



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y PROFUNDIZACIÓN DE
LA VETA NANCY, MINERA AURÍFERA CUATRO DE ENERO –
CARAVELÍ – AREQUIPA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MOISÉS CHARA VILLANUEVA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios Todopoderoso, por ser mi guía y llevarme de la mano en cada momento de mi vida, por darme la fuerza, salud y voluntad para seguir adelante alcanzando mis metas soñadas.

A mis padres Mario, Catalina y todos mis hermanos porque cada uno de mis logros pasados y futuros, llevar por un buen camino, gracias por sus consejos, comprensión, tolerancia, paciencia, cariño, amor; sobre todo por brindarme su apoyo y estar presente cuando más los he necesitado también por el apoyo en mi formación profesional.

A mi compañera Maritza mi mejor amiga por su apoyo y exigencia gracias por tu comprensión y por construir una historia juntos.



AGRADECIMIENTO

Doy gracias sobre todo a Dios y a la vida por la enorme bendición.

A mis padres y hermanos por darme su apoyo constante y aliento moral en los momentos más difíciles y por su gran paciencia en los tiempos de estudios, que han sido muy importantes para mi formación profesional. A mi mejor amiga Maritza, por iluminarme y cambiarme la vida gracias por ser el motor que me empuja día a día en mi carrera profesional.

A la MINERÍA AURÍFERA CUATRO DE ENERO S.A. MACDESA U.E.A CUATRO HORAS”, por haber dado la oportunidad y permitido desempeñarme como profesional en el área de exploraciones geológicas. En especial mi reconocimiento al Ing. Gonzalo Achata B, por su apoyo y volcar sus experiencias hacia mi persona en los trabajos de exploración.

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica; por haberme cobijado en sus claustros y permitir mi formación profesional. En especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de quienes recibí la formación académica.

A mi asesor de tesis Ing. Luis Vicente Ortiz Gallegos, por las valiosas orientaciones y apoyo profesional brindadas para la realización del presente trabajo.

Mi agradecimiento a todas las personas que estuvieron pendientes del trabajo y manifestaron su colaboración en la realización de esta tesis cada página alberga mucho entusiasmo, esfuerzo, dedicación, pero sobre todo amor a la Geología, toda mi gratitud.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN14

ABSTRACT15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA17

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....18

1.3 HIPÓTESIS.....18

1.4 JUSTIFICACIÓN18

1.5 OBJETIVOS19

1.5.1 Objetivo General.....19

1.5.2 Objetivos Específicos19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES20

2.2 MARCO TEÓRICO21

2.2.1 Geología regional21

2.2.2 Estratigrafía22

2.2.2.5 Rocas Intrusivas.....25

2.2.3 Geomorfología regional27



2.2.4	Geología estructural regional	28
2.2.5	Metalogenia del Perú	30
2.3	MARCO CONCEPTUAL.....	32
2.3.1	Concepto y origen de los yacimientos minerales	32
2.3.2	Yacimientos hidrotermales	33
2.3.3	Tipos de depósitos hidrotermales	44
2.3.4	Alteración hidrotermal.....	51
2.3.5	Los Cimoides.....	55
2.3.6	Sistema de fracturamientos en una zona de cizallamiento-modelo de	55
2.3.7	Zonas transtensión o transpresión	57
2.3.8	Análisis cinemático.....	57
2.3.9	Indicadores cinemáticos.....	58
2.3.10	Mineral de mena	60
2.3.11	Mineral de ganga	60
2.3.12	Paragénesis y Zoneamiento	61
2.3.13	Estudio petrológico.....	61
2.3.14	Perforación de sondajes diamantina	62
2.3.15	Recurso.....	63
2.3.16	Reserva.....	63
2.3.17	Recursos minerales	64
2.3.18	Reserva mineral	65

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	UBICACIÓN.....	66
3.2	ACCESIBILIDAD.....	67
3.3	DISEÑO METODOLOGICO	67
3.3.1	Recopilación y revisión de Información.....	68



3.3.2	Trabajos de Campo.....	68
3.3.3	Trabajos de laboratorio.....	69
3.3.4	Trabajos de Gabinete.....	69
3.4	ESTUDIO GEOQUÍMICO.....	70
3.4.1	Muestreo.....	70
3.4.2.	Control de calidad.....	76
3.4.3	Marcado de áreas mineralizadas y control de dilución.....	78
3.4.4	Codificación, registró y transporte de muestras.....	79
3.5	MATERIALES.....	80
3.6	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	81
3.6.1	Población.....	81
3.6.2	Muestra.....	81
3.7	VARIABLES.....	81
3.7.1	Variables independientes.....	81
3.7.2	Variables dependientes.....	81
3.8	MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	81
3.9	TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	82
3.9.1	Técnicas.....	82
3.9.2	Instrumentos de recolección de datos.....	82
3.10	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	82
3.11	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	83
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1	CARACTERÍSTICACION GEOLOGICA Y EL COMPORTAMIENTO GEOLOGICO DE LA VETA NANCY.....	84
4.1.1	GEOLOGÍA LOCAL.....	85
4.1.2	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	89



4.1.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	91
4.1.4	GEOLOGÍA ECONÓMICA DEL YACIMIENTO	99
4.1.5	ESTRUCTURAS MINERALIZADAS PRINCIPALES	100
4.1.6	MINERALOGÍA	101
4.1.7	PARAGÉNESIS	107
4.1.8	ZONEAMIENTO	108
4.1.9	GÉNESIS Y TIPO DE YACIMIENTO.....	109
4.1.10	CONTROLES DE MINERALIZACIÓN.....	109
4.1.11	ALTERACIONES HIDROTERMALES.....	111
4.1.12	ALTERACIONES HIPOGENAS.....	111
4.1.13.	ALTERACIONES SUPÉRGENAS	114
4.1.14	PERFORACIÓN DE SONDAJES DIAMANTINOS	115
4.1.15	RESULTADOS DE LAS PERFORACIONES DIAMANTINAS.....	117
4.1.16	COMPORTAMIENTO DE LA VETA NANCY EN LOS DIFERENTES NIVELES.....	120
4.2	INTERPRETACION DE LA MINERALIZACIÓN ECONOMICA DE LA VETA NANCY.....	123
4.2.1	PROFUNDIZACIÓN DE LA VETA NANCY	130
4.2.3	ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS	132
V.	CONCLUSIONES	134
VI.	RECOMENDACIONES	135
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	136
	WEBGRAFIA.....	140
	ANEXOS.....	141

ÁREA : Geología de minas

TEMA: Características geológica

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15 de enero de 2020



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Columna estratigráfica regional (INGEMMET, 2017).....	27
Figura 2: Mapa metalogenético del sur del Perú entre las latitudes 14 - 18°30'S. SFNO: Sistema de Fallas Nazca-Ocoña. SFCLL: (INGEMMET 2017).	31
Figura 3: Esquema de yacimientos hidrotermales (Calizaya, W. 2011).....	35
Figura 4: Tipos de yacimiento hidrotermales (INGEMMET. Exposición Valencia Michel).	37
Figura 5: Esquema de soluciones hidrotermales (Colorado, USA).	37
Figura 6: Modelo conceptual simplificado de los depósitos epitermales de baja (BS), intermedia (IS) y alta sulfuración (AS) (Hedensquist 1687).....	46
Figura 7: Zoneamiento típico de alteración para los depósitos de baja e intermedia sulfuración (Modificado de Buchanan, 1981.)	55
Figura 8: Modelo de fracturamientos RIEDEL (Quispe, J. 2006).....	56
Figura 9: Sistema de tectoglifos estructurales (Quispe J., 2006. et al Macharé J. 2001)	58
Figura 10: Diseño metodológico para elaboración del proyecto de investigación	70
Figura 11: Muestreo por canales	72
Figura 12: Ubicación de canales en galerías y ventanas	73
Figura 13: Ubicación de canales en chimeneas y tajos	73
Figura 14: Espaciamiento de canales de muestras.....	75
Figura 15: Muestreo agarrado (Carga Común).....	76
Figura 16: Control de calidad en labores	78
Figura 17: Marcado de estructuras.....	79
Figura 18: Registro de codificación.....	79
Figura 19: Codificación de muestras.....	80
Figura 20: Vista de la Super Unidad Tiabaya.....	86
Figura 21: Roca encajonante (Granodiorita)	87
Figura 22: Vista de depósitos recientes	89
Figura 23: Vista de las Unidades Geomorfológicas.....	91
Figura 24: Fallamiento de la veta Nancy.....	94
Figura 25: Relleno de fracturas con diques andesíticos con minerales pre-existentes ..	95
Figura 26: Falla Perdición en la interior mina debilitamientos de las cajas.....	96



Figura 27: Faulkin 7.5, Interfaz para ingreso y edición de datos estructurales en la data	97
Figura 28: Faulkin 7.5, Interfaz en Windows (bottom) y Mac OS (top), para analizar y calcular zonas de esfuerzo	98
Figura 29: Diagrama de rosetas	98
Figura 30: Pirita FeS_2 en la Veta Nancy.....	103
Figura 31: Cuarzo SiO_2 en la veta cuatro horas.....	104
Figura 32: Hematita (Fe_2O_3), Acompañado por mineral de siderita y calcita.....	104
Figura 33: Limonita $FeO(OH)H_2O$	105
Figura 34: Calcita $CaCO_3$ En la Veta milagrosa.....	105
Figura 35: Clorita $(MgFe)_5 Al(Si_3O)_{10}(OH)_8$ En la Veta Nancy junto con roca encajonante	106
Figura 36: Epidota Ca_2FeAl_2O en la roca encajonante	106
Figura 37: Alteración fílica.....	112
Figura 38: Alteración argílica.....	112
Figura 39: Alteración propilitica.....	113
Figura 40: Intercepto del clavo mineralizado, veta de cuarzo con textura brechada, acompañado con fallas y arrastre de cuarzo de la veta Nancy	116
Figura 41: Granate (Gnt) los granates están englobados dentro de los anfiboles (Anf), Mo=Minerales opacos estan distribuidos de manera diseminada.....	123
Figura 42: Anf=Anfiboles, Gnt= Granates presenta una alteración en clorita rodeada de anfiboles	124
Figura 43: Sección delgada de la estructura mineralizada; Cal=Calcita, Qz=Cuarzo, MO=Mineral opaco.....	125
Figura 44: Sección pulida de la estructura mineralizada; Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Esf=Esfalerita, Anf=anfiboles, Gnt=Granate.....	126
Figura 45: Sección pulida de la estructura mineralizada; Au=Oro, Arg=Argentita, Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Esf=Esfalerita, Py=pirita, Cal=Calcita.	127
Figura 46: Sección pulida de la estructura mineralizada; Au=Oro, Arg=Argentita, Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Py=pirita, Cal=Calcita.	128
Figura 47: Sección pulida de la estructura mineralizada; Au=Oro, Arg=Argentita, Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Py=pirita, Cal=Calcita.	129



- Figura 48:** Sección pulida de la estructura mineralizada; Au=Oro, Arg=Argentita,
Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Py= piritita, Cal=Calcita.130
- Figura 49:** Sección pulida de la estructura mineralizada; Arg=Argentita,
Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Py=pirita, Cal=Calcita.130



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Composición química de las rocas ígneas.....	32
Tabla 2: Distribución de los minerales en distintos niveles de los yacimientos.....	35
Tabla 3: Alteración de rocas encajonantes	41
Tabla 4: Diferencia entre epitermales de Alta sulfuración y Baja sulfuración.....	47
Tabla 5: Clasificación de tipos de alteración.....	54
Tabla 6: Diámetro usado en perforación diamantina	63
Tabla 7: Relación general entre resultados de exploración, recursos y reservas minerales.....	65
Tabla 8: Coordenadas de ubicación	66
Tabla 9: Vías de acceso	67
Tabla 10: Recursos para desarrollar el proyecto.....	80
Tabla 11: Matriz para la operacionalización de variables	81
Tabla 12: Composición macroscópica	86
Tabla 13: Rumbos de vetas, fallas y diques.....	96
Tabla 14: Secuencia paragenética de la mina MACDESA	108
Tabla 15: Resumen general de las perforaciones diamantinas	117
Tabla 16: Resultados de sondaje de DDH-14.....	117
Tabla 17: Resultados de sondajes DDH-15	118
Tabla 18: Resultados de sondaje de DDH-16.....	118
Tabla 19: Resultados de sondaje de DDH-17	119
Tabla 20: Resultados de sondaje de DDH-18.....	119
Tabla 21: Resultados de sondaje de DDH-19	119
Tabla 22: Resultados de sondaje de DDH-20.....	120
Tabla 23: Resultados de sondaje DDH-21	120
Tabla 24: Resumen general de recursos y reservas minerales.....	133



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Kg.	: Kilogramos
Km	: Kilómetros
M	: Metros
Gr	: Gramos
Pe	: Peso específico
TM	: Toneladas métricas
Oz	: Onzas
Tc	: Toneladas cortas
°C	: Grados Celsius
Pot	: Potencia
TMS	: Toneladas métricas secas
N	: Norte
E	: Este
S	: Sur
W	: Oeste
Rb	: Rumbo
Bz	: Buzamiento
Au	: Oro
Ag	: Plata
Cu	: Cobre
Gal	: Galería
SN	: Subnivel
Ch	: Chimenea



PQ	: Pique
Nv	: Nivel
M.S.N.M	: Metros sobre el nivel del mar
UTM	: Universal Transversal Mercator
Cut Off	: Ley mínima explotable
Has	: Hectáreas
Gr/TM	: Gramos por toneladas métricas
Ma	: Millones de años
U.E.A	: Unidad Económica Activa
E.P.P	: Equipos de protección personal
PETS	: Permiso escrito de trabajo seguro
Oz/Tc	: Onzas por toneladas cortas
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero Metalúrgico
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
MACDESA	: Minera Aurífera Cuatro de Enero Sociedad Anónima



RESUMEN

El yacimiento aurífero Cuatro de Enero está ubicado al Noroeste del distrito de Chaparra en la provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, y pertenece a la empresa Macdesa. El objetivo de la tesis es determinar las características geológicas, estructurales y geoquímicas que permitió interpretar la mineralización económica de Oro en la veta Nancy y su continuidad en niveles inferiores a 1760. La metodología empleada en el presente estudio es de tipo descriptivo para lo cual se estableció tres etapas de trabajo; la etapa de recopilación de información consistió en recurrir a diversas fuentes bibliográficas, la etapa de campo comprende en elaboración de mapeos geológicos, muestreo y avance de labores de exploración y perforaciones diamantinas. En etapa gabinete se analizaron los resultados para continuar con la interpretación de planos, secciones longitudinales y resultados del muestreo, perforación diamantina. La veta Nancy conforma un sistema de vetas de cuarzo aurífero, hospedada en roca granodiorita en la que destacan la unidad Tiabaya, la mineralización sigue un alineamiento principal NW-SE. La mineralogía consiste en cuarzo, pirita, calcopirita, arsenopirita, argentita, esfalerita, hematita y calcita. La Veta Nancy tiene una serie estructuras filoneana con comportamiento tipo rosario de yacimiento mesotermal. En la cámara diamantina en Cx 420 NW se desarrolló ocho taladros diamantinos, de los cuales cortaron la veta, en el taladro DDH-14 cortó veta con una ley 4.83 grAu/TM. Potencia de 0.17 m, DDH-16 cortó veta con una ley 2.82 grAu/TM. Potencia de 0.35 m, DDH-18 cortó veta con una ley 87.96 grAu/TM. Potencia de 0.15 m, DDH-19 cortó veta con una ley 30.96 grAu/TM. Potencia de 0.28 m. Los de más taladros diamantinos tienen una ley por debajo de 2 grAu/TM. Los resultados obtenidos con las perforaciones diamantinas e interpretaciones geológicas demuestran que la veta Nancy tiene continuidad a niveles inferiores al 1760, alcanzando buenos resultados hasta el nivel 1600.

Palabras Clave: Características Geológicas, comportamiento de la veta, profundización de la Veta, perforación diamantina, yacimiento mesotermal.



ABSTRACT

The four of January gold deposit is located in the northwest of the Chaparra district in the Caravelí province, department of Arequipa, and belongs to the Macdesa company. The objective of the thesis is to determine the geological, structural and geochemical characteristics that allowed the interpretation of the economic gold mineralization in the Nancy vein and its continuity at levels below 1760. The methodology used in this study is descriptive for which established three stages of work; The information gathering stage consisted of resorting to various bibliographic sources. The field stage included geological mapping, sampling and advancement of exploration and diamond drilling. In the cabinet stage, the results were analyzed to continue with the interpretation of plans, longitudinal sections and sampling results, diamond drilling. The Nancy vein forms a gold-bearing quartz vein system, hosted on granodiorite rock in which the Tiabaya unit stands out, the mineralization follows a main NW-SE alignment. Mineralogy consists of quartz, pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, argentite, sphalerite, hematite, and calcite. The vein Nancy has a series of philonite structures with rosary-like behavior from the mesothermal site. Eight diamond drills were developed in the diamond chamber in Cx 420 NW, of which they cut the grain, in the DDH-14 drill it cut grain with a 4.83 grAu / TM grade. Power of 0.17 m, DDH-16 cut grain with a 2.82 grAu / TM grade. Power of 0.35 m, DDH-18 cut grain with a grade of 87.96 grAu / TM. Power of 0.15 m, DDH-19 cut grain with a grade of 30.96 grAu / TM. Power of 0.28 m. Those with more diamond drills have a grade below 2 grAu / TM. The results obtained with diamond drilling and geological interpretations show that the Nancy vein has continuity at levels below 1760, reaching good results up to level 1600.

Keywords: Geological Characteristics, grain behavior, grain depth, diamond drilling, mesothermal deposit.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La Minera aurífera cuatro de enero S.A - MACDESA es una empresa minera que se encuentra a medio kilómetro del Centro Poblado menor Cuatro Horas (Arequipa), fundado a raíz de la intensa actividad minera en la zona. Este poblado alberga a socios, trabajadores y sus respectivos familiares.

La geología del área está conformada por vetas delgadas y medianas (potencia entre 0.15 y 0.80 metros) emplazadas dentro del paquete intrusivo del Batolito de la costa peruana. Este paquete intrusivo tiene sus respectivas variaciones que van desde intrusivos faneríticos como granodioritas, dioritas de grano medio y paquetes sub-volcánicas con pórfidos andesíticos.

La característica principal de las vetas es la formación de cimoides de pequeño y gran tamaño con estructuras menores como tensionales del modelo. Otra característica importante son las aureolas de alteración propílica e intensa cloritización en las cajas cercanas a las vetas y aureolas de alteración mayores en las intersecciones de los cimoides.

En general las zonas mineralizadas están controladas por esfuerzos principales de compresión tanto en vertical como en longitudinal, asimismo ocurren fallas de un segundo orden de rumbos N-S que provocan desplazamientos gravitacionales, generalmente dextrales.

Tal como apreciamos existe una asociación entre el conjunto estructural y el emplazamiento de la mineralización, por lo que en futuras exploraciones debe de tomarse en cuenta para la localización de otras estructuras favorables.



1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El yacimiento aurífero cuatro de enero ubicado dentro de la franja metalogénica Au - Cu, relacionado al batolito de la costa del Cretáceo superior que sigue un alineamiento Este-Oeste y con ella se encuentran yacimientos de oro de mediana y pequeña escala como Ocoña, Calpa, Caraveli e Ishihuinca, Orión, Eugenia, Posco y otros. Esta faja forma parte del cinturón aurífero Nazca- Ocoña. La mina MACDESA se sitúa en la parte central de la faja y su potencial aún no se conoce, ya que toda el área se encuentra cubierta por material aluvial. Por el momento es una pequeña empresa; que apunta a crecer, el cual constituye un importante yacimiento mesotermal, las estructuras principales lo constituyen las vetas Nancy, Santa Rosa, Milagrosa, Cuatro Horas y otros de menor importancia, sin embargo, la continuidad y profundización de la mineralización de la veta mencionada, aún no han sido determinadas, los cuales serán reconocidos conforme avancen las labores de exploración y sondajes diamantinos.

La veta Nancy es una importante estructura mineralizada que actualmente se tiene reconocido hasta nivel 1760 constituyendo un plano de veta mineralizado, con la probabilidad de que la veta Nancy profundice a niveles inferiores de 1760 y que esta longitud sea mayor al extremo norte.

En el área de estudio no se tiene un adecuado cartografiado geológico al detalle, por lo que es importante para la elaboración de planos geológicos y así tipificar adecuadamente los afloramientos y las características del yacimiento.

Así mismo no existe suficiente información sobre la génesis y características estructurales, litológicas y mineralógicas de este yacimiento, la secuencia o eventos de mineralización que se han producido en las estructuras.



De este modo, todo el desarrollo de esta tesis de investigación se fundamenta en interrogantes que da sentido y forma a todos nuestros planteamientos.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Dadas las consideraciones anteriores se tiene las siguientes preguntas:

¿Cuáles son las características geológicas, estructurales, geoquímicas en profundidad de la veta Nancy?

¿Cuál es la posibilidad de que los recursos de mineral económico alcancen a mayor profundidad?

1.3 HIPÓTESIS

Con la información obtenida a través de las labores de desarrollo, perforación diamantina y estableciendo las características geológicas, mineralógicas y estructurales de la veta Nancy, se evidencia el comportamiento de la mineralización económica en niveles inferiores al nivel 1600.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El interés principal de la investigación parte del problema actual que se atraviesa por falta de reservas minerales, la explotación del oro continua día a día, pero sin embargo se necesita encontrar, cuantificar y elevar los recursos minerales para alargar la vida de la mina. Teniendo en cuenta el modelo del yacimiento, las exploraciones que se realizaron por medio de perforaciones diamantinas, pique, galerías y chimeneas desde el nivel 1760 hasta el nivel 1600, obteniendo buenos resultados para la explotación de los recursos minerales con valor económico, esto indica la importancia de esta veta con sistemas estructurales muy complejos.



Partiendo de allí, con esta investigación se pretende determinar la continuidad de la veta Nancy hacia niveles inferiores, determinando también las características geológicas en base a enfoques teóricos que se manejan actualmente en cuanto a los estudios geológicos realizados en la zona y datos tomados en campo. Cabe señalar, la importancia de un programa anual de perforaciones diamantinas, conducentes a verificar el comportamiento geológico para la realización de labores de desarrollo.

Esta investigación se realizó con el fin de determinar las características geológicas en longitud horizontal y en profundidad que sean favorables para la mineralización económica de la veta Nancy, esto nos permitiría a incrementar los recursos y continuar con la producción.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General.

Caracterizar la geología y profundización de la veta Nancy, Minera Aurífera Cuatro de Enero – Caravelí – Arequipa.

1.5.2 Objetivos Específicos

Evaluar el comportamiento geológico en los niveles inferiores mediante el desarrollo de galerías, chimeneas y perforación diamantina de la veta Nancy.

Interpretar la mineralización económica en profundidad de la veta Nancy.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Se tienen trabajos previos que tratan la génesis del yacimiento, los temas estructurales no son abarcados a profundidad. Se tienen algunos estudios a escala distrital – regional, en yacimientos como la mina Ishiuhinca y mina Caraveli entre otros.

De Montreuil L. (1990), *Mineralogía de Yacimientos Auríferos del Perú*, realiza una sinopsis de las diferentes franjas de yacimientos de Au en el Perú, rescatando la ocurrencia de Au nativo sobre electrum en los depósitos mesotermiales de la franja Nazca – Ocoña, también la relación de la ratio Au/Cu mostrando la importancia en este tipo de yacimientos, hay valores de Au si ocurren contenidos de Cu en la pirita. Ejecuta un modelo primigenio de lo que serían las franjas metalogenéticas del Perú publicadas por el INGEMMET (2007).

Núñez F. & Condori A. (1994), *Características Metalogenéticas de la Mineralizaciones Auríferas asociadas al segmento Sur del Batolito de la Costa*, resalta la información de la diferenciación entre las tendencias NW – SE al norte de la latitud 15°45' y NE – SW al Sur, marcando posibles periodos tectónicos mineralógicos diferentes.

Martínez P. (1996), *Yacimientos Auríferos Relacionados al Batolito de la Costa en la Franja Nazca – Ocoña*, otorga importantes aportes al plantear modelos esquemáticos de los emplazamientos de distintos tipos de depósitos en un eje transversal al Batolito de la Costa, adicional se observan modelos para los depósitos tipo stockwork y vetas mesotermiales.



De Montreuil L. (1979), Ocurrencias de Oro y sus asociaciones – Franja Nazca Ocoña, resalta las características mineralógicas del distrito minero mostrando una estrecha relación entre el Au, la pirita y el cuarzo, mencionan las tendencias andinas en las estructuras y el emplazamiento de la mineralización desde ambientes hidrotermales, hipotermales a mesotermales.

En el 2004, alrededor de 400 mineros artesanales formaron la Asociación de Mineros de Cuatro Horas – ADEMIC para extraer mineral de las entrañas de los cerros del Chaparra en Caravelí, Arequipa. Con trabajo, visión y convicción de hacer las cosas bien ese mismo año crearon la empresa de base comunitaria. Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A – MACDESA. Durante ese periodo comienza el relacionamiento con la ONG RED SOCIAL y otras organizaciones y consultoras; que con el apoyo financiero del Programa GAMA de la cooperación suiza efectuaron diversos subproyectos de organización y capacitación, en diversos aspectos conducentes a la formalización actualmente se tiene desarrollos, cruceros, galerías, piques, chimeneas, etc. sobre esta veta producto de un planeamiento de exploración y desarrollo.

En la actualidad la minera aurífera cuatro de enero cuenta con una planta metalúrgica que produce 3500 Tn/Mes, minerales Au y derivados de plata.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Geología regional

Regionalmente, el contexto geológico que abarca desde el litoral hasta la Cordillera Occidental y se caracteriza por presentar amplias exposiciones de rocas metamórficas, intrusivas, sedimentarias y volcánicas, cuyas edades abarcan desde el Paleozoico Inferior hasta el Reciente.



Las rocas más antiguas de la región la constituyen los sedimentos y las secuencias anfibolita gnéisica del Precámbrico. Sobre éstas, en discordancia angular se emplazan las rocas sedimentarias del Mesozoico y las secuencias marino-continetales del Terciario. Instruyendo a las anteriores están las rocas ígneas intrusivas del Batolito de la Costa.

Tomando como base los estudios realizados por el INGEMMET, representados por los cuadrángulos y planos del área de trabajo (Boletín No 34, Serie A, 1980. Hojas 31-ñ Jaqui, 31-0 Coracora, 32-ñ Chala y 32-O Chaparra). Considerando un radio de influencia de no más de 20 Km de la propiedad minera.

Las unidades lito estratigráficas reconocidas en el área de estudio abarcan desde el periodo Jurásico hasta el Cuaternario. Ver ANEXOS N° 02.

2.2.2 Estratigrafía

2.2.2.1 Volcánico Chocolate

Jenks describió una secuencia de rocas volcánicas intercaladas con sedimentos que afloran en la cantera de chocolate, situada a 20 Km. Al NW de la ciudad de Arequipa. En los cuadrángulos de Chaparra y Chala el Volcánico Chocolate descansa discordantemente sobre el Complejo Basal, por intemperismo adoptan un color marrón rojizo. El promedio de dirección de las capas es NE y su buzamiento no es mayor de 30° NW presenta pliegues afectados por fallamientos cuya dirección predominante es NW, el grosor aproximado es de 2800 mts. Se han considerado dos miembros, el miembro Chala y el miembro Lucmilla el primero está constituido por areniscas, conglomerados y brechas andesíticas, este miembro infrayace concordantemente a los Volcánicos del miembro Lucmilla el cual aflora en el puerto de Chala constituido por andesita Porfirítica de color marrón, su espesor llega a 2000 m. su rumbo varia E-W y N 60° E y el buzamiento es de 10° a 20° al NW.



Edad y correlación. - De acuerdo con el contenido fosilífero como son los lamelibranquios, braquiópodos y crinoideos se menciona una edad Liásico en Pachia y Palca (Wilson y García 1962).

2.2.2.2 Formación Guaneros

BELLIDO (1963) dio el nombre de Formación Guaneros para designar a unas rocas volcánicas que afloran en la quebrada Guaneros. La localidad típica de esta Formación se encuentra en el valle de Moquegua a 15 km. antes de su desembocadura.

