



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



**CONTROLES GEOLÓGICOS QUE INTERVIENEN EN LA**  
**MINERALIZACIÓN DE Zn, Pb, Ag y Cu DEL CUERPO**  
**ESPERANZA MINA YAURICOCHA, ALIS – LIMA**  
**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. ALEJANDRO PACORI CONDORI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO - PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

*El presente trabajo es dedicado:*

*A mis hijos Pierina y Aarón, por ser el gran motivo de mi existencia y a mi esposa Isabel por quienes trato de ser cada día mejor, para dejar un buen ejemplo como: padre, pareja, persona y como profesional. A mi padre Bonifacio por su apoyo y sus consejos, mi madre Jacinta quien me inculco los buenos valores, que está en alguna parte del cielo. También agradezco a toda mi familia por haberme dado lo mejor de la vida su amor y cariño incondicional y sus enseñanzas en todo momento.*

***Alejandro Pacori Condori***



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la Empresa Sociedad Minera Corona SA, representado por el Ing. Vladimir Bedoya Valdivia, Superintendente del área de Geología e Ingeniería en la Unidad Minera Yauricocha, por brindarme todas las facilidades para la realización de la presente tesis.

Del mismo modo agradezco al Ing. Igor Gonzales G. Presidente Ejecutivo de Sierra Metals Inc., Ing Miguel Paucar Gerente General de Sociedad Minera Corona SA. Al ingeniero Washington Larico C. A todos los Ingenieros del departamento de Geología e Ingeniería; al área de dibujo a cargo de Moisés y Nilton; a todo el personal de muestreo (Julio, Roky, Guido, Luciano) por su apoyo, críticas, asesoramiento, durante el desarrollo y culminación de esta investigación.

Al MSc. Roger Gonzales Aliaga, por su apoyo y asesoramiento durante la redacción de la presente tesis.

A mis profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, especialmente a mis docentes, que con sus valiosos conocimientos contribuyeron a mi formación académica, que fueron los cimientos sólidos para mi desarrollo profesional.

**Alejandro Pacori Condori**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 20**

**ABSTRACT..... 22**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. GENERALIDADES..... 24**

**1.2. ANTECEDENTES ..... 26**

**1.3. JUSTIFICACIÓN ..... 28**

**1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 29**

**1.5. OBJETIVOS..... 30**

1.5.1. Objetivo general..... 30

1.5.2. Objetivos específicos ..... 30

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL ..... 31**

**2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL..... 32**

**2.3. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL..... 34**

2.3.1. Grupo Goyllarizquizga ..... 34

2.3.2. Formación Pariahuanca..... 34

2.3.3. Formación Chúlec..... 35

2.3.4. Formación Pariatambo ..... 35



2.3.5.	Formación Jumasha .....	35
2.3.6.	Formación Celendín.....	36
2.3.7.	Capas rojas de la formación Casapalca.....	36
2.3.8.	Formación Tantará.....	36
2.3.9.	Depósitos Cuaternarios .....	37
2.3.10.	Intrusivos .....	37
2.3.11.	Sill Basáltico .....	38
<b>2.4.</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>41</b>
2.4.1.	Formación de depósitos de skarn.....	41
2.4.2.	Etapas de evolución y profundidad de los depósitos de skarn.....	43
2.4.2.1.	Alteración prógrada .....	45
2.4.2.2.	Alteración retrógrada .....	46
2.4.3.	Marco tectónico .....	50
2.4.4.	Mineralogía de depósitos de skarn.....	52
2.4.5.	Efecto del gradiente redox .....	56
2.4.6.	Efecto de la composición del magma .....	58
2.4.7.	Efecto del contenido de carbono orgánico en la roca caja.....	59
2.4.8.	Mineralización de sulfuros depósito de skarn.....	59
2.4.9.	Skarn de cobre y relación con pórfido de cobre .....	64
2.4.10.	Evolución tectónica andina y dominios geotectónicos .....	65
2.4.11.	Zonas de transtensión o transpresión .....	71
2.4.12.	Extensión y compresión en las zonas de falla.....	72
2.4.13.	Cuando las inflexiones y saltos condicionan relieve y espacio .....	74
2.4.14.	Estudios de minerales transparentes en microscopia.....	75
2.4.15.	Estudio de minerales opacos en microscopia .....	77
2.4.16.	Metodología de estudio.....	78



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>79</b>
3.1.1. Etapa de recopilación de información .....	79
3.1.2. Etapa de campo .....	80
3.1.3. Etapa de logeo y muestreo .....	81
3.1.4. Etapa de laboratorio .....	81
3.1.5. Etapa de gabinete .....	82
<b>3.2. RECURSOS Y MATERIALES .....</b>	<b>83</b>
<b>3.3. RESTRICCIONES.....</b>	<b>84</b>

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

<b>4.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>85</b>
<b>4.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL .....</b>	<b>87</b>
<b>4.3. GEOLOGÍA LOCAL .....</b>	<b>87</b>
4.3.1. Formación Jumasha .....	87
4.3.2. Formación Celendín.....	88
4.3.3. Capas rojas de la formación Casapalca.....	89
4.3.4. Intrusivos .....	89
4.3.5. Metamorfismo.....	90
4.3.6. Skarn .....	90
4.3.7. Cuerpo de mineral.....	90
<b>4.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....</b>	<b>94</b>
4.4.1. Pliegues.....	94
4.4.2. Fallas .....	94
4.4.3. Fracturas.....	95
4.4.4. Brechas.....	95



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>5.1. TIPOS LITOLÓGICOS Y ROCAS HUESPED DEL CUERPO ESPERANZA.....</b>	<b>98</b>
5.1.1. Caliza gris .....	98
5.1.2. Lutitas silicificadas .....	99
5.1.3. Caliza recristalizada .....	100
5.1.4. Mármol.....	102
5.1.5. Brecha .....	104
5.1.6. Skarn .....	105
5.1.7. Intrusivo .....	106
5.1.7.1. Tonalita .....	106
5.1.7.2. Cuarzodiorita .....	109
5.1.7.3. Cuarzomonzodiorita.....	114
5.1.8. Alteraciones hidrotermales y metasomatismo .....	124
5.1.8.1. Sericitización .....	126
5.1.8.2. Argilización (alteración argílica) .....	127
5.1.8.3. Biotización .....	128
5.1.8.4. Alteración propilítica .....	129
5.1.8.5. Endoskarn (alteración prógrada).....	130
5.1.8.6. Exoskarn (alteración retrograda) .....	130
5.1.8.7. Marmolización y recristalización (metamorfismo isoquímico).....	131
<b>5.2. RELACIÓN DEL CONTEXTO ESTRUCTURAL Y MINERALIZACIÓN DEL CUERPO ESPERANZA.....</b>	<b>135</b>
5.2.1. Pliegues .....	136
5.2.2. Fallas .....	138
5.2.3. Fracturas.....	140



5.2.4.	Etapas de formación del cuerpo Esperanza .....	142
5.2.5.	Movimiento transcurrente de la falla Yauricocha.....	144
5.2.6.	Contexto mineralógico y paragénesis del cuerpo Esperanza.....	148
5.2.6.1.	Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ).....	151
5.2.6.2.	Bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) .....	152
5.2.6.3.	Covelita ( $\text{CuS}$ ) .....	153
5.2.6.4.	Calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ).....	154
5.2.6.5.	Galena ( $\text{PbS}$ ) .....	156
5.2.6.6.	Esfalerita ( $\text{ZnS}$ ).....	157
5.2.6.7.	Digenita ( $\text{Cu}_9\text{S}_5$ ) .....	158
5.2.6.8.	Luzonita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ).....	159
5.2.6.9.	Enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) .....	159
5.2.6.10.	Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).....	160
5.2.6.11.	Magnetita (Mushketovita) ( $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}$ ) .....	161
5.2.6.12.	Pirita ( $\text{FeS}_2$ ).....	162
5.2.6.13.	Maghemita ( $\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_3$ ) .....	162
5.2.6.14.	Bismutinita ( $\text{Bi}_2\text{S}_3$ ) .....	163
5.2.6.15.	Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) .....	163
5.2.6.16.	Marcasita ( $\text{FeS}_2$ ) .....	163
5.2.6.17.	Rutilo ( $\text{TiO}$ ) .....	164
5.2.7.	Zonación y paragénesis del cuerpo Esperanza .....	164
5.2.8.	Potencial mineralógico económico y profundización del cuerpo Esperanza	
	170	
<b>5.3.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>174</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>177</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>179</b>





<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>180</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>183</b>

**Área:** Geología de Minas.

**Línea:** Geología, Yacimientos de Reemplazamiento y Skarn.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 07 de diciembre del 2020.



## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II

**Tabla N° 2. 1.** Minerales comunes e indicadores de Skarn. .... 54

### CAPÍTULO IV

**Tabla N° 4. 1.** Vías de acceso desde Lima hacia la unidad minera: distancia y tiempo.85

### CAPÍTULO V

**Tabla N° 5. 1.** Simbología estudios petrográficos ..... 124

**Tabla N° 5. 2.** Alteraciones hidrotermales del cuerpo Esperanza..... 126

**Tabla N° 5. 3.** Simbología de estudio mineragráfico..... 151

**Tabla N° 5. 4.** Zonificación Mineralógica Cuerpo Esperanza ..... 167

**Tabla N° 5. 5.** Leyes con taladros nivel 870 zona noroeste..... 171

**Tabla N° 5. 6.** Leyes con taladros nivel 920 zona central..... 171

**Tabla N° 5. 7.** Leyes con taladros nivel 920 zona sureste. .... 171

**Tabla N° 5. 8.** Leyes con taladros nivel 970 zona central..... 171

**Tabla N° 5. 9.** Leyes con taladros nivel 970 P-12 zona central. .... 172

**Tabla N° 5. 10.** Leyes con taladros nivel 1020 zona central..... 172

**Tabla N° 5. 11.** Leyes con taladros nivel 1070 zona noroeste. .... 172

**Tabla N° 5. 12.** Leyes con taladros nivel 1120 zona central..... 172

**Tabla N° 5. 13.** Leyes con taladros nivel 1120 zona central..... 173

**Tabla N° 5. 14.** Promedios de leyes de taladros resumido por nivel del cuerpo Esperanza  
..... 173

**Tabla N° 5. 15.** Diferencias entre “Cuerpo Esperanza”, “Mina Central y Mina Cachi  
Cachi” ..... 176



## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

<b>Figura N° 2. 1.</b> Columna estratigráfica regional. Fuente: Sociedad Minera Corona S.A. .....	39
<b>Figura N° 2. 2.</b> Plano geológico regional que circunscribe la zona de estudio. Fuente: Sociedad Minera Corona S.A.....	40
<b>Figura N° 2. 3.</b> Proceso de formación de yacimientos de contacto Skarn. Imagen tomada de Griem (2020). .....	41
<b>Figura N° 2. 4.</b> Localización de un contacto metasomático alrededor de una intrusión. Fuente: <a href="https://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/skarn/skarn.htm">https://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/skarn/skarn.htm</a> .....	42
<b>Figura N° 2. 5.</b> Etapas de evolución de un plutón asociado a depósitos tipo Skarn.....	45
<b>Figura N° 2. 6.</b> La evolución de los depósitos de skarn relacionados con la intrusión que muestra las tres etapas secuenciales de formación. (a) Etapas prograda, y (b) etapa retrógrada, modificada por Corbett y Leach (1998). Fuente: Robb (2005). .....	47
<b>Figura N° 2. 7.</b> Etapas evolutivas de depósitos de skarn asociados a un plutón. ....	48
<b>Figura N° 2. 8.</b> Resultado de formación de minerales de skarn y reemplazamiento, contacto de calizas y roca plutónica con ensambles de minerales típicos en cada una de las zonas de skarn, mármoles e intrusivo. Fuente: Meinert (1992). .....	50
<b>Figura N° 2. 9.</b> Modelos tectónicos idealizados para la formación de depósitos de skarns. .....	52
<b>Figura N° 2. 10.</b> Diagrama ternario composicionales de mineralogía cacosilicatada prógrada en Skarns y campos composicionales de para distintos tipos de Skarn de Fe, Cu, Zn, Au, Mo, Sn y W. Diagrama tomado de Einaudi et al., (1981). .....	53

<b>Figura N° 2. 11.</b> Zonas de minerales desarrollados en el contacto entre cuarzodiorita, mármol y dolomita. Figura tomada de After Frisch y Helgeson (1984) y Winter (2001). Fuente: <a href="https://slideplayer.com/slide/7813829/">https://slideplayer.com/slide/7813829/</a> .....	55
<b>Figura N° 2. 12.</b> Esquema de zonificación de minerales tipo del Endoskan y Exoskan. Fuente: Tomado de Duran y Tapia (2015).....	56
<b>Figura N° 2. 13.</b> Gradiente redox entre magma y roca caja fresca (caliza) zonas de mineralización Cu-Au, Cu-Au-Ag y Zn-Pb-Ag. Fuente: Adaptado de Steele (2016).....	58
<b>Figura N° 2. 14.</b> Modelo esquemático entre sistemas de mineralización tipo pórfido y skarn. Fuente: Durán y Tapia (2015). Geología económica esquema asumido para mina Yauricocha. ....	65
<b>Figura N° 2. 15.</b> Sección estructural del centro del Perú mostrando los grandes dominios geotectónicos y las franjas metalogénicas. Tomado de Carlotto, et al, (2009).68	
<b>Figura N° 2. 16.</b> Mapa paleogeográfico del Perú Jurásico Tardío – Cretácico Superior, adaptado de Benavides-Cáceres (1999). Fuente: Jurado (2006).....	69
<b>Figura N° 2. 17.</b> Ubicación del distrito de Yauricocha dentro de un perfil de zonificación vertical idealizado para depósitos carbonatados del centro de Perú, según Tosdal et al., (2005). Fuente: Tomado de la presentación de Jurado (2006).....	70
<b>Figura N° 2. 18.</b> Generación de fallas por la acción de los esfuerzos $\sigma_1$ , $\sigma_2$ y $\sigma_3$ . Fuente: imagen tomada de Quispe (2006). ....	71
<b>Figura N° 2. 19.</b> Zonas de falla y las reglas de juego en una falla transcurrente dextral y sinistral. ....	73
<b>Figura N° 2. 20.</b> Relieves tipo pull-apart y pop-up en falla transcurrente. Fuente: Lillo & Oyarzun (2013). ....	74



**Figura N° 2. 21.** Desarrollo dúplex formando estructuras tipo flor negativa y flor positiva.

Fuente: Lillo & Oyarzun (2013). ..... 75

### **CAPÍTULO III**

**Figura N° 3. 1.** Recopilación bibliográfica basada en la revisión de planos. .... 79

**Figura N° 3. 2.** Etapas de campo (a) planificación de proyectos, (b) construcción de cámaras de perforación diamantina, (c) traslado de equipo, (d) perforación diamantina, (e) muestras de testigos. .... 80

**Figura N° 3. 3.** Etapa de logueo y muestreo (a) cajas de muestra extendida, (b) geólogo realizando el logueo, (c) hojas de logueo detalladas, (d) etiquetado y embalado de muestras. .... 81

### **CAPÍTULO IV**

**Figura N° 4. 1.** Mapa de ubicación mina Yauricocha y vías de accesos. Fuente: Adaptación propia a Sociedad Minera Corona S.A. .... 86

**Figura N° 4. 2.** Fotografías de afloramientos de las formaciones expuesta en superficie. (a) se observa la formación Jumasha, formación Celendín e intrusivo. (b) Afloramiento de la formación Jumasha. (c) Cuerpos oxidados alterados en superficie del cuerpo Esperanza..... 91

**Figura N° 4. 3.** Columna estratigráfica local de mina Yauricocha. Fuente: Sociedad Minera Corona S.A. .... 92

**Figura N° 4. 4.** Mapa geológico local y geología estructural del Cuerpo Esperanza y mina Yauricocha. Fuente: Sociedad Minera Corona SA. .... 93



## CAPÍTULO V

- Figura N° 5. 1.** Muestra de mano de caliza gris de la formación Jumasha de grano fino con bandeamientos, presencia de venillas de calcita y óxidos de OXFe y OXMn. .... 99
- Figura N° 5. 2.** Se observa una muestra de caliza recristalizada en contacto con el mármol blanquecina. Muestra de un testigo de perforación diamantina en línea NQ. .. 101
- Figura N° 5. 3.** Muestra de mármol color blanquecino, grano medio a grueso con diseminación de pirita en el flanco occidental del sinclinal de Yauricocha. .... 103
- Figura N° 5. 4.** Brecha tectónica mineralizado de pirita, galena, esfalerita y calcopirita en línea NQ de perforación diamantina. .... 104
- Figura N° 5. 5.** Skarn con granates verdes (grosularia) y andraditas, wollastonita y pirita diseminada. Muestra de perforación diamantina línea NQ. .... 106
- Figura N° 5. 6.** Sección geológica y plano en planta del intrusivo tonalítico en contacto con calizas del Jumasha y mineralización clásica CRD (Zn-Pb-Cu). Muestra M-15 tomado del taladro ESP\_13\_15\_03 a los 157.20-157.30 m. intrusivo ubicado al sur-sureste del cuerpo Esperanza. Fuente: Adaptación propia. .... 108
- Figura N° 5. 7.** Intrusivo tonalítico (M-15) en la parte superior tenemos testigos de perforación diamantina de color gris con tonos blanquecinas y microfotografías donde se observa sericitas con incrustaciones cuarzo, moscovita, cuarzo I y cuarzo II y minerales opacos. .... 109
- Figura N° 5. 8.** Sección geológica y en planta del intrusivo cuarzodiorita y taladro PZ\_ESP\_17\_16\_01, muestra M-28 a los 190.90-191.00 m. el intrusivo está ubicado en la parte central del cuerpo Esperanza. Fuente: Adaptación propia. 111

- Figura N° 5. 9.** Muestra de perforación diamantina de intrusivo cuarzodiorítico y microfotografías de la muestra M-28. Cristales de plagioclasas, cuarzo, anfíboles, feldespato potásico con inclusiones de biotita. .... 113
- Figura N° 5. 10.** Sección geológica y plano en planta del intrusivo cuarzomonzodiorita, taladro ESP\_13\_15\_13, muestra M-30. Fuente: Adaptación propia. .... 115
- Figura N° 5. 11.** Fotografía del intrusivo cuarzomonzodiorita, muestra de perforación diamantina, tipo de línea NQ, microfotografías donde predominan cristales de plagioclasas, cuarzo, feldespato potásico y variedades de arcillas. .... 117
- Figura N° 5. 12.** Ploteo de intrusivos del cuerpo Esperanza en base al diagrama de QAPF de Streckeisen (1976) para rocas gabróicas e intrusivas. Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Clasificacion-petrografica-en-base-al-diagrama-QAPF-de-STRECKEISEN-1976-de-las-rocas\\_fig4\\_328792675.....](https://www.researchgate.net/figure/Clasificacion-petrografica-en-base-al-diagrama-QAPF-de-STRECKEISEN-1976-de-las-rocas_fig4_328792675.....) 118
- Figura N° 5. 13.** Descripción fotográfica de la secuencia litológica del Cuerpo Esperanza sección A-AI. .... 119
- Figura N° 5. 14.** Sección esquemática del control litológico del Cuerpo Esperanza. . 120
- Figura N° 5. 15.** Mapa en planta del control litológico del Cuerpo Esperanza caliza recristalizada, mármol y skarns y el emplazamiento del intrusivo granodiorítico de Yauricocha, tonalita, cuarzodiorita y la cuarzomonzodiorita. Fuente: Adaptación propia. .... 123
- Figura N° 5. 16.** Alteración sericitica en muestra de perforación diamantina y microfotografía, donde se observa cristales tabulares de plagioclasas completamente alteradas a sericitas y cuarzo I. .... 127
- Figura N° 5. 17.** Alteración argílica en muestra de testigo de perforación diamantina y microfotografía de cristales de feldespato potásico y minerales opacos completamente alteradas a arcillas. .... 128



<b>Figura N° 5. 18.</b> Biotización en muestra de testigo de perforación diamantina y microfotografía donde se observan las biotitas primarias y biotita secundaria junto con cuarzo y plagioclasas.....	129
<b>Figura N° 5. 19.</b> Se muestra la alteración propilítica en muestras de perforación diamantina con los ensambles típicos clorita, calcita, pirita, epidota y patinas de óxido de hierro. ....	129
<b>Figura N° 5. 20.</b> Muestra de perforación diamantina con zonas de endoskarn, se observa los minerales anhidros más comunes como granates (grosularia y andradita) en menor cantidad los piroxeno. ....	130
<b>Figura N° 5. 21.</b> Muestra de granates verdes Grosularia, Andradita, Calcita en una muestra de perforación diamantina típico de zonas de exoskarn.....	131
<b>Figura N° 5. 22.</b> Mármol blanquecino y la caliza recristalizada con venilla de Pirita y Magnetita. ....	132
<b>Figura N° 5. 23.</b> Se muestra los niveles de alteración, oxidación y reducción de los fluidos hidrotermales desde el plutón, skarn, mármol, caliza recristalizada y la formación Jumasha basado en el cuadro descrito por Meinert.....	133
<b>Figura N° 5. 24.</b> Modelo esquemático de alteraciones hidrotermales: alteración sericitica, argílica, propilítica y alteración metasomático; endoskarn, exoskarn, mármol y caliza recristalizada en el cuerpo Esperanza. Fuente: Adaptación propia. ....	134
<b>Figura N° 5. 25.</b> Vista panorámica de mina Yauricocha. Se muestran el anticlinal de Purísima Concepción, Sinclinal de Yauricocha y falla Yauricocha. Proyección del cuerpo Esperanza a superficie.....	136
<b>Figura N° 5. 26.</b> Sección de geológica estructural que muestra estructuras principales del área de Yauricocha.....	137





<b>Figura N° 5. 27.</b> Se muestra la falla Yauricocha a lo largo de los cuerpos mineralizados y el cuerpo Esperanza geología nivel 1070. Fuente: Adaptación propia. ....	139
<b>Figura N° 5. 28.</b> Mapa de geología estructural del cuerpo Esperanza, mostrando la falla Yauricocha y el sinclinal de Yauricocha. Fuente: Adaptación propia. ....	141
<b>Figura N° 5. 29.</b> Etapa litológica y mineralización en la falla Yauricocha. ....	144
<b>Figura N° 5. 30.</b> Efecto Transcurrente adaptado a la falla Chonta y Yauricocha.....	145
<b>Figura N° 5. 31.</b> Efecto Transcurrente adaptado a la falla Yauricocha con movimiento transcurrente sinistral y desarrollo del cuerpo Esperanza. Fuente: Adaptación propia. ....	146
<b>Figura N° 5. 32.</b> Calcopirita en muestra de mano reemplazando a los minerales como magnetita, hematita, especularita, gangas grises y microfotografías de calcopirita que esta reemplazando a la hematita y pirita. M-07, M-12, M-13.....	152
<b>Figura N° 5. 33.</b> Bornita en una muestra de perforación diamantina asociado a la enargita y microfotografías en donde la bornita está reemplazando a la calcopirita, covelita y masas de pirita. M-04 y M-12.....	153
<b>Figura N° 5. 34.</b> Covelita en una muestra de perforación diamantina reemplazando a la calcopirita y microfotografías en donde la covelita está reemplazado por la calcopirita, bornita y digenita reemplaza a la pirita por las fracturas. M-04. ...	154
<b>Figura N° 5. 35.</b> Calcosita reemplazada en las fracturas de pirita y calcopirita. M-14. ....	155
<b>Figura N° 5. 36.</b> Galena reemplazando a pirita en muestra de DDH y microfotografía reemplazando a la pirita y a la esfalerita. M-03, M-08. ....	156
<b>Figura N° 5. 37.</b> Esfalerita en una muestra DDH y microfotografía donde está reemplazando a la pirita juntamente con calcopirita y reemplazado por galena M-03 y M-08.....	158



<b>Figura N° 5. 38.</b> Enargita en intersticios de los cristales de pirita y calcopirita en muestra de mano y microfotografía se observa reemplazando a calcopirita III. M-12. . 160	160
<b>Figura N° 5. 39.</b> Hematita (Especlarita) masiva en muestra de mano y microfotografía, reemplazado por calcopirita y pirita. M-01, M-08 y M-13. .... 161	161
<b>Figura N° 5. 40.</b> Magnetita (Mushketovita) masiva en testigos DDH y en forma de inclusiones dentro de la hematita y microfotografía donde se observa en cristales alargados. M-03. .... 161	161
<b>Figura N° 5. 41.</b> Pirita masiva en muestra de mano y microfotografías con inclusines de calcopirita, calcosita, esfalerita, galena y gangas grises. M-02, M-03, M-14... 162	162
<b>Figura N° 5. 42.</b> Maghemita en muestra DDH y microfotografía de cristales en forma prismáticos en relictos de hematita. M-07. .... 163	163
<b>Figura N° 5. 43.</b> Marcasita en muestra de mano en forma bandeada y migrofotografía bandeamientos y reemplazando a la pirita y especlarita. M-01, M-08. .... 164	164
<b>Figura N° 5. 44.</b> Paragénesis de los minerales hipógenos del cuerpo Esperanza. Adaptación propia. .... 168	168
<b>Figura N° 5. 45.</b> Plano geológico, mineralización del cuerpo Esperanza y emplazamiento de intrusivos tonalítico, cuarzodiorítico, cuarzomonzodiorítico. Fuente: Adaptación propia y Sociedad Minera Corona S.A. .... 169	169
<b>Figura N° 5. 46.</b> Zonamiento esquemático vertical de mineralización y la evolución de los intrusivos dentro del cuerpo Esperanza. Elaboración y adaptación propia. 170	170
<b>Figura N° 5. 47.</b> Distribución de valores de Ag-Pb-Cu-Zn desde el Nv. 870-1220 cuerpo Esperanza. Fuente: Elaboración propia y Sociedad Minera Corona. .... 174	174



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Bismutinita	bmt	Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$
Bornita	bn	Bornita	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$
Calcopirita	cp	Covelita	$\text{CuS}$
Calcosita	cc	Calcosina	$\text{Cu}_2\text{S}$
Cobres grises	CGRs	Galena	$\text{PbS}$
Covelita	cv	Esfalerita	$\text{ZnS}$
Digenita	dg	Digenita	$\text{Cu}_9\text{S}_5$
Enargita	en	Luzonita	$\text{Cu}_3\text{AsS}_4$
Esfalerita	ef	Enargita	$\text{Cu}_3\text{AsS}_4$
Galena	gn	Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Hematita	hm	Magnetita	$\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{Fe}$
Luzonita	lz	Pirita	$\text{FeS}_2$
Maghemita	mgm	Maghemita	$\text{Fe}^{3+}\text{O}_3$
Magnetita	mt	Bismutinita	$\text{Bi}_2\text{S}_3$
Marcasita	mc	Calcita	$\text{CaCO}_3$
Pirita	py	Marcasita	$\text{FeS}_2$
Pirrotita	po	Rutilo	$\text{TiO}$
Rutilo	rt		
Wolframita	wol	Pulso 01	P1
Luz Reflejada	LR	Pulso 02	P2
Albita	alb	Pulso 03	P3
Anfíboles	ANFs		
Apatito	ap	Depósitos de	
Arcillas	ARCs	Reemplazamiento	
Biotita	bt	en Rocas	
Carbonatos	CBs	Carbonatadas	CRD
Cuarzo	cz		
Esfena	ef		
Epidota	ep		
Feldespatos potásicos	FPks		
Minerales opacos	OPs		
Muscovita	mus		
Plagioclasas	PLGs		
Oxihidróxidos de hierro	OXs-HOXs_Fe		
Sericita	ser		
Zircon	zir		
Luz Transmitida	LT		



## RESUMEN

La mina Yauricocha se ubica en el flanco oeste de la cordillera occidental de los Andes, en el centro del Perú; geopolíticamente pertenece al departamento de Lima, provincia de Yauyos, distrito de Alis, presenta una topografía moderadamente accidentada con altitudes promedio de 4600 msnm. El objetivo principal es determinar los controles geológicos que tienen relación con la mineralización de Zn-Pb-Ag-Cu del cuerpo Esperanza. Por lo tanto, la metodología del trabajo de investigación aplicada es analítica, descriptiva e interpretativa; realizada durante el año 2020. El cuerpo Esperanza es un yacimiento de tipo reemplazamiento en rocas carbonatadas de la formación Jumasha que corresponde al Cretácico medio a superior, esta secuencia está muy deformada por esfuerzos compresivos; los pliegues y fallas son predominantemente de rumbo andino; los esfuerzos han ocurrido en el Mioceno causado por los efectos de la tectónica Andina, además presenta intrusivos con edad de 6.9 millones de años. En consecuencia, como resultados de esta investigación, se ha determinado dos controles principales; el control litológico y el control estructural relacionado con la paragénesis y la mineralización. El control litológico lo conforman las rocas metasomatizadas como: mármol, caliza recristalizada y en menor extensión skarns que se comportan favorablemente para la deposición de la mineralización, también los intrusivos responsables son: tonalita, cuarzodiorita y cuarzomonzodiorita asociados a sistemas porfiríticos e hidrotermales. Así mismo, control estructural ocurre en las zonas denominadas *chilled margins* (zonas de enfriamiento) estas zonas son falladas por los esfuerzos compresivos del Mioceno en donde se originó la falla Yauricocha; la falla sirve como el canal principal y favorable para el transporte de los fluidos mineralizantes. Por otra parte, la paragénesis se dio a través de tres eventos de mineralización: primer evento, tonalítico que depositó hematita,



magnetita, maghemita, pirita y algo de calcopirita, el segundo evento, cuarzodiorítico que depositó; calcopirita, galena y esfalerita y tercer evento cuarzomonzodiorítico que depositó; pirita, bornita, esfalerita y galena, en el cual predomina la esfalerita. Finalmente, los resultados de análisis geoquímico muestran que las concentraciones metálicas en valores de cobre se incrementan en profundidad, mientras que los valores plomo disminuyen y se mantienen los valores de zinc y plata.

**Palabras clave:** Cuerpo Esperanza, control litológico, control estructural y mineralógico.



## ABSTRACT

The Yauricocha mine is located on the western flank of the western mountain range of the Andes, in central Peru; geopolitically it belongs to the department of Lima, province of Yauyos, district of Alis, presents a moderately rugged topography with average altitudes of 4600 meters above sea level. The main objective is to determine the geological controls that are related to the Zn-Pb-Ag-Cu mineralization of the Esperanza body. Therefore, the methodology of applied research work is analytical, descriptive and interpretive; carried out during the year 2020. The Esperanza body is a replacement type deposit in carbonate rocks of the Jumasha formation that corresponds to the middle to upper Cretaceous. This sequence is highly deformed by compressive stresses; the folds and faults are predominantly Andean in course; The efforts have occurred in the Miocene caused by the effects of the Andean tectonics, also it presents intrusives with an age of 6.9 million years. Consequently, as a result of this investigation, two main controls have been determined; lithological control and structural control related to paragenesis and mineralization. The lithological control is made up of metasomatized rocks such as: marble, recrystallized limestone and to a lesser extent skarn that behave favorably for the deposition of mineralization, also the intrusives responsible are: tonalite, quartzodiorite and quartzomonzodiorite associated with porphyritic and hydrothermal systems. Likewise, structural control occurs in the so-called chilled margins (cooling zones) these zones are faulted by the compressive stresses of the Miocene where the Yauricocha fault originated; the fault serves as the main and favorable channel for the transport of mineralizing fluids. On the other hand, paragenesis occurred through three mineralization events: the first event, tonalitic that deposited hematite, magnetite, maghemite, pyrite and some chalcopyrite, the second event, quartzodioritic that it deposited; chalcopyrite,



galena and sphalerite and third quartzomonzodioritic event deposited; pyrite, bornite, sphalerite and galena, in which sphalerite predominates. Finally, the results of geochemical analysis show that the metallic concentrations in copper values increase in depth, while the lead values decrease and the zinc and silver values are maintained.

**Keywords:** Esperanza body, lithological control, structural and mineralogical control



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. GENERALIDADES

El presente trabajo de investigación es realizado en los sectores de mineralización de la mina Yauricocha; es una contribución a las exploraciones e investigaciones que realiza la Empresa Sociedad Minera Corona S.A. para la comunidad geológica y estudiantes con especialidades relacionadas con la minería. Para esta investigación se tomó como referencia principal los trabajos del año 2014 donde se realizaron 05 taladros de exploración geológica en interior mina, al NW de los cuerpos centrales de Yauricocha denominados Catas, Antacaca, Rosaura y Antacaca Sur. Donde se logra interceptar el cuerpo polimetálico Esperanza ubicada a 400 metros de los cuerpos principales con resultados extraordinarios en cuanto a leyes, el cual ha incrementado considerablemente los recursos y reservas de mineral de la mina.

En la etapa de evaluación e investigación del tipo de mineralización en el cuerpo Esperanza se consideraron dos factores primordiales para conceptualizar la ocurrencia mineral que normalmente se presenta en el distrito minero Yauricocha; el control litológico y el control estructural, que están estrechamente relacionados y también a los controles de alteración (zonas de alteración calco-silicatadas); con todos estos parámetros se pretende efectuar la interpretación de los eventos de mineralización con énfasis en la paragénesis de yacimiento.

La premisa de los controles de mineralización se interpreta en base a los trabajos de mapeo de las estructuras mineralizadas, preferentemente en fallas, fracturas que controlan la mineralización así como las características litológicas en interior mina en sus





diferentes niveles explorados y explotados; para posteriormente correlacionar e interpretar con los planos geológicos y las estructuras regionales en base a imágenes satelitales a escala regional y distrital y definir las zonas de mineralización en superficie que puedan ser objetivos de exploración.

El marco geológico local presenta litologías que corresponden al Cretáceo que contienen rocas calcáreas de la Formación Jumasha, con espesor variable de 700 metros, Sobreyaciendo concordantemente a esta unidad está la Formación Celendín, constituida por lutitas silicificadas con intercalaciones de caliza recristalizada con espesor promedio de 400 metros. Estas rocas sedimentarias se encuentran intruidos por stocks y diques de composición calco alcalino como; granodioritas, tonalitas, cuarzodioritas y cuarzomonzodiorita.

La mineralización del distrito minero está asociada a las intrusiones granodioríticas que predominan en la mina Yauricocha, Cachi Cachi e Ipillo, en el cual presenta skarns con ensambles de magnetita-hematita-esfalerita-galena-calcopirita-marmatita; toda esta secuencia de minerales está, sobreimpuesta por mineralización de alta sulfuración con enargita-covelita-calcopirita-bornita-tenantita-tetraedrita, el cual presenta una zonación lateral y vertical, que es cortada por fluidos de sulfidización intermedia polimetálica con galena - galena argentífera – esfalerita – calcopirita - geocronita  $\pm$  cobres grises y sulfosales de plata; además se encuentran también sobreimposiciones de mármol, rocas corneanas y skarn iniciales (Miranda y Morán, 2013).



## 1.2. ANTECEDENTES

Sociedad Minera Corona S.A. fue constituida el 26 de abril de 1993. Un hito importante en la vida de la empresa se marcó el 6 de marzo del 2002 cuando suscribió el contrato de transferencia de concesiones mineras con la Empresa Minera del Centro del Perú (CENTROMIN) por el cual adquirió la propiedad de las concesiones mineras de Yauricocha, ubicadas en la provincia de Yauyos, departamento de Lima. El 25 de mayo de 2011, un grupo de accionistas de la Compañía y Dia Bras Exploration Inc. (hoy Sierra Metals Inc.), a través de Dia Bras Perú S.A.C. (su subsidiaria peruana), suscribieron un acuerdo de adquisición por aproximadamente el 92.12% de las acciones con derecho a voto de la Compañía (aproximadamente el 81.65% del total del patrimonio) por US\$ 285'793,017.00 en conexión a un acuerdo vinculante fechado 3 de marzo de 2011; así, la Compañía se convirtió en parte del grupo económico Sierra Metals a través de Dia Bras Perú S.A.C. A continuación, se resume el contexto geológico de este yacimiento de algunos geólogos que realizaron estudios de esta mina.

BizaLab (2016) hace un estudio microscópico sobre 44 muestras de mineral en estructuras mineralizadas y rocas caja de los cuerpos Esperanza y Cuye del distrito minero Yauricocha. En este estudio 10 muestras fueron para estudio mineragráfico y 10 para estudio petrográfico (Esencialmente con luz reflejada y luz transmitida). Dichos estudios ofrecen una valiosa información relativa a la naturaleza de sus componentes (esencialmente minerales metálicos), rasgos morfológicos, tamaños, texturas, porcentajes, modos de ocurrencia, asociaciones entre ellos y relaciones espaciales, estableciendo de esta forma una secuencia de formación (o secuencia paragenética) probable de los mismos, con lo cual se genera la información necesaria para una mejor interpretación de la zona de estudio.



Miranda y Morán (2013) en su informe denominado: Reserva, Recursos y Potencial del Distrito Minero de Yauricocha, indican que la mineralización inicial asociado a las intrusiones granodioríticas Yauricocha e Ipillo, presenta skarns con ensambles de magnetita-hematita-esfalerita-galena-calcopirita-marmatita, sobreimpuesta por mineralización de alta sulfuración con enargita-covelita-calcopirita-bornita-tenantita-tetraedrita. Existe una clara zonación lateral y vertical, y finalmente, cortados por fluidos de sulfidización intermedia polimetálica con galena-galena argentífera-esfalerita calcopirita-geocronita  $\pm$  cobres grises y sulfosales de plata.

Rodríguez (2008) hace un estudio sobre la Falla Chonta, esta falla tiene mucha relación con Yauricocha, y menciona lo siguiente. De lo descrito líneas arriba, se puede apreciar que a pesar de la existencia de numerosos yacimientos y prospectos a lo largo de la zona de influencia del sistema de fallas Chonta, no existen estudios estructurales que muestren la relación entre la tectónica y la mineralización, por lo tanto, un estudio estructural regional a lo largo del sistema de fallas Chonta, acompañado de un estudio geoquímico de los yacimientos asociados, permitirá determinar zonas estructurales con diferentes características geoquímicas, con la finalidad de poder identificar nuevas áreas con interés exploratorio en yacimientos auríferos o polimetálicos.

Jurado (2006) en su tesis titulada: *Distal Alteration in the Carbonate-Hosted Replacement and Skarn Systems at Yauricocha, Central Perú*. Menciona que Yauricocha, es un sistema magmático hidrotermal de Zn-Pb-Cu-Ag dividido en zonas alrededor de un intrusivo del Mioceno tardío stock de cuarzodiorita y cuarzomonzonita, que se introdujo a las rocas calizas y margas del Cretácico de las formaciones Jumasha y Santoniano Celendín. Pliegues de tendencia noroeste controlaba el emplazamiento de las existencias, depósitos de reemplazo de carbonato de sulfuro en Mina Central, depósitos de skarn en



Cachi Cachi, y mineralización de A 'Estilo Carlin' en Purisima Concepción. Las vetas metálicas de pórfido-Cu, Au y Ag-Cu de bajo grado se encuentran dentro del stock.

Giletti & Day (1968), mencionan que en la zona de estudio la roca con mayor área expuesta es la caliza de la Formación Jumasha correspondiente a las edades del (Cretáceo Medio) con espesor de 700 metros, sobreyaciendo concordantemente con la Formación Celendín del (Cretáceo Superior) conformada por lutitas silicificadas con intercalaciones de caliza recristalizada con espesores en promedio de 400 metros y sobreyaciendo concordantemente con las capas rojas de la Formación Casapalca que corresponde al Cenozoico Inferior (Paleógeno), constituidas principalmente por Lutitas Rojas Calcáreas y la fase intrusiva que se desarrolló mayormente en el Mioceno-Plioceno, en el área de Yauricocha, es de composición granodiorítico, diorita, cuarzodiorítico y cuarzomonzodiorítico correspondientes a las edades entre 7.4 M.a. datados por el método K/Ar.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El interés principal en las exploraciones es la identificación de nuevos cuerpos mineralizados para incrementar los recursos y las reservas, con esto prolongar la vida útil de la mina; el cuerpo Esperanza es un descubrimiento; que cubre la expectativa sobre el incremento de recursos y reservas, con valores económicos, para que la empresa siga en competencia y se consolide en la bolsa de valores. En este tipo de inversiones es fundamental contar con recursos y reservas económicas que garanticen la continuidad de la mina para lo cual también se evalúan el mineral marginal que contienen las estructuras identificadas.

Actualmente no se cuenta con trabajos de investigación relacionados a los



controles geológicos de mineralización y eventos magmáticos del cuerpo Esperanza en la mina Yauricocha. Este trabajo contribuirá a un mayor conocimiento de los aspectos de la mineralización en el cuerpo Esperanza, el cual servirá como guía para seguir explorando nuevos sectores mineralizados con Zn-Pb-Ag y Cu con las mismas características al cuerpo Esperanza y también continuar con la investigación de otros minerales relacionados a estos eventos magmáticos.

Con este estudio se pretende demostrar el tipo de roca encajonante que alberga la estructura mineralizada, los tipos de intrusivos que están asociados a la mineralización y el control estructural del cuerpo Esperanza.

Los cuerpos intrusivos existentes en Yauricocha son de composición granodiorita, las cuales tienen edades entre 7.4 M.a. datados por el método K/Ar. (Giletti & Day, 1968) *Potassium-Argon Ages of Igneous Intrusive Rocks in Peru* y 7.7 M.a (Stewart, Evernden, & Snelling, 1974) *Age Determinations from Andean Peru a reconnaissance survey* También parte del estudio es determinar cuál de estos intrusivos tiene relación con la mineralización.

#### **1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la explotación de un yacimiento minero la actividad principal es el proceso de beneficio del mineral, uno de los trabajos más importantes es la de incrementar los recursos, es decir aumentar las reservas de mineral para darle más vida a la mina o ampliar los años a la explotación del yacimiento. Para lograr ello, se realizan campañas de exploración los cuales llevan dentro de ellos la inversión en investigación; en el cual se empiezan hacer estudios geológicos de diversa índole, en esta etapa la participación del geólogo es crucial para la ubicación de nuevas zonas de interés exploratorio. Estos nuevos



sectores son estudiados con detenimiento y se elaboran mapas con cartografía geológica a detalle, estudios de controles geológicos, estudios geoquímicos sistemáticos, estudios microscópicos para ver las relaciones mineralógicas con la ganga, estudios geofísicos para conocer la profundización de las estructuras mineralizadas y finalmente llegar a ejecutar perforaciones diamantinas.

En nuestro caso, los controles geológicos que interviene en la mineralización forman parte de una información de mucho interés, que se utiliza para hacer comparaciones entre mineralizaciones ya conocidas y las nuevas zonas que tienen igual o similar mineralización, estas nuevas zonas son potenciales áreas para convertirse en nuevas minas, por lo tanto, se plantean la siguiente pregunta:

¿Cuáles son los controles geológicos que intervienen en la mineralización del cuerpo Esperanza, de la Mina Yauricocha?

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar los controles geológicos que tienen relación con la mineralización de Zn-Pb-Ag-Cu en el Cuerpo Esperanza, Mina Yauricocha.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar los tipos litológicos como roca huésped para la mineralización de Zn, Pb, Ag y Cu en el Cuerpo Esperanza.
- Determinar las relaciones en el contexto estructural y mineralización de Zn, Pb, Ag y Cu en el Cuerpo Esperanza, Mina Yauricocha.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En este capítulo se describen el contexto de la geología regional y la metalogenia enfocado en el centro del Perú, este sector central es importante por presentar un conjunto de depósitos minerales polimetálicos; que se emplazan en secuencia de rocas sedimentarias detríticas y calcáreas del Cretáceo, que afloran sobre el basamento de las rocas del Paleozoico inferior. Estos depósitos se encuentran intruidos por un conjunto de estructuras ígneas como: stocks, diques y otros cuerpos menores de composición generalmente calco-alcalina, constituidas; de cuarzo, plagioclasas, biotitas, augitas y hornblendas, que por lo general se han generado en las zonas de contacto. También se han formado depósitos importantes de mineralización de tipo skarn y de reemplazamiento en algunas zonas favorables y pequeñas zonas con características de pórfidos. En las zonas de skarn, como el caso de Yauricocha, Antanima, Atacocha que se encuentra emplazada en calizas de la Formación Jumasha.

El marco geológico regional, corresponde a la franja metalogénica de yacimientos polimetálicos del Mioceno (Ver anexo A); donde se ubica la zona de estudio que comprende un ambiente geológico de mucha actividad magmática y tectónica, en el que predominan las rocas sedimentarias, que estratigráficamente cubre la mayor extensión superficial de la zona, con edades que van desde el Jurásico superior hasta el Cenozoico. Estas unidades estratigráficas han sufrido intrusiones de rocas ígneas plutónicas de granodioritas, dioritas, cuarzodioritas; que, al entrar en contacto con las rocas sedimentarias, han originaron rocas metamórficas como mármol, corneanas (hornfels),



como consecuencia de la actividad magmática se han desarrollado yacimientos de metasomatismo de contacto en las rocas sedimentarias de la Formación Jumasha y Celendín. El Cuaternario está compuesto por depósitos morrénicos, fluvio-glaciares, fluviales, coluviales y eluviales.

Comprende también una serie de plegamientos y fallas regionales como la falla Chonta que ha deformado a las formaciones geológicas, dándole una expresión topográfica accidentada, pero que ha sido suavizada por la acción glacial que ha originado la superficie andina actual (Carlotto et al., 2009).

El proyecto Yauricocha se ubica en los dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú está en la franja XXI. Franja de pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno. El tercer evento magmático de 10-5 Ma está representado por pórfido Cu-Mo (Au) de Río Blanco en el norte del Perú, mientras que Toromocho y Puy Puy al sur de la franja. Los intrusivos de este último evento, en contacto con rocas calcáreas del Cretácico (9°-12°30'S) desarrollaron skarns y cuerpos de reemplazamiento de Cu-Zn y Pb-Zn-Ag, como Antamina, Huanzalá, Pachapaqui, Raura, Uchuchacua (aunque puede ser más antigua), Huarón, Yauricocha, entre otros. Igualmente, los intrusivos han generado vetas y cuerpos de reemplazamiento de Pb-Zn-Ag, similares a Yauliyacu-Casapalca, Morococha, Mina Solitaria y San Cristóbal, este último con una edad de aproximadamente 6 Ma (Noble & McKee, 1999; Carlotto et al., 2009).

## **2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL**

Regionalmente Yauricocha se encuentra entre la influencia del sistema de fallas Chonta es una estructura regional de dirección NO-SE que se sigue desde 12°30' al sur,





hasta 8°00' (Ver anexo B). Al norte en plena Cordillera Occidental del Perú central. La dirección promedio del sistema de fallas es N135° y el buzamiento al suroeste. En el bloque techo afloran mayormente unidades cenozoicas y en el bloque piso unidades del Triásico al Cretácico. Más al sur, el sistema de fallas Chonta se une con el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos y parece constituir el límite de los basamentos precámbricos de La Amazonía, Arequipa y Paracas. La mineralización aurífera se presenta en depósitos diseminados del tipo alta sulfuración (Corihuarmi, Picomachay, Arcopunco, Terciopelo y Huamanraso) y en depósitos relacionados a reemplazamiento de calizas con cierta analogía a un yacimiento del tipo Carlín como Tucumachay y al norte de la mina Yauricocha (Rodríguez, 2008).

La falla Yauricocha es una estructura local, parte del sistema de fallas Chonta, con dirección NO-SE, es la de mayor importancia en este distrito donde se ubica la zona de estudio, esta estructura ejerce un fuerte control en los depósitos de reemplazamiento del sulfuro en las rocas carbonatadas y depósitos del tipo Skarn de Ag, Pb, Zn y Cu.

Esta falla exhibe una traza tangible de 10.0 km de largo con dirección, una vista en la imagen satelital demuestra que su traza se extiende por más de 16 km y se encuentra cortando rocas sedimentarias de la Formación Jumasha, Formación Celendín, Formación Casapalca y un intrusivo granodiorítico. También coloca, en la misma elevación a las calizas Jumasha como caja piso y las lutitas del Celendín como caja techo, los cuales tienen buzamientos hacia el NO con ángulos que varían entre 75° y 80°, estos buzamientos son convergentes a la inclinación regional del Sistema de fallas Chonta con inclinaciones menores a 80° al Suroeste. Por las evidencias de campo, el buzamiento de la Falla Yauricocha, converge con el buzamiento regional del sistema de la Falla Chonta.



Lo que hace suponer que ambos se formaron como respuesta a un movimiento compresivo inicial, seguido por una relajación extensional, (Miranda y Morán, 2013).

### **2.3. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL**

En el área de Yauricocha afloran rocas sedimentarias de la era Mesozoico, sistema Cretácico hasta el Paleógeno y Neógeno, con intrusivos y rocas volcánicas que sobreyacen a las formaciones calcáreas fuertemente deformadas y plegadas.

#### **2.3.1. Grupo Goyllarisquizga**

Las rocas más antiguas expuestas en el área son las areniscas del grupo Goyllarisquizga del Cretáceo Inferior. Este grupo de aproximadamente 300 m de espesor está constituido por areniscas gruesas blancas a grises, localmente bandeadas con lutitas carbonáceas, así como pequeños mantos de carbón de mala calidad y arcilla. En las cercanías de Chaucha, estas areniscas presentan intercalaciones de lutitas rojas en la base, las areniscas afloran en los núcleos de los anticlinales al SO de Yauricocha y como capas dispersas a lo largo de la "zona revuelta de Chacras" así como en afloramientos aislados en la zona de Éxito.

#### **2.3.2. Formación Pariahuanca**

Las rocas más antiguas expuestas en el área, son las areniscas de la formación Goyllarisquizga del Cretáceo Inferior. Esta formación incluye una unidad superior llamada Pariahuanca. Se compone de arenisca cuarzosa de grano grueso, que contrasta fuertemente con las limolitas rojas del tope de la Formación Carhuaz infrayacente. Luego vienen areniscas en bancos de 0,5 a 1 m con cemento calcáreo y a veces dolomitizado e intercalados con delgadas capas de margas arenosas y estratificaciones oblicuas.



Las areniscas que siguen se vuelven cada vez más calcáreas y en ellas se intercalan unas pocas calizas que más arriba se vuelven numerosas e intercaladas con margas. Estas calizas son por lo general oolíticas con un cemento micrítico esparítico y contienen intraclastos y bioclastos, formados estos últimos por restos de briozoarios, equinodermos, gastrópodos, pelecípodos y foraminíferos (Megard et al., 1996).

### **2.3.3. Formación Chúlec**

Está constituida por margas con bancos de calizas. Tanto las calizas como las lutitas son de color azul grisáceo, y por intemperismo amarillo y crema que es lo que las caracteriza. La formación Chulec es una de las más fosilíferas del Cretáceo, correspondiendo al Albiano inferior a medio (Cobbing, 1973).

