 7 |
| Rango 7 | 10000 | 29 | Rango 7 | 100000 | 17 | Rango 7 | 100000 | 3 |
| Total | 500- 100000 | 155 | Total | 0- 100% | 157 | Total | 0-50 | 157 |

Elaboración Propia

Valores geoquímicos Cu (ppm)

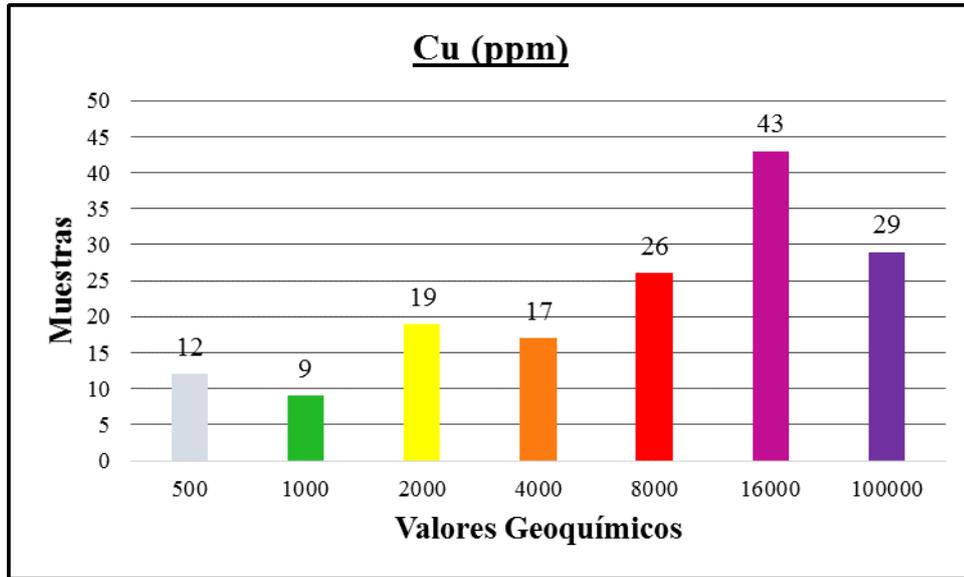


Figura 56: Valores geoquímicos de Cu en ppm

Fuente: Elaboración propia

Valores geoquímicos Fe (ppm)

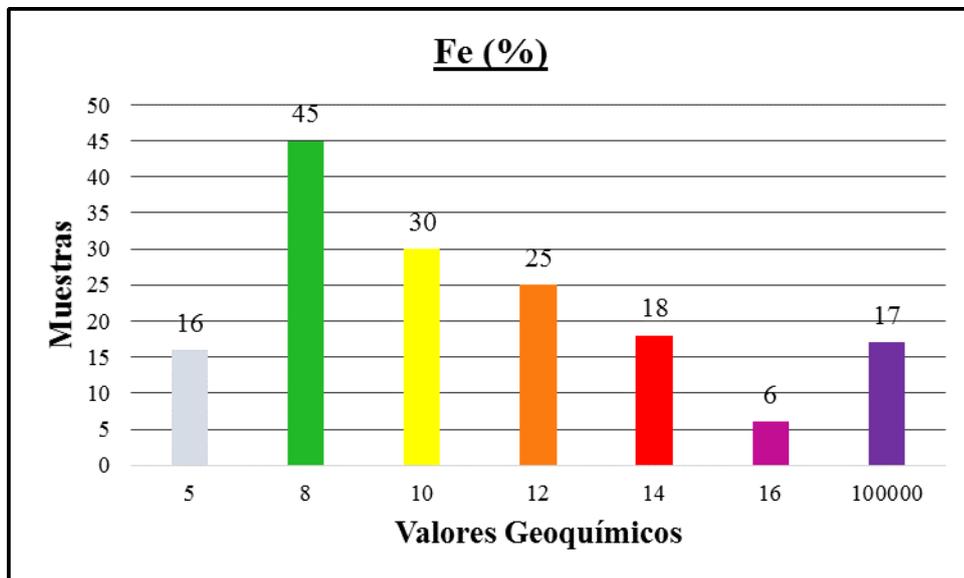


Figura 57: Valores geoquímicos de Fe en %

Fuente: Elaboración propia

Valores geoquímicos Ag (ppm)