La litología está conformada por brecha volcánica de color verde o marrón, con fragmentos de composición andesítica, que varían en tamaño desde menor de 1 cm hasta 3 cm de andesitas porfiriticas gris-marrones o verdes, intercalada con areniscas verdes de grano fino a medio y también areniscas conglomeraditas.

Edad y correlación. - Por el contenido fosilífero (trigonia, eximia y Lucian magna) se ha dado una edad Caloviano a Kimmeridigiano.

Se correlaciona cronológicamente con la formación del mismo nombre en los cuadrángulos de Clemesi, con la formación Ataspaca de los cuadrángulos de Pachia y Palca, y con la parte inferior del grupo Yura.

2.2.2.3 Volcánico Sencca (Plioceno superior)

MENDIVIL (1965) describió con este nombre a una secuencia piroclástica que afloran en la quebrada Sencca, situada en el sector sureste de la hoja de Maure.

En el área de estudio, mayormente es constituida la secuencia de tobas dacítico-riolíticas ampliamente distribuidas, encontrándose expuestas en los cuatro cuadrángulos, se presenta formando capas horizontales a sub-horizontales con un grosor que varía entre 200 m.



Superficialmente las rocas son de color rojizo a naranja, mientras que en muestra fresca varía entre el gris claro, blanco amarillento y rosado habiendo sido clasificado como riódacíticas, dacíticas y andesíticas.

Edad y correlación. - Debido a que no se ha encontrado evidencias paleontológicas y teniendo en cuenta que descansa sobre la formación Pisco del mió – plioceno y sobre la formación Maure probablemente del plioceno inferior, hallándose a la vez por debajo de la formación Capillune del plioceno superior, se le da una edad de Plioceno medio.

2.2.2.4 Depósitos Cuaternarios

Tenemos depósitos aluviales localizados en las grandes quebradas como las de Yauca, Chala, Chaparra, Lampalla y Atico están constituidas por conglomerados alternados con capas de arcilla y arena.

Los depósitos Fluviales constituyen el lecho de los actuales ríos y están formados por cantos rodados, gravas y arenas.

Dentro de los depósitos de escombros tenemos los coluviales acumulados en las laderas de los cerros y que se han originado por la acción de la gravedad, así como también aquellos que han tenido lugar por efectos de los Huaycos y por ende las lluvias.

Depósitos eólicos se encuentran conformados por arena localizados en los cerros de arena, pampa de Huaranguillo, Alalo, Med anal, cerros los Médanos, y el cerro Andenes, estas acumulaciones se encuentran desarrolladas desde el nivel del mar hasta los 1 400 m.s.n.m. en el cerro Andenes y 2 000 m.s.n.m. en la pampa Medanal.



2.2.2.5 Rocas Intrusivas

La roca intrusiva predomina en la zona de estudio actuando como roca encajonante de los afloramientos de diques y vetas, las mayores exposiciones de rocas intrusivas se encuentran en los cuadrángulos de Jaqui y Chaparra.

Tenemos intrusivos (Mesozoicos - Cenozoicos) denominados intrusivos andinos estos comprenden rocas plutónicas y rocas hipabisales.

Tenemos intrusivos (Mesozoicos - Cenozoicos) denominados intrusivos andinos estos comprenden rocas plutónicas y rocas hipabisales.

A. Complejo bella Unión (Ks-an)

La denominación corresponde a Caldas (1978), al describir un enorme volumen de rocas sub-volcánicas, que en la localidad de Bella Unión (Cuadrángulo de Acari), manifiestamente intruyen a formaciones del Cretáceo inferior.

En el área de estudio, el Complejo Bella Unión tiene un rumbo que varía de EW a NW-SE donde se prolonga en solución de continuidad, pero limitado marginalmente por grandes lineamientos estructurales, que probablemente controlaron su emplazamiento, intruye a formaciones del Jurásico y Cretáceo inferior

Litológicamente, el Complejo Bella Unión es muy variado, pero la roca predominante es una brecha de intrusión de naturaleza andesítica o dacítico, en grandes bloques angulosos y sub-angulosos, desarrollados mecánicamente durante su emplazamiento y que por erosión diferencial exhiben una morfología cavernosa. Este tipo de rocas están intruidas a su vez por innumerables diques de andesitas porfiríticas con grandes fenoblastos de feldespatos en matrices afaníticas intensamente piritizadas.



Edad de emplazamiento: el Complejo Bella Unión, regionalmente intruye a rocas mesozoicas volcánico-sedimentarias desde Jurásicas hasta Albianas, con un rango de emplazamiento entre 102 Ma., hasta 80 Ma. (COBBING, 1979); por esta razón se asume una edad de intrusión entre fines del Albiano y comienzos del Cenomaniano.

B. Súper unidad Tiabaya (Ks-ti/to-gd, Ks-ti/di)

En el área de estudio, la Súper-Unidad Tiabaya corresponde a la secuencia final de intrusión del batolito de la costa y tiene la particularidad, en forma general, de haberse emplazado a lo largo de una faja central y longitudinal, limitada en el SW por la Súper-Unidad Incahuasi; corresponde a la secuencia de mayor volumen en esta porción del segmento Arequipa, encontrándosele expuesto en el cuadrángulo de Jaquí.

Litológicamente, la Súper-Unidad Tiabaya se halla compuesta por tonalita, granodiorita, diorita, todas estas rocas se caracterizan por un grano fanerítico y textura granítica a hipidiomórfica con intersticial, contiene plagioclasas zonadas, grandes cristales prismáticos de hornblenda, como productos secundarios se encuentra la actinolita, sericita, etc.

Edad de emplazamiento: la Súper-Unidad Tiabaya está conformada por los plutones más jóvenes del segmento Arequipa y las dataciones radiométricas indican una edad de intrusión de 80 Ma. (COBBING, 1979) que permite la evidencia de edad Cretáceo superior.

Columna Estratigráfica Regional

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	SIMBOLOGIA	DESCRIPCIÓN	ROCAS INTRUSIVA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPOSITOS ALUVIALES Y EÓLICOS	Qh-el/al	Acumulacion de material grueso y arena fina	Complejo bella unión
	TERCIARIO	PLIOCENO	VOLCANICO SENCCA	Ts-vse	Tobas dacíticas	
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	SUPER UNIDAD TIABAYA	K-m-l	Monzonita	
				K-gd	Granodiorita	
	JURÁSICO	SUPERIOR	FORMACION GUANEROS	Js-gu	Areniscas, brecha volcánica y andesitas	
		INFERIOR	VOLCANICO CHOCOLATE	Ji-vch	Brechas volcánicas y lavas andesíticas marrones	

Figura 1: Columna estratigráfica regional (INGEMMET, 2017)

2.2.3 Geomorfología regional

La Unidad minera Cuatro de Enero se encuentra ubicada en el cinturón volcánico de la Cordillera Occidental Andina un relieve relativamente empinado, cuyas pendientes evidencian profunda erosión. Así mismo se observa una geomorfología del tipo glaciar, evidenciándose en las zonas altas presencia de nieve perpetua (Boletín N° 34, 1980) Ver ANEXOS N° 03.

2.2.3.1 Cadena costanera (M-Cc)

A partir de los 400 m.s.n.m., el perfil de los cerros se va haciendo cada vez más empinado y por lo tanto la topografía más accidentada. La altitud que alcanzan los cerros es variada, adquiriendo elevaciones que llegan hasta los 2500 m.s.n.m.

Esta unidad esta disecada por valles transversales y por numerosas quebradas que han modificado totalmente la antigua superficie de erosión.



2.2.3.2 Valles transversales (FA-Qt)

Ríos Acarí, Yauca, Chala que drenan en dirección SW, han formado valles, los cuales, por alcanzar su perfil de equilibrio, han profundizado y ensanchado sus cauces. Este proceso desarrollado en un tiempo relativamente corto se ha debido a la erosión sobre una superficie en proceso de levantamiento.

Los valles de los cursos inferiores tienen un ancho máximo de 2 a 3 Km., tal como pueden observarse en la parte baja de los valles de Chala y Yauca, pero generalmente son angostos.

2.2.4 Geología estructural regional

Las estructuras están netamente relacionadas a la tectónica andina, producto de la subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana.

Estas estructuras mineralizadas de oro están netamente ligadas a la provincia aurífera que se da desde Ocoña a Palpa, generalmente relacionadas a un ambiente de deposición de sistemas de fallas y fracturamientos producto de la deformación regional. Ver ANEXOS N° 04.

Las principales zonas estructurales de la región se han diferenciado según la magnitud y el estilo de deformación que han sufrido las rocas, debido a su diferente naturaleza y la variabilidad de los esfuerzos que han actuado como consecuencia de los movimientos tectónicos materializados por pliegues, fallas y diaclasas que se observan en toda el área.



2.2.4.1 Sistema de Fallas Regionales.

Falla pan de azúcar

La falla de Pan de Azúcar es una estructura de dirección E-W que se extiende aproximadamente unos 20 Km a esta falla se la considera como una estructura heredera que ha funcionado como límite norte de la cuenta Moquegua a su vez controlado el emplazamiento de los intrusivos cretácicos. Esta falla es una estructura asociado a la falla Los Médanos, la cual ha sufrido reactivaciones posteriores a su movimiento normal durante el jurásico (Boletín N. °149 serie A minería INGEMMET, 2017).

Falla los médanos

La Falla Los Médanos (Olchauski, 1998) es una estructura de dirección N100° que se extiende aproximadamente unos 60 km dentro de la zona de estudio, esta falla es una estructura heredada del sistema preandino, que ha controlado el emplazamiento de los intrusivos del Cretácico pertenecientes al Batolito de la Costa.

Falla palomino

Tiene una dirección que varía de N15° W a E-W y es tipo normal; se presenta en los cuadrángulos de Acarí, Chala y Chaparra, formando parte de las fallas escalonadas, en donde el bloque NE ha ascendido con respecto al bloque SW.

La traza de la falla se pierde hacia el NW en la quebrada de Tocota y hacia el sur está cubierta por los Volcánicos Sencca. Su longitud es de 40 Km aproximadamente y pone en contacto a rocas plutónicas del batolito de la costa y del Complejo Bella Unión con las Formaciones Jurásicas (INGEMMET, Boletín 34).



2.2.5 Metalogenia del Perú

El Perú es un país que posee yacimientos de plata, plomo, zinc, cobre, oro, molibdeno, Fe, estaño, tungsteno, esta diversidad de minerales metálicos se formaron por procesos geológicos muy peculiares, conformado por eventos tectónicos, magmáticos, y de mineralización ocurridos en la Fase Precámbrica, Fase Hercínica temprana (Devónico Superior), Fase Hercínica tardía (Permiano Medio), Convergencia de las placas tectónicas de Sudamérica y de Nazca en el Mesozoico y Cenozoico, con eventos similares que se repitieron en el ciclo andino desde el Triásico Inferior hasta el Terciario Superior, tal como la Fase Mochica del Cretáceo, la Fase Peruana del Cretáceo Superior al Terciario Inferior (Paleoceno, Eoceno), la Fase Inca del Terciario Medio (Oligoceno); Las Fases Quechua 1, Quechua 2 del Terciario Superior (Mioceno) y Quechua 3 del Terciario Superior (Plioceno).

En general, las vetas pueden alcanzar longitudes de algunos cientos de metros incluso llegando rara vez a 800m o más, lo interesante es la profundización de estas vetas, así en Nazca-Palpa regularmente se considera entre 100 y 200 m, más al sur en Chala, Orión tiene las vetas que alcanzan los 400m de profundidad, en el sector de Caravelí, las vetas en Ishihuinca, Calpa, Posco, San Juan de Chorunga, profundizan casi hasta un kilómetro, con mineralización y leyes persistentes (De Montreuil, 1987). En el sur del Perú el magmatismo, los eventos hidrotermales de mineralización han sido controlados por seis sistemas regionales de fallas NW-SE que delimitan seis dominios geotectónicos que contienen épocas de mineralización de diferentes tipos de yacimientos; se han reconocido doce franjas metalogenéticas que representan la edad de mineralización de diferentes tipos de yacimientos, las edades de mineralización van desde el Jurásico medio superior al Plioceno e involucran principales elementos económicos de hierro, cobre, oro y polimetálicos (Acosta J. et al., 2008).

2.2.5.1 IX franjas de depósitos de Au-Pb-Zn-Cu relacionadas con intrusivo del Cretácico Superior

Se extiende discontinuamente en tres áreas: Trujillo (Cerro Ballena; $9^{\circ}30'10''$), Canta (Lomada-Caracol-Lajas; $11^{\circ}-11^{\circ}30'$) y Samarca-Nazca-Ocoña ($14^{\circ}30'17''$). Las estructuras mineralizadas de cuarzo-oro-sulfuros se encuentran hospedadas en granitoides del Cretácico Superior del Batolito de la Costa. En las áreas de Trujillo y Canta los controles estructurales son las fallas secundarias NW-SE, N-S y NE-SW de los sistemas de fallas regionales NW-SE Conchao-Cocachacra y Tapacocha. En Samarca-Nazca-Ocoña, las estructuras mineralizadas están controladas por las fallas con orientaciones NW-SE, N-S y E-W, que constituyen el corredor Nazca-Ocoña. Entre los principales depósitos de esta franja se puede mencionar a Orión, Caravelí, Ishihuinca, Calpa, Arirahua y San Juan de Chorunga (Acosta, J., 2006, Acosta & Santisteban, 2007; Acosta, H. 2008).

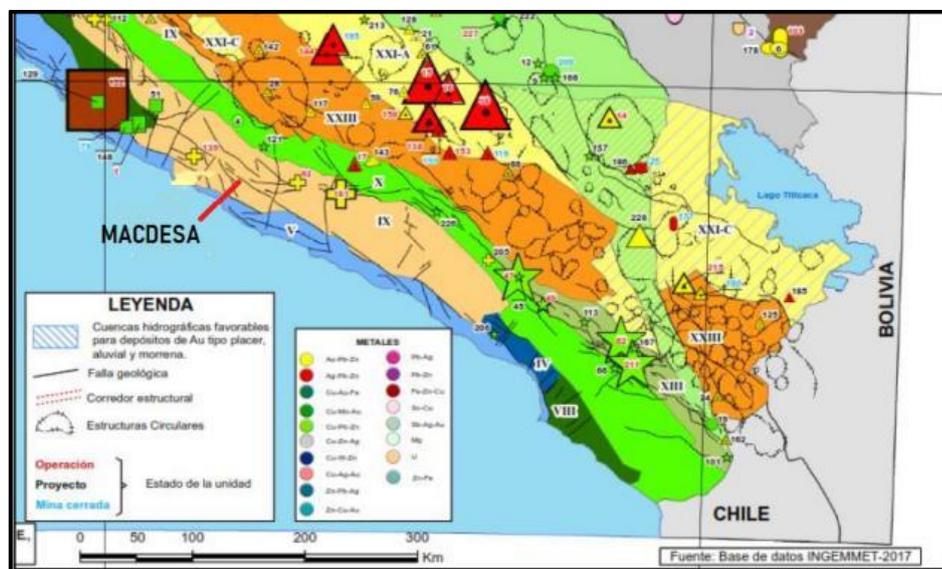


Figura 2: Mapa metalogénico del sur del Perú entre las latitudes 14 - $18^{\circ}30'S$. SFNO: Sistema de Fallas Nazca-Ocoña. SFCLL: (INGEMMET 2017).

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 Concepto y origen de los yacimientos minerales

Los elementos químicos de nuestro planeta se distribuyen por lo general de manera uniforme, sin embargo, en las zonas donde las concentraciones son mayores se constituyen los denominados yacimientos minerales y por su interés económico son rentables para su explotación, pero esto lo clasificamos según su abundancia y distribución en el planeta.

Tabla 1. Composición química de las rocas ígneas

Óxidos	Porcentaje	Óxidos	Porcentaje
SiO ₂	59,14	K ₂ O	3,13
Al ₂ O ₃	15,34	Fe ₂ O ₃	3,08
CaO	5,08	H ₂ O	1,15
Na ₂ O	3,84	TiO ₂	1,05
FeO	3,80	Otros	0,30 c/u
MgO	3,49		

Fuente: Fisher, R. V. & Schmincke H.-U., (1984) Pyroclastic Rocks, Berlin, Springer-Verlag

Los procesos que llevan a la diferenciación de un magma, o a la formación de una roca sedimentaria o metamórfica implican en ocasiones transformaciones profundas químico-mineralógicas. Es durante el curso de esos procesos que algunos elementos o minerales pueden concentrarse selectivamente, muy por encima de sus valores “normales” para un tipo determinado de roca, dando origen concentraciones “anómalas” que de aquí en adelante denominaremos “yacimientos minerales”.

El otro factor importante para considerar es lo económico: esas concentraciones podrán ser o no de interés económico, lo que delimita el concepto de yacimiento explotable o no explotable, en función de factores muy variados, entre los que a primera vista destacan algunos como el valor económico del mineral o minerales extraídos, su



concentración o ley, el volumen de las reservas, la mayor o menos proximidad de puntos de consumo, la evolución previsible del mercado, etc.

2.3.2 Yacimientos hidrotermales

Los yacimientos hidrotermales, son conocidos como filonianos (vein deposits), se clasifican según se temperatura de formación (entre los 500° C y los 100° C), y en función proximidad a la roca ígnea de la que derivan. No es posible determinar con exactitud la temperatura a la que se han formado, ni la distancia a la roca ígnea de la que derivan, que puede no reconocerse, o puede ser difícil de establecer con precisión entre varias próximas.

Los yacimientos filonianos constituyen el relleno de fracturas abiertas en la roca, que suelen presentar disposiciones planares de dimensiones muy variadas. Otras morfologías incluyen el entrecruzado de vetillas (stockwork) y las diseminaciones de mineral, características ambas de los yacimientos de tipo pórfido. También son relativamente frecuentes los cuerpos irregulares, que pueden formarse tanto por fenómenos de reemplazamiento como por relleno de cavidades. Las texturas son características de la cristalización en espacios abiertos geodas, drusas, crecimientos paralelos, concentraciones nodulares, etc.

A medida que el magma se solidifica se van formando los minerales propios de las rocas ígneas (silicatos y óxidos) mientras las fases líquidas y gaseosa de la mezcla se van enriqueciendo en agua con ciertos elementos y sustancias en solución (F, Cl, B, CO₂, S, Fe, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Sb, Ba, Ca, etc.). Estas fases son expulsadas del magma principalmente durante su solidificación, a temperaturas de 400° a 800° C y a considerable presión, produciendo efectos de metasomatismo y relleno en las rocas de



caja, el agua expulsada de su fuente magmática se desplaza, lateral o verticalmente para llenar finalmente a la superficie donde aflora como fuente manantial de agua termal.

Desde la profundidad magmática hasta la superficie el agua pierde temperatura y presión, perdiendo en consecuencia la mayor parte de su poder disolvente, por ello casi todas las sustancias disueltas en el agua precipitan “en el camino originando concentraciones o depósitos minerales”. Los conductos por las cuales el agua se moviliza son fundamentalmente fallas y diaclasas, aunque localmente pueden tener importancia otros espacios abiertos como vesículas de lava, intersticios de sedimentos, cuevas de disolución y brechas de colapso y de explosión

Si la mineralización se produce fuera de la zona de contacto, a medida que aumenta a distancia disminuye la temperatura, los yacimientos resultantes se llaman “hipotermiales” cuando se forman a más de 300°C, mesotermiales cuando lo hacen entre 200° y 300°C, y epitermales a menor temperatura.

De manera general cada mineral tiene un determinado rango de temperatura de formación dentro del cual se produce su precipitación. Por eso, el hidrotermalismo tiene la particularidad de presentar una “Zonación”, es decir una distribución en zonas con distintas mineralizaciones de acuerdo con la temperatura. (THOMPSON. A.J, 1996), (ORCHE, E. 1999).

Tabla 2: Distribución de los minerales en distintos niveles de los yacimientos.

YACIMIENTOS HIDROTERMALES		
HIDROTERMALES	MESOTERMALES	EPITERMALES
Cuarzo	Cuarzo	Baritina
Pirrotina	Calcita	Calcita
Molibdenita	Siderita	Siderita
Wolframita	Oligísto	Antimonita
Scheelita	Cu (sulfuros)	Cinabrio
Caseterita	Blenda	Mn (ox y carb)
Cobre (sulfuros)	Plata	
Oro	Oro	
Oligísto	Galena	

Fuente: ORCHE, E. 1,999

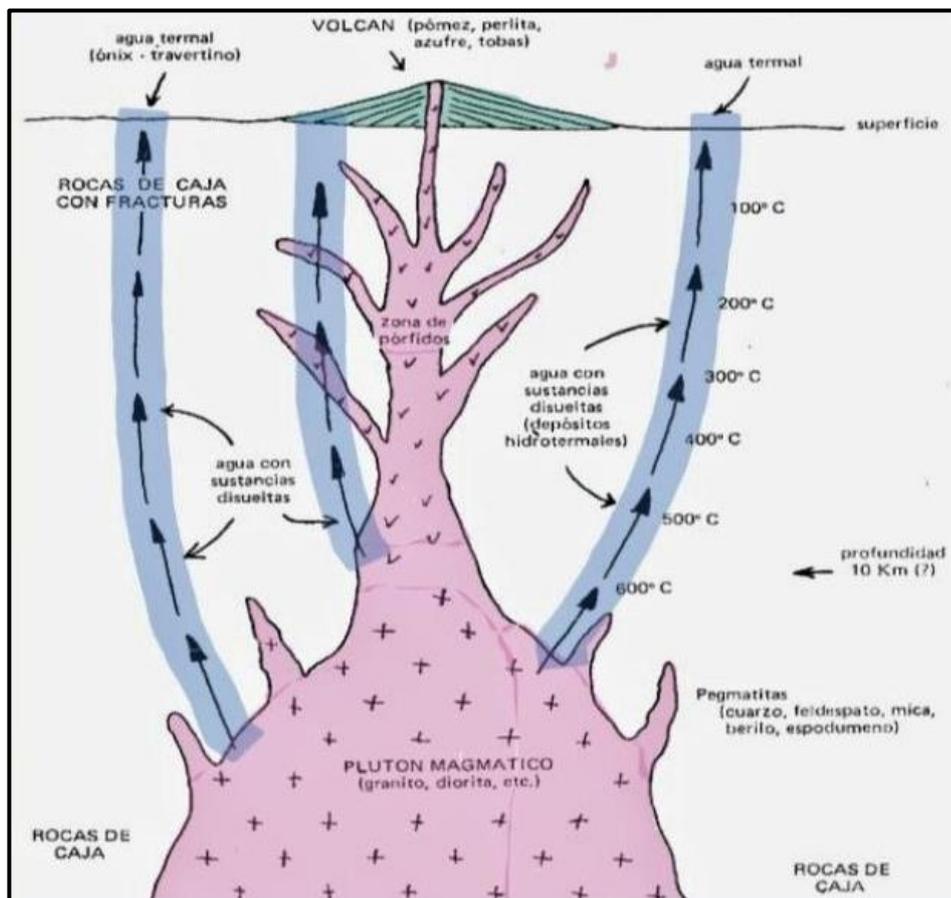


Figura 3: Esquema de yacimientos hidrotermales (Calizaya, W. 2011).

Este ordenamiento se cumple en muchos casos, pero no agota las posibilidades ni presenta un esquema rígido, si se agrega la influencia de la presión, la reactividad de las cajas y la repetición de los aportes de agua al cuadro general del hidrotermalismo se



complica de tal manera que puedan darse mezclas que no guarden relación con las temperaturas de precipitación (THOMPSON, A. J. 1996).

2.3.2.1 Principio de los yacimientos hidrotermales

Se atribuyen a los procesos hidrotermales la gran variedad de depósitos minerales metálicos que proporcionan la mayoría de los metales y minerales. De dichos depósitos se obtienen la mayor parte del oro, plata, cobre, plomo, zinc, mercurio, antimonio, molibdeno y la mayoría de los metales menores y muchos minerales no metales. Por consiguiente, estos depósitos han sido explotados, investigados y estudiados mucho más que los de ningún otro grupo.

- Ellos han dado origen a muchos de los grandes distintos minerales del mundo, los factores esenciales para la formación de depósitos hidrotermales son:
- Disponibilidad de soluciones mineralizaciones susceptibles de disolver y transportar materia mineral.
- Presencia de aberturas en las rocas las cuales pueden canalizarse las soluciones.
- Presencia de lugares emplazamiento para la deposición del contenido mineral.
- Reacción química cuyo resultado sea la deposición.
- Suficiente concentración de materia mineral depositada para llegar a construir depósitos explotables (Giggenbach, W.F, 1992).

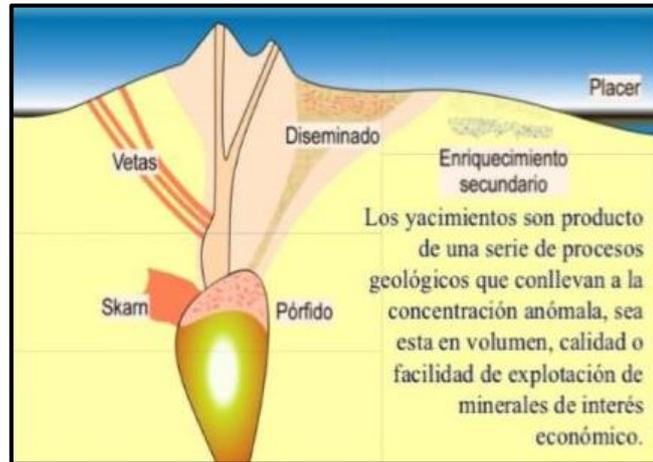


Figura 4: Tipos de yacimiento hidrotermales (INGEMMET. Exposición Valencia Michel).

2.3.2.2 Características de las soluciones

La naturaleza de las soluciones hidrotermales debe interpretarse por deducción y por analogía con ciertos tipos de manantiales termales. Su acción es visible sólo en la forma de depósitos minerales o como una alteración de la pared rocosa. Como implica la palabra hidrotermal, son aguas calientes cuya temperatura oscila probablemente entre los 500°C y 50°C. Las de temperatura elevada están también a presión elevada.

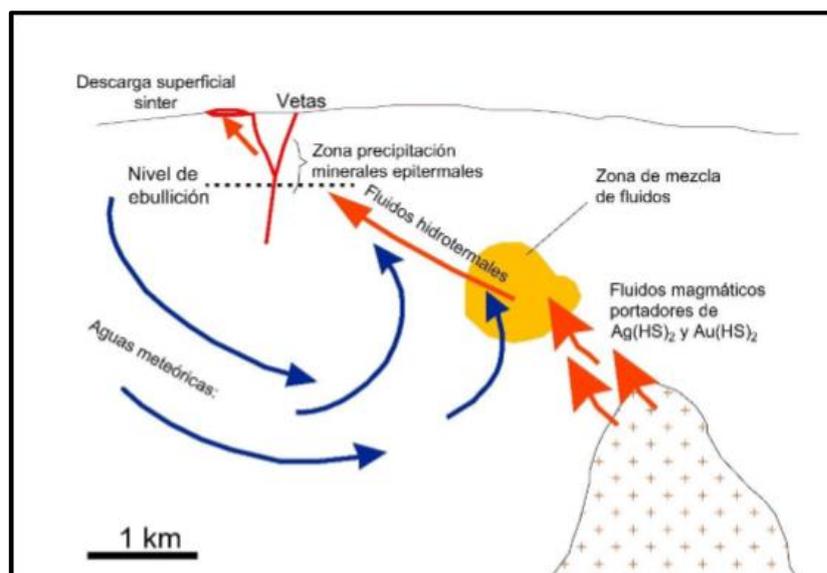


Figura 5: Esquema de soluciones hidrotermales (Colorado, USA).



2.3.2.3 Factores que afectan a la deposición

Los que se refieren a la deposición a partir de soluciones hidrotermales son cambios predominantemente químicos en las soluciones, reacciones entre las soluciones y las paredes rocosas o los materiales de los filones, y cambios de temperatura presión (Camprubí & Albinson 2006)

a) Cambio y reacciones químicas.

En su largo camino ascendente, las soluciones mineralizadoras tienen que experimentar inevitablemente algún cambio químico por su reacción con las rocas que atraviesan. Las rocas silicatadas las hacen alcalinas o más alcalinas. La concentración de iones hidrógeno (pH) puede determinar cuándo ha de ocurrir la reacción con las rocas o la deposición.