### **2.3.4. Formación Pariatambo**

Esta formación consiste esencialmente de margas de color marrón oscuro o gris, con horizontes bien marcados de caliza nodular o tabular de color gris oscuro o negro (se hallan a través de todas las secuencias) y otros nodulares de Chert gris oscuro. Según lo mencionado por (Cobbing, 1973).

### **2.3.5. Formación Jumasha**

En forma concordante sobre la formación Pariatambo, se encuentra la Formación Jumasha del Cretáceo Medio. Esta formación está constituida con espesor promedio de 700 m consistente de caliza masiva de color gris claro. En la base, cerca al contacto con las areniscas, incluye intercalaciones de lutitas carbonosas. Estos estratos están distribuidos por una secuencia de lentes discontinuos de calizas marrones y grises, ocasionalmente con horizontes lutáceos y silíceos de unos 6,00 m de espesor. También



están presentes pseudo brechas de probable origen sedimentario y un sill de basalto en la secuencia.

### **2.3.6. Formación Celendín**

Sobreyaciendo concordantemente a las calizas Jumasha, se encuentra la formación Celendín; formada por lutitas silicificadas finamente estratificada con intercalaciones de caliza recristalizada de edad Santoniana. Su espesor promedio, en el área de Yauricocha, es de 400 m, que se encuentra en la secuencia sedimentaria de rocas calcáreas.

A esta unidad que anteriormente se le consideraba como estratos inferiores de las capas rojas Casapalca, localmente se le ha denominado France Chert en la zona de Yauricocha.

### **2.3.7. Capas rojas de la formación Casapalca**

Esta formación sobreyace concordantemente a la formación Celendín siendo su contacto gradacional localmente. Se le ha asignado una edad entre el cretáceo superior y el terciario Inferior; ya que la ausencia de fósiles no permite datarla con exactitud. Está constituida principalmente por lutitas rojas calcáreas, calizas puras y calizas arenosas rojizas, ocasionalmente se ha reportado la presencia de flujos de lava y capas tufáceas en la parte superior.

### **2.3.8. Formación Tantará**

La formación Tantará está compuesta esencialmente por derrames andesíticos a riódacíticos de color gris, pardo y violáceo, los cristales de minerales muestran una textura porfirítica y a veces afanítica. En forma subordinada están asociadas rocas piroclásticas



de la misma composición, así como horizontes de areniscas volcanodetríticas o volcanosedimentarias.

Es la más antigua de las formaciones volcánicas de la cobertura post-mesozoica, aflora principalmente en sus bordes y en el núcleo de algunos anticlinales. Cubre una extensa superficie de erosión cortada en las estructuras plegadas y escurridas de la fase incaica que afectan las series mesozoicas y las capas rojas (Megard et al., 1996).

### **2.3.9. Depósitos Cuaternarios**

Los depósitos cuaternarios están constituidos por cantos, rodados, gravas englobados en una matriz de arena y limo; asociados a fragmentos líticos de calizas grises mal conservadas, cubiertos con una cobertura de vegetación de pastos naturales propias de las zonas alto andinas de gramíneas e ichu.

### **2.3.10. Intrusivos**

La actividad magmática que generó rocas intrusivas se desarrolló mayormente en el Mioceno lo cual es corroborados por estudios hechos mediante el método Ar-K en biotitas de muestras tomadas en el área de Yauricocha, dan una edad promedio de 6,9 millones de año (Giletti & Day, 1968).

Los Intrusivos presentan contactos definidos y de gran ángulo con los sedimentos, así como una neta tendencia a seguir el rumbo regional y plano de estratificación. Los intrusivos varían gradualmente en tamaño, desde cuerpos de unos cuantos cientos de metros cuadrados hasta grandes masas que han cubierto varios kilómetros cuadrados. Es común la ocurrencia de apófisis pequeños en los bordes de los intrusivos mayores, su composición varía de granodiorita, diorita a cuarzo-monzonita en los bordes,



observándose macroscópicamente plagioclasas, ortosas, biotitas, hornblendas y cuarzos. Las plagioclasas, fluctúan desde oligoclasa hasta andesina, presentando comúnmente textura porfirítica y núcleos de zonación. En una caracterización microscópica se observa, que corresponde a una diorita alterada y deleznable. Predomina la alteración argílica en la zona de contacto, con presencia de sericitas, caolinitas, pirofilitas y cloritas en los minerales máficos.

### **2.3.11. Sill Basáltico**

En la parte occidental de la zona y cortando el camino Alis, encontramos rocas clasificadas como basalto, se ha ubicado en niveles de trabajo en la mina, encontrándolo principalmente emplazado en la caliza Jumasha. Este basalto hacia su parte oriental se presenta como un anticlinal y hacia occidente como un sinclinal. Su edad no está determinada con exactitud, en niveles inferiores se ha observado que corta al intrusivo observándose esto también al NO, por lo que probablemente sea posterior al intrusivo. El sill basáltico muestra una textura de grano fino, constituido por feldespatos, plagioclasas cálcicas, olivino, serpentina y esporádicamente pirita y magnetita, en muestra de mano presenta un color verdoso a gris oscuro.

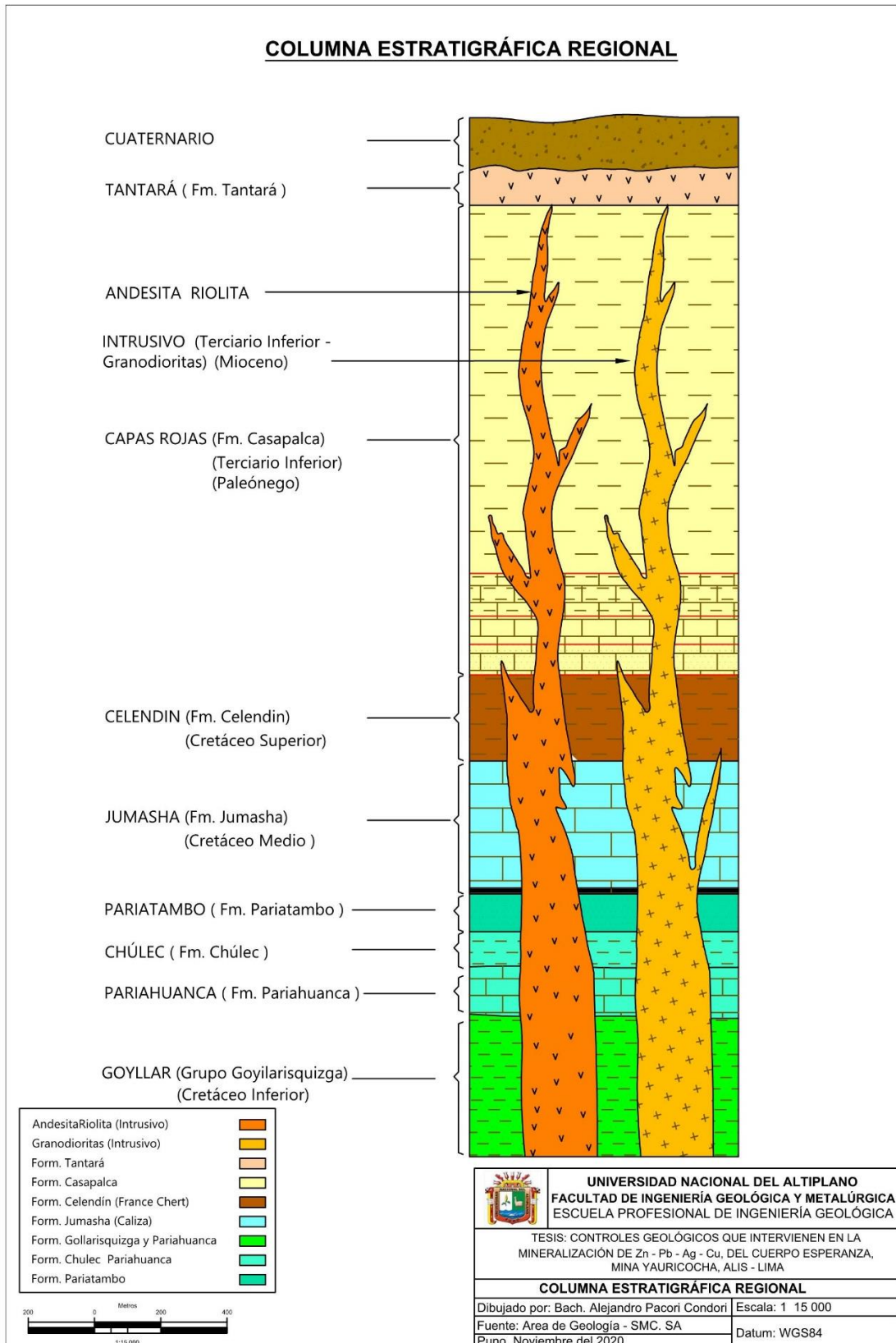


Figura N° 2. 1. Columna estratigráfica regional. Fuente: Sociedad Minera Corona S.A.

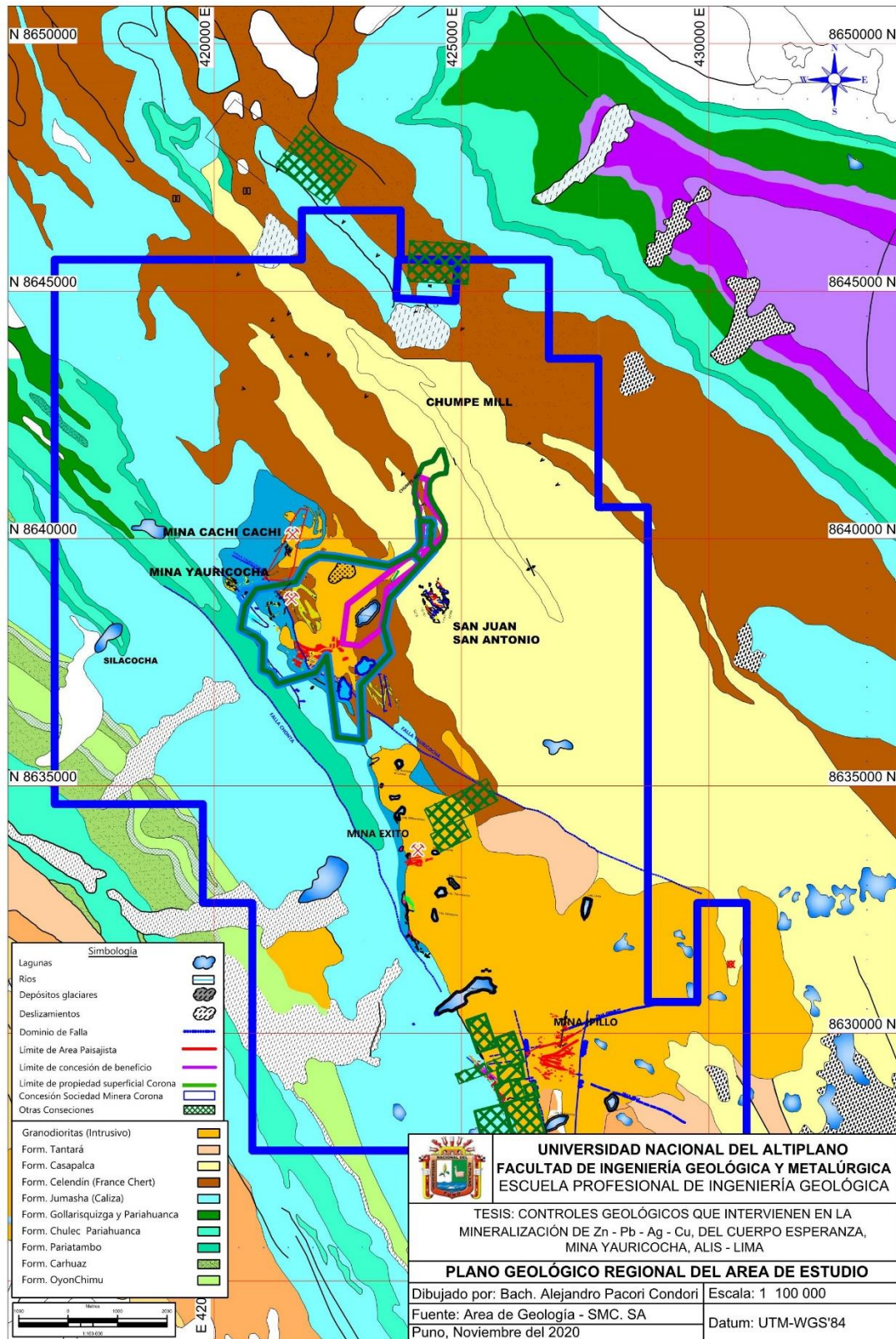


Figura N° 2. Plano geológico regional que circunscribe la zona de estudio. Fuente: Sociedad Minera Corona S.A.



## 2.4. MARCO CONCEPTUAL

### 2.4.1. Formación de depósitos de skarn

En este capítulo se expone diferentes investigaciones para comprender el esquema conceptual de la formación del yacimiento Yauricocha. De acuerdo a las investigaciones científicas en este acápite se mencionará los principales conceptos que se conocen en la actualidad sobre depósitos de tipo reemplazamiento en rocas carbonatadas y skarn. El término skarn fue introducido por petrólogos metamórficos suecos para designar rocas metamórficas regionales o de contacto constituidas por silicatos de Ca, Mg y Fe derivados de un protolito de calizas y dolomitas en las cuales se ha introducido metasomáticamente grandes cantidades de Si, Al, Fe y Mg.

De modo que se entiende por skarn rocas que contienen minerales calcosilicados, tales como, por ejemplo: diópsido, wollastonita, granate andradita y actinolita. Estas comúnmente ocurren en aureolas metamórficas de contacto en torno a plutones que intruyen secuencias calcáreas (Maksaev, 2003).

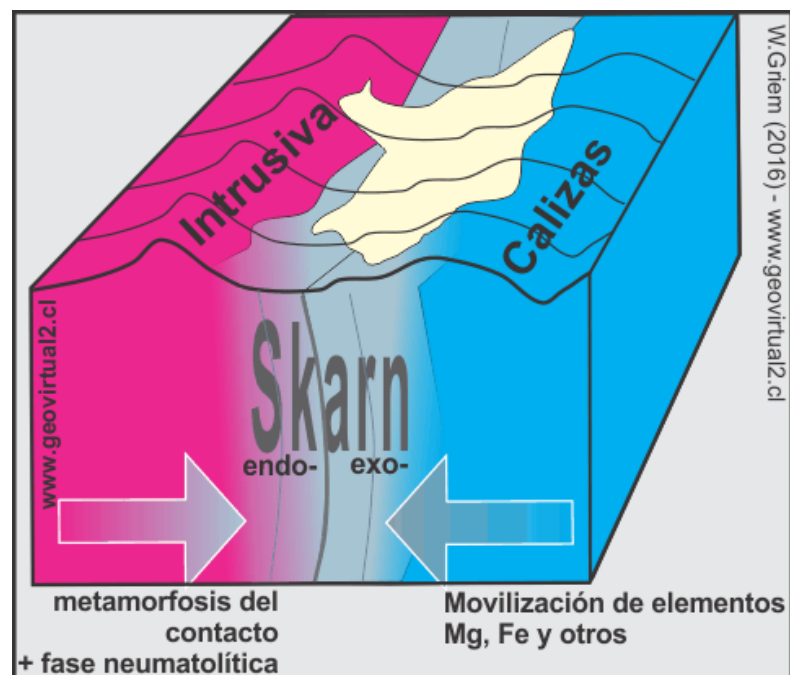


Figura N° 2. 3. Proceso de formación de yacimientos de contacto Skarn. Imagen tomada de Griem (2020).

A este tipo de rocas metamórficas se asocia un variado grupo de depósitos minerales extremadamente irregulares, los que pueden formar lenguas de mena que se extienden a lo largo de cualquier estructura planar (estratificación, diaclasas, fallas, etc.) y su distribución dentro de la aureola de contacto de un intrusivo es a menudo caprichosa. Los cuerpos de mena pueden terminar abruptamente con cambios en la estructura.

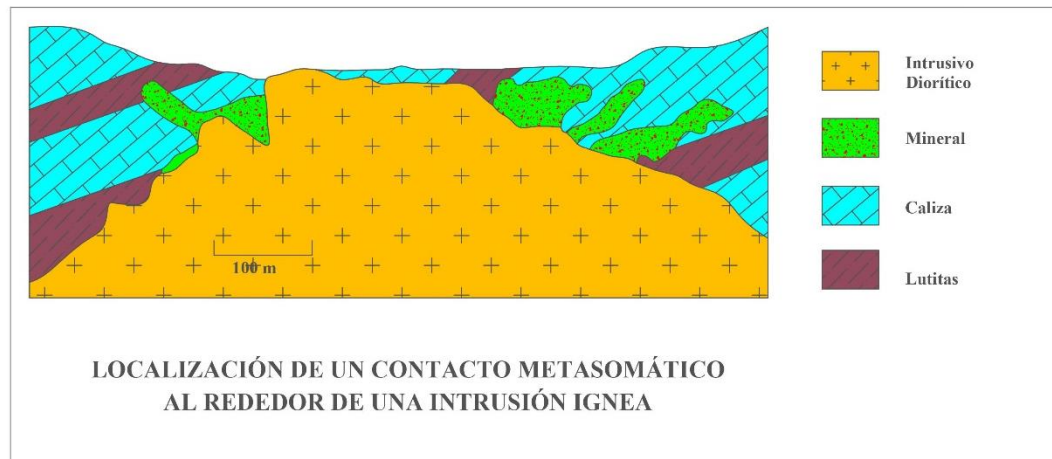


Figura N° 2. 4. Localización de un contacto metasomático alrededor de una intrusión.  
Fuente: <https://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/skarn/skarn.htm>

Los depósitos de tipo skarn han sido denominados por Lindgren (1922)<sup>1</sup>, como:

- Metamórficos hidrotermales.
- Metamórficos ígneos.
- Metamórficos de contacto.
- Pirometasomáticos

Sin embargo, el término skarn es ampliamente utilizado y es adecuado para referirse a este tipo de depósitos relacionados a aureolas de contacto de intrusiones dentro de secuencias calcáreas (calizas, dolomitas). Estas últimas rocas formadas por calcita o

---

<sup>1</sup> Tomado de <https://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/skarn/skarn.htm>



dolomita ( $\text{CaCO}_3$  y  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) se convierten en mármoles, rocas córneas calcosilicatadas (hornfels) y/o skarns por el efecto del metamorfismo de contacto.

Los minerales calcosilicatados diópsido (clinopiroxeno), andradita (granate cálcico) y wollastonita (piroxenoide) son los dominantes en skarn mineralizados e indican, junto con otras evidencias, que el rango de formación de skarn es en general de  $400^\circ\text{-}600^\circ\text{C}$ . Aunque los skarn de Zn-Pb se forman a temperaturas más bajas, en términos generales en el proceso de formación de skarn están involucradas altas temperaturas. La presión es variable y estos depósitos se forman de 1 a varios Km de profundidad.

#### **2.4.2. Etapas de evolución y profundidad de los depósitos de skarn**

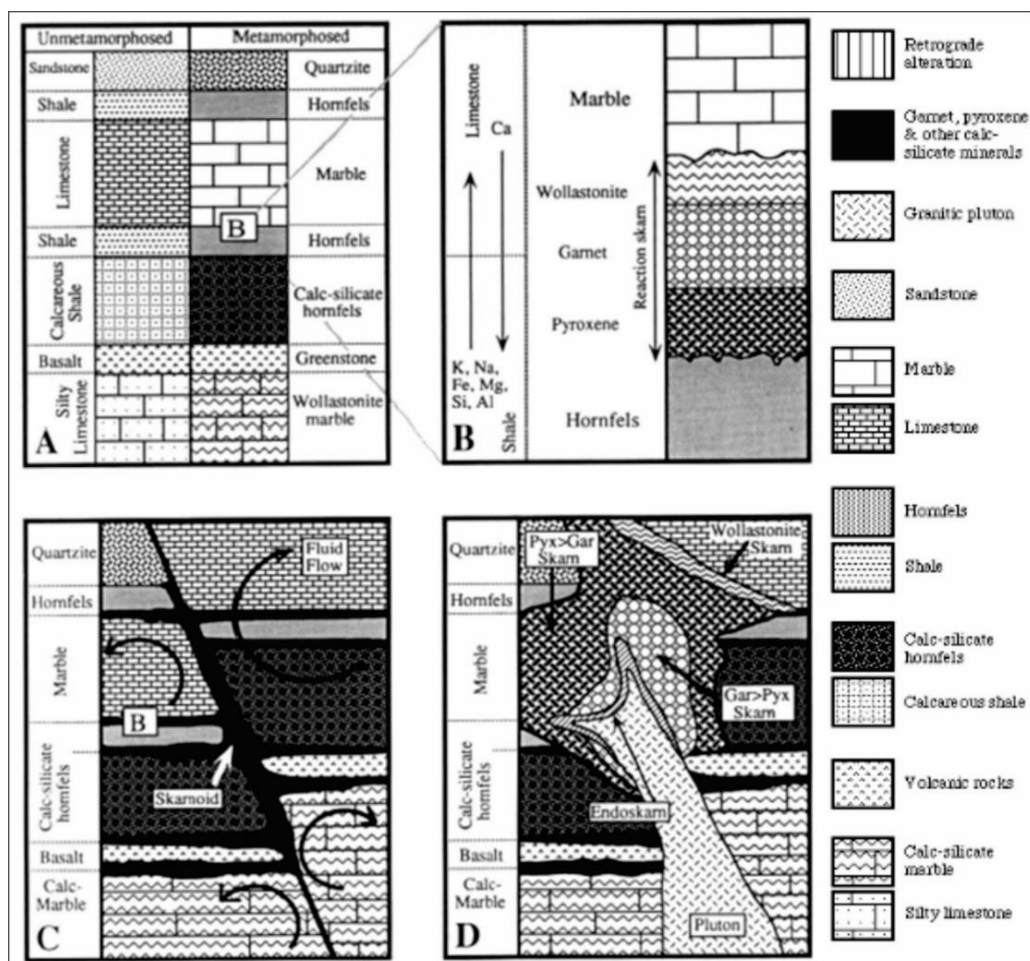
Cabe destacar que el desarrollo de skarn depende de la profundidad de formación. A niveles más someros el skarn metasomático tiene amplia extensión lateral pudiendo sobrepasar la aureola metamórfica, mientras en profundidad es relativamente pequeño comparado con la aureola de metamorfismo. Por su parte, la alteración retrógrada es más extensa a niveles más someros (ya sea un skarn más somero o partes superiores de un sistema de tipo skarn), puesto que está controlada por la circulación de fluidos y la participación de aguas meteóricas en la fase tardía del sistema (Meinert, 1992).

El contenido de metales y la mineralogía de depósitos skarn son formados por depósitos minerales originados por hidrotermalismo, reflejando una combinación de factores, de los cuales son importantes: el contexto tectónico, composición del magma, composición de los fluidos metasomáticos en esta fuente y el ambiente local en el cual estos fluidos se infiltran.

El metamorfismo de contacto afecta a las rocas de caja, pero es frecuente que la intrusión también sufra efectos metasomáticos. Esto resulta en una zonación que son

denominados como endoskarn (minerales calcosilicados dentro del intrusivo) y exoskarn (skarn en las rocas calcáreas). El endoskarn ocurre principalmente en los alrededores de los plutones intrusivos donde el flujo de fluidos fue hacia adentro del plutón o paralelo al contacto de éste, pero usualmente están ausentes en las cúpulas de intrusiones con mineralización de tipo pórfido debido a que domina el flujo ascendente de los fluidos provenientes del plutón.

La formación de depósitos de tipo skarn involucra esencialmente tres etapas: y dos tipos de alteración bien marcada, los cuales son descritos en los párrafos siguientes: Metamorfismo isoquímico (recristalización), etapas múltiples de metamorfismo (cristalización y liberación de fluidos del magma) y alteración retrograda (circulación de aguas meteóricas).



*Figura N° 2. 5. Etapas de evolución de un plutón asociado a depósitos tipo Skarn. (A) Existe metamorfismo isoquímico implica recristalización y cambios en la estabilidad mineral sin una transferencia de masa significativa. (B) Reacción de skarn resulta del metamorfismo de litologías intercaladas, como el hornfels y caliza, con transferencia de masa a escala. (C) Skarnoide resulta del metamorfismo de litologías impuras con alguna transferencia de masa por movimiento de fluidos a pequeña escala. (D) El skarn metasomático controlado con fluido generalmente de grano grueso. Fuente: Meiner (1992).*

#### **2.4.2.1. Alteración prógrada**

La alteración tipo skarn ocurre en el contacto inmediato entre el intrusivo y la roca huésped calcárea, tanto a nivel de exoskarn como endoskarn. En general estos yacimientos están asociados a intrusivos relativamente profundos, bien cristalizados y textura fanerítica granular. Presencia de mineral anhidros como la magnetita e implica el metamorfismo isoquímico y etapas múltiples de metamorfismo.

#### **Metamorfismo isoquímico**

Recristalización metamórfica y cambios mineralógicos reflejando el protolito y circulación de fluidos a alta temperatura formando minerales calcosilicatados. Incluye además el desarrollo de: mármol, rocas córneas, cuarcitas, skarn de reacción, skarnoides, talco y wollastonita hacia la periferia. El metamorfismo de contacto es en gran medida un efecto térmico, aunque es probable que los fluidos circulen durante este proceso y sean en gran parte producto de reacciones metamórficas progradas y, por lo tanto, comprenden principalmente  $H_2O$  y  $CO_2$ . En las unidades de roca caliza, la zonación mineral es granate-vesuvianita + wollastinita-mármol.

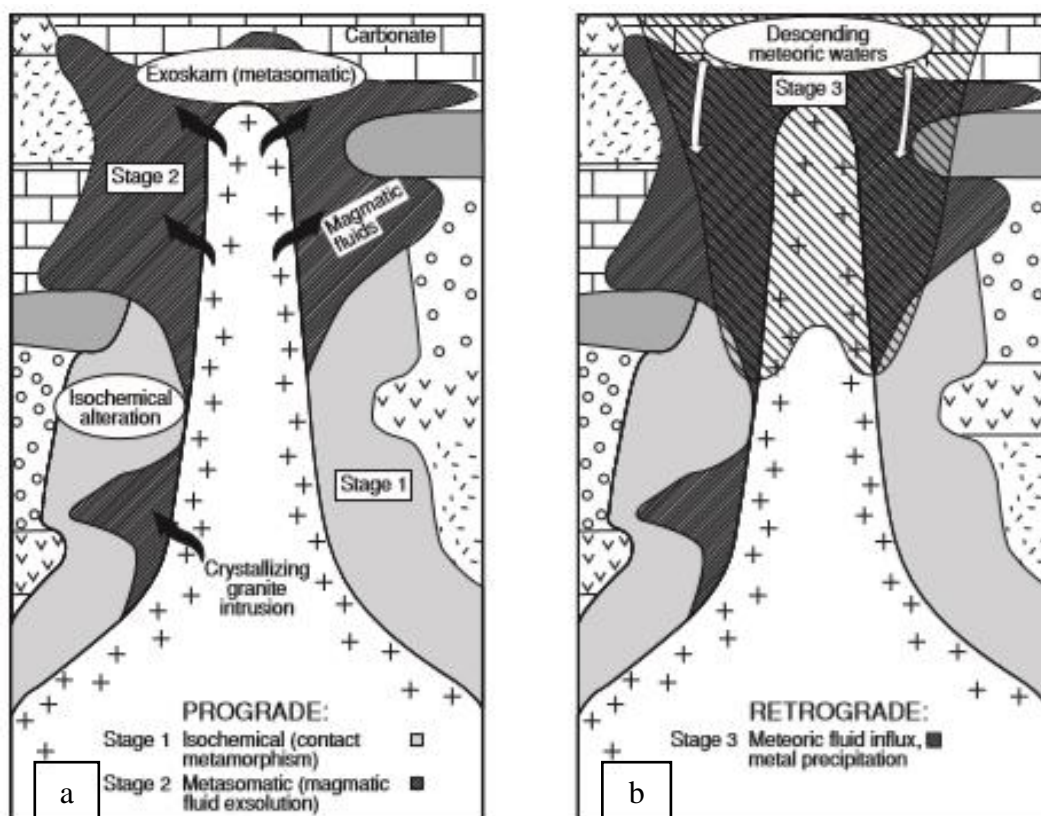
#### **Etapas múltiples de metamorfismo**

En esta etapa sucede cristalización del magma y liberación de una fase fluida produciendo skarn metasomático. Se forman principalmente minerales anhidros por acción de fluidos de derivación magmática a temperaturas de  $400^{\circ}$ - $800^{\circ}C$ . Usualmente en

esta etapa ocurre o comienza la mineralización. Segunda ebullición de exolución de fluidos hidrotermales.

#### 2.4.2.2. Alteración retrógrada

En esta fase acontece un enfriamiento del plutón y circulación de aguas de temperatura más baja (posiblemente meteóricas y oxigenadas) que causan alteración retrógrada de los minerales calcosilicatados metamórficos y metasomáticos. En esta etapa se forman nuevos minerales hidratados de temperatura más baja a partir de los minerales anhidros formados previamente. Incluyen: epidota, actinolita, clorita, tremolitas, hematita, calcopirita, y otras fases minerales hidratadas, típicamente con control estructural y sobreimpuestos a la secuencia de alteración prógrada (fallas, contactos estratigráficos o intrusivos). En algunos casos la mineralización se extiende también a esta etapa de retrograda en esta etapa descenden las aguas meteóricas.



*Figura N° 2. 6. La evolución de los depósitos de skarn relacionados con la intrusión que muestra las tres etapas secuenciales de formación. (a) Etapas progradada, y (b) etapa retrógrada, modificada por Corbett y Leach (1998). Fuente: Robb (2005).*

Por su parte, la alteración retrógrada es más extensa en los niveles más superficiales ó someros porque que está controlada esencialmente por la circulación de fluidos y la permeabilidad de la roca caja y también la participación de aguas meteóricas en la fase tardía del sistema.

La mineralogía de mena es conformada por magnetita y hematita los cuales se presentan en diseminaciones y vetas; una característica es que en la parte central de la alteración retrograda se presenta pirita-calcopirita y magnetita y a los bordes bornita, esfalerita y galena. Entonces los minerales anhidros ahora se hidratan y se forman minerales como epidota, biotita, clorita, plagioclasas, calcita, cuarzo a partir de los granates; la tremolita- actinolita y talco se forman partir de piroxenos y finalmente la serpentina se forma a partir del olivino.

Según Makshev (2003), la precipitación de minerales es favorecida por:

- La disminución de la temperatura
- Mezcla de fluidos (fluidos magmáticos y agua meteórica)
- La neutralización de los fluidos por la presencia de la roca carbonatada

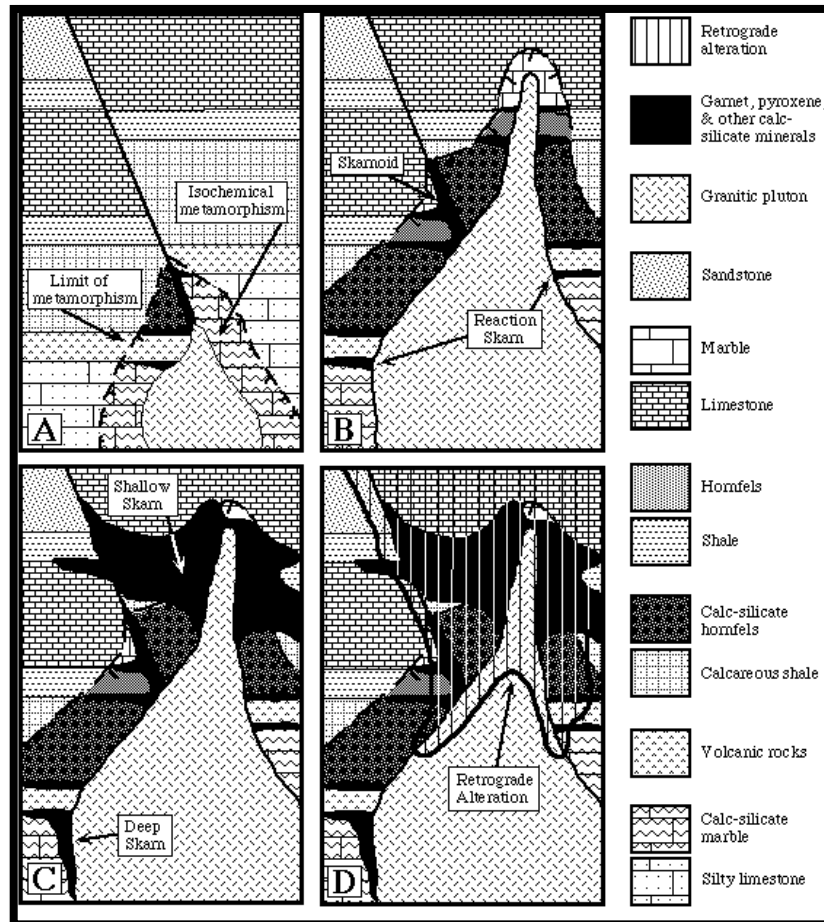


Figura N° 2. 7. Etapas evolutivas de depósitos de skarn asociados a un plutón. (A) Intrusión inicial que causa metamorfismo de contacto en las rocas sedimentarias. (B) Recristalización metamórfica y cambios de fases mineralógicas en la roca original, con fenómenos locales de metasomatismo y circulación de fluidos que forma diversos minerales del grupo calco-silicatados (A esto se le denomina reacción skarnoide). (C) Observe que en profundidad la aureola metamórfica es menor. En el tope del sistema a veces el proceso metasomático supera la aureola metamórfica. (D) El enfriamiento del plutón y la circulación de agua meteórica muy oxigenada causa alteración retrógrada. Fuente: Meinert (1992).

La mineralización en un skarn ocurre en dos zonas. Se subdividen según varios criterios. Exoskarn y endoskarn son los términos más utilizados para indicar protolito sedimentario o protolito ígneo, respectivamente.

El término skarn magnesiano y cálcico puede utilizarse para describir la composición del protolito dominante y minerales resultantes de skarn. Tales términos





pueden ser combinados, como en el caso de un exoskarn magnesiano que contiene forsterita - dióxido de un skarn formado de dolomita (Maksaev, 2003).

Según Meinert (1992), los tipos de metales asociados a skarns dependen principalmente de la fuente de los magmas y del marco tectónico de la región. Por su parte, los factores relevantes que controlan la evolución hidrotermal de los sistemas de tipo skarn son:

- Presión (profundidad de formación). A niveles más someros el skarn metasomático tiene amplia extensión lateral pudiendo sobrepasar la aureola metamórfica, mientras en profundidad es relativamente pequeño comparado con la aureola de metamorfismo. A mayor profundidad estos se concentran entre estratos o siguiendo un plano. A menor profundidad los fluidos serán más pervasivos, generando un fracturamiento hidráulico, y granos más gruesos.
- Estado de oxidación del magma (fugacidad de oxígeno).
- Grado de diferenciación del magma (cristalización fraccionada).
- Tiempo de separación del fluido (fase volátil del magma respecto a la cristalización del plutón).

La profundidad de la formación de skarn puede afectar el ancho total de las zonas de skarn. A profundidades mayores de 8 km, la presión ambiental y la temperatura son altas y la permeabilidad de las rocas de caja (carbonatos) puede ser muy reducido. La roca también puede volverse más dúctil, lo que dificulta el fracturamiento para producir tantos conductos de fluido como a poca profundidad donde las rocas son frágiles. Por lo tanto, el skarn es típicamente estrecho (<10 m) y mayor de 5 km en profundidad y la zonificación es menos visible, (Meinert, 1997, como se citó en Chang & Meinert, 2008).

La profundidad de la formación del skarn se determina basado en ciertas observaciones de campo como: “*Chilled margins*” (márgenes de enfriamiento) entre el contacto del intrusivo o dique con la roca caja en donde se forman pequeñas zonas de skarn, el tamaño de grano del intrusivo, matriz, morfología del plutón, brechas y “*brittle fracture*” (fractura por fragilidad) que son fracturas repentinas ya que no tienen tiempo para un comportamiento plástico en profundidad las rocas son más plásticas.

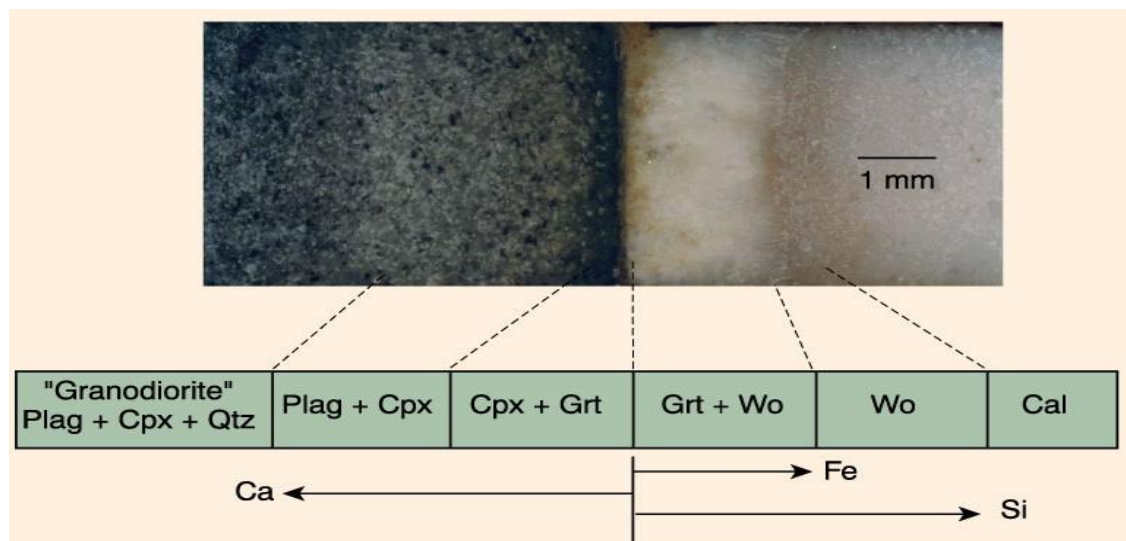


Figura N° 2. 8. Resultado de formación de minerales de skarn y reemplazamiento, contacto de calizas y roca plutónica con ensamblajes de minerales típicos en cada una de las zonas de skarn, mármoles e intrusivo. Fuente: Meinert (1992).

### 2.4.3. Marco tectónico

Los depósitos de tipo skarn ocurren en distintos marcos geotectónicos, dada la presencia de secuencias calcáreas y de intrusiones. La mineralización asociada dependerá de la composición de los magmas relacionados a cada ambiente geotectónico particular. Ambiente de formación de los skarn, referido a un arco magmático donde los intrusivos de composición media - ácida (diorita hasta granodioritas) entran en contacto con rocas sedimentarias del tipo calizas y dolomitas y de esta interacción suceden fenómenos de metamorfismo de contacto y que posteriormente con el enfriamiento del intrusivo se liberan fluidos que reaccionan con las calizas y sucede el fenómeno de metasomatismo (Meinert, 1992).



Por ejemplo, los depósitos de skarn cálcico de Fe-Cu son prácticamente el único tipo de skarn que se encuentra en los terrenos oceánicos de arco insular (Fig. 9a). Muchos de estos skarns también están enriquecidos en Co, Ni, Cr y Au. La gran mayoría de los depósitos de skarn están asociados con arcos magmáticos relacionados con la subducción debajo de la corteza continental (Fig. 9b). La composición de los plutones varía de diorita a granito, aunque las diferencias entre los principales tipos de skarn de metal base parecen reflejar el entorno geológico local (profundidad de formación, vías estructurales y fluidas) más que las diferencias fundamentales de la petrogénesis (Nakano et al., 1990). Durante esta etapa, el arco magmático puede ampliarse o migrar tierra adentro. Los plutones son de composición granítica y los skarns asociados son ricos en Mo o W-Mo con menor Zn, Bi, Cu y F (Fig.9). Los skarns asociados son ricos en estaño o flúor, aunque generalmente hay una gran cantidad de otros elementos presentes y pueden ser de importancia económica (Fig. 9d). Esta suite evolucionada incluye W, Be, B, Li, Bi, Zn, Pb, U, F y REE.

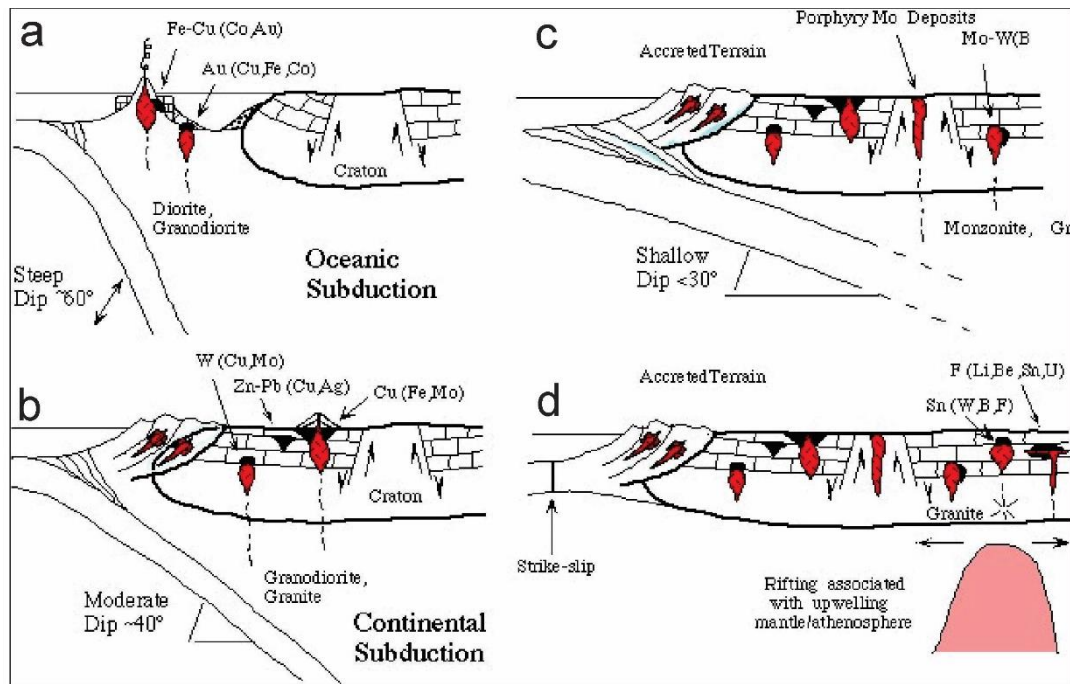


Figura N° 2. 9. Modelos tectónicos idealizados para la formación de depósitos de skarns. (a). Subducción oceánica y cuenca de arco posterior. (b): ambiente de subducción continental y placa oceánica. (c): Entorno de subducción transicional de ángulo bajo. (d): Ambiente posterior a la subducción o división continental (rifting). Fuente: <https://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/skarn/skarn.htm>.

#### 2.4.4. Mineralogía de depósitos de skarn

La identificación y clasificación de los depósitos skarn se basa en su mineralogía. Aunque muchos minerales skarn son minerales formadores de rocas típicas, algunos son menos abundantes y la mayoría tiene variaciones de composición que pueden proporcionar información significativa sobre el entorno de formación. La tabla N° 2.1 enumera muchos de los minerales skarn comunes y sus composiciones de miembros finales. Algunos minerales, como el cuarzo y la calcita, están presentes en casi todos los skarns. Otros minerales, como la humita, la periclasa, la flogopita, el talco, la serpentina y la brucita son típicos de los skarns de magnesio, pero están ausentes de la mayoría de los otros tipos de skarn. Además, hay muchos minerales que contienen estaño, boro, berilio y flúor que tienen paragénesis muy restringidas, pero localmente importantes.

Los minerales que son de gran utilidad para la clasificación y para la exploración de este tipo de yacimientos son: el granate, piroxenos y anfíboles, que están presentes en todos los tipos de skarn y que muestran marcada variabilidad de composición. Por ejemplo, el piroxenos manganíferos, actinolitas, johannsonita, se encuentra casi exclusivamente en skarns de zinc. Su presencia, sin mucha más información de apoyo, es definitiva para este tipo de skarn.

Simbolos de los diagramas ternarios y los miembros finales son: Ad = andradita, Al = almandina, Sp = spessartina, Hd = hedenbergita, Di = diopsido, Jo = johannsenita.

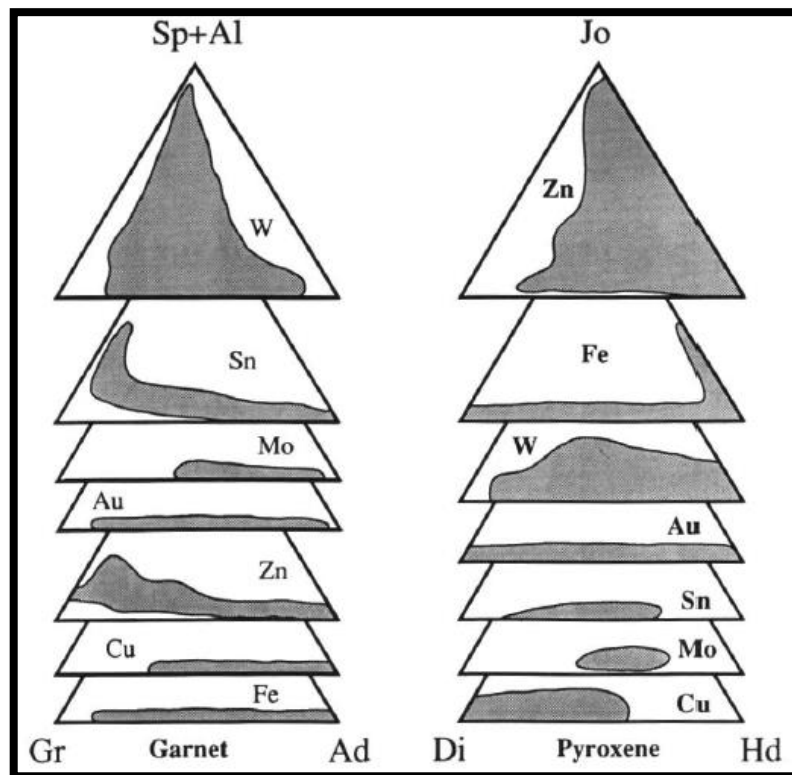


Figura N° 2. 10. Diagrama ternario composicionales de mineralogía cacosilicatada prógrada en Skarns y campos composicionales de para distintos tipos de Skarn de Fe, Cu, Zn, Au, Mo, Sn y W. Diagrama tomado de Einaudi et al., (1981).

Tabla N° 2. 1. *Minerales comunes e indicadores de Skarn.*

GRUPO GENERAL	MIEMBRO EXTREMO	ABREVIATURA	COMPOSICION QUIMICA	OBSERVACIÓN
Granate	Grosularia	Gr	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	Granate cálcico Granate Fe, Mg
	Andradita	Ad	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	
	Espesartita	Sp	$\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	
	Almandino	Al	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	
Piroxenos	Piropo	Py	$\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	Minerales de alteración
	Diópsido	Di	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	
	Hedenbergita	Hd	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	
	Johannesita	Jo	$\text{CaMnSi}_2\text{O}_6$	
	Fasaíta	Fas	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	
	Larnita	Ln	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	
	Forsterita	Fo	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$	
Olivino	Fayalita	Fa	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	Monticelita
	Tefroita	Tp	$\text{Mn}_2\text{SiO}_4$	
	Ferrosilita	Fs	$\text{FeSiO}_3$	
	Modonita	Rd	$\text{MnSiO}_3$	
Piroxenoide	Wollastonita	Wo	$\text{CaSiO}_3$	Piroxemangita
	Tremolita	Tr	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
Anfibol	Ferroactinolita	Ft	$\text{Ca}_2\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Actinolita
	Actinolita Mn	Ma	$\text{Ca}_2\text{Mn}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	Hornblenda	Hb	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	Pargasita	Pg	$(\text{Na,Ca})(\text{Mg,Fe})_4\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	Cummingtonita	Cm	$\text{Mg}_2(\text{Fe,Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	Dannemorita	Dm	$\text{Mn}_2(\text{Fe,Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	Grunerita	Gru	$\text{Fe}_2(\text{Fe,Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	Piemontita	Pm	$\text{Ca}_2(\text{Mn,Fe,Al})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$	
	Allanita	All	$(\text{Ca,REE})_2(\text{Fe,Al})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$	
	Epidota	Ep	$\text{Ca}_2(\text{Fe,Al})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$	
Plagioclasea	Epidota	Cz	$\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$	Principal
	Anortita	An	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	
Escapolita	Marialita	Ml	$\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}\text{Cl}$	Alteración
	Meionita	Me	$\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3, \text{SO}_4)$	
Otros	Axinita	Vs	$(\text{Ca, Mn, Fe, Mg})_3\text{Al}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$	Alteración
	Vesuvianita	Pr	$\text{Ca}_{10}\text{Mg}_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH})_4$	
	Prenita		$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Alteración

Fuente: *Minerales de skarn, en los yacimientos de peruanos (Adaptación propia, 2020).*

En muchos sistemas de skarn, la variación de contenido de hierro es el parámetro más importante y, por lo tanto, muchos minerales son descritos simplemente por su miembro final de hierro, por ejemplo, la oxidación de los minerales ferromagnesianos. Grandes cantidades de información de composición puede resumirse gráficamente. Diagramas Triangulares comúnmente se utilizan para expresar variaciones en la composición de complejos minerales como granates y piroxenos (Maksaev, 2003).

Las principales diferencias entre los anfíboles en los distintos tipos de skarn, son las variaciones en los contenidos de Fe, Mg, Mn, Ca, Al, Na, K. Los anfíboles en los skarns de Au, W, y Sn son progresivamente aluminosos (actinolita, hastingsita, hornblenda); los anfíboles en skarn de Cu, Mo, Fe presentan un contenido progresivamente más alto de Fe en las series Tremolita – actinolita; y los anfíboles en los skarns de Zinc se caracterizan por un alto contenido de Mn y un bajo contenido de Ca a la vez, variando desde actinolita a Dennemorita.