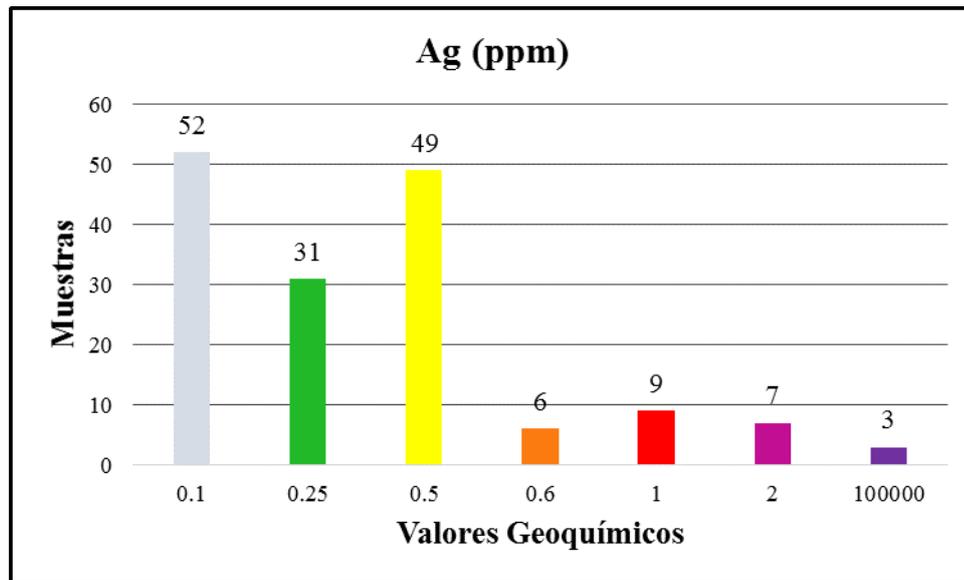


Figura 58: Valores Geoquímicos de Ag en ppm

Fuente: Elaboración Propia

(Ver Anexos: Mapa de valores Geoquímicos Cu _ ppm – Superficie)

4.3.2. Matriz de correlación Pearson y gráficos de dispersión

Para la correlación de Pearson se elaboraron 2 matrices con sus gráficos de dispersión de 10 elementos principales, la primera matriz de superficie ppm y la segunda matriz de interior mina, los datos fueron transformados a log10. En la primera matriz se observa una moderada correlación entre Cu-Pb, Ag, Ni, As, U; En la matriz de interior mina se tiene una muy buena correlación del Cu –Ag, una buena correlación del Cu-Pb, Ni y una moderada correlación de Cu-Fe, As.

Se muestran cuadros de dispersión de Cu-Ag (Muy buena correlación), Cu-Ni (buena correlación) y Cu-Fe (moderada correlación).

Tabla 12
Matriz Correlación de Pearson de 10 elementos principales en Superficie

| Matriz de correlación de Pearson (10 elementos) Geoquímica -Superficie | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Cu_Log10 | 1.00 | | | | | | | | | |
| Mo_Log10 | 0.23 | 1.00 | | | | | | | | |
| Pb_Log10 | 0.28 | 0.27 | 1.00 | | | | | | | |
| Zn_Log10 | 0.20 | -0.16 | 0.33 | 1.00 | | | | | | |
| Ag_Log10 | 0.27 | 0.23 | 0.22 | 0.00 | 1.00 | | | | | |
| Ni_Log10 | 0.26 | 0.21 | 0.28 | 0.31 | 0.21 | 1.00 | | | | |
| Mn_Log10 | 0.20 | -0.17 | 0.14 | 0.75 | -0.11 | 0.30 | 1.00 | | | |
| Fe_Log10 | 0.08 | 0.30 | 0.20 | 0.18 | 0.29 | 0.40 | 0.03 | 1.00 | | |
| As_Log10 | 0.31 | 0.51 | 0.36 | 0.00 | 0.33 | 0.47 | -0.09 | 0.52 | 1.00 | |
| U_Log10 | 0.39 | 0.26 | 0.33 | 0.15 | 0.28 | 0.08 | 0.13 | 0.22 | 0.20 | 1.00 |
| | Cu Log10 | Mo Log10 | Pb Log10 | Zn Log10 | Ag Log10 | Ni Log10 | Mn Log10 | Fe Log10 | As Log10 | U Log10 |