En la sustitución, puede producirse naturalmente la sustitución de los minerales antiguos por otros nuevos, sólo por reacción entre la solución y un sólido. Paredes rocosas muy reactivas, como calizas, en desequilibrio con las soluciones producen un rápido cambio químico acompañado de deposición.

b) Temperatura y presión.

Los factores más importantes que provocan deposición hidrotermal a partir de soluciones son los cambios de temperatura y presión. En general, un descenso de temperatura hace disminuir solubilidad y produce la precipitación.

Las soluciones hidrotermales inician su camino con el calor proporcionado por el magma, calor que se pierde lentamente al ir atravesando las rocas. El descenso de temperatura depende del ritmo de pérdida de calor en las paredes rocosas, lo cual depende a su vez de la cantidad de solución que las atraviese, de las reacciones exotérmicas y



principalmente de la capacidad de la pared rocosa para absorber el calor. Cuanto mayor es la difusibilidad térmica de una roca más rápidamente absorberá el calor y mayor será el descenso de la temperatura en las soluciones. En las fases iniciales de circulación con paredes rocosas frías, el descenso de temperatura será relativamente rápido, pero la continua fluencia de soluciones calentará las rocas de las paredes hasta llegar a la temperatura de las soluciones, en cuyo momento disminuirá la pérdida de calor.

La naturaleza de las aberturas rocosas afecta también a la pérdida del calor. La fluencia rápida a través de una fisura abierta de paredes rectas provocará menor pérdida de calor que la fluencia por las complicadas aberturas de una brecha que tenga gran superficie específica, donde el descenso inicial de temperatura será rápido. Sin embargo, una vez calentada, la brecha no absorberá mucho calor de la solución. Cuanto mayor sea el volumen de solución nueva que pase por un punto dado tanto mayor será la aportación de nuevo calor, y más lento el descenso de temperatura de las soluciones. Así, en una fisura con constricciones y espacios abiertos característicos, la temperatura de las soluciones descenderá menos en las porciones angostas que en otras más amplias. Dichos rasgos tienen también importancia en la determinación y localización de la deposición del mineral.

Las soluciones se inician a las altas presiones existentes en las grandes profundidades donde se originan. Su camino ascensional, a través de zonas de baja presión, ya acompañado normalmente por un descenso de presión que provoca asimismo la precipitación. Pero también existen otros factores que pueden determinar cambios en la presión. Las angosturas de los conductos, el relleno parcial por deposición mineral, o los obstáculos, pueden provocar excesos de presión. El escape de las soluciones a espacios más abiertos por encima de las angosturas hace descender la presión y provoca la



deposición. De este modo, los cambios de carácter físico de las aberturas por las cuales pasan

Las soluciones desempeñan un papel importante determinar y localizar la deposición de minerales a partir de la solución hidrotermal.

c) Alteración de la roca encajonante.

Los depósitos minerales hidrotermales van generalmente acompañados de una faja de alteración de las paredes rocosas, visible a simple vista. Por ejemplo, en un filón de fisura, la zona de alteración es paralela a las paredes de fisura, de anchura relativamente uniforme y varía en amplitud según el volumen del filón. La intensidad de la alteración depende también de la pared rocosa y del carácter químico, temperatura y presión de las soluciones mineralizantes. Si los filones están poco separados entre sí, el halo de alteración de una veta puede confundirse con el de otro, y el espacio comprendido entre ambos está enteramente alterado. Ello es particularmente sorprendente en el caso de los "cobres porfídicos" donde la roca huésped comprendida entre las numerosas vetas pequeñas que se cortan entre sí ha sido alterada intensamente hasta distancias que alcanzan centenares de metros.

En un filón epitermal, la zona alterada visible es generalmente estrecha, y la alteración se descubre difícilmente, pero en uno mesotermal la zona será probablemente ancha e intensa, y se confundirá gradualmente con la roca nueva partiendo de la veta. En condiciones hipotermas, pueden formarse en las paredes rocosas minerales de alta temperatura tales como la turmalina, topacio, piroxenos y anfíboles.

La naturaleza de la alteración varía algo, también con la clase de la roca, pero es sorprendente que en el caso de un depósito de cobre mesotermal, el producto de la alteración de una monzonita cuarcífera se parece al derivado de una diorita o de un

esquisto cristalino. Con la mayoría de las rocas salvo la caliza y la cuarcita, el producto final de la alteración es una roca formada en su mayor, parte por sericita y cuarzo. Los feldespatos, minerales ferromagnésicos y micas primarias se transforman en sericita y generalmente se les añade sílice. A esto se le llama "sericitización".

Trabajos recientes han permitido descubrir que en muchos de los "cobres porfídicos" la zona exterior de alteración se caracteriza por la alteración arcillosa, es decir: la formación de minerales arcillosos como dickita y montmorillonita.

En muchos lugares pueden superponerse dos fases de alteración de la roca donde la mineralización de cobre hipogénico estuvo acompañada de una amplia e intensa sericitización de las rocas huéspedes.

Tabla 3: Alteración de rocas encajonantes

YACIMIENTO	ROCA ENCAJONANTE	PRODUCTOS DE ALTERACIÓN	TIPO DE ALTERACIÓN	ENSAMBLE MINERALÓGICO
Epitermal	Caliza	Silicificación	Silicificación	cuarzo secundario
	Lavas	Alunita, Clorita, Pirita, Sericita, Arcillas.	Alunitización	Alunita-Opalo-cuarzo.
Mesotermal	Intrusivas ígneas	Clorita, Epidotita, Calcita, Cuarzo, Sericita, Arcillas.	Propilitización	Clorita-Epidota-Calcita-Pirita.
	Caliza	Silicificación, Jasperoide; Dolomias.	Silicificación	cuarzo secundario
	Pizarras, lavas	Silicificación, Arcillas.	Silicificación	cuarzo secundario
	Rocas ígneas silicas	Sericítica, Cuarzo, Arcillas.	Sericitización	Cuarzo-Sericita.
	Rocas ígneas básicas	Serpentina, Epidota, Clorita.	Propilitización	Clorita-Epidota-Calcita-Pirita.
Hipotermal	Rocas graníticas; esquistos	Greisen, Topacio, Mica Blanca, Turmalina, Piroxenos, amfiboles	Turmalización	Cuarzo-Turmalina.

Fuente: Tomado de (www.alteracionesderocas.pdf).

d) Localización de la mineralización hidrotermal.

La causa de la localización de los yacimientos hidrotermales tiene, a la vez, interés científico e importancia práctica. Naturalmente, varía en cada distrito, y puede ser debida a uno o más factores que hayan actuado conjuntamente. Las más de las veces depende del carácter químico y físico de la roca huésped, de los rasgos estructurales, de la intrusión, de la profundidad de la formación, de los cambios que experimenten las aberturas de las



rocas o de una combinación de todos estos factores. En algunos casos se ve claramente definida la causa de la localización; en otros, es enigma.

e) Intrusión.

Como la mayoría de las soluciones hidrotermales son de procedencia magmática, la situación de la intrusión madre puede determinar la localización del mineral. Las cúpulas o las apófisis en las intrusiones pueden localizar el mineral en sus proximidades; los volcanes pueden hacer lo mismo.

f) Características de la roca encajonante.

Los depósitos hidrotermales pueden formarse en cualquier clase de roca huésped, pero algunas de ellas influyen en la deposición más que otras. En el caso de depósitos de relleno de cavidades, la localización de la abertura, más que el carácter de la roca contenedora es lo que localiza el mineral, si bien la

Naturaleza física y química de la roca huésped puede determinar el emplazamiento y forma de la cavidad. Por ejemplo, las rocas quebradizas se desmenuzan más fácilmente que las no quebradizas, y por consiguiente localizan las fracturas y brechas; las rocas carbonatadas permiten la formación de aberturas para la solución. Prescindiendo de que una roca pueda ser químicamente favorable, la deposición de mineral no puede producirse a menos que existan aberturas en la roca que ofrezcan emplazamientos para el relleno de cavidades o que permitan la entrada de soluciones para la sustitución. Es necesaria la permeabilidad, y ésta le puede proporcionar el espacio poroso originario, la fusión, los planos de exfoliación de los minerales, las brechas, las juntas, las pequeñas fracturas y otros factores. La influencia de la roca huésped en la localización del mineral puede ser, por lo tanto, química o física, o ambas cosas a la vez. También la superficie específica es un factor importante.



g) Rasgos estructurales.

Los rasgos estructurales son importantes localizadores de depósitos hidrotermales. Las fisuras sirven por, sí solas como emplazamientos, así como de conductos para el desplazamiento de los fluidos minerales hasta las rocas susceptibles de sustitución. La intersección de fisuras con rocas favorables se utiliza en la búsqueda de depósitos de sustitución. Ambas son necesarias. Puede existir una caliza favorable a la sustitución, pero no podrá producirse sustitución alguna en ella si las soluciones no pueden llegar a la misma, y al revés: puede existir un excelente conducto de fisura, pero si sus paredes son desfavorables, no se producirá ninguna sustitución. Es necesaria la coincidencia de ambas cosas. Así, en muchos distritos mineros, hasta las más pequeñas fisuras son seguidas con taladros hasta llegar a capas favorables ya conocidas, con la esperanza de descubrir depósitos explotables en tales emplazamientos.

Las fisuras múltiples y las zonas de cizallamiento localizan los depósitos minerales de un modo parecido a las fisuras.

Las intersecciones fisúrales son emplazamientos particularmente favorables a la deposición de mineral. Los plegamientos juntos e inclinados y los plegamientos de arrastre fueron importantes localizadores para depósitos de sustitución. Las brechas son emplazamientos muy favorables, tanto para los depósitos de relleno de cavidades como para los de sustitución. Los rasgos debidos a sedimentación, como planos de estratificación, laminación o capas permeables continuas, irregularidades del terreno o capas impermeables superyacentes, pueden influir en la localización de depósitos, proporcionando conductos para las soluciones mineralizadoras.



2.3.3 Tipos de depósitos hidrotermales

De acuerdo con la temperatura de formación los yacimientos hidrotermales fueron divididos por W. Lindgren, 1931, en: hipotermales (400-300°C), mesotermales (300-200°C), epitermales (200-100°C) y teletermales (100-0°C). Evidentemente, se trata de una clasificación excesivamente rígida, ya que en la naturaleza es difícil que los yacimientos minerales respondan a intervalos de temperatura tan definidos. En una revisión de los mayores yacimientos hidrotermales (Broken Hill, Sullivan, Noranda, Timmins, etc.), realizada en el año 2001, la clasificación de los yacimientos hidrotermales quedo de la siguiente manera:

- Hipotermales.....Desaparecen.
- Mesotermales.
- Pórfidos de cobre, molibdeno, oro, estaño.
- Filones de cordillera.
- Ígneos metamórficos.
- Cobre, oro, hierro.
- Intrusión relacionada con Au.
- Epitermales.
- Alta sulfuración.
- Baja sulfuración.
- Removilización de soluciones
- Tipo Mississippi valley.
- Cobre, oro, fierro, uranio.



2.3.3.1 Depósitos Epitermales

Los depósitos epitermales se forman a profundidades menores de 1Km, temperaturas entre 50° y 200°C y estos son característicos de regiones de actividad ígnea reciente donde la erosión no los ha removido. Los depósitos son en general en forma de vetas, fisuras irregulares o pipas de brechas. (Sillitoe, 1977).

Los depósitos epitermales incluyen sulfosales de plata, telurios de plata y oro. La alteración de las rocas de caja es a menudo extensiva e incluyen moscovita, clorita, alunita, zeolitas, adularia, sílice y pirita.

Ambientes: Hipógeno – Supérgeno. - Los minerales primarios o hipógenos son aquellos que se forman por procesos al interior de la tierra. Estos minerales sufren alteraciones cerca de la superficie por efectos de aguas meteóricas o aguas superficiales oxigenadas dando lugar a minerales secundarios o Supérgeno. (Sillitoe 1977).

Los sulfuros son atacados por sulfato férrico y oxígeno en presencia de agua para producir óxido de hierro más iones de sulfato y de cobre en solución. Los óxidos de hierro se depositan dejando un color rojo característico en la zona llamada de lixiviación o Gossen. Mientras los iones de sulfato de cobre migran hacia abajo. (Sillitoe 1977).

Estos depósitos epitermales se encuentran de preferencia en zonas de vulcanismo activo alrededor de los márgenes continentales o arcos de islas, siendo los más importantes los metales preciosos (Au, Ag), aunque pueden contener cantidades variables de Cu, Pb, Zn, Etc. (Sillitoe 1977).

La mineralización epitermal de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos, los de “baja sulfuración”, son reducidos y tienen un pH cercano al neutro y los fluidos de “alta sulfuración”, los cuales son más oxidados y ácidos.

Los términos de alta y baja sulfuración fueron introducidos por Hedensquist (1687) y se refieren al estado de oxidación de azufre, en los de alta sulfuración el azufre se presenta como S^{4+} en forma de H_2S y los de baja sulfuración como S^2 en forma de H_2S (reducido) (Sillitoe (1977)).

Los fluidos de baja sulfuración (LS), son una mezcla de aguas meteóricas que han percolado a superficie y aguas magmáticas (derivadas de una fuente de roca fundida a mayor profundidad en la tierra), que han ascendido hacia superficie, los metales preciosos han sido transportados en solución como iones complejos, en general bi-sulfurados a niveles epitermales y clorurados a niveles más profundos, para fluidos de baja sulfuración la precipitación de metales ocurre cuando el fluido hierve al acercarse a la superficie. (Sillitoe (1977)).

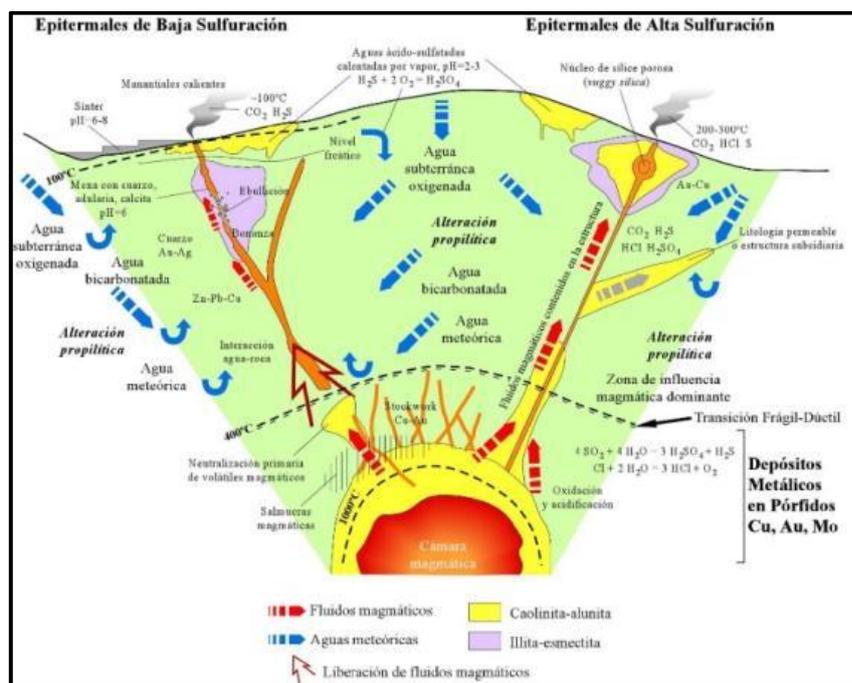


Figura 6: Modelo conceptual simplificado de los depósitos epitermales de baja (BS), intermedia (IS) y alta sulfuración (AS) (Hedensquist 1687).

Tabla 4: Diferencia entre epitermales de Alta sulfuración y Baja sulfuración

	Epitermal AS	Epitermal BS
Rocas volcánicas relacionadas	ácidas a intermedias: andesita-riodacita	ácidas a intermedias: andesita-riodacita-riolita
Controles de emplazamiento	Fallas a escala regional	Cualquier falla o zonas de fracturas
Extensión de alteración periférica	Área extensa	Área restringida
Alteración asociada	Propilitica en zonas adyacentes, pirofilita-mica blanca en profundidad, sílice masiva en depósitos someros. Generalización: argílica avanzada -> argílica (+sericitica)	Propilitica en zonas adyacentes, argílica dominante, argílica avanzada en periferia. Generalización: sericitica -> argílica
Minerales de alteración proximal	Alunita, profundidad: pirofilita	sericitica o illita +- adularia
Geometría cuerpo mineralizado	Pequeño, equidimensional	Tamaño variable, tabular
Características distintiva	Cuarzo poroso o vuggy (nivel intermedio), mineralización superpuesta a depósitos porfíricos (profundidad)	Sinteres y niveles de calcedonia (superficial), cuerpos de alta sulfuración (profundidad)
Carácter mineralización económica	Diseminada, relleno cavidades o porosidad, alteración argílica avanzada con pirita	Relleno cavidades o porosidad, relleno filonens en bandas, en superficie stockwork o diseminada
Ganga	alunita y pirofilita, barita, azufre nativo, caolinita	carbonatos, adularia, barita, fluorita, illita

Fuente: A. Camprubi, E. González - 2003

2.3.3.2 Depósitos mesotermales

Los depósitos Mesotermales comprenden yacimientos formados, como su nombre lo indica, a moderadas presiones y temperaturas. Se les asigna unas temperaturas de formación según Lindgren (1913) de 175 a 300°C.

Generalmente están asociados estos depósitos con rocas ígneas intrusivas que varían entre ácidas (silíceas), básicas (máficos) e intermedias.

Los minerales más predominantes en condiciones mesotermales son: Oro, Plata, Cobre, Plomo, Zinc, Molibdeno, Argentita, Rejalgar, Oropimente, Galena, Blenda, Pirita, Calcopirita, Wolframita, Fluorita, Petchblenda, Enargita, Tetrahedrita, Tenantita; con gangas de cuarzo, pirita y minerales de carbonatos.



2.3.3.3 Depósitos filonianos

La formación de los filones tiene características muy relevantes y complejas, por lo que su génesis es un poco complicada, ya que está íntimamente relacionada a la geología estructural, la que condiciona a estos yacimientos en su formación.

La formación de un filón implica dos constantes que son: la formación de la fisura misma y los procesos de formación del mineral, ambos factores pueden estar separados por un largo intervalo de tiempo, ninguno de los dos puede determinar la formación de una veta de fisura por sí mismo, por lo que se necesita la coincidencia de ambos.

Las fisuras se pueden formar por virtud de tensiones (formación de fallas normales debido al tectonismo pre-mineral), así mismo pueden formarse o ampliarse en el momento de la mineralización por fuerza intrusiva de las soluciones mineralizantes que actúan desde abajo, separando las rocas por la zona de debilidad.

Se sabe también que la fuerza de los cristales al aumentar de tamaño puede separar como cuña las paredes de las grietas.

Los filones tienen la particularidad de tener como agente principal al tectonismo, porque gracias a él se forman la falla pre-mineral, que posteriormente serán rellenadas por fluidos mineralizantes, que pueden tener varias pulsaciones de acuerdo al relleno del filón (Park, Ch. F. 1986).

a) Variedades de filones

Son por lo general por la competencia y los tipos de rocas donde llegan a emplazarse que los filones llegan a tener muchas formas variadas, por lo tanto, las variaciones de filones pueden ser; simples, compuestos, eslabonado, ojoso, dilatado y de cámara cada una de ellas puede ser compacta o modificada. El filón simple ocupa una



sola fisura, cuyas cajas son rectas y paralelas; cuando las cajas son irregulares o formación brechas debido a la formación de carga ligera y cerca de la superficie se denomina con frecuencia filón de cámara. (Park, Ch. F. 1986).

Generalmente se encuentran varios a la vez a modo de sarta de salchichas, pero pueden estar sueltos, formando lentejones escalonados, estos debido al hinchamiento o dilatación, por la presión transmitida por las soluciones mineralizantes, algunas son debido a la fragmentación de un filón pre-existentes durante el metamorfismo posterior de las rocas encajonantes. (Park, Ch. F. 1986).

Un grupo de fracturas cercanas, que están delimitadas y paralelas es un filón laminado, cada fractura es rellenada por mineral y separado por capas de roca estéril y el conjunto se explota como un solo filón. (Park, Ch. F. 1986).

b) Cambio del Emplazamiento de un filón

Los filones cuando pasan de un tipo de roca a otro cambian de manera brusca en la dirección de sus diaclasamientos como en su relleno, esto es debido al diferente comportamiento físico de una roca con respecto a otra roca, debido principalmente a los movimientos tensionales de estas. (Mackinstry, H. 1961).

c) Comportamiento de la longitud y profundidad de un filón.

Las longitudes de los filones son variados de acuerdo a las dimensiones de las rocas que las albergan, es decir un filón pueden tener desde decenas hasta centenares de metros, pero son pocos los que llegan a tener dimensiones superiores al kilómetro, esto quizá debido a la competencia de la roca que recibe la mineralización, por lo tanto muchos filones pueden estar en forma paralela y desaparecer uno antes del otro o pueden ser



limitados por fallas locales que rompen su secuencia de emplazamiento. La longitud de los filones pocas veces puede no pasar de las decenas de metros, pero la gran mayoría presentan profundidades que sobrepasan los centenares de metros, esto es debido o acorde con los buzamientos que llegan a presentarse en superficie, de tal modo que mientras tengan mayor buzamiento pueden llegar a grandes profundidades, pero solo hasta cierto límite (Mackintry H. 1961)

La relación de longitud y profundidad de los filones es de vital importancia económica para los prospectores de yacimientos en general, los filones de fisura largas y fuertes suelen extenderse a grandes profundidades, en cambio los cortos y débiles suelen tener poca profundidad, sin embargo no existe ninguna relación exacta entre longitud y profundidad, generalmente al inicio se conoce mucho más la longitud que la profundidad, puesto que se puede probarse más fácilmente y con menos costo mientras que su verdadera profundidad pocas veces se determina, por cuanto, en general se agota el mineral antes que se llegue al fondo de la fisura y la realización de nuevas pruebas de profundidad implican una costosa exploración, con frecuencia se cita la antigua regla que dice que la profundidad será a la longitud, aunque no parece que sea cierto, sin embargo si se tomara en cuenta en el sentido de que la profundidad puede ser aproximadamente igual a la mitad de la longitud, resulta ser más próxima a la verdad en los que se refiere a la mayoría de las vetas por cuanto la longitud del afloramiento es generalmente una función de la profundidad de erosión. (Mackintry. H. 1961).

En vetas filoneas de plata de baja sulfuración la franja mineralizada tiene una profundidad de alrededor de 450 m a mayor profundidad se tiene en frente inicial de deposición con probablemente baja ley, depositado a mayor temperatura a una profundidad menor a la requerida se observa el frente de máxima deposición a menor temperatura que el frente inicial prácticamente cerca de la superficie tendremos el frente



final de deposición con valores bajos de Au-Ag, a menor temperatura del frente de máxima deposición. (Mackinstry, H. 1961).

2.3.4 Alteración hidrotermal

Termino que define como el cambio en la composición mineralógica de una roca producido por medios químicos o mecánicos, especialmente por la acción de soluciones hidrotermales (agua caliente, vapor o gas). Las texturas y estructuras originales pueden ser ligera o completamente modificadas por la alteración hidrotermal. (Bates y Jackson, 1980).

Ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma. Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria, su efecto es menor debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido. En efecto, la temperatura del fluido y el pH del mismo son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal, más que la litología. (Townley, B. 2006).

Alteración pervasiva y no pervasiva que se da a partir del punto de vista de la intensidad de la alteración. La alteración “pervasiva” está caracterizada por el reemplazamiento de todos o casi todos los minerales originales de la roca sin preferencias espaciales. La alteración “no pervasiva” afecta solamente ciertas partes de la roca, como los bordes de las fracturas o de los filones.

2.3.4.1 Solución hidrotermal

Se llama solución hidrotermal a todo fluido acuoso caliente, independientemente de su origen. Por ejemplo, un líquido de origen meteórico calentado durante su



soterramiento será un fluido hidrotermal, si el fluido caliente es un gas hablaremos entonces de un fluido pneumatilítico. Por encima del punto crítico, hablaremos de fluidos supercríticos, sin haber diferencia entre líquido y gas.

Se considera un fluido hidrotermal cuando el agua ya tiene unos 50°C. La alteración hidrotermal ocurre entre 50 a 500°C. A una T° crítica del H₂O (374°C para H₂O pura) se habla de fase acuosa. (Buchanan, 1981).

Existen muchas situaciones dinámicas geológicas por las cuales las aguas frías se calientan:

El agua atrapada en poros de acumulación de sedimentos y en capas de minerales hidratados o hidroxilos comienzan a calentarse en la etapa de enterramiento.

El agua subterránea fría puede calentarse en cierta profundidad por la velocidad de un cuerpo de magma o por el enfriamiento lento de cuerpos magmáticos.

Las estructuras hidrotermales también pueden generarse por la deshidratación de minerales hidratadas durante el metamorfismo.

Para precipitar sulfuros desde una solución hidrotermal debe estar el azufre presente en la solución. El azufre ocurre en una serie de especies solubles incluyendo S₂, SO₄, y HSO₄, el azufre proviene de los magmas y una prueba de que los magmas contienen azufre nativo en los alrededores de los orificios. Cerca de la superficie, el agua subterránea es activa en el proceso de solución, transporte y deposición de minerales.

Para que se forme un yacimiento mineral debe existir:

- La fuente de los metales.
- Transporte o migración.
- Entrampamiento.



- Preservación.

Se entiende como proceso de alteración hidrotermal al intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal-roca. Así mismo provoca cambios químicos y mineralógicos en la roca afectada, en estricto rigor una alteración hidrotermal puede ser considerada como un proceso de metasomatismo, dándose la transformación química y mineralógica de la roca original en un sistema termodinámico abierto. (Buchanan, 1981).

Las características, mineralógicas, químicas y morfológicas de alteración entregan información acerca de las condiciones termodinámicas del fluido hidrotermal que las generó, en la naturaleza se conocen variados tipos de alteración hidrotermal caracterizados por asociaciones de mineral específicos, los distintos tipos de alteración e intensidad son dependientes de factores tales como composición del fluido hidrotermal, composición de la roca hospedante, temperatura, pH, Eh, razón agua/roca y tiempo de interacción entre otro. (Buchanan, 1981).

2.3.4.2 Ascenso y acumulación de los fluidos hidrotermales

Separada la fase hidrotermal esta ascendería por medio del mismo sistema magmáticos, desde profundidades del orden de 2 a 2.5 Km al ascenso la acumulación, dispersión de los fluidos hidrotermales estará controlado por condiciones de permeabilidad primaria y secundaria. (Oyarzun, R. 1991).

Cabe destacar que en etapas tempranas de intrusión sub volcánica el contraste de temperatura entre intrusión y roca hospedante es grande. (Oyarzún, R. 1991).

En la medida que la roca hospedante es afectada por sucesivas intrusiones la T° asciende, provocando una anomalía isotérmica y desplazándose de esta forma las isothermas hacia la superficie. (Oyarzun, R. 1991).

2.3.4.3 Clasificación de alteración hidrotermal

La alteración hidrotermal produce un amplio rango de minerales y texturas en distintas rocas. Esto hace que sea complicado tener un criterio uniforme para la clasificación de tipos de alteración. Los autores de mapeos y de estudios de alteración generalmente han simplificado sus observaciones clasificando las rocas alteraciones en grupos como.

Tabla 5: Clasificación de tipos de alteración

Denominación	Presencias dominantes de:
Silicificación	Slíce o cuarzo
Sericitización	Sericita
Argilización	Minerales de arcilla
Cloritización	Clorita
Epidotización	Epídota
Actinolitización	Actinolita
Etc.	

Fuente: Townley, B. 2006, Bumham (1962)

Los tipos de alteración en yacimientos epitermales de baja sulfuración son la alteración argílica (caolinita-illita-montmorillonita-smectita) a sericita, se forma adyacente a algunas vetas, alteraciones argílicas avanzada (caolinita-alunita) puede formarse en la parte del techo de las zonas mineralizadas. La alteración propilitica domina en profundidad y en la periferia de las vetas, pudiendo ser extensas. En depósitos someros el núcleo de sílice es masiva, con un estrecho margen de alunita y caolinita que hacia el exterior es de mica blanca y arcillas interestratificadas. (Townley B. 2006).