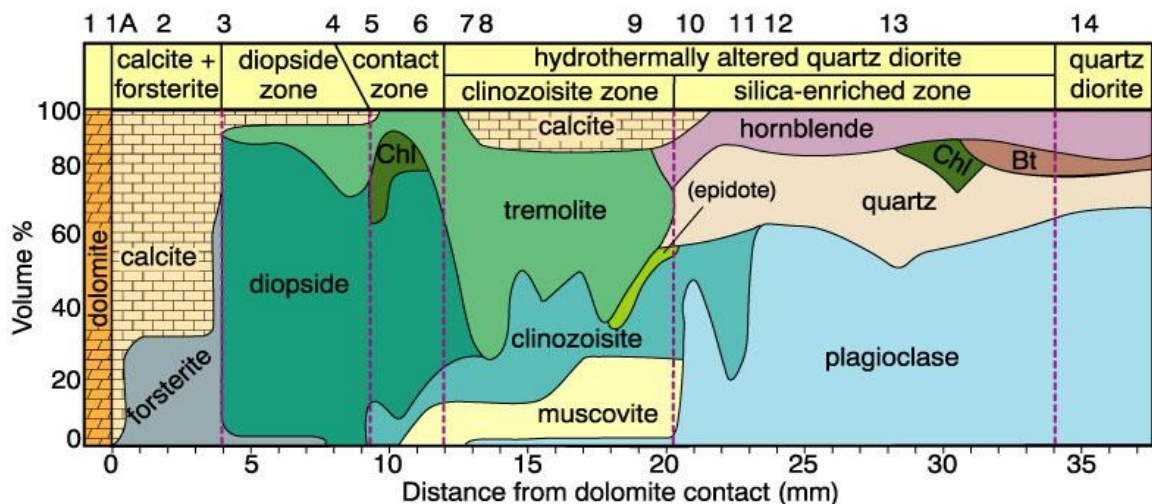


Figura N° 2. 11. Zonas de minerales desarrollados en el contacto entre cuarzdiorita, mármol y dolomita. Figura tomada de After Frisch y Helgeson (1984) y Winter (2001). Fuente: <https://slideplayer.com/slide/7813829/>

Para un depósito de skarn o grupo de skarns, tiene variaciones de composición en las fases minerales menos comunes, como idocrasa, bustamita u olivino, puede dar una

idea de los patrones de zonación o petrogénesis regionales (ver tabla N° 2.1). En términos generales los depósitos de tipo skarn presentan asociaciones mineralógicas o separaciones, los cual nos indica que minerales podemos encontrar en una determinada área.

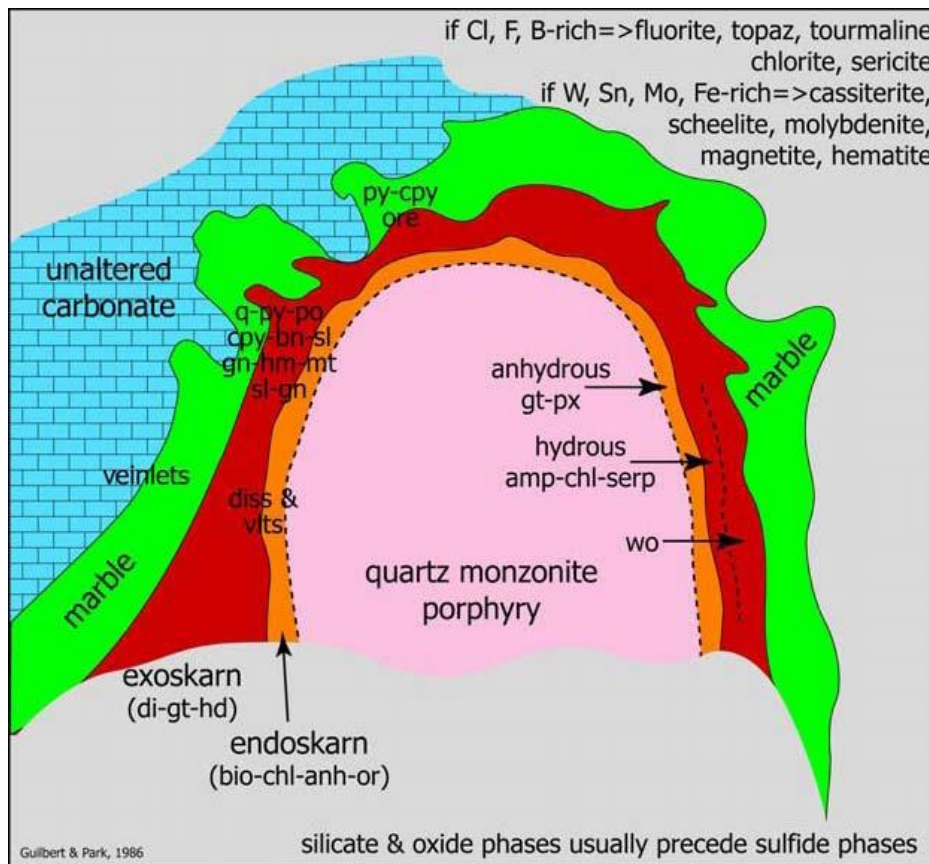


Figura N° 2. 12. Esquema de zonificación de minerales tipo del Endoskan y Exoskarn. Fuente: Tomado de Duran y Tapia (2015).

#### 2.4.5. Efecto del gradiente redox

Para el desarrollo de este ítem se ha tomado como referencia Chang & Meinert (2008) que describe el suministro de elementos para la formación de granate y piroxeno es uno de los principales controles de las relaciones granate/piroxeno. En un caso simple de skarn de Cu donde el granate es principalmente de la serie (Ca-Al) a granate (Ca-Fe<sup>3+</sup>), abundante Al y Fe<sup>3+</sup> se necesita para formar granate. El aluminio está normalmente limitado al cierre de la intrusión porque la solubilidad es normalmente baja en líquidos hidrotermales (Tagirov et al., 2002). En contraste, el suministro de Fe es ilimitado, como





puede ser el Fe, y probablemente en la mayoría de los casos es abundante en fluidos hidrotermales magmáticos.

La relación granate/piroxeno está controlada en gran medida por la relación de Fe férrico/ferroso, es decir, el estado redox. El patrón típico de **granate** proximal mayor la zona de piroxeno y zona distal de piroxeno mayor **granate** ocurre donde el magma se oxida y donde la roca caja se reduce. El ancho relativo de las dos zonas puede variar según el grado relativo de oxidación versus la reducción del magma y las rocas de la caja. En casos extremos como cuando el magma y las rocas de caja se estén reduciendo, el skarn puede pasar por la zona de granate piroxeno, por ejemplo, en algunos skarns de Au reducidos como Hedley, British Columbia, Canadá (Ettlinger, Meinert & Ray, 1992; Meinert, 1998). Donde tanto las rocas de magma como de caja se están oxidando, el skarn puede estar dominado por la zona de granate mayor piroxeno.

En las zonas proximales del intrusivo hay mayor presencia de granate y en menor grado piroxeno, cuanto más distal están el granate se reduce y tenemos la mayor cantidad de piroxeno.

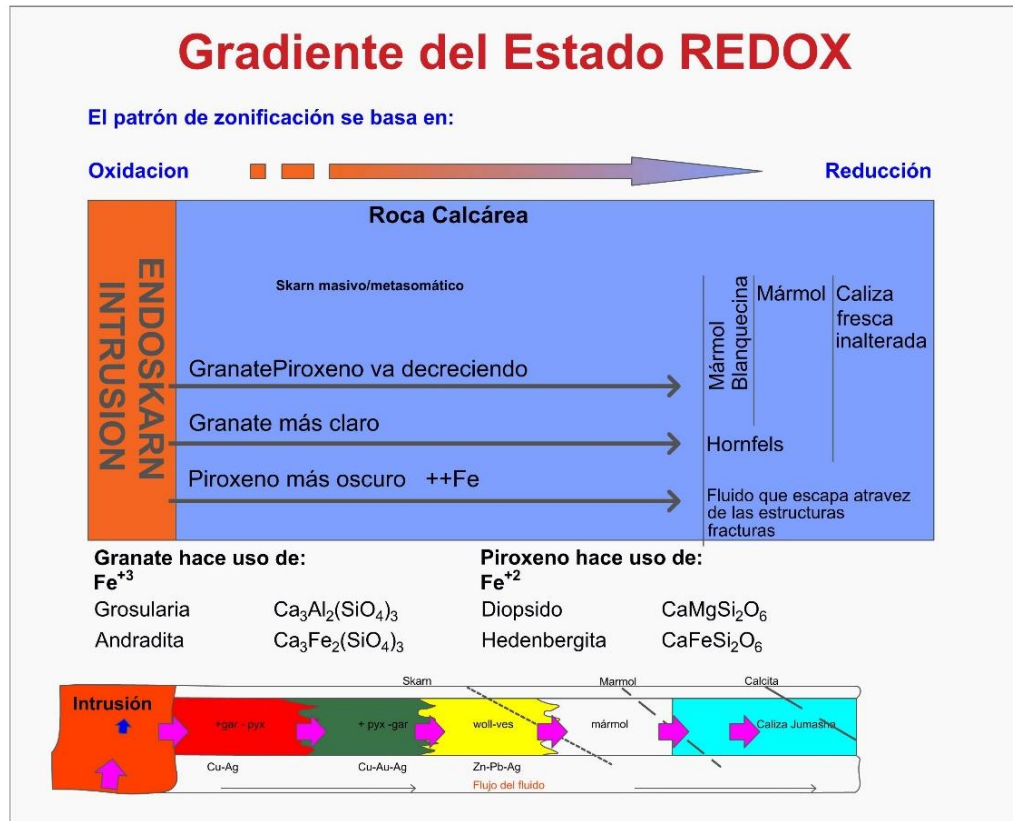


Figura N° 2. 13. Gradiente redox entre magma y roca caja fresca (caliza) zonas de mineralización Cu-Au, Cu-Au-Ag y Zn-Pb-Ag. Fuente: Adaptado de Steele (2016).

#### 2.4.6. Efecto de la composición del magma

Chang & Meinert (2008) describen que la composición de elementos principales de las rocas intrusivas está asociada con el contenido de metal de los fluidos magmáticos. Los elementos trazas, especialmente los elementos volátiles, pueden afectar la formación de skarns y los patrones de zonificación, especialmente es el F. El flúor puede aumentar drásticamente la solubilidad del Al en fluidos hidrotermales al formar complejos Al-F, lo que hace posible la formación de granates abundantes (granularidad crítica y sub-cálcica) incluso bajo condiciones reducidas en ubicaciones cristalinas, tales como muchos skarns de arena.



La fluorita también puede promover la formación de endoskarns facilitando la disolución de minerales de silicato de magmática, que proporciona el espacio y el suministro de Al para la formación de skarn. Por ejemplo, en la Mina Empire Cu-Zn skarn en Idaho, EEUU, hay más endoskarn que exoskarn.

Argumentaron que la textura extremadamente vesicular de los cristales de cuarzo en el intrusivo también está relacionada con la alta actividad en el magma, por lo tanto, tales texturas pueden usarse como un indicador de campo de alta actividad de F en la exploración.

#### **2.4.7. Efecto del contenido de carbono orgánico en la roca caja**

El contenido de carbono orgánico en las rocas de caja también afecta el ancho de las zonas de skarn. Las reacciones que producen minerales de skarn típicamente implican la liberación de  $\text{CO}_2$ . Cuando el C orgánico está presente en la roca caja, se oxidará a  $\text{CO}_2$  durante el metamorfismo térmico a poca profundidad y/o oxidando fluidos hidrotermales en una etapa temprana. La consecuente acumulación de  $\text{CO}_2$  suprime las reacciones de formación de skarn y limita la skarnización. Las rocas de caja carbonáceas son menos favorables para el desarrollo de skarn y tendrán una mineralogía de skarn diferente a las rocas de pared oxidada.

#### **2.4.8. Mineralización de sulfuros depósito de skarn**

La mayoría de períodos de deposición de menas de sulfuros generalmente siguen el cese del desarrollo de skarn y es acompañado por el inicio de alteración hídrica de minerales de skarn tempranos y alteración hidrolítica de intrusiones asociadas. Deposición de sulfuros y alteración de skarns tienen típicamente control estructural y



cruzan a través de modelos de skarn tempranos; en algunos casos, deposición de sulfuros se extiende más allá de skarns en mármol o hornfels.

En general los skarn más ricos en Fe y Au están asociados a intrusiones máficas a intermedias. Los skarn de Cu, Pb, Zn y W, asociados a intrusiones más graníticas, en un ambiente más oxidado, los skarn de Mo y Sn con granitos más diferenciados, en un ambiente más reducido y existen excepciones.

La mineralización de pirita, calcopirita, calcosina, covelina, enargita, que frecuentemente se alteran en limonitas, hematitas, calcantitas, malaquitas y otros como óxidos y carbonatos. Como zonamiento local pirita se encuentra en el centro, enargita y calcopirita en los márgenes; con la secuencia paragenética de pirita, enargita y calcopirita. Con relación de cuerpos de yacimientos de contacto, sólo se ven en gran proporción calizas marmolizadas, silicificadas y caolinizadas, no se ven skarn. Sería una de las pruebas que las zonas de reemplazamiento se han realizado en un rango de temperaturas de 400 – 150 °C propia de las alteraciones hipogénicas de un yacimiento (Meinert, 1992).

#### **2.4.8.1. Mineralización de zinc**

La mayoría de skarn de zinc ocurre en marcos geológicos continentales asociados a zonas de subducción o desplazamiento. Son explotados por el contenido de zinc, plomo y plata, aunque el zinc es usualmente el mineral que domina. También son considerados de alta ley (10 – 20% Zn y Pb, 30 – 300 g/t Ag).

Las rocas ígneas relacionadas abarcan un amplio rango de formas de composición, desde dioritas hasta granito de alto contenido de sílice. Así mismo abarcan diversos



entornos geológicos, desde batolitos a profundidad a diques – sills de poca profundidad a extrusiones volcánicas de superficie.

El factor dominante que une a la mayoría de los minerales skarn de zinc es su ocurrencia distal a las rocas ígneas asociadas. Los skarn de zinc pueden subdividirse en base a distintos criterios, incluyendo la distancia de la fuente magmática, la temperatura de formación, la proporción relativa de skarn, minerales sulfurosos y la forma geométrica de los cuerpos mineralizados.

La presencia del sistema de minerales característicos en skarn de zinc, es granates y piroxenos, al mismo tiempo indican un ambiente geoquímico restringido que es muy distinto de otros yacimientos de skarn, tales como los tipos de yacimientos que ocurren en el yacimiento de metasomatismo de contacto de Antamina y otros, que también contienen menas de Zn-Pb-Ag, pero que carecen en su totalidad de minerales de skarn.

Aparte del contenido de los metales Zn-Pb-Ag, los skarn de zinc pueden distinguirse de otros tipos de skarn por su mineralogía distintiva de manganeso y por su alto contenido de Fe, por su ocurrencia a lo largo de los contactos estructurales y litológicos, por la ausencia de aureolas metamórficas significativas centradas en el skarn. Casi todos los minerales skarn en estos depósitos pueden enriquecer con manganeso incluyendo granate, piroxenos, olivinos, piroxenoides, anfíboles, clorita y serpentina.

#### **2.4.8.2. Mineralización de zinc-plomo**

La mayoría de skarn de zinc ocurren en el territorio continental asociados a zonas subducción o *rifting*. Son minas de minerales de zinc, plomo, plata, aunque zinc suele ser dominante. También son de alto grado (10-20% Zn + Pb, 30% y 300 g/t Ag). Relacionado



a rocas ígneas que cubren una amplia variedad de composiciones a través de diorita a alto sílice granito. También abarcan diversos ambientes geológicos de profundidad como batolitos a someras dique-sills complejos en la superficie de extrusiones volcánicas. El criterio común que une la mayoría de los minerales de skarn de zinc –plomo es distal, que se produzcan asociados a rocas ígneas. Las principales referencias de los depósitos de skarn de zinc incluyen (Einaudi et al., 1981).

Aunque los skarn de Zn-Pb se forman a temperaturas más bajas (skarn distales), en términos generales en el proceso de formación de skarn están involucradas altas temperaturas (metamorfismo de contacto y metasomatismo asociado). La presión de formación es variable y estos depósitos se forman desde 1 a varios Km de profundidad, que puede variar por la temperatura de formación.

La mayoría de los distritos de Skarn de zinc aumentan el grado hacia el exterior la mineralización de vetas, cuerpos y sulfuros masivos que puedan contener pocos, o ningún, minerales de skarns. Distritos explorados de forma incompleta sólo puede tener algunas de estas zonas expuestas. Pero como ya se señaló anteriormente, la presencia de minerales como el granate y piroxenos dentro del sistema, es importante porque indica un entorno geoquímico restringido que es totalmente distinta de los tipos de mineral, que también contienen minerales Zn-Pb-Ag, pero que falta absolutamente minerales de skarn. Además de sus contenidos de metal Pb-Zn-Ag, los skarn de zinc pueden distinguirse de otros tipos de Skarn por su distintiva mineralogía rica de manganeso y hierro, por su ocurrencia a lo largo de contactos litológicos y estructurales, y por la ausencia de importantes aureolas metamórficas centrado en el skarn.



La presencia de zinc en skarns en porciones distales de los principales sistemas magmáticos/hidrotermales pueden incluso ser pequeños depósitos útiles como guías en la exploración de distritos mal expuestos. Por lo tanto, los reportes de minerales ricos en manganeso pueden aportar pistas a los distritos que aún no han recibido importantes actividades de exploración.

#### **2.4.8.3. Mineralización de cobre**

Los skarns de cobre son tal vez el tipo más abundante del mundo. Son especialmente frecuentes en las zonas relacionadas con subducción orogénica, tanto en la configuración continental y oceánica. Las principales referencias de los skarns de cobre incluyen (Einaudi et al., 1981) y (Einaudi, 1981). La mayoría del skarn de cobre está relacionados con Tipo-I, serie magnetita, calco-alcalinas, plutones porfíricos, muchos de los cuales son co-genéticos a rocas volcánicas, venas en stockwork, y brechización fractura frágil, y la intensa alteración hidrotermal. Estas son características indicativas de un entorno relativamente de la formación. La mayoría de skarns de cobre se forman en las cercanías de contactos con una mineralogía relativamente dominada por andradita. Otras fases incluyen diópsido, idocrasa, wollastonita, actinolita, y epidota, magnetita y hematita son comunes en la mayoría de los depósitos y la presencia de rocas dolomíticas receptoras son coincidente con vetas de magnetita masiva que pueden ser minadas a escala local para el hierro. Los skarns de cobre comúnmente son zonas con granate masivo cerca de plutón y el aumento de piroxenos y finalmente idocrasa y/o wollastonita cerca del contacto con el mármol.

Mineralogía de Sulfuros y razones de metal también pueden ser sistemáticamente zonado relativo a la causal del plutón. En general, la pirita y la calcopirita son más abundantes cerca de plutón con el aumento de calcopirita y bornita finalmente en



wollastonita cerca de las zonas de contacto de mármol. En skarns de cobre que contiene monticellita, bornita-calcocita dominante son los sulfuros de Cu-Fe en lugar de pirita-calcopirita. Los mayores skarns de cobre están asociados a la mineralización de plutones pórfido de cobre. Estos depósitos pueden exceder de 1 mil millones de toneladas de pórfido y combinado Skarn mineral con más de 5 millones de toneladas de cobre recuperable de Skarn. Los plutones mineralizados presentan características de silicato de potasio y alteración de sericita que se puede correlacionar con granate-piroxeno prógrado y epidota-actinolita retrógrada, respectivamente en el Skarn. Intensa alteración retrograda es común en skarns de cobre y en algunos pórfidos relacionados con los depósitos pueden destruir la mayoría de los granates y piroxenos prógrado.

Alteración de endoskarn de la mineralización de plutones es raro. En cambio, las existencias estériles asociada a skarn de cobre contienen abundante epidota-actinolita, clorita y menos intensa alteración retrógrada de Skarn. Algunos yacimientos de cobre son de grano grueso, actinolita-calcopirita-pirita-magnetita, pero contienen sólo escasos granate-piroxeno prógrado.

#### **2.4.9. Skarn de cobre y relación con pórfido de cobre**

En el caso de skarn de Cu asociado a un sistema del tipo pórfido cuprífero, existe relación entre los eventos de alteración metasomático de skarn y la evolución de alteración del pórfido.

- La alteración prógrada del skarn se relaciona con la alteración potásica y está zonada con respecto al núcleo potásico.
- En las etapas más avanzadas de la evolución del sistema de pórfido cuprífero, ocurre el colapso del sistema hidrotermal, dándose alteración fílica en el pórfido, y alteración retrógrada en el skarn.



- Esta alteración retrógrada se superpone a la prógrada, siendo muy destructiva.

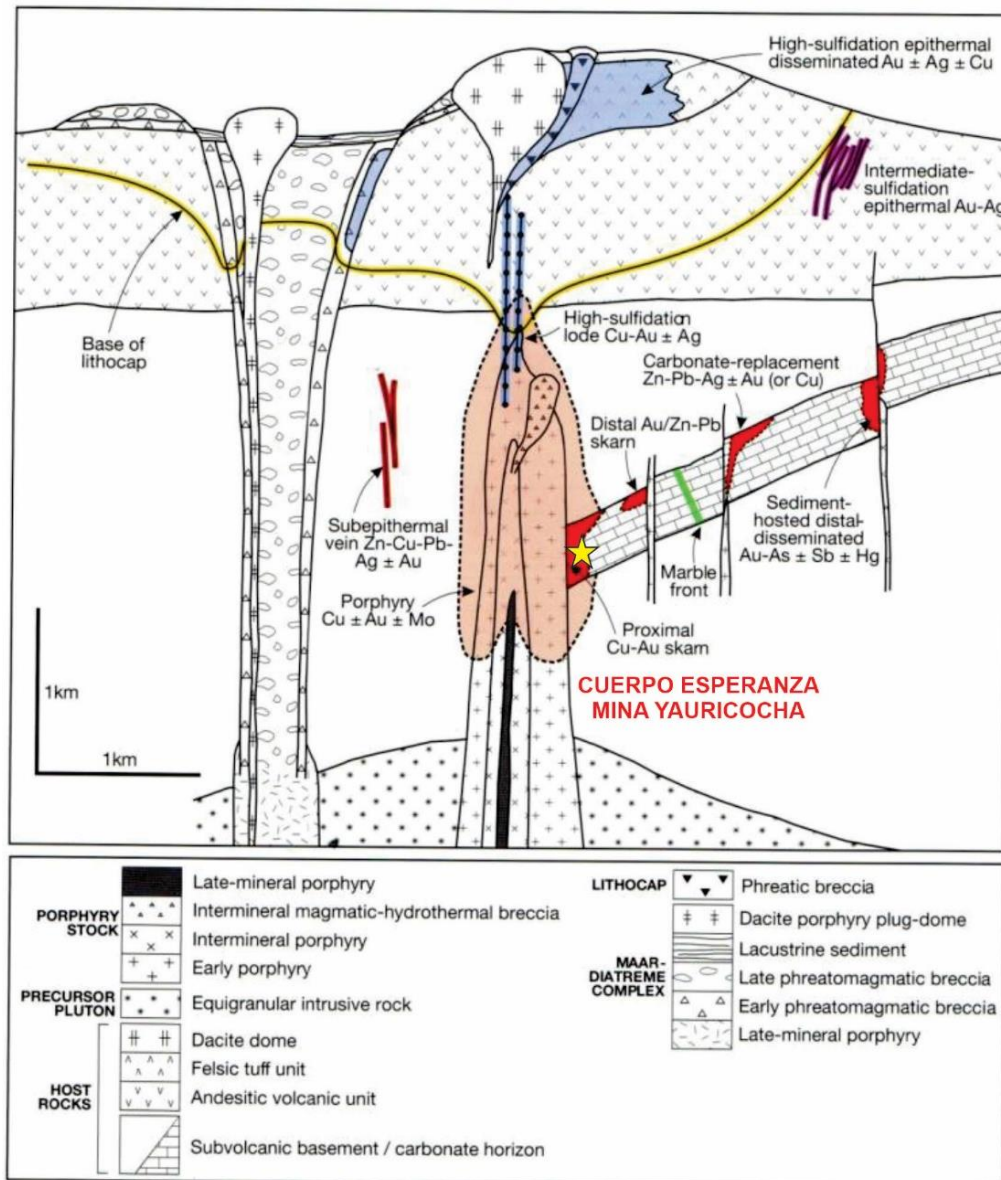


Figura N° 2. 14. Modelo esquemático entre sistemas de mineralización tipo pórfido y skarn. Fuente: Durán y Tapia (2015). Geología económica esquema asumido para mina Yauricocha.

#### 2.4.10. Evolución tectónica andina y dominios geotectónicos

En los trabajos realizado por Bazán (2013, Jordan et al (1983) dividen la Cordillera de los Andes en tres segmentos: La cordillera de los Andes constituye una de las cadenas de montañas más impresionantes del planeta. Los Andes se encuentran



situados sobre una zona de convergencia entre las placas oceánicas Nazca y Cocos las cuales subductan debajo de la placa continental de América del Sur.

- Los Andes Septentrionales: Se extiende desde Venezuela ( $12^{\circ}\text{N}$ ) hasta el Norte del Perú ( $4^{\circ}\text{S}$ ), este segmento resulta de la interacción de las placas Caribe, Cocos, Nazca y Panamá. Los Andes Septentrionales occidentales responden a fenómenos ligados a la acreción de fragmentos de corteza oceánica y de arcos insulares producidos durante el Cretáceo superior y Paleoceno están ligados al levantamiento de series Paleozoicas deformadas y terrenos precámbricos.
- Los Andes Centrales: Se prolongan desde el Norte de Perú ( $4^{\circ}$  latitud S) hasta Argentina ( $40^{\circ}$  latitud S). La estructuración de este segmento resulta de la subducción de la placa oceánica Nazca/Farallón debajo de la placa continental Sudamericana. La parte Sur de los Andes Centrales está caracterizada por la presencia del Altiplano, la cual se desarrolla entre las cordilleras Occidental y Oriental. La parte Norte de los Andes Centrales se articula únicamente sobre una gran cordillera (Occidental/Oriental) generando en su borde oriental una vasta cuenca de Antepaís.
- Los Andes Austales o Meridionales: Se desarrollan entre  $40^{\circ}$  y  $55^{\circ}$  de latitud S. Este segmento es interpretado como resultado de la subducción de las placas Nazca, Antártica y Scotia debajo de la placa continental.

En el Perú las rocas mesozoicas y cenozoicas se reconocen el Ciclo Andino, comprendiendo en él varias etapas de sedimentación y varias fases de deformación, siendo las principales de ellas, tres “fases tectónicas”. Fase Peruana ocurrida en el Cretácico superior, luego la Fase Incaica en el Eoceno - Oligoceno, seguida después por la Fase Quechua (Mioceno) y otras en el Plioceno y comienzos del Cuaternario.



Benavides-Cáceres considera que la Cordillera de los Andes es el resultado de tres grandes ciclos geodinámicas: Precámbrico, Paleozoico Temprano a Triásico Tardío y Triásico hasta la actualidad. El último ciclo incluye una primera fase del Triásico Tardío temprano – Senomaniano, que era básicamente extensional y de atenuación cortical. En el Cenozoico esta fase se caracteriza por la repetición de los pulsos de compresión y la presencia a lo largo del margen continental de un arco magmático con una intensa actividad plutónica y volcánica. Durante esta fase, una secuencia de episodios de “compresión”: peruana (84-79 Ma), Incaica I (59-55 Ma), Incaica II (43-42 Ma), Incaica III (30-27 Ma), Incaica IV (22 Ma), Quechua I (17 Ma), el quechua II (8-7 Ma), quechua III (5-4 Ma), y quechua IV (Pleistoceno temprano) formaron tres fajas plegadas y corridas importantes.

Metalogénicamente la zona de estudio se encuentra, en la franja de pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno (XXI). Esta franja se ubica en la Cordillera Occidental del centro y norte del Perú (5°-12°S) y es una de las más variadas en cuanto a tipo de yacimientos. Sin embargo, hay 3 factores que permiten agruparlos y son:

1. Todos tienen como roca de caja regional a las rocas sedimentarias mesozoicas que corresponden a la cuenca occidental mesozoica.
2. No hay grandes extensiones de rocas ígneas, pero si una variedad y cantidad de cuerpos intrusivos pequeños cuyas edades son básicamente miocenas.
3. La edad de mineralización miocena es común para estos yacimientos.

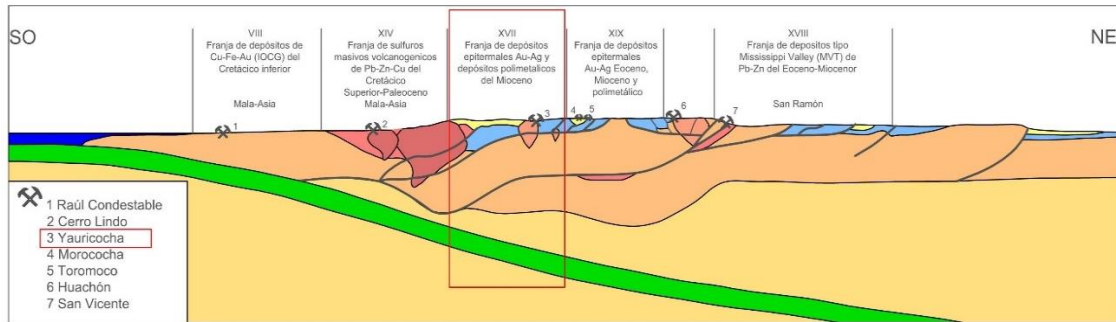


Figura N° 2. 15. Sección estructural del centro del Perú mostrando los grandes dominios geotectónicos y las franjas metalogénicas. Tomado de Carlotto, et al, (2009).

Las secuencias mesozoicas (100-500 m) se depositaron en discordancia sobre rocas paleozoicas, triásicas y jurásicas. Las unidades sedimentarias corresponden al Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano) a las formaciones Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín (Albiano-Campaniano), las que son seguidas por las capas rojas del Cretácico superior-Paleoceno (Formación Casapalca) y del Eoceno-Oligoceno, depositadas en el frente de los cabalgamientos del sistema plegado y corrido del Marañón, como cuencas de antepaís.

Las rocas magmáticas a lo largo de esta franja son típicamente de composición calco alcalino. Muchos pulsos de actividad intrusiva y volcánica son contemporáneos con la mineralización y emplazados entre 24 y 4 Ma, desde entonces el magmatismo es inactivo. Lavas de composición intermedia son dominantes en algunas partes de esta franja y particularmente en el norte, al límite con la franja XXII (Fanja de depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno), donde se depositaron localmente flujos de ceniza, que acompañan a los cuerpos intrusivos de esta edad. Algunos análisis químicos y datos isotópicos de Sr y Nd de esta franja son consistentes con magmas derivados de fuentes relativamente discretas en el manto litosférico o cortezas máficas engrosadas por underplating (Noble & McKee, 1999).

Los depósitos de pórfidos de Cu y skarns relacionados, están asociados con stocks de granodioritas a monzonitas calco alcalinas, que cortan a las rocas detríticas y carbonatadas intensamente plegadas y falladas de la cuenca occidental.

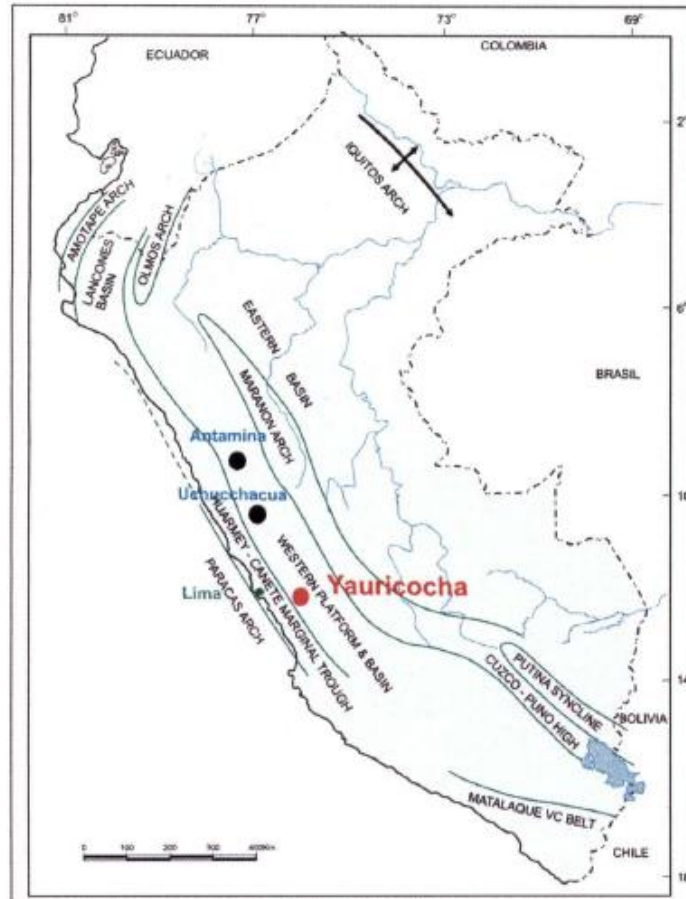


Figura N° 2. 16. Mapa paleogeográfico del Perú Jurásico Tardío – Cretácico Superior, adaptado de Benavides-Cáceres (1999). Fuente: Jurado (2006).

El tercer evento magmático de 10-5 Ma está representado por pórfido Cu-Mo (Au) de Río Blanco en el norte del Perú, mientras que Toromocho y Puy Puy al sur de la franja. Los intrusivos de este último evento, en contacto con rocas calcáreas del Cretácico (9°-12°30'S) desarrollaron skarns y cuerpos de reemplazamiento de Cu-Zn y Pb-Zn-Ag, como Antamina, Huanzalá, Pachapaqui, Raura, Uchuchacua (aunque puede ser más antigua), Huarón, Yauricocha, entre otros.

El distrito de Yauricocha está ubicado dentro del cinturón de fuego y empuje más antiguo que se formó durante el Orogenia incaica del Eoceno medio. (Megart, 1978). Las



depósitos de reemplazo de carbonato con contenido de sulfuro (CRD) y depósitos de skarn (Jurado, 2006).

#### 2.4.11. Zonas de 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 sinistral 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 (Figura N° 2.20).

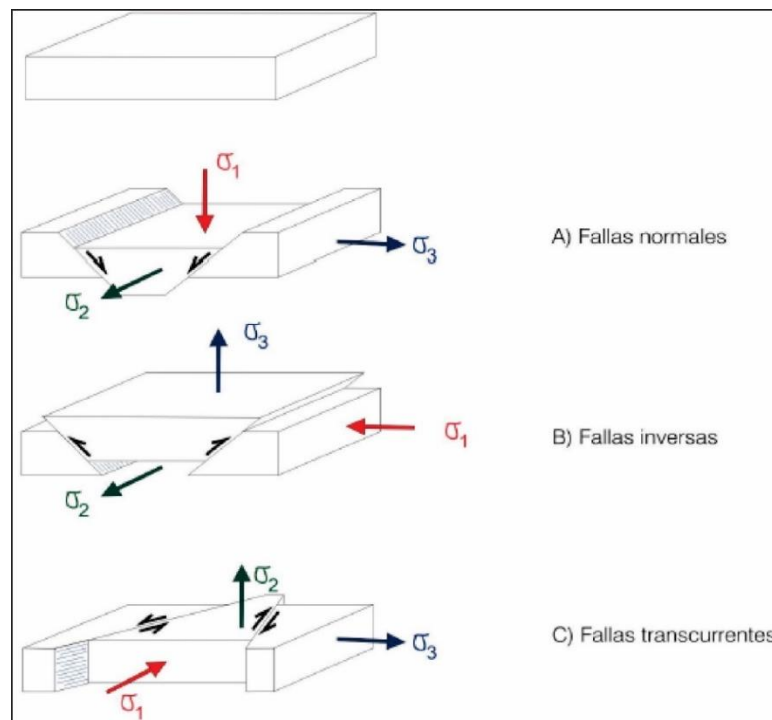


Figura N° 2. 18. Generación de fallas por la acción de los esfuerzos  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ . Fuente: imagen tomada de Quispe (2006).

Los principales esfuerzos como  $\sigma_1$  (compresivo),  $\sigma_2$  (intermedio) y  $\sigma_3$  (tensional); correspondientes a las diferentes fases de deformación interpretadas a partir



de las distintas familias de fallas. La dirección de esfuerzos principales graficadas va a definir el estado de esfuerzos a los que están sometidas las estructuras frágiles (Figura N° 2.18), es así que:

- Cuando  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  son horizontales, el estado de esfuerzos efectivo es tipo compresivo en la dirección de  $\sigma_1$ .
- Cuando  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  son horizontales, el estado de esfuerzos efectivo es tipo tensional en la dirección de  $\sigma_3$ .
- Cuando  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  son horizontales, el estado de esfuerzos efectivo es tipo cizallante o transcurrente.

#### **2.4.12. Extensión y compresión en las zonas de falla**

Cuando hablamos de masas minerales necesitamos tratar el tema del “espacio disponible”, ya que mientras más grande este, mayor podrá ser el cuerpo mineral. Como indicábamos anteriormente las fallas se “curvan” en el espacio; puesto que el esfuerzo que se las genera tiene una dirección específica, se desarrollaran entonces sectores que acumulen o liberen energía en el entorno de la falla. Allí donde se “libera energía” se generarán espacios y, por lo tanto, existirá una mayor probabilidad de encontrar mineralizaciones importantes.

El movimiento de las fallas a lo largo de superficies planares perfectas (cosa poco común en la naturaleza) se desarrolla sin complicaciones, deslizándose una pared sobre la otra sin interferencias. Bajo estas condiciones la aparición de ramales a partir de la falla principal es de mínima a existente. Sin embargo, si una falla presenta inflexión abrupta o gradual se producen situaciones complejas, que dan lugar a procesos de estiramiento o acortamiento.



Hablaremos de inflexiones en cierre cuando el movimiento de uno de los bloques a lo largo de la falla se realiza “contra” la curva. Por el contrario, si el movimiento “aleja” el bloque de la curva, diremos que se trata de una inflexión en apertura. Bajo el punto de vista de las exploraciones de yacimientos minerales, las inflexiones en apertura son las más interesantes, ya que es en esos lugares donde se generan espacios, y, por ende, donde las soluciones hidrotermales pueden circular con mayor facilidad. Además, a escala regional, una inflexión en apertura es el lugar perfecto para el desarrollo de intrusiones menores bajo condiciones extensionales. Aparte de las inflexiones, otro trasgo típico de las zonas de falla son los “saltos”, que, a diferencia de las inflexiones, no se conectan entre sí, aunque mantienen una dirección igual o parecida y el mismo sentido de movimiento. Al igual que las inflexiones, los saltos pueden generar zonas en apertura o en cierre, (Lillo & Oyarzun, 2013).

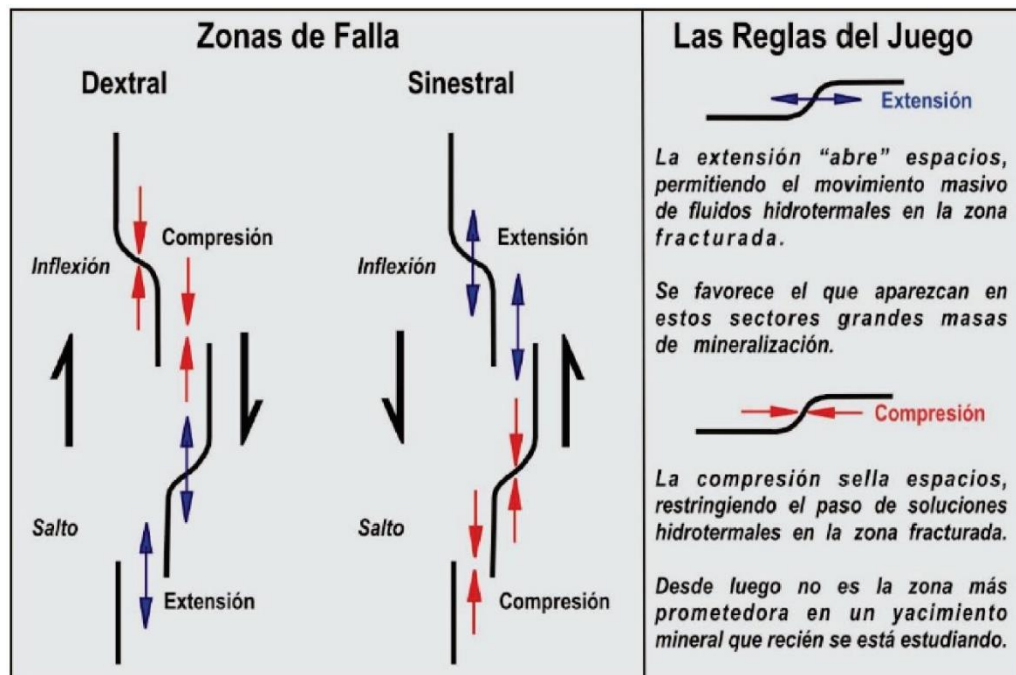


Figura N° 2. 19. Zonas de falla y las reglas de juego en una falla transcurrente dextral y sinistral.

A la izquierda compresión – extensión más típica que pueden encontrarse en una zona de falla. A la derecha, implicaciones para la probabilidad de encontrar grandes o pequeñas masas minerales. Fuente: Lillo y Oyarzun (2013).

### 2.4.13. Cuando las inflexiones y saltos condicionan relieve y espacio

Según Lillo & Oyarzun (2013) indican que en las zonas en apertura y en cierre (en inflexiones y saltos) pueden dar lugar respectivamente a depresiones (*pull-apart*) susceptibles de ser rellenadas por materiales sedimentarios o volcánicos, o a alzamientos compresionales (*pop-up*).

La presencia de inflexiones y saltos a lo largo de una falla promueve a su vez la formación de estructuras denominadas “*dúplex*”. Las rocas que se encuentran dentro de la zona de influencia de una inflexión o salto se pueden fallar progresivamente (fallas menores paralelas a la dirección de la inflexión) generando sistemas imbricados en relación a la falla principal. Por otra parte, en el caso de fallas de traza recta, la formación de un *dúplex* puede originarse a través del desarrollo de fracturas de Riedel.

Así en los *dúplex* extensionales asociados a fallas transcurrentes se formarán hundimientos, y en los compresionales, levantamientos. Unas de las estructuras más notables derivadas son las denominadas “flores positivas” y “flores negativas” (Woodcock y Fischer, 1986), que a su vez se corresponden con los casos de *dúplex* compresional y extensional, respectivamente.

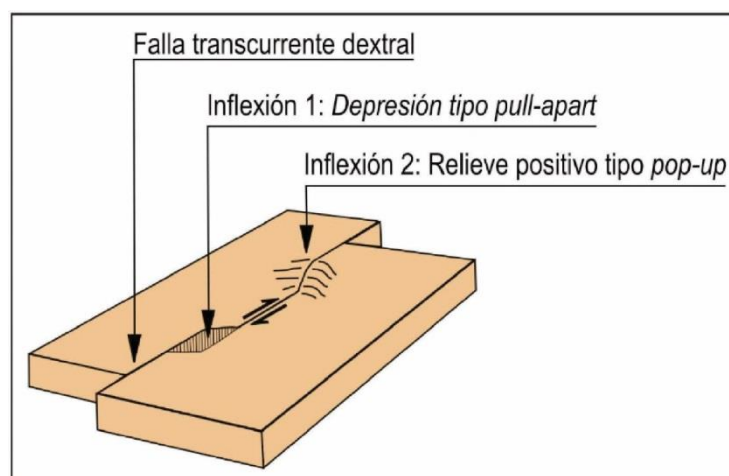


Figura N° 2. 20. Relieves tipo *pull-apart* y *pop-up* en falla transcurrente. Fuente: Lillo & Oyarzun (2013).

La geometría interior de las fallas secundarias de un dúplex muestra que estas convergen en profundidad hacia una zona de falla única (sistema anastomosado):

- En el caso de una estructura en flor negativa, las fallas secundarias dentro del dúplex tendrán un comportamiento mixto: transcurrente-normal, por lo cual decimos que la zona interior está en extensión y sometida a hundimiento.
- En el caso de una estructura tipo flor positiva, las fallas interiores se comportarán como transcurrentes-inversas, por lo cual decimos que la zona está en compresión y por lo tanto sometida a levantamiento.

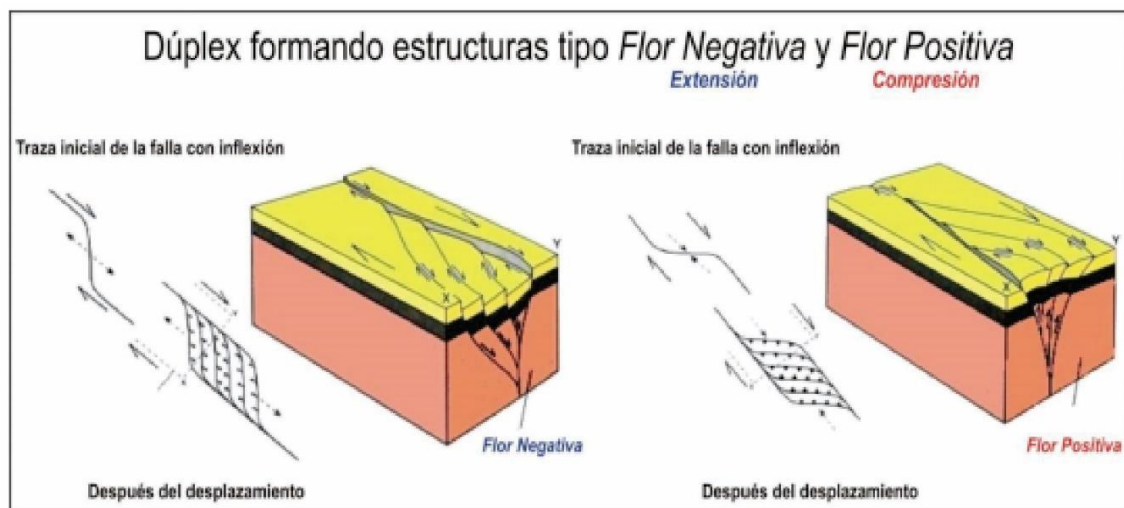


Figura N° 2. 21. Desarrollo dúplex formando estructuras tipo flor negativa y flor positiva. Fuente: Lillo & Oyarzun (2013).

#### 2.4.14. Estudios de minerales transparentes en microscopía

Los estudios petrográficos abordan la descripción física en términos visuales de las rocas, mediante la microscopía de luz polarizada (esencialmente con luz transmitida, aunque también reflejada, y en algunos casos microscopía electrónica). Estos estudios ofrecen una valiosa información relativa a la naturaleza de sus componentes (esencialmente minerales), sus abundancias, formas, tamaños y relaciones espaciales, lo cual permite clasificar la roca y establecer ciertas condiciones cualitativas o



semicuantitativas de formación, así como posibles procesos evolutivos, en base a los minerales formadores de roca.

Los componentes petrográficos son aquellos componentes de la roca que tienen entidad física, tales como granos minerales, asociaciones particulares de determinados minerales, otros fragmentos de rocas relacionados o no genéticamente con la roca que los engloba, componentes de la matriz y cemento, material amorfo o criptocristalino (vidrio volcánico, geles de sílice, carbonatos, arcilla), espacios vacíos (poros, vacuolas), fracturas discretas o selladas, etc.

Para su identificación de minerales formadores de roca en lámina delgada; primero se realiza el preparado y la elaboración de secciones delgadas a partir de una muestra de mano. En las que se consideran la composición mineralógica, la textura, clasificación del tipo de roca ígnea; además se consideran las alteraciones de los minerales principales formadores de roca, que constituyen los minerales accesorios del grupo de los silicatos en general. Entre los minerales calco-alcalino del grupo de los silicatos; así como oligoclasa, andesina; son los que normalmente se alteran rápidamente en minerales finos y laminares; entre ellos sericitas, caolinitas, pirofilitas y otras micas de grano indicadores de una alteración argílica.

Estos estudios permiten la clasificación de las rocas, identificación y porcentaje de minerales presentes, asociaciones mineralógicas, forma, textura y tamaño de granos, microfracturamiento, porosidades y tipos de relleno, alteraciones hidrotermales presentes y la posible roca original. Reacciones químicas de los minerales presentes. Esta información es muy útil para conocer el tipo de yacimiento y tomar decisiones durante la



etapa de exploración; así como también para determinar procedimientos para la mejor recuperación de los minerales en las plantas metalúrgicas (Machaca y Pinto, 2017).

#### **2.4.15. Estudio de minerales opacos en microscopia**

Entre los minerales opacos se pueden considerar a sulfuros y óxidos, que en la mayoría de los casos se encuentran en láminas delgadas, pero pueden ser difíciles de identificar, con la luz polarizada. Pero sin embargo son identificados en microscopios petrográficos con luz reflejada. En la mayoría de las investigaciones actuales se puede identificar claramente su hábito y forma con el microscopio petrográfico con luz reflejada y microscopio electrónico de barridos.

En los cristales anisótropos, debido a la diferente orientación de los individuos que componen la macla, éstas se reconocen fácilmente. Esta propiedad es muy útil en el reconocimiento de determinados minerales opacos, como la estibina que suele presentar un maclado polisintético debido a fenómenos de deformación. Propiedades microscópicas que son fácilmente observados en microscopio de luz reflejada.

Para el estudio de los minerales en el microscopio de luz reflejada se utilizan generalmente “probetas pulidas”, que consisten en un trozo de roca o mineral embutido en una resina sintética. En ocasiones se utilizan láminas pulidas algo más gruesas que las utilizadas en el microscopio de luz transmitida, con el fin de poder hacer simultáneamente el estudio de las fases transparentes y opacas. En cualquier caso, la superficie de la muestra debe estar perfectamente pulida para obtener las mejores condiciones posibles de reflexión de la luz.



En el microscopio de luz reflejada las fases transparentes se observan con un color gris muy oscuro debido a que reflejan sólo una parte muy pequeña (<10%) de la luz que incide sobre su superficie. Los minerales opacos van a presentar, en general, colores grises más claros o blancos ya que reflejan un porcentaje mayor de la luz incidente (15-90%). Algunos minerales opacos pueden presentar colores distintivos y definidos (azul, amarillo, etc.), pero en la mayoría de estos minerales sólo vamos a observar distintos tonos que abarcan toda la gama entre el blanco y el gris (Machaca y Pinto, 2017).

#### **2.4.16. Metodología de estudio**

El método analítico, es la observación de un objeto o hecho, también consiste en la desmembración de un todo descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos que puede tener un objeto de estudio, para comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías (Hernández et al., 2010).

El método descriptivo es un método científico basado en la observación que busca reconocer las características, comportamientos, situaciones más importantes de un fenómeno u determinado objeto de estudio, a través de una descripción exacta, precisa y sistemática. Los datos descriptivos se registran en términos cualitativos y cuantitativos. (Hernández et al., 2010)

El método interpretativo es un modelo que busca conocer las características del objeto de estudio, también llamado como naturalista, fenomenológico, hermenéutico y así mismo cualitativo por la naturaleza de sus datos y las técnicas más usadas en esta investigación es la observación y análisis de contenidos (Pérez, 2002).