Elaboración Propia

| Leyenda | |
|------------|-----------------------|
| 0.7 - 1.0 | Muy buena correlación |
| 0.5 - 0.69 | Buena Correlación |
| 0.25-0.49 | Moderada Correlación |

Tabla 13
Matriz Correlación de Pearson de 10 elementos principales en interior Mina.

| Matriz de correlación de Pearson (10 elementos) Geoquímica – Interior Mina | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Cu_Log10 | 1.00 | | | | | | | | | |
| Mo_Log10 | 0.00 | 1.00 | | | | | | | | |
| Pb_Log10 | 0.55 | -0.12 | 1.00 | | | | | | | |
| Zn_Log10 | -0.12 | 0.03 | 0.05 | 1.00 | | | | | | |
| Ag_Log10 | 0.88 | -0.09 | 0.66 | -0.05 | 1.00 | | | | | |
| Ni_Log10 | 0.64 | 0.14 | 0.63 | -0.08 | 0.68 | 1.00 | | | | |
| Mn_Log10 | -0.39 | -0.11 | -0.26 | 0.61 | -0.32 | -0.30 | 1.00 | | | |
| Fe_Log10 | 0.38 | 0.41 | 0.42 | 0.11 | 0.38 | 0.64 | -0.18 | 1.00 | | |
| As_Log10 | 0.45 | 0.18 | 0.67 | -0.21 | 0.51 | 0.79 | -0.44 | 0.63 | 1.00 | |
| U_Log10 | -0.04 | 0.32 | 0.12 | 0.29 | 0.01 | 0.21 | 0.17 | 0.26 | 0.14 | 1.00 |
| | Cu Log10 | Mo Log10 | Pb Log10 | Zn Log10 | Ag Log10 | Ni Log10 | Mn Log10 | Fe Log10 | As Log10 | U Log10 |

Elaboración Propia

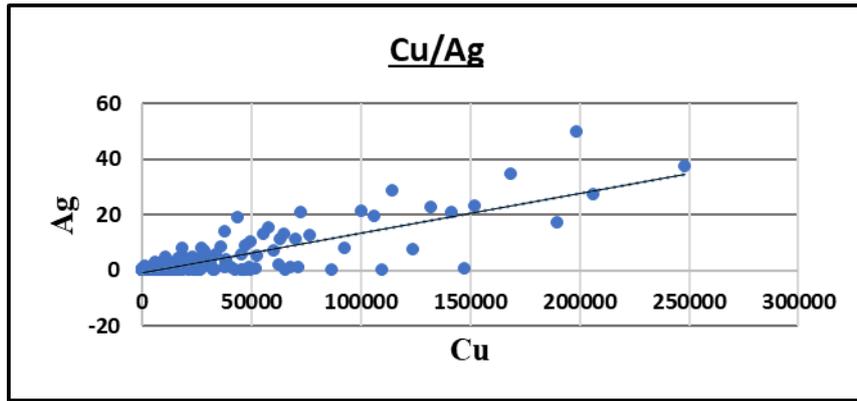


Figura 59: Correlación de Cu-Ag (Muy buena correlación)

Fuente: Elaboración propia

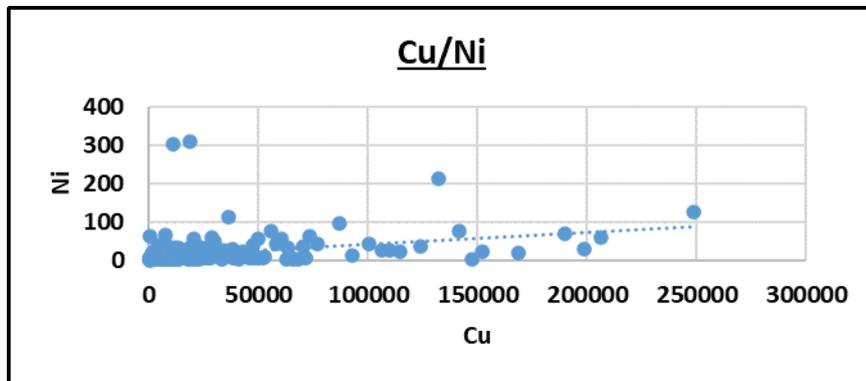


Figura 60: Correlación de Cu-Ni (Buena correlación)