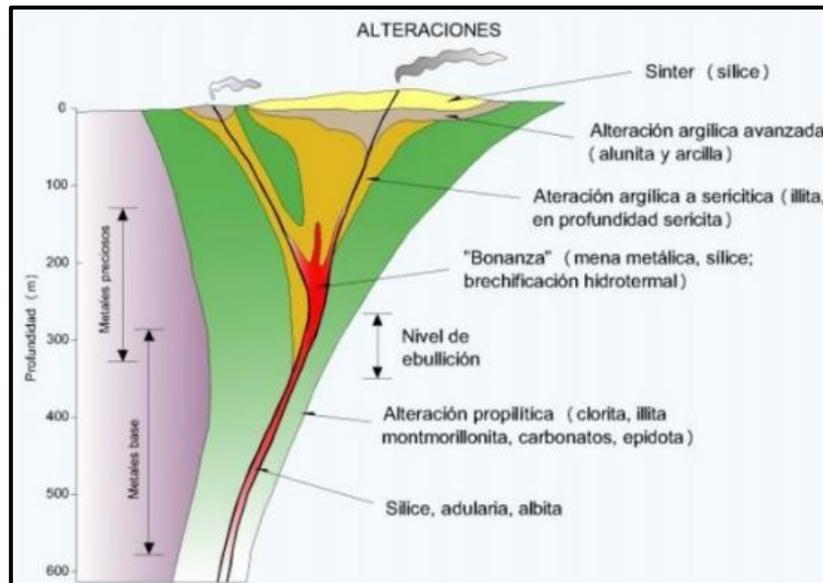


Figura 7: Zonamiento típico de alteración para los depósitos de baja e intermedia sulfuración (Modificado de Buchanan, 1981.)

2.3.5 Los Cimoides

Conocidos también como vetas o filones lenticulares. Ocurren cuando una falla de desplazamiento se divide en dos ramales, desviándose una lateralmente formando una curva cimoides, mientras que la otra continúa en línea recta durante una corta distancia para luego describir una curva similar y reunirse con el primer ramal, de esta forma los ramales cierran un lente de roca entera y parcialmente brechada y comúnmente rellena o reemplazada por mena. Estas estructuras cimoidales terminan en una estructura denominada cola de caballo, donde una serie de ramales se curvan lateralmente con la veta principal.

2.3.6 Sistema de fracturamientos en una zona de cizallamiento-modelo de Riedel

Closs y Riedel (1928 - 1929), fueron los pioneros en realizar experimentos de cizallamiento y determinaron dos tipos de fallas a las que denominaron R1 y R2. Posteriormente, numerosos autores complementaron el modelo inicial, proponiendo otros tipos de deformación asociadas a zonas de cizallamiento:

Fallas conjugadas R1 y R2, hacen ángulos aproximados de $\Phi/2$ con las direcciones teóricas de máximo cizallamiento.

Fracturas tensionales T desarrolladas por tracción indirecta, aproximadamente forman un ángulo de 45° con la dirección de cizallamiento principal. Determinadas por Cloos (1955).

Fracturas tipo P, simétricas a las fallas o R1; definidas por Skempton (1966) en zonas de cizallamiento natural.

Pliegues en echelón, formando un ángulo de 45° con el cizallamiento principal y perpendiculares a las fracturas de tracción T.

Desarrollo de esquistosidad perpendicular a los planos de fracturas de tracción

Por lo expuesto en el modelo descrito las fracturas tensionales asociadas a cizallamiento son muy importantes, debido a que son las más favorables para albergar mineralización, ocurren a diferentes escalas y pueden adoptar geometrías complejas.

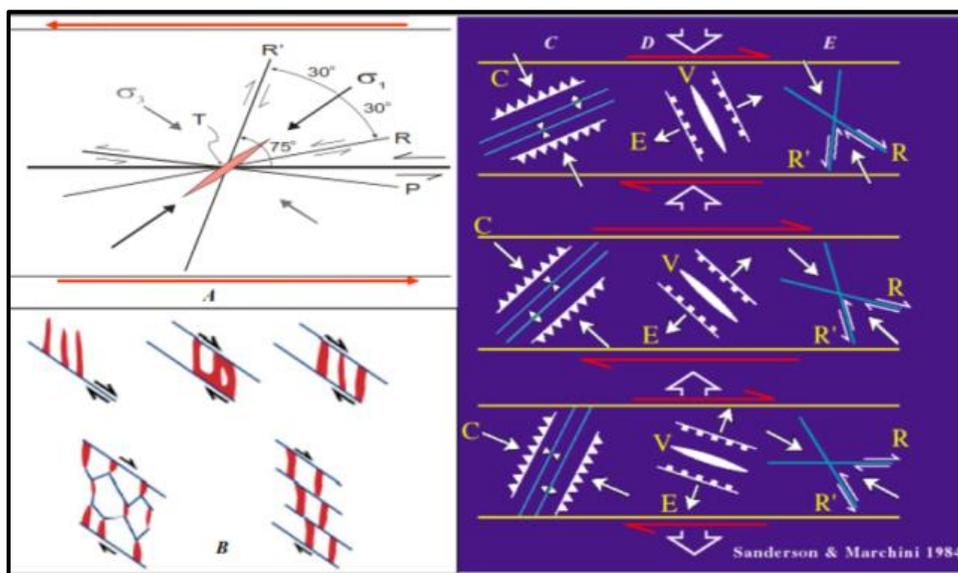


Figura 8: Modelo de fracturamientos RIEDEL (Quispe, J. 2006).



2.3.7 Zonas transtensión o transpresión

Las zonas de transtensión o transpresión, están estrechamente relacionadas a fallas transcurrentes y el origen de una o la otra; va a depender fundamentalmente del sentido de movimiento de las fallas transcurrentes. Por ejemplo, cuando una falla principal NW - SE, movimiento siniestral y con una inflexión E - W en su parte central; por el movimiento que tiene, produce desplazamientos normales que generan cuencas tipo “pull apart” o fracturas abiertas, denominadas zonas de transtensión. Mientras que, si el movimiento fuese dextral se producirían ejes de pliegues y fallas inversas, llamadas zonas de transpresión.

2.3.8 Análisis cinemático

El análisis cinemático está basado en el estudio del movimiento de las fallas sea transcurrente, normal o inverso, tomando como base la identificación y entendimiento de unas pequeñas estructuras asociadas a las estrías en los planos de fallas llamadas tectoglifos. (Ver Figura N° 09).

El conocimiento del comportamiento de las fallas es de suma importancia, debido a la influencia de estas sobre la geometría de un yacimiento, esto es si estuvieron activas durante la mineralización sirvieron como zona de precipitación de los fluidos y en caso contrario si son post mineralización modifican la geometría inicial del yacimiento.

Las fallas presentan movimientos compuestos, es decir vienen a ser normal-dextral, inversa-siniestral y las demás combinaciones posibles. La dirección del desplazamiento en una falla está dada por la orientación de las estrías de fricción; el Pich de la estría está definido como el ángulo entre línea horizontal del plano de falla y la estría.

Los datos de importancia a tomar en un levantamiento estructural en un ambiente de deformación frágil son los siguientes:

- Rumbo y buzamiento del plano de falla.
- Sentido del movimiento de la falla.
- Pich y sentido de inclinación de las estrías del plano de falla.

Estos datos son ingresados a un programa (Tectónicas FP, Dips u Otros), que generara proyecciones estereográficas a fin de determinar la dirección e inclinación de los principales esfuerzos.

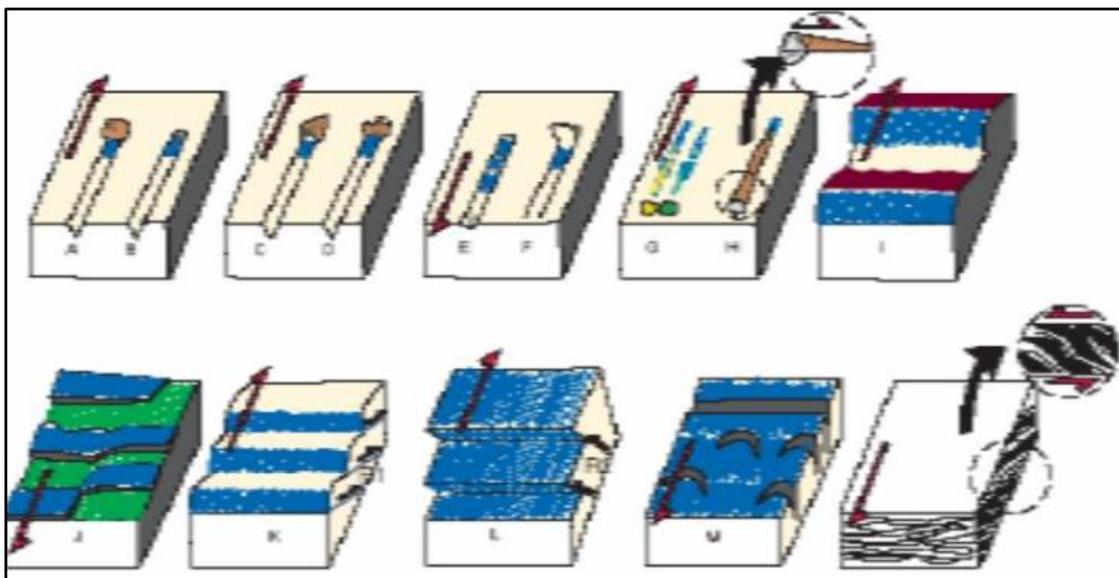


Figura 9: Sistema de tectoglifos estructurales (Quispe J., 2006. et al Macharé J. 2001)

2.3.9 Indicadores cinemáticos

Los indicadores cinemáticos o tectoglifos son una serie de estructuras de variables dimensiones (milimétricas a métricas), desarrolladas en medio frágil y asociadas a fallas. Es muy importante para determinar el sentido de movimiento de una falla; a continuación, se describe las características más importantes:



Elemento estriador: Al cabo de la estría. Este puede ser un fragmento de roca.

Material triturado al cabo de la estría: Está constituido por material arrancado del plano de falla y depositado a un extremo de la estría.

Banqueta al cabo de la estría. En este caso, el material arrancado del plano de falla es acumulado al extremo de la estría en forma de una elevación.

Nichos de arranque. Se manifiestan como micro deslizamientos.

Escama de arranque. Cuando se presentan este tipo de tectoglifos, las estrías tienen uno de sus extremos levantados, arrancando material del plano de falla y dejando como resultado una superficie irregular.

Colas de mineral. Durante este proceso se tiene presencia de minerales a un extremo de las estrías, mientras que hacia el lado opuesto se tiene polvo de mineral, dispuesto a manera de microbandas.

Lomos al abrigo. Para que se genere este tectoglifo se requiere de un elemento estriador endentado en el plano de falla, de tal manera durante el desplazamiento relativo de bloques, el material arrancado del plano de falla se deposita a manera de lomas y es protegido por el elemento estriador endentado.

Planos ondulados. Según sea el movimiento, los planos de falla ondulados presentan facetas estriadas y lustradas ó no estriadas y con presencia de óxidos. El sentido de movimiento será determinado por la orientación de las facetas estriadas.

Cristalización al abrigo. Dentro de las estrías se producen ciertos desniveles y se produce el crecimiento de minerales como el cuarzo, calcita, zeolitas o sulfatos, en la dirección del movimiento.



Fallas de Ridel. Este tipo de falla se produce por esfuerzos de cizalla en la proximidad del plano de falla. Se generan dos tipos de fallas una denominada R1 y otra R2. Las R1 forman un ángulo de 15° a 20° con el plano principal y son cinéticas (movimiento en el mismo sentido que la falla mayor). Las R2 forman un ángulo de 70° a 80° con el plano de falla principal y son antitéticas.

Lúnulas de tracción. Son fracturas abiertas algunas veces a manera de semicírculos. La superficie de fractura es irregular y no presenta estrías.

Forman un ángulo entre 30° y 40° con el plano de falla principal. La dirección de buzamiento de las fracturas o la parte cóncava de los semicírculos nos indican el sentido de movimiento.

2.3.10 Mineral de mena

Es el mineral, cuya explotación presenta interés, en general, es un término que se refiere a minerales metálicos y que designa al mineral del que se extrae el elemento químico de interés (Cu de la calcopirita, Hg del Cinabrio, Sn de la casiterita entre otros muchos más). Un mineral es mena de un metal cuando mediante la minería es posible extraer ese mineral de un yacimiento y luego mediante procesos metalúrgicos se obtiene el metal o el elemento químico de interés económico (Amstutz, G. C. 1971).

2.3.11 Mineral de ganga

Ganga es el material que se descarta al extraer la mena de un yacimiento de mineral, por carecer de valor económico o ser demasiado costoso su aprovechamiento. Es posible que un mineral que se considere ganga en un yacimiento sea de interés en otro, o que la mejora en las técnicas extractivas o los usos industriales haga rentable el procesamiento de materiales anteriores considerados ganga



[https://es.wikipedia.org/wiki/Ganga_\(miner%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Ganga_(miner%C3%ADa))

2.3.12 Paragénesis y Zoneamiento

Paragénesis; Es la relación mineralógica expresada en función de un determinado tiempo (orden cronológico) si varían las condiciones progresivamente a través del tiempo aparecerá un mineral determinado como derivado de un mineral anterior, y puede, por último, convertirse en un tercero, siendo la recristalización el proceso responsable. El término a veces se emplea con el sentido específico del orden de cristalización de los minerales que componen una roca, y se utiliza también en el sentido amplio para significar el modo de origen de una roca o de un mineral.

Zoneamiento; Es la distribución espacial de los minerales o elementos en un espacio en el yacimiento mineral el cual puede manifestarse a nivel de, Depósito individual (zonación de depósito mineral, En un distrito minero (zonación distrital), En una región más grande (zonación regional).

Las zonaciones mineralógicas reflejan las distintas condiciones físico-químicas existentes en distintos sectores de un sistema hidrotermal, pero puede darse el caso de traslapes de zonas con asociaciones minerales que reflejan por ejemplo distintas condiciones de presión y temperatura. En estos casos se dice que el depósito es telescópico. (After Chávez 1985).

2.3.13 Estudio petrológico

El estudio petrográfico se ocupa de la descripción física en términos visuales de las rocas ya sea macroscópicamente (a simple vista del ojo) y microscópicamente (haciendo uso de microscopio) (Huang, W. 1968).

La descripción macroscópicamente requiere del examen físico de la roca que nos brinde información sobre el aspecto de textura, color, dureza, tamaño de grano o



granularidad de la roca. Cuando los constituyentes son tan pequeños que no son apreciados a simple vista se dice que la roca presenta textura afanita o afanítica, y cuando los cristales si pueden ser apreciables a simple vista o con lupa se le denomina fanerítica. (Huang, W. 1968).

2.3.14 Perforación de sondajes diamantina

En el campo de la exploración a través de medios mecánicos se consigue información geológica del subsuelo y que consiste en la ejecución de huecos mediante máquinas perforadoras de diferentes tipos, accionadas ya sea con aire comprimido o con corriente eléctrica. Las maquinas accionan tuberías o barras de perforación en cuyo extremo se inserta brocas ya sea diamantinas o triconas, las cuales cortan la roca de manera que se consiguen testigos cilíndricos, cuando se trata de perforación diamantina, y testigos detríticos, en el caso de usarse brocas triconas.

Básicamente se hace con el objeto de obtener muestras de debajo de superficie en zonas que se infieren tenga posibilidades de mineralización económico. Esas muestras son extraídas con el fin estudiarse desde el punto de vista geológico, y luego enviarse al laboratorio donde se efectúan los respectivos análisis químicos o geoquímicos a fin de obtener las leyes respectivas.

La ejecución de la perforación diamantina con un adecuado y suficiente espaciamiento permitiría obtener una buena información que conllevaría a realizar labores subterráneas debidamente orientadas. (Mayta, O. 2010 y Meza, J. 2010).

El tamaño de los tubos de perforación es de 3.00 m, a medida que la broca perfora el terreno se van añadiendo más tubos en parte superior por medio de un acople en forma de rosca y así sucesivamente cada 3.00 m.

A medida que se profundiza, el tubo interior recoge el testigo cortado que va ascendiendo en el interior de tubo. Cuando este no tiene más capacidad, el testigo se recupera en superficie por medio de un cable. Esta maniobra se realiza con unos útiles especiales que permiten el acople y desacople de los tubos exterior e interior del testigo (cabeza) y la recuperación del testigo mediante un cable (pescador).

Tabla 6: Diámetro usado en perforación diamantina

TAMAÑO	DIAMETRO EXTERIOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)
AQ		27.00
BQ	60.00	36.50
NQ	75.70	47.60
HQ	96.00	63.50
PQ		85.00

Fuente: Cambefort, H. 1980

2.3.15 Recurso

Es toda concentración u ocurrencia de mineral contenida en un área específica dentro de la corteza terrestre, cuyo límite y características geológicas, así como tonelaje y ley, se establecen bajo razonables consideraciones técnicas, que justifiquen un probable beneficio económico, bajo métodos y técnicas conocidas, así como consideraciones de precios que se asuman puedan soportar dicho beneficio. Este mineral es, asumido con proyecciones futuristas. “Todos los metales, minerales y, rocas, que pueden ser utilizados por el hombre y que existen en el suelo y subsuelo.

2.3.16 Reserva

Es la parte económicamente minable de un Recurso mineral, puede ser Medido o Indicado. Es el resultado de la aplicación de los correspondientes “Factores de Modificación”, que incluyen principalmente, material diluido y, pérdidas toleradas durante la explotación, todo ello de acuerdo a un escenario productivo, tecnológico y de



sustentabilidad. Otra definición: Reserva, es todo material mineral que se considera explotable bajo las condiciones existentes incluyendo costo, precio, tecnología y circunstancias locales.

<https://web.archive.org/web/20110322055302/http://www.samcodes.co.za/>

2.3.17 Recursos minerales

Un recurso mineral es una concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco dentro y fuera de la corteza terrestre en tal forma que por la calidad y cantidad haya “perspectivas razonables de una eventual explotación económica”. La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y de continuidad de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas en base a evidencias y conocimientos geológicos específicos. (Mayta, O. 2010 y Meza, J. 2010)

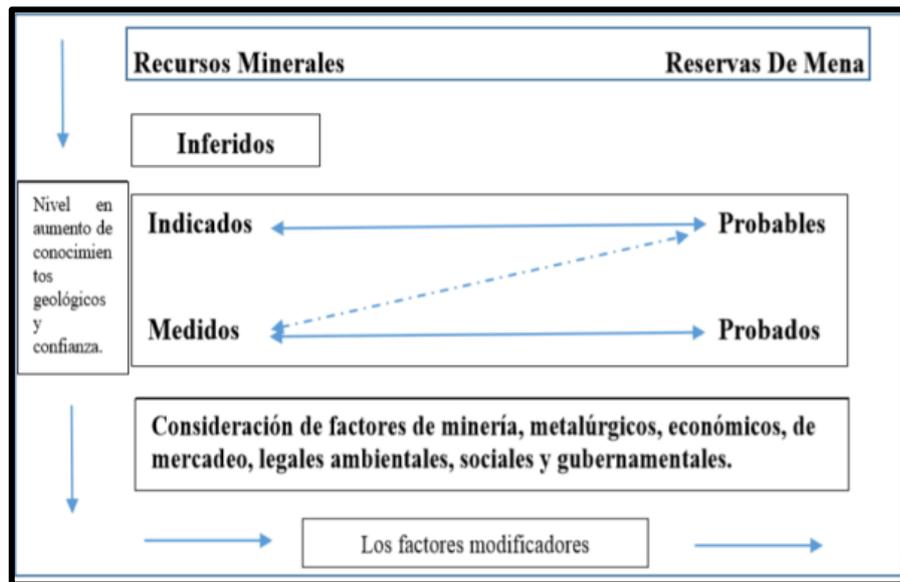
Los recursos minerales se subdividen en orden de confianza geológica decreciente en categorías de:

Medido. - Es cuando el tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras características físicas pueden ser estimados con un alto nivel de confianza.

Indicado. - Es cuando el tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras características geológicas pueden ser estimados con un razonable nivel de confianza.

Inferido. - Es cuando el tonelaje y ley pueden ser estimado con un bajo nivel de confianza. (Mayta, O. 2010 y Meza, J. 2010).

Tabla 7: Relación general entre resultados de exploración, recursos y reservas minerales



Fuente: Código de JORC. “The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists, and The Minerals Council of Australia JORC”

2.3.18 Reserva mineral

Se define como todo aquel material que tiene contenido de algún mineral económico que posee un valor y que puede ser usado cuando uno lo necesite. Es la parte de un yacimiento mineral, cuya explotación es posible o razonablemente justificable desde el punto de vista económico y legal al momento de su determinación. Para su estimación se considera haberse llevado a cabo las evaluaciones apropiadas que podrían incluir estudios de factibilidad en los cuales se tiene en cuenta factores mineros, metalúrgicos, económicos, ambientales se incluye solamente mineral recuperable y diluido, expresado en tonelaje y leyes. (Oscar, M. 2010 y Julio, M. 2010).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

La Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. MACDESA - UEA CUATRO HORAS, está ubicado en el departamento de Arequipa, provincia de Caravelí, distrito de Chaparra, a 280 Km. en dirección NW de la ciudad de Arequipa y a 5 Km. al NW del poblado de Chaparra, a una altitud de 1 930 m.s.n.m. Carta Nacional Chaparra (32-O). Comprende una superficie total del derecho minero de 500 hectáreas, Ver ANEXOS N°01

Políticamente se encuentra en:

Departamento : Arequipa.

Provincia : Caravelí.

Distrito : Chaparra.

Lugar : Cuatro horas.

Tabla 8: Coordenadas de ubicación

<i>UNIDAD - PROYECTO</i>	<i>CORDENADAS UTM - WGS 84 - ZONA 18 s</i>		<i>ALTITUD</i>
	<i>NORTE</i>	<i>ESTE</i>	<i>m. s.n.m</i>
MINA MACDESA	8264132.900	618909.300	1, 930

Fuente: Elaboración propia.

3.2 ACCESIBILIDAD.

La U.E.A. Mina MACDESA tiene como acceso principal la carretera Panamericana sur, siendo la ruta Lima-Arequipa hasta el distrito de Chala con una distancia de 651 Kilómetros, desde el distrito de Chala hasta el distrito de Chaparra con una distancia de 45 Kilómetros, y desde el distrito de Chaparra hasta la unidad minera se accede por una vía afirmada con una distancia de 4 Kilómetros. (Ver Cuadro N° 08).

El yacimiento es accesible desde la ciudad de Arequipa por la carretera panamericana hasta el Kilómetro 642 que se encuentra 9 Km. antes de llegar a Chala, empleando un tiempo de 7 horas aproximadamente, luego desde el Km. 642 al pueblo de Chaparra se hace mediante una carretera afirmada de 45 Km, empleando un tiempo de 1,5 horas, finalmente el último tramo de Chaparra al campamento mediante trocha carrozable de 4 Km. empleando un tiempo de 15 minutos.

Tabla 9: Vías de acceso

<i>RUTA</i>	<i>DISTANCIA (KM)</i>	<i>TIEMPO</i>	<i>TIPO DE VIA</i>	<i>MEDIO</i>
AREQUIPA- CHALA	651	7 horas	Carretera asfaltada	Camioneta
CHALA-CHAPARRA	45	1 hora	Carretera asfaltada	Camioneta
CHAPARRA-MINA	4	0.15 hora	Trocha	Camioneta

3.3 DISEÑO METODOLOGICO

La metodología de acuerdo con la naturaleza del trabajo de investigación, características del proyecto y según el nivel de profundización es de tipo descriptivo, así como según los datos empleados son de carácter cuantitativo y según su objetivo es de investigación aplicada, al realizar las características geológicas.

El proyecto de investigación tuvo una metodología descriptiva, para luego proceder con el procesamiento e interpretación de los datos obtenidos en los distintos diseños metodológicos.



3.3.1 Recopilación y revisión de Información.

Se inició con el procesamiento y recolección de toda la información bibliográfica referida a la zona de estudio, utilizando informes internos y externos como diversas fuentes de información, adquisición de planos geológicos regionales cartas geológicas del INGEMMET, geología del cuadrángulo de Chaparra (hoja 32-o) - boletín A-34, consideración de estudios regionales cercanos a la zona de estudio.

3.3.2 Trabajos de Campo.

Esta etapa de la investigación consistió en el reconocimiento del área de estudio y análisis de todas las características a través de los siguientes trabajos: Ver ANEXOS N° 08.

Mapeo geológico a escala local (superficiales como de interior mina)

Identificación y registro de las estructuras mineralizadas

Desarrollo y ejecución de labores de avance en roca estéril y en veta.

Muestreo geoquímico sistemático de labores de exploración, producción y desarrollo (galerías. Chimeneas y subniveles)

Sondeos diamantinos, ejecución de un programa de perforaciones diamantinas.

Realizando labores de posicionamiento para realizar la perforación.

Entre ellas los métodos de muestreo que se usaron son:

Muestreo por canales.

Muestreo por puntos.

Muestreo por astillas.

Muestreo agarrado (carga común).



Las muestras extraídas en el trabajo de campo se procedieron con el registro y codificación para él envío hacia el laboratorio químico de la U.E.A MACDESA Empleando todos los procedimientos y estándares que se tiene implementado en el área de geología para su respectivo análisis químico por los contenidos mineralógicos de cada una de las muestras.

3.3.3 Trabajos de laboratorio

Las muestras de mineral, tomadas de las estructuras mineralizadas se analizan en laboratorio químico de la mina MACDESA por el sistema Newmont. Los resultados del elemento Au y Ag están considerados en las unidades Oz/Tc. La cantidad de muestras que se envió al laboratorio por día fue un promedio de 35 a 40 muestras, considerando las muestras sistemáticas del interior mina, exploraciones y perforaciones diamantinas.

Los estudios microscopicos se hicieron en el Laboratorio de Litogeoquímica y Petromineralogía de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica; en un microscopio LEICA modelo 3100.

3.3.4 Trabajos de Gabinete.

El trabajo de gabinete es la etapa en la que se procesó la información recibida del campo, tales como la digitalización de mapeos, elaboración de base de datos de los muestreos, elaboración de secciones geológicas, interpretación y evaluación de muestras de valor económico.



Figura 10: Diseño metodológico para elaboración del proyecto de investigación

3.4 ESTUDIO GEOQUÍMICO.

3.4.1 Muestreo

Procesando los resultados de muestreo se planea y controla una adecuada exploración, explotación y tratamiento metalúrgico. Un muestreo cuidadoso y preciso garantiza los resultados de los ensayos obtenidos para el cálculo de reservas. En la etapa de exploraciones, la evaluación de los resultados del muestreo conjuntamente con una buena interpretación geológica permita definir la bondad de un yacimiento y su consiguiente exploración, lo cual dependerá mucho de un muestreo confiable, porque un mal muestreo o muestras contaminadas conllevarán a definiciones desastrosas.



La ejecución de muestreo conlleva a una organización del personal de muestreros, con la participación de geólogos y la implementación de equipos.

En el proceso de la toma de muestras, desde su ejecución hasta obtener los resultados de los análisis respectivos, participan desde el ayudante de muestrero (Maestro muestrero, Capataz de muestreo, Geólogo de Sección y Geólogo de Control de Calidad) hasta el Jefe de Departamento. Ver ANEXOS N° 09, 10 y 11.

1) Muestreo por canales.

El método consiste en extraer muestras en canales rectangulares previamente marcados en el terreno en forma transversal al rumbo de las estructuras tabulares o cuerpos elongados a intervalos regulares. En el caso de Mina MACDESA es en CANAL, además de ser transversal a la estructura, debe ser HORIZONTAL (no se hace perpendicular a la estructura) en cualquier tipo de labor subterránea o afloramientos o en trincheras de afloramientos cubiertos (la longitud del canal o de la muestra será la proyección horizontal de la misma).

1. b Dimensiones y Cantidad de Muestra.

Las dimensiones del CANAL dependen del tipo de mineralización y del ancho de la estructura, pudiendo tenerse más de un canal contiguo en la misma ubicación (Ver Figura N° 11).

En mineralización de oro y plata, las dimensiones de canales de muestras son:

Ancho:	Canal de limpieza 0.20 m
	Canal de muestreo (mínimo) 0.10 m
	Canal de muestreo (máximo) 0.15 m

Profundidad de canal:	Mínimo 0.02 m
	Máximo 0.05 m
Longitud de canal:	(Máxima) 1.00 m
	(Mínima) 0.05 m
Peso mínimo/m:	2.0 Kg.