## CAPÍTULO III

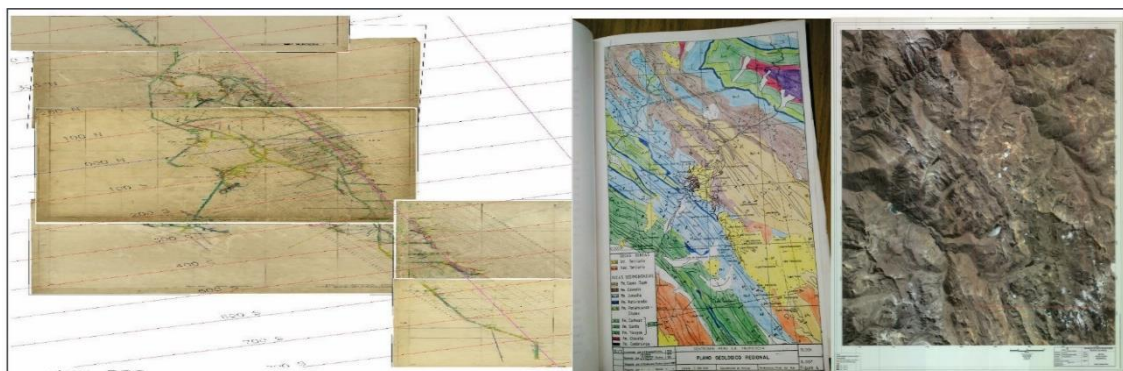
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología de trabajo de investigación es analítica, descriptiva e interpretativa en las labores subterráneas y de superficie en la mina Yauricocha. Para la elaboración del presente trabajo de investigación se hizo de cinco etapas:

##### 3.1.1. Etapa de recopilación de información

Recopilación, selección, revisión, interpretación de información preexistente en gabinete para el inicio de las investigaciones. Se realizó la búsqueda de bibliografía histórica y actual sobre mineralización controles geológicos de la ex empresa Cerro de Pasco Corporation. Estos datos ahora pertenecen a la Sociedad Minera Corona SA, se revisó informes anuales y mensuales, tesis de la mina Yauricocha y alrededores. También se recopilaron planos geológicos topográficos de superficie y de laboreos subterráneos existentes. Como información complementaria se consideró fotografías aéreas (ortofotos); mapas geológicos, estructurales locales y regionales.



*Figura N° 3. 1. Recopilación bibliográfica basada en la revisión de planos.*

### 3.1.2. Etapa de campo

Trabajo de campo (in situ) en esta etapa se realiza el mapeo geológico, geología estructural y alteraciones en escala 1:1000, coordenadas UTM, sistema WGS84. En los trabajos de campo se utiliza el método de observación, descripción y análisis para la toma de datos geológicos de rumbos y buzamientos de los estratos de roca, fallas, fracturas, estructuras mineralizadas y las alteraciones. Paralelamente al trabajo de mapeo se realizan muestreo aleatorio en canales y calicata para realizar análisis geoquímicos.

En esta etapa se planifico y ejecuto (cámaras de perforación diamantina) en interior mina. Se realizan proyectos para realizar perforaciones diamantinas, traslados de equipo hacia las cámaras, se ejecuta las perforaciones y trabajos de traslado de cajas con muestras de interior mina a superficies. Esta etapa de investigación se realiza desde el año 2014 y continúan las exploraciones con taladros de perforación diamantina y laboreo minero hasta la fecha.

Las perforaciones diamantinas tienen un acumulado de 22 387 metros lineales de testigos de perforación diamantina acumulado en 322 taladros que corresponden al cuerpo Esperanza con una inversión aproximada de \$ 1,567,090 (dólares americanos) inversión realizado por la empresa Sociedad Minera Corona S.A.

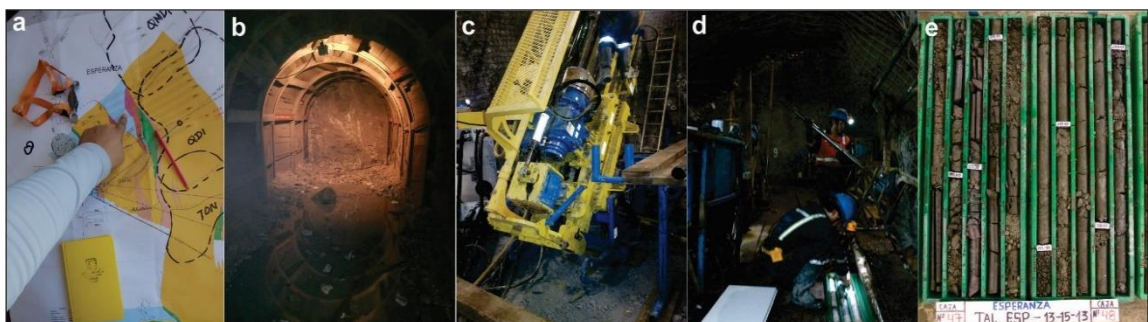


Figura N° 3. 2. Etapas de campo (a) planificación de proyectos, (b) construcción de cámaras de perforación diamantina, (c) traslado de equipo, (d) perforación diamantina, (e) muestras de testigos.



### 3.1.3. Etapa de logueo y muestreo

En esta etapa se describen las características geológicas, mineralógicas, estructurales y alteraciones de los testigos de perforación diamantina cumpliendo los protocolos de muestreo ya establecidos. Las muestras fueron trasladadas de interior mina a superficie (sala de logueo) luego las cajas son extendidas, lavadas y fotografiadas. Seguidamente el geólogo pasa a loguear (describir) todas las características geológicas del testigo en una hoja de logueo. El geólogo marca las zonas de interés económico que posteriormente es cortado; el corte del testigo de perforación se realiza según la indicación del geólogo el 50% de muestra es enviada al laboratorio y la otra mitad de 50% queda en las cajas como respaldo para la empresa. Finalmente, se realiza el muestreo del testigo de perforación diamantina cumpliendo todos los protocolos de QA/QC (control de calidad) establecidos.



*Figura N° 3. 3. Etapa de logueo y muestreo (a) cajas de muestra extendida, (b) geólogo realizando el logueo, (c) hojas de logueo detalladas, (d) etiquetado y embalado de muestras.*

### 3.1.4. Etapa de laboratorio

En esta etapa las muestras obtenidas de roca y minerales fueron enviadas a laboratorios internos y externos para el análisis químico; por dos métodos. Método de absorción atómica en laboratorio interno y método ICP de 41 elementos en laboratorios externos, estos análisis químicos nos permiten conocer las concentraciones de cada elemento en gramos/tonelada y porcentajes/tonelada de (Ag-Pb-Zn-Cu).



También se realizó el estudio minerográfico; para lo cual se preparó la sección pulida para reconocer el tamaño de cristal y porcentajes en la sección, tipo de texturas, asociaciones mineralógicas (relación entre minerales metálicos), reemplazamientos o sustituciones y secuencia paragenética. En el estudio petrográfico se reconoce el tamaño de cristales y porcentajes en la sección, tipo de texturas, asociaciones mineralógicas (relación entre minerales no metálicos), alteraciones hidrotermales y reemplazamientos y la clasificación de la roca.

Para la preparación de secciones delgadas y pulidas se enviaron 20 muestras de testigos de perforación diamantina al laboratorio BizaLab.

- 10 muestras para preparación de secciones delgadas (estudio petrográfico).
- 10 muestras para preparación de secciones pulidas (estudio minerográfico).

### **3.1.5. Etapa de gabinete**

Esta etapa se realiza el análisis e interpretación de la información obtenida en las etapas anteriores: se procesa el plano geológico y estructural en escala detallada 1:1000 usando *softwares* como el AutoCAD y Leapfrog con los datos obtenidos en campo. Se elaboran los planos en planta y secciones con los taladros de perforación diamantina, para el plano geoquímico se utilizan los resultados del análisis químico, se sectorizan los tipos de intrusivos con el resultado del estudio petrográfico; para validar la hipótesis sobre la mineralización en la zona de estudio.

La base de datos obtenidos en especial del logeo de testigos de perforación diamantina fueron insertadas a una tabla de Excel “*collar, assays, litho y survey*” estos datos son procesados AutoCAD y LeapFrog. También se analiza, describe e interpreta



los resultados de los estudios de petrográficos y minerográficos para la elaboración de cuadros de paragénesis, alteraciones hidrotermales y mapas.

La etapa final de la investigación fue la escritura de la tesis, en donde se llegó a exponer los resultados sobre los controles geológicos que intervienen en la mineralización de Zn-Pb-Ag-Cu en el cuerpo Esperanza, mina Yauricocha.

### **3.2. RECURSOS Y MATERIALES**

Los equipos a utilizarse son: Materiales de campo:

- Brújula Brunton o brújula de geólogo, se usa generalmente para mediciones del rumbo y buzamiento de estratos, estructura mineraliza, fracturas y fallas.
- Picota de geólogo Estwing de mango corto.
- Lupa Iwamoto acromático de 20x, para describir las rocas y minerales.
- Lápiz de dureza, tableros de mapeo, cuaderno de campo.
- Cámara fotográfica Canon.

Los equipos en la etapa de obtención de muestras son:

- Máquinas de perforación diamantina: modelo LM-75, DIAMOND-1500, SD, RD-800, STM-1500, JKS-15 con estos equipos se obtienen los testigos de roca y mineral de forma cilíndrica denominado “testigo diamantino”.
- Máquinas de corte de testigos; Modelo Clipper y Norton, para realizar el corte de los testigos de perforación diamantina.
- Bolsas de plástico (polietileno), para toma de muestras y evitar contaminación.
- Plumones para codificar las bolsas de muestras.
- Rafias, para asegurar las bolsas de muestra.



Los equipos en la etapa de análisis y descripción de muestras son:

- Descripción macroscópica y lupa marca iwamoto acromático de 20x, para describir las rocas y minerales.
- Microscopios de luz polarizada con luz transmitida y reflejada se utilizan microscopios ópticos de polarización de marca OLYMPUS modelo BX51, con objetivos: 2.5X/0.08 - 10X/0.25 P - 20X/0.40 P - 50X/0.75, también se utilizó el microscopio de barrido electrónico para verificar el reconocimiento de minerales que presenten dificultades para detectar sólo por microscopía óptica.
- Equipos de Análisis Geoquímico (Absorción atómica y ICP).

### **3.3. RESTRICCIONES**

Las restricciones principales para desarrollar la tesis fueron:

- El tiempo necesario para desarrollar la tesis por motivos de trabajo.
- Uso de datos confidenciales de la empresa.
- Pocos trabajos mineros como galerías, cruceros y la preparación de cámaras de perforación diamantina.

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La Mina Yauricocha se ubica en el flanco oeste de la cordillera occidental de los Andes, en el centro del Perú; geopolíticamente se circunscribe en el departamento de Lima, provincia de Yauyos, distrito de Alis y comunidad Tinco Yauricocha. El área de la mina se encuentra a una altitud promedio de 4600 m.s.n.m. Su ubicación geográfica está definida por las coordenadas UTM WGS 84: E 421610 y N 8639353 (Ver figura N° 4.1).

*Tabla N° 4. 1. Vías de acceso desde Lima hacia la unidad minera: distancia y tiempo.*

<b>RUTA 01</b>	<b>DISTANCIA (Km.)</b>	<b>TIEMPO (Hr)</b>	<b>TIPO DE VÍA</b>
Lima – Huancayo	313	6 horas	Carretera asfaltada
Huancayo–Mina Yauricocha	104	2 horas	Carretera afirmada

<b>RUTA 02</b>	<b>DISTANCIA (KM)</b>	<b>TIEMPO (Hr)</b>	<b>TIPO DE VÍA</b>
Lima – Cañete	180	2 horas	Carretera asfaltada
Cañete – Mina Yauricocha	202	5 horas.	Carretera asfaltada

Fuente: Elaboración propia

A la mina Yauricocha se accede por vía terrestre mediante dos rutas. Ruta 01: Lima – Huancayo carretera asfaltada, Huancayo – mina Yauricocha carretera afirmada en total se recorre 417 Km el tiempo de viaje aproximado es de 8 horas. Ruta 02: vía panamericana sur Lima – Cañete – Yauricocha, el cual tiene una longitud de 382 Km; el tiempo de viaje es 7 horas aproximadamente.

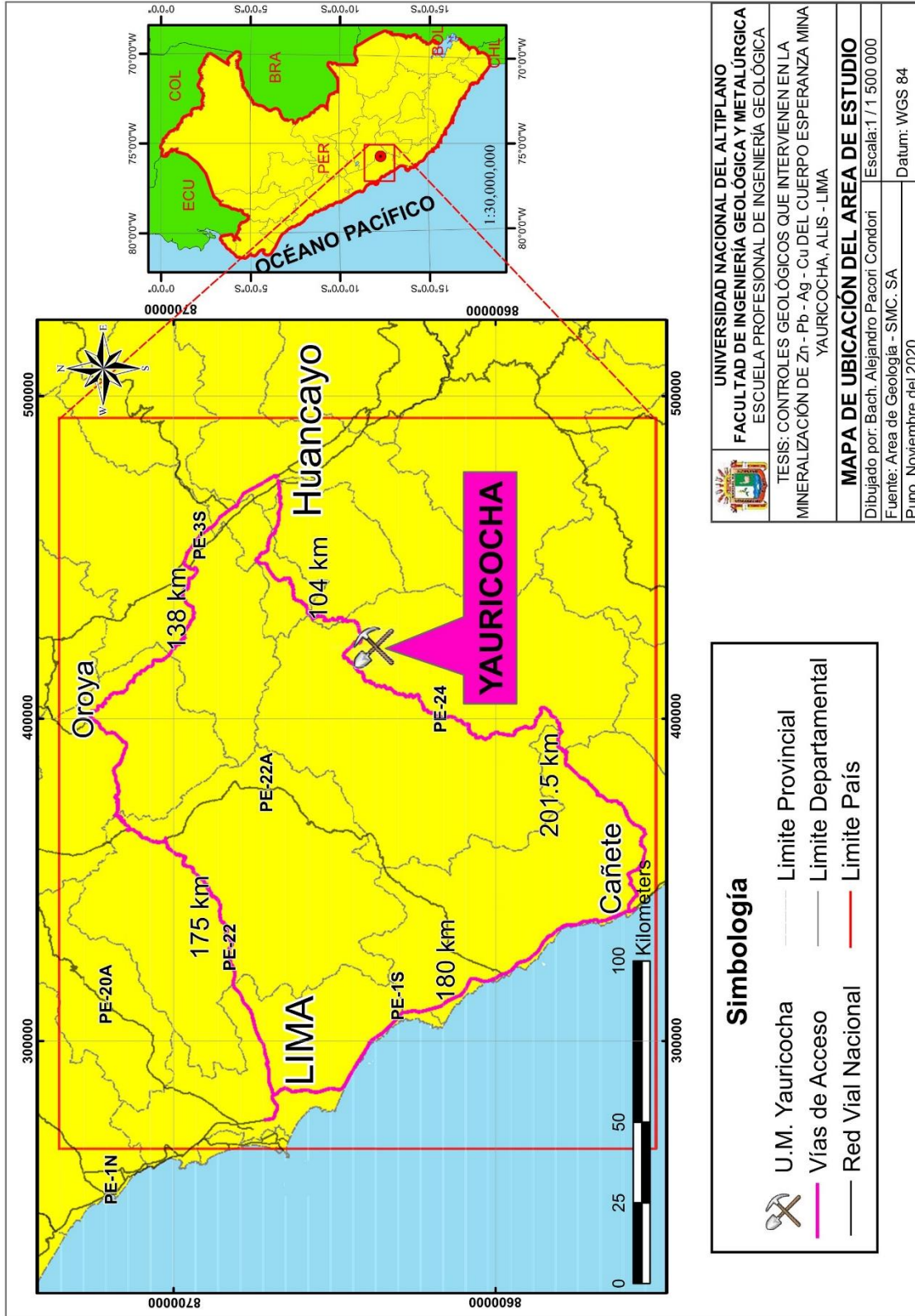


Figura N° 4. 1. Mapa de ubicación mina Yauricocha y vías de accesos. Fuente: Adaptación propia a Sociedad Minera Corona S.A.

## **4.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL**

En la zona de estudio se observa un paisaje esencialmente de origen glaciario superpuesto a uno de origen tectónico en rocas sedimentarias e ígneas. Una de las características de la glaciación de la zona de estudios, es que muestra las lagunas escalonadas que forman cuencas endorreicas y valles en forma de “U” relacionados a morrenas laterales que por debajo de los 4000 m.s.n.m. pasan a valles encañonados y llegan a confluir al río Cañete y de allí al Océano Pacífico.

## **4.3. GEOLOGÍA LOCAL**

Alrededor del distrito minero Yauricocha y cuerpo Esperanza tiene mayor exposición las calizas de la formación Jumasha (calizas micríticas gris pardas a beige intercaladas con calizas nodulares). Sobre esta unidad estratigráfica se sobrepone de forma concordante con la formación Celendín, que está constituida por lutitas silicificadas con intercalaciones de caliza recristalizada de forma concordantemente se encuentra formación Casapalca (capas rojas) de la, que tienen principalmente lutitas rojas calcáreas. Se observa el afloramiento de un complejo de intrusivos que se desarrollaron en el intervalo de Mioceno-Plioceno, las composiciones mineralógicas de estos intrusivos de Yauricocha, son granodioritas y monzonitas cuarcíferas. Ver columna estratigráfica local figura N° 4.3.

### **4.3.1. Formación Jumasha**

La formación Jumasha del Cretáceo medio, tiene un espesor promedio de 700 metros, consistente de caliza masiva de color gris claro. En la base, cerca al contacto con las areniscas, incluye intercalaciones de lutitas carbonosas. Estos estratos ocurren en lentes discontinuos de calizas marrones y grises, ocasionalmente con horizontes lutáceos



y silíceos de unos 6,00 m de espesor. También están presentes pseudo brechas de probable origen sedimentario y un sill de basalto.

En la superficie del cuerpo Esperanza las calizas de la formación Jumasha están en contacto con el intrusivo granodiorítico y la falla Yauricocha, afloran en secuencias compactas en el sector suroeste del área del cuerpo Esperanza. En interior mina la caliza de la formación Jumasha están marmolizadas y recrystalizado y se extiende de 500 metros desde el contacto con el intrusivo. Estas rocas se caracterizan por presentar la coloración gris blanquecina están recrystalizadas y marmolizadas de grano medio a grano grueso con presencia de arcillas negras (bituminosas) en forma de patinas dentro de las fracturas, venillas de calcita, pirita diseminada, presenta textura dendrítica por contener manganeso (pirolusita).

El mármol blanquecino se extiende desde el intrusivo hasta unos 300 metros, después esta la caliza recrystalizada con una potencia de 200 metros desde el límite de la zona marmolizada y finalmente al extremo está la caliza fresca de la formación Jumasha. La forma del mármol y caliza recrystalizada adopta la forma del emplazamiento del intrusivo a lo largo del contacto. El cuerpo Esperanza se encuentra en el flanco occidental del anticlinal de Yauricocha la roca marmolizada y recrystalizada es la roca encajonante principal del cuerpo. Los estratos tienen rumbos  $N32^{\circ}O$  y buzan  $65^{\circ}-70^{\circ}NE$ .

#### **4.3.2. Formación Celendín**

Las lutitas silicificadas de la formación Celendín sobreyace concordantemente a las calizas de la formación Jumasha. Las lutitas silicificadas están finamente estratificada con intercalaciones de caliza recrystalizada la edad correspondiente al cretáceo tardío Santoniana. Su espesor promedio en el área de Yauricocha es de 400 metros.



### 4.3.3. Capas rojas de la formación Casapalca

Esta formación sobreyace concordantemente a la formación Celendín siendo su contacto gradacional. Se le ha asignado una edad entre el Cretáceo superior y en el Cenozoico inferior, ya que la ausencia de fósiles no permite datarla con exactitud. Está constituida principalmente por lutitas rojas calcáreas, calizas puras y calizas arenosas rojizas, ocasionalmente se ha reportado la presencia de flujos de lava y capas tufáceas.

### 4.3.4. Intrusivos

#### **Granodiorita**

Los intrusivos presentan contactos definidos y de gran ángulo con los sedimentos, así como una neta tendencia a seguir el rumbo regional y plano de estratificación. También varían gradualmente en tamaño, desde cuerpos de unos cuantos cientos de metros cuadrados hasta grandes masas que han cubierto varios kilómetros cuadrados. Es común la ocurrencia de apófisis pequeños en los bordes de los intrusivos mayores.

La actividad intrusiva se desarrolló mayormente en el Mioceno. Las edades determinadas mediante el método Ar-K en biotitas de muestras tomadas en el área de Yauricocha y Éxito, datan un promedio de 6,9 millones de años. (Giletti & Day, 1968). Su composición varía de granodiorita a cuarzomozonita en los bordes, observándose macroscópicamente plagioclasas, ortosa, biotita, hornblenda y cuarzo. Las plagioclasas, fluctúan desde oligoclasa hasta andesina, presentando comúnmente textura porfirítica.

En la zona de estudio se ha definido tres tipos de intrusivos al sureste intrusivo tonalítico en la parte central del cuerpo predominan el intrusivo cuarzodiorítico y hacia el noroeste un tipo de intrusivo cuarzomonzodiorítico.



#### **4.3.5. Metamorfismo**

Todas las masas intrusivas han producido aureolas de metamorfismo en las rocas encajonante; la extensión, tipo y grado de metamorfismo varía grandemente con los diferentes tipos de roca caja. Las rocas se metamorfizan en cuarcitas, lutitas hornfésicas y calizas recristalizadas y mármol. Las aureolas metamórficas que rodean las intrusiones son de diferentes extensiones. El blanqueamiento de las lutitas se extiende más allá de la zona de los silicatos cálcicos: mientras que las calizas Jumasha son recristalizadas, marmolizadas y blanqueadas por distancias bien cortas en la superficie.

Localmente las emanaciones que escaparon del intrusivo han producido en ciertos casos zonas angostas, de 1,00 m a 3,00 m de skarn y otros de 30,00 metros a 50,00 metros, las que realmente son parte integral de la intrusión. En las zonas de skarn se han desarrollado epidota, zoisita, tremolita, wollastonita, flogopita, granate, clorita y diópsido.

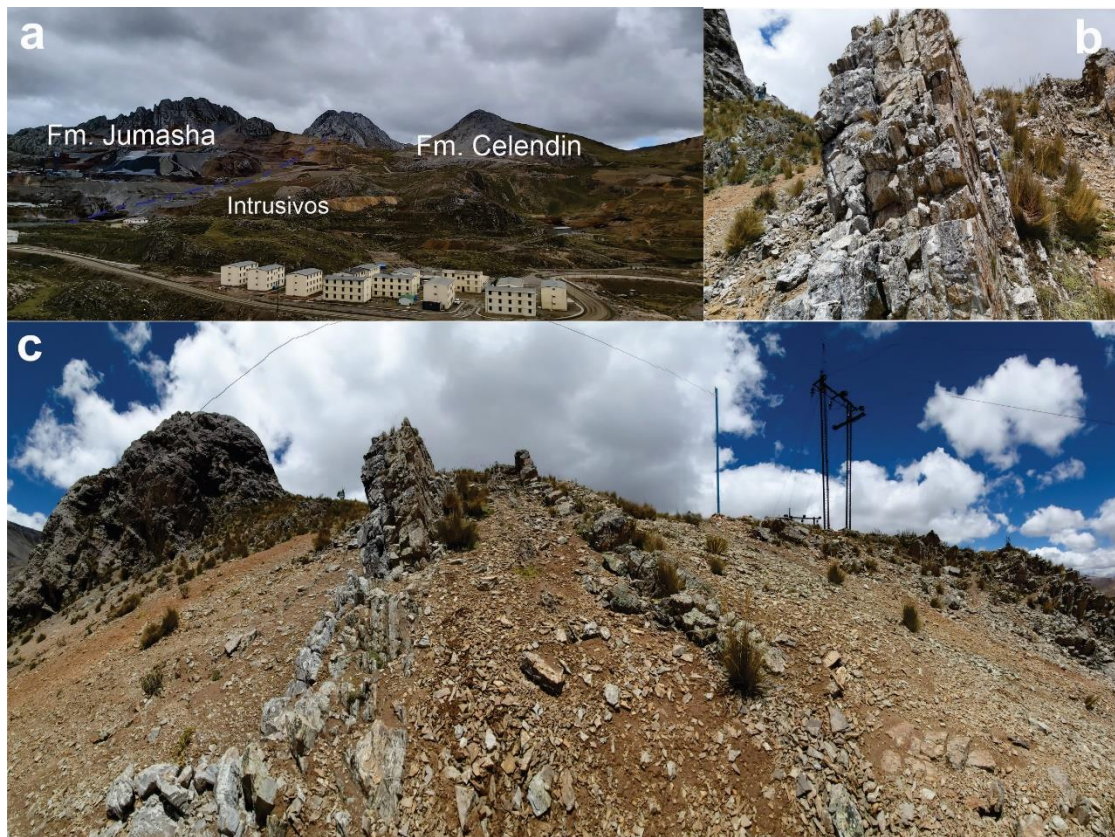
#### **4.3.6. Skarn**

Esta unidad litológica se encuentra concordante a la estratificación de las formaciones sedimentarias de la zona de estudio, especialmente al sur del Cuerpo Esperanza. En donde se puede observar un contacto gradual entre el intrusivo granodiorítico y cuerpos alargados englobados de skarn se caracteriza localmente por las emanaciones que escaparon del intrusivo han producido en ciertos casos zonas de pocos metros.

#### **4.3.7. Cuerpo de mineral**

La mineralización del cuerpo Esperanza está compuesta de Pirita, Magnetita (Mushketovita), Maghemita, Hematita (Especlarita), Calcita, Marcasita, Bismutinita y Rutilo. Los minerales económicos están conformados por: Calcopirita, Bornita,

Calcosina, Digenita, Covelina, Galena, Esfalerita, Cobres Grises, Luzonita, Enargita y Oro Nativo.



*Figura N° 4. 2. Fotografías de afloramientos de las formaciones expuesta en superficie. (a) se observa la formación Jumasha, formación Celendín e intrusivo. (b) Afloramiento de la formación Jumasha. (c) Cuerpos oxidados alterados en superficie del cuerpo Esperanza.*

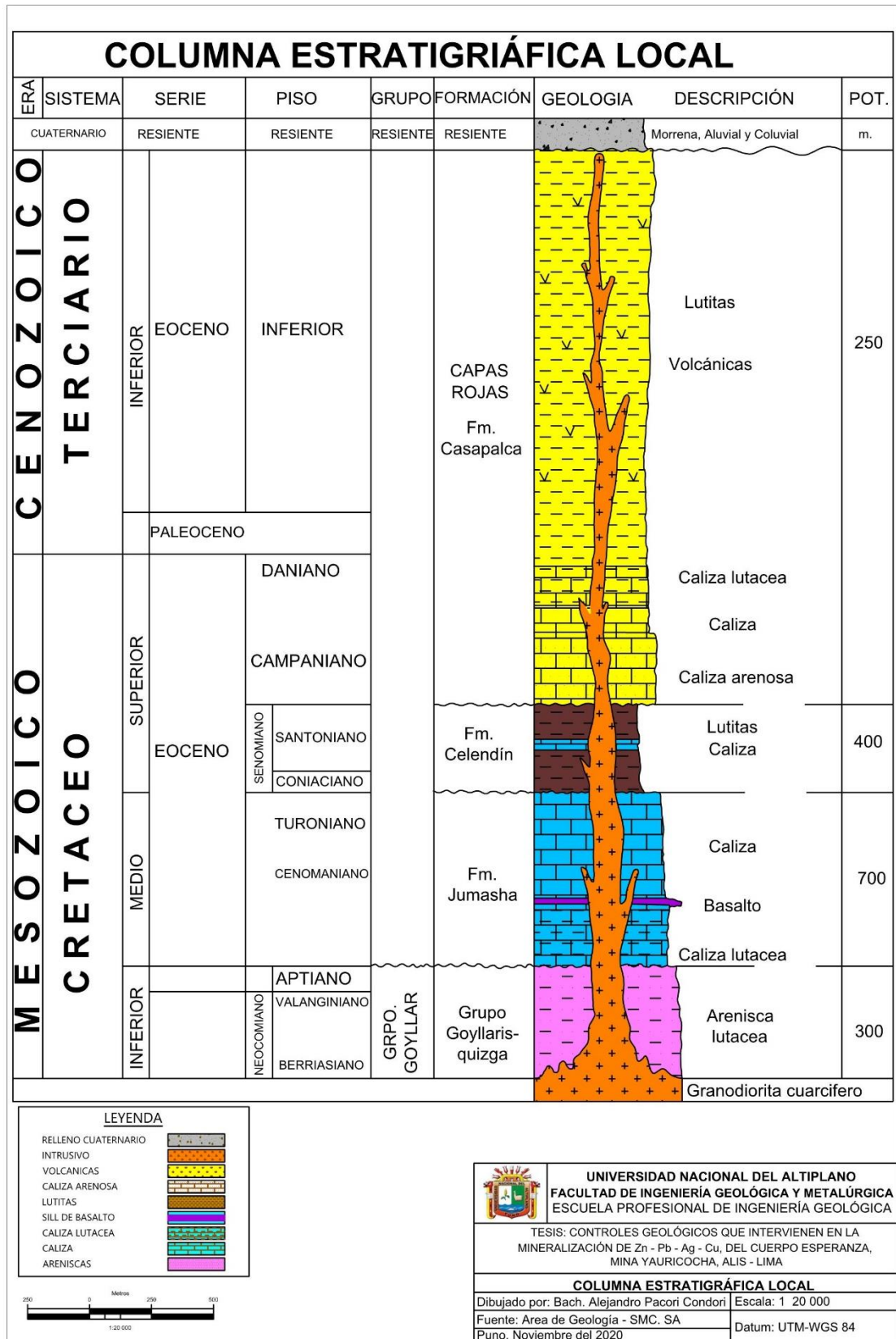


Figura N° 4. 3. Columna estratigráfica local de mina Yauricocha. Fuente: Sociedad Minera Corona S.A.

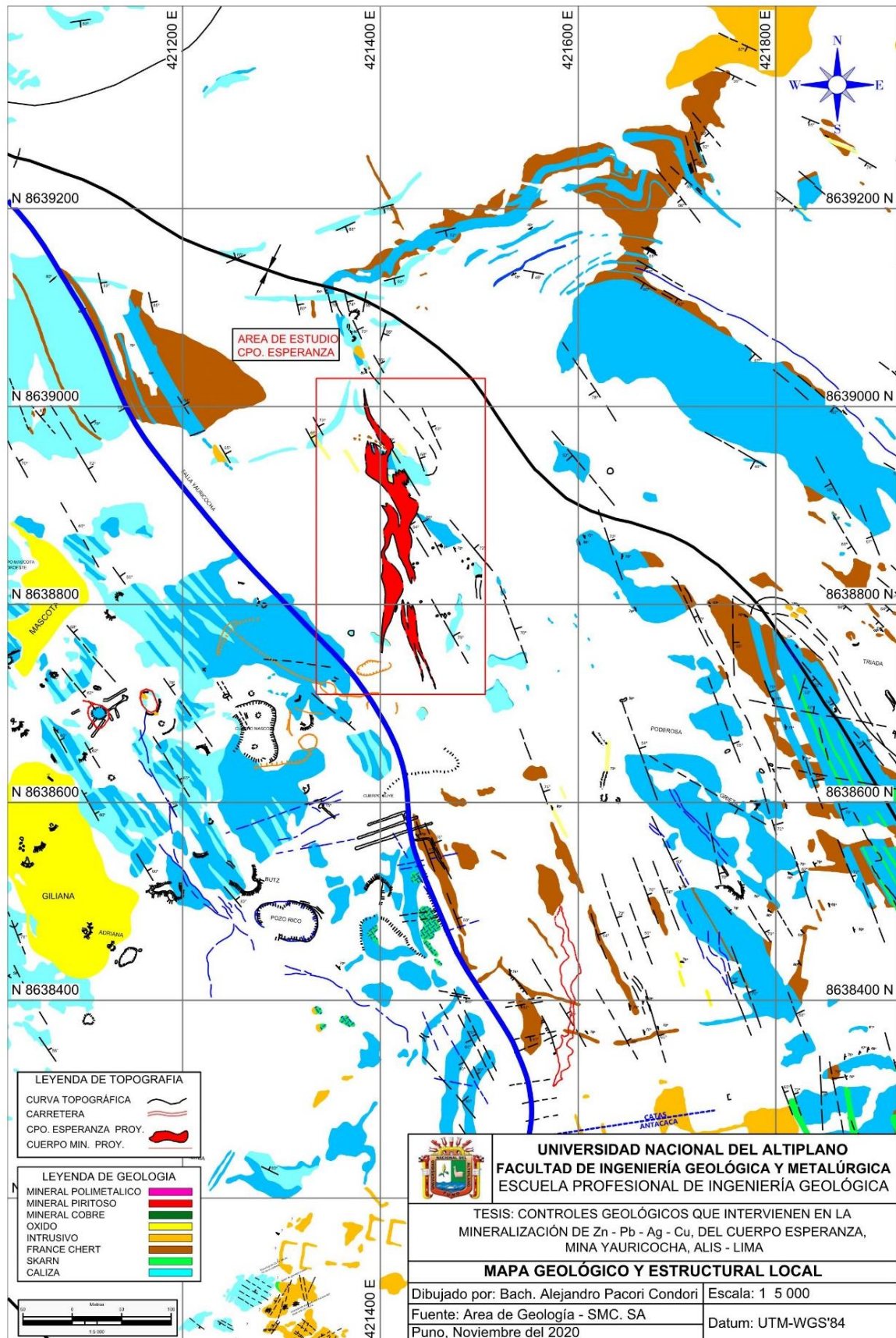


Figura N° 4. 4. Mapa geológico local y geología estructural del Cuerpo Esperanza y mina Yauricocha. Fuente: Sociedad Minera Corona SA.



#### **4.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

La zona de estudio presenta estructuras como: pliegues, fallas y fracturamiento, todas estas estructuras están relacionados a la tectónica andina.

##### **4.4.1. Pliegues**

Varios pliegues conforman las estructuras principales del área de Yauricocha: anticlinal Purísima Concepción y sinclinal France Chert (sinclinal de Yauricocha) en el sector denominado la Mina Central, Anticlinal Cachi Cachi y Sinclinal Huamanripa al Norte y Sinclinal Quimpará inmediatamente al sur de la laguna Pumacocha.

##### **4.4.2. Fallas**

El distrito minero Yauricocha y sus alrededores fue sometido a diferentes esfuerzos, los cuales actuaron en diferentes momentos y por consiguiente desarrollaron el fallamiento. El fallamiento más antiguo tuvo lugar durante el plegamiento que dio lugar a la formación de los anticlinales y sinclinales, probablemente antes y/o contemporáneo al intrusivo, este evento está representado por las fallas longitudinales y paralelos al rumbo regional NO de la estratificación.

La Falla Yauricocha, es la estructura más importante en el Distrito Minero Yauricocha, en la superficie se exhibe una traza tangible de 10.00 km que recorre en dirección Noreste-Sureste, y se encuentra cortando rocas sedimentarias de la Formación Jumasha, Formación Celendín, Formación Casapalca y al intrusivo granodiorítico; su buzamiento es al Noreste con ángulos que varían entre 75 y 80°, estos buzamientos son convergentes a la inclinación regional del sistema de fallas Chonta (Miranda y Morán, 2013).



El fallamiento, en el cuerpo Esperanza parece tener los mismos rasgos estructurales de la Mina Central, mayormente en dirección del rumbo de la estratificación y la falla regional antes mencionada NW-SE.

#### **4.4.3. Fracturas**

Los esfuerzos ocurridos en varias épocas, dieron como resultado el desarrollo de diversos sistemas de fracturas. Después que los intrusivos se emplazaron, el rumbo de los sedimentos plegados, al NO de la mina, fue girado por esfuerzo horizontal unos  $30^\circ$  y como resultado de este giro, se desarrollaron zonas de cizalla y juntas de rumbo NO - SE, y E - O, con buzamiento  $50^\circ$ -  $80^\circ$  NE o SW, las primeras;  $60^\circ$ -  $85^\circ$  SE- NW, las segundas y  $80^\circ$  N o S a casi verticales.

Este conjunto de fracturas que forman bloques fallados, a través de los dominios litológicos del área, juntamente con la falla Yauricocha representan las familias de fracturamiento más importante del distrito minero de Yauricocha y ejercieron un fuerte control en la posición de vetas, cuerpos mineralizados.

En el cuerpo Esperanza predominan tres dominios o familias de fracturamiento, el primero tiene rumbo de  $N60^\circ E$  con buzamientos de  $75^\circ$ - $80^\circ$  SE, la segunda familia tiene rumbo a  $S80^\circ E$  y el último  $S54^\circ E$ .

#### **4.4.4. Brechas**

Las brechas que ocurren en el área de Yauricocha, siguen principalmente la alineación estructural y se presentan mayormente en las calizas asociados a los contactos e intercepciones de fracturas; sus formas son tabulares y/o tubulares.

Estas brechas que pueden ser tectónicas de explosión, de intrusión o de contacto, constituyen una de las principales estructuras receptoras de mineralización.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar los controles de mineralización del cuerpo Esperanza se tomó conceptos de investigación geológica y bibliográfica, se realizó trabajos de mapeo geológico, logeo geológico, microscopía, análisis químico que nos permita conocer la formación y ocurrencia de la mineralización. La formación de un yacimiento de CRD (depósitos de reemplazamiento en rocas carbonatadas) y skarn se requiere de la congregación de varios elementos que la definan como tal, por ejemplo, su asociación a un intrusivos, altas temperaturas, grandes volúmenes de roca de composición calcárea, profundidad de formación, tipo de ocurrencia de minerales, contexto tectónico y tipos de alteración, etc. Hemos tomado como base a renombrados autores como: Makshev (2003; 2006), Meinert (1992; 2008; 2015), Einaudi et al. (1981), Zharikov (1970), Lindgren (1922), y Chang (2008); estos autores mencionan el origen del depósito ocurriendo en un orden cronológico y/o espacial. Teniendo como base todo lo mencionado, el presente estudio está concentrado sobre los controles geológicos que tienen relación con la mineralización de Zn-Pb-Ag-Cu en el Cuerpo Esperanza, Mina Yauricocha Alis-Lima-Perú.

Los afloramientos de rocas en superficie del Cuerpo Esperanza son tres: primero la caliza gris con presencia de óxido de manganeso dentro de las fracturas; también presenta dolomías macizas de color gris en menor grado, pasando en la parte media de la secuencia a calizas con estratos delgados de color beige y también destacan calizas grises azulinos en estratos gruesos y delgados. Los afloramientos de las calizas en el área de estudio están fuertemente plegados, los cuales corresponden a la Formación Jumasha.





Segunda unidad estratigráfica que ocurre en el área es la Formación Celendín que muestra una secuencia de lutitas de color gris verdoso, el cual presenta silicificación, de grano fino con diseminación y venillas de Pirita fina y Calcita. El tercero es el intrusivo granodiorítico de Yauricocha.

Sin embargo, en profundidad la roca encajonante (caja piso) se presenta metasomatizada; encontramos las calizas de la formación Jumasha recrystalizada y marmolizada de color gris blanquecino, de grano medio a grano grueso. Esta variación de grano depende de la proximidad de la intrusión, la roca presenta venillas de óxido de manganeso, arcillas bituminosas en fracturas, diseminación de pirita fina con textura dendrítica. “El blanqueamiento de la roca caliza y la conversión a mármol se interpreta por la pérdida de carbonato orgánico es por la presencia de intrusiones magmáticas y la circulación de fluidos volátiles” (Jurado, 2006). Esta secuencia está en contacto por el complejo de intrusivos de Yauricocha que varía de composición desde cuarzomonzodiorita, cuarzodiorita y tonalita que de color gris verdoso a gris blanquecina. En la caja techo están las lutitas y el complejo de intrusivo de Yauricocha. Entre el contacto entre la caliza marmolizada y el intrusivo está emplazado mineral del cuerpo Esperanza. En la zona mineralizada se observa evidencia de falla (presentan espejos de falla y estrías).

Bajo este contexto geológico favorable desde el año 2014 a la actualidad se realiza una exploración exhaustiva con mapeo geológico, taladros de perforación diamantina y laboreo minero, para determinar el tipo de mineralización, la continuidad del cuerpo Esperanza en profundidad. El cuerpo Esperanza está reconocido desde el nivel 870 piso 16 cota (4080 m.s.n.m.) al nivel 1270 cota (3690 m.s.n.m.) cubicado como recursos y



reserva con una proyección vertical de (400 m.) con continuidad por debajo de este nivel manteniendo su potencia y su contenido mineralógico.

Un detalle primordial del yacimiento Esperanza es que no aflora en la superficie, es un yacimiento oculto (ubicado aproximadamente a 500 metros debajo de la superficie), dicho yacimiento se ha descubierto por interpretaciones geológicas estructurales y contexto geológico similar a los cuerpos centrales y mina Cachi Cachi.

La mineralización del cuerpo Esperanza está compuesta de pirita, magnetita (mushketovita), maghemita, hematita (especularita), calcita, marcasita, bismutinita y rutilo. Los minerales económicos están conformados por: calcopirita, bornita, calcosina, digenita, covelina, galena, esfalerita, cobres grises, luzonita y enargita.

## **5.1. TIPOS LITOLÓGICOS Y ROCAS HUESPED DE CUERPO ESPERANZA**

Este control se constituye como uno de los principales factores para la mineralización del cuerpo mineralizado, por lo tanto, se describe la litología detalladamente en una sección (A-A<sup>1</sup>). Ver figuras N° 5.14 y N° 5.15 La sección intercepta todo el cuerpo Esperanza de SO a NE, con vista hacia el NO.

A continuación, detallaremos cada tipo de litología que conforma el cuerpo Esperanza. Ver figura N° 5.14.

### **5.1.1. Caliza gris**

Es la roca encajonante con mayor extensión en la superficie de la mina Yauricocha donde se alberga el Cuerpo Esperanza. Con una potencia variable de (700 metros), se expone con mayor amplitud al suroeste del cuerpo mineralizado de Esperanza, es una

roca de color gris, textura micrítico, grano fino, con presencia de venillas milimétricas de calcita en diferentes direcciones, presenta diseminación de pirita fina muy puntual, pátinas y venillas de óxido de manganeso (OxMn) Pirolusita y óxido limonítico (OXFe) y en algunas fracturas como pátinas. Su ubicación está más distal al cuerpo mineralizado e intrusivo. Metasomatizada (marmolizada y recrystalizada) en el contacto del intrusivo.

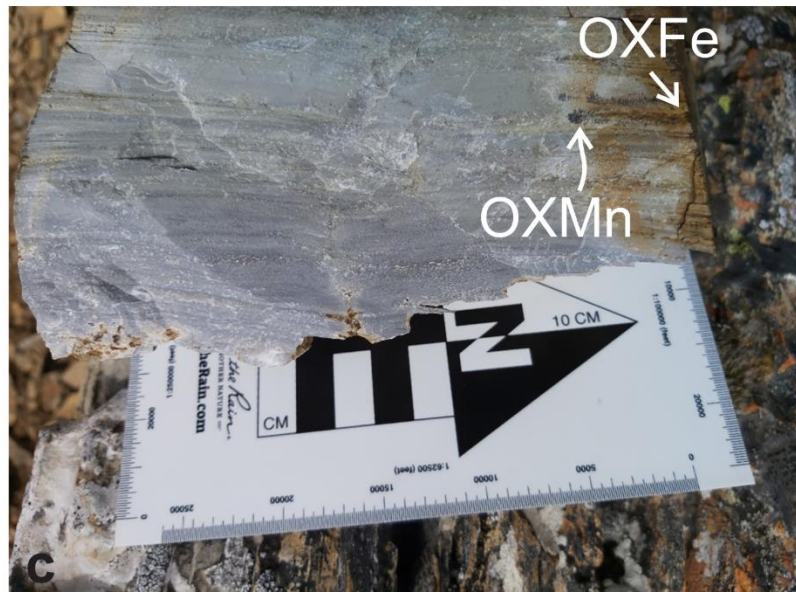


Figura N° 5. 1. Muestra de mano de caliza gris de la formación Jumasha de grano fino con bandeamientos, presencia de venillas de calcita y óxidos de OXFe y OXMn.

### 5.1.2. Lutitas silicificadas

Esta roca aflora en la parte superficial del cuerpo Esperanza y también al N y NO de la zona mineralizada en el flanco oriental del anticlinal de Yauricocha, llega profundizar hasta niveles donde inicia la mineralización entre el nivel 870 piso 16 con una potencia vertical de 450 - 500 metros desde la superficie. Esta información esta corroborado con taladros de perforación diamantina. Las características principales que presenta esta roca son: lutitas silicificadas, color gris verdoso, grano fino, cloritizado, epidotizado, con venillas de calcita y diseminaciones de pirita fina.



Las rocas calcosilicatadas (lutitas silicificada) contiene poca evidencia de mineralización en esta zona. Esta formación no ha sido favorable para la precipitación de minerales por sus características físicas (grano fino), composición química el cual evito la circulación y paso de fluidos hidrotermales el cual funciona como un sello el cual evitara el paso de fluidos hidrotermales y no precipita mineralización.

Según (Meinert, 1992), menciona que cuando existe un pre-metamorfismo en profundidad se forman los hornfels o lutitas silicificadas, cuando ocurre esto el metamorfismo ocurre en zonas profundas, el evento de metamorfismo el hornfels malogra el ambiente propicio para formar los yacimiento de skarn.

### **5.1.3. Caliza recristalizada**

Se ubica en la (caja piso) en el flanco izquierdo del sinclinal de Yauricocha. La recristalización de las calizas de la formación Jumasha ha sido causada por el metasomatismo de contacto de los primeros eventos de intrusión magmática y probablemente el principal causante es el intrusivo granodiorítico con edades promedio de 6,9 millones de años (Giletti & Day, 1968). Esta intrusión ocasiona el desarrollo de la recristalización de las rocas carbonatadas preexistentes; por la lejanía y profundidad del intrusivo. La caliza ha sufrido un cambio o metamorfismo isoquímico que implica la recristalización y cambio en la estabilidad del mineral sin ningún cambio o transferencia de masa significativa.

Ubicado al SO del cuerpo mineralizado y los intrusivos. Desde el intrusivo y la estructura mineral esta roca está ubicada entre 50 y 500 metros variablemente, adopta la geometría irregular de la estructura mineralizada y el intrusivo.

La característica principal de la roca es; color es gris con intercalaciones de color blanquecino, tiene grano medio, se observa venillas planas de calcitas y esporádica presencia de venillas de calcosilicatos, diseminación de piritita fina manganifera (presenta textura enraizada o dendrítico), patinas de arcillas negras bituminosas en las fracturas, óxido de hierro OXFe (amarillentos) y oxido de manganeso OxMn en algunas fracturas, ver figura N° 5.1.

Albergan zonas de mineral polimetálico, presenta mineralización de piritita, galena, esfalerita y calcopirita en estructuras menores, típico de una mineralización (CRD) depósitos de reemplazamiento en rocas carbonatadas.

En sección vertical la caliza recristalizada está confirmado en el nivel 720 cota (4180 msnm) no continuos, intercalados con caliza gris y lutitas silicificadas. Esta roca se ha interceptado con taladros de perforación diamantina ejecutados desde el nivel 720 con taladros negativos y taladros positivos ejecutados desde el nivel 870. Por debajo del nivel 870 es masiva y continúa al SO del cuerpo mineralizado en algunos niveles intercalado con mármol cuando están más próximos a cuerpos mineralizados.



Figura N° 5. 2. Se observa una muestra de caliza recristalizada en contacto con el mármol blanquecina. Muestra de un testigo de perforación diamantina en línea NQ.



#### 5.1.4. Mármol

La marmolización es causada por los primeros eventos de intrusión magmáticos y probablemente el principal causante es el intrusivo Granodiorítico con edades promedio de 6,9 millones de años (Giletti & Day, 1968) y eventos posteriores. El emplazamiento de las rocas ígneas que genero la circulación de fluidos hidrotermales y volátiles e ingresa a la caliza través de los poros, la fractura y planos de estratificación de roca los cuales sirven como vías de escape de los fluidos que posteriormente causa la marmolización de la caliza.

El mármol es la roca encajonante principal del cuerpo mineralizado de Esperanza y también de los cuerpos centrales de la mina Yauricocha, se ubica en la (caja piso) en el flanco izquierdo del sinclinal de Yauricocha. El protolito es la caliza gris de la Formación Jumasha, que ha sido transformada y metasomatizada.

La característica principal del mármol es: su color blanquecino con tonos grises puntuales. El blanqueamiento del mármol se interpreta por la pérdida de carbono orgánico en la roca carbonatada por oxidación de la intrusión. El blanqueamiento revela la destrucción del carbono por difusión y también por la presencia o ausencia de minerales calcosilicadas y sulfuros. (Jurado, 2006). Predomina el grano medio y el grano grueso, pirita fina diseminada en forma dendrítica por contener manganeso, venillas de calcosilicatos, piroxenos, arcillas negras bituminosas en algunas fracturas. En sección vertical la ocurrencia de mármol es masiva y continua desde el nivel 870 hasta el nivel 1270. En la zona del cuerpo Esperanza el mármol tiene una potencia variable en el plano horizontal va desde (0 a 150 metros) del contacto del mineral e intrusivo, longitudinalmente bordea a la geometría del intrusivo y se extiende a más de (1 Km) alrededor las estructuras de la mina central de Yauricocha.

La mineralización del cuerpo Esperanza es polimetálico en los niveles superiores como los niveles de 870 y 920 contiene mayor concentración de (Ag, Pb, Zn) y menores concentraciones de (Cu). Por debajo de los niveles de 920 y 970 hay un incremento de valores de (Cu y Fe) y disminuye los valores de (Ag, Pb, Zn). Presenta minerales como: magnetita, especularita, maghemita, pirita, esfalerita, calcopirita, luzonita, digenita, bornita, enargita, marcasita, covelina.

El mármol es receptivo y favorable por sus características físicas y químicas para la mineralización; en donde la eficiencia del carbonato sirve como el concentrador de metales y tiene la capacidad de neutralizar los fluidos ácidos y alta solubilidad en soluciones acidas, provocando un aumento de porosidad en la cual ha precipitado el mineral. Otra característica favorable del mármol es el tipo de fracturamiento que sirve como conductos para los fluidos mineralizantes; estos dos factores del mármol son muy favorables para el ingreso de fluidos hidrotermales y formar las estructuras; El cuerpo mineralizado de Esperanza está emplazado en el mármol y en el contacto entre mármol e intrusivo.