Fuente: Elaboración propia

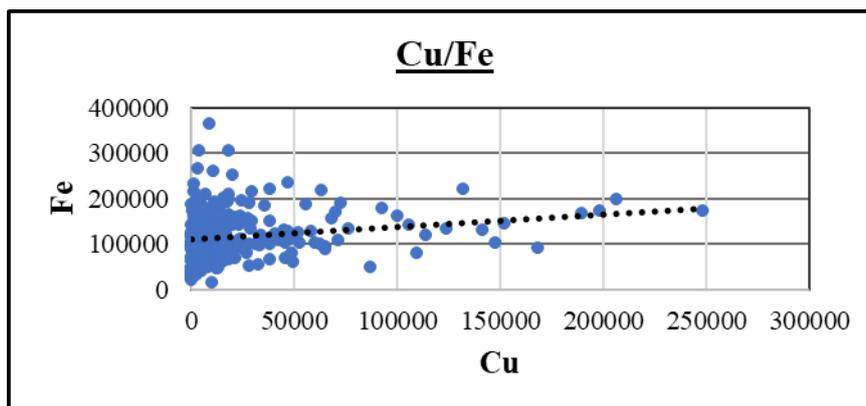


Figura 61: Correlación de Cu-Fe (Moderada correlación)

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Cálculo de Tonelaje Veta Argentina

Para calcular los recursos de mineral Inferido en la veta Argentina, se usaron datos de leyes obtenidas en el nivel 3 de laboreo convencional; se diseñó 4 bloques uno para cada clavo mineralizado con el cual se obtuvo el área, la densidad promedio es de 3 y la potencia de los canales es según el muestreo, el factor de castigo utilizado es de 0.85; finalmente se obtiene el resultado de tonelaje. La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$Tm = \text{Largo} \times \text{Altura} \times \text{Densidad} \times \text{Potencia} \times \text{Factor cast.}$$

Tabla 14

Cálculo de tonelaje por bloques en la veta Argentina

| Veta | Block | Largo | Altura | Densidad | Potencia (m) | Factor cast. | Tm | Tm(Redondeo) |
|--------------|---------|--------|--------|----------|--------------|--------------|---------|------------------|
| Argentina | Block 1 | 100.00 | 200.00 | 3.00 | 9.00 | 0.85 | 459,000 | 450,000 |
| Argentina | Block 2 | 85.00 | 310.00 | 3.00 | 8.00 | 0.85 | 537,540 | 530,000 |
| Argentina | Block 3 | 70.00 | 360.00 | 3.00 | 1.60 | 0.85 | 102,816 | 100,000 |
| Argentina | Block 4 | 53.00 | 360.00 | 3.00 | 0.80 | 0.85 | 38,923 | 37,000 |
| TOTAL | | | | | | | | 1,117,000 |

Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Cálculo del porcentaje de Cobre -Veta Argentina

Para obtener el % Cu se hizo un composito de leyes de los canales ubicados en clavos mineralizados, con la fórmula de suma producto dividido entre la longitud total se logró el resultado en porcentaje de cobre. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$\% \text{ Cu} = \text{Suma producto (leyes de cobre)} / \text{longitud total de los canales}$$

A continuación se muestran los cuatro bloques en tablas indicando el resultado de %Cu con las descripciones de veta en interior mina. (**Ver Anexos: Sección Longitudinal Veta Argentina – Mina**).

- **Bloque 1**, En el bloque 1 se tiene una veta reconocida con laboreo convencional en 5 niveles por debajo del nivel 03, buena mineralización de Cu, control estructural – Step Over Extensional (zona de ensanchamiento) geoquímica y afloramiento en superficie.