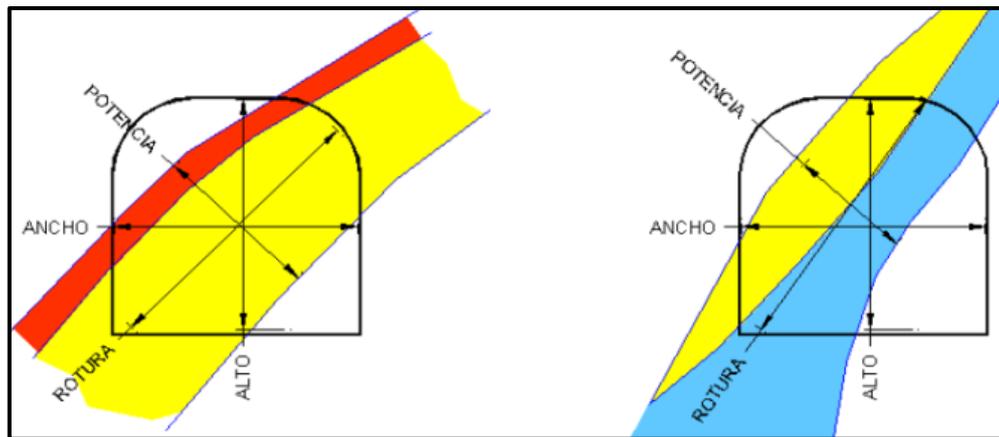


Figura 11: Muestreo por canales

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.

2.b Ubicación.

La ubicación de los canales en galerías, cruceros, Sub niveles y piques están referidas a puntos topográficos (**Figura N° 12**). En caso de que no se tenga esta información, las referencias son las chimeneas, etc. (**Figura N° 13**).

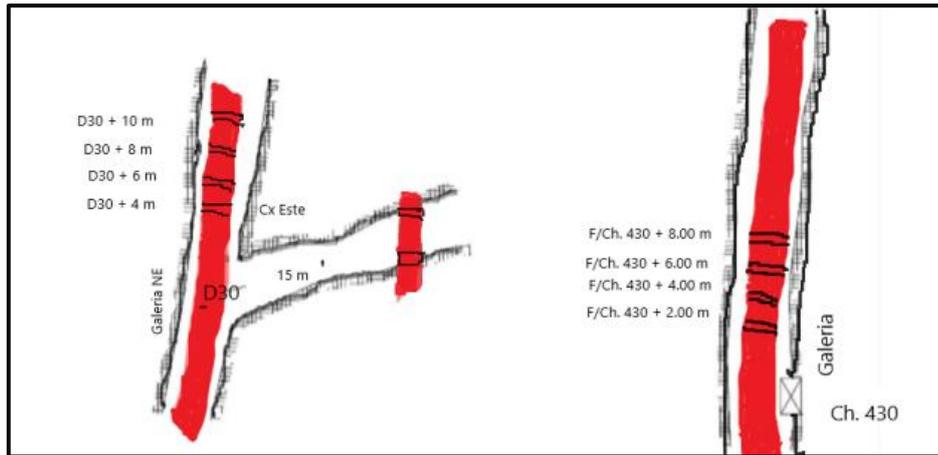


Figura 12: Ubicación de canales en galerías y ventanas

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.

En las chimeneas la ubicación de los canales está referida al riel o piso de labor.

En tajos la referencia es un echadero o una chimenea de acceso, pero además se mide la altura de la corona con levantamiento a brújula.

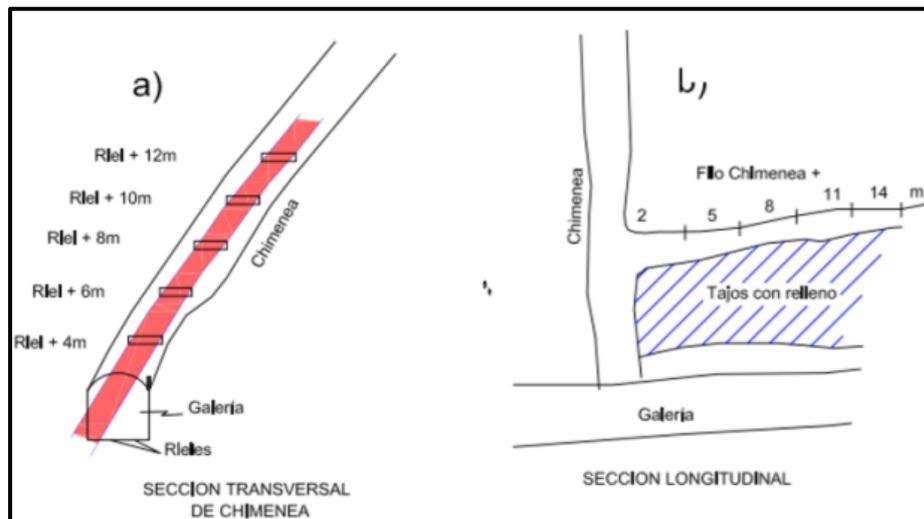


Figura 13: Ubicación de canales en chimeneas y tajos

Fuente: U.E.A Cuatro Horas y Elaboración propia.



En el caso de ventanas, las referencias pueden ser el inicio desde una galería, by pass, etc.

Muchas veces por el mal terreno en mina no es posible tomar muestras en ninguna labor porque se ponen mallas, cuadros, etc., lo que limita el muestreo. En este caso la información de ensayos se obtiene mediante el muestreo de los frentes y sondajes debidamente espaciados.

3. b Espaciamiento.

Es el intervalo de distancia entre canales. Depende de la regularidad de la mineralización y del tipo de labor. En la U.E.A. Mina MACDESA se ha establecido un espaciamiento de 2.00 metros en todas sus labores tales como: galerías y chimeneas que siguen sobre estructuras mineralizadas, en caso de que la mineralización sea irregular y angosta los canales tendrán un espaciamiento de 1.00 metro.

En general, en estructuras anchas o con bandas de diferente mineralización, el canal debe ser HORIZONTAL y se subdividen en varios canales, debiendo tener cada división una longitud mínima de 0.10 metros y máximo de 2.20 metros en galerías.

En chimeneas la ubicación de canales (también horizontales) es en ambas caras de la labor. En este caso el espaciamiento es cada 1.00 metro, pero los canales estarán intercalados entre los de una cara con respecto a la otra.

En cruceros (cortadas) y ventanas se toman uno o más muestras contiguas en ambas paredes si la estructura tiene un ancho mayor a 0.10 metros si la estructura tiene bandas con diferentes características se realizan canales contiguas en todo el ancho de la estructura.

En los tajos el espaciamiento entre canales se ha establecido en 2.00 metros, se efectúa el muestreo cada dos a tres cortes, y hasta un máximo de dos cortes en mineralización irregular.

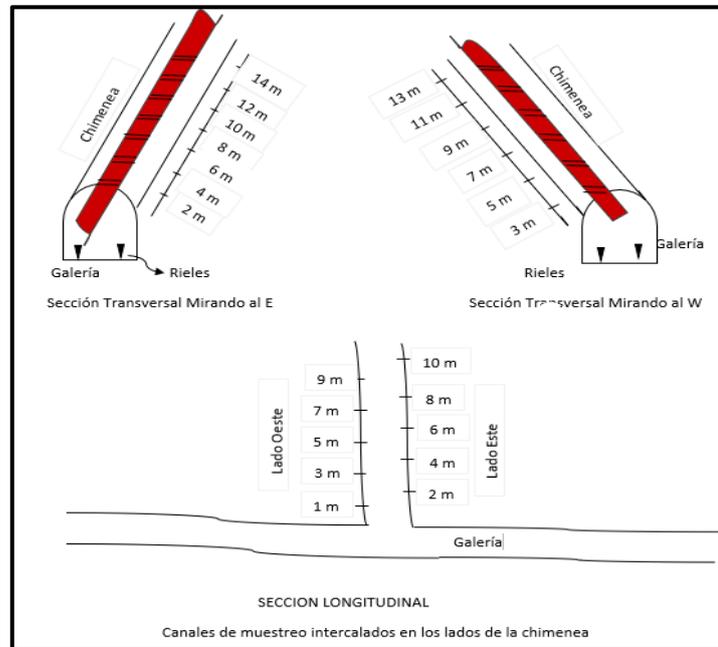


Figura 14: Espaciamiento de canales de muestras

Fuente: U.E.A Cuatro Horas y Elaboración propia.

2) Muestreo agarrado (carga común).

Este muestreo se aplica cuando teóricamente se supone que el mineral está uniformemente distribuido en todo el material que se muestrea, tanto en canchas en planta, como en carros mineros, tolvas, etc. El método consiste en extraer al azar, sin escoger, algunas porciones del montón, cuyos resultados darán una idea aproximada de la concentración del mineral. No es un método de muestreo confiable en el sentido estricto de la palabra, ya que siempre hay el peligro de un enriquecimiento inconsciente de la muestra. Es un medio de controlar en forma rápida la producción. No es recomendable el uso de este método.



Figura 15: Muestreo agarrado (Carga Común)

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.

3.4.2. Control de calidad

En el yacimiento aurífero de la Mina MACDESA, el “CONTROL DE CALIDAD” es una actividad mediante el cual se dirige y supervisa estrictamente el proceso productivo de una mina en producción a fin de obtener productos metálicos comerciales con valor económico. Esta actividad incluye el desarrollo y explotación en mina y el tratamiento en planta. En este caso nos vamos a referir a la parte correspondiente a geología en la etapa de desarrollo y explotación.

En esta etapa el MUESTREO tiene un rol importante en el “CONTROL DE CALIDAD” en relación con el mineral extraído, explotado y beneficiado. En este caso para que el trabajo sea efectuado eficientemente es necesario discutirlo y coordinarlo entre los departamentos de geología, minas y planta.



Consideraciones que se deben tener en cuenta para el Control de Calidad en minas de oro y plata, tomando como ejemplo lo que se hace en minas de características muy similares son:

Determinar el tamaño del oro, mediante estudios de análisis por retalla para definir los porcentajes (%) de oro para cada malla.

Hacer estudios de Microscopia Electrónica de Barrido y Energía dispersiva de Rayos X, también para determinar los porcentajes de Au para cada malla.

Teniendo en cuenta que en los yacimientos de Au y/o Ag, el Au pueda presentarse muy fino o también grueso y la plata puede estar muy fino, debe implementarse “Control de Calidad” en operaciones mineras que aún no la tienen, o si la tienen, mejorarlos para lo cual se tendrá en cuenta:

Preparar los Protocolos de muestreos por canales de mina (ya que en todos los yacimientos auríferos filonianos se emplean este método), muestreo de canchas y muestreo de lotes (volquetes), enviados a plantas de procesos.

Establecer procedimientos para chequear altas leyes, erraticidad y autochequeo del muestreo.

Protocolos de Preparación de muestras, en cuya sala, la muestra está generalmente expuesta a contaminación.

Evaluar los diferentes procesos en la mina: Labores del personal de geología, muestreo, control del marcado de tajeos, control de la dilución.



Figura 16: Control de calidad en labores

Fuente: U.E.A Cuatro Horas y Elaboración propia.

3.4.3 Marcado de áreas mineralizadas y control de dilución.

Con la información de las leyes de muestras de canales y/o puntos, el pintor debe marcar en los tajeos el contorno de los límites económicos de la mineralización, para que, en base a esto, los perforistas de minas orienten mejor su perforación para disparos, teniendo en cuenta, además, orientar los taladros de acuerdo a los buzamientos de las estructuras y contactos. Por ningún motivo se perforará fuera de los contornos ni con otra inclinación diferente al buzamiento. De esta manera se evitará una sobre dilución. Además, se pintará en las paredes del tajo las leyes promedias por sectores o tramos, todo esto, a fin de que la dilución sea mínima.



Figura 17: Marcado de estructuras

Fuente: U.E.A Cuatro Horas y Elaboración propia.

3.4.4 Codificación, registró y transporte de muestras.

La codificación y etiquetado de las bolsas de muestreo son realizados con una de las pestañas de la tarjeta de muestreo y posteriormente embalados con cinta de embalaje; estas muestras se transportan del campo hacia el campamento, para el transporte al laboratorio son embaladas en sacos y codificados.

U.E.A. MACDESA			
GEOLOGIA			
DATOS GENERALES		DATOS DE LA VETA	
MINA		BUZAMIENTO	
VETA		DIR. BZ	
NIVEL		DATOS DE CANAL	
LABOR		AZ (INIC-FIN)	
CORTE		INCLINACION	
ALA			
Punto Referencia			
Ancho Labor		Nro	66881
Ancho Muestra			
POTENCIA	LITOLOGIA		
Ag	Au		
OBSERV			
MUESTRERO			

U.E.A. MACDESA			
GEOLOGIA			
Ag.	Au.	N°	66881
FECHA:			

Figura 18: Registro de codificación

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

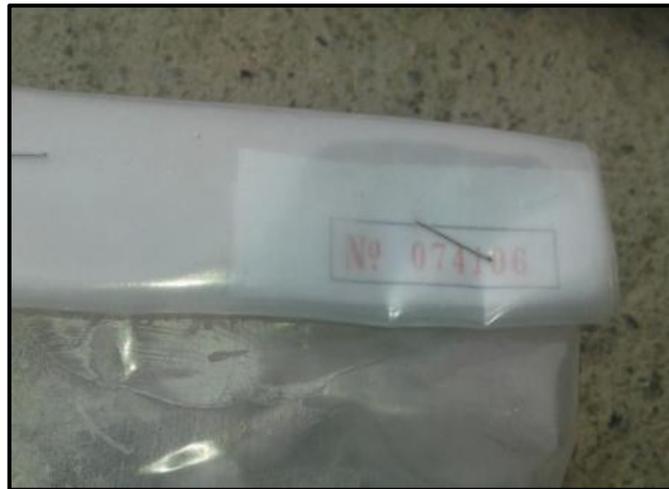


Figura 19: Codificación de muestras

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.

3.5 MATERIALES

Para el desarrollo del siguiente proyecto de investigación se utilizó los siguientes materiales y equipos (Ver Tabla N° 11).

Tabla 10: Recursos para desarrollar el proyecto

RECURSOS	DESCRIPCION
<i>INFRAESTRUCTURA</i>	Campamento minero, laboratorio para analisis quimico de muestras
<i>EQUIPOS</i>	GPS, brújula Brunton, camara fotografica, laptop
<i>HERRAMIENTAS</i>	Lapiz rayador, pica, lupa de 20x, protactor, tablero de mapeo, combo de 4 lbs, punta de diamante de 30 cm, wincha metrica de 30 m, flexometro de 5 m
<i>MATERIALES</i>	Bolsa de muestreo, pintura roja, talonario de muestreo, mochila de lona, tiza, engrampador, grapas, utiles de escritorio
<i>PERSONAL</i>	Muestreros y chofer
<i>MEDIO TRANSPORTE</i>	Cambioneta 4x4 y combustible

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.



3.6 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.6.1 Población

La población de la investigación está representada por la extensión que ocupa la minera aurífera cuatro de enero - MACDESA ubicado en el distrito de Chaparra, provincia de Caravelí, Departamento Arequipa.

3.6.2 Muestra

La muestra lo constituyen los especímenes de las características geológicas de la veta Nancy en el nivel 1760 esperanza sur en la mina MACDESA.

3.7 VARIABLES

3.7.1 Variables independientes

Características geológicas de la veta Nancy

3.7.2 Variables dependientes

Producción del mineral

3.8 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 11: Matriz para la operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
		Fallas
		Minerales
Independiente x	geología estructural	Forma del yacimiento
Características geológicas	geología económica	Potencia de veta
		Inclinación
		Resistencia de la roca
		Ley
Dependientes y	Calidad	Volumen
Producción de mineral	Cantidad	Tonelaje
		Rentabilidad económica

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.



3.9 TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS

3.9.1 Técnicas

Las investigaciones del campo que constituye la parte esencial de los estudios como:

Reconocimiento de la geología del yacimiento del campo y primeros diagnósticos

Muestreo sistemático de labores de exploración, en labores de avance (galerías. Chimeneas y subniveles) cada un metro con el método de muestreo chip sampling.

Embalaje en bolsas de polietileno y traslado de muestras al laboratorio para su análisis. Revisión de planos topográficos, geológicos y secciones de la mina MACDESA.

Toma de datos geológicos de campo, con Brújula, GPS, picota y cámara fotográfica

Sondeos diamantinos, ejecución de un programa de perforaciones diamantinas.

Realizando labores de posicionamiento para realizar la perforación.

3.9.2 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron en el presente estudio fueron reporte diario de las labores, muestreos geoquímicos de las labores de exploración y análisis de laboratorio de las muestras tomadas para hacer planos e informes.

3.10 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Revisión de antecedentes del problema e identificación de variables

Control y toma de muestras

Análisis de resultados de las muestras tomadas.



Revisión de los datos obtenidos con la ayuda de programa especializado (Excel, AutoCAD)

3.11 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Características geológicas, estructurales, mineralógicas y geoquímicas, que permite definir el comportamiento y la profundización de la veta Nancy.

Procesamiento de resultados de laboratorio.

Desarrollo y ejecución de las labores de exploración en veta

Análisis de los sondajes diamantinos para determinar la profundidad de la estructura mineraliza.

Elaboración de mapas geológicos, estructurales para reconstruir el comportamiento de la estructura mineralizada de la veta Nancy.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICIZACION GEOLOGICA Y EL COMPORTAMIENTO

GEOLOGICO DE LA VETA NANCY

En el área de estudio afloran rocas intrusivas de composición granodiorita de la súper unidad Tiabaya, la cual ha sido intruidas por diques hipabisales andesíticos.

La roca caja presenta gran cantidad de fallas locales y fallas post mineral debido al tectonismo andino.

Estructuralmente no se observan fallas relevantes en el área, la brecha presente es producto de la alteración hidrotermal, el mismo que ha dado origen al yacimiento.

Estas fallas locales presentes en interior mina, tienen un rumbo de N 70°W, N 80°W y se presentan en gran número en el yacimiento, su desplazamiento es de unos cuantos centímetros hasta varios metros y debido a la gran cantidad dificulta la continuidad de la mineralización, las fallas post mineral son fallas que se presentan en superficie con una dirección de N 40° W y N 50° W que desplazan la veta más de 20 metros, actualmente se reconoció la veta falla, el cual desplazo a la veta 28 a 30 metros, se denomina veta falla debido a que actúa como falla, desplazando a la estructura principal y a través de otro evento de mineralización fue mineralizado.

La pirita es un mineral presente en la veta, se encuentra englobado dentro de las tres variedades de cuarzo. El oro se halla en forma diseminada atravesando a los óxidos de hierro (limonita, hematita), además se le encuentra en estado libre formando pequeñas “charpas” de oro nativo.



La alteración hidrotermal que afectan a las rocas encajonantes son la propilitica (clorita y epidota), y la Seritización es de menor escala rellenando cavidades, esta alteración afecta a la veta Santa Rosa, actualmente explotadas donde el oro se manifiesta tanto en fino como grueso.

4.1.1 Geología local

En la conformación geológica de la zona tenemos rocas ígneas y hipabisales cuyas edades varían desde el Cretáceo superior hasta el Terciario más moderno, los depósitos más jóvenes (Pleistoceno reciente) tenemos a material aluvial, coluvial, y eluvial distribuido a manera de relleno de las quebradas principales. Ver ANEXOS N° 05.

4.1.1.1 Estratigrafía

La roca que predomina en la zona es la granodiorita, a la vez esta roca se encuentra intruidas por cuerpos hipabisales de textura porfiriticas, diques andesíticos y diques graníticos.

4.1.1.2. Rocas Intrusivas

Afloran en gran extensión, representada por la granodiorita, perteneciente a la superunidad Tiabaya en el batolito de la Costa del Cretáceo Superior a Terciario Inferior.

A. Súper-Unidad Tiabaya (Ks-ti/to-gd, Ks-ti/di)

Es la de mayor distribución en la zona de estudio. La granodiorita presenta un color gris oscuro y gris verdoso por el mayor contenido de minerales ferromagnesianos, y ocurre generalmente en forma homogénea, con moderado fracturamientos; la roca es de grano medio, tiene una textura holocristalina, fanerítica, siendo la plagioclasa el mineral dominante seguido de la ortosa y cuarzo.

Esta roca es la que hospeda a la mayoría de las vetas que ocurren en el yacimiento MACDESA. Su edad de emplazamiento según dataciones radiométricas corresponde al Cretáceo superior – Terciario inferior.

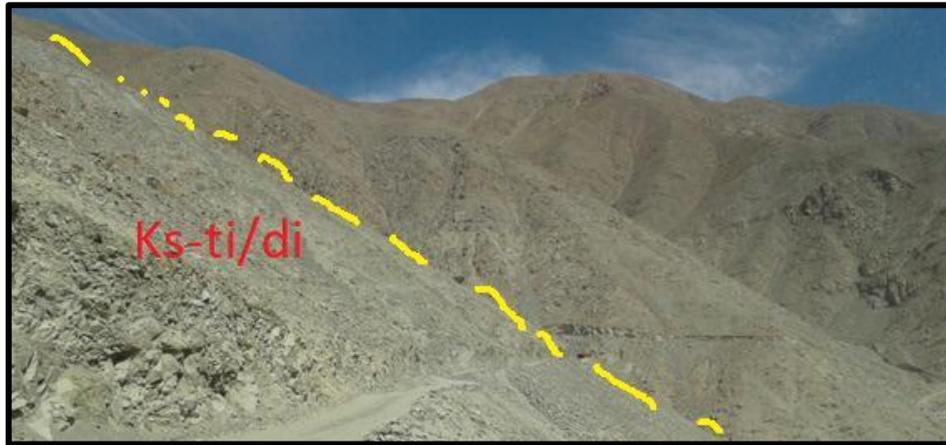


Figura 20: Vista de la Super Unidad Tiabaya

Fuente: U.E.A MACDESA. Fotografía, Mirando al Noroeste, Se observa el intrusivo Granodiorita de textura holocristalina, fanerítica.

La granodiorita macroscópicamente presenta una textura granular fanerítica, holocristalina, de color gris oscuro y verdoso en roca fresca.

Su composición macroscópica es la siguiente:

Tabla 12: Composición macroscópica

Plagioclasa	50%
Ortosa	10%
Cuarzo	15%
Ferromagnesianos	20%
Otros	5%
Total	100%

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.

Por el alto contenido de feldespatos calcosódicos y bajo porcentaje de ortosa se la clasifica como una granodiorita.

Este cuerpo intrusivo granodiorítico es cortado por diques de composición ácida como primera manifestación, compuesto esencialmente de Cuarzo, feldespato y plagioclasas, emplazado después de haberse formado el cuerpo intrusivo, las potencias variables de 0.50 m. a 2 m. y rumbos de N 25 W, N 30 W.



Figura 21: Roca encajonante (Granodiorita)

Fuente: U.E.A MACDESA. Se observa la roca granodiorita compuesto por feldspatos calcosódicos de color gris claro en roca fresca.

4.1.1.3 Roca hipabisal.

En la zona de estudio afloran remanentes volcánicos que cortan el cuerpo intrusivo, como diques de composición andesítica y zona de brecha de intrusión de grandes dimensiones que afloran en las cumbres de los cerros.

Diques Andesíticos. En la zona de estudio proliferan gran cantidad de diques de naturaleza volcánica y de edad más reciente, estos diques se presentan en formas individuales (potencia de 0,50 m.), y en forma de enjambres en dirección SE del área de estudio (potencia variable de 0,10 m. a 0,50 m. la mayoría de estos diques presentan rumbos generales E – W y N 75° W. Muchos de estos diques tienen relación con la mineralización de oro debido a que sirven como conductos de las soluciones hidrotermales, y esto es corroborado en el paralelismo entre los diques y las menas.



La actividad hidrotermal que se presenta está relacionada con la Argilización específicamente con la caolinita, cloritización, y la silicificación. Los diques presentan colores gris verdosos a gris oscuros con textura afanítica, fuerte fracturamiento y presencia de alteración clorítica en diferentes grados. La edad de estos diques no ha sido concretada, pero debido a que estos cuerpos volcánicos se encuentran cortando a la granodiorita y a la vez se ha encontrado vetas fallas que cortan a estos diques tomando la denominación de diques post-mineralización por lo tanto se le asigna una edad terciario inferior.

Dacita porfirítica. En la zona de estudio afloran cuerpos de dacita, producto de la alta presión y temperatura como son la Dacita Porfirítica, se correlacionan con la dacita de Molles un cuerpo Hipabisal que aflora en dirección NW con respecto a la zona de estudio, con el cual se cree que se emplazó la mineralización, esta brecha de intrusión en el área de estudio se puede observar de grandes a pequeñas dimensiones, presenta una pasta afanítica de color verde grisáceo, su textura es porfirítica, con fenocristales de plagioclasas y hornblendas bien desarrollados, sus afloramientos son generalmente en la cumbres de los cerros y sus dimensiones son variables van desde 50 metros de largo por 40 metros de ancho a grandes dimensiones de 400 metros de largo por 250 metros de ancho, como es el caso del afloramiento de un gran cuerpo Dacítico que es cortado por un cuerpo mineralizado de 2 a 3 m. de potencia compuesta de cuarzo, óxido, limonita, patinas de cobre, también presenta diseminación de pirita gris, presenta una relación con el rumbo general de la veta cuatro horas N 80° W y N 85° W.

4.1.1.4 Depósitos recientes (Qh-al, Qh-c)

Los depósitos aluviales se presentan en la quebrada Cortadera, formado por fragmentos sub redondeados a redondeados de diferente tamaño bien consolidados por una matriz de limos y arcillas. Estos fragmentos llegan hasta 5 metros de diámetro.

Los depósitos coluviales se encuentran en los afloramientos de la roca intrusiva en pequeñas acumulaciones.

Los depósitos eólicos producto de la acción del viento son observados en las falderas de los cerros como lentes de ceniza volcánica las dimensiones de estos lentes son de 1 metro de ancho por 7 a 8 metros de largo.



Figura 22: Vista de depósitos recientes

Fuente: U.E.A MACDESA. Se observa los depósitos recientes (Qh-al), compuesto por fragmentos redondeados y subredondeados diferente tamaño bien consolidados por una matriz de limos y arcillas.

4.1.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

4.1.2.1 Unidades geomorfológicas

A.1. Sistema montañoso

Está constituido por geoformas originadas por modelación tectónica y volcánica; así como, originadas, por denudación muy relacionada con la composición litológica. Ver ANEXOS N° 06

a) Altas Cumbres y Lomas (M-Ac).



Es la unidad que conforma una topografía accidentada de mayores elevaciones y pendientes abruptas, en el área de estudio se observa en el cerro estrella, también se puede apreciar hacia el Este donde se ubica el yacimiento.

b) Laderas. (M-La). S

Con declives laterales de las altas cumbres, cuya pendiente son muy regulares formando un ángulo no mayor de 65° , se observa con mayor frecuencia en las partes bajas de las altas cumbres del cerro estrella.

A.2. Sistema fluvial

Los procesos de desgaste en la superficie del área de estudio han generado geoformas en las que ocurren los procesos morfodinámicos más activos actuales río chaparra.

a) Valle en V. (F-Vs).

La unidad como es el valle en forma de V atraviesa en el área de estudio con la dirección N-S, típico en los cursos de los ríos con pendiente moderado hacia la vertiente del Pacífico, este valle carece de agua en la actualidad, pero existe la probabilidad de que en las épocas de lluvias tenga un caudal considerable.

b) Quebradas. (F-Qh).

Son valles estrechos ocasionados por la erosión y encajonados por elevaciones de montañas cuyas laderas caen abruptamente hacia el fondo del valle, estos se observan en las partes altas de la zona de estudio.

c) Abanico Aluvial. (F-A, al).

Esta unidad se observa al NE de la Zona de estudio, en una escala reducida, su vista en planta presenta el aspecto de un abanico y se originó a partir de la sedimentación

de la carga sólida transportada por una corriente fluvial allí donde esta pierde súbitamente fuerza debido a la brusca disminución del gradiente topográfico.