*Figura N° 5. 3. Muestra de mármol color blanquecino, grano medio a grueso con diseminación de pirita en el flanco occidental del sinclinal de Yauricocha.*

### 5.1.5. Brecha

Esta litología es muy buen receptor de la mineralización que está dentro de las rocas marmolizadas y la caliza recristalizada. Ver figura N° 5.4. Es una roca compuesta aproximadamente de 85% de fragmentos sub-angulosos de mármol gris blanquecino, matriz de roca triturada y arcillas negras bituminosas con diseminación e mineralización de pirita, galena, esfalerita y trazas de calcopirita en la matriz y venillas de calcita.

Las brechas tienen origen tectónico o intrusión magmática se forman producto de los primeros eventos de la tectónica andina. Posiblemente ocasionados por los esfuerzos de tipo compresivo que han formado una serie de pliegues y fallas. Que posteriormente las rocas intrusivas han aprovechado estas aperturas para su desplazamiento de mineralización en el Mioceno. Mayormente ubicadas en los bordes de la estructura mineralizada y también se presentan distales a la estructura principal.



Figura N° 5. 4. Brecha tectónica mineralizado de pirita, galena, esfalerita y calcopirita en línea NQ de perforación diamantina.





### 5.1.6. Skarn

El skarn tiene ocurrencia esporádica, no tiene continuidad bien definida se ubican próximos al cuerpo mineralizado e intrusivo. El skarn se encuentra en el contacto del intrusivo-mármol, también se encuentra de forma aislada dentro del (mármol) típicas zonas de Exoskarn y también se desarrollan dentro del (intrusivo) denominadas zonas de Endoskarn. La roca skarn se ha registrado y reconocido con taladros de perforación diamantina y labores mineras. Existe mayor presencia por debajo del nivel 920.

El desarrollo reducido de skarns en la zona del cuerpo Esperanza es por la pre-existencia de rocas calcosilicatadas como (mármol, caliza recristalizada y el hornfels) ocasionado por el complejo granodiorítico de Yauricocha y también por su formación en zonas profundas.

Las características principales del skarn son: color verdosa y parda contiene minerales como piroxenos, granates, calcosilicatos, wollastonita y magnetita puntual ocurren en los contactos de caliza marmolizada/recristalizada con el stock granodiorítico. En el contacto se forma una zona denominado “chilled margins” que es una zona de enfriamiento en donde se forma pequeñas zonas de skarn.

En la figura N° 5.5. Se observa un skarn con presencia de granates verdes (grosularia) 80%, wollastonita, piroxenos y granates pardos puntuales (andradita) 5%, venillas milimétricas de calcita, disseminación puntual de pirita, trazas de calcopirita, esfalerita y galena.



Figura N° 5. 5. Skarn con granates verdes (*grosularia*) y *andraditas*, *wollastonita* y *pirita* diseminada. Muestra de perforación diamantina línea NQ.

### 5.1.7. Intrusivo

A continuación, describiéremos las características petrográficas más relevantes de las rocas ígneas (intrusivos) como la textura, tamaño de grano, principales minerales formadores de roca y minerales accesorios, alteración y relación directa con la ocurrencia y deposición de mineral de Ag, Pb, Cu y Zn en la zona del cuerpo Esperanza. Para determinar los tipos de intrusivos se ha extraído 10 muestras de perforación diamantina corresponden al cuerpo Esperanza. Los estudios fueron realizados en los laboratorios de BisaLab el año 2016. Donde hemos determinado 03 tipos de intrusivos, este informe es el (IL-001MI-151).

#### 5.1.7.1. Tonalita

Esta sección de la roca intrusiva tonalita (Ver figura N° 5.6). Las rocas calcaras del Jumasha está en contacto con las tonalitas, los mismos han formado un metasomatismo de contacto principalmente mármol y también hornfels entre las lutitas y margas del Celendín. La mineralización es clásica CRD (depósito de reemplazamiento en



rocas carbonatadas) reemplazamiento de Zn, Pb, Cu emplazado en estos ambientes. El Cu se encuentra con la mineralización polimetálica mayormente en el mármol. Es importante mencionar que, en esta parte, se aprecia zonas de brechas hidrotermales con mineralización en matriz, el cual indica una dinámica constante de fluidos mineralizantes.

La tonalita se ubica en la zona sur-sureste del cuerpo Esperanza, este intrusivo es el generador de mineralización en esta zona, identificado con logueo geológico y estudio petrográfico. El intrusivo se ha interceptado con taladros de perforación diamantina y labores mineras. El tipo de mineralización ocurrida es masiva, corresponden al Grupo II según la clasificación en este estudio, también identificado como el primer pulso magmático y contiene minerales como: hematita (variedad especularita), pirita, calcopirita, magnetita, maghemita, marcasita, esfalerita. Este grupo se caracteriza por la predominancia de los óxidos de hierro (Hematita, Magnetita y Maghemita), respecto a los sulfuros. La calcopirita aparece en porosidades e intersticios de Pirita y Hematita.

En la figura N° 5.6. Sección del taladro ESP\_13\_15\_03 tiene una longitud total de 172.60 metros, ejecutado del nivel 870 dirigido al nivel 920 al sureste de la zona mineralizada. La muestra estudiada se tomó a los 157.20 – 157.30 metros, en roca intrusiva.

Macroscópicamente es una roca ígnea plutónica de color blanquecina con textura porfirítica compuesto por cuarzo, plagioclasas, hornblenda, biotita y ortosa primaria (esta última en cantidades menores), venillas de pirita la cual se presenta colores grises.

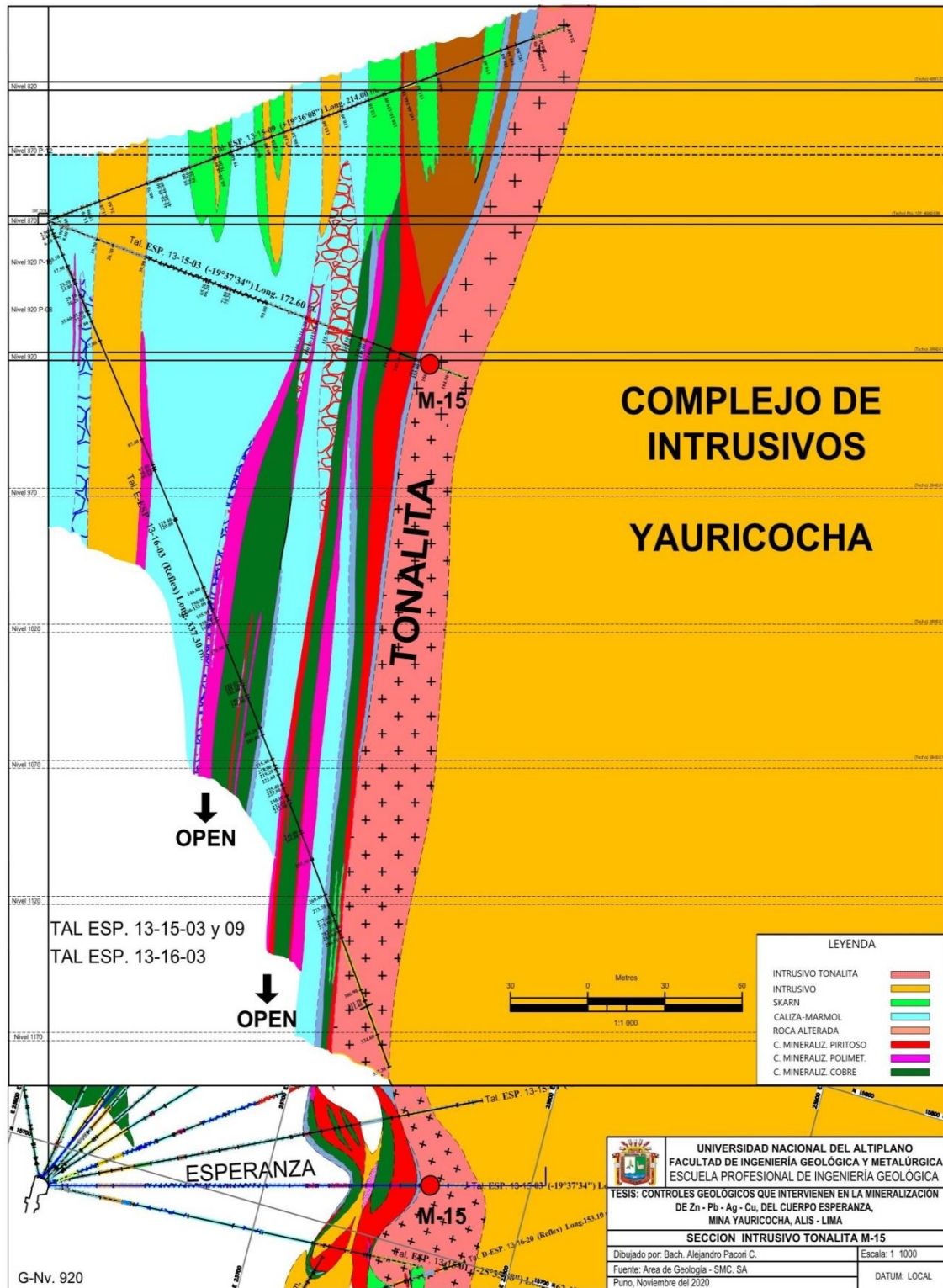


Figura N° 5. 6. Sección geológica y plano en planta del intrusivo tonalítico en contacto con calizas del Jumasha y mineralización clásica CRD (Zn-Pb-Cu). Muestra M-15 tomado del taladro ESP\_13\_15\_03 a los 157.20-157.30 m. intrusivo ubicado al sureste del cuerpo Esperanza. Fuente: Adaptación propia.

En la figura N° 5.7, se observa (a) muestra de perforación diamantina compuesta por cuarzo primario y feldespatos potásicos la muestra es cortada por venas de cuarzo secundario con minerales opacos. (b) Corte de muestra diamantina, se muestra con mayor claridad las plagioclasas, ortosa, biotita. (c) Imagen de Luz Transmitida, muestra completamente sericitizada (ser) con inclusiones de minerales opacos (OPs) y cuarzo secundario (cz II). (d) se aprecian minerales opacos (OPs) con cuarzo secundario (cz II) rellenando microfracturas en la roca intensamente sericitizada (ser). (e) se observa cuarzo primario (cz I) sericita (ser), muscovita (mus) y minerales opacos (OPs).

La tonalita está compuesta con los siguientes minerales formadores de roca: cuarzo I 19%, feldespatos potásicos en trazas, zircón en trazas y como minerales secundarios; sericita 67%, arcillas 5%, cuarzo II 1%, minerales opacos 7%. La muestra presenta alteración argílica débil (1-10%), sericitización intensa (> 40%).

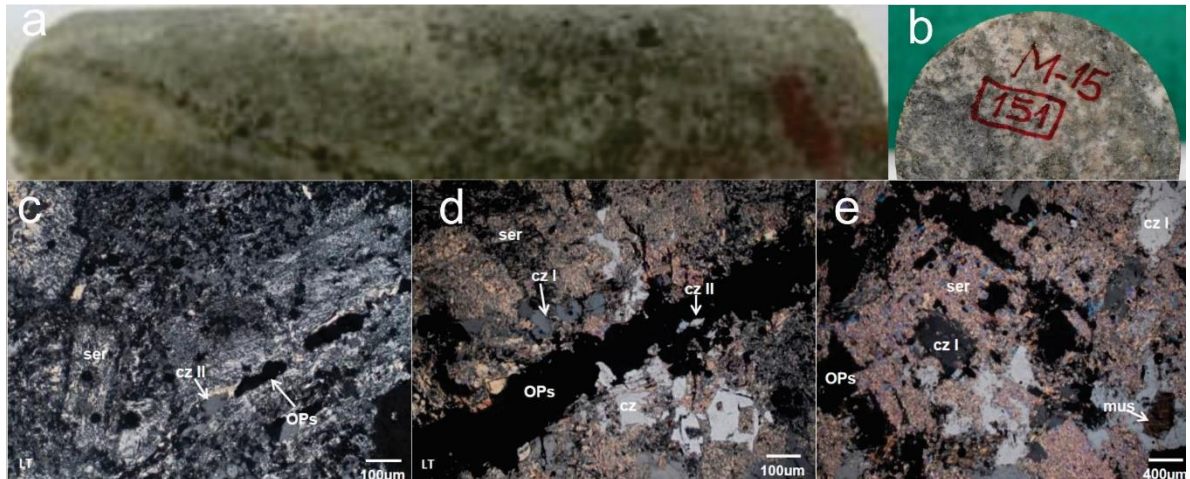


Figura N° 5. 7. Intrusivo tonalítico (M-15) en la parte superior tenemos testigos de perforación diamantina de color gris con tonos blanquecinos y microfotografías donde se observa sericitas con incrustaciones cuarzo, moscovita, cuarzo I y cuarzo II y minerales opacos.

#### 5.1.7.2. Cuarzodiorita

El intrusivo cuarzodiorítico se ubica en la zona central del cuerpo Esperanza, este intrusivo es el generador de mineralización económica masiva y friable. Está reconocido



con logueo, mapeos geológicos y estudio petrográfico. Esta muestra ha sido extraída de los taladros de perforación diamantina. El tipo de mineralización de este intrusivo corresponde al grupo I en la clasificación realizada en la tesis, también identificado como el segundo pulso magmático que mineraliza el cuerpo Esperanza, contiene minerales como: pirita, calcopirita, enargita, luzonita, bornita, calcosina, digenita, covelina, cobres grises, marcasita, bismutinita y galena. Este grupo se caracteriza por presentar la pirita como el mineral más abundante, así como la ocurrencia de minerales de cobre rellenando las microfracturas, intersticios y porosidades.

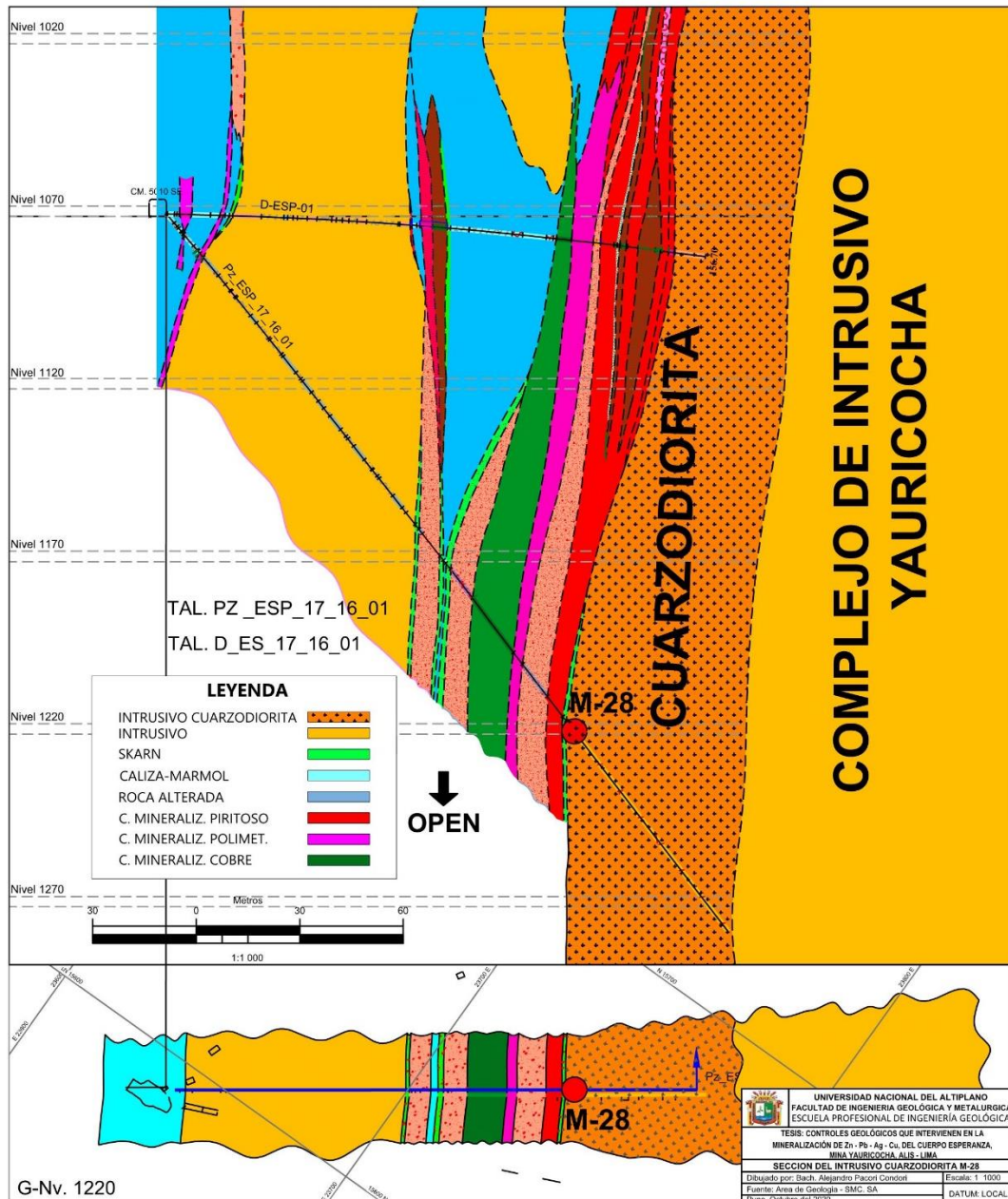


Figura N° 5. 8. Sección geológica y en planta del intrusivo cuarzdiorita y taladro PZ\_ESP\_17\_16\_01, muestra M-28 a los 190.90-191.00 m. el intrusivo está ubicado en la parte central del cuerpo Esperanza. Fuente: Adaptación propia.

En esta sección figura N° 5.8. Se muestra el emplazamiento de la cuarzdiorita que corta a las secuencias de carbonatos del Jumasha ocasionando una intensa marmolización. La mineralización es de tipo reemplazamiento generalmente de Zn, Pb, Cu entre las rocas marmolizadas, los fluidos han aprovechado los planos de estratificación y fracturas para depositarse, también existe una restringida skarnización con granates



verdes entre estas secuencias. Los tramos mineralizados tienen dimensiones entre 10 a 30 metros de potencia.

El taladro PZ\_ESP\_17\_16\_01 ejecutado con una longitud de 264.00 metros, desde el nivel 1070 dirigido al nivel 1220. La muestra (M-28) se tomó en el metraje 190.90 – 191.00 metros, roca intrusiva semi fresca, la zona sombreada alrededor de (M-28) corresponde a Cuarzodiorita.

Cabe mencionar que este intrusivo tiene mayor persistencia en profundidad y también llega hasta niveles superiores del cuerpo Esperanza también está interceptado en el nivel 1220 y continua en niveles más profundos. En la sección se observa que el intrusivos cuarzodiorita y diorita se unen en profundidad e indican que ambos intrusivo pertenecen al mismo foco magmático solamente varia la composición de sílice.

Macroscópicamente la tonalita es una roca ígnea con textura porfirítica, fanerítica de grano medio; presenta tonos grises a verdosos, consta principalmente de cristales de plagioclasas tabulares heterométricas; además cristales de cuarzo, feldespatos potásicos, anfíboles, biotita, clorita y epidota con ligeras impregnaciones de óxidos de hierro, además minerales opacos en intersticios como inclusiones.

El intrusivo contiene principalmente cristales de plagioclasas alteradas a arcillas, sericita y los minerales opacos tienen textura poiquilitica. La composición de minerales formadores primarios de roca es: plagioclasas 75%, feldespato potásico 8%, cuarzo 5%, biotita <2%, anfíboles < 6%, minerales opacos 2%, apatito en trazas. Minerales secundarios presentes son: Arcillas 1%, Clorita 1%, Epidota, Sericita y Óxidos de hierro en Trazas.



Fotografía 37. (a) Intrusivo de textura porfirítica con minerales opacos en intersticios como inclusiones, muestra de perforación diamantina en línea NQ. 38(b) microfotografía se observa textura granular; presentan cristales de plagioclasas (PLGs) con cuarzo (cz), anfíboles (ANFs) y biotita (bt) en sus intersticios; además feldespatos potásicos (FPKs) con inclusiones de biotita (bt), anfíboles (ANFs) y minerales opacos (OPs) con una textura poiquilitica. 38(c) Cristales de plagioclasas ligeramente alterados a arcillas y sericita (PLGs-ARCs-ser); cuarzo (cz) y feldespatos potásicos alterados a arcillas (FPKs-ARCs). 38(d) Cristales de plagioclasas ligeramente alterados a arcillas y sericita (PLGs-ARCs-ser) con cuarzo (cz), biotita (bt) y minerales opacos (OPs) en sus intersticios. 38(e) Cristales de feldespatos potásicos alterados a arcillas (FPKs-ARCs) con inclusiones de minerales opacos (OPs); además cristales de plagioclasas (PLGs), cuarzo (cz) y anfíboles (ANFs).

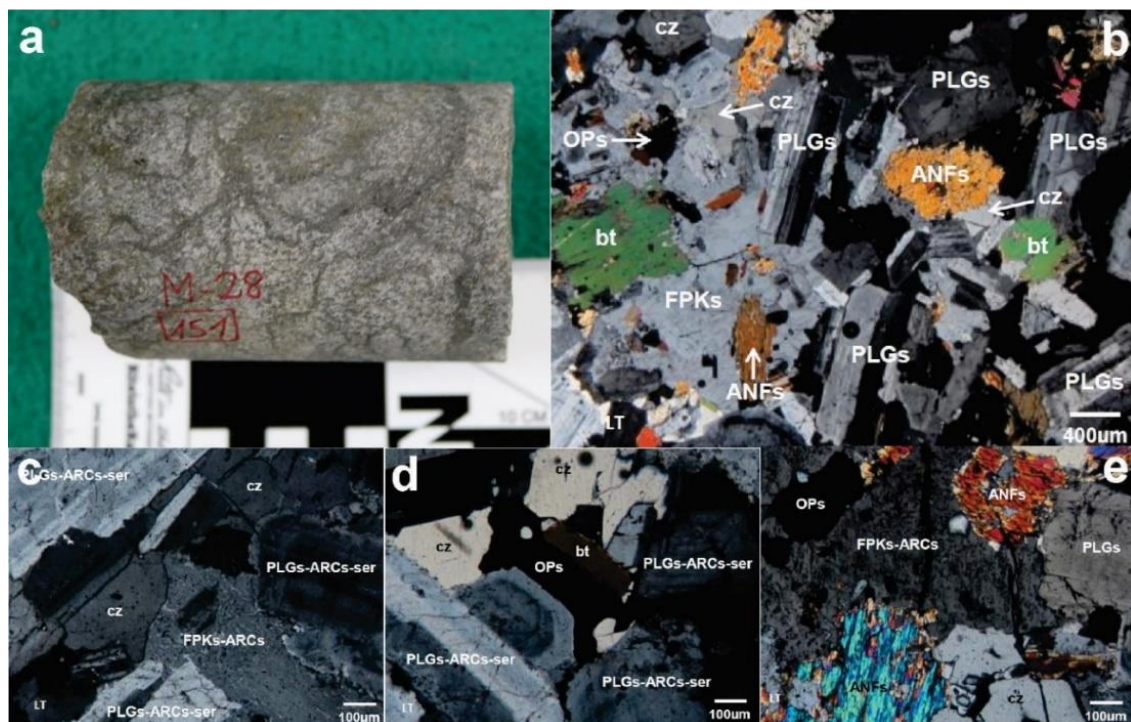


Figura N° 5. 9. Muestra de perforación diamantina de intrusivo cuarzodiorítico y microfotografías de la muestra M-28. Cristales de plagioclasas, cuarzo, anfíboles, feldespato potásico con inclusiones de biotita.



### 5.1.7.3. Cuarzomonzodiorita

El intrusivo cuarzomonzodiorítico se ubica en la zona norte-noroeste del cuerpo Esperanza, es el generador de la mineralización de pirita friable, esfalerita y galena compacta, está reconocido con taladros de perforación diamantina y labores mineras. Según la clasificación de hecha en la tesis corresponde a la mineralización del grupo III e identificado como el tercer pulso magmático, trajo consigo la mineralización de: pirita, calcopirita, enargita, luzonita, bornita, calcosina, digenita, covelina, cobres grises, marcasita, bismutinita y galena. También caracterizado por presenta mayor mineralización de esfalerita (45%).

En la figura N° 5.10. Se observa la sección del taladro ESP\_13\_15\_13 con una longitud de 262.40 metros, desde el nivel 870 dirigido al nivel 1070. La muestra analizada se tomó en el metraje 253.80 – 253.90 metros, donde el taladro intercepta intrusivo fresco, codificado M-30.

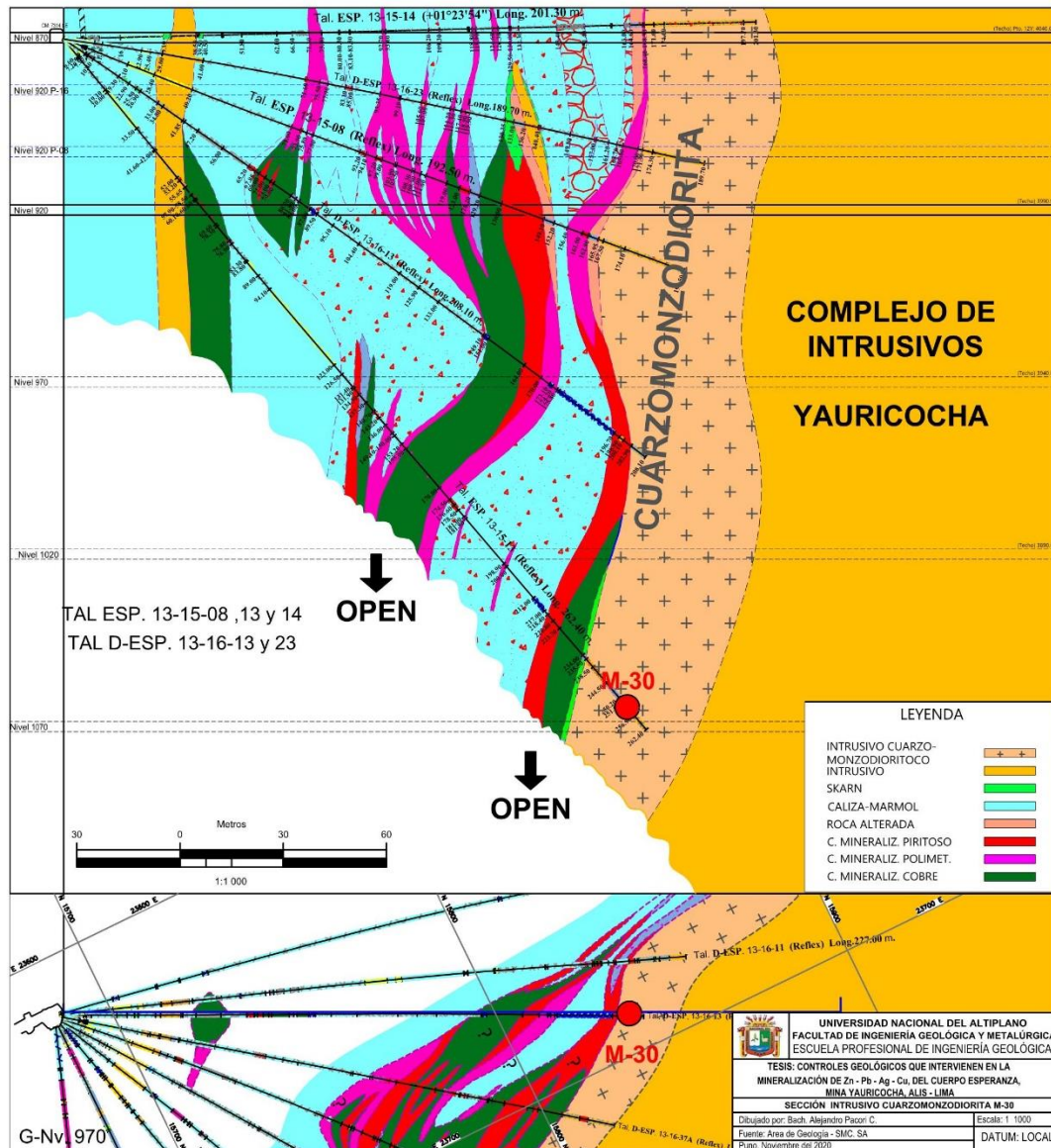


Figura N° 5. 10. Sección geológica y plano en planta del intrusivo cuarzomonzodiorita, taladro ESP\_13\_15\_13, muestra M-30. Fuente: Adaptación propia.

En esta sección se observa el contacto entre las litologías de cuarzomonzodiorita y el mármol donde se aprecia un metasomatismo de contacto con una mineralización de tipo reemplazamiento que ocurre mayormente hacia los carbonatos es decir existe emplazamiento de la mineralización de Zn, Pb, Ag y Cu entre las secuencias de mármol con skarnización restringida evidenciada con granates verdes. Es notorio la mineralización en el mármol con dimensiones entre 10 a 35 metros. Mientras tanto hacia el intrusivo la mineralización es básicamente dominado por el Cu, sobre el Zn y Pb,



asimismo existe una alteración mayormente hidrotermal agilización y puntualmente granates y el cuerpo mineral tiene potencias menores a 10 metros y también se presenta brechas tectónicas mineralizadas.

Macroscópicamente es una roca ígnea intrusiva con textura porfirítica, fanerítica de grano medio, de color gris claro en el cual se encuentran cristales de plagioclasas alteradas a arcillas; además se observan cristales de cuarzo con escasos feldespatos potásicos y ferromagnesianos. También se observa una fina venilla rellena de posible esfalerita la muestra tiene la densidad y dureza media.

Microscópicamente es una roca intrusiva con textura granular de grano medio. Se encuentran principalmente moldes de cristales tabulares de posibles plagioclasas completamente alterados a sericita y arcillas; además cristales de cuarzo y escasos feldespatos potásicos alterados a arcillas; moldes de posibles ferromagnesianos alterados completamente a moscovita, arcillas y parcialmente reemplazado por minerales opacos I; también ocurren minerales opacos I en intersticios y como inclusiones. Además, se observa una fina venilla rellena por minerales opacos II (esfalerita) con pequeños cristales de cuarzo II.

Los minerales formadores de roca son: Cuarzo I 17% con cristales anhedrales, feldespato potásico 7% en formas irregulares en los intersticios, moldes de plagioclasas, moldes de moscovita y minerales opacos II. como minerales secundarios se observa: sericita 60% micro escamosos completamente alterados de posibles plagioclasas, arcillas 6% criptocristalinos, minerales opacos II 3% en cristales anhedrales, cuarzo II 3% en formas irregulares, moscovita 1% en formas subhedrales y patinas de óxidos de hierro.

Fotografía 39 (a). Roca intrusiva con textura granular de grano medio. Se encuentran principalmente moldes de cristales tabulares de plagioclasas alterados a sericita y arcillas; además cristales de cuarzo y escasos feldespatos potásicos. (b). Roca intrusiva con textura granular; se presentan moldes de cristales tabulares de plagioclasas alteradas completamente a sericita y arcillas (ser-ARCs); con cristales de cuarzo I (cz I), feldespatos potásicos (FPKs) y minerales opacos I (OPs I) en sus intersticios. (c). Moldes de cristales de plagioclasas completamente alterados por agregados microescamosos de sericita con arcillas criptocristalinas (ser-ARCs); además cristales de cuarzo I (cz I) y feldespatos potásicos alterados débilmente a arcillas (FPKs-ARCs). (d) Cristales de cuarzo I (cz I) y moldes de ferromagnesianos alterados totalmente a moscovita, arcillas y óxidos de hierro (mos-ARCs-OXsFe) y parcialmente reemplazados por minerales opacos I (OPs I). (e) Cristales de cuarzo I (cz I) y moldes de plagioclasas alteradas totalmente a sericita y arcillas (ser-ARCs); cortados por una venilla rellena por minerales opacos II (OPs II) acompañados de pequeños cristales de cuarzo II (cz II).

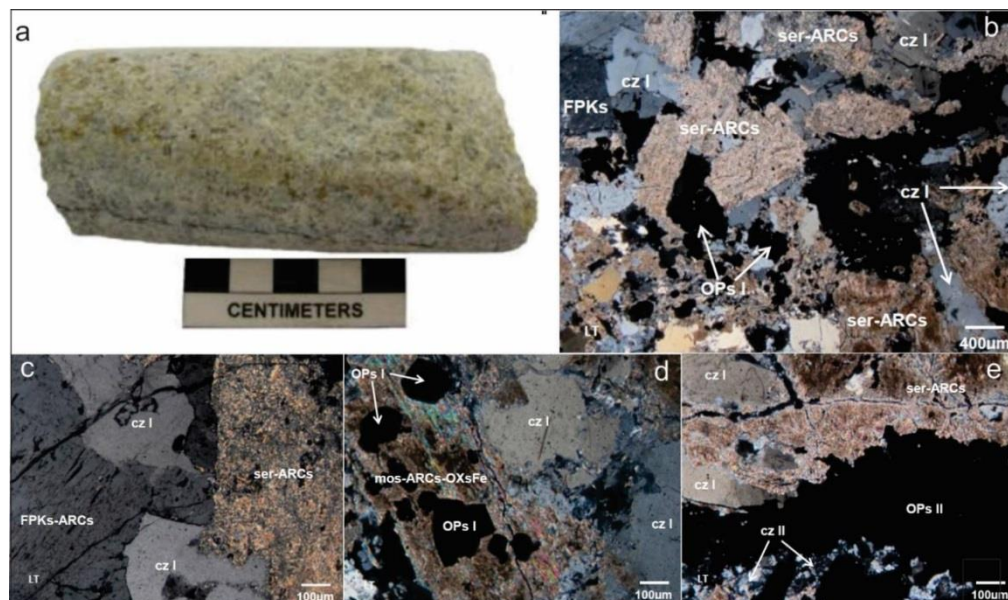


Figura N° 5. 11. Fotografía del intrusivo cuarzomonzodiorita, muestra de perforación diamantina, tipo de línea NQ, microfotografías donde predominan cristales de plagioclasas, cuarzo, feldespato potásico y variedades de arcillas.

De acuerdo a la clasificación Streckeisen, estos intrusivos del cuerpo Esperanza han sido determinados de forma cuantitativa por los minerales principales y accesorios, luego plotado en el diagrama triangular que se utiliza en esta clasificación. Ver figura N° 5.12. Esto contemplo la determinación modal (porcentaje en volumen de cada mineral presente) y a partir del cual se establece en porcentaje en volumen de cada uno de los siguientes minerales: Q: cuarzo, A: feldespato alcalino, P: Plagioclasas y F: Feldespatoideos.

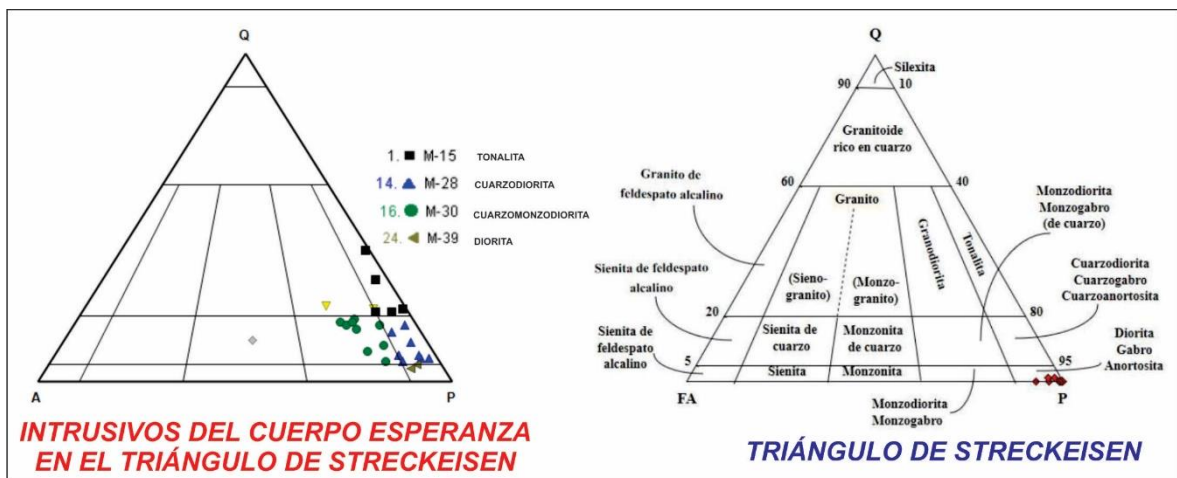


Figura N° 5. 12. Ploteo de intrusivos del cuerpo Esperanza en base al diagrama de QAPF de Streckeisen (1976) para rocas gabróicas e intrusivas. Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Clasificacion-petrografica-en-base-al-diagrama-QAPF-de-STRECKEISEN-1976-de-las-rocas\\_fig4\\_328792675](https://www.researchgate.net/figure/Clasificacion-petrografica-en-base-al-diagrama-QAPF-de-STRECKEISEN-1976-de-las-rocas_fig4_328792675)

En la figura N° 5.13, se muestra toda la secuencia litológica descrita anteriormente y que presenta el cuerpo mineralizado de Esperanza. Las fotografías en la línea de sección A-A<sup>1</sup> describen el comportamiento del control litológico del cuerpo Esperanza desde el SO hacia el NE con vista hacia el NO.



Figura N° 5. 13. Descripción fotográfica de la secuencia litológica del Cuerpo Esperanza sección A-A<sup>1</sup>.

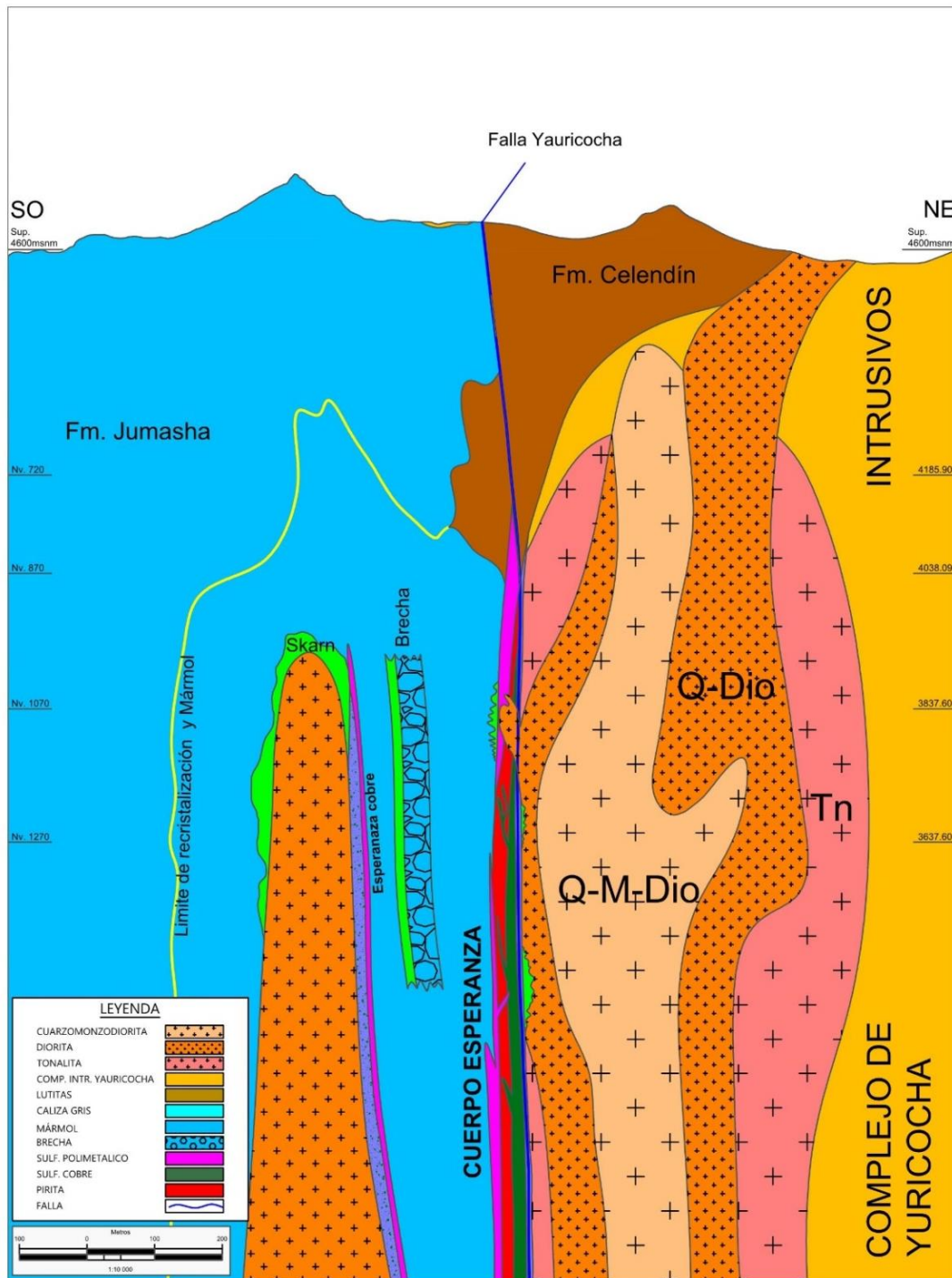


Figura N° 5. 14. Sección esquemática del control litológico del Cuerpo Esperanza. Se describe desde el suroeste-noreste. Se emplaza la calizas formación Jumasha, en la parte superior la formación Celendín, proximal al cuerpo intrusivo se presenta caliza recristalizada, mármol y skarns. Luego la evolución de los intrusivos: después del emplazamiento del complejo de intrusivo Granodiorítico de Yauricocha se emplazó la Tonalita cortando a la granodiorita, luego intruye el intrusivo cuarzodiorita cortando a la tonalita y granodiorita y como el ultimo evento más joven es la cuarzomonzodiorita en donde está cortando a todos los intrusivos previamente emplazados. Fuente: Adaptación propia.





### **Intrusión de tonalita (Pulso 1)**

Es un pulso de composición intermedia que se emplazó en la parte sureste de la zona de estudio, el intrusivo es de color gris blanquecino, presenta textura porfirítica contiene plagioclasas, hornblenda, feldespato potásico como minerales principales, a su vez contiene biotita y minerales opacos como minerales secundarios. Esta intrusión fue el primer evento que mineralizo el cuerpo Esperanza, y tiene la característica de presentar mayor ocurrencia de minerales de óxidos de hierro y sulfuros (Hematita, Magnetita, Maghemita, Pirita y Marcasita). La calcopirita y esfalerita aparecen en porosidades e intersticios de pirita y hematita. Según la paragénesis mineralógica estos minerales se han depositado primero, los cuales contienen mineralización masiva y compacta, y en menor grado presenta pirita friable. Macroscópicamente se observa que los minerales de óxidos de hierro que están cortadas o reemplazado por otros minerales como esfalerita, calcopirita, pirita, bornita, covelita etc.

### **Intrusivo Cuarzodiorita (Pulso 2)**

Es un pulso de composición intermedia que se emplazó en la zona central del cuerpo mineralizado Esperanza, la roca es de color gris, textura porfirítica, está compuesta por plagioclasas, hornblenda, feldespato potásico como minerales principales y biotitas, minerales ferromagnesianos y minerales opacos como minerales accesorios. Para este estudio esta intrusión fue el segundo evento mineralizante, se caracteriza por la presencia de pirita como el mineral más abundante, así como la ocurrencia de minerales de cobre calcopirita, bornita, calcosina, covelita, cobres grises rellenando las microfracturas, intersticios y porosidades. Según la paragénesis de los minerales corresponden al segundo pulso magmático y están reemplazándose en la masa de óxido de hierro.

La predominancia de este intrusivo es de mayor amplitud en el plano horizontal y profundidad del cuerpo Esperanza, este llega hasta los niveles superiores de



mineralización y también se ha interceptado en los niveles más profundos con los taladros de perforación.

### **Intrusión Cuarzomonzodiorita (Pulso 3)**

Es un pulso de composición intermedia, el cual se ubica en la parte noroeste del cuerpo mineralizado, la roca es de color gris pardo y gris blanquecina, presenta textura porfirítica, contiene cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico como minerales principales (arcillas), cristales de biotita, moscovita y patinas de óxido de hierro como minerales secundarios.

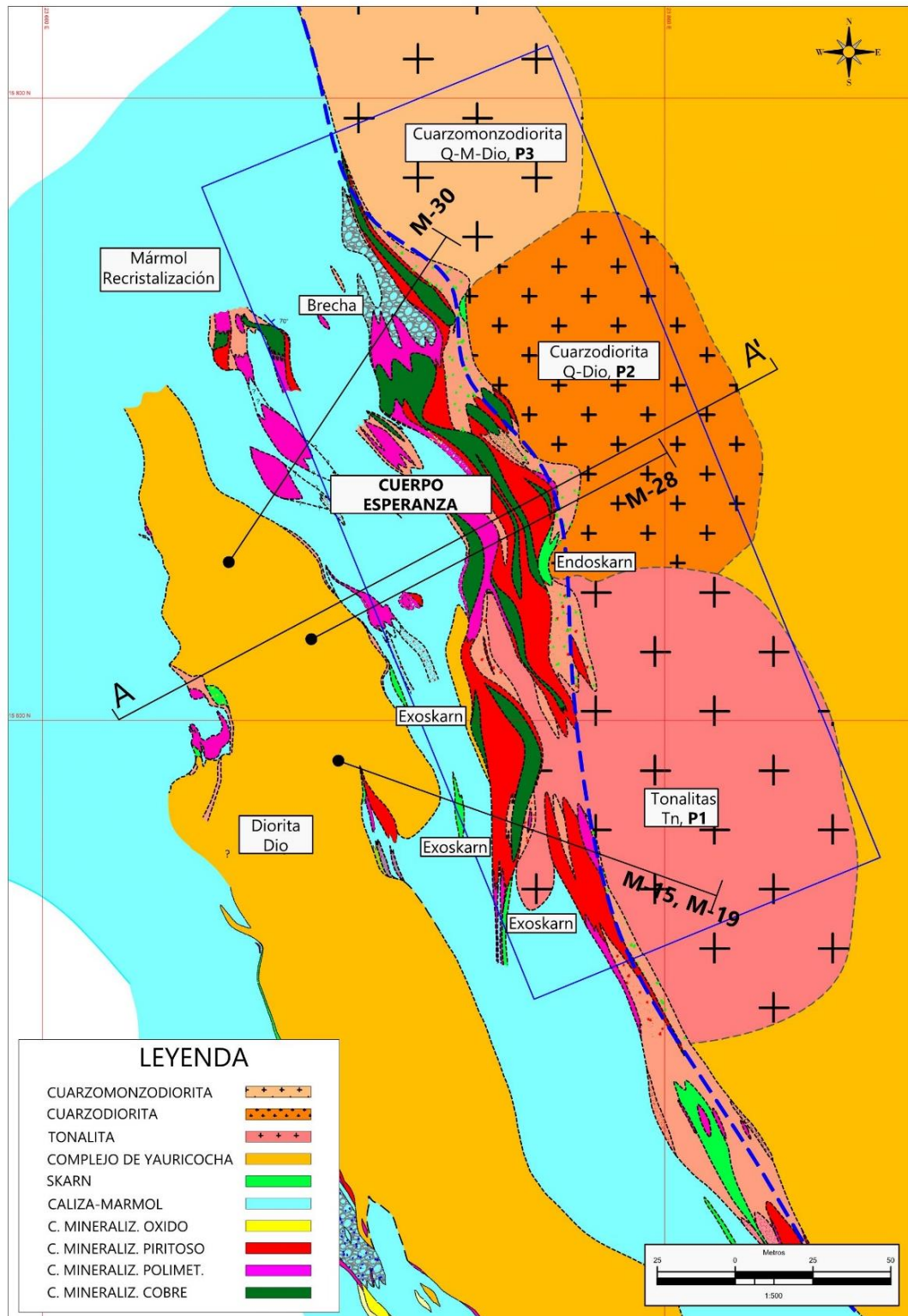


Figura N° 5. 15. Mapa en planta del control litológico del Cuerpo Esperanza caliza recrystalizada, mármol y skarns y el emplazamiento del intrusivo granodiorítico de Yauricocha, tonalita, cuarzodiorita y la cuarzomonzodiorita. Fuente: Adaptación propia.

Este flujo corresponde al tercer evento mineralizante, que se caracteriza por la presencia de pirita como el mineral más abundante, así como la ocurrencia de minerales

de cobre, zinc y plomo rellenando microfracturas, intersticios y porosidades. En el cuadro de paragénesis los minerales plomo y zinc corresponden al último evento magmático.

Tabla N° 5. 1. Simbología estudios petrográficos

Nombre	Simbología	Fórmula
Albita	alb	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Anfíboles	ANFs	Composición Variada
Apatito	ap	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$
Arcillas	ARCs	Composición variada
Biotita	bt	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Carbonatos	CBs	Composición variada
Cloritas	CLOs	Composición variada
Cuarzo	cz	$\text{SiO}_2$
Esfena	Ef	$\text{CaTiSiO}_5$
Epídota	ep	$\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
Feldspatos potásicos	FPKs	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
Minerales Opacos	OPs	Composición Variada
Muscovita	mus	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$
Oxihidróxidos de hierro	OXs-HOXs_Fe	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Plagioclasas	PLGs	$(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_8$
Sericita	ser	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$
Zircón	zir	$\text{ZrSiO}_4$

Fuente: (BizaLab, 2016), LT: Luz transmitida

### 5.1.8. Alteraciones hidrotermales y metasomatismo

Las alteraciones presentes en las rocas receptoras del cuerpo Esperanza son principalmente el metasomatismo de contacto, tenemos un metamorfismo de tipo isoquímico que implica la recristalización, marmolización y cambios en la estabilidad mineral. En estos estadios se formó los siguientes minerales: granates, piroxenos y anfíboles en forma restringida, hacia la roca caja calcárea se forma una aureola de wollastonita, marmolización y recristalización. También se aprecian zonas de skarn escasa, lo cual sería porque los flujos provenientes del intrusivo que no han tenido la temperatura suficiente para transformar una aureola extensa de skarn, por el contrario, la



temperatura y el contenido de CO<sub>2</sub> estaban casi con la misma proporción y no ocurrió el intercambio de elementos (figura N° 5.24).

La mayor presencia de caliza recristalizada, lutitas silicificadas y mármol nos indica que el foco magmático estaría a una distancia considerable ya sea en profundidad o en la horizontalidad (alejado) por ende el fluido que llego tenía la temperatura baja que apenas llegaron a marmolizar y recristalizar en zonas extensas a las calizas de la formación Jumasha.