Tabla 15
Composito de leyes para el bloque 1

| Bloque | Channel | Sample | Order | From_m | To_m | Length | Fe_% | Cu_% | Vein |
|-----------------|-----------|-----------|-------|--------|-------|--------------|--------------|-------------|------|
| BLOQUE 1 | 201806104 | 201806104 | A | 0.00 | 3.00 | 3.00 | 10.30 | 2.06 | ARG |
| | 201806104 | 201806106 | B | 3.00 | 6.00 | 3.00 | 11.11 | 3.84 | ARG |
| | 201806104 | 201806107 | C | 6.00 | 9.00 | 3.00 | 17.84 | 9.28 | ARG |
| | 201806104 | 201806108 | D | 9.00 | 12.00 | 3.00 | 14.95 | 2.15 | ARG |
| | 201806104 | 201806109 | E | 12.00 | 15.00 | 3.00 | 15.13 | 3.85 | ARG |
| | | | | | | 15.00 | 13.87 | 4.23 | |

Fuente: Elaboración propia

- **Bloque 2**, Veta reconocida por laboreo convencional en 1 nivel por encima y debajo del Nivel 03, buena mineralización de Cu, control estructural – Step Over Extensional (zona de ensanchamiento) geoquímica y afloramiento en superficie.

Tabla 16
Composito de leyes para el bloque 2

| Bloque | Channel | Sample | Order | From_m | To_m | Length | Fe_% | Cu_% | Vein |
|-----------------|-----------|-----------|-------|--------|-------|--------------|-------------|-------------|------|
| BLOQUE 2 | 201806074 | 201806074 | A | 0.00 | 3.00 | 3.00 | 10.02 | 2.81 | ARG |
| | 201806074 | 201806075 | B | 3.00 | 6.00 | 3.00 | 10.15 | 4.59 | ARG |
| | 201806074 | 201806076 | C | 6.00 | 9.00 | 3.00 | 8.13 | 2.72 | ARG |
| | 201806074 | 201806078 | D | 9.00 | 12.00 | 3.00 | 10.31 | 5.25 | ARG |
| | 201806074 | 201806079 | E | 12.00 | 15.00 | 3.00 | 8.38 | 2.09 | ARG |
| | | | | | | 15.00 | 9.40 | 3.49 | |

Fuente: Elaboración Propia



- **Bloque 3**, Veta reconocida con laboreo convencional en el nivel 03, buena mineralización de Cu, control, geoquímica y afloramiento en superficie.

Tabla 17
Composito de leyes para el bloque 3

| Bloque | Channel | Sample | Order | From_m | To_m | Length | Fe_% | Cu_% | Vein |
|-----------------|-----------|-----------|-------|--------|-------------|--------------|--------------|-------------|------|
| BLOQUE 3 | 201806037 | 201806037 | A | 0.00 | 0.90 | 0.90 | 9.36 | 0.50 | ARG |
| | 201806037 | 201806038 | B | 0.90 | 1.70 | 0.80 | 11.94 | 3.41 | ARG |
| | | | | | | 1.70 | 10.57 | 1.87 | |
| | 201806039 | 201806039 | A | 0.00 | 0.90 | 0.90 | 12.35 | 0.80 | ARG |
| | 201806039 | 201806040 | B | 0.90 | 1.40 | 0.50 | 6.41 | 0.03 | ARG |
| | 201806039 | 201806041 | C | 1.40 | 2.10 | 0.70 | 10.22 | 2.08 | ARG |
| | | | | | | 2.10 | 10.23 | 1.04 | |
| | 201806043 | 201806043 | A | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 8.98 | 2.67 | ARG |
| | 201806043 | 201806044 | B | 1.00 | 1.80 | 0.80 | 11.34 | 1.22 | ARG |
| | | | | | | 1.80 | 10.03 | 2.02 | |
| | 201806045 | 201806045 | A | 0.00 | 0.90 | 0.90 | 9.95 | 0.62 | ARG |
| | 201806045 | 201806046 | B | 0.90 | 2.40 | 1.50 | 4.61 | 0.03 | ARG |
| | 201806045 | 201806047 | C | 2.40 | 3.60 | 1.20 | 10.37 | 1.06 | ARG |
| | | | | | | 3.60 | 7.87 | 0.52 | |
| | 201806048 | 201806048 | A | 0.00 | 1.40 | 1.40 | 8.02 | 1.09 | ARG |
| | 201806048 | 201806050 | B | 1.40 | 3.20 | 1.80 | 13.71 | 0.60 | ARG |
| | | | | | 3.20 | 11.22 | 0.82 | | |
| | | | | | 2.48 | 9.98 | 1.26 | | |