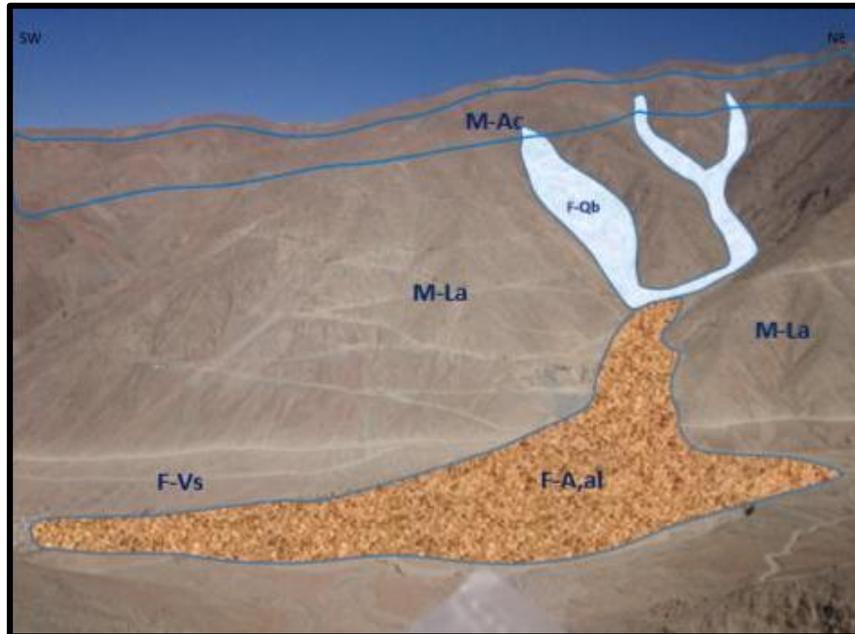


Figura 23: Vista de las Unidades Geomorfológicas

Fuente: U.E.A MACDESA. Fotografía. Mirando al Nor-Este: se observa las unidades Geomorfológicas en la Mina Macdesa.

4.1.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

Las estructuras están netamente relacionadas a la tectónica andina, producto de la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana.

Estas estructuras mineralizadas de oro están netamente ligadas a la provincia aurífera que se da desde Ocoña a Palpa, generalmente relacionadas, en un ambiente de deposición en sistemas de fallas y fracturamientos producto de la deformación regional. Ver ANEXOS N° 07.

4.1.3.1 Fallas y fracturas pre-mineralización.

Las fuerzas tectónicas que actúan sobre una roca producen la deformación de la misma, ocasionando fracturamiento, donde el grado de fracturamiento está en relación



directa con el grado de compactación que tiene la roca, en la formación de estas fracturas han intervenido fuerzas de compresión y distensión los cuales han producido fallas pre-mineral y post-mineralización.

La granodiorita presenta un sistema de fallamiento en bloques, con rumbos que varían N 60° W, N 70° W con buzamientos 74° NE, 85° NE, hasta verticales. Estas fracturas no sólo se presentan en superficie sino también en las labores subterráneas.

La mineralización tiene una amplia relación con el sistema de fallas esencialmente en las intersecciones de falla, donde las concentraciones de oro son altas, presencia de lazos cimoides en forma de vetillas indica la presencia de vetas de alta ley por encima de 10 Onz/TM.

En el área afloran diques andesíticos oscuros del complejo Bella Unión de edad Cretáceo superior, se encontró gran cantidad de diques andesíticos con fenocristales de plagioclasas, con direcciones de N 70° W, E – W, estos diques han actuado como conductores de la mineralización y a lo largo de su afloramiento la mineralización es visible en forma paralela a los diques, las vetas que se presentan de esta manera tienen una dirección de N 60° W, en el lado oeste de la veta Nancy se encontró diques andesíticos silicificados con dirección N 20° W, con intrusiones de brecha de turmalina con clastos de cuarzo, esto evidencia y corrobora la presencia de una actividad hidrotermal que mineralizó los fracturamientos existentes.

También es notoria la presencia de cuerpos de dacita porfirítica con textura porfiríticas con fenocristales de plagioclasas y hornblenda bien cristalizados de 2 a 5 mm, con una pasta afanítica verde grisácea, la cual tiene relación con un cuerpo hipabisal denominado la Dacita , siendo su afloramiento en el cuadrángulo de Acarí y de acuerdo a los rasgos petrográficos se puede estimar que este cuerpo que aflora en la zona de



estudio pertenece a una de las pulsaciones del emplazamiento de la dacita de Molles quien probablemente trajo la mineralización; en la zona de estudio se le ha denominado a este cuerpo como una dacita porfirítica y presenta varios cuerpos, que van desde 50 metros de largo por 40 metros de ancho a grandes dimensiones de 400 metros de largo por 250 metros de ancho, el de mayor dimensión se encuentra cortado por una veta cuyo rumbo es N 80° W el cual se correlaciona con el rumbo general de la veta Nancy N 70° W, el afloramiento de veta que está cortando el cuerpo hipabisal tiene estructura cavernosa y una composición de cuarzo, hematita, y diseminaciones de pirita, con una coloración en superficie rojo parduzco, la alteración predominante es la argilización con la caolinita y otras partes Epidotización en forma de halos y venillas.

Las fallas en superficie son del tipo gravitacional post mineralización, con dirección, N 30°W lo cual produce un fallamiento en bloques que desplazan a la veta desde unos metros hasta más de 20 metros, estas fallas se les reconoce por los espejos de falla que se encuentra en la quebradas, también cabe resaltar la presencia de fallas con rumbos N 40°W y potencia de 01 a 10 metros, con presencia de mica moscovita bien cristalizada, clorita, los cuales han sido silicificados, podemos considerar que probablemente ha sufrido 2 eventos de Silicificación por la presencia de inclusiones de cuarzo lechoso y cristalizado.

En superficie la veta Nancy tiene un rumbo que va de N 70° W a N 80° W y un buzamiento irregular de 35° a 45° al NE, cortado por fallas del tipo gravitacional con rumbo N 30°W cambiando el rumbo general de la veta.

Actualmente es notoria la presencia de diques andesíticos gris verdosos que son cortados por la veta Nancy, el plunge de las estructuras mineralizadas generalmente

tiende al NW, esto es corroborado con el desarrollo de las labores donde muestra el emplazamiento de la mineralización. ´



Figura 24: Fallamiento de la veta Nancy.

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia. mirando al NW el fallamiento acompañado por diques andesíticos y estrías

Fallas pre-minerales. - Estas fallas se formaron por fuerzas compresionales, por las cuales la mineralización, los diques y los cuerpos hipabisales se emplazaron después de haberse producido la cristalización del cuerpo intrusivo. La formación de estos yacimientos filoneanos como es el caso de la veta Nancy, Santa Rosa, veta Milagrosa, veta Paralela se da después de haberse formado los diques andesíticos producto de las deformaciones tectónicas apreciables, rellenando todos los fracturamientos preexistentes, probablemente estos cuerpos filoneanos pertenecen al terciario temprano.



Figura 25: Relleno de fracturas con diques andesíticos con minerales pre-existent

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

Fallas Post- Mineral.- Están constituidas por fallas gravitacionales, transversales a la estructura mineralizadas, las fallas de rumbo tienen rumbos E – W y N 88° W, algunas estructuras mineralizadas de este tipo ocasiona debilitamiento de las cajas, las fallas transversales con dirección N 08° W, N 10°W, ocasionan desplazamientos locales de escasos metros, inclusive desarrollando un fallamiento, esto solo es observado en interior mina, las fallas gravitacionales con rumbo N 30° W, y con una inclinación vertical a sub vertical, que se presentan son de gran interés puesto que desplazan a la estructuras mineralizadas de 10 a 30 metros, como es el caso de la falla perdición, falla paralela 1,2 y 3, esta falla es reconocible tanto en superficie como en las labores subterráneas.



Figura 26: Falla Perdición en la interior mina debilitamientos de las cajas

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

4.1.3.2 Diagrama de Rosas

Con los siguientes diagramas, se determinó las características estructurales, según las orientaciones del fallamiento, originadas por los esfuerzos tectónicos. Para generar el diagrama de rosas se utilizó el software Dips, quedando reflejadas las distribuciones de los diferentes sistemas, indicando los rumbos predominantes de las fallas, para esto se determinó en el campo el rumbo y buzamiento de las principales fallas pre minerales (vetas), postmineral y diques, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 13: Rumbos de vetas, fallas y diques

CUADRO DE RUMBOS PROMEDIOS DE VETAS, FALLAS Y DIQUES				
Diques	Vetas	Fallas		Fracturamientos
N 70°W	N 60°W	N 20°W	Post-mineralización	N 60°W
N 80°W	N 80°W	N 30°W	gravitacionales	N 70°W
E - W	N 80°W	N 40°W	fallas potentes	
N 70°W	N 60°W	E - W	de rumbos	
N 20° W	N 70°W	N 88°W		
	N 80°W	N 80°W		
	E - W	N 10°W	gravitacionales	
		N 30°W		

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, podemos definir una evolución tectónica, relacionada a la mineralización tal como sigue:

Fallamiento y emplazamiento de diques.

Reactivación del sistema de fallamiento, con la generación de fallamiento paralelo a subparalelo a los diques y posterior formación de vetas.

Finalmente, el fallamiento y fracturamiento postmineral, originado por esfuerzos finales, de carácter gravitacional.

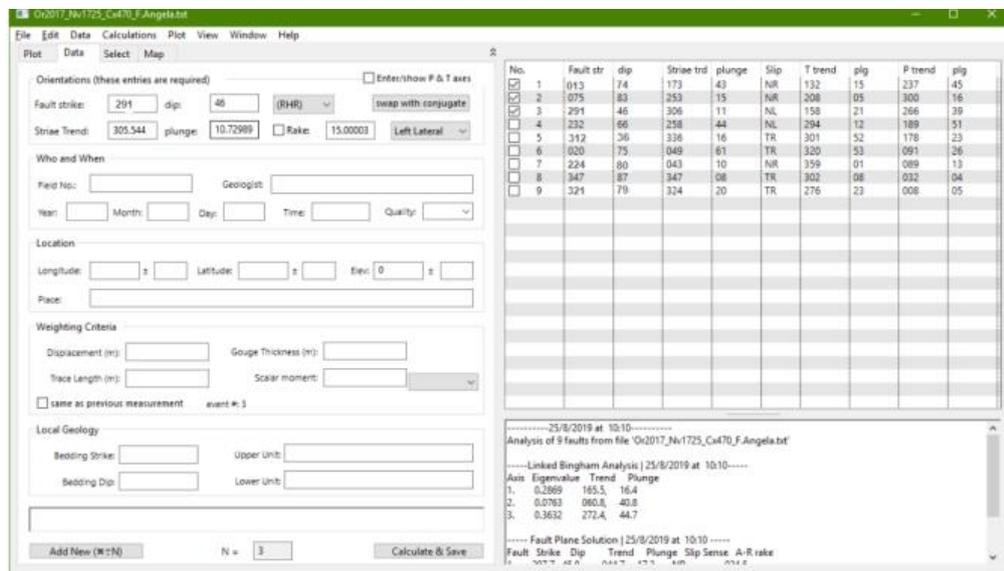


Figura 27: Faulkin 7.5, Interfaz para ingreso y edición de datos estructurales en la data

Fuente: Elaboración propia

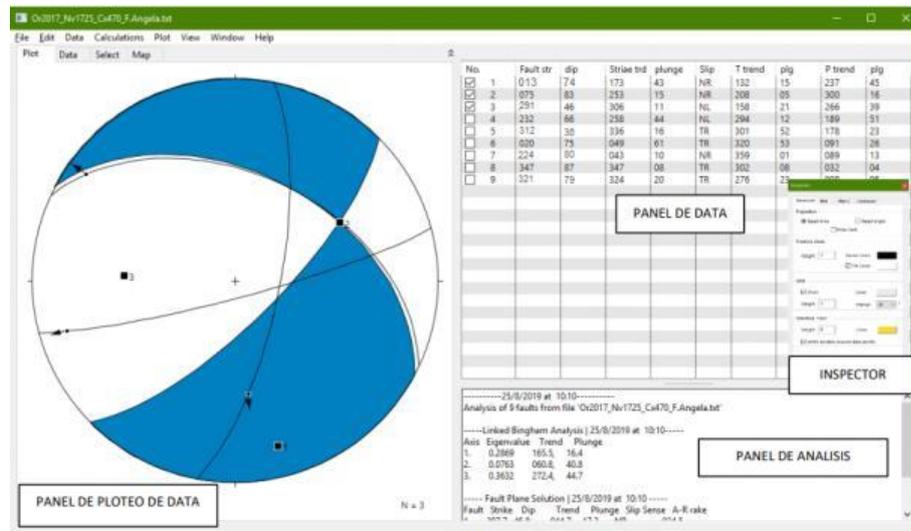


Figura 28: Faulkin 7.5, Interfaz en Windows (bottom) y Mac OS (top), para analizar y calcular zonas de esfuerzo

Fuente: Elaboración propia

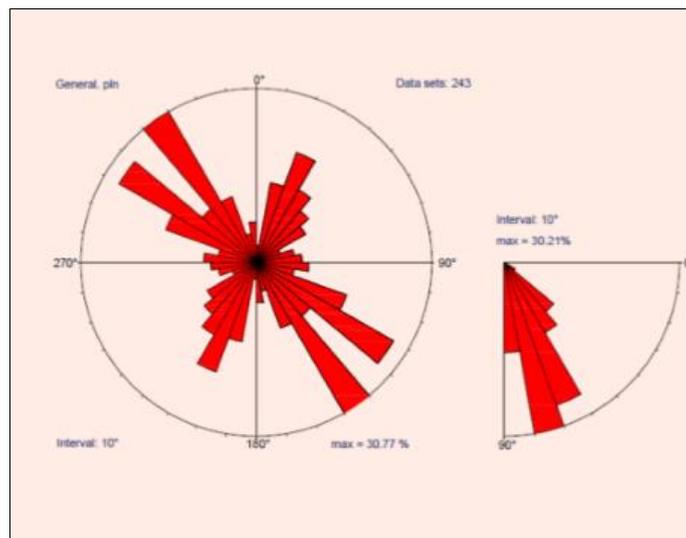


Figura 29: Diagrama de rosetas

Fuente: Elaboración propia

Fuente: U.E.A Cuatro Horas., Derecha, diagrama de rosetas, muestra clara tendencia N60-80W de estructuras mineralizadas y N40-50E de fallas post mineralización. Izquierda, diagrama de contornos de puntos señala mayor preponderancia de NW sobre las NE corroborando el diagrama de rosetas



4.1.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA DEL YACIMIENTO

Se considera como provincia aurífera a la zona comprendida entre Nazca y Ocoña debido a que se da la ocurrencia de vetas de oro, de apreciable longitud y potencia.

Desde el punto de vista metalogenético el yacimiento de Cuatro Horas forma parte de esta provincia aurífera.

Este yacimiento es del tipo filoneano, emplazado en el Batolito de la Costa, en la zona de estudio afloran vetas paralelas entre sí, las estructuras mineralizadas tienen rumbos E – W y N 80 W con buzamientos de 30° NE, 45° NE y con una potencia de 0.10 m a 2.0 m. siendo la veta Nancy y Milagrosa de gran importancia por su potencia y leyes de oro.

El yacimiento aurífero de Cuatro Horas.- Comprende un sistema de vetas paralelas con similar rumbo N 60° W , N 80° W y con Buzamientos variables 33° NE, 45° NE, la roca principal es del tipo granodiorítico de la super unidad Tiabaya, la cual ha sido intruidas por numerosos diques hipabisales andesíticos, la alteración en el contacto con la roca encajonante y la estructura mineralizada es débil, pero se diferencia sericitización, silicificación, cloritización, calcita, y gran cantidad de óxidos de fierro.

Las fracturas pre-existentes están rellenas de cuarzo lechoso, hematita, limonita, calcita, yeso en bajo porcentaje, presentando una estructura tipo boxwork o cavernoso.

Las principales vetas son la veta Nancy con una potencia promedio de 0.1 a 0.6 mts. Y una ley promedio de 1 a 2 Onz/TM, actualmente trabajadas y la veta Milagrosa en exploración con una potencia promedio de 0.5 a 2 mts. y una ley promedio de 0.3 a 0.6 Onz/TM.



4.1.5 ESTRUCTURAS MINERALIZADAS PRINCIPALES

A. Veta Cuatro Horas.

Aflora aproximadamente 650 m con rumbo N 65° W, y con buzamientos promedios de 33° a 45° al NE, con un ancho promedio de 0,55 m con ensanches locales de 1 metro, a lo largo de su afloramiento, esta veta presenta valores moderados de Au (0,50 Oz/TM) sin embargo en algunos tramos esta se encontró con leyes bastante altas llegando a 40 Oz/TM, la ley promedio de la veta está en 0,40 Oz/TM, ésta se ve afectada conforme profundiza, es decir a medida que se profundiza la veta muestra un claro zoneamiento vertical de minerales de mena y de ganga, encontrándose valores regulares en la zona intermedia y un decaimiento gradual hacia niveles inferiores. El área donde se emplaza la veta, la roca encajonante está constituida por granodiorita de la súper unidad Tiabaya, la cual ha sido intruida por numerosos diques hipabisales andesíticos, la alteración en el contacto con la roca encajonante y la estructura mineralizada es débil, pero se diferencia Sericitización, Silicificación, cloritización, calcita, y gran cantidad de óxidos de hierro.

Las fracturas pre-existentes están rellenas de cuarzo lechoso, hematita, limonita, calcita, yeso en bajo porcentaje, presentando una estructura tipo boxwork o cavernoso. En su mineralogía la veta está constituida esencialmente por cuarzo del cual distinguimos tres variedades:

Cuarzo masivo lechoso.

Cuarzo masivo hialino.

Cuarzo cristalino hialino.



B. Veta Santa Rosa.

La mineralización es persistente, muy bien definida y potencias considerables, en un tramo de aproximadamente 350 m. Pero que a partir de ella se encuentra perturbada por fallas.

En esta veta el oro que se presenta es grueso y está en la hematita y sus valores son en forma variable como clavos mineralizados (Ore Shoot), tipo rosario, bolsonadas que oscilan entre 0,20 m y 2 m, con presencia de caballos y cimoides.

C. Veta Nancy

La veta es delgada y por tramos se ensancha presentando cuarzo hialino a lechoso con oquedades rellenos de hematita, esta zona cuenta con ley promedio de 23.42 g/t Au. Se propone explorar y explotar este clavo con piques y subniveles una vez reconocido.

D. Veta Milagrosa

La mineralización es también en forma de clavos mineralizados, perturbado por fallas, el tipo de estructura es de rosario, con presencia de caballos, y cimoides, pero a diferencia de la veta Nancy el oro es fino y se presenta en la limonita.

Estas estructuras mineralizadas constituyen depósitos filonianos, epigenéticas de origen hidrotermal de facies mesotermal a epitermal, el relleno mineralógico de la veta está constituido principalmente de cuarzo blanco, masivo, cavernoso y oxidado, abundante hematita, limonita y poca cantidad de pirita visible.

4.1.6 MINERALOGÍA

En el área de investigación, cerca de la superficie, dentro de la zona de oxidación que profundiza alrededor de los 250 metros, la mineralogía consiste en cuarzo, pirita,



calcopirita hematita, limonita, esta mineralogía se observa en la veta Nancy. Al norte de la zona de estudio hay presencia de malaquita y crisocola (veta Santa Rosa), en la veta Cuatro Horas existen horizontes de mineral primario como el cuarzo, pirita el cual reporta valores altos de Au, tiene acompañamiento variable de clorita, sericita, epidota, especularita, calcita. En la Veta Milagrosa hacia el SE, se observa calcita, siderita y eventualmente turmalina.

4.1.6.1 Minerales de mena.

Tenemos el oro principalmente, que se presenta en forma macroscópica oro nativo (charpas) que se da en las oquedades del cuarzo y también en la hematita, el oro microscópico o fino se manifiesta mayormente en la limonita.

El cual está netamente asociado al oro puesto que la pirita por acción meteórica del agua ha originado cavidades donde el oro se depositó en forma nativa es decir forma una estructura Boxwork o más conocido como criadero, en donde el oro se deposita, tal es así que se ha encontrado mayores leyes en oro nativo en este tipo de cuarzo.

Au nativo: Ocurre en forma nativa dentro de los óxidos de fierro (limonita), junto con el cuarzo semiporoso a poroso, de color blanco hialino. El oro visible es observable en las vetas en forma de puntos y escamas, llegando a tener dimensiones de 0,5 mm a 2.5 mm. Se caracteriza por su color amarillento y brillo metálico intenso, Pe 19,3 y dureza 2.5.

El cuarzo está netamente asociado al Au porque la pirita por acción meteórica del agua origina cavidades en forma de Boxwork, donde el oro se deposita, es aquí donde se ha encontrado mayores leyes en oro.

Pirita aurífera, se da en los diferentes niveles, pero su presencia es regular presentándose diseminada en los niveles más bajos.



Figura 30: Pirita FeS_2 en la Veta Nancy

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

Calcopirita, su presencia es restringida y prácticamente se encuentra en la zona mixta de óxido-sulfuro.

Especularita, presencia esporádica y no se le considera guía de mineralización por estar en zonas de pobre mineralización

4.1.6.2 Minerales de ganga.

Se distinguen minerales característicos de la zona de óxidos.

Zona de óxido. Principalmente cuarzo (SiO_2) lechoso y blanco, hematina (Fe_2O_3), limonta ($\text{Fe O (OH) \cdot nH}_2\text{O}$), calcita (CaCO_3) gris oscura y pirita como cobre.

Cuarzo: Este mineral es el que más abunda en la corteza terrestre, y constituye el relleno de las vetas. Se presenta en forma masiva como cuarzo blanco-hialino, fracturado cavernoso (poroso), brechada y oxidado; ocasionalmente en forma cristalina. Por su persistencia en la estructura mineralizada, sirve de guía en la exploración. Se caracteriza por su dureza 7, ρ 2,65, brillo vítreo incoloro, fractura concoidea se presenta en yacimientos hidrotermales.



Figura 31: Cuarzo SiO_2 en la veta cuatro horas

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

Hematita: Resultado de la lixiviación de la pirita, se forma en condiciones de oxidación en los más distintos tipos genéticos de yacimientos y rocas; composición química Fe 70%, cristaliza en el sistema trigonal, el color es negro de hierro al gris de acero, la raya es roja-guinda, brillo semimetálico, dureza 5-5.6, es frágil, peso específico 5.0-5.2, su ocurrencia es más restringida, su relación con el oro es menos directa, aunque se han observado regulares valores junto a ella.



Figura 32: Hematita (Fe_2O_3), Acompañado por mineral de siderita y calcita.

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

Limonita: Es de origen secundario, formado por alteración de las piritas y otros sulfuros de hierro, se presenta mayormente en variedades terrosas, de color pardo amarillento. Se relaciona con valores altos de Au y su ocurrencia es abundante, por lo que da un tinte amarillento al cuarzo.



Figura 33: Limonita $\text{FeO}(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

Calcita: es un mineral de carbonato de calcio, es el mineral más estable que existe de carbonato de calcio, frente a los otros dos polimorfos con la misma fórmula química, aunque distinta estructura cristalina.



Figura 34: Calcita CaCO_3 En la Veta milagrosa

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

Clorita: Son minerales de origen metamórfico que cristalizan en el sistema monoclinico y que se encuentran en forma de láminas flexibles de color verde. Se forman por transformación y alteración de la augita, la biotita y la hornblenda.



Figura 35: Clorita $(MgFe)_5 Al (Si_3O)_{10}(OH)_8$ En la Veta Nancy junto con roca encajonante

Epidota: La epidota es un componente común de las rocas, pero su origen es secundario. El mineral se forma cuando las calizas y esquistos sufren metamorfismo. También puede surgir por alteración hidrotermal de feldespatos, micas, piroxenos, anfíboles, granates y otros, componentes todos ellos de las rocas ígneas.



Figura 36: Epidota Ca_2FeAl_2O en la roca encajonante



Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

4.1,7 PARAGÉNESIS

Surge teniendo en cuenta a las soluciones mineralizantes durante su recorrido a través de las fracturas pre-existentes, cambian de componentes gradualmente buscando las características físico – químicas favorables y poder depositarse, formando gradualmente una secuencia de depositación de minerales con el tiempo. De acuerdo con la estructura de la veta Nancy se ha llegado a la conclusión de que posiblemente existen 2 períodos de depositación y se las denominó Fase Inicial y Fase Tardía.

En una primera etapa se depositó gran cantidad de cuarzo y pirita aurífera.

Segunda etapa, otro evento de cuarzo, calcopirita con Oro grueso y fino.

Como mineralización hipogénica tenemos:

- Cuarzo (muy abundante)
- Pirita (regular)
- Calcopirita (regular a escaso)
- Oro nativo (regular)

Como mineralización supergénica tenemos:

- Hemetita(abundante)
- Limonita (abundante)
- Calcita (abundante)
- Yeso (regular a escaso)

Tabla 14: Secuencia paragenética de la mina MACDESA

MINERAL	COMPOSICION	EVENTOS	
		HIPOGENA	SUPÉRGENA
Au Nativo	Au	—	
Pirita	FeS ₂	—	
Calcopirita	CuFeS ₂	—	- - -
Cuarzo	SiO ₂	—	
Hematita	Fe ₂ O ₃		—
Limonita	FeO (OH)H ₂ O		—
Calcita	CaCO ₃		—
Yeso	CaSO ₄ 2H ₂ O		—
Falla			

LEYENDA

— Abundante
 — Regular
 - - - Escaso

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

4.1.8 ZONEAMIENTO

Se ha identificado una variabilidad lateral (zonación) de este a oeste en las ocurrencias de Au y cobre en las estructuras mineralizadas en profundidad, al oeste se observa mayor presencia de óxidos y valores buenos en Au (veta Cuatro Horas), al Este la presencia de óxidos de cobre disminuye notablemente así también los valores de oro aumentan progresivamente (sector veta Nancy)

Referente a la zonación vertical se tiene poca información, pero algunos indicios de movimiento en bloques en la Veta Cuatro horas exponen la siguiente secuencia: niveles someros ensambles de hematita-goetita-jarosita-sílice jasperoide (calcedónica) en vetas mesotermales y ensambles de atacamita crisocola azurita- hematita, seguido una zona mixta de ensambles de hematita-goetita, piritacalcopirita y neotocita-covelita-óxidos de manganeso; finalmente se observa un ensamble de magnetita-pirita-calcopirita-covelita (sulfuros primarios, mayor profundidad).



4.1.9 GÉNESIS Y TIPO DE YACIMIENTO

El yacimiento tiene su origen en la geotectónica donde se relaciona a las áreas magmáticas continentales, es decir relacionado a la subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana.

El tipo de yacimiento aurífero por su morfología, relaciones texturales, y secuencia paragenética, y las correlaciones de campo, se tiene que el yacimiento es un filón de tipo hidrotermal por las siguientes razones.

La mineralización se encuentra rellenando fracturas, la roca encajonante actúa como receptáculo de las soluciones hidrotermales ascendentes o hipogénicas, por esta consideración es un depósito epigenético.

El tipo de yacimiento es primario, epigenético de origen hidrotermal, de facies mesotermal, formado en profundidades intermedias, de presión alta a moderada y con temperaturas que van de 150° a 300° C.

Primario, por no haber sufrido alteración posterior y podríamos considerarlo secundario en la superficie donde si se dio la alteración supérgena.

Hipógeno, por provenir de la cristalización de las soluciones hipógenas calientes desde la profundidad.

Epigenético, por cuanto se forma primero la roca encajonante, luego es fracturada y rellenada por las soluciones mineralizantes.

4.1.10 CONTROLES DE MINERALIZACIÓN.

4.1.10.1 Control mineralógico.

Los cambios mineralógicos que se presentan en el tipo de vetas epigenéticas envuelven habitualmente la introducción de ciertos elementos químicos y sustracción de



otros. Por lo que el reemplazamiento de los minerales por distintas etapas de mineralización trajeron consigo minerales estéril y económico, el ensamble mineralógico consta de cuarzo lechoso, hematita, limonita y calcita, en distintas fases de alteración hidrotermal siendo los más importantes la Silicificación, Argilización, y Sericitización las que acompañaron a la mineralización económica y la Propilitización acompañó a las fases menores de mineralización, pero la alteración predominante es la argilización con la caolinita es decir que la mineralización esta netamente ligado a este mineral de alteración que es la caolinita.

4.1.10.2 Control litológico.

Se ha considerado como control litológico favorable la mineralización a la roca granodiorita de la super unidad Tiabaya.