Cabe mencionarse que también está presente la alteración hidrotermal que ha causado el cambio textural y mineralógico principalmente a los intrusivos, lo cual fue causado por los últimos eventos magmáticos y la presencia de agua meteórica. Las principales alteraciones presentes hemos resumido en la tabla N° 5.2 obtenido de las 10 muestras estudiadas del cuerpo Esperanza. Se muestra una descripción macroscópica y corroborada con los resultados del estudio petrográfico.

Las alteraciones más comunes en el área está la sericitización y argilización después están presentes la cloritización y biotización; también se observa alteraciones incipientes: albitización, biotización, carbonatación, silicificación y oxidación.

Tabla N° 5. 2. Alteraciones hidrotermales del cuerpo Esperanza

N° MUESTRA	ID TALADRO	ROCA		ALTERACIÓN		
		NOMBRE DE INTRUSIVO	SERICITIZACIÓN	ARGILIZACIÓN	BIOTIZACIÓN	CLORITIZACIÓN
M-15	ESP_13_15_03	Posible Tonalita	Intensa	Débil		
M-16	ESP_13_15_06	Cuarzomonzodiorita	Incipiente	Débil		Muy débil
M-17	ESP_13_15_08	Cuarzodiorita	Incipiente	Muy débil		Muy débil
M-18	E_ESP_13_16_03	Cuarzodiorita	Débil	Débil		Débil
M-21	D_ESP_13_16_31A	Cuarzodiorita	Intensa	Débil		
M-22	D_ESP_13_16_06	Cuarzomonzodiorita	Incipiente	Débil	Débil	Muy débil
M-23	D_ESP_13_16_37A	Cuarzodiorita	Incipiente	Débil		Débil
M-28	Pz_ESP_17_16_01	Cuarzodiorita	Incipiente	Débil		
M-29	ESP_13_15_12	Cuarzodiorita	Incipiente		Débil	Débil
M-30	ESP_13_15_13	Cuarzomonzodiorita	Intensa	Débil		

Fuente: Sociedad Minera Corona S.A y (BizaLab, 2016) Alteraciones: incipiente (<0.5%), muy débil (0.5-1%), débil (1-10%), moderada (11-40%) e intensa (>40%).

### 5.1.8.1. Sericitización

La mayor alteración sericitica se presenta en el intrusivo cuarzodiorítico y en menor grado en tonalita y cuarzomonzodiorita. Esta zona contiene el típico ensamble de Cuarzo–Sericita–Pirita. El origen de estas arcillas es producto del cambio fisicoquímico de los minerales formadores de roca, como son las plagioclasas, feldespato potásico, hornblenda, biotitas y apatitos, esta sobreimpuesta en los intrusivos de color blanca y tiene aspecto sedoso.

La alteración sericita en todos los casos se encuentra casi bordeando el cuerpo mineralizado de Esperanza, figura N° 5.16. (a) Una muestra de perforación diamantina con alteración sericitica el feldespato potásico alterándose a arcillas (Sericitas). A la derecha (b) La misma muestra de la izquierda en un estudio petrográfico fotografía con luz transmitida en donde se observa moldes de cristales tabulares de plagioclasas alteradas

completamente a sericita y arcillas (ser-ARCs); con cristales de cuarzo I (cz I), feldespatos potásicos (FPKs) y minerales opacos I (OPs I) en sus intersticios, observa minerales laminares y microfibrosos; alterándose intensamente los moldes de feldespatos a (sericita) que representa casi el 60 % del total de alteración en roca. las muestras corresponden a M-15 y M-30.

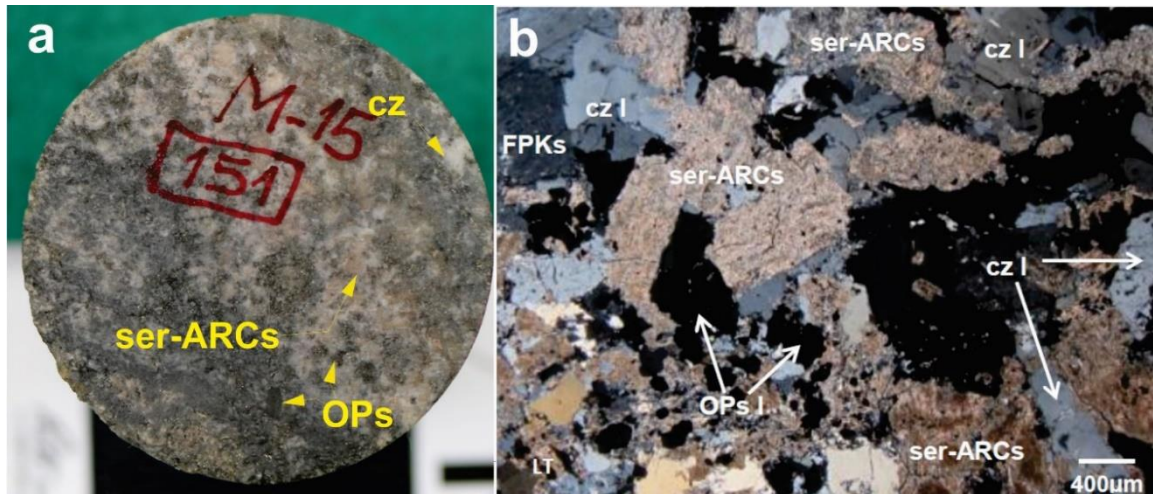


Figura N° 5. 16. Alteración sericitica en muestra de perforación diamantina y microfotografía, donde se observa cristales tabulares de plagioclasas completamente alteradas a sericitas y cuarzo I.

#### 5.1.8.2. Argilización (alteración argílica)

Esta alteración está caracterizada por la formación de minerales arcillosos que ocurren bajo un intenso metasomatismo y presencia de fluidos hidrotermales con el catión  $H^+$  el cual produce cambios por lixiviación acida. Las características de esta zona son: roca intrusiva de color blanquecina, muy blanda de aspecto limoarcilloso a terrosa con diseminación de piritita puntualmente y trazas de sulfuro de cobre, abundante presencia de arcillas como caolinita, montmorillonita y esméctita. En contactos de intrusivo-mármol en el cuerpo Esperanza.

Figura N° 5.17. A la izquierda (a) Una muestra de perforación diamantina con alteración argílica caolín, montmorillonita, sericita, clorita. A la derecha (b) La foto a la

izquierda en un estudio petrográfico donde se observan cristales de feldespatos potásicos alterados a arcillas (FPKs-ARCs) con inclusiones de minerales opacos (OPs); además cristales de plagioclasas (PLGs) y anfíboles (ANFs).

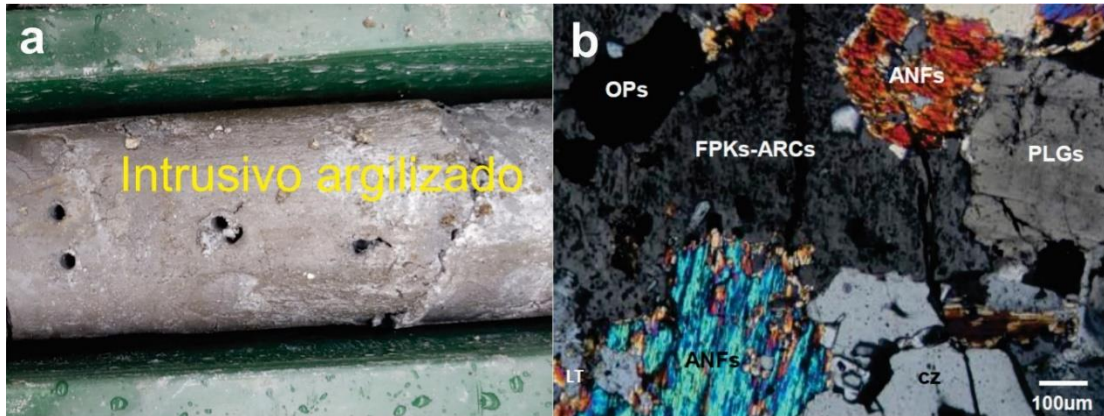


Figura N° 5. 17. Alteración argílica en muestra de testigo de perforación diamantina y microfotografía de cristales de feldespato potásico y minerales opacos completamente alteradas a arcillas.

### 5.1.8.3. Biotización

Esta alteración es débil y en tramos puntuales en los intrusivos del cuerpo Esperanza. Se ha observado muestras y se identificó biotita primaria como mineral accesorio de roca y biotita secundaria producto de eventos posteriores de la formación del intrusivo primario. Esta alteración, es parte de sistemas de alteración hidrotermal, presenta colores negros con tonos cafés oscuros a dorados observadas con lupa; suelen reemplazar a otros minerales como las hornblendas. Se encuentran presentes en las muestras M-22, M-29, una particularidad de esta alteración es que se observa un incremento en niveles profundos.

Fotografía a la izquierda (a), se observa una muestra de perforación diamantina donde observamos cristales de biotita primaria y biotita secundaria con una venilla de cuarzo. (b), cristales de plagioclasas (PLGs) con intersticios de cuarzo (cz), biotita primaria (bt I), biotita primaria (bt II) y minerales opacos (OPs).



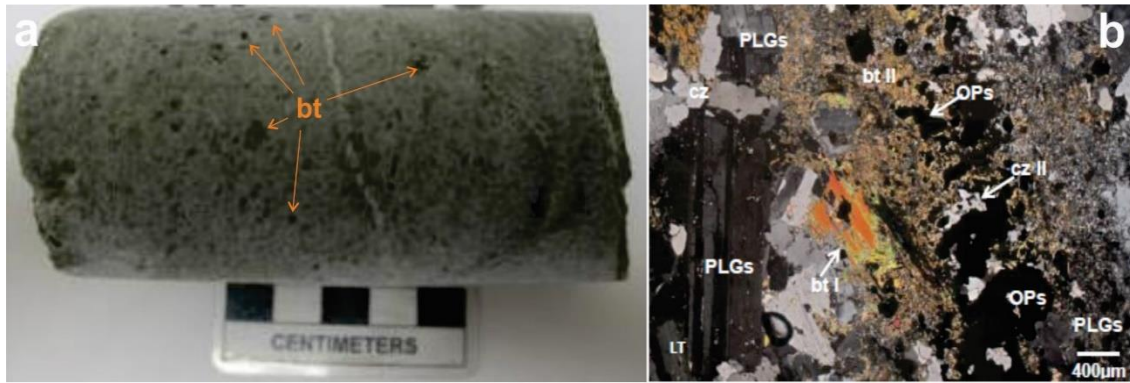


Figura N° 5. 18. Biotización en muestra de testigo de perforación diamantina y microfotografía donde se observan las biotitas primarias y biotita secundaria junto con cuarzo y plagioclasas.

#### 5.1.8.4. Alteración propilítica

La alteración propilítica está distal y mayormente en los niveles superiores del cuerpo Esperanza y presenta el ensamble mineralógico típico; clorita, calcita, piritita y epidota. La alteración propilítica se produce cerca de la superficie en un zoneamiento vertical y horizontalmente alejado del cuerpo mineralizado. Esta alteración ocurre por la adición de moléculas de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> (figura N° 5.19). (a) Muestra de perforación diamantina con venillas de piritita. (b) muestra con venillas de piritita y calcita. (c) Muestra de roca fresca con patinas de óxido limonítico. (d) Muestra de perforación diamantina con presencia de epidota y clorita.

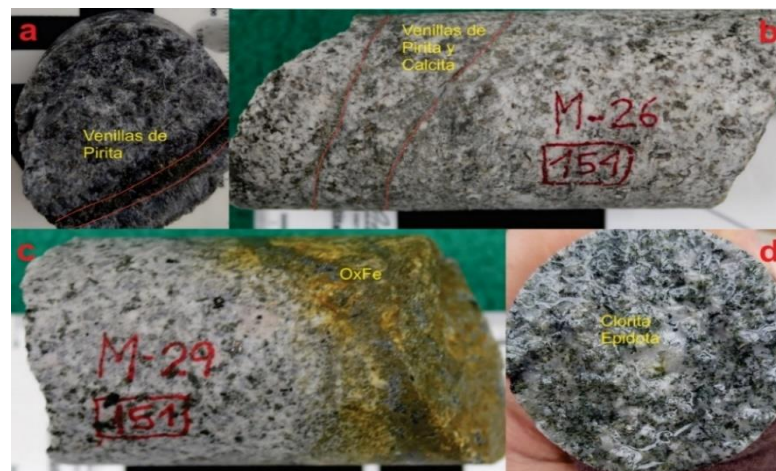


Figura N° 5. 19. Se muestra la alteración propilítica en muestras de perforación diamantina con los ensambles típicos clorita, calcita, piritita, epidota y patinas de óxido de hierro.

#### 5.1.8.5. Endoskarn (alteración prógrada)

Las zonas de Endoskarn del cuerpo Esperanza se desarrollan en la periferia del contacto mármol-intrusivo y zona de falla Yauricocha. Se desarrollaron en formas irregulares, formando lentes y en pequeños sectores no continuos hacia el intrusivo, la mineralización económica es menor y/o ausente debido a que dominan flujos ascendentes del intrusivo.

Los endoskarn identificados del cuerpo Esperanza tienen potencias que varían de 2.00 a 10.00 metros y longitudes que van entre 5.00 a 15.00 metros a veces mayores, en forma de lentes, en estos tramos se observan minerales principalmente granates pardas y claras y en menor proporción piroxenos, la roca está totalmente triturada, se ha observado que su geometría también se adapta a la intrusión.



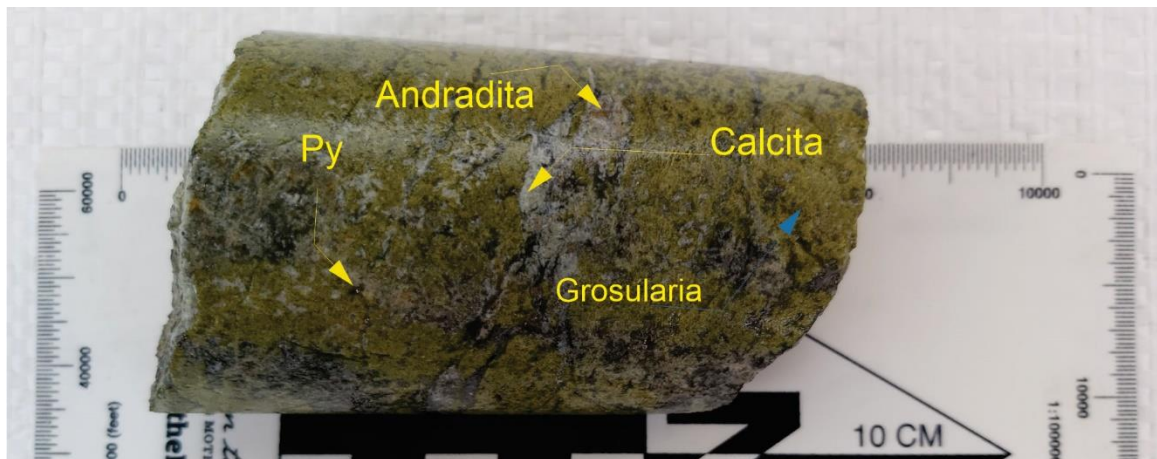
Figura N° 5. 20. Muestra de perforación diamantina con zonas de endoskarn, se observa los minerales anhidros más comunes como granates (grosularia y andradita) en menor cantidad los piroxeno.

#### 5.1.8.6. Exoskarn (alteración retrograda)

La zona de exoskarn del cuerpo mineralizado Esperanza está ubicado en los contactos de intrusivo-mármol y se desarrolla hacia el mármol, contiene minerales como granates (grosularia) piroxeno, wollastonita, calcita y en menor proporción. Presenta minerales hidratados como epidota, actinolita, clorita, tremolitas, hematita, calcopirita, y otras fases minerales hidratados. Estas secuencias de roca y/o zonas de exoskarn también

son estructuras discontinuas con potencias entre 5.00 a 10.00 metros y longitudes son de 10.0 a 15.00 metros, a veces el tamaño depende de las zonas mineralizadas y la geometría de la intrusión.

Esta zona se originó por el descenso de agua meteórica, dando origen a la alteración retrograda que forma minerales hidratados.



*Figura N° 5. 21. Muestra de granates verdes Grosularia, Andradita, Calcita en una muestra de perforación diamantina típico de zonas de exoskarn.*

#### **5.1.8.7. Marmolización y recristalización (metamorfismo isoquímico)**

La marmolización y recristalización es el halo de alteración más amplio y visible que presenta en el cuerpo Esperanza, en el plano horizontal abarca aproximadamente entre 400 a 500 metros desde el contacto de intrusivo y la zona mineralizada.

La marmolización es causada por los primeros eventos de intrusión magmática y probablemente el principal causante es el complejo de intrusivo granodiorítico de Yauricocha con edades promedio de 6,9 millones de años. En estos estadios el fluido y la roca caja están con la misma temperatura y la proporción de CO<sub>2</sub> es ligeramente mayor que el fluido, por lo cual no ocurre el intercambio de elementos, solamente ocurre metamorfismo isoquímico que implica la recristalización y marmolización sin cambios significativos en la estructura del mineral. Esto indica que el centro magmático estaría a

una distancia considerable en vertical (profundidad) y/o en horizontal de la formación Jumasha; la temperatura menor de los fluidos hidrotermales es debido a la circulación de distancias considerables.

El blanqueamiento de la caliza Jumasha a mármol se interpreta por la pérdida de carbono orgánico en la roca carbonatada por fenómenos de oxidación. El blanqueamiento revela la destrucción del carbono por difusión y también por la presencia o ausencia de minerales calcosilicatadas y sulfuros. (Jurado, 2006).

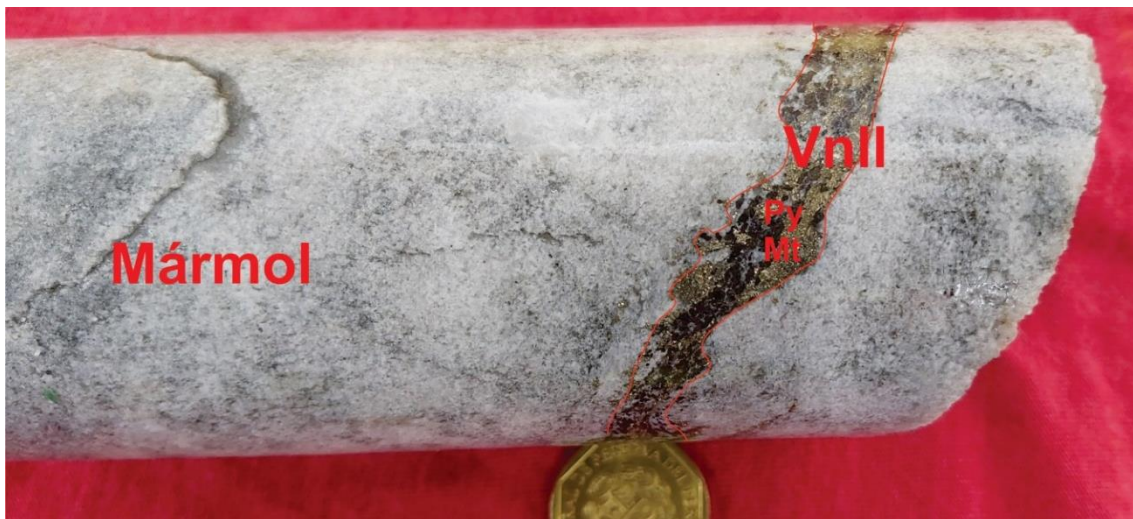


Figura N° 5. 22. Mármol blanquecino y la caliza recristalizada con venilla de Pirita y Magnetita.

En la figura N° 5.23, se presenta una descripción fotográfica de las zonas de alteración del cuerpo Esperanza. Desde la izquierda hacia la derecha se observa; caliza de la formación Jumasha luego la caliza recristaliza, el mármol y las lutitas provocado por una alteración isoquímica. El mármol desarrollado en zonas proximales al intrusivo y las zonas de (Exoskarn) hacia el mármol luego zonas de Endoskarn desarrolla hacia el intrusivo.

El factor principal para formar las zonas de skarn son las rocas ígneas que traen fluidos de alta temperatura, luego el descenso de las aguas meteóricas y las rocas

carbonatadas. Aquí se forman dos sectores el endoskarn y exoskarn cada zona tiene minerales típicos la cual es definido como las zonas de Exoskarn (se desarrollan minerales hidratados) y Endoskarn (presenta minerales anhidros). La relación granate/piroxeno está controlada en gran medida por la relación de Fe férrico/ferroso, es decir, el estado redox. Se evidencia las zonas de oxidación y reducción del intrusivo.

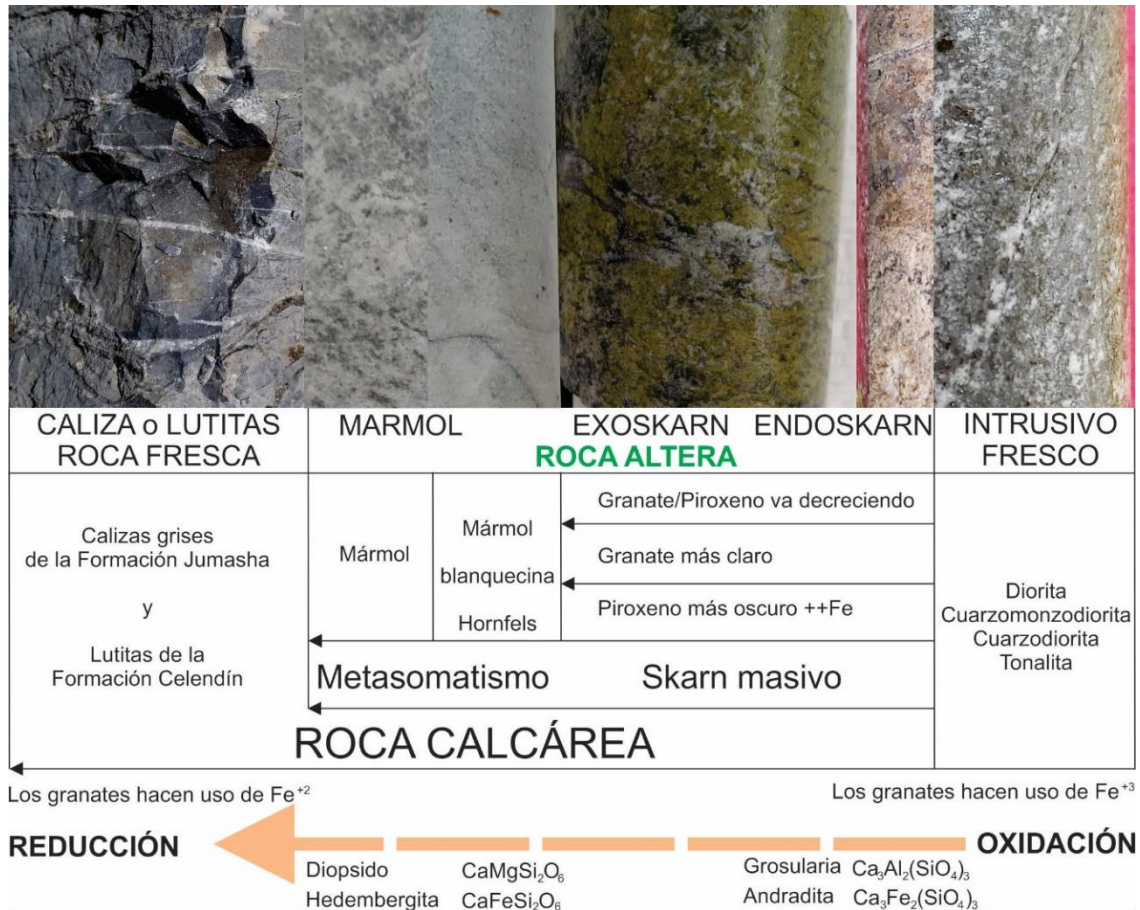


Figura N° 5. 23. Se muestra los niveles de alteración, oxidación y reducción de los fluidos hidrotermales desde el plutón, skarn, mármol, caliza recristalizada y la formación Jumasha basado en el cuadro descrito por Meinert.

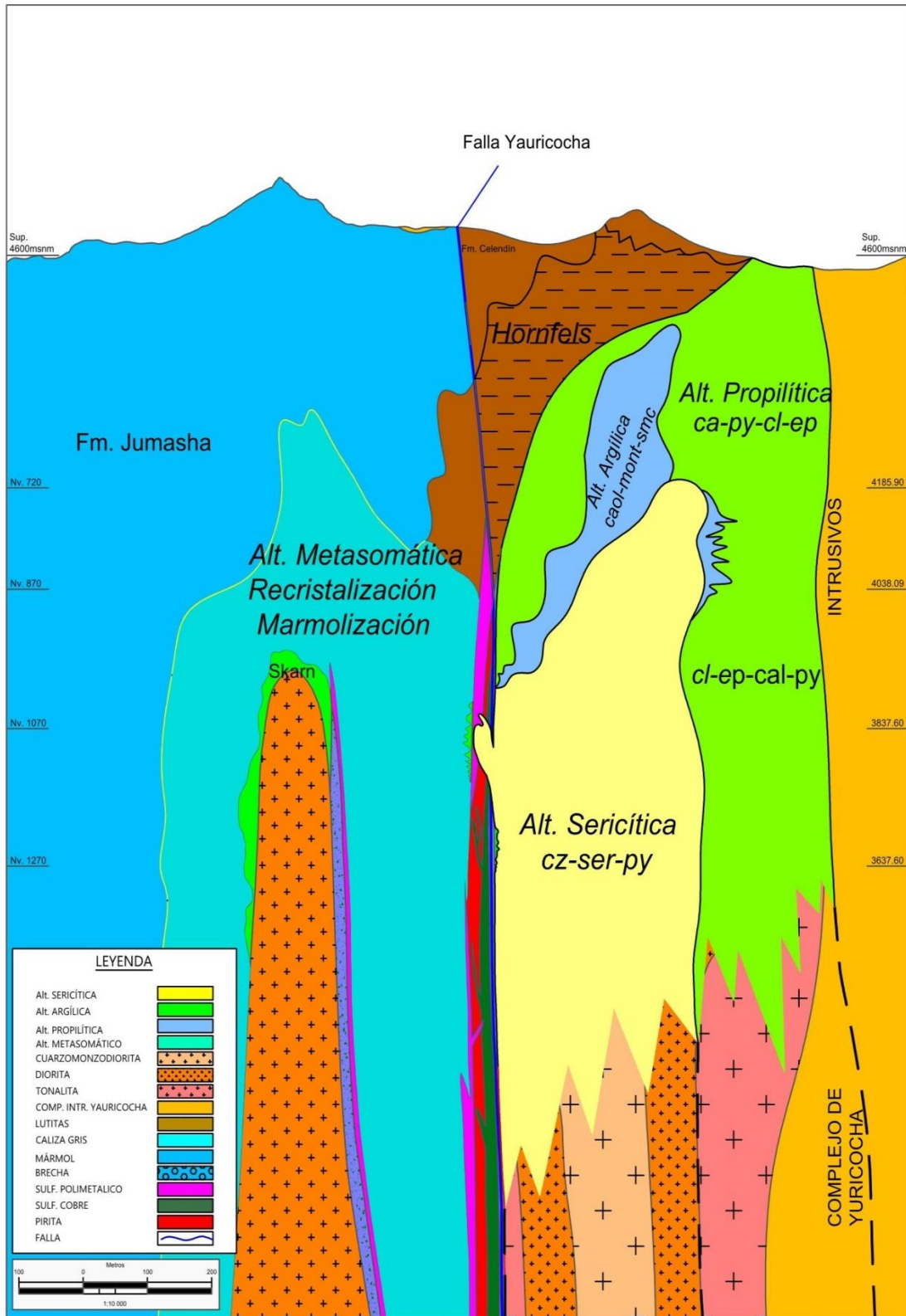


Figura N° 5. 24. Modelo esquemático de alteraciones hidrotermales: alteración sericítica, argilica, propilítica y alteración metasomática; endoskarn, exoskarn, mármol y caliza recristalizada en el cuerpo Esperanza. Fuente: Adaptación propia.



## **5.2. RELACIÓN DEL CONTEXTO ESTRUCTURAL Y MINERALIZACIÓN DEL CUERPO ESPERANZA**

En el yacimiento Yauricocha se tiene 3 unidades litoestratigráficas importantes; la formación Jumasha, formación Celendín ambos del Cretáceo superior y los intrusivos del Mioceno. En cuanto a las estructuras existen los anticlinales, sinclinales y fallas denominadas como el anticlinal Purísima Concepción, sinclinal de Yauricocha y el anticlinal de Cachi Cachi. La falla Yauricocha es la estructura principal que tiene influencia para la deposición de minerales en el distrito minero.

En principio la formación estructural de los pliegues y las fallas, son producto de los primeros eventos de la tectónica andina (Cretáceo). Posiblemente ocasionados por los esfuerzos de tipo compresivo que han formado una serie de pliegues y fallas. Luego de este evento compresivo las rocas intrusivas han aprovechado estas aperturas para su desplazamiento en el Mioceno.

La falla Yauricocha es la estructura más importante para formación de depósitos minerales en la mina central y del cuerpo Esperanza, esta falla ha servido como un canal para trasladar los flujos mineralizantes desde la fuente magmática hasta la superficie y en el caso del cuerpo Esperanza llegaron hasta el nivel 870 P-16 hasta donde llega la mineralización.

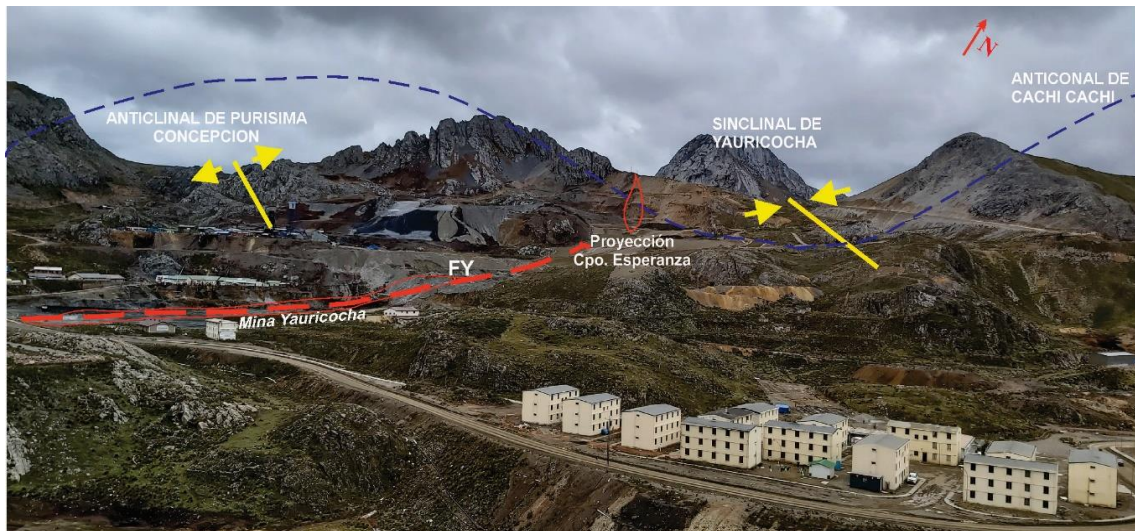


Figura N° 5. 25. Vista panorámica de mina Yauricocha. Se muestran el anticlinal de Purísima Concepción, Sinclinal de Yauricocha y falla Yauricocha. Proyección del cuerpo Esperanza a superficie.

### 5.2.1. Pliegues

El anticlinal Purísima Concepción, que se encuentra al SO de la mina de Yauricocha, es una estructura local apretada, bien marcada y definida por un sill de basalto de 17 m de espesor. El "trend" de su eje es aproximadamente N 50° O con suave "plunge" de 20° al SE. En el eje de este anticlinal y hacia el Flanco E del Sill de Basalto existe ocurrencia de oro diseminado en brechas silicificadas y horizontes silicificadas.

El sinclinal de Yauricocha (france chert), ubicado al NE de la mina central, es un pliegue igualmente apretado con el "trend" de su eje que cambia de N 35° O (en el S) a N 65° O (en el N) y suave "plunge" de 40° al SE.

En el área de la mina central, el rumbo NO de los sedimentos plegados, fue rotado por esfuerzos horizontales con un ángulo de 30° en el sentido al movimiento de agujas del reloj. Esta distorsión del plegamiento puede haberse producido por una falla de desgarramiento del basamento de rumbo NE-SO. La mineralización del cuerpo Esperanza está en el flanco occidental.



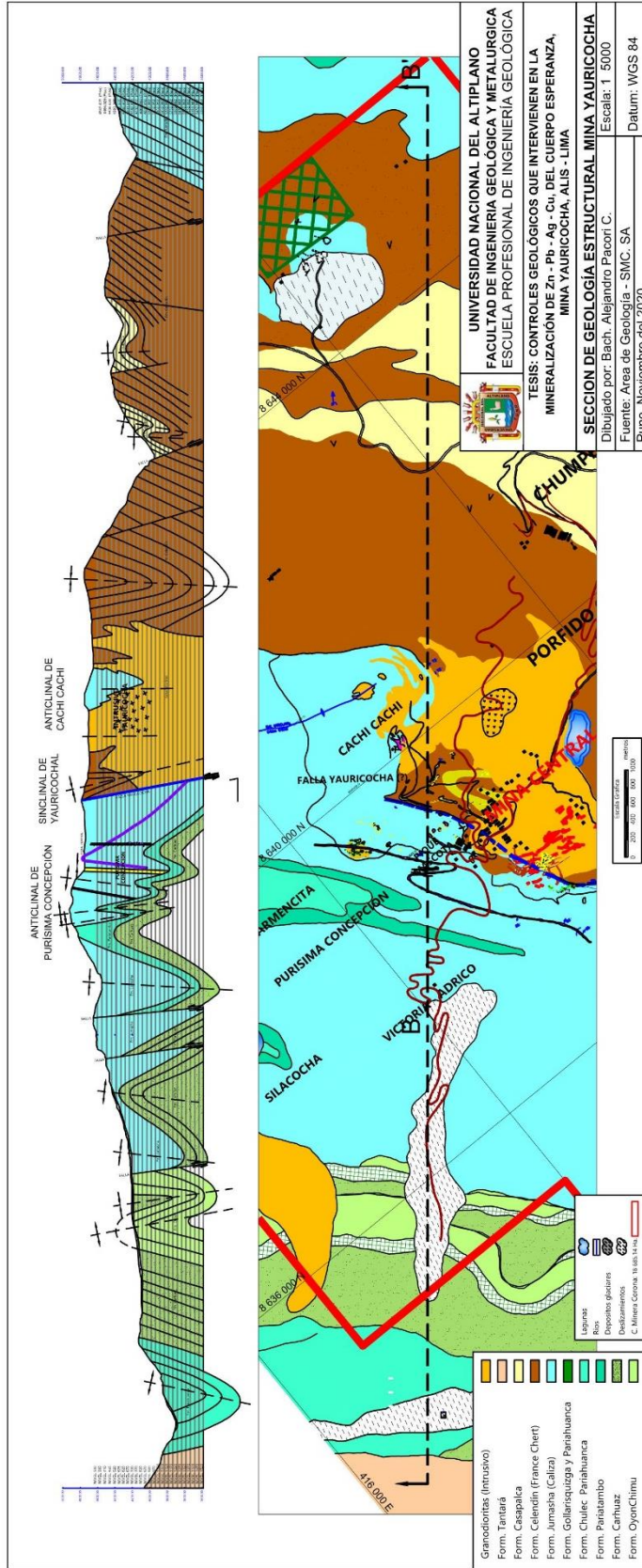


Figura N° 5. 26. Sección de geológica estructural que muestra estructuras principales del área de Yauricocha. El anticlinal Purísima Concepción al SO, Sinclinal France Chert (sinclinal de Yauricocha) en la Mina Central y el Anticlinal Cachi Cachi. Fuente: Adaptación propia.



El anticlinal de Cachi-Cachi - Prometida, tiene su eje con rumbo aproximado de N 80° O a N 70° O, flancos buzantes al Norte (Prometida) y Sur (Cachi-Cachi) con *plunge* al E, los cuales controlaron el emplazamiento del mineral, el área se encuentra en el extremo Norte del Intrusivo mayor a 2 km. al N de Mina Central.

El Sinclinal Quimpara inmediatamente 1 Km al Sur de la laguna Pumacocha tiene un eje con rumbo N 45° O, Su flanco E descansa sobre el intrusivo con ángulo de 70° a 75° al O y el flanco Oeste con aproximadamente 80° E conformada por paquetes calcáreos gris oscuro, recristalizados en la proximidad al contacto y ocurrencia de un afloramiento de granates, magnetita y óxidos de cobre en el mismo contacto.

### **5.2.2. Fallas**

Los pliegues observados en el área de Yauricocha, muestran que los rumbos de sus ejes (anticlinales-sinclinales) han rotado en plano horizontal y como resultado de esta rotación presentan tres sistemas principales de cizalla y juntas que se han desarrollado con orientaciones E-O, NO-SE y NE-SO.

La estructura principal del yacimiento es la Falla Yauricocha, que controla el reemplazamiento de la mineralización polimetálica (Ag, Pb, Cu y Zn) es un yacimiento de tipo reemplazamiento y skarn en donde se han formado el cuerpo de Esperanza al igual que los cuerpos de mina central de Yauricocha como: Catas, Antacaca, Rosaura y Antaca Sur.

El primer sistema es casi vertical, mientras que el segundo tiene buzamiento de 70° a 80° al NE debido a la influencia de los estratos en la dirección del cizallamiento tienen el mismo rumbo que la falla Yauricocha y en el tercer sistema el buzamiento es

75° SE. La mayoría de los cuerpos mineralizados se encuentran siguiendo la orientación del cizallamiento NO-SE incluyendo el cuerpo Esperanza, este hecho se constata con los planos en los niveles más profundos de la mina. Es muy posible que los cuerpos puedan estar controlados en profundidad por la intersección del cizallamiento persistente NE-SO y E-O.

En la figura N° 5.27. Se muestra la persistencia de la falla Yauricocha en toda la mina central que también pasa por el cuerpo Esperanza a la zona norte de la mina central, el plano mostrado corresponde al nivel 1070 piso cero.

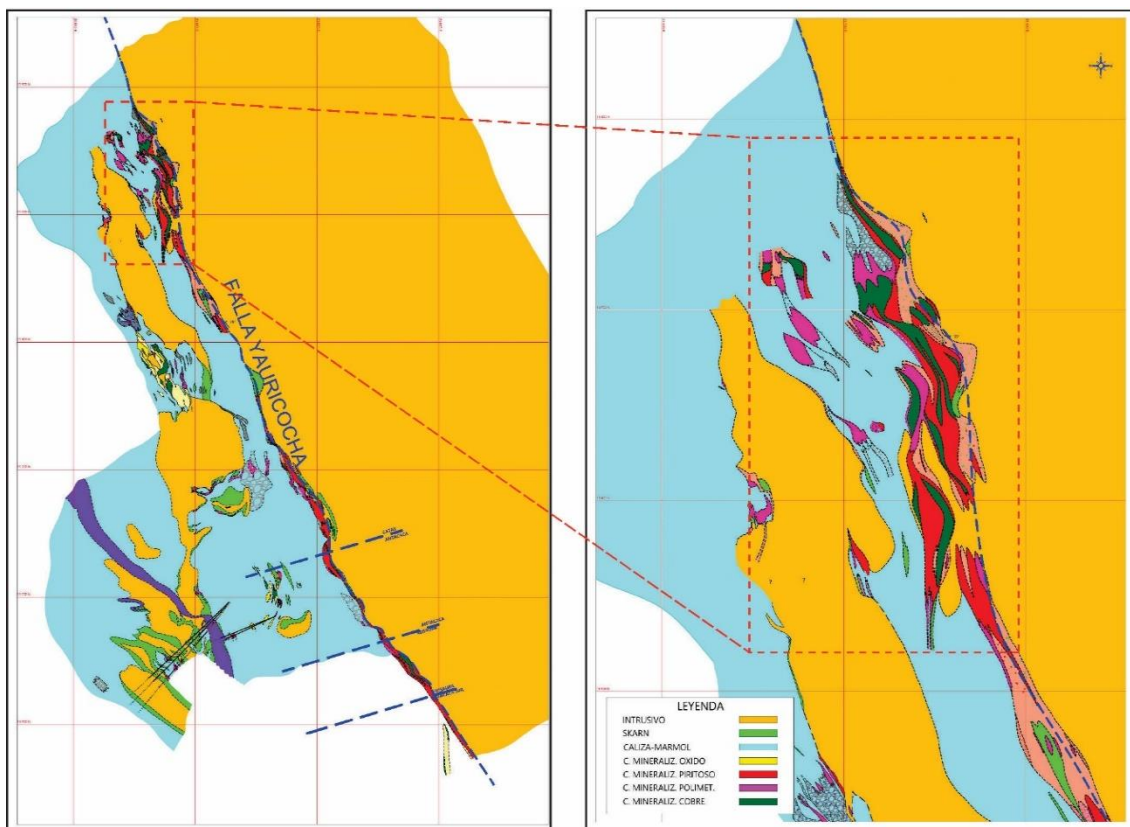


Figura N° 5. 27. Se muestra la falla Yauricocha a lo largo de los cuerpos mineralizados y el cuerpo Esperanza geología nivel 1070. Fuente: Adaptación propia.



### 5.2.3. Fracturas

Los esfuerzos ocurridos en varias épocas, dieron como resultado el desarrollo de diversos sistemas de fracturas, que son producto de los primeros eventos de la tectónica andina (Cretáceo) y contemporáneo al emplazamiento del intrusivo del Mioceno.

Durante el plegamiento, evento pre y/o contemporáneo al intrusivo, tuvo lugar la primera fracturación desarrollándose fallas longitudinales paralelas al rumbo regional de la estratificación. De todas estas fallas, resalta la falla Yauricocha que aparece a lo largo del contacto caliza Jumasha-lutita Celendín la cual se extiende a gran distancia al SE de la mina Ipillo y continua al N, detrás del cerro Huamanrripa, paralelo y lo largo de la laguna Silacocha.

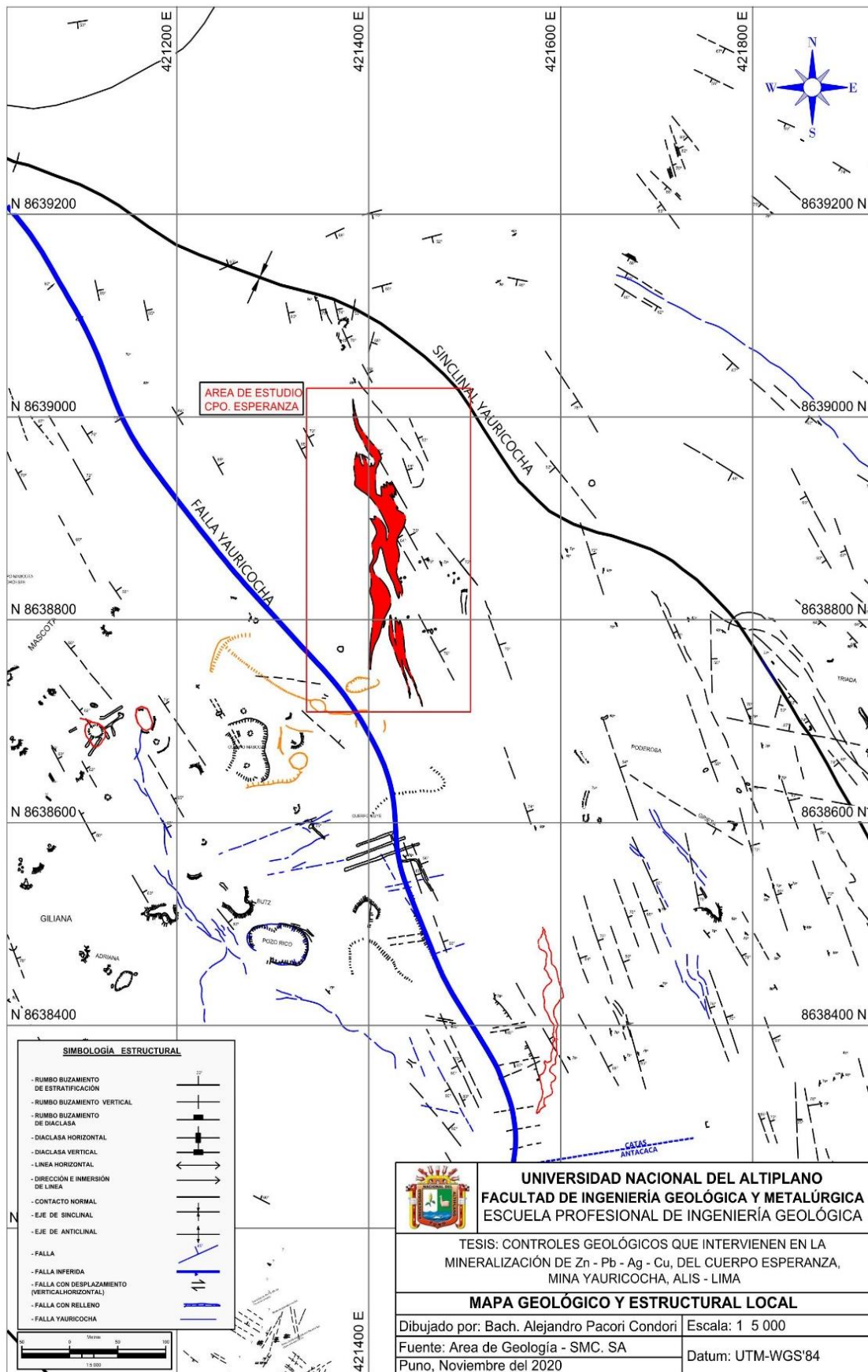


Figura N° 5. 28. Mapa de geología estructural del cuerpo Esperanza, mostrando la falla Yauricocha y el sinclinal de Yauricocha. Fuente: Adaptación propia.



Después que los intrusivos se emplazaron, en el rumbo de los sedimentos plegados, al NO de la mina, fue girado por esfuerzos horizontales unos  $30^\circ$ . Como resultado de este giro, se desarrollaron cizallas y juntas de rumbo NO-SE, NE-SO y E-O, con buzamiento  $50^\circ - 80^\circ$  NE ó SO, las primeras;  $60^\circ - 85^\circ$  SE ó NO, las segundas y  $80^\circ$  N ó S a casi verticales, las terceras. Este conjunto de fracturas que forman bloques fallados, a través de los dominios litológicos del área, juntamente con la falla Yauricocha representan la fracturación más importante del distrito minero de Yauricocha y ejercieron un fuerte control en la posición de vetas, cuerpos mineralizados.

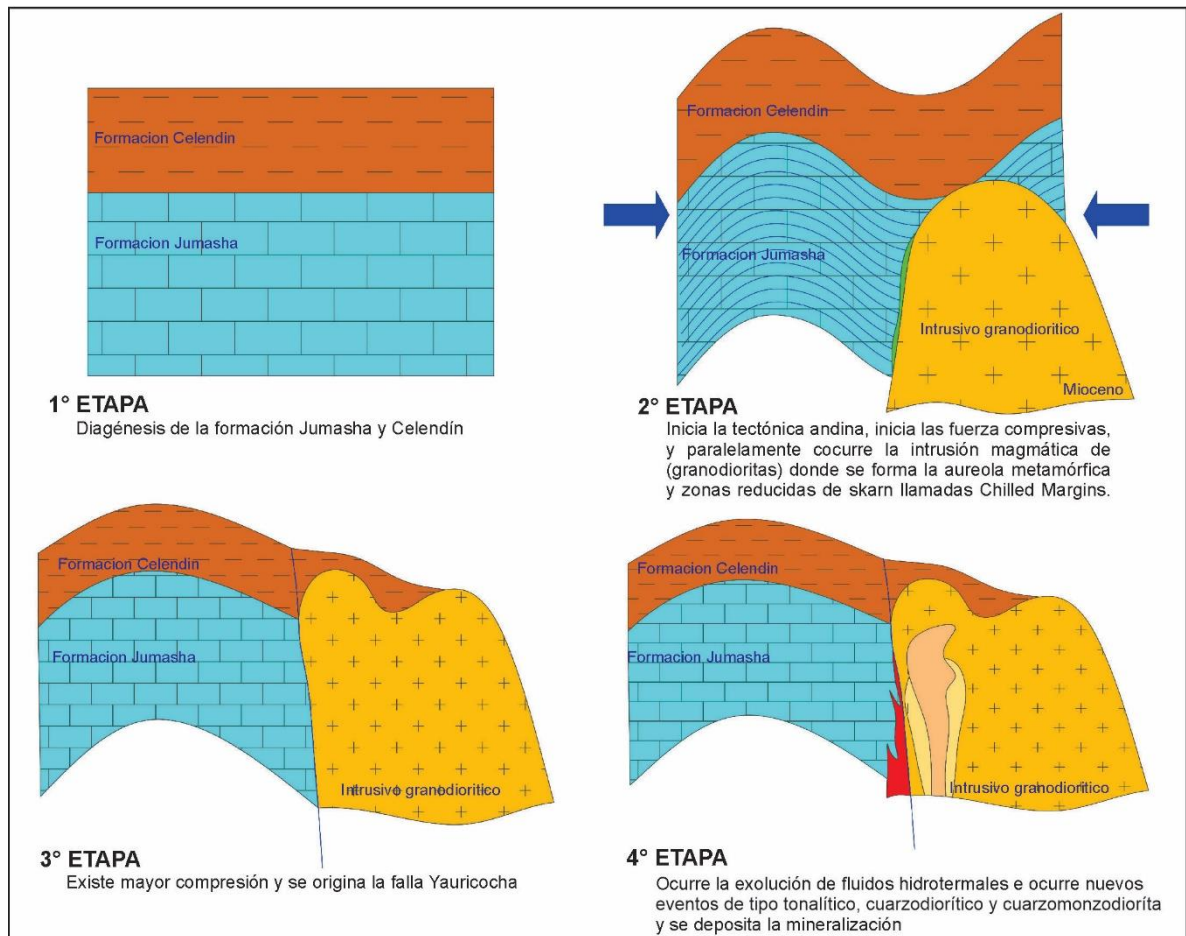
#### **5.2.4. Etapas de formación del cuerpo Esperanza**

El contexto litológico es importante para determinar estructuralmente los escenarios de la formación del yacimiento del cuerpo Esperanza. En la primera etapa ocurre la deposición y diagénesis de la formación Jumasha y formación Celendín en el cretáceo medio a cretáceo superior. En la segunda etapa la formación Jumasha y la formación Celendín es afectado por la tectónica andina con fuerzas compresivas que original el plegamiento de los estratos y posteriormente en el Mioceno inicia la intrusión magmática de composición granodiorítico donde se forma el halo metamórfico (caliza recrystalizada, mármol y hornfels) formado por un metamorfismo isoquímico y en el contacto entre las calizas y el stock granodiorítico se forma una zona denominado (*chilled margins*) que es una zona de enfriamiento en donde se forma pequeñas tramos de skarn. Tercero escenario, el mármol y zonas de skarn son afectados por mayor actividad tectónica de compresión, ocurre ruptura y el fallamiento se forma la (falla Yauricocha). Cuarto escenario ocurre movimientos transcurrente en la falla aquí se desarrollan zonas transpresivos y transtensión donde quedan abiertas algunas zonas en la falla, ocurre mayor fracturamiento y posteriormente vienen los eventos de intrusión de composición tonalítico, cuarzdiorítico y cuarzomonzodiorítico, estos fluidos salen cargados de iones



metálicos y rellenan las fracturas, fallas y planos de estratificación dejando la mineralización del cuerpo Esperanza.