Fuente: Elaboración propia

- **Bloque 4**, Veta reconocida con laboreo convencional en el nivel 03, buena mineralización de Cu, control, geoquímica y afloramiento en superficie.

Tabla 18
Composito de leyes para el bloque 4

| Bloque | Channel | Sample | Order | From_m | To_m | Length | Fe_% | Cu_% | Vein |
|-----------------|-----------|-----------|-------|--------|------|-------------|-------------|-------------|------|
| BLOQUE 4 | 201806051 | 201806051 | A | 0.00 | 1.20 | 1.20 | 8.34 | 1.62 | ARG |
| | 201806051 | 201806052 | B | 1.20 | 2.50 | 1.30 | 8.94 | 2.65 | ARG |
| | | | | | | 2.50 | 8.65 | 2.15 | |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 19
Resultado de Potencial Mineral de la veta Argentina

| Veta Argentina | Potencial Mineral |
|----------------------------------|--------------------------------|
| Block 1 | 450,000 t @ 4.23 % Cu |
| Block 2 | 530,000 t @ 3.49 % Cu |
| Block 3 | 100,000 t @ 1.20 % Cu |
| Block 4 | 37,000 t @ 2.16 % Cu |
| Total Potencial Argentina | 1.117,000 t @ 3.54 % Cu |

Fuente: Elaboración Propia

El proyecto Alexander 9K, extrae entre 30 – 60 Tn /diarias, un promedio de 1000 Tn / mensuales, con una ley de 4%. El concentrado enviado a planta es de 40Tn, el porcentaje de recuperación en planta es de 85%, finalmente se venden 34 Tn de cobre mensual.

- Concentrado de cobre: $1000\text{Tn} \times 4\% = 40 \text{ Tn}$
- Recuperación de la planta: 85%
- Concentrado de cobre para venta: $40\text{Tn} \times 85\% = 34 \text{ Tn}$
- Precio del cobre: \$ 6120.00
- Valor de venta de Mineral: $\$ 6120.00 \times 34 \text{ Tn} = \$ 208080.00$



V. CONCLUSIONES

- El sistema principal de fallamiento en el proyecto Alexander 9K que representa a las vetas, está controlado por un esfuerzo mayor (σ_1) con una dirección N315°W, N325°W y N336°W formando un esfuerzo de rumbo con movimiento Sinestral; por otro lado el segundo sistema principal de fallamiento, representa a fallas que desplazan a las vetas, controlado por un esfuerzo menor (σ_3) de dirección N75°E y N55°E, formando un esfuerzo de rumbo dextral.
- En el área de estudio se identificaron 9 vetas, con longitudes de más de 5 km, de las cuales sólo son explotadas la veta Argentina y Perricholi. La mineralogía está controlada por la presencia en mayor cantidad de sulfuros y óxidos de Cobre. En ciertas zonas se aprecia brechamiento asociado a óxidos de hierro, con venillas de calcita y cristales de turmalina. La roca encajonante es la cuarzomonzonita. El zoneamiento vertical está constituida por una zona de óxidos (Crisocola, Malaquita, Hematita y Cuprita); zona de sulfuros secundarios (bornita, calcosina, covelina y calcopirita); zona hipogena (calcopirita y pirita) y diseminado de magnetita con actinolita dentro de todo el yacimiento, por lo tanto el yacimiento está relacionado a una asociación de depósitos de Oxido de Fe, Cu y Au (IOCG).
- Con los datos de interior mina, se hizo el cálculo de recursos minerales inferidos de la veta Argentina, el resultado final es muy alentador para cualquier inversionista, 1.117,000 t @ 3.54 % Cu; entonces, se concluye que las vetas cupríferas del proyecto Alexander 9K, presentan altos índices de rentabilidad económica.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un cartografiado geológico más detallado en las zonas de interés, tanto en superficie e interior mina, para reconocer nuevos controles mineralógicos, estructurales y litológicos.
- Se recomienda tomar en cuenta, que las principales estructuras mineralizadas están controladas por una orientación N315°W de movimientos sinestrales y son desplazados por fallas de tipo dextral.
- Para obtener datos más exactos y verídicos se recomienda realizar perforación diamantina en las zonas donde se presentan anomalías muy altas; para así poder estimar los recursos y reservas de mineral.
- Se recomienda tomar como referencia los mapas que se elaboraron en el presente estudio, como guía para posteriores trabajos o estudios dentro del proyecto Alexander 9K.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(s.f.).