La mineralización a su paso por las fracturas pre-existentes encontró condiciones favorables, influenciada por la permeabilidad producto del fracturamiento el cual permitió el ascenso de las soluciones hidrotermales y la reactividad química para inducir la precipitación de los minerales de mena, causando por este motivo un efecto mayor en el relleno de fisura, más no así en la sustitución.

Estas rocas con presencia de alteración hidrotermal, sobre todo la alteración argílica constituye una guía litológica en consideración.

4.1.10.3 Control estructural.

Está dado por las fallas y fracturas pre-existentes en la granodiorita Tiabaya que controlan las estructuras de rosario (veta), originada por movimientos tectónicos, estas fallas y fracturas son de buzamiento sub-vertical, lo cual favoreció la deposición del mineral, estas fallas son del tipo normal de acuerdo a las evidencias encontradas en la misma veta.



La principal presenta rumbo NW-SE la cual tiene las mejores leyes de Au que las vetas con rumbo NE-SW.

Las intersecciones e inflexiones en el rumbo de la veta, producto del fallamiento origina el enriquecimiento de las bolsonadas teniendo altos valores de Au.

4.1.11 ALTERACIONES HIDROTERMALES.

En la formación de todo yacimiento hidrotermal, se considera primero la disponibilidad de los fluidos hidrotermales que contengan la suficiente concentración de metales, y en segundo lugar, la presencia de las fracturas en las rocas que faciliten el transporte de las soluciones, y que sirvan como receptáculo de la mineralización.

El progresivo cambio en la constitución de las rocas al ser atravesados por las soluciones, originan diferentes especies minerales que agrupados en diversas asociaciones constituyen los grados de alteración.

La mineralización y alteración son parte de un solo proceso, ya que el emplazamiento de mineral económicamente explotable ha sido precedido por un mayor o menor grado de alteración hidrotermal.

4.1.12 ALTERACIONES HIPOGENAS.

Las soluciones hidrotermales, al contacto con las paredes rocosas de las aberturas, producen cambios físicos tales como color, recristalización y cambios físicos como la formación de halos o anillos alrededor de la estructura mineral. En el yacimiento cuatro horas la alteración hipógena está representada por:

4.1.12.1 Alteración fílica.

Constituida principalmente por minerales arcillosos (Illita), adularia acompañados por una Silicificación ocurriendo mayormente restringida a las vetas.

En profundidad la cantidad de minerales arcillosos disminuye gradual e inversamente la adularia asociada a bandas de cuarzo y calcita aumentan.



Figura 37: Alteración fílica

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

4.1.12.2 Alteración argílica.

Esta alteración forma parte de la veta cuatro horas por su relación directa con la mineralización económica, se presenta en forma zonado constituyendo una guía en la explotación subterránea.

Son intermedios a avanzados del proceso de alteración hidrotermal se caracteriza por la formación de arcillas y sericita, que destruyen los rasgos primarios de la roca (feldespatos y plagioclasas)



Figura 38: Alteración argílica

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

4.1.12.3 Alteración propilitica.

Alteración débil, es observada en 2 grados bien definido, la primera fase presenta ligera tonalidad verdusca, las plagioclasas aún son observadas con incipiente alteración, la segunda es más fuerte, el color verde es intenso, los minerales primarios están totalmente alterados notándose una textura suave blanquecina (calcita) alternada con la clorita,

Presenta un estilo de alteración perbásica y perbásica selectiva, su ensamble mineralógico cuarzo- clorita-carbonato, su forma es concéntrica alrededor de las vetas, las dimensiones de los altos de alteración van desde algunos centímetros hasta varios metros, los cuales están en los márgenes de las estructuras (vetas) y en las zonas de brechamiento, la temperatura promedio es de 50°C a 350°C, esta alteración es observada en forma moderada.



Figura 39: Alteración propilitica

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

4.1.12.4 Alteración. Cuarzo – alunita.

Es producto de la introducción de sílice en las rocas, lo que produce el endurecimiento y la impermeabilidad de la roca. en la roca caja de la veta cuatro horas la silicificación es notoria, pues a ello se relacionan áreas de interés económico. La silicificación viene a formar el cuarzo secundario, con forma concéntrica suave, sus dimensiones son de unos centímetros a varios metros, y están a una temperatura de 100°C a 600°C.



Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

4.1.13. ALTERACIONES SUPÉRGENAS

Se da producto de la meteorización, erosión, Removilización de las soluciones por las aguas superficiales, los minerales de fierro como la pirita se altera a óxidos de fierro; la limonita se forma cuando la hematita reacciona con las aguas meteóricas, la hematita es producto de la oxidación de la pirita supérgena por acción de las aguas meteóricas.

En la veta Santa Rosa la argilización se da con mucha frecuencia alrededor de las vetas, existiendo una anomalía de color rojo - naranja, la argilización ocurre predominantemente en el afloramiento de las estructuras notándose una coloración blanquecina producto de la alteración de los feldespatos y plagioclasas.



Como mineralización supergénica tenemos

Hematita (abundante)

Limonita(abundante)

Calcita (abundante)

Yeso (regular a escaso)

4.1.14 PERFORACIÓN DE SONDAJES DIAMANTINOS

En esta etapa se realizó 8 sondajes diamantinos, con sondajes largos y cortos efectuada con la maquina DIAMEC-U4, ubicado en interior mina en la cámara diamantina, distribuidos en DDH sondajes en la veta Nancy.

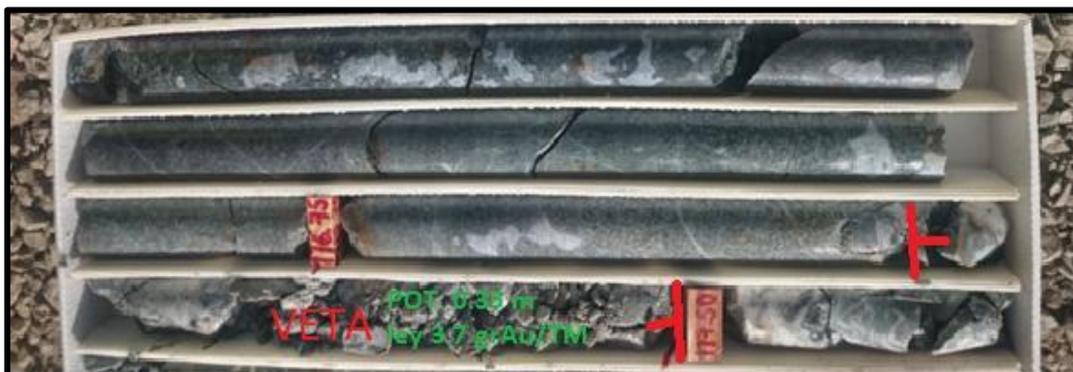
Se definió la continuidad de la mineralización económica de la veta Nancy, atravesando desde inicio hasta el final de los sondajes una secuencia de andesíticas brechada con una tonalidad gris verdoso, seguidamente se atravesó granodiorita de tonalidad verdosa de textura porfirítica hasta final de los sondajes, con alteración propilitica moderada.

SONDAJE DDH-18



Figura 40: Intercepto del clavo mineralizado, veta de cuarzo con textura brechada, acompañado con fallas y arrastre de cuarzo de la veta Nancy

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia



Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

4.1.15 RESULTADOS DE LAS PERFORACIONES DIAMANTINAS

La campaña de perforaciones diamantinas se desarrolló un solo etapa, realizando 8 taladros diamantinos a partir del nivel 1760 en la cámara diamantina con objetivo de cortar la veta Nancy y otros, obteniendo resultados favorables y óptimos. En la siguiente se describe solo los taladros realizados hacia la veta Nancy en el nivel 1760 esperanza sur.

Tabla 15: Resumen general de las perforaciones diamantinas

N° DDH	CORDENADAS			AZIMUT	INC (°)	DISTANCIA (m)
	E	N	COTA			
DDH-14	618446.653	8264528.71	1761.50	13°	-75	124.10
DDH-15	618445.453	8264527.51	1761.88	315°	-62	116.25
DDH-16	618447.670	8264528.34	1761.68	210°	-70	350.50
DDH-17	618446.597	8264528.88	1764.60	190°	-55	81.90
DDH-18	618445.801	8264529.02	1761.68	283°	-55	142.20
DDH-19	618447.227	8264531.45	1761.80	13°	-47	272.30
DDH-20	618349.395	8264527.72	1761.68	110°	-38	79.70
DDH-21	616445.504	8264531,58	1761.69	338°	-45	247.10

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.

DDH-14, 618446.653E 8264528.71N cota 1761.50 Azimut 13° inclinación -75 distancia 124.10 m se perforó hacia veta Nancy cortando veta de cuarzo con presencia de sulfuros (Py) y óxidos en roca granodiorita con alteración propilitica leve moderada. Se detalla en la siguiente tabla. Ver ANEXOS N° 12.

Tabla 16: Resultados de sondaje de DDH-14

DDH-14					
ITEM	DISTANCIA (m)		CODIGO	POTENCIA (m)	LEY (gr/TM)
	FROM	TO			
M1	67.50	67.55	59569	0.05	2.262
M2	68.23	68.40	59570	0.17	4.833

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.

DDH-15, 618445.453E 8264527.51N cota 1761.88 Azimut 315° inclinación -62 distancia 116.25 m. recorrido en roca granodiorita con alteración propilitica moderada por lo tanto no se tiene buena información sobre la estructura mineralizada. Ver ANEXOS N° 13.

Tabla 17: Resultados de sondajes DDH-15

DDH-15					
ITEM	DISTANCIA (m)		CODIGO	POTENCIA (m)	LEY (gr/TM)
	FROM	TO			
M1	76.65	76.90	59571	0.25	1.50

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.

DDH-16, 618447.670E 8264528.34N cota 1761.68 Azimut 210° inclinación de -70° distancia 350.50 m. se perforó con dirección hacia veta Nancy cortando veta de lechoso brechada con presencia de sulfuros (Py) falla alteración propilitica y fílica moderada se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 18: Resultados de sondaje de DDH-16

DDH-16-2017 ENERO					
ITEM	DISTANCIA (m)		CODIGO	POTENCIA (m)	LEY (gr/TM)
	FROM	TO			
M1	185.10	185.25	61065	0.15	0.21
M2	185.25	185.40	61066	0.15	0.07
M3	196.00	196.35	61067	0.35	2.81

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.

DDH-17, 618446.597E 8264528.88N cota 1764.60 Azimut 190° inclinación -55° distancia 81.90 m. se recorrido la roca granodiorita acompañado de alteración propilitica moderado. Ver ANEXOS N° 12.

Tabla 19: Resultados de sondaje de DDH-17

DDH-17					
ITEM	DISTANCIA (m)		CODIGO	POTENCIA (m)	LEY (gr/TM)
	FROM	TO			
M1	56.50	56.60	61068	0.10	5.58

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia.

DDH-18, 618445.801E 8264529.02N cota 1761.68 Azimut 283° inclinación -55° distancia 142.20 m. se perforó con dirección a veta Nancy cortando veta de cuarzo gris con presencia de sulfuros (Py) y acompañado por fallas, en roca granodiorita con alteración fílica y propilitica leve. Se detalla en el siguiente cuadro. Ver ANEXOS N° 12

Tabla 20: Resultados de sondaje de DDH-18

DDH-18					
ITEM	DISTANCIA (m)		CODIGO	POTENCIA (m)	LEY (gr/TM)
	FROM	TO			
M1	117.15	117.50	59768	0.35	3.767
M2	117.84	117.91	59769	0.07	1.800
M3	119.65	119.80	59770	0.15	87.967

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

DDH-19, 618447.227E 8264531.45N cota 1761.80 Azimut 13° inclinación -47° distancia 272.30 m. con un ángulo de corte 20° se perforo con dirección a veta Nancy cortando veta de cuarzo masivo con presencia de sulfuros en roca granodiorita con alteración fílica leve. Se detalla en el siguiente cuadro. Ver ANEXOS N° 12.

Tabla 21: Resultados de sondaje de DDH-19

DDH-19					
ITEM	DISTANCIA (m)		CODIGO	POTENCIA (m)	LEY (gr/TM)
	FROM	TO			
M1	219.48	219.76	61989	0.28	30.71

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

DDH-20, 618349.395E 8264527.72N cota 1761.68 Azimut 110° inclinación -38° distancia 79.70 m. se perforó con dirección a veta Nancy cortando falla con presencia de sulfuros y óxidos rellenados de roca molida alteración fílica en roca granodiorita. Se detalla en el siguiente cuadro. Ver ANEXOS N° 14.

Tabla 22: Resultados de sondaje de DDH-20

DDH-20-2017 FEBRERO					
ITEM	DISTANCIA (m)		CODIGO	POTENCIA (m)	LEY (gr/TM)
	FROM	TO			
M1	60.05	60.25	62674	0.20	1.10
M2	60.70	60.85	62675	0.15	0.38

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

DDH-21, 616445.504E 8264531,58N cota 1761.69 Azimut 338° inclinación -45° distancia 247.10 m. se perforó con dirección a veta Nancy cortando veta de cuarzo levemente brechada con presencia de sulfuros acompañado de falla en roca granodiorita con alteración fílica moderado con un ángulo de corte de 10°. Se detalla en el siguiente cuadro. Ver ANEXOS N° 15.

Tabla 23: Resultados de sondaje DDH-21

DDH-21-2017					
ITEM	DISTANCIA (m)		CODIGO	POTENCIA (m)	LEY (gr/TM)
	FROM	TO			
M1	145.65	145.70	63183	0.05	2.43
M2	146.05	146.35	63184	0.30	1.34
M3	148.35	148.70	63185	0.35	0.07

Fuente: U.E.A Cuatro Horas. y Elaboración propia

4.1.16 COMPORTAMIENTO DE LA VETA NANCY EN LOS DIFERENTES NIVELES

Nv. 1744 dirección de la veta N314°W con buzamiento 55° al NE distancia explorada en subnivel 70 metros en horizontal al N, 100 metros al S y delimitado por



chimeneas cada 25 metros en vertical que comunican al nivel 1760. Generalmente veta de cuarzo masivo con algunos tramos de fallas de cizallamiento o estrías con una potencia de varía desde 0.10 metros hasta 0.65 metros con una ley de oro promedio sin diluir 14,2 grAu/TM con presencia de sulfuros (Py, 13%) en forma de parches y microvenillas y en todo el nivel fuerte presencia de óxidos de Fe en forma de microvenillas y patinas. Afectado por fallas longitudinales y un sistema de fallas inversas N280°/59 SW que lo desplaza hacia el techo. Presenta alteración fílica moderada y fuerte, roca encajonante granodiorita.

Nv. 1725 dirección de la veta N321W con buzamiento 52° al NE distancia explorada en subnivel 114 metros en horizontal al N, 65 metros al S chimenea que comunica al nivel 1744 en plano de veta. Generalmente veta de cuarzo oqueroso en formas geoda con algunos tramos de cuarzo gris masivo que tienen a ramalearse y bolsonadas con una potencia de veta que varía desde 0.15 metros hasta 0.90 metros con una ley de oro promedio sin diluir 43.5 grAu/TM, presencia de sulfuros (Py 20%) en forma de parches y alineando en forma de bandas, moderado presencia de óxidos de Fe en forma de patinas. Afectado por fallas longitudinales y sistemas de fallas inversas y normales que lo desplazan ligero al techo. Presenta alteración fílica a moderada, roca encajonante granodiorita

Nv. 1700 dirección de la veta N316°W con buzamiento 60° al NE distancia explorada en subnivel 114 metros en horizontal al N, 30 metros al S chimenea que comunica al nivel 1725 (CH 607) en plano de veta. Generalmente veta de cuarzo gris masivo en forma de bandas con una potencia de veta que varía desde 0.15metros hasta 1,20 metros con una ley de oro promedio sin diluir 38.7 grAu/TM presencia de sulfuros pirita 16% en forma de parches y diseminados, ligero presencia de óxidos de Fe. Afectado



por fallas de cizallamiento en el techo a lo largo de la estructura mineralizada. Presenta alteración fílica leve a moderada, roca encajonante granodiorita altercada leve.

Nv 1680 dirección de la veta N323°W con buzamiento 65° al NE distancia explorada en subnivel 210 metros en horizontal al N y 30 metros al S, tres chimeneas que comunican al nivel 1700 en plano de veta. Presenta veta de cuarzo craquelado, brechada en forma de ramaleado con una potencia que varía desde 0.10 hasta 1.10 metros con una ley de oro promedio sin diluir 13.5 grAu/TM presencia de sulfuros (Py 10% gn 2%) en forma de parches y microvenillas, con un poco ligero presencia de óxidos de Fe. Afectado por fallas longitudinales y sistemas fallas inversas N340°/65 SW que lo desplazan 6 metros hacia el techo, se comportan como una falla sinistral. Presenta alteración fílica moderada con halos de alteración propilitica, roca encajonante granodiorita.

Pique - 570 dirección de la veta la distancia explorada 150 metros en profundidad. Presenta veta de cuarzo masivo que se mantienen a lo largo de la estructura mineralizada con una potencia que varía desde 0.15 metros hasta 1.00 metros, pero en niveles inferiores estas vetas se disminuyen hasta 0.15 metros, presencia de sulfuros acompañado por óxidos de Fe, con una ley de oro promedio sin diluir 29.8 grAu/TM. Presenta una alteración Silicificación fuerte a moderada con halos de alteración fílica, roca encajonante granodiorita. Ver ANEXOS N° 16.

4.2 INTERPRETACION DE LA MINERALIZACIÓN ECONOMICA DE LA VETA NANCY

DESCRIPCION MICROSCOPICA

A.- PETROGRAFÍA

Los estudios microscopicos se hicieron en el Laboratorio de Litogeoquímica y Petromineralogía de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica; en un microscopio LEICA modelo 3100, y las fotomicrografías fueron tomadas a objetivo 10x, tanto para nicols paralelos y nicols cruzados.

La muestra pertenece a la roca caja en donde se observa presencia de anfíboles, granates, plagioclasas y minerales opacos, con textura porfírica. Los anfíboles se presentan como matriz, las cuales tienen formas anhédrales a subhédrales con hábito prismático largo y columnar, que en ciertos casos presentan un alineamiento cuando bordean a los cristales de granate. Los cristales de granates están englobados en matriz de anfíboles, se presentan como porfidos de formas euhédrales con relieve alto en comparación con los demás minerales ver la Figura N° 43.

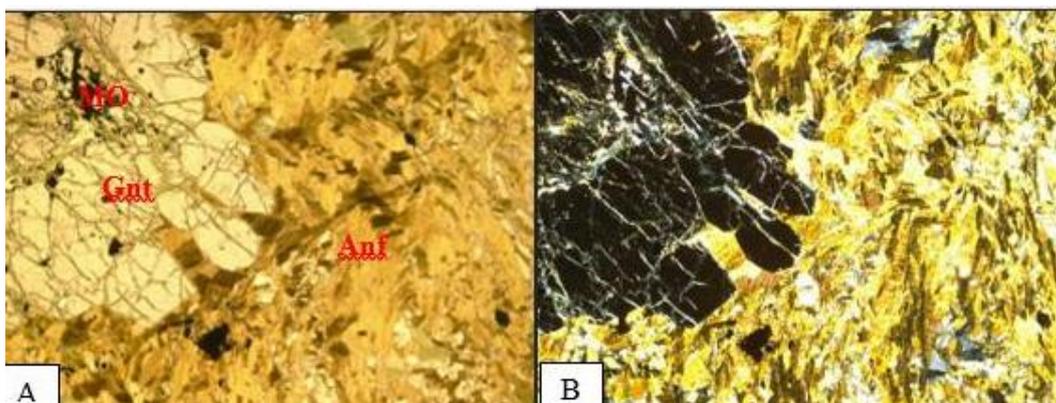


Figura 41: Granate (Gnt) los granates están englobados dentro de los anfíboles (Anf), Mo=Minerales opacos están distribuidos de manera diseminada

Los minerales opacos estan distribuidos de manera diseminada en la muestra con cristales que tienen tamaños de 1 a 3 mm. Se presentan tambien cierta alteración en los granates, el cual termina siendo una clorita; la clorita esta rodeada por la matriz de anfiboles y presenta tambien minerales opacos, ver la figura 44.

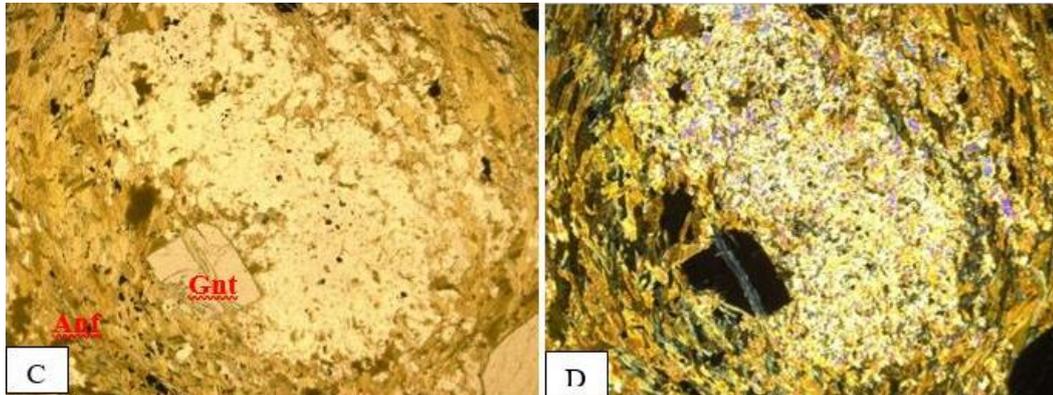


Figura 42: Anf=Anfiboles, Gnt= Granates presenta una alteración en clorita rodeada de anfiboles

Muestra de analisis - MAC-05

Esta seccion delgada se hizo para corroborar el tipo de minerales presentes en la misma estructura mineralizada; se reconocio calcita, cuarzo minerales opacos. La calcita presenta tipica macla lamelar polisintetica en rombo de relieve medio con cristales de tamaños de 1.5 mm, ver fotomicrografia A y B.

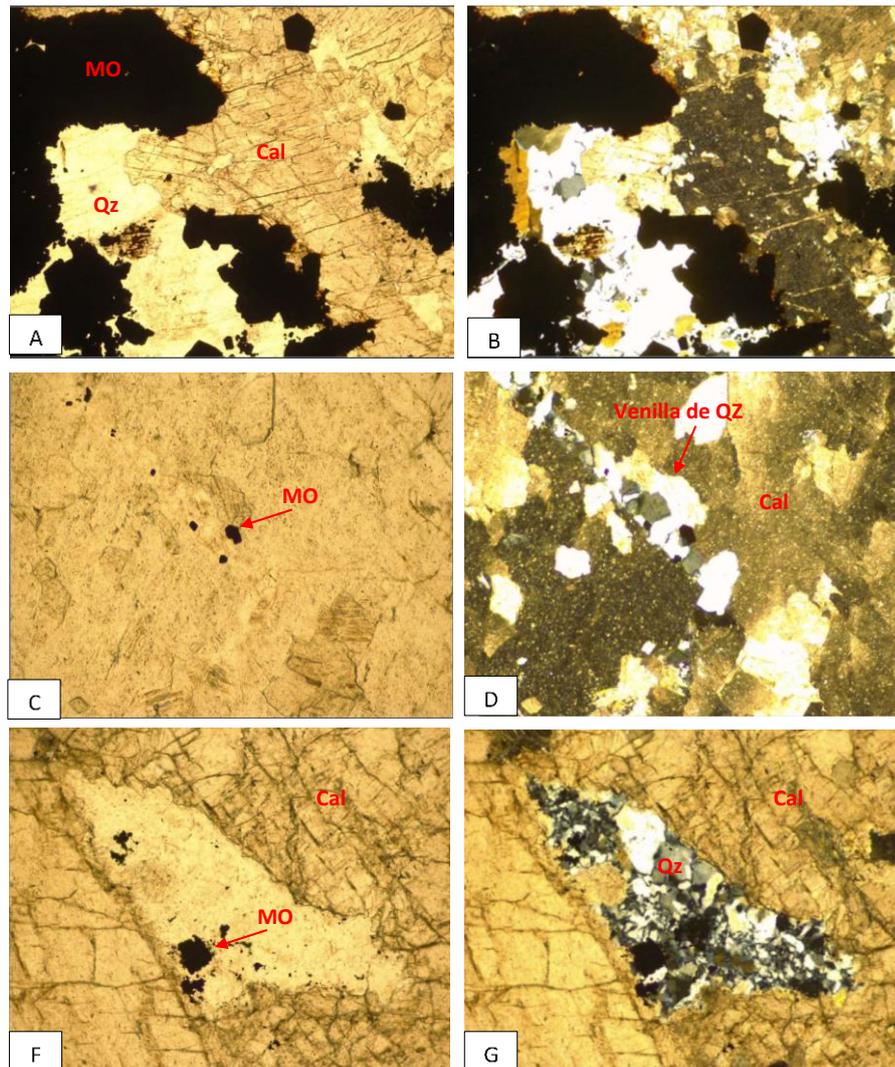


Figura 43: Sección delgada de la estructura mineralizada; Cal=Calcita, Qz=Cuarzo, MO=Mineral opaco.

El cuarzo se encuentra entre los minerales opacos y la matriz, en venillas milimétricas (2.5 mm) y pequeñas concentraciones muy dispersas con contenido de minerales opacos, ver fotomicrografías C, D, F y G. Las diseminaciones de minerales opacos llegan a tener un contenido porcentual de 1% y a su vez se observa halos de óxidos de hierro posiblemente producto de la oxidación de Arsenopirita.

B.- MINERAGRAFÍA

Muestra de analisis - MAC-01

Esta muestra fue obtenida en la roca caja y se hizo para ver la mineralogía existente cerca de la estructura mineralizada, se reconoció Calcopirita, Arsenopirita, Esfalerita y minerales de ganga como Calcita y anfiboles. La fotomicrografía A y B muestra, cristales de Calcopirita en Nícoles paralelos y Nícoles cruzados, en el cual se observa venillas y diseminaciones de este mineral con tamaños inequigranulares que van desde 0.1 – 0.8 mm, con formas anhedrales. La arsenopirita (ver fotomicrografía C y D) esta diseminada en la roca caja, presenta pleocroísmo tiene formas anhedrales hasta euhedrales, sus tamaños de cristales son heterogéneos.

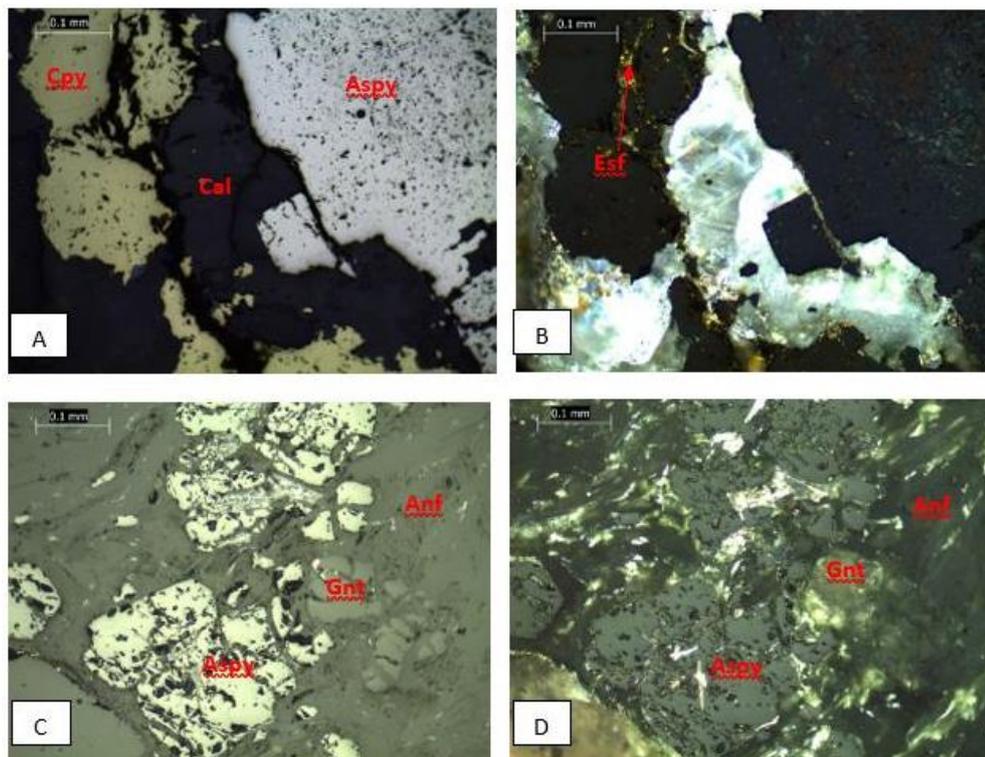


Figura 44: Sección pulida de la estructura mineralizada; Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Esf=Esfalerita, Anf=anfíboles, Gnt=Granate.