Estos escenarios nos hacen concluir que los primeros eventos de intrusión han preparado la roca caja formando (recristalización, marmolización y skarnización) y se originan los pliegues luego ocurre fallamiento por efectos de fuerzas compresivas y posteriormente los fluidos mineralizantes rellenan las fallas, fracturas y planos de estratificación en algunos casos reemplazan a las rocas pre-existente que termina con la mineralización de estos. Cabe mencionarse que el yacimiento de Esperanza es de tipo reemplazamiento y probablemente estén asociados a sistemas de pórfido en profundidad, lo cual no se descarta por tener una zona extensa de stock granodiorítico de Yauricocha y eventos posteriores antes mencionados; lo cual es esperanzador para futuras zonas de exploración en los alrededores de la zona de estudio.



*Figura N° 5. 29. Etapa litológica y mineralización en la falla Yauricocha. Primero ocurre la diagénesis de la formación Jumasha y Celendín, segunda etapa inicia la tectónica andina y actúan las fuerzas compresivas y se pliegan los estratos también ocurre la intrusión granodiorítica, tercera etapa la formación de la falla Yauricocha y cuarta etapa la deposición de mineral del cuerpo por eventos posteriores al complejo granodiorítico. Fuente: Adaptación propia.*

### 5.2.5. Movimiento transcurrente de la falla Yauricocha

El sistema Andino de Fallas Chonta, se originó durante el Jurásico superior-Cretácico inferior bajo efectos de extensión y compresión. Esto permite suponer que la zona rellenada por menas hidrotermales corresponde a una zona de dilatación por efecto transcurrente con componente normal dando lugar a la formación de un gran clavo mineralizado horizontal con profundización vertical, donde ocurren zonas de transpresión y transtensión.



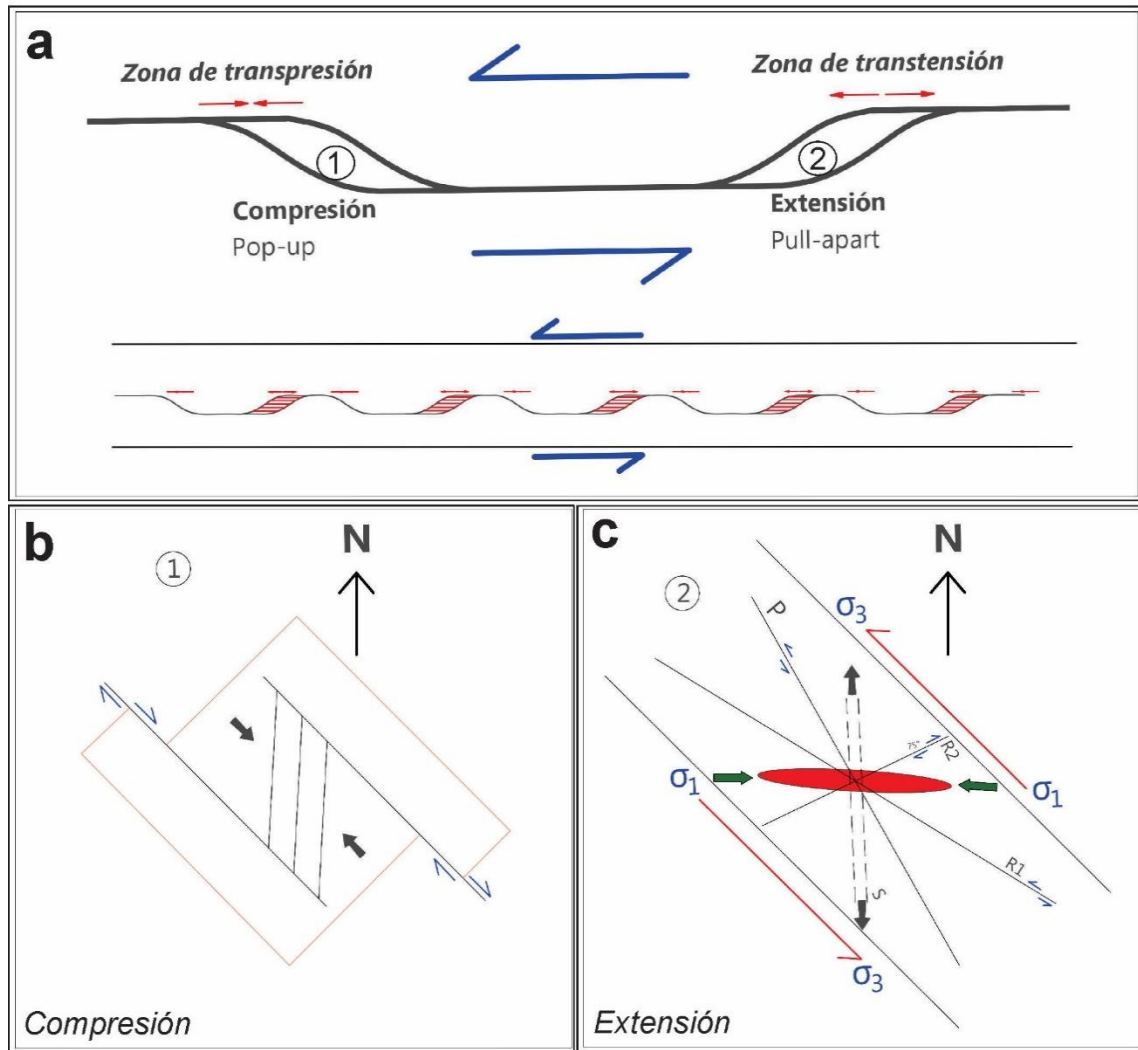


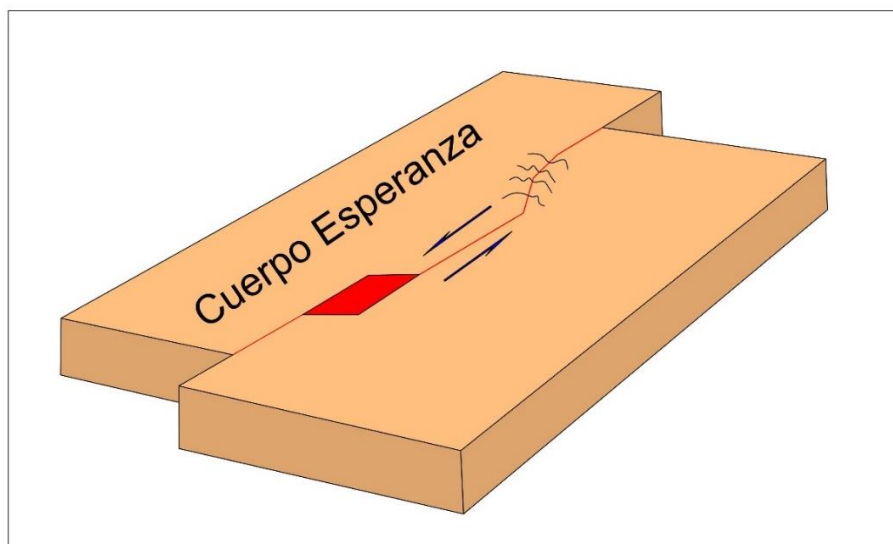
Figura N° 5. 30. Efecto Transcurrente adaptado a la falla Chonta y Yauricocha. (a) movimiento transcurrente sinistral y desarrollo de zonas de transpresión y transtensión (b) compresión (c) zona de extensión. Adaptado a la falla Yauricocha y el cuerpo Esperanza. Fuente: Adaptación propia.

Por las evidencias de campo el buzamiento de la Falla Yauricocha, converge con el buzamiento regional del sistema de la Falla Chonta. Lo que hace suponer que ambos se formaron como respuesta a un movimiento compresivo inicial, seguido por una relajación extensional. Como respuesta a los movimientos compresivos y extensionales se formaron fallas tensionales Este-Oeste representados por el sistema de vetas Victoria, y el movimiento extensional esta evidenciado por el movimiento normal con caída al Noreste de la Falla Yauricocha. Por lo tanto, la geometría de los cuerpos de sulfuros masivos Catas, Antacaca, Rosaura y Antacaca Sur; al final se trata de un único cuerpo

mineralizado de 800 m de largo con anchos variables entre 10 m y 40 m y una profundización reconocida con labores mineras y sondajes diamantinos que superan los 1,000 m verticales desde la cota 4,600 msnm hasta los 3,600 msnm (Miranda y Morán, 2013).

Cuando ocurre el evento transcurrente en la falla Yauricocha se han generado zonas de apertura y cierre (zonas de transpresión y transtensión) en las inflexiones donde se han emplazado las estructuras mineralizadas del cuerpo Esperanza y la mina central.

Cuando se habla de zonas de extensión y compresión y de masas de mineral necesitamos tratar el tema de espacio disponible, ya que mientras más grande sea este, mayor podrá ser el cuerpo mineral. Por ello en la mina Central existen zonas de apertura y cierre en donde los cuerpos mineralizados presentan irregularidad algunos cuerpos que tienen una potencia considerable y probablemente las aperturas en estas zonas fueron mayores; esto además tiene relación con incremento de mineral.



*Figura N° 5. 31. Efecto Transcurrente adaptado a la falla Yauricocha con movimiento transcurrente sinistral y desarrollo del cuerpo Esperanza. Fuente: Adaptación propia.*



Las zonas de falla transcurrente ya sea dextral o sinistral pueden generar aperturas, permitiendo el movimiento masivo de fluidos hidrotermales en las zonas fractura. Estas zonas son favorables para la ocurrencia de cuerpos grandes de mineralización como el caso de Esperanza. En las zonas de compresión, la compresión sella los espacios vacíos restringiendo el paso de las soluciones hidrotermales en la zona fracturada.

Al SE del cuerpo Esperanza hay una inflexión de la falla Yauricocha que probablemente es una zona de cierre, donde no se evidencia mineralización, pero ingresando al cuerpo Esperanza se observa una la zona de transtensión-extensión en donde los fluidos hidrotermales aprovecharon para emplazarse y depositar la mineralización. Luego al noroeste de la zona de estudio existen estructuras geológicas de cierre y no se evidencia sectores de mineralización. Esta característica estructural puede repetir siempre en cuando continúe la presencia la falla Yauricocha en el plano horizontal y vertical.

La particularidad estructural del cuerpo Esperanza es que está ubicado a 400 metros al NO de los cuerpos masivos y dentro de la Falla Yauricocha, localizado en promedio de 500 metros por debajo de la superficie, con anchos variables de 10 a 35 metros y longitudes variables de 90 a 120 metros. La profundización fue reconocida con labores mineras y sondajes de perforación diamantina de 400 metros desde el nivel 870 piso 16 hasta los 4080 msnm hasta el nivel 1270 piso 00 con cota de 3690 msnm y por debajo de este nivel la mineralización continua y queda abierta el cuerpo para seguir con las exploraciones.



La mineralización de Esperanza está controlada por la Falla Yauricocha y el intrusivo, desde la superficie (nivel 870 P-16) al nivel 1270, en este último continua la persistencia de la falla hasta niveles más profundos.

Desde el nivel 1120 la mineralización del cuerpo Esperanza tiende a buzarse hacia el NO, posiblemente por la ocurrencia de controles (fracturas NE-SO y E-O), lo que indicaría que las fracturas de rumbo andino no tengan influencia ya sobre la mineralización, por ello el cambio de buzamiento.

#### **5.2.6. Contexto mineralógico y paragénesis del cuerpo Esperanza**

La mayoría de períodos de deposición de menas de sulfuros generalmente siguen el cese del desarrollo de skarn y es acompañado por el inicio de alteración hidrotermal de minerales de skarn tempranos y alteración hidrotermal de intrusiones asociadas. La deposición de sulfuros y alteración de skarns tienen típicamente control estructural y cruzan a través de modelos de skarn tempranos; en algunos casos, la deposición de sulfuros se extiende más allá de skarns en mármol o hornfels. (Meinert, 1992).

El factor dominante que une a la mayoría de los skarn de zinc es su ocurrencia distal a las rocas ígneas asociadas, el cual ocurre en el Cuerpo Esperanza. Los skarn de zinc pueden subdividirse en base a distintos criterios, incluyendo la distancia de la fuente magmática, la temperatura de formación, los sectores afectados por el skarn, minerales sulfurosos y la forma geométrica de los cuerpos mineralizados.

La mineralización del cuerpo Esperanza cumple con estas reglas según mencionan (Einaudi et al., 1981; Meinert, 1992) en el cual las estructuras mineralizadas ricas en Pb, Zn, y Ag ocurre en el mármol blanquecino y caliza recristalizada distales a la intrusión



y/o rocas intrusivas acompañadas con pirita, óxidos de manganeso que contienen estructuras ricas en Cu, ubicadas cerca del intrusivo con acompañamiento de minerales como magnetita, hematita y maghemita.

La caliza gris, caliza recristaliza y mármol están al SO del cuerpo, los intrusivos Cuarzomonzodiorita, Cuarzodiorita y Tonalita están al NE y las lutitas silicificadas/hornfels (France Chert) están en niveles superiores del cuerpo desde el Nv. 870 P-16 con cota de 4080 m.s.n.m. hasta la superficie. Las capas de hornfels no ha sido favorable para la precipitación de minerales por sus propiedades físicas (grano fino), también el factor principal es la temperatura baja de los fluidos hidrotermales. Aquí la lutita funciona como un sello el cual evitó el paso de estos fluidos hidrotermales a niveles superiores.

Para identificar la secuencia y contenido de mineralización se realizó un estudio mineragráfico con los resultados se ha logrado agrupar las muestras según su predominancia mineralógica, secuencia paragenética y también por las formas de distribución espacial de los minerales y con el agrupamiento de estas muestras se ha determinado 3 grupos de asociación mineralógica que están presentes en el cuerpo Esperanza.

El cuerpo mineralizado de Esperanza tiene forma lenticular e irregular, ver figuras N° 5.45 y N° 5.46 en la sección esquemática aproximada del cuerpo mineralizado y se presenta la forma aproximada de lentes, cuyos ejes mayores son paralelos al rumbo de la falla Yauricocha alojados en el mármol y caliza recristalizado de la formación Jumasha con dirección NW-SE y buzan a gran ángulo hacia el NE y en niveles inferiores son casi verticales. El cuerpo tiende a ser fusiforme en profundidad, se encuentra por debajo del



nivel 870 piso 16 y en profundidades mayores del nivel 1270 que indican que hay posibilidades de profundización del cuerpo mineralizado.

La distribución de los cuerpos mineralizados de la Mina Central de Yauricocha se encuentran hacia el sureste del cuerpo Esperanza y tienen un comportamiento irregular. De alguna forma estas zonas mineralizadas extensas están interconectadas (es decir, Catas–Antacaca–Rosaura-Antacaca Sur) mientras persista la falla Yauricocha, mientras que otros aparecen solo parcialmente interconectados en áreas relativamente grandes (Butz-Pozo Rico). También existen otros cuerpos de sulfuros de tamaños pequeños muy aislados como: Cuye, Mascota, Sur Medio, Contacto Occidental.

Dentro del cuerpo Esperanza se han identificado zonas de mineralización polimetálica y zonas con mineralización netamente de cobre. Estos son divididos de acuerdo a características mineralógicas y litológicas, para clasificar mejor la producción mineral.

La mineralización del cuerpo Esperanza está compuesta de minerales económicos como: calcopirita, bornita, calcosina, digenita, covelina, galena, esfalerita, cobres grises, luzonita, enargita y oro nativo y como mineral de ganga (no económico) son: pirita, magnetita (mushketovita), maghemita, hematita (especularita), calcita, marcasita, bismutinita, cuarzo y rutilo.

Tabla N° 5. 3. Simbología de estudio minerográfico

Nombre	Simbología	Formula
Bismutinita	bmt	$\text{Bi}_2\text{S}_3$
Bornita	bn	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$
Calcopirita	cp	$\text{CuFeS}_2$
Calcosina	cc	$\text{Cu}_2\text{S}$
Cobres grises	CGRs	Composición variada
Covelina	cv	$\text{CuS}$
Digenita	dg	$\text{CuS}$
Enargita	en	$\text{Cu}_3\text{AsS}_4$
Esfalerita	ef	$\text{ZnS}$
Galena	gn	$\text{PbS}$
Hematita	hm	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Luzonita	lz	$\text{Cu}_3\text{AsS}_4$
Maghemita	mgm	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Magnetita	mt	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$
Marcasita	mc	$\text{FeS}_2$
Pirita	py	$\text{FeS}_2$
Pirrotina	po	$\text{Fe}_7\text{S}_8$
Oro nativo	Au	Au
Rutilo	rt	$\text{TiO}_2$
Wolframita	wol	$(\text{Mn,Fe})\text{WO}_4$

Fuente: Sociedad Minera Corona S.A. LR: Luz Reflejada

A continuación, detallaremos las características principales de cada mineral económico y ganga.

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

La calcopirita es la mena de cobre más importante en el cuerpo Esperanza, está ampliamente distribuida, presenta hábito acicular estriado en drusas y parches, de color amarillo latón y con brillo metálico. Se encuentra reemplazando a masas de hematita (especularita), sulfuros grises, pirita y rellenando pequeñas cavidades. Este mineral, está asociado a bornita covelina y cobres grises, presenta una textura de relleno, exsolución y reemplazamiento, el incremento mayor de este mineral es desde el Nv. 970 hacia el nivel 1070 y 1270, las mayores concentraciones de este mineral se encuentran en el contacto

hacia el intrusivo. Se han identificado tres tipos de calcopirita; Calcopirita (cp) masas irregulares ubicadas en porosidades e intersticios de las gangas también en forma de finas exsoluciones en esfalerita. Por sectores, se le aprecia con bordes de Bismutinita. Calcopirita I (cp I) ocurre en forma de finas exsoluciones en esfalerita y specularita. Calcopirita II (cp II) masas irregulares localizadas en los intersticios, porosidades y bordes de la pirita. Calcopirita III (cp III), también ocurren pequeños cristales subredondeados en porosidades de pirita.

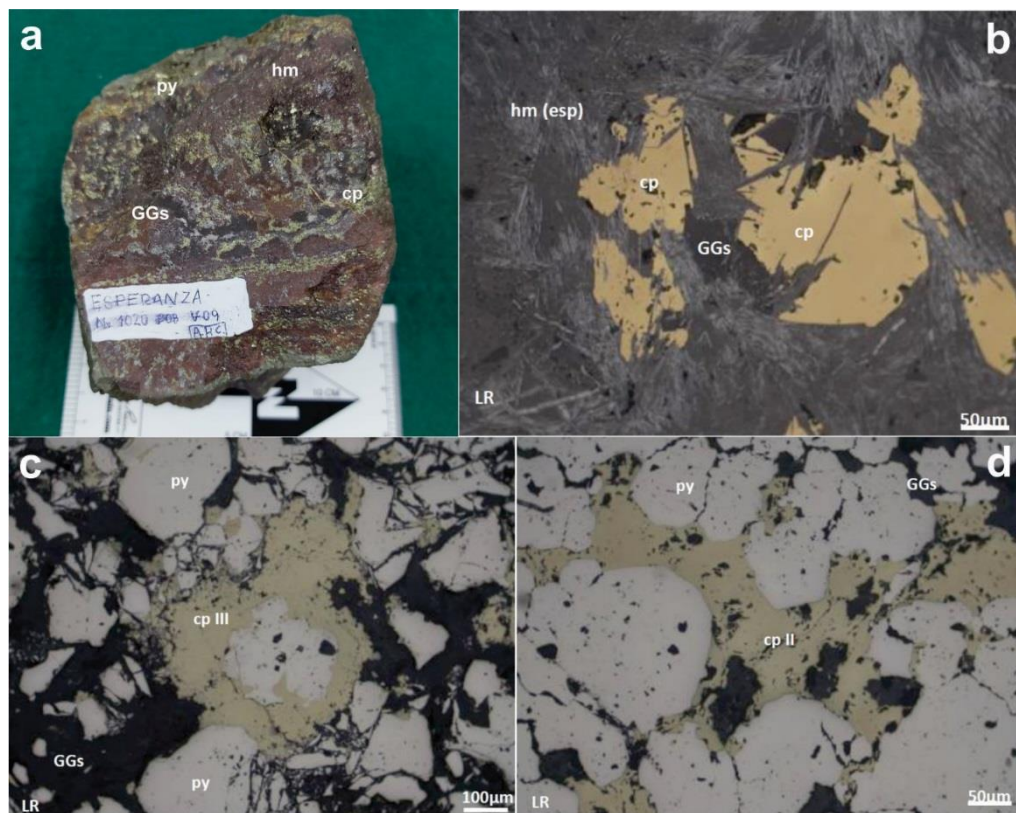


Figura N° 5. 32. Calcopirita en muestra de mano reemplazando a los minerales como magnetita, hematita, specularita, gangas grises y microfotografías de calcopirita que esta reemplazando a la hematita y pirita. M-07, M-12, M-13.

#### 5.2.6.2. Bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ )

La bornita ocurre siempre asociado con calcopirita III y covelina; en menor grado con la enargita, pirita, digenita y luzonita. Se presenta con color azulino con iridiscencia, tiene una textura de relleno, exsolución y reemplazamiento, se incrementa en los niveles 920 y 970.



Se ha identificado dos tipos de bornita en la zona de estudio los cuales se presentan en los intersticios de pirita y como relictos en la calcopirita, su origen es de reemplazamiento, también existen pequeños cristales anhedrales que rellenan porosidades en pirita, estos a su vez, son reemplazados por digenita. La Bornita I (bn I) contiene pequeños cristales en porosidades de pirita y se asocia a digenita. La Bornita II (bn II) reemplaza por sectores a la calcopirita y tienen una marcada asociación con luzonita y enargita, ver figura N° 5.33 (a,b,c y d).

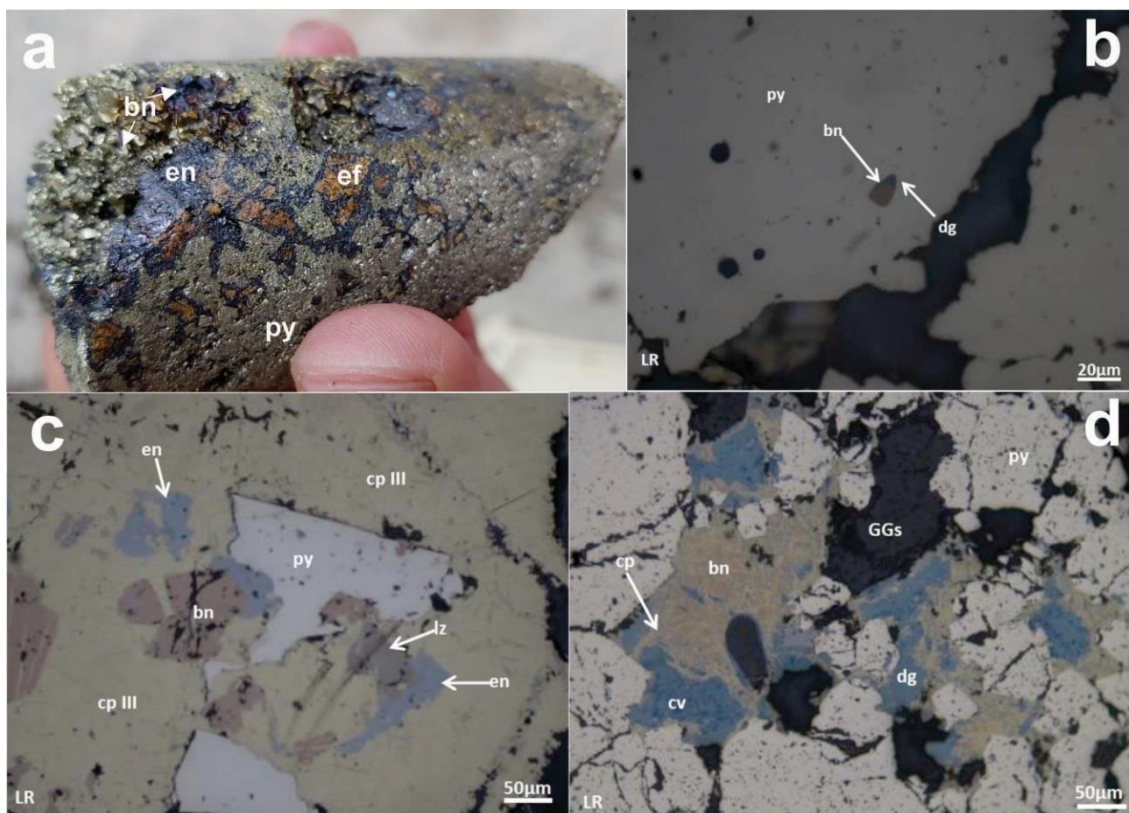


Figura N° 5. 33. Bornita en una muestra de perforación diamantina asociado a la enargita y microfotografías en donde la bornita está reemplazando a la calcopirita, covelita y masas de pirita. M-04 y M-12.

### 5.2.6.3. Covelita (CuS)

La covelita es un mineral que ocurre en menor proporción en el cuerpo Esperanza, pero no menos importante, presenta colores azules oscuros de brillo metálico, reemplaza a calcopirita en la mayoría de los casos. Es ciertos sectores este reemplazo de la calcopirita también lo hace en la enargita y bornita, en el cual presenta una textura de

relleno, exsolución y de reemplazamiento. El reemplazamiento empieza mediante pequeñas microfisuras de la calcopirita y a partir de ello continua hasta reemplazar todo el cristal de calcopirita, como muestra la figura N° 5.34 (a,b,c). La covelita curre siempre está reemplazado tanto a la calcopirita, bornita y enargita.

En el nivel 920 existe poca presencia de este mineral, pero se incrementa en el nivel 970 y 1070 y tiende a tener mayor persistencia en los niveles inferiores como en el nivel 1070. La muestra de mano en la figura N° 5.34 pertenece a un taladro que intercepto debajo del nivel 1070.

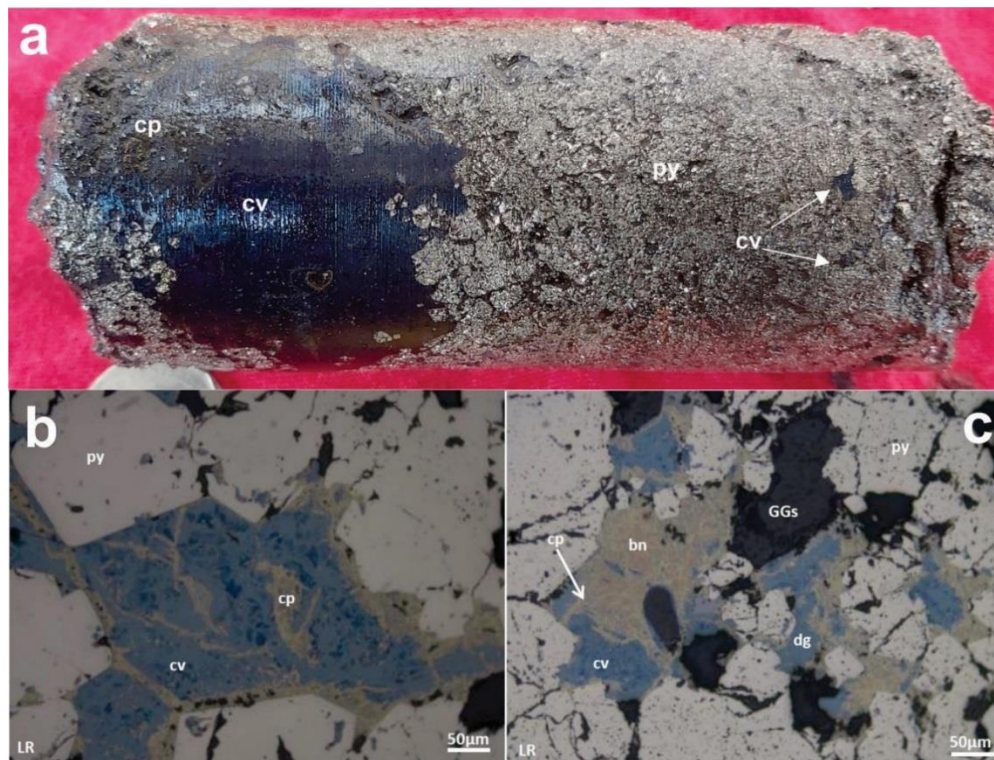


Figura N° 5. 34. Covelita en una muestra de perforación diamantina reemplazando a la calcopirita y microfotografías en donde la covelita está reemplazado por la calcopirita, bornita y digenita reemplaza a la pirita por las fracturas. M-04.

#### 5.2.6.4. Calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ )

La calcosina se presenta de color gris a gris oscuro y tiene brillo metálico. Este mineral se encuentra principalmente en intersticios y bordes de pirita (al parecer fue por reemplazamiento de este). Contiene relictos de calcopirita y luzonita, a su vez también se

observa unas pequeñas inclusiones de cobres grises dentro de este mineral, en interior mina es reconocido por su tenacidad frágil, queda una mancha de color gris azulado en los dedos al manipular.

Hay un incremento de este mineral en los niveles inferiores del nivel 920 y 970 indica un enriquecimiento secundario, en estos tramos presenta una textura relleno y reemplazamiento.

En la figura N° 5.35. Es la fotografía y microfotografía M-14. (a) Se observa una muestra de DDH con minerales como pirita, calcosita, calcopirita. (b) cristales de pirita (py) con intersticios rellenos por calcosita (cc), calcopirita (cp) y luzonita (lz). (c) Cristales de pirita (py) incluidos en las gangas (GGs) y con intersticios rellenos por calcopirita (cp), luzonita (lz) y calcosita (cc).

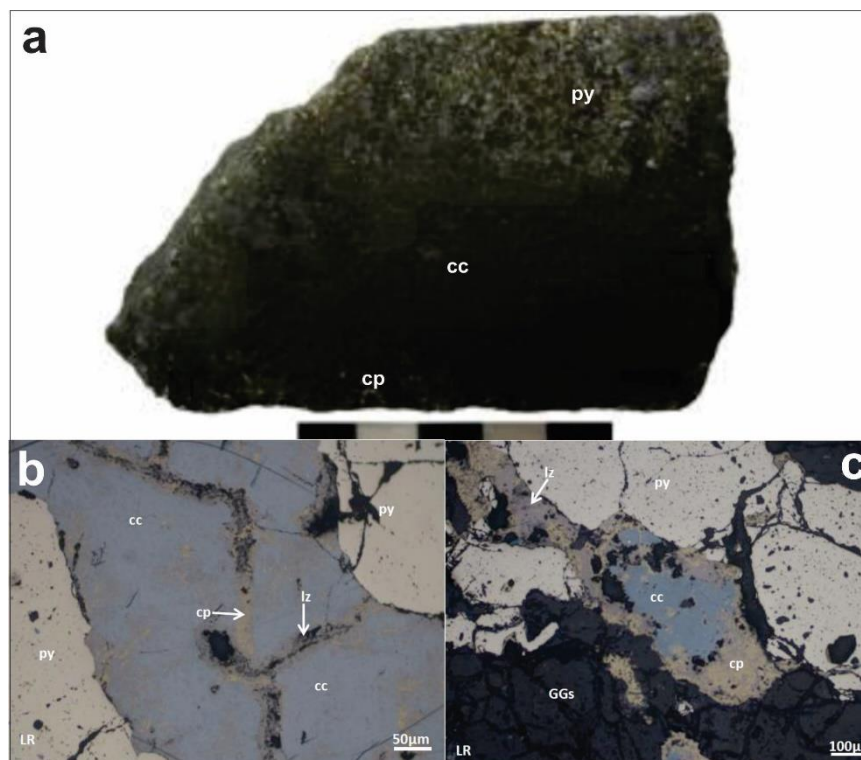


Figura N° 5. 35. Calcosita reemplazada en las fracturas de pirita y calcopirita. M-14.

### 5.2.6.5. Galena (PbS)

Es el mineral que esta agrupado en la zona de cuerpos de mineral polimetálico dentro del cuerpo Esperanza, se encuentra siempre en asociaciones de calcopirita-esfalerita y disseminaciones de Pirita, ocurre normalmente en rocas marmolizadas y niveles de skarn. Las características de los cristales tienen formas euédrales cúbicas ubicados en bordes y rellenando poros de pirita; a su vez, presenta finas exsoluciones de calcopirita, también se presenta en cristales anhedrales y subredondeados ubicados en porosidades y bordes de esfalerita y pirita. Presenta texturas de relleno y reemplazamiento (principalmente).

Se ha definido una probable secuencia de mineralización o paragénesis de este mineral, de la siguiente manera: Maghemita, magnetita (Mushketovita), Calcopirita I junto a la esfalerita, Pirita, Calcopirita II, Marcasita, como último evento la Galena.

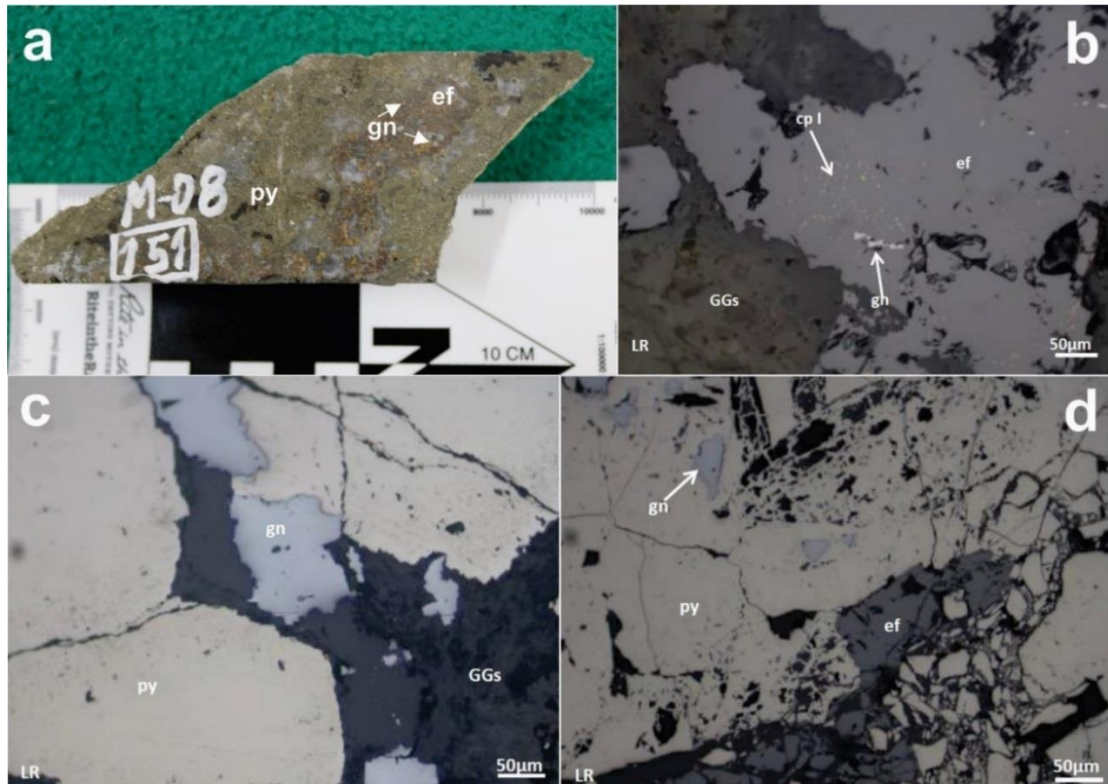


Figura N° 5. 36. Galena reemplazando a pirita en muestra de DDH y microfotografía reemplazando a la pirita y a la esfalerita. M-03, M-08.



#### 5.2.6.6. Esfalerita (ZnS)

La esfalerita se encuentra asociada con arcilla, pirita y galena mayormente en las periferias del cuerpo Esperanza en donde se han delimitado zonas de alto contenido de (Zinc). Conforma también el grupo de mineral polimetálico, su modo de distribución ocurre justamente en el contacto con el mármol, estas zonas tienen un color marrón anacarado y presenta dureza 3 a 4 en la escala de Mohs.

El cuerpo Esperanza está constituido en niveles superiores con esta mineralogía contienen mayoritariamente pirita, en las imágenes del estudio mineragráficos se observa formas de cristales anhedrales a subhedrales, esto también incluye las gangas, en las superficies pulidas de este mineral contienen exsoluciones de calcopirita I y en los poros se encuentra galena que es reemplazada por pirita en los bordes, a su vez la calcopirita y galena se ubica en los bordes y porosidades, formados después de la deposición de la calcopirita. La esfalerita presenta textura de relleno, exsolución y reemplazamiento.

Se ha definido una probable secuencia de mineralización así: Hematita (Especlarita), Magnetita (Mushketovita), Pirita, Esfalerita y Calcopirita y finalmente Galena.

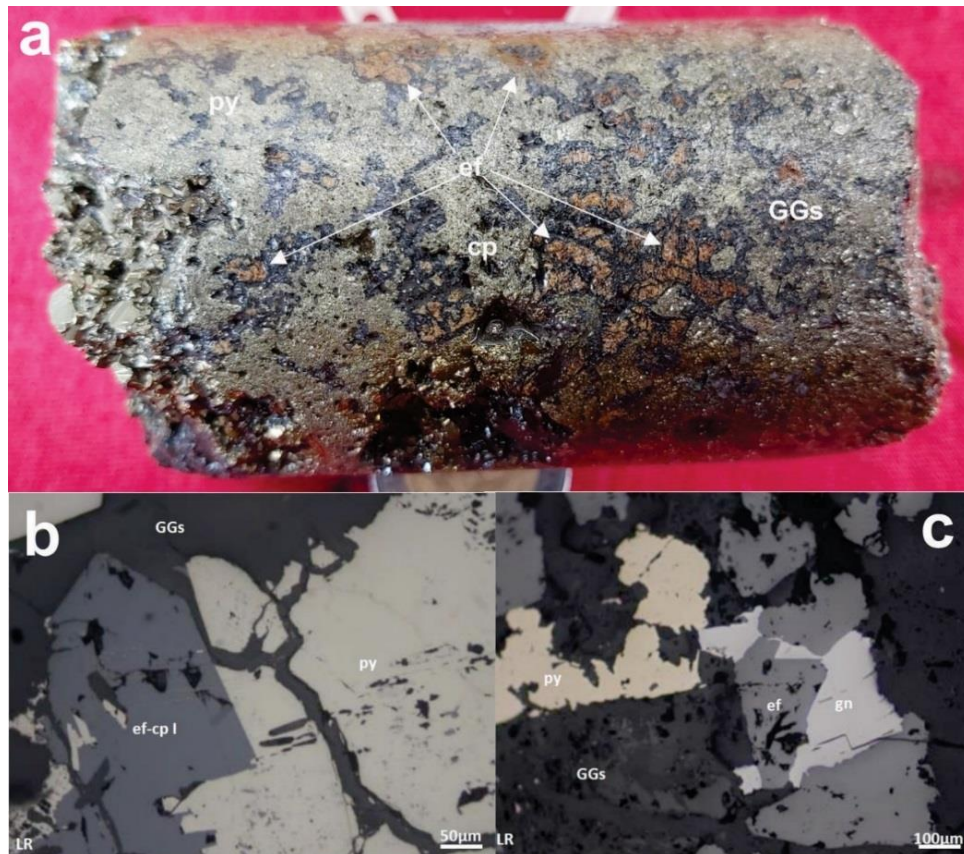


Figura N° 5. 37. Esfalerita en una muestra DDH y microfotografía donde está reemplazando a la pirita juntamente con calcopirita y reemplazado por galena M-03 y M-08.

#### 5.2.6.7. Digenita ( $\text{Cu}_9\text{S}_5$ )

Este mineral se presenta con escasos cristales diseminados, es de color gris azulado, se le encuentra ubicado en porosidades de pirita y a su vez asociados con bornita. Tiene pequeños cristales anhedrales subredondeados en porosidades de pirita está reemplazando parcialmente a cristales de bornita, calcopirita y a su vez reemplaza la covelita con textura de relleno y reemplazamiento. Este mineral se ha identificado en las muestras M-04 y M-05.

La probable secuencia de mineralización de este mineral, es de la siguiente manera: Rutilo, Hematita (especularita), Pirita, Calcopirita I y Esfalerita, Calcopirita II, Cobres grises, Bornita, Digenita, Covelita y Galena.



#### **5.2.6.8. Luzonita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ )**

Este mineral ocurre de manera puntual y muy disperso, en cuanto a proporcionalidad es muy escasa, es de color gris, tiene brillo metálico. Se observa en inclusiones que pertenecen a la calcopirita III (cp III) y es reemplazada por enargita (en), luzonita (lz) y bornita (bn). En la muestra M-05 se encuentra en cristales anhedrales (irregulares), en porosidades de gangas y también, en porosidades y microfracturas de pirita, asociada con calcopirita, bornita y covelita. La secuencia paragenética es: Hematita (especularita), Pirita, Esfalerita, Calcopirita, Luzonita, Cobres grises, Bornita y Covelita.

#### **5.2.6.9. Enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ )**

Por su composición, este mineral de cobre y azufre, está asociado y/o reemplazando a calcopirita, bornita y pirita, sus cristales son irregulares y tienen color gris oscuro, brillo metálico y ocurre en masas grandes junto a pirita. En la figura N° 5.38 se observa cristales anhedrales en calcopirita y reemplazados parcialmente por luzonita con textura de relleno y reemplazamiento. Se ha definido la siguiente secuencia paragenética: Pirita, Esfalerita y Calcopirita I, Calcopirita II, Bornita, Digenita, Galena, Calcopirita III, Bornita II, Enargita, Luzonita, Cobres Grises.

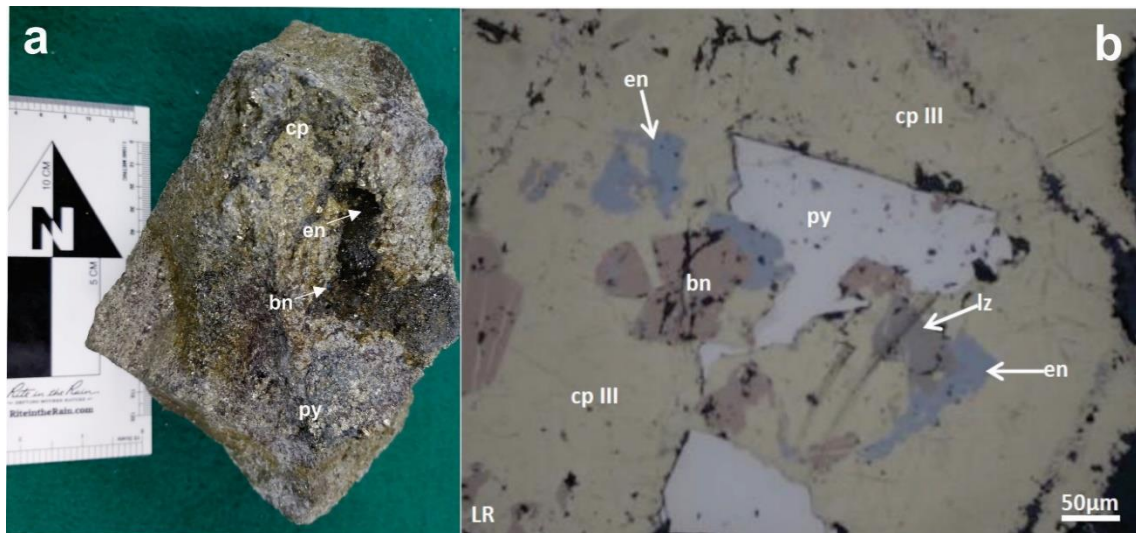


Figura N° 5. 38. Enargita en intersticios de los cristales de pirita y calcopirita en muestra de mano y microfotografía se observa reemplazando a calcopirita III. M-12.

#### 5.2.6.10. Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

La hematita es uno de los minerales más comunes en el Cuerpo Esperanza, en su mayoría presenta colores rojos a tonalidades grises, está como reemplazamiento de calcopirita y pirita, estos minerales están asociados a magnetita (Mushketovita), maghemita y gangas grises.

Según el estudio minerográfico es el mineral más común que ocurre con formas de cristales euhedrales de hábito prismático, elongados y algo curvados; también ocurren incluidos en las gangas y en la calcopirita, su textura es de relleno y de reemplazamiento, es un mineral típico de yacimientos de tipo Skarn y CRD (depósitos de reemplazamiento en rocas carbonatadas).

También se define una probable secuencia de mineralización de este mineral, de la siguiente forma: Hematita (especularita), Pirita, Calcopirita y Bismutina. Según la secuencia paragenética fueron los primeros en depositarse: Hematita (especularita), Pirita, Calcopirita y Bismutinita.



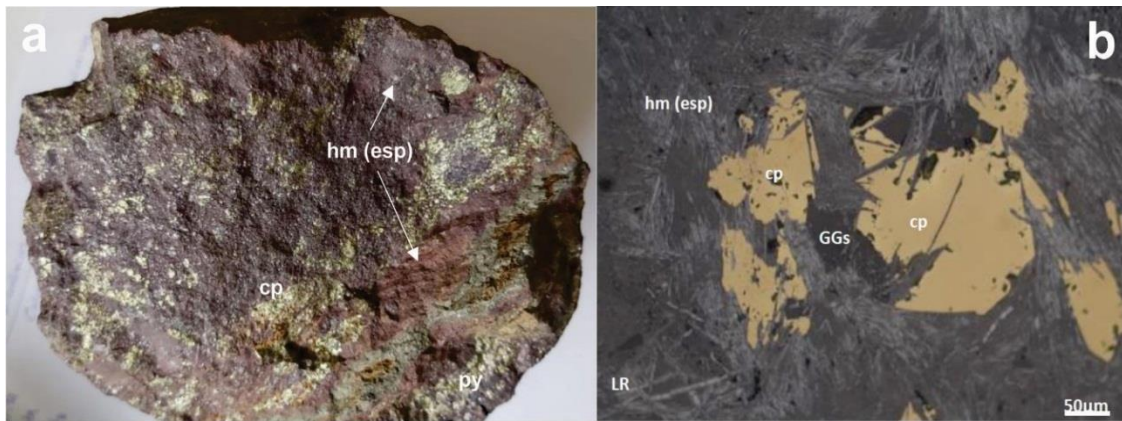


Figura N° 5. 39. Hematita (Es specularita) masiva en muestra de mano y microfotografía, reemplazado por calcopirita y pirita. M-01, M-08 y M-13.

#### 5.2.6.11. Magnetita (Mushketovita) ( $Fe_2O_3.Fe$ )

Este mineral es uno de los más comunes en el cuerpo Esperanza se observan en muestra de perforación diamantina con color gris negro, su brillo es metálico, presenta alta densidad, está asociado a pirita, calcopirita y calcita, contiene cristales pseudomórficos de hábito prismático tabular (producto del reemplazamiento de la hematita-es specularita) incluido en la pirita. Su concentración se incrementa por debajo del nivel 920 y 970 confirmado hasta los niveles 1270 con perforaciones diamantinas y son minerales típicos de yacimiento del cuerpo Esperanza. Se ha definido una secuencia paragenética de formación y cristalización de este mineral es: Hematita (es specularita), Magnetita (mushketovita), Maghemita, Pirita, Calcopirita y Marcasita.

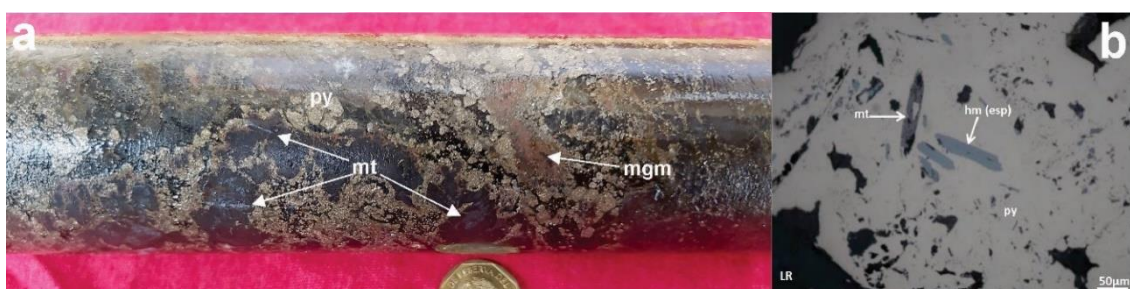


Figura N° 5. 40. Magnetita (Mushketovita) masiva en testigos DDH y en forma de inclusiones dentro de la hematita y microfotografía donde se observa en cristales alargados. M-03.

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

Generalmente la pirita se presenta masiva compacta y en menor proporción de textura friable a porosa, este mineral es una de los más comunes en el cuerpo Esperanza. Las formas de cristales son anhedrales y subhedrales de hábito cúbico, formando en su gran mayoría de veces agregados, y normalmente están incluidos en las gangas.