Acosta, J. (2006). *Características Metalogenéticas de los Yacimientos Asociados a los Arcos Magmáticos Mesozoicos del Sur del Perú*. Lima -Peru: Ingemmet.

Agar, R. (1985). *The Linga super-unit: high-k diorites of the Arequipa segment*. Pitcher, wallacw spencerr, ed.; Atherton, Michael P., ed.; Cobbing, Edwin John, ed.; Beckinsale, Robert D., ed., *Magmatism at a plate edge*. The Peruvian Andes. Glasgow: Blackie & Son.

Alfaro, M. (2007). *Estimación de Recursos Mineros*. Paris: Escuela de minas de Paris.

Arcos, A., & Calderon, C. (2017). *Asistencia Técnica a los Mineros Artesanales entre Palpa y Cháparra*. Lima - Peru: INGEMMET, Boletín Serie E: Minería, Dirección de Recursos Minerales y Energéticos.

Caldas, J. (1978). *Geología de los cuadrangulos de San Juan, Acarí y Yauca*. Lima: Carta Geológica Nacional, 30.

Calvo , G., Rodriguez, O., Serrano, M., Tornos , F., Rodriguez , R., Velazco , F., . . .

Sapacayo, M. (2012). *El skarn magnésico de Pampa de Pongo: Un megayacimiento de hierro en la Cordillera de la Costa del Sur del Perú*. Lima - Peru: Ponencia presentada en el XVI Congreso Peruano de Geología & SEG 2012 Conference.

Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Romero, D., Cerpa , L., Mamani, M., . . . Cueva, E.

(2009). *Dominios Geotectónicos y Metalogenéticos del Perú*. Lima: Boletín Sociedad Geológica del Perú, 103, 1-89.



- Chara. (2000). *Petrografia geocronologia y exploración minera en el cuadrangulo de Ica*. Lima: Congreso Peruano de Geología, Sociedad Geológica del Perú, p, 410-424.
- Chen, H. (2008). *The Marcona - Mina Justa District, South-Central. Perú: implications and definition of the iron oxide-copper (-gold) ore deposit Clan*. Canadá: (Disertación doctoral no publicada). Queen's University, Ontario,.
- Chew, D., Schaltegger, U., Kosler, J., Whitehouse, M., Guitjhr, M., Spiking, R., & Miskovic, A. (2007). *geochronologic evidence for the evolution of the andwanan margin of the north central andes*. Geological Society of America Bulletin.
- Cobbing, E. (1978). *The Andean geosyncline in Peru and its distinction from Alpine geosynclines*. London: Jour. Geol. Soc. London, 135, p. 207-218.
- Contreras, M. (2014). *Definicion del contexto Estratigrafico, Magmático y estructural del yacimiento Pampa de Pongo para construir el modelo Geologico y tectónico*. Lima, Perú: Tesis Pregrado UNI.
- Contreras, M., Moreno, C., Sapacayo, M., & Serrano, M. (2015). Modelo de evolución geológica y tectónica al suroeste de la mina Hierro Acarí (Bella Unión, Caravelí, Arequipa). En *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v.110 (págs. 190-195). Lima - Peru: Sociedad Geologica del peru.
- De la Cruz, J. (2003). *Memoria descriptiva de la revision y actualización del cuadrangulo (30n)*. Lima-Perú: Instituto Geologico Minero y Metalurgico.
- Dunnin, E. (1970). *El plutón de Acarí (Perú) como un ejemplo de la diferenciacion del magma tonalitico*. Alemania: Geologische Rundschau 59, 1141 - 1180.