La Esfalerita se presenta en venillas micrométricas y con reflexiones internas pardas a rojas (ver fotomicrografía B), las cuales cortan cristales de Arsenopirita y se muestran como mineralización que llega a cortar hasta la roca caja.

Muestra de analisis - MAC-02

Con un aumento de 10x, se observa un cristal de Oro de 1-3 mm de tamaño, este se encuentra fracturado. Este cristal de Oro libre se encuentra rodeado por Argentita; estas venillas micrométricas presentan tres fases de depositación mineral; la primera conformada por diseminaciones de Oro, estos cristales anhedrales fueron fracturados, y en las fracturas se rellenó Argentita como segunda fase, esto en pequeñas venillas de espesores micrométricos y finalmente como tercera fase precipito Esfalerita, que relleno espacios vacíos. También existen pequeños cristales de Pirita diseminada dentro del cristal de Oro, los cuales presenta relieves altos.

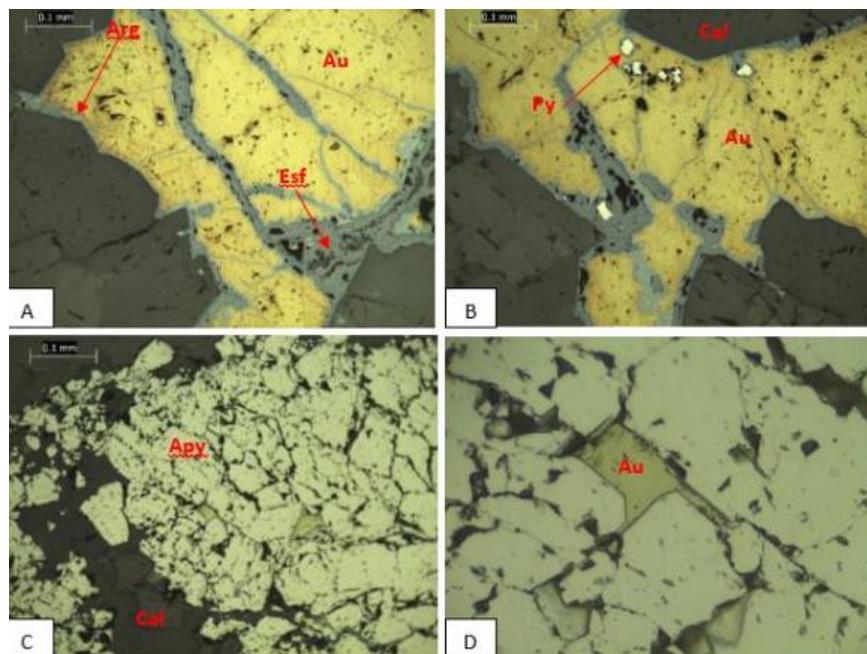


Figura 45: Sección pulida de la estructura mineralizada; Au=Oro, Arg=Argentita, Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Esf=Esfalerita, Py=pirita, Cal=Calcita.

Entre las fotomicrografías C y D se observa claramente el relleno de Oro en espacios vacíos dentro de cristales de arsenopirita, los cristales de Au llegan a ser menores de 0.1mm, lo que es corroborado con objetiva 40x.

Muestra de analisis - MAC-03

La sección pulida se obtuvo en la estructura mineralizada, en el sector con ocurrencia de venillas paralelas con contenido de Arsenopirita. Se reconoció bajo microscopio cristales de Arsenopirita de formas subhedrales hasta euhedrales, ambos fracturados con rellenos con venillas de Calcita y Oro; estos cristales, también se encuentran relacionados a Calcopirita que se ubican de forma puntual en los bordes como muestra la fotomicrografía A. Las fotomicrografías B y C muestran el relleno de fracturas que el Oro hace en las microestructuras con Arsenopirita, formando una textura esquelética. La ocurrencia de Plata como Argentita en las venillas de tamaños micrométricos, también es notoria como muestra la fotomicrografía D, aquí el Oro tiene tamaños de hasta 0.1mm y está íntimamente relacionada a Plata.

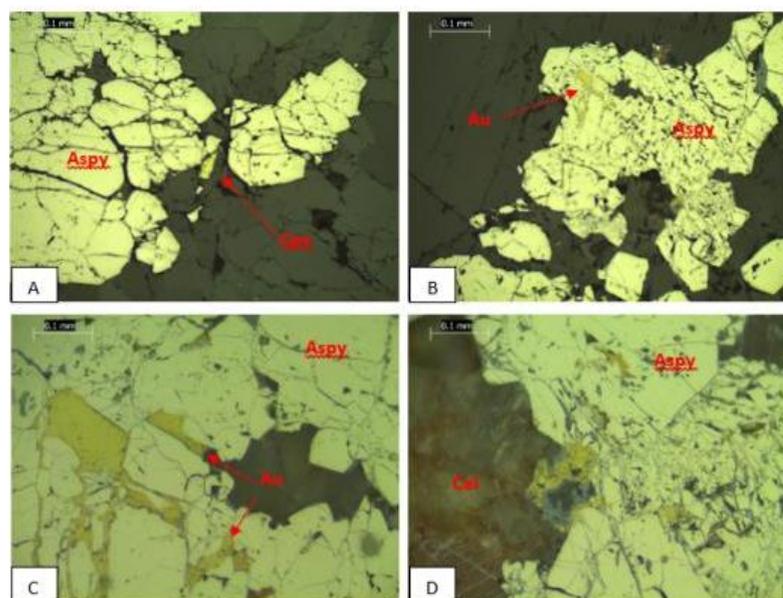


Figura 46: Sección pulida de la estructura mineralizada; Au=Oro, Arg=Argentita, Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Py=pirita, Cal=Calcita.

Muestra de analisis - MAC-04

La muestra fue extraída sobre vetilla mineralizada en el cual se observa cristales de Oro libre, Argentita, Arsenopirita, Calcopirita, Pirita y como ganga Calcita. Las partículas de Oro tienen tamaños menores a 0.5mm, están relacionados a presencia de Argentita que rellena pequeñas fracturas, ver fotomicrografía A. La Arsenopirita presenta cristales de minerales menores a 2mm, estos se encuentran fracturados y acompañados por Calcopirita con formas subhedrales que rellena espacios vacíos (ver fotomicrografía B) o que a veces ocurre junto a la Calcita. La Pirita se encuentra en disseminaciones muy esporádicas relacionadas al mineral de ganga o a veces a la ocurrencia de Oro. En nicoles paralelos y cruzados como muestra la fotomicrografía C y D las partículas de Oro también se muestran libres dentro de la ganga Calcita, aquí la relación Au – Ag es nítida. La Argentita presenta textura coliforme y hasta esquelética de reemplazamiento englobado por Calcita, también se observan en el cristal de Argentita microcristales de Au; esto indica dos fases de formación mineral, ver fotomicrografía F. La Pirita al igual que los demás minerales están microfRACTURADOS como muestra la fotomicrografía E.

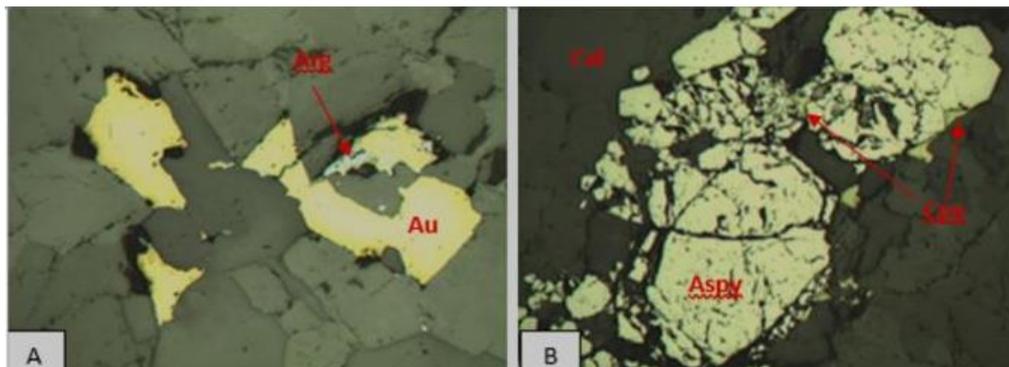


Figura 47: Sección pulida de la estructura mineralizada; Au=Oro, Arg=Argentita, Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Py=pirita, Cal=Calcita.

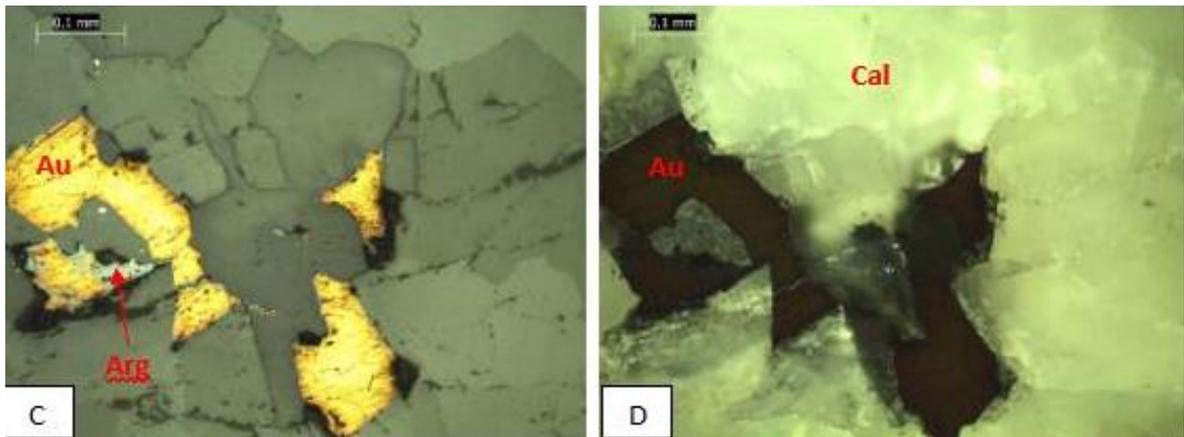


Figura 48: Sección pulida de la estructura mineralizada; Au=Oro, Arg=Argentita, Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Py=pirita, Cal=Calcita.

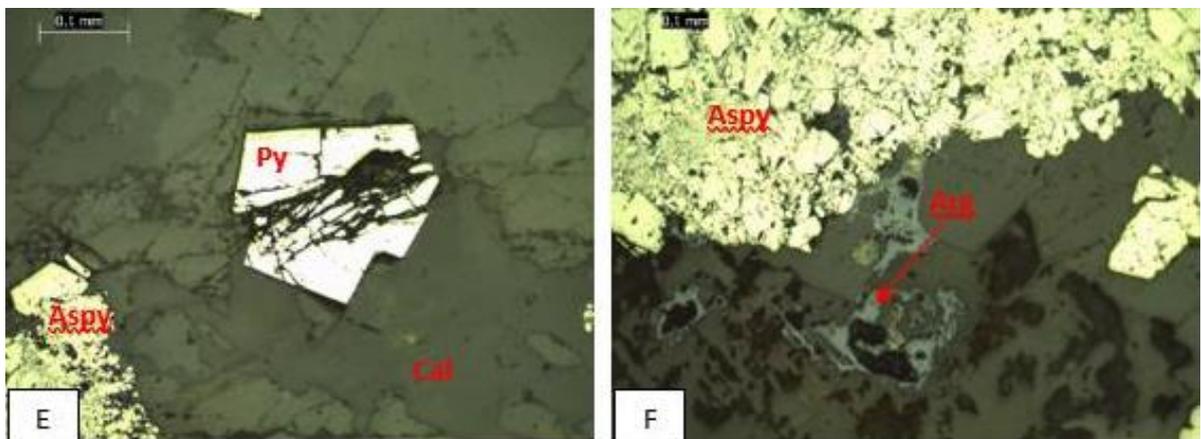


Figura 49: Sección pulida de la estructura mineralizada; Arg=Argentita, Aspy=Arsenopirita, Cpy=Calcopirita, Py=pirita, Cal=Calcita.

4.2.1 PROFUNDIZACIÓN DE LA VETA NANCY

En la primera etapa de perforación diamantina a partir de la cámara diamantina del nivel 1760 se ejecutaron 8 sondajes de los cuales 6 taladros diamantinas DDH-14, DDH-16, DDH 18, DDH-19, DDH-20 y DDH-21 cortan la veta Nancy bien definidas con valores de oro importantes, el primero corta en el nivel 1700 veta de cuarzo lechoso brechada con presencia de óxidos y sulfuros (hm,lm, jar y Py) con una potencia de veta 0.20 metros y una ley de 4 grAu/TM y el segundo corta en el nivel 1600 veta de cuarzo brechada con presencia de sulfuros (Py) 3% con potencia de veta 0.65 metros y una ley



de oro promedio 2.8 grAu/TM, el tercero corta en el nivel 1670 veta de cuarzo masivo con presencia de sulfuros con una potencia de 0.35 metros con una ley de oro 3.7 grAu/TM y otro veta cuarzo oqueroso fracturado acompañado por falla con presencia de sulfuros con una potencia de 0.17 metros con una ley alta y el cuarto taladro corta en el nivel 1590 veta de cuarzo lechoso brechada con presencia de sulfuros en forma de parches y deseminados con una potencia de 0.28 metros con una ley de oro 30.7 gr Au/TM y el quinto taladro corto en el nivel 1730 veta acompañado por fallas con presencia de sulfuros con una potencia de 0.35 metros con una ley baja menores 2 grAu/TM, y el sexto taladro corto en el nivel 1660 veta de cuarzo levemente brechada con fallas con presencia de sulfuros y óxidos con una potencia de 0.70 metros con una ley de oro menores 3 grAu/TM roca granodiorita con una alteración fílica moderada.

Con la información diamantina obtenida se determinó seguir avanzando con la exploración del pique 570 y desarrollar subniveles de exploración en veta al NW-SE, y hacer una preparación de chimeneas cada 50 metros.

En el subnivel 580 al NW se tiene distancia explorada 70 metros en horizontal con chimeneas que comunican al Nv. 1760 en plano de veta, presenta veta de cuarzo macizo, blanco a gris acompañado de óxidos con una potencia que varía desde 0.15 metros hasta 0.45 metros con una ley de oro promedio 22.1 grAu/TM, presencia de sulfuros en forma de parches y bandas. Gran parte del subnivel está afectado por sistema de fallas longitudinales y cizallamientos que desplazan de hasta 20 metros que buzan al SW. Presenta alteración fílica con halos de alteración moderada, roca encajonante granodiorita con alteración propilitica leve.

A partir de la información de los taladros DDH18 y DDH19 se decide seguir explorando el PQ 570 unos 50 metros.



De haber obtenido buenos resultados de oro en profundidad, se decide hacer un subnivel 625 tanto para NW-SE, al NW y la distancia explorada 120 metros en horizontal con sus respectivas chimeneas formando bloques y al SE de este subnivel la distancia explorada 70 metros en horizontal.

En el subnivel 625 la estructura de la veta presenta en forma regular y en algunos tramos del subnivel se ramalea y también en forma de bolsonadas, con presencia de cuarzo macizo acompañado de óxidos y sulfuros con una potencia de que varía desde 0.15 metros hasta 1.00 metros con una ley de promedio 25.2 grAu/TM, está afectado por fallas longitudinales inversas que desplazan a la estructura. Ver ANEXOS N° 17 .

4.2.3 ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS

Para la estimación de recursos y reservas mena, se analizó la información geológica y los planos de muestreo de cada estructura mineralizada.

En la cubicación se ha tenido en cuenta la guía estándar del código “JORC” australiano (Ver Tabla N° 22). Para el cálculo de reservas en la presente tesis se consideró un nivel de reservas y recursos a potencia diluida.

En la U.E.A. Mina MACDESA, se tiene las siguientes reservas y recursos de cada estructura mineralizada, el cálculo se realizó a la fecha 04 de noviembre del 2018.

Tabla 24: Resumen general de recursos y reservas minerales

RESERVAS MINERALES				
MINERAL MENA				
TIPO	TMS	ANCHO DILUIDO	g/t Au Diluido	Oz. Finas Au
MENA PROBADO ACCESIBLE	4,402	0.37	21.57	3,053
MENA PROBADO EVENT. ACCESIBLE	1,486	0.39	32.15	1,536
MENA PROBABLE ACCESIBLE				
MENA PROBABLE EVENT. ACCESIBLE				
TOTAL MENA	5,888	0.37	24.24	4,589
MINERAL MARGINAL				
TIPO	TMS	ANCHO DILUIDO	g/t Au Diluido	Oz. Finas Au
MARGINAL PROBADO ACCESIBLE	5,800	0.35	6.34	1,182
MARGINAL PROBADO EVENT. ACCESIBLE	2,828	0.55	6.13	557
MARGINAL PROBABLE ACCESIBLE	2,995	0.34	6.17	594
MARGINAL PROBABLE EVENT. ACCESIBLE				
TOTAL MARGINAL	11,623	0.40	6.24	2,333
TOTAL MENA + MARGINAL	17,511	0.39	12.29	6,922
MINERAL SUB-MARGINAL				
TIPO	TMS	ANCHO DILUIDO	g/t Au Diluido	Oz. Finas Au
SUB-MARGINAL ACCESIBLE	4,195	0.37	4.29	578
SUB-MARGINAL EVENT. ACCESIBLE				
TOTAL SUB-MARGINAL	4,195	0.37	4.29	578
MINERAL DE BAJA LEY				
TIPO	TMS	ANCHO DILUIDO	g/t Au Diluido	Oz. Finas Au
BAJA LEY ACCESIBLE	2,050	0.40	2.96	195
BAJA LEY EVENT. ACCESIBLE				
TOTAL BAJA LEY	2,050	0.40	2.96	195
TOTAL SUB-MARGINAL + BAJA LEY	6,245	0.38	3.85	774
Todo mineral MACDESA	23,756	0.39	10.08	7,695

Fuente: Propia



V. CONCLUSIONES

El yacimiento minero aurífero MACDESA, presenta un sistema de fracturamiento pre-mineral de rumbo N 60° W-SE y E-W con buzamientos al 45° NE con una potencia de 0,10 m a 2,0 m. La veta Nancy está acompañado por fallas y se les atribuye como fallas pre-minerales y que posteriormente están desplazados por fallas post- minerales por sistemas NE a SW, en su mayoría dextrales. Las perforaciones diamantinas realizadas desde el Nv. 1760 en la cámara diamantina, se obtuvo buenos resultados cortando veta con ley de oro 30 grAu/TM en el DDH-19, DDH-18 con ley de oro 87 grAu/TM y 3grAu/TM, en el taladro DDH-17 con ley de oro 5 grAu/TM, y el DDH-14 con ley de oro 4 grAu/TM. Toda esta información diamantina se evidencia en la continuidad de la veta Nancy hasta el nivel 1600, la mineralización continúa y el propósito es seguir explorando unos 150 m con el laboreo tanto en el Pique-570 y 630.

La mineralización económica de la veta Nancy está conformada por la ocurrencia de Au (mena), por minerales de Au nativo, hematita, limonita, galena, pirita aurífera y calcopirita. Como minerales de ganga tenemos cuarzo, hematita, limonita y calcita, se encuentra asociada e íntimamente ligada a la fase de alteración hidrotermal de silicificación y argilización - Seritización, estas alteraciones se encuentran limitadas tanto hacia la roca caja techo como al piso y se distribuye formando halos. Con el estudio petrográfico tanto en sección delgada y pulida se identificó los minerales de Oro, Argentita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita, pirita, cuarzo, calcita, granate, anfíboles y minerales opacos.



VI. RECOMENDACIONES

- 1.- Es importante desarrollar una campaña de perforación diamantina en interior mina en el Nv. 1600 mediante una cámara diamantina con taladros verticales con una longitud mayor a 300 m cada uno.
- 2.- Seguir profundizando el laboreo minero por debajo del nivel 1600, con la exploración de pique y galerías horizontales.
- 3.- A partir de inclinado 525 del Nv. 1570 se recomienda realizar una labor (cortada) como labor de posicionamiento con dirección NW de 60 m. para una cámara diamantina y explorar hacia el sur a niveles inferiores al 1570.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACOSTA, J., QUISPE, J., SANTISTEBAN, A. & ACOSTA, H. 2008. Épocas metalogénicas y tipos de yacimientos metálicos en la margen occidental del sur del Perú: latitudes 14°s - 18°s. CD Resúmenes extendidos XIV Congreso Peruano de Geología, C28.
- Afther, C. (1985). Paragénesis y Zonación.
- Agar R. (1978). La mineralización de Cobre y la Super-Unidad Linga del Batolito de la
- AGUILAR, G. (2008). "Plan cierre de mina en U.E.A. San Andres - Mina San Juan de la Compañía Minera Caraveli S.A.C. " Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Amstutz, G. C. 1971). "Glossary of Mining Geology"
- BATES y JACSON (1984). En <https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC>. Visitado 2016.
- Costa. Anales del IV Congreso Peruano de Geología. Bol. Soc. Geol. Perú. Tomo No. 62.
- Bellido, E. (1963). Geología de los cuadrángulos de la Punta de Bombón y Cledesí. Bol. Com. Carta Geol. Econ. No. 1 – Serie B.
- Boletín No 34, Serie A, 1980. Hojas 31-ñ Jaqui, 31-0 Coracora, 32-ñ Chala y 32-O Chaparra INGEMMET
- Buchanan, 1981 Zoneamiento típico de alteración para los depósitos de baja e intermedia sulfuración.
- Caldas, J. (1978). Geología de los Cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca. Bol. Inst. Geol. Min. Met. No. 30, de la Serie A.
- Cambefort, H. (1980). Perforación y sondajes. Ed Omega Barcelona



- Camprubi, A. González, E. (2003). Diferencia entre epitermales de Alta sulfuración y Baja sulfuración
- Cobbing, J. (1974). Geología de los Cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. Serv. Geol. Min. Bol. 26, Serie A. Cloos, H. (1928). Experimente zur inneren Tektonik. Centralbl Mineral Pal 5:609- 621.
- Cloos, H. (1928). Experimente zur inneren Tektonik. Centralbl Mineral Pal 5:609 621.
- De Montreuil, L. (1990). Mineralogía de los Yacimientos Auríferos en el Perú, p 307-343. Resumen extendido Segundo Simposium internacional del Oro.
- De Montreuil, L. (1979). Ocurrencia de oro y sus asociaciones mineralógicas en la faja aurífera Nazca-Ocoña, p 25-48. Programa Científico-Cultural. INGEMMET.
- Giggenbach, W.F, (1992). Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries Economic Geology. v.87, p.194
- Dubé & Guba (1992). Modelo de fracturación en zonas de cizallas.
- Fisher, R. V. Schmincke H.-U., (1984) Composición química de las rocas ígneas
- Hedensquist, J. W. (1987). Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin, in Transactions of the 4th Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore, 1986, Oklahoma, Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1-26.
- HUANG, W. (1968). "PETROLOGÍA". Unión tipográfica Editorial Hispano Americana.
- INGEMMET, (2008). Boletín No. 4 Serie E. Mineralización y Explotación Minera Artesanal en la Costa sur Media del Perú.



- Jenks, W. (1948). Geología de la hoja de Arequipa. Inst. Geol. del Perú. Bol. No. 9, de la Serie A.
- Jorc, (2012). Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code).
- Lindgren, W. (1931) Tipos de depósitos hidrotermales
- Macharé J. & Quispe J. (2001): Estudio Estructural del Sector Este de la Veta Calera, Mina Orcopampa – Perú. Resumen extendido IX Congreso Peruano de Geología.
- Mackinstry, H. (1961). Comportamiento de la longitud y profundidad de un filón
- Mackinstry, H. (1961). Comportamiento de la longitud y profundidad de un filón
- Mayta, O. 2010 y Meza, J. (2010). Recursos minerales
- Mendívil, S. (1965). Geología de los Cuadrángulos de Maure y Antajave. Com. Carta Geol. Nac. Bol. No. 10, de la Serie A.
- Núñez, F., Condori, A., Jara, M. & Linares, F. (1994). Características metalogénicas de la mineralización aurífera asociada al segmento sur del batolito de la costa (Nazca-Ocoña), p 26-29. Resumen extendido VII Congreso Peruano de Geología.
- Olchanski, E. (1980) - Geología de los cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 34, 69 p.
- ORCHE, E. (1999). Distribución de los minerales en distintos niveles de los yacimientos
- Oscar, M. 2010 y Julio, M. (2010). Reserva mineral
- Oyarzun, R. (1991). Ascenso y acumulación de los fluidos hidrotermales
- Oyarzun, R. (2011). Mineralización Epitermales de Metales Preciosos. En Yacimientos Minerales.



Park, Ch. F. (1986). The Geology of Ore Deposits Ed Freeman and Company, p. 289.

Quispe J., 2006. et al Macharé J. (2001). Sistema de tectoglifos estructurales

Riedel, W. (1929). Zur mechanic geologischer Brucherscheinungen. Zentralblatt Mineral
Geol Paläont B:354-368.

Rosales, M. (1990). Yacimientos auríferos relacionados al batolito de la costa en la franja
Nazca-Ocoña, Ica y Arequipa. Resumen extendido Segundo Simposium
Internacional del Oro.

Riedel, W. (1929). Zur mechanik geologischer Brucherscheinungen. Zentralblatt
Mineral Geol Paläont B:354-368.

Sillitoe, R. H. (1977). Andean Mineralization: A Model for The Metallogeny of
Convergent Plate Margins.

Sillitoe, R. (1995). Epithermal Models Genetic Types Geometrical Controls

THOMPSON, A.J. 1999). Yacimientos hidrotermales

Thompson, A. J (1996). Atlas of Alteration, a field and petrographic guide to hydrothermal
Alteration Minerals, Geological Association of Canada Mineral Deposits Division
p. 127

Townley, B. (2006). Alteración hidrotermal

Townley, B. K. (2006). Yacimientos Minerales y Procesos Geológicos. Departamento de
Geología universidad de Chile.

Vargas, L. (1970). Geología del Cuadrángulo de Arequipa Bol. Serv. Geol. Min. No. 24.
Lima-Perú (Serie A).



Wilson, J., García, W. (1962). Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca. Com.
Carta Geol. Nac. Bol. No. 4, de la Serie A.

WEBGRAFIA

Colbert y Leach, (1998). Asociaciones de minerales de alteración comunes en sistemas
hidrotermales. <http://www.osc.uchile.cl/%7Evmaksaev/ALTERACION.pdf>.

Echavarría, L. E. (1995). Depósito Epitermal Cuarzo-Aurífero El Dorado Monserrat,
Prov. de Santa Cruz. Actas. 5° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas:
414-425. San Juan.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000448222004000100007.

Tomado de (www.alteracionesderocas.pdf.).

[https://es.wikipedia.org/wiki/Ganga_\(miner%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Ganga_(miner%C3%ADa))



ANEXOS



ANEXOS N° 01. Plano de Ubicación

ANEXOS N° 02. Plano Geológico Regional

ANEXOS N° 03. Plano Geomorfológico Regional

ANEXOS N° 04. Plano Geológico Estructural Regional

ANEXOS N° 05. Plano Geológico Local

ANEXOS N° 06. Plano Geomorfológico Local

ANEXOS N° 07. Plano Estructural Local

ANEXOS N° 08. Mapeo Geológico del Nivel 1760

ANEXOS N° 09. Plano de muestreo de SN 625 NW

ANEXO N° 10. Plano de muestreo de SN 620 NW

ANEXO N° 11. Plano de muestreo de SN 617 NW

ANEXO N° 12. Plano de Sección de sondajes DDH-14, 17,18 y 19

ANEXO N° 13. Plano de Sección de sondajes DDH-15

ANEXO N° 14. Plano de Sección de sondajes DDH-20

ANEXO N° 15. Plano de Sección de sondajes DDH-21

ANEXOS N° 16. Profundización de veta Nancy

ANEXO N° 17. Profundización de veta Nancy