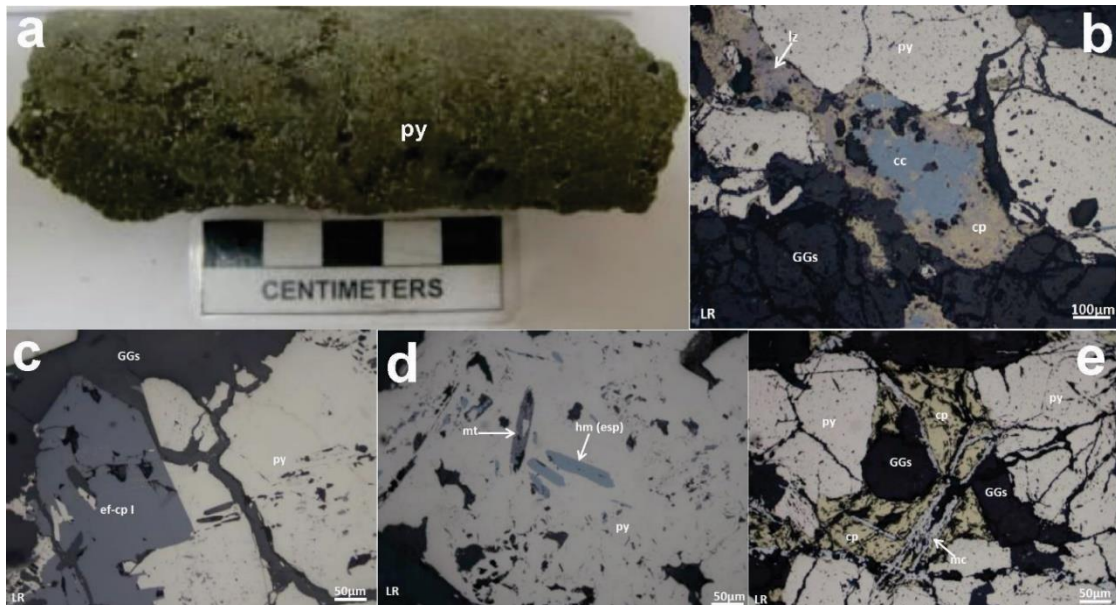


Figura N° 5. 41. Pirita masiva en muestra de mano y microfotografías con inclusiones de calcopirita, calcosita, esfalerita, galena y gangas grises. M-02, M-03, M-14.

La pirita, según el estudio minerográfico, es reemplazada principalmente por la esfalerita (desde sus bordes). Gran porcentaje de los cristales presenta inclusiones y porosidades rellenas por hematita-esfalerita, magnetita, esfalerita y galena.

Según la secuencia paragenética se observa: Hematita (esfalerita), magnetita (Mushketovita), Pirita, Esfalerita y Calcopirita y Galena.

### 5.2.6.13. Maghemita ( $\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_3$ )

Este mineral tiene cristales anhedrales y están incluidos en las gangas y asociados con hematita (esfalerita) de color pardo rojizo. Se interpreta una secuencia

paragenética, en el cual se observa: Maghemita, Magnetita (Mushketovita), Esfalerita - Calcopirita I, Pirita, Calcopirita II, Marcasita y Galena.

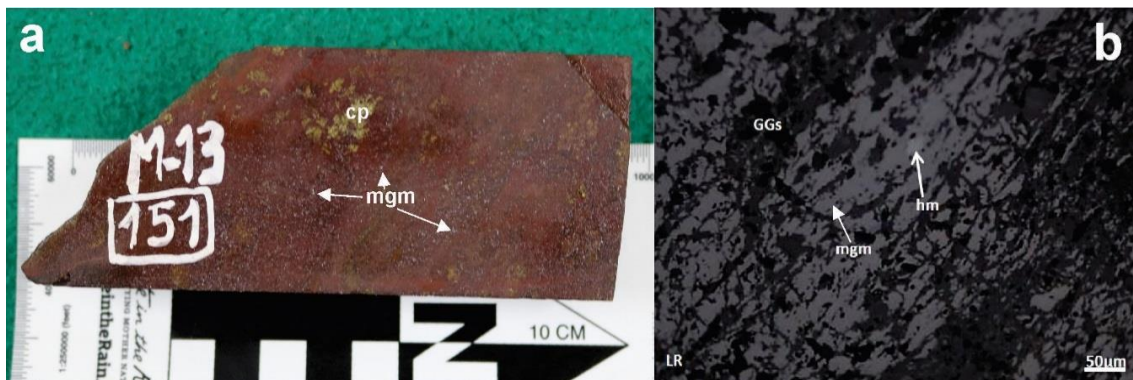


Figura N° 5. 42. Maghemita en muestra DDH y microfotografía de cristales en forma prismáticos en relicto de hematita. M-07.

#### 5.2.6.14. Bismutinita ( $\text{Bi}_2\text{S}_3$ )

Ocurre en cristales alargados, hábito prismático, ubicados en porosidades de gangas y en bordes de calcopirita, su coloración típica es gris rojizo con presencia de hematita y calcopirita, presenta textura de relleno y reemplazamiento. En el estudio mineragráfico se ha determinado la siguiente secuencia paragenética: Hematita (Especlarita), Pirita, Calcopirita y Bismutinita.

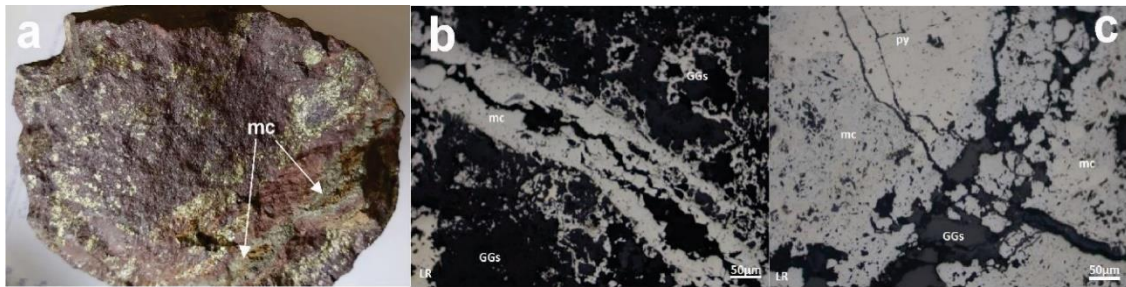
#### 5.2.6.15. Calcita ( $\text{CaCO}_3$ )

Este mineral de carbonato de calcio, se encuentra en venillas dentro del cuerpo mineralizado y normalmente asociado a Magnetita, Calcopirita, Galena y Esfalerita.

#### 5.2.6.16. Marcasita ( $\text{FeS}_2$ )

La marcasita aparece relleno microfracturas (en venillas) atravesando a la pirita, también ocurre en forma de cristales subhedrales de hábito prismático en masas irregulares de color amarillo plateado, presenta texturas de relleno y reemplazamiento. En el estudio mineragráfico se ha determinado la siguiente secuencia paragenética:

Maghemita, Magnetita (Mushketovita), Esfalerita y Calcopirita I, Pirita, Calcopirita II, Marcasita y Galena.



*Figura N° 5. 43. Marcasita en muestra de mano en forma bandeada y microfotografía bandeamientos y reemplazando a la pirita y especularita. M-01, M-08.*

#### 5.2.6.17. Rutilo (TiO)

Este mineral está en trazas dentro de la mineralización masiva de pirita, hematita y especularita es de color rojizo, rojo a amarillo pálido, en el estudio minerográfico está en la muestra M-07 donde se observa como cristales anhedrales incluidos en las gangas.

Según la secuencia paragenética es uno de los primeros minerales que se formado: se describe M-07: Rutilo, Hematita, Pirita, Calcopirita, Bornita, Digenita, Covelita y Galena.

#### 5.2.7. Zonación y paragénesis del cuerpo Esperanza

Según la descripción de las características mineralógica detalladas en los párrafos anteriores realizamos una clasificación y zonificación de minerales principales del cuerpo Esperanza. Se ha identificado tres grupos que se muestran en la tabla N° 5.4.

Debe destacarse que las zonas mineralógicas tienen un comportamiento irregular, lo que indica que estos pueden estar ausentes o parcialmente presentes en ciertos sectores. Para determinar los grupos de minerales que presenta en el cuerpo Esperanza se ha utilizado los resultados del estudio minerográfico de luz reflejada. Donde se recolectaron



10 muestras de perforación diamantina debidamente codificadas (M-01, M-02, M-03, M-04, M-05, M-07, M-08, M-12, M-13, M-14) analizadas en el laboratorio (BizaLab, 2016).

El estudio minerográfico se realizó para la identificación de los minerales metálicos presentes en cada muestra en el que se utilizó la técnica de microscopía óptica de luz polarizada con luz reflejada. Estos estudios nos muestran la naturaleza de sus componentes, rasgos morfológicos, tamaños, texturas, porcentajes, modos de ocurrencia, asociaciones entre ellos y relaciones espaciales, estableciendo de esta forma una secuencia de formación (o secuencia paragenética) probable de los mismos, con lo cual se genera la información necesaria para una mejor interpretación de la zona de estudio.

**GRUPO I:** conformado por las muestras M-04, M-05, M-07, M-12 y M-14, compuestas por pirita, calcopirita, enargita, luzonita, bornita, calcosina, digenita, covelita, cobres grises, marcasita, bismutinita y galena. Este grupo se caracteriza por la presencia de pirita como el mineral más abundante, así como la ocurrencia de minerales de cobre rellenando microfracturas, intersticios y porosidades en la misma. Este tipo de mineralización se presenta en la parte central del cuerpo Esperanza y probablemente generado por el intrusivo tipo Cuarzodiorita.

**GRUPO II:** conformado por las muestras M-01, M-02, M-03 y M-13 compuestas por hematita (variedad especularita), pirita, calcopirita, magnetita, maghemita, marcasita, esfalerita y calcopirita. Este grupo se caracteriza por la predominancia de los óxidos de hierro (hematita, magnetita y maghemita), respecto a los sulfuros. La calcopirita aparece en porosidades e intersticios de pirita y hematita. Este tipo de mineralización está ubicado al sureste del cuerpo Esperanza y generado por el intrusivo de tipo Tonalítico.



**GRUPO III:** conformado por la muestra M-08 compuesta por maghemita, magnetita, pirita, calcopirita, galena y esfalerita. Es la muestra con mayor contenido de esfalerita (55%), por eso fue separada de los dos grupos anteriores. Este tipo de mineralización está en la parte noroeste del cuerpo Esperanza y se asumen que fue generado por el intrusivo de tipo Cuarzomonzodiorítico.

Se ha registrado que el cuerpo Esperanza desde la zona alta inicia con mineral de alta concentración polimetálica con porcentajes bajos de minerales de cobre, y a medida que se profundiza el cuerpo disminuye el contenido de mineral polimetálico (galena, esfalerita) e incrementan los valores de mineral de cobre (calcopirita, covelita, bornita), en estos sectores también incrementan los minerales de hierro como Hematita (especularita), magnetita (mushketovita) y maghemita. Los minerales de hierro son reemplazados por venillas, playas y parches de sulfuros de cobre y mineral polimetálico (pirita calcopirita, bornita, covelita, calcosina, esfalerita y galena).

Tabla N° 5. 4. Zonificación Mineralógica Cuerpo Esperanza

GRUPO	MINERAL	CARACTERISTICA PARTICULAR	TEXTURA GENERAL
I	Pirita, Calcopirita, Enargita, Luzonita, Bornita, Calcosina, Digenita, Covelita, Cobres grises, Marcasita, Bismutinita y Galena.	Pirita y Calcopirita en intersticios	Masivo; Friable
II	Hematita (variedad especularita), Pirita, Calcopirita, Magnetita, Maghemita, Marcasita, Esfalerita y Calcopirita.	En porosidades e intersticios de Pirita y Hematita	Masivo
III	Maghemita, Magnetita, Pirita, Calcopirita, Galena y Esfalerita	Esfalerita (55%).	Masivo; Friable

Fuente: Elaboración propia.

La fuente principal de los fluidos hipógenos que emplazaron y depositaron la mineralización en la zona del cuerpo estudiado tiene de composición intermedia, según el contenido de sílice. Son tres eventos principales interpretados: Tonalita, Cuarzodiorita y Cuarzomonzodiorita cada intrusivo es un pulso magmatico. Estos eventos han aprovechado principalmente a la falla Yauricocha, fracturas, planos de estratificación y porosidad granulométrica de las rocas caja para transportar los fluidos hidrotermales cargado de iones metálicos los cuales se cristalizaron y se depositaron en el mármol y las secuencias reducidas de skarn preexistentes.

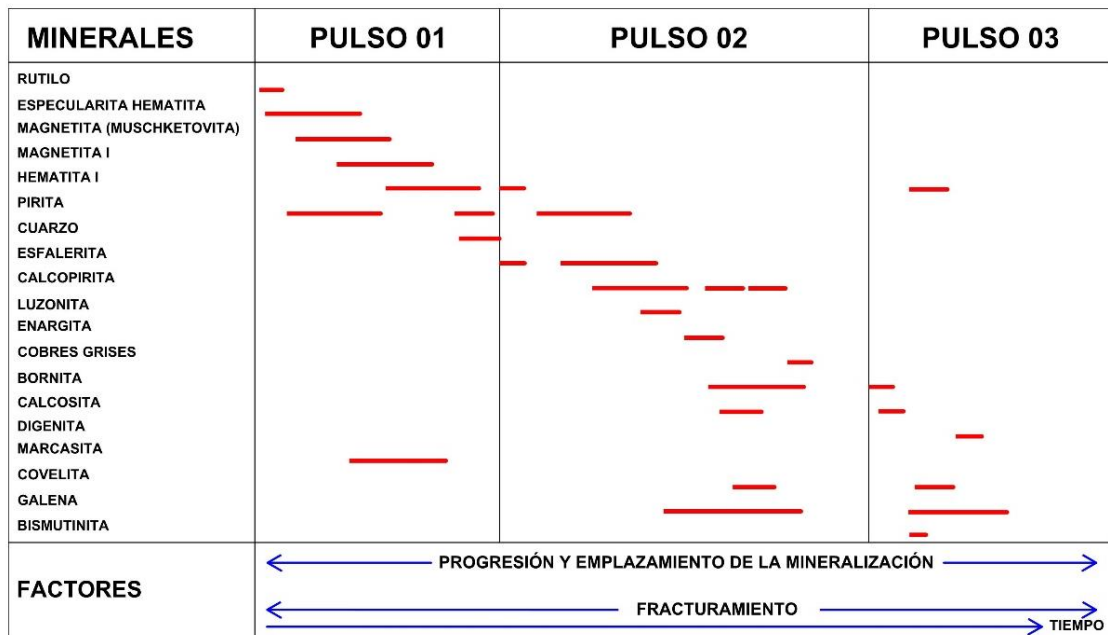


Figura N° 5. 44. Paragénesis de los minerales hipógenos del cuerpo Esperanza. Adaptación propia.

Intrusión de tonalita (Pulso 1). Es un pulso de composición intermedia que se emplazó en la parte sureste de la zona de estudio. Esta intrusión fue el primer evento que mineralizó el cuerpo Esperanza, su característica más importante es presentar mayor ocurrencia de minerales de óxidos de hierro y sulfuros (Hematita, Magnetita, Magnetita, Pirita y Marcasita). La calcopirita y esfalerita aparecen en porosidades e intersticios de pirita y hematita.

Intrusivo Cuarzodiorita (Pulso 2). Es un pulso de composición intermedia que se emplazó en la zona central del cuerpo, se caracteriza por la presencia de pirita como el mineral más abundante, así como la ocurrencia de minerales de cobre calcopirita, bornita, calcosina, covelita, cobres grises rellenando las microfracturas, intersticios y porosidades. La predominancia de este intrusivo es de mayor amplitud en el plano horizontal y profundidad del cuerpo Esperanza, este llega hasta los niveles superiores y niveles más profundos.



Intrusión Cuarzomonzodiorita (Pulso 3). Es un pulso de composición intermedia, el cual se ubica en la parte noroeste del cuerpo mineralizado. Este flujo corresponde al tercer evento mineralizante, que se caracteriza por la presencia de pirita como el mineral más abundante, así como la ocurrencia de minerales de cobre, zinc y plomo principalmente de zinc rellenando microfracturas, intersticios y porosidades.

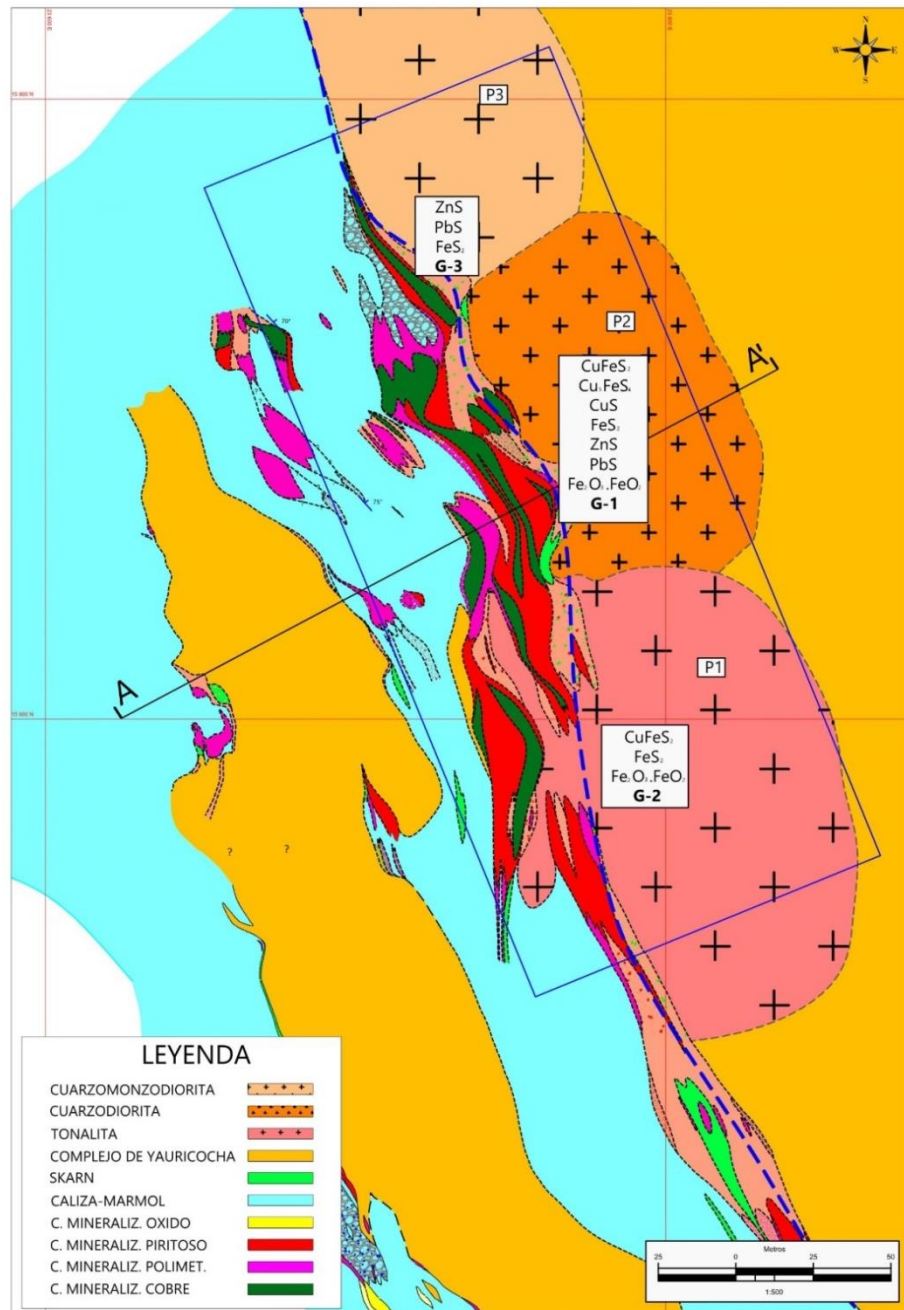


Figura N° 5. 45. Plano geológico, mineralización del cuerpo Esperanza y emplazamiento de intrusivos tonalítico, cuarzodiorítico, cuarzomonzodiorítico. Fuente: Adaptación propia y Sociedad Minera Corona S.A.

Observamos una sección esquemática transversal de la evolución y emplazamiento de mineralización según el tipo de intrusivo en el cuerpo Esperanza.

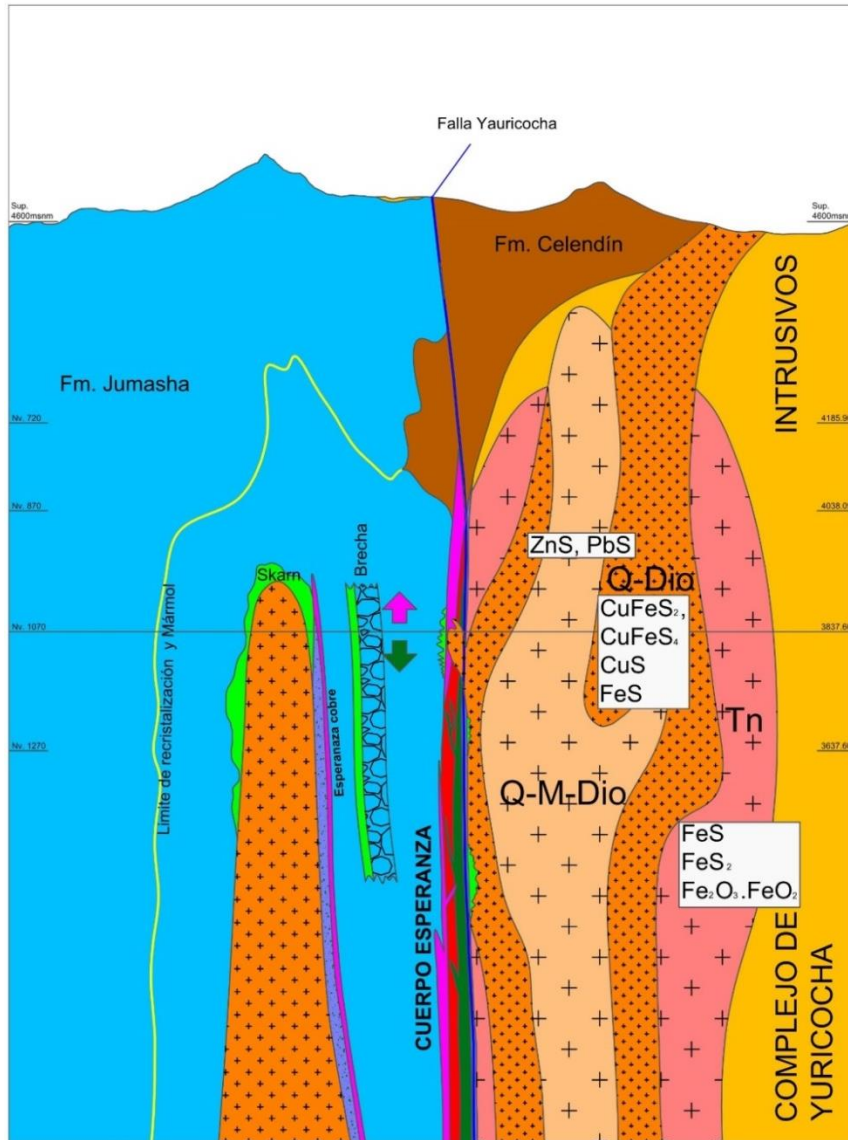


Figura N° 5. 46. Zonamiento esquemático vertical de mineralización y la evolución de los intrusivos dentro del cuerpo Esperanza. Elaboración y adaptación propia.

### 5.2.8. Potencial mineralógico económico y profundización del cuerpo Esperanza

Realizando la revisión las leyes de los taladros de perforación diamantina se ha resumido los resultados de los intercepto de mineral de los testigos de perforación diamantina. A continuación, se muestran las tablas con leyes por nivel y sus respectivos elementos (Ag – Pb – Zn – Cu) del Cuerpo Esperanza.

Tabla N° 5. 5. Leyes con taladros nivel 870 zona noroeste

N° de Taladro	Longitud de Intercepto	Ag-Oz/t	Pb%	Cu%	Zn%	Emplazado en:
D_ESP_13_16_06	4.10	4.56	7.50	1.01	16.13	Mármol
	10.00	1.88	3.51	0.26	7.36	Mármol - Intrusivo

Fuente: Sociedad Minera Corona SA.

Tabla N° 5. 6. Leyes con taladros nivel 920 zona central.

N° de Taladro	Longitud de Intercepto	Ag-Oz/t	Pb%	Cu%	Zn%	Emplazado en:
ESP_13_15_08	2.90	2.32	3.50	1.65	22.79	Mármol
	56.90	1.95	2.51	1.15	5.42	Mármol
	6.40	2.19	1.38	1.59	4.43	Mármol - Intrusivo

Fuente: Sociedad Minera Corona SA.

Tabla N° 5. 7. Leyes con taladros nivel 920 zona sureste.

N° de Taladro	Longitud de Intercepto	Ag-Oz/t	Pb%	Cu%	Zn%	Emplazado en:
ESP_13_15_03	26.50	2.19	0.68	3.84	1.43	Mármol - Intrusivo

Fuente: Sociedad Minera Corona SA.

Tabla N° 5. 8. Leyes con taladros nivel 970 zona central

N° de Taladro	Longitud de Intercepto	Ag-Oz/t	Pb%	Cu%	Zn%	Emplazado en:
D_ESP_13_15_37A	30.80	3.18	1.95	1.56	4.94	Mármol
	30.80	1.35	0.13	3.46	0.41	Mármol - Intrusivo
Zona Sureste del cuerpo						
N° de Taladro	Longitud de Intercepto	Ag-Oz/t	Pb%	Cu%	Zn%	Emplazado en:



D_ESP_13_15_31A	17.30	0.74	0.03	2.26	0.05	Mármol - Intrusivo
	4.85	0.75	0.03	6.25	0.03	Intrusivo

Fuente: Sociedad Minera Corona SA.

*Tabla N° 5. 9. Leyes con taladros nivel 970 P-12 zona central.*

N° de Taladro	Longitud de Intercepto	Ag-Oz/t	Pb%	Cu%	Zn%	Emplazado en:
ESP_13_15_06	27.10	0.77	0.11	1.23	0.30	Mármol - Intrusivo

Fuente: Sociedad Minera Corona SA.

*Tabla N° 5. 10. Leyes con taladros nivel 1020 zona central*

N° de Taladro	Longitud de Intercepto	Ag-Oz/t	Pb%	Cu%	Zn%	Emplazado en:
D_ESP_13_15_12	69.20	1.42	0.39	3.26	1.69	Mármol - Intrusivo

Fuente: Sociedad Minera Corona SA.

*Tabla N° 5. 11. Leyes con taladros nivel 1070 zona noroeste.*

N° de Taladro	Longitud de Intercepto	Ag-Oz/t	Pb%	Cu%	Zn%	Emplazado en:
D_ESP_13_15_13	21.30	3.89	2.48	4.48	6.06	Mármol
	15.60	1.14	0.15	1.90	0.28	Mármol - Intrusivo

Fuente: Sociedad Minera Corona SA.

*Tabla N° 5. 12. Leyes con taladros nivel 1120 zona central.*

N° de Taladro	Longitud de Intercepto	Ag-Oz/t	Pb%	Cu%	Zn%	Emplazado en:
---------------	------------------------	---------	-----	-----	-----	---------------



	47.20	1.57	0.86	2.46	2.67	Mármol
E_ESP_13_16_03	29.90	2.04	1.13	2.15	4.72	Mármol
	13.30	1.52	0.16	2.93	0.21	Mármol - Intrusivo

Fuente: Sociedad Minera Corona SA.

*Tabla N° 5. 13. Leyes con taladros nivel 1120 zona central*

N° de Taladro	Longitud de Intercepto	Ag-oz/t	Pb%	Cu%	Zn%	Emplazado en:
PZ_ESP_17_16_01	24.00	3.15	0.64	5.80	1.34	Mármol - Intrusivo

Fuente: Sociedad Minera Corona SA.

En las tablas de leyes se usó las leyes más representativas por cada nivel y se obtiene un cuadro general de leyes desde el nivel 870 hasta el nivel 1220 para interpolar los valores de concentración metálico entre cada nivel interceptado y se nota claramente las variaciones de los elementos estudiados en donde se observa un incremento y decremento de algunos valores de Ag, Pb, Cu y Zn.

*Tabla N° 5. 14. Promedios de leyes de taladros resumido por nivel del cuerpo Esperanza*

NIVEL	Ag-oz/t	Pb%	Cu%	Zn%
Nv. 870	1.88	3.51	0.26	7.36
Nv. 920	2.19	1.38	1.59	4.43
Nv. 970	1.35	0.13	3.46	0.41
Nv. 1020	1.42	0.39	3.26	1.69
Nv. 1070	3.89	2.48	4.48	6.06
Nv. 1120	1.52	0.16	2.93	0.21
Nv. 1220	3.15	0.64	5.80	1.34

Fuente: Sociedad Minera Corona SA.

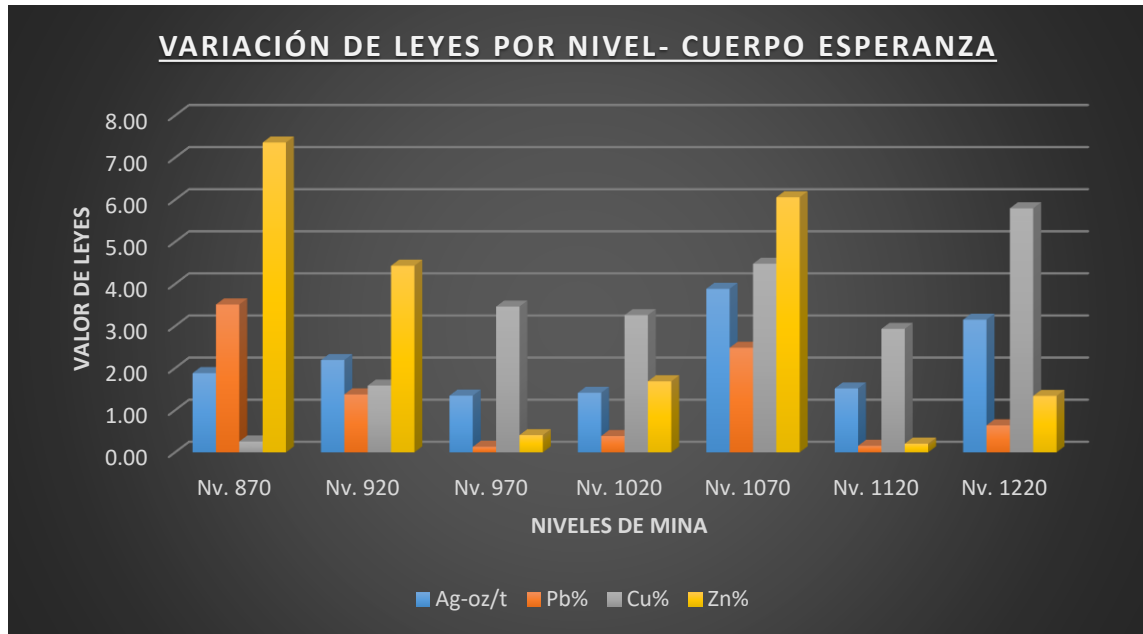


Figura N° 5. 47. Distribución de valores de Ag-Pb-Cu-Zn desde el Nv. 870-1220 cuerpo Esperanza. Fuente: Elaboración propia y Sociedad Minera Corona.

En la tabla N° 5.14 y figura N° 5.47. Se observa los valores de cada elemento. Cobre (Cu%) se incrementan notablemente hacia los niveles inferiores en el nivel 870 no tiene valores significativos, pero va incrementándose gradualmente a medida que el cuerpo va profundizando. Esto nos indica que en profundidad hay mejores oportunidades de explorar este elemento. La plata (Ag Oz/t) tiene un comportamiento normal y tiene una tendencia en mantener sus leyes y continuar en profundidad. El Plomo (Pb %) mayor concentración en niveles superiores, hay una variación en niveles intermedios y en niveles profundas disminuye notablemente. El Zinc (Zn %) presenta una variación significativa en los niveles superiores, disminuyendo en los niveles 970 hasta el nivel 1120, pero del nivel 1220 hasta el 1270 tiene un incremento parcial. Los datos de leyes demuestran que el cuerpo Esperanza sigue profundizando por debajo del nivel 1270 y con leyes económicas favorables principalmente de cobre, luego plata, zinc menor cantidad plomo.

### 5.3. DISCUSIÓN



Con resultados logrados en esta investigación de tesis, se ha llegado a obtener algunas diferencias con las conclusiones hechas de trabajos de investigación de los cuerpos centrales de Mina Yauricocha y Mina Cachi Cachi que tienen un contexto geológico similar a nuestra zona estudio:

Tabla N° 5. 15. Diferencias entre “Cuerpo Esperanza”, “Mina Central y Mina Cachi Cachi”

Controles de mineralización	Cuerpo Esperanza Mina Yauricocha	Cuerpos Centrales Mina Yauricocha y Mina Cachi Cachi
<b>Litológico</b>	<p>El cuerpo Esperanza está emplazado en las calizas de la formación Jumasha (marmolizada), sobreimpuesta de una alteración de Skarn. Intruidos por nor-noroeste con cuarzomonzodiorita, al centro por cuarzodiorita, al sureste por Tonalita</p>	<p>Los cuerpos centrales de la mina Yauricocha Catas, Antacaca, Rosaura están emplazado en las calizas de la formación Jumasha marmolizada y la formación Celendín con lutitas silicificadas en contacto con el complejo de intrusivos de Yauricocha Granodiorita.</p>
<b>Mineralógico</b>	<p>La mineralización del cuerpo Esperanza está caracterizado y reconocido con labores mineras desde el nivel 870 piso 16 cotas (4080 msnm) hasta el nivel 1070 cota (3840 msnm) y con taladros de perforación diamantina reconocidos hasta el nivel 1270 cota (3690 msnm). En vertical el cuerpo mineralizado tiene una altura reconocida de 400 metros, potencia de 10-30 metros y tiene una longitud de 90-120 m.</p> <p>El yacimiento de Esperanza no aflora en la superficie, es un <b>yacimiento oculto</b> (ubicado aproximadamente a 500 metros debajo de la superficie).</p>	<p>La mineralización de la mina Central está reconocida desde la superficie con cota (4600 msnm) con labores mineras hasta el nivel 1170 a (3740 msnm) y con taladros de perforación diamantina hasta el nivel 1520 con cota de (3440 msnm) interceptado con taladros de perforación diamantina con más de 1 km de distancia en vertical.</p> <p>Los cuerpos centrales Catas y Antacaca afloran desde la superficie, Rosaura y Antacaca Sur cerca de la superficie.</p> <p>La mina Cachi Cachi es un yacimiento de tipo Skarn en donde se presentan zonas extensas de exoskarn y endoskarn y predominan minerales como granates pardas (andraditas) y granates verdes (grosularia), wollastonitas, calcita y calcosilicatos.</p>
<b>Estructural</b>	<p>La estructura principal del yacimiento es la Falla Yauricocha, que controla el emplazamiento de la mineralización polimetálica (Ag, Pb, Cu y Zn) del cuerpo Esperanza.</p> <p>Es muy posible que el cuerpo Esperanza pueda estar controlados por la intersección del cizallamiento persistente NE-SO y E-O desde el nivel 1120 en estos niveles es cuerpo mineralizado tiene una tendencia hacia el NNO.</p>	<p>En la mina Central los cuerpos Catas, Antacaca, Rosaura y Antacaca Sur asociados a la falla Yauricocha, estos cuerpos están conectados y presentan una mayor potencia cuando están en un contacto más inclinado del France Chert-Caliza. Tiene una tendencia de su inclinación hacia el NE con 80° y 85°.</p>

Fuente: Elaboración propia.





## VI. CONCLUSIONES

1. Según la caracterización litológica y geológica en la zona de estudio se determinó dos controles principales para la ocurrencia de mineralización de Zn-Pb-Ag-Cu del cuerpo Esperanza, el cual está emplazado en roca marmolizada de la formación Jumasha, causados por tres intrusivos de composición intermedia; tonalita, cuarzodiorita, cuarzomonzodiorita y controlado por la falla Yauricocha que sirvió como el canal principal para la mineralización. La secuencia hidrotermal de pulsaciones magmáticas ocurre dentro del complejo granodiorítico de Yauricocha muestra que el primer pulso fue tonalítico con minerales de hierro, luego intruyó la cuarzodiorita con minerales económicos de cobre, plata y zinc, y el tercer pulso cuarzomonzodiorítico mineralizó ocurrencias de zinc y plomo.
2. La determinación del contexto estructural en la zona de estudio está relacionada a la falla Yauricocha, la cual se forma en varias etapas posterior a la diagénesis de la formación Jumasha y Celendín, los estratos de estas dos formaciones son afectados por la tectónica andina con fuerzas compresivas y al mismo tiempo inicia etapas de intrusión magmática; en el Mioceno ocurre la intrusión granodiorítica y existe un mayor efecto compresivo y se forma la falla Yauricocha, y finalmente intruyen los pulsos de composición intermedia que depositan la mineralización del cuerpo Esperanza. La paragénesis se dio a través de tres eventos de mineralización: el primer evento tonalítico, que depositó hematita, magnetita, maghemita, pirita y algo de calcopirita; el segundo evento cuarzodiorítico depositó calcopirita, galena y esfalerita y el tercer evento cuarzomonzodiorítico depositó pirita, bornita, esfalerita, marcasita y galena donde predomina la esfalerita. Se determinó con los resultados de análisis geoquímico que las concentraciones metálicas en valores de cobre se incrementan en



profundidad mientras que los valores de plomo disminuyen y se mantienen los valores de zinc y plata.



## VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar trabajos de mapeo geológico al detalle 1/500 en sectores aledaños al Cuerpo Esperanza y poner énfasis en la litología y la parte de la geología estructural, para posteriormente interpretar y ubicar nuevas áreas con potencialidad minera económica.
2. Se recomienda realizar un mapeo detallado en la falla Yauricocha, para ubicar zonas de transpresión y transtensión; este mapeo se debe realizar tanto horizontal y verticalmente, con el fin de encontrar planos de debilidad estructural por donde posiblemente hayan fluido eventos relacionados a la actividad hidrotermal.
3. Se recomienda realizar estudios cuantitativos como estudios geobarométricos e inclusiones fluidas para determinar a la profundidad de formación del Skarn y la temperatura de los fluidos hidrotermales que depositan la mineralización.
4. El cuerpo mineralizado de Esperanza contiene zonas de mineral netamente polimetálico y zonas de cobre con altas leyes y debe ser empleado en el cabeceo con mineral proveniente de otros cuerpos de leyes bajas ya que por el método de explotación se diluye el mineral de mena.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazan, O. (2013). *Tectónica Andina y su Componente Cizallante Alusivo al norte del Perú*. 10.13140/RG.2.2.27980.10883.
- BizaLab, S. (2016). *Estudios Minerográficos de Catorce Muestras y Estudios Petrográficos de Treinta Muestras por Microscopía Óptica*. Lima.
- Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Rodríguez, R., Romero, D., Cerpa, L., Mamani, M., Diaz-Martinez, E., Navarro, P., Jaimes, F., Velarde, T., Lu, S. y Cueva, E. (2009). Dominios Geotectónicos y Metalogénesis del Perú. *Bol. Soc. Geol. Perú* 103: 1-89, p. 60. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/SGP-103-1.pdf>
- Chang, Z., & Meinert, L. (2008). *Zonation in Skarns – Complexities and Controlling Fractor*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/322093934\\_Zonation\\_in\\_skarns\\_-\\_Complexities\\_and\\_controlling\\_factors](https://www.researchgate.net/publication/322093934_Zonation_in_skarns_-_Complexities_and_controlling_factors)
- Cobbing, J. (1973). *Geología de los Cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta 22-h, 22-i, 22-j, 23-h, 23-i, 23-j*. Lima-Perú: INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/144>
- Duran, P. y Tapia, J. (2015). *Depósitos tipo skarn*. Tomado de [https://www.academia.edu/34192322/Dep%C3%B3sitos\\_tipo\\_skarn](https://www.academia.edu/34192322/Dep%C3%B3sitos_tipo_skarn)
- Einaudi, M., Meinert, L., Newberry, R., & Skinner. (1981). *Skarn Deposits*. Economic Geology, Canada USA. Obtenido de <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALGEODEBRGM8320489798>
- Giletti, B. & Day, H. (1968). Potassium–Argon Ages of Igneous Intrusive Rocks in Peru. *Nature* 220, 570- 572. <https://doi.org/10.1038/220570a0>



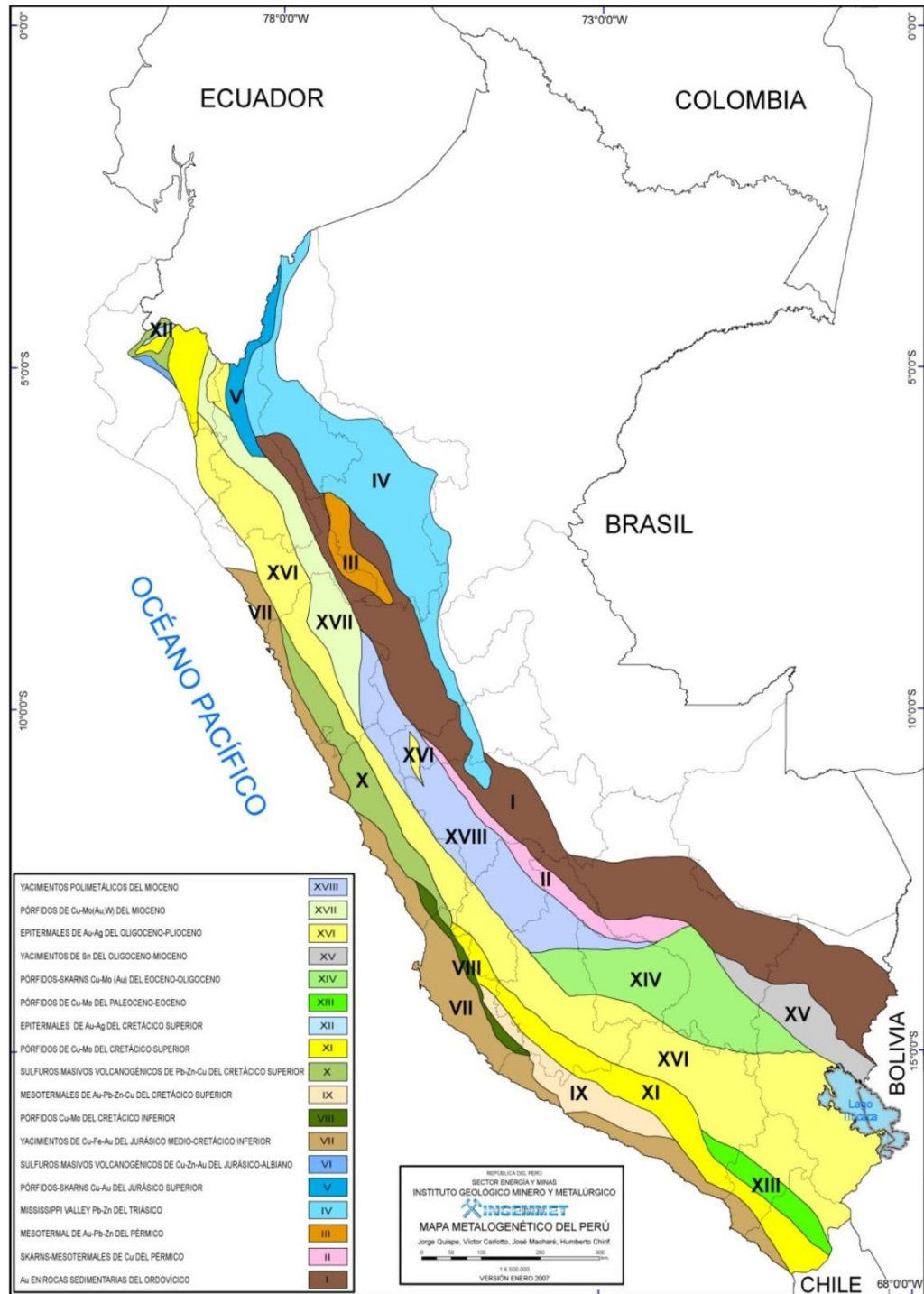
- Griem, W. (2020). *Skarn o depósito "pirometasomático"*. Depósitos Minerales. Obtenido de <https://www.geovirtual2.cl/depos/02skarn01.htm#:~:text=Un%20Skarn%20es%20un%20dep%C3%B3sito,calizas%20y%20en%20el%20plut%C3%B3n>.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación (5ta ed.)*. The McGraw-Hill.
- Jurado, J. (2006). *Distal Alteration in the Carbonate-Hosted Replacement and Skarn Systems at Yauricocha, Central Peru* [Thesis for the degree of Master of Science, The University of British Columbia] Retrieved from <https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/831/items/1.0052439>
- Jurado, J. (2006). *Distal Alteration in the Carbonate-Hosted Replacement and Skarn Systems at Yauricocha, Central Peru*. Thesis defense April 24th , 2006.
- Lillo, J., & Oyarzun, R. (2013). *Geología Estructural Aplicado a la Minería y Exploración Minera*. GEEM.
- Maksaev, V. (2003). *Monografía del Curso de Metalogénesis, Depósitos de Tipo Skarn*.
- Machaca, E. y Pinto, R. (2017). *Geología y Controles de Mineralización en el Yacimiento Pucarrajo – Bolognesi – Ancash* , 6 (2), 153-161.  
<http://dx.doi.org/10.26788/riepg.2017.37>
- Megard, F., Caldas, J., Paredes, J. y De La Cruz, N. (1996). *Geología de los Cuadrángulos de Tarma, La Oroya y Yauyos Hojas: 23-I, 24-I, 25-I*. Lima-Perú: INGEMMET. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/192>
- Meinert, L. (1992). *Skarn and Skarn Deposit*. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/277219842>
- Miranda, M. y Morán, J. (2013). *Informe de Reservas, Recursos y Potencial Distrito Minero Yauricocha*. SMC S.A., Lima.



- Noble, D. C., & McKee, E. H. (1999). The Miocene metallogenic belt of central and northern Peru. *Geology and ore deposits of the Central Andes. Soc. Economic Geologists, Littleton, CO, Special Publication, 7*, pp. 155 - 193.
- Pérez, G. (2002). *Investigación Cualitativa Retos e Interrogantes*. Madrid: La Muralla.
- Quispe, J. (2006). *Características Estructurales e Isótopos de Plomo de las Mineralizaciones Auríferas de la Franja Huaytará-Tantará, Huancavelica (Perú)*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/TE0032.pdf>
- Robb, L. (2005). *Introduction to ore-forming processes*. Blackwell Publishing.
- Rodriguez, R. (2008). El Sistema de Fallas Chonta y sus Implicancias Metalogenéticas entre 12°15' S y 13°30' S (Huancavelica – Perú) [Tesis de maestría, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. Archivo digital. <https://es.calameo.com/read/0008201298d2f15a99183>
- SlidePlayer. Metasomatism Reading: Winter, Chapter 30 [Video]. Recuperado de <https://slideplayer.com/slide/7813829/>
- Steele, G. (2016). An introduction to porphyry copper deposits. Drill Core, Escondida Este, Chile. Rio Tinto.
- Stewart, J., Evernden, J., & Snelling, N. (1974). *Age Determinations from Andean Peru a Reconnaissance Survey*. Bulletin, geol. Soc. Am.
- Zharikov, V. A. (1970). Monografias de Skarn. INTERNATION. GEOL. REV. Obtenido de : <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=GEODEBRGM7007021244>

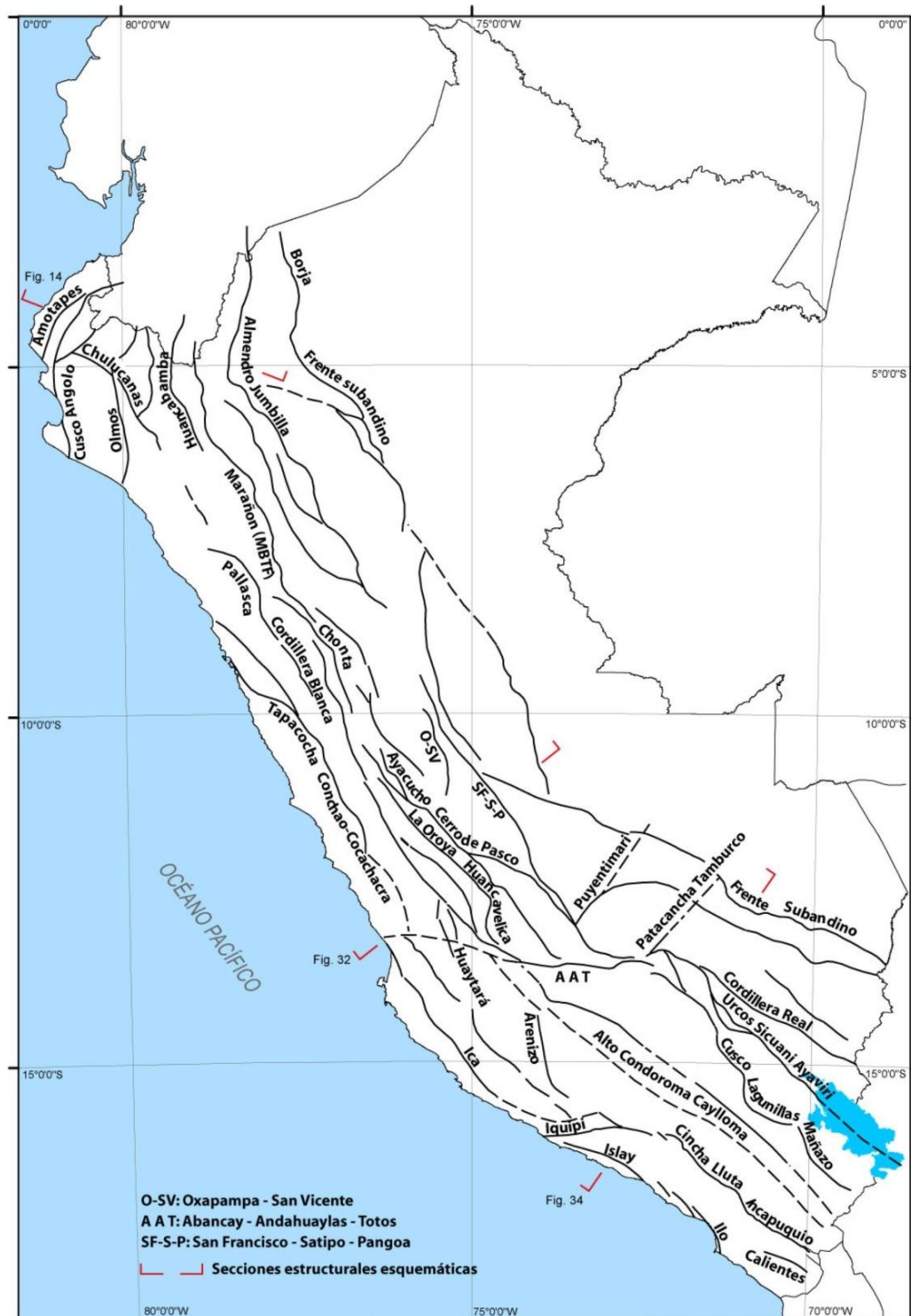
## ANEXOS

### ANEXO A



Mapa Metalogenético del Perú 2006, publicado en enero del 2007 (MINERÍA, 2007).  
Fuente: Tomado de Carlotto et al. (2009).

## ANEXO B



Mapa Estructural del Perú mostrando las principales fallas cartografiadas por el INGGEMMET a escala 1:100 000. Fuente: Tomado de Carlotto et al. (2009).