- Gomez, D., & Babin, B. (2010). *Problemas de geología estructural*. Madrid:
Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad
Complutense de Madrid. José Antonio Novais, s/n. 28040-Madrid.
- Hernandez, R. (2014). *Metodología de la Investigación Sexta Edición*. Mexico:
McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hitzman, M., Oreskes, N., & Eunadi, M. (1992). *Geological characteristics and
tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits, in Gaal, G.,
and Schulz, K., eds., Precambrian Research, 58*. Amsterdam: Elsevier Science
Publishers, p. 241-287.
- Injoque, J. (2002). *Oxide Fe-Cu-Au deposits in Peru*. -: Linden Park Sa: PGC
Publishing, 2002, tomo 2, p. 97-113.
- Injoque, J., Atkin, B., Harvey, P., & Snelling, N. (1988). *Mineralogía, geoquímica y
geocronología del skarn geotermal de hierro de Marcona*. Lima: Boletín
Sociedad Geológica del Perú 78-65-80.
- Jenks, W. (1945). *La geología de Arequipa y sus alrededores*. Informaciones y
memorias de la sociedad de ingenieros del Peru.
- JORC. (2012). *The Joint Ore Reserves Committee Code*. Australian: Australian Institute
of Geoscientists.
- Macharé, J. (1987). *La margen continental del Perú: régimen tectónico y sedimentario
cenozoico de los Andes centrales. (Disertación doctoral no publicada)*. Paris:
Université de Paris XI,
- Martinez Catalán, J. (2003). *Geología estructural y Dinámica global*. Departamento de
geología - universidad de Salamanca, adaptado por gutierrez Gabriel.



- Newell, N. (1956). *Reconocimiento geológico en la region Pisco-Nazca*. Lima: Bol. Soc. Geol. del Perú, T. 30.
- Oyarzun, R., & Lillo, J. (2013). *Geología estructural aplicada a la minería y exploración minera - principios basicos*. Madrid-España: Ediciones GEMM - Aula 2punto.net.
- Valencia , M., Lozada, V., Leon, W., & Marchena , A. (2018). *Estudio Metalogenético de la Faja magmática Jurásico – Cretáceo, asociado a los depósitos minerales tipo IOCG y Pórfidos entre Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna: GE33a-4 Bloque Norte*. Lima - Peru: Instituto Geologico Minero y Metalurgico - INGEMMET Dirección de Recursos Minerales y Energéticos - DRME Programa de Metalogenia.
- Yanarico, M. (2012). *Alteraciones Hidrotermales - texto Universitario*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Zuñiga, R. (2014). *Modelo Geologico-Estructural y evaluación economica de la veta San Juan y Mercedes, Unidad Minera San Juan de Chorunga Condesuyos - Arequipa*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustin - Tesis para optar el titulo profesional de Ingeniero Geologo.



ANEXOS

- A. Mapa de Ubicación Proyecto Alexander 9K
- B. Mapa geológico Regional – Cuadrángulo de Caravelí
- C. Mapa geológico Local Proyecto Alexander 9K
- D. Mapa de Alteraciones Alexander 9K
- E. Ubicación de zonas para análisis estructural Proyecto Alexander 9K
- F. Modelo Estructural propuesto
- G. Mapa Geomorfológico Proyecto Alexander 9K
- H. Mapa de valores Geoquímicos Cu Proyecto Alexander 9K
- I. Sección longitudinal – veta Argentina
- J. Identificación de bloques Veta Argentina
- K. Vista en secciones 3D
- L. Data para análisis estructural por zonas
- M. Código de Muestras Ubicadas en cada saco
- N. Ficha de presupuesto – Inspectorate Services Perú SAC.
- O. Datos para mapa de anomalías en superficie_ Cu ppm